

## TEORETKSA PITANJA – AU2

### 1. Uloga pojačanja senzorskih signala za tačnije dobijanje vrijednosti mjerene veličine.

Sarin odgovor:

8. Uloga pojačanja senzorskih signala za tačnije dobijanje vrijednosti mjerene veličine

1. **Povećanje osjetljivosti** → senzori često proizvode male el. signale kao odgovor na promjene u mjeranim veličinama. Pojačanje ovih signala omogućava detekciju u mjeranju vrlo malih promjena u veličini, čime se povećava osjetljivost sistema.
2. **Sužavanje šuma** → El. uređaji i senzori su <sup>podložni</sup> pojedinih električnog šumu i drugim vrstama smetnji. Filtriranjem nepotrebnih frekv. i pojačanjem signala može se sužaviti uticaj smetnji.
3. **Povećanje dinamičkog opsega** → omogućava sistemu da mjeri širi opseg vrijednosti mjerenih veličina.
4. **Kompensacija gubitaka signala** → signali se često gube tokom prijenosa u obradi. Pojačanje.
5. **Poboljšanje razlučivosti** → pojačanje signala = veća preciznost.
6. **Kalibracija senzora**

Odgovor na isto pitanje sa drajva:

- 3) Razlog pojačanja senzorskog signala za kvalitetno pojačanje sistema.  
4) Uloga pojačanja senzorskog signala za tačnije određivanje veličine.

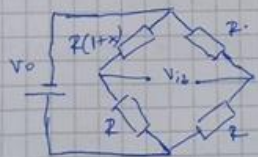
#### ISTO PITANJE!!

Izlazi senzorski signali <sup>su</sup> električne prirode u većini senzora. Je li pomoćna mjerna veličina otpornost, kapacitivnost ili induktivnost. Za konverziju ovih veličina u električni signal, po pravilu, koriste se mjerni mostovi. Pošto su najčešći naponski mjerni signali, najviše su zastupljeni otpornički mjerni mostovi. (Wheatstonov mjerni most). Kada je izlazni napon sa mjernog mosta jednak nuli onda je most u ravnoteži. Postignuto je ako su svi otpornici u mostu jednake otpornosti ( $R_1/R_2 = R_3/R_4$  ili  $R_1 R_4 = R_2 R_3$ )



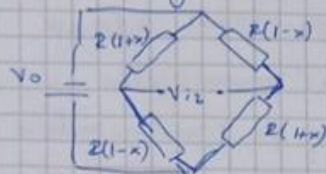
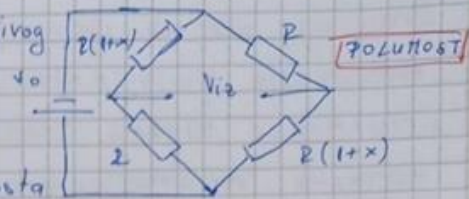
OSNOVNO KOLO WHEATSTONOVOG MOSTA

Za pretvaranje promjenjive otpornosti senzora u el. signal u jednu ili više grana mjernog mosta se postavlja senzor sa promjenjivom otpornosću. Ako su u ostalim granama otpornosti konstantne, tada je ~~otporost~~ most neravnotežan. Ova zavisnost ostaje ista bez obzira u kojoj grani mosta je promjenjivi otpornik.



ČETVRTINSKI MJERNI MOST

Ako se umjesto jednog promjenljivog otpornika postave dva, na suprotnim granama dobije se dvostruko veća osjetljivost mosta i bolja linearnost.



PUN MJERNI MOST

Ako se u sve grane postave promjenjivi otpornici tako da se kod 2 povećava, a kod 2 smanjuje otpornost dobije se puni mjerni most. Vreda je linearna i osjetljivost je 4x veća nego kod četverstrukog mjernog mosta.

Nelinearnost mjernog mosta je najviše ako se koristi most napajan idealnim naponskim generatorom i indikatorom male unutrašnje otpornosti.

Najmanju nelinearnost ima mjerni most napajan strujnim generatorom i sa naponskom <sup>indikacijom</sup> ~~indukcijom~~ visoke unutrašnje otpornosti.

Bitan pokazatelj kvalitete mjernog mosta je i osjetljivost.

Zависи od vrsta signala kojim se napaja mjerni most. (Osjetljivost mosta napajanog strujnim i naponskim generatorom jednaka.)

Kod realizacije mosta je potrebno usaglasiti broj i opseg promjene otpornosti senzora, način postavljanja senzora u grane mosta, napajanje mosta, prirodu izlaza signala i potreban izlazni nivo.



## 2. Mjerenje protoka tečnosti pomoću rotametra

### ⑥ Mjerenje protoka tečnosti pomoću rotametra.

Rotametar → uređaj koji se koristi za mjerenje protoka tečnosti ili gasa u cijevima radi na principu promjene pozicije plutajuće kugle ili šipke unutar staklene ili plastične cijevi u zavisnosti od protoka fluida. Ova promjena pozicije vizuelno pokazuje korisnicima brzinu protoka fluida za mjerenje tečnosti pomoću rotametra.

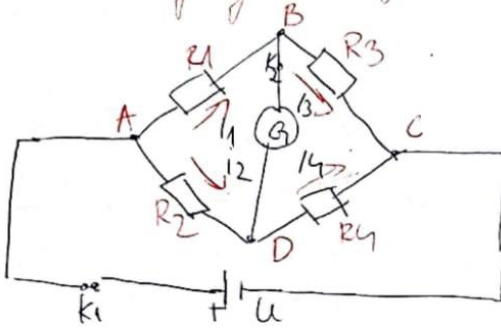
1. PRIPREMA ROTAMETRA → provjeriti da li je rotametar ispravno instaliran i kalibriran, očistiti cijevi, provjeriti očitavanja
2. POSTAVLJANJE → postaviti gdje je potrebna kontrola tečnosti
3. KONTROLA USLOVA → uslov. okoline (temperatura i pritisak) mogu biti stabilni, jer mogu utjecati na preciznost.
4. OČITAVANJE MJERENJA → na osnovu pozicije kugle ili šipke može se očitati brzina protoka sa skalom koja se nalazi duž cijevi rotametra (skala može biti linearna ili logaritamska)
5. KALIBRACIJA → rotametar mora biti kalibrisan radi tačnosti mjerenja (upoređivanje očitane vrijednosti sa stvarnom vrijednošću protoka i korekcija)
6. VRIJEDNOSTI PROMJENLJIVIH → promjenjivi faktori (temperatura i pritisak) mogu se mijenjati tokom vremena.

Bitno je uzeti u obzir i održavanje i kalibraciju, tip tečnosti (dizajniran za rad sa određenim tipom), ispunjavanje cijevi (pravilan oblik), sigurnost, redundantnost (rad neprekidnog nadzora), zaštita od zamušavanja i korozije, prateći instrumenti (upoređivanje rotametra sa dodatnim instrumentima radi daljinskog praćenja).

### 3. Otporničko mjerenje sile

• Otporničko mjerenje sile. (Winstanov most)

- U slučaju kada se otpornost koristi kao pomoćna promjenjiva u sistemu za mjerenje sile, to može biti ostvareno primjenom Winstanovog mosta ili Tomsanovog mosta.  
mjerenih balansiranih otpornika - otporničke mjere traže  
Most za mjerenje istosmjernog struje



$R_1, R_2, R_3, R_4$  - vezani serijski  
Između A i C je izvor konstantnog napona  $U$ .  
Između B i D je galvanometar.  
Ukoliko kroz  $G$  protječe struja most nije balansiran!

USLOV RAVNOTEŽE:

$$I_1 = I_3 \quad I_2 = I_4$$

Da bi struja kroz  $G$  bila nula:

$$U_{AB} = U_{AD}$$

$$R_1 I_1 = R_2 I_2$$

Pošto je grana C zajednička za  $R_3$  i  $R_4$  mora biti

$$U_{BC} = U_{DC}$$

$$R_3 I_3 = R_4 I_4 \Rightarrow R_3 I_3 = R_4 I_2$$

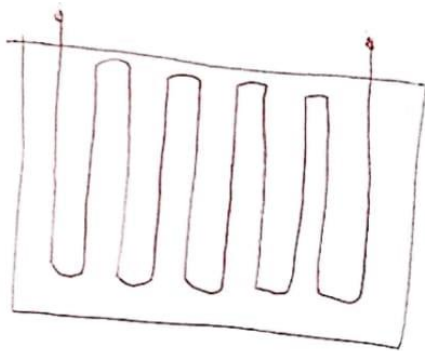
$$R_1 I_1 = R_2 I_2 \quad / : (R_3 I_3 = R_4 I_4)$$

$$\frac{R_1}{R_3} = \frac{R_2}{R_4} \Rightarrow R_1 R_4 = R_3 R_2$$



Metalne ujerne trake → koriste se za mjerenje sile na osnovu elastične deformacije. Postavljaju se na odgovarajuće materijale (elastične grede) koji su izloženi djelovanju sile koja izaziva istezanje materijala proporcionalno sili naprezanja. Za mjerenje istezanja se koriste mjerne trake.

Traka se sastoji od otporne žice ili folije savijene kao na slici i postavljene između dvije elastične izolacione podloge oblika trake. Provodna žica znaka je:



- poprečnog presjeka 0.02 mm  
- 0,05 mm

i otpornosti 50-1000 [Ω]

Ako se traka deformiše, isteže, mjeri se otpornost žice.

Promjena otpornosti je posljedica promjene dužine, poprečnog presjeka i spec. otpornosti → dominantan efekat koji je osnovna radna snaga

- Traka se mora fiksirati vrlo dobro na površinu koja je objekat djelovanja sile. Površine koje se spajaju trebaju biti glatke i čiste, da bi se postiglo kvalitetno lijepljenje. (specijalno kvalitetna ljepljiva). Sada tada je promjena otpornosti trake proporcionalna sili naprezanja.

Relativno istezanje ujerne trake  $\frac{\Delta L}{L}$  je jednako istezanju podloge na koju je traka pričvršćena. Relativna promjena otpornosti mjerne trake  $\frac{\Delta R}{R}$  je proporcionalna relativnom istezanju trake.

Promjene otpornosti su vrlo male, maksimalno 0,1 [%] pa se u d. signal prevaraju uglavnom pomoću odgovarajućih ujemnih mostova. (Vinstenar)

ijeri  
ravi  
ot

Mjerenje otpornosti Vinstonovim mostom sastoji se u troženju ravnoteže mostu kada je jedna grana mosta poznate otpornosti, a ostale grane su poznatih promjenjivih otpornosti. Kada se mjeri sila koristi se V.M. sa senzorom otpora koji se mijenja pod uticajem sile.

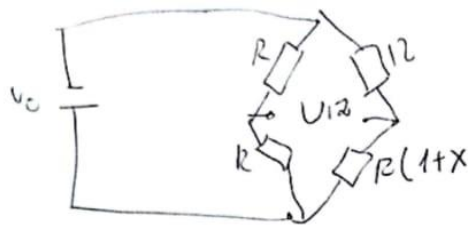
$R_1, R_3 \rightarrow$  poznati otpornici sa poznatim  $V_n$

$R_2 \rightarrow$  promjenjivi otp. (senzor) \* čija vrijednost varira pod uticajem sile koja se mjeri.

$R_4 \rightarrow$  pomoćni otpornik, obično se koristi za kalibraciju mosta



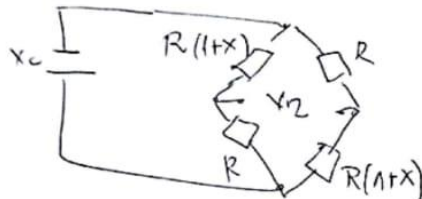
položaj mjernih trake u četvrtinskom mostu



$$V_{12} = \frac{x}{4+2x} V_0$$

zavisnost  $V_{12}$  i  $x$  nije linearna

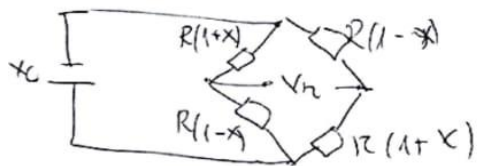
- Položaj mjernih traka u polovinskom mostu:



bolja linearnost:

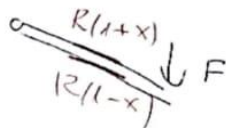
$$V_{12} = \frac{x}{2+x} \cdot V_0$$

- u punom mjernom mostu:



$$V_{12} = x \cdot V_0$$

veza linearna i osjetljivost 4x veća.

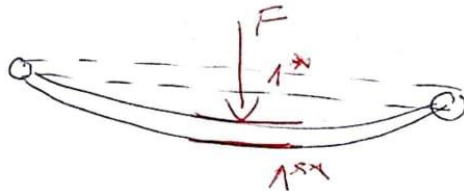


- položaj mjernih traka na elastičnom gredu

- bolja verzija metalnih mjernih traka, u odnosu na žičane, je korištenje tankog metalnog filma jer nema ljepljenja.
- prikazane mjerne trake se pojedinačno mogu koristiti samo za mjerenje intenziteta jedne komponente sile u jednom ~~smjeru~~ smjeru. Za dvosmjerno mjerenje sile je potrebna korištenje dvije trake.

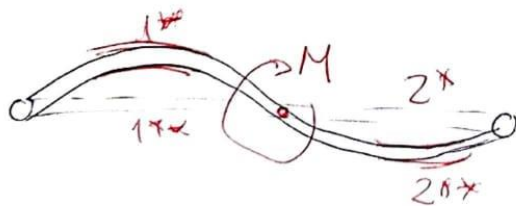


-położaj niżej traka za dwusieczną miareczkę siły:



-ukoliko sila djeluje u naznačenom smjeru tada će traka  $1x$  biti više istegnuta i imati veću otpornost od  $1x$ .

-położaj niżej traka za mjerenje sprega momenta:



tako  $1x$  i  $2x$

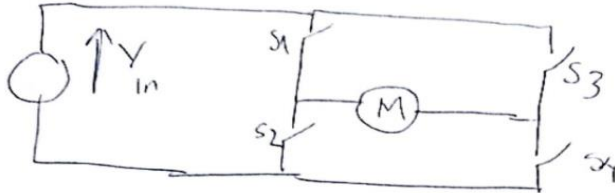
u



#### 4. PWM upravljanja brzinom i smjerom obrtanja rotora DC motora pomoću H-mosta

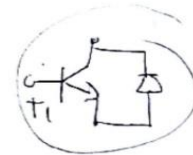
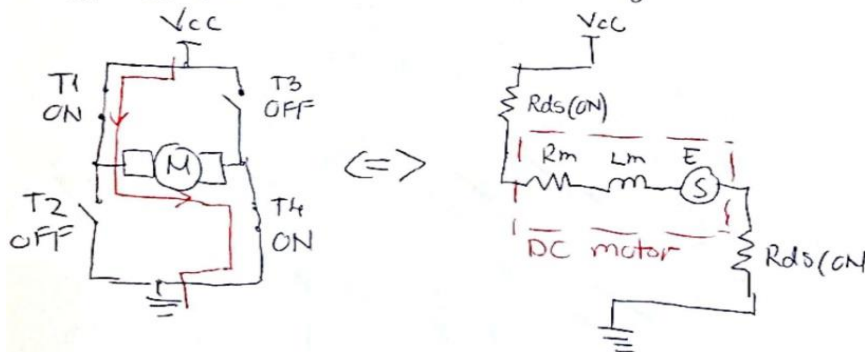
6. PWM upravljanje brzinom i smjerom obrotanja rotora DC motora pomoću H-mosta. W

→ Na slici 1 prikazan je motor kontroliran H-mosfetima:



- sastoji se od 4 prekidača, motora izvedenog njih i strujnog izvora. Struja teče u jednom smjeru kada se zatvore S1 i S3 i obrnuto.

→ Kada želimo da pokrenemo rotorsku osovinu u jednom smjeru (npr. smjeru A) ~~struja teče od~~  $V_{OA}$  ka  $V_{OB}$ , gornji mosfet  $T_1$  je neprekidno uključen ( $V_{OA} = V_{CC}$ ), dok se pomoću mosfeta  $T_2$  kontrolise srednja vrijednost napona na motoru dovodenjem PWM na gornji mosfet  $T_4$ . U trenutku kada provode tranzistori  $T_1$  i  $T_4$ , ekvivalentni el. shema prikazana je na slici 2.



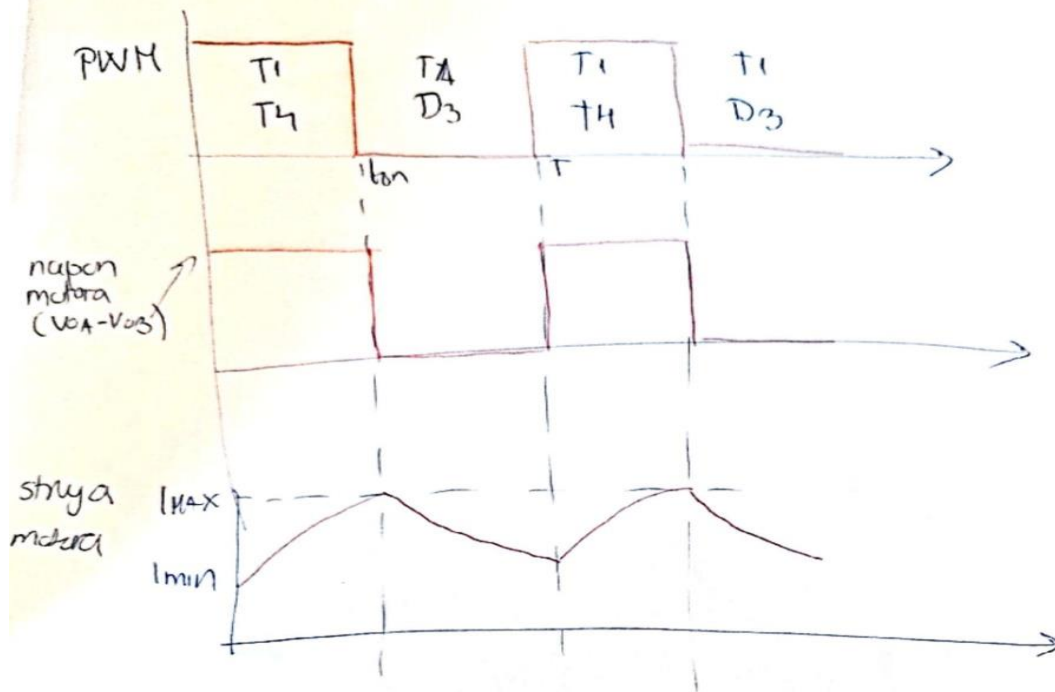
Induktivnost motora ne dozvoljava da se ~~brzo~~ struja trenutno promijeni. Struja motora raste po eksponencijalnom zakonu.

Njen max:

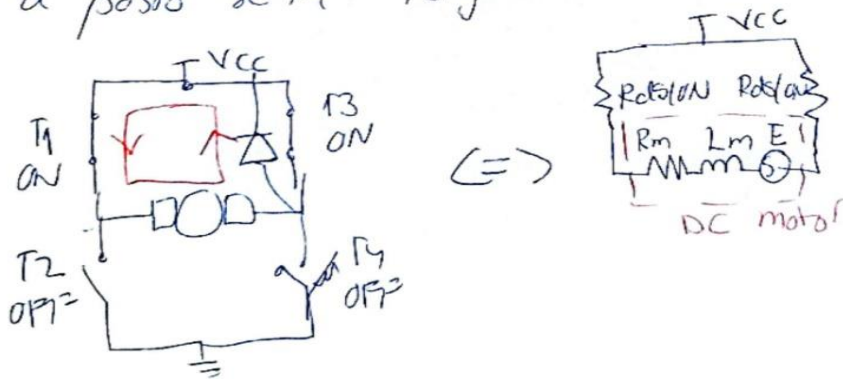
$$I_{Mmax} = \frac{V_{CC}}{R_m} \cdot \frac{1 - e^{-\frac{\tau \cdot T}{\tau}}}{1 - e^{-\frac{T}{\tau}}} - \frac{E}{R_m}$$

$R_m$  - otpornost rotora  
 $\tau$  - vremenska konst. ( $\frac{L}{R_m}$ )  
 $L$  - faktor ispunje  
 $T$  - perioda PWM-a  
 $V_{CC}$  - napon baterije

je dok tranzistori  $T_1$  i  $T_4$  provode struja raste.



-> Kada PWM postane neaktivan, odnosno kad se isključi  $T_4$ , motor prelazi u režim kočenja. Zbog induktivnosti, struja se ne mijenja trenutno a postoje li  $T_4$  isključio dolazi do privodjenja ~~pozitivne~~ diode  $D_3$  tranzistora.





a formule:

$$I_{Hmin} = \frac{V_{CC}}{R_m} \cdot \frac{e^{\frac{I}{I_s}} - 1}{e^{\frac{I}{I_s}} - 1} - \frac{E}{R_m}$$

Usljed uklanjanja pobudnog napona počinje da opadaju elektromotorna sila i struja rotora. U slučaju nepostojanja PWM-a, konačna vr. struje bi bila nula. Međutim, struja će opadati do trenutka kada PWM postane ponovo aktivan tj. do trenutka kada prevede mosfet T4. Tad se dostiže minimalna struja  $I_{Hmin}$ .

## 5. Uticaj periode/frekvencije PWM signala na ponašanje aktuatora

Uticaj periode/frekvencije PWM signala na ponašanje aktuatora

Uticaj periode PWM signala na ponašanje aktuatora je vrlo važan aspekt u projektiranju upravljačkih sistema jer direktno utiče na stabilnost, odziv i efikasnost samog aktuatora.

Negativan efekat korišćenja PWM upravljača je pulsiranje opterećenja aktuatora. Ono zavisi od:

- periode/frekvencije PWM signala (na istom frek. je niže pulsiranje)

- popunjivosti  $d$  PWM signala gdje je najgori slučaj za  $d = 50\%$ .

- dinamika aktuatora, najviše pulsiranje za spore aktuatore

Kada aktuatori primaju mehaničke krutosti frekvencije 20 Hz do 20 kHz razvijaju zvukove slične "vrućem".

Termički aktuatori i termički procesi su pogodni za PWM upravljače jer imaju velike vremenske konstante.

PWM signal je generisani signal konstantne amplitude kod kojeg se kontrola vrši promjenom trajanja impulsa, dok je perioda  $T$  fiksna, a povezana sa frekvencijom  $f$  je formulom:

$$f = \frac{1}{T}$$

Frekvencija PWM signala određuje koliko puta se signal "nabije" i "odnabije". Tipične vrijednosti su:

100 - 500 Hz za velike elektromagnete, grijače

1 - 20 kHz za DC motore

50 Hz za AC motore

Pravilan izbor frekvencije kod elektromehaničkih aktuatora ne daje dovoljno vremena kalu da potpuno odlegu struju pri no-

Ako se konstantna temp. od  $25^{\circ}\text{C}$  nije pet puta zaredom, a  
senzor daje rezultate:  $24.8^{\circ}\text{C}$ ,  $25.0^{\circ}\text{C}$ ,  $25.1^{\circ}\text{C}$ ,  $24.9^{\circ}\text{C}$ ,  $25.0^{\circ}\text{C}$ ,  
to ukazuje na neidealnu ponašnost, iako je ulaz bio isti.  
Uzroci loše ponašnosti su: električni šum u sistemu, mehaničke  
vibracije, toplotne perturbacije...

Greske usljed histerize i neidealne ponašnosti spodežu u  
neželjene karakteristike senzora koje negativno utiču na tačnost,  
preciznost i pouzdanost mjerenja. Iako ih nije uvijek moguće potpuno  
eliminirati, često se ublažavaju kor:

- kalibraciju senzora
- korištenje senzora više klase tačnosti
- softversko filtriranje i modeliranje gresaka



## 6. Greška senzora zbog histereziisa i nerealne ponovljivosti

Greške senzora zbog histereziisa i nerealne ponovljivosti.

Spadaju u tzv. dinamičke i matematičke greške, a pojavljuju se kod gotovo svih mjernih sistema, posebno kod senzora koji mjere fiksne veličine poput pritiska, temperature, položaja, itd.

Histeretis je pojava kod koje zaustaviteljske veličine sensora od vlastite njezine izlaza prilikom porastajućeg ili opadajućeg ulaznog signala. Drugim riječima, istak senzora ne zavisi samo od trenutne vrijednosti ulaza, već i od historije promjene ulaza.

Uzroci histereziisa su mehaničke deformacije, trenje i elastični zaostaci u senzornom mehanizmu, magnetski efekti kod magnetskih senzora.

Greška histereziisa ne razlikuje se u procentima otklona max. promjene izlaza. Histeretis je posebno prisutan pri mjerenju feromagnetskih materijala i napreduje opreza nad granica elastičnosti.

Statistička tačnost senzora se definiše u odnosu na njegovu srednju vrijednost, što znači da se ne uzima u obzir promjena mjernih veličine. Ali ako su promjene mjernih veličine brze tada se primjenjuje dinamička greška:

$$E(t) = y(t) - y_0$$

$$\frac{y(t) - y_0}{y_0} \cdot 100\%$$

Za razliku od statičke greške koja ima fiksnu vrijednost za određeni senzor, dinamička greška je funkcija promjenjiva u vremenu, ona zavisi od načina promjene mjernih veličine.

Ponovljivost označava sposobnost senzora da daje isti izlaz za istu veličinu pri više uzastopnih mjerenja u istom usloju. Tada senzor ne isporučuje isti izlazni signal za jednaku veličinu, barem ne da ima nerealnu ponovljivost, što stvara grešku.

doci do največje mase i momenta, slabjeg odziva i  
Ako je frekvenca prevelika more doci do znenih smetnji,  
pukotina, nestabilnog rada i buke

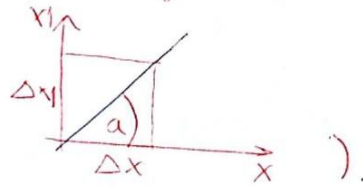
## 7. Statička greška senzora

### 2. Statička greška senzora. (tačnost)

→ Statička tačnost opisuje max. grešku koja se može očekivati u stacionarnom stanju.

→ Greška se izražava u postotcima mjernog opsega njegovog izlaza. Iskazuje se u odnosu na idealan senzor.

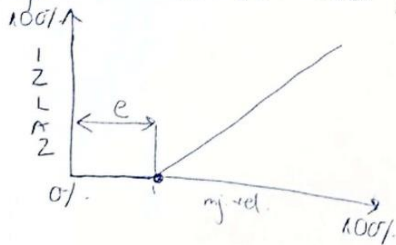
(Idealan senzor - veza ulaza i izlaza u stacionarnom stanju (statička karakteristika) je:  $x_i = ax$ ;  $a \rightarrow \text{const}$



→ Određuje se u postupku kalibracije (jedan ili više ciklusa).

(Kalibracija je proces podešavanja ili provjere tačnosti mjerne opreme, kao što su senzori, kako bi se osiguralo da daju tačne rezultate u skladu s poznatim standardima. Senzor se izlaže poznatim vrijednostima i njegove reakcije se mjere i porede sa očekivanim rezultatima, te se vrši prilagođavanje ili korekcija senzora kako bi se postigla veća preciznost).

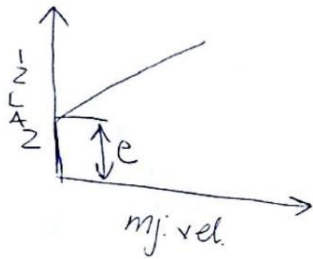
**Zona neosjetljivosti** - najmanja konačna vrijednost promjene mjerne veličine potrebna da se desi promjena na izlazu.



manja z. n. = senzor osjetljiviji



**Ofset** - vrijednost signala na izlazu senzora kada je mjerena veličina jednaka nuli.



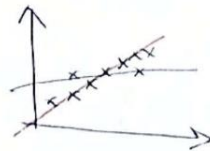
idealni slučaj:

$$mj. vel. = 0 \Leftrightarrow izl. signal = 0$$

**Linearnost** - maksimalno odstupanje (u %) stvarne statičke karakteristike od idealne.

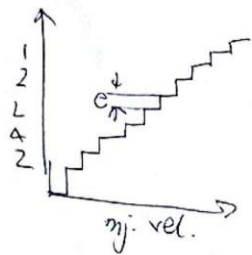
Idealna statička kar.:

- linearizacija po teoretskoj strmini (stvarna kar. senzora aproksimira se pravom linijom)
  - a) 0% - 100%. (pravac se povlači kroz cijeli opseg rada senzora)
  - b) 10% - 90%. (ignoriraju se najniže i najviše vrijednosti, gdje je nelinearnost najizraženija)
- rubna linearnost - pravac se povuče kroz dvije "krajnje" mjerne tačke
- linearizacija po MMK (minimizira se suma kvadrata odstupanja između stvarne (nelinearne) kar. i aproksimacijskog pravca)



$$V(\theta) = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (y(i) - \hat{y}(i))^2$$

Rezolucija - stepenasta promjena izlazne veličine za kontinualnu promjenu mjerene veličine

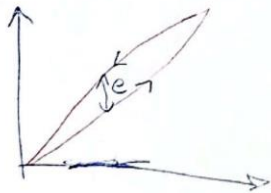


→ rezolucija određuje koliko su "sitne" promjene koje senzor može razlikovati  
npr. rez. za temp. senz. od  $0.1^{\circ}\text{C}$  ( $25 \rightarrow 25.05$ )  
veća rezolucija = senzor može detektovati "finije" promjene mjerene veličine

Pouzljivost - sposobnost senzora da daje jednake vrijednosti izlazne veličine za iste vrijednosti mjerene veličine, pri ponovljenim mjerenjima i "normalnim" uslovima eksploatacije.

visoka pouzljivost = pouzdan i stabilan senzor

Histerzis - max. razlika dva očitana ~~signala~~ izlaza za istu vrijednost mjerene veličine u jednom potpunom ciklusu kalibracije.



- razlika u očitanoj izlazu kada se mjerena veličina približava istoj vr. iz različitih smjerova.

NEPOZITIVAN EFEKAT!

Greška pouzljivosti garantuje da za uže uzastopnih mjerenja max. razlika izlaza neće biti veća od  $e [\%]$  za bilo koje ili jednake vrijednosti mj. veličine.

## 8. Dinamička greška senzora. (tačnost)

### 1. Dinamička greška senzora. (tačnost)

→ Ako su promjene mjerene veličine brze tada se zbog inercionosti senzora pojavljuje dinamička greška.

2.  $e(t) = y(t) - y_s$  - ova greška se javlja jer senzoru treba određeno vrijeme da "uhvati korak" sa brzim promjenama mj. vel.

→ Dinamika elementa se opisuje dif. jednačinom:

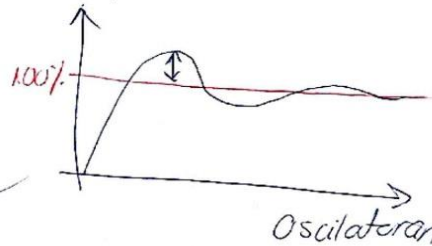
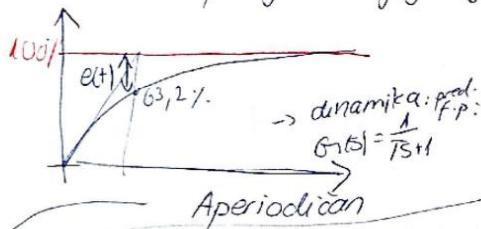
$$\sum_{i=1}^n a_i \frac{d^i y}{dt^i} = \sum_{i=1}^m b_i \frac{d^i x}{dt^i}$$

→ ulazna mj. vel.      → izlazna mj. vel.

3.

ili funkcijom prenosa (Laplasov domen):  $Y(s) = G(s) \cdot X(s)$

→ Odskačni odziv je dobar pokazatelj dinamike (dinamičke greške) elementa: (jer dinamička greška svakog elementa zavisi od načina promjene njegovog ulaza)



→ Odskačni odziv je reakcija senzora na iznenadnu promjenu ulazne veličine ("step input").

→ postepeno približavanje senzora novoj vrijednosti bez oscilacija (stabilan sistem)

→ izlaz senzora oscilira oko nove vrijednosti dok se ne stabilizuje

Parametri koji karakterisu takav odskačni odziv:

- koeficijent prenosa
- dominantna vr. konstanta
- kašnjenje
- preskok



Dinamička greška se može računati i u ~~idealnom~~ relativnom obliku:

$$\frac{y(t) - y_s}{y_s} \cdot 100 [\%] \quad \text{ili} \quad \frac{y_s - y(t)}{y(t)} \cdot 100 [\%]$$

→ Treba primjetiti bitnu razliku statičke i dinamičke greške.

Za razliku od statičke greške koja ima fiksnu vrijednost za određeni senzor, dinamička greška je promjenjiva u vremenu. Ona zavisi od načina promjene mjerene veličine.

2. → Ako je statička tačnost senzora poznata tada se opisani nelinearni efekti uključuju u njegovo statičko ponašanje, a u analizi dinamika se pretpostavlja linearno ponašanje. Tada...

→ Za srednjobudnu dinamičku analizu mjernih elemenata potrebno je uzeti u obzir i uticaje drugih veličina (osim mjerene) na njegov izlaz:

$$Y(s) = G(s) \cdot X(s) + G_1(s) \eta(s)$$

- gdje su  $G(s)$  i  $G_1(s)$  funkcije prenosa u odnosu na ulaznu veličinu  $x(t)$  i smetnju  $\eta(t)$  respektivno.
- u tom smislu razlikujemo:
  - sopstvenu
  - prinudnu dinamiku elementa.

Sopstvena dinamika - se pojavljuje zato što svi elementi sa inercijom i ne mogu trenutno reagovati na baze promjene mjerenih veličina. Za određivanje sopstvene din. greške realni element se upoređuje sa idealnim.

Funkcija prenosa idealnog el:  $G(s) = A = \text{const.}$

→ Prinudnu dinamiku elementa opisuje njegovo dinamičko ponašanje u funkciji smetnje.

Pošto idealni element ne reaguje na smetnju to je za njega:

$$G_1(s) = 0$$

Za utvrđivanje dinamičke greške prema ulaznoj veličini mjerodavna je funkcija

$$\Delta G(s) = G(0) - G(s)$$

za za smetnju:

$$\Delta G_1(s) = -G_1(s)$$

→ Za suzanjivanje dinamičke greške primjenjuju se različiti metodi:

- promjena parametara  $G(s) = \frac{1}{s^2 + 2\zeta\omega_n s + \omega_n^2}$  } poveća se frekv. sopstv. oscilacija  $G(s) = \frac{1}{\omega_n^2}$
- diferenciranje
- korištenje povratne sprege

## 9. Hidraulički aktuatori

### 5. Hidraulični aktuatori. (i pneumatski)

- su uređaji koji pretvaraju hidrauličku energiju u mehanički rad.
- Osnovni princip rada: funkcionišu na principu Pascalovog zakona, koji kaže da pritisak primjenjen na fluid u zatvorenom sistemu prenosi jednak pritisak u svim pravcima. kada se hidraulička tečnost pumpa u aktuator, pritisak te tečnosti tjera klip unutar cilindra da se pomjera, što rezultira linearnim ili rotacionim pokretom.

→ Tipovi:

#### 1. hidraulički cilindri (linearni akt.)

- jednostruki (tečnost ulazi samo sa jedne strane klipa, izazivajući pokret u jednom pravcu), a dvostruki tečnost može ući sa obje strane klipa, omogućavajući pokret u oba smjera

#### 2. teleskopski cilindri

#### 2. hidraulički motori (rotacioni akt.)

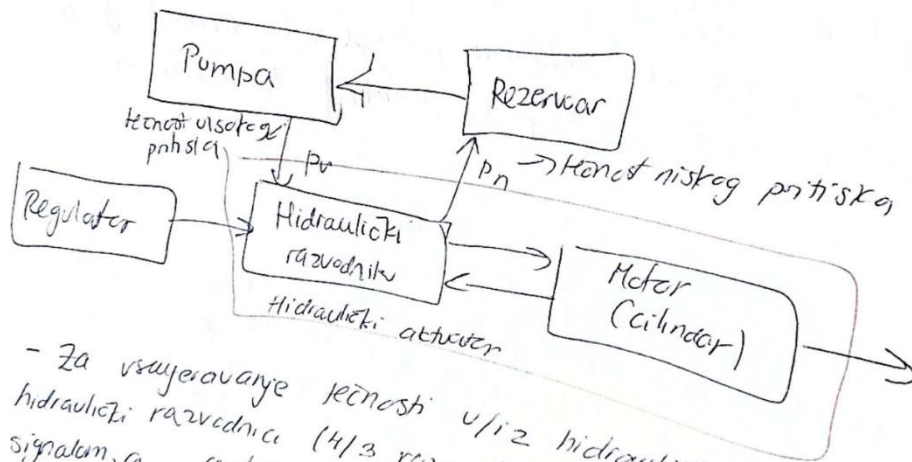
- pretvaraju hidrauličku energiju u rotacioni pokret, koriste pritisak fluida za pokretanje osovine, što omogućava kontinuiranu rotaciju (zupčasti, loptasti, klipni)

→ Komponente:

- klip i cilindar (omogućavaju pretvaranje hidrauličkog pritiska u mehanički rad - klip se kreće unutar cilindra)
- brtve (osiguravaju da fluid ne curi iz cilindra)
- ventili (kontrolisu protok fluida unutar sistema)
- pumpa (opskrbljuje sistem hidrauličkim fluidom pod pritiskom)

- mogu generisati <sup>mno</sup> veće sile nego električni ili pneumatski
  - velika snaga, mala inercija, moguće pokretanje pod punim opterećenjem, visoka pouzdanost, moguće pokretanje pod etremno niskom brzinom, lako se realizuje linearno i rotaciono kretanje.

- Nedostaci: - prijanje radnog prostora i opreme radnih  
 alata  
 - potrebno je generisati hidrauličku energiju  
 - visoka cijena ...



- Za usvajanje tlacnosti u/z hidrauličkog cilindra, koristi se hidraulički razvodnik (4/3 razvodnik koji se aktivira električnim signalom, a centriran je oprugama).
- Simbol pumpe:





## 10. Pneumatski aktuatori

Pneumatski aktuatori

-> uređaji koji koriste komprimirani zrak za generisanje mehaničkog kretanja.

-> Princip rada:

- kada komprimirani zrak ulazi u aktuator, on stvara pritisak koji pomiče klip unutar cilindra, stvarajući linearni ili rotacijski pokret, zavisno o dizajnu aktuatora

-> Tipovi:

1. pneumatski cilindri (linearni)

- jednostuki (jedan priključak za zrak + pomicanje klipa u jednom smjeru)  
- dvostruki

2. pneumatski motori (rot.) motori generiraju rotacijsko kretanje

- rotacijski pneumatski aktuator (koriste se u aplikacijama gdje je potrebna rotacija u određenom uglu, a ne kont. kretanje)

- pneumatski zupčasti motor (koriste zrak za pokretanje zupčanika koji stvara rot. pokret. -||- gdje je potrebno kontin. rot. kretanje).

-> Komponente:

- klip i cilindar

- ventili

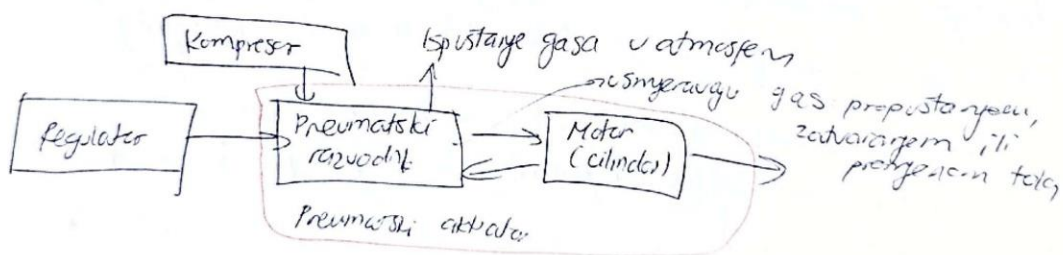
- brtve

- prigušnice (koriste se za kontrolu brzine kretanja akt. smanjujući brzinu protoka zraka.)

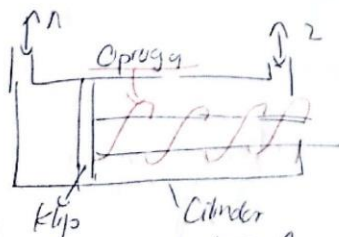
- lako skladištenje i transport u rezervuarnim
- neosjetljiv na promjene temp, ekstremne uslove, radijaciju
- ne zahtijevaju otoknu
- nema prirodnih neprijatelja
- brzo i jednostavno održavati

Mane: - stišljivost vadbena, pa po pravilo ne omejujeva preizno  
vzr. upravljanje bimanom kretanja.

- ostvarivo se sauno uaze site
- skopi
- buka
- pneumatski signali pogodni se sauno za prenos na  
manje udaljenosti



### Jednocradni cylinder:



- ako zrak izlazi kroz 4,  
tada će se klip pod djelovanjem  
opreke kretati lijevo do  
najvećeg granitnog položaja

Duoradni cilindar

- vrši konstant rad u oba smjera.
- nema pruge
- na otvor 2 gas ne ulazi
- slobodno iz atmosfere u
- cilindar zbog postojanja
- pod pritiskom. Za ~~postojanje~~
- klipa u desno. Zadržavanje
- gas se otvara
- pod pritiskom
- kroz otvor 1

## 11. Mjerenje sile ako je otpornost pomoćna promjenjiva

5) Mjerenje sile ako je otpornost pomoćna promjenjiva

AKO NEGDJE U PITANJU PIŠE DAVAO TO ZNAČI SENZOR !!!

### OTPORNIČKE MJERNE TRAKE

#### METALNE MJERNE TRAKE

Koriste se za mjerenje sile na osnovu elastične deformacije. Postavljaju se na elastične grede koje su izložene djelovanju sile koja izaziva istezanje materijala proporcijalno sili naprezanja. Elastična istezanja su po pravilu malega pa se ne mogu mjeriti standardnim senzorima za mjerenja pomaka. Za mjerenje istezanja se koriste mjerne trake. Traka se sastoji od otporne žice ili folije postavljene između 2 elastične izolacione podloge oblika trake. Ako se traka deformiše, istže, mijenja se otpornost žice. Promjena otpornosti je posljedica promjene dužine. Trake se moraju fiksirati na površinu koja je objekat djelovanja sile. Savno ako je kvalitetno fiksirana traka može se promjena otpornosti trake smatrati proporcionalna sili naprezanja.

Promjene otpornosti su veoma male pa se u električni signal pretvaraju pomoću mjerne mostova (Vitsstonov).

#### POLOPROVODNIČKE MJERNE TRAKE

Osnovni princip rada se zasniva na piezorezistivnim svojstvima germanijuma i silicijuma. Specifična otpornost trake se smanjuje sa porastom sile koja na nju djeluje. Ovi materijali imaju izrazitu nelinearnost i temperaturnu osjetljivost, veća je od osjetljivosti metalnih traka 100x. Također, dosta su elastičnije od metalnih i mnogo



se brže vraćaju u originalne dimenzije nakon prestanka djelovanja sile. Dimenzije su dosta manje i cijene niže od metalnih traka.

Osnovni nedostatak: temperaturna osjetljivost, ne mogu se koristiti za mjerenja na visokim temperaturama, a ni na veoma niskim.

Iz navedenog razloga se mnogo češće koristi temperaturna kompenzacija pomoću neopterećene mjerne trake.

Ovaj postupak se koristi za slučaj širog temperaturnog opsega metalnih i poluprovodničkih mjernih traka.

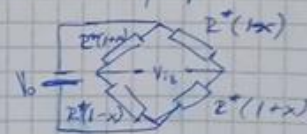
Pored svake trake koja se napreže koristi se druga sa istim karakteristikama, na istoj temperaturi ali se ne izlaže naprezanju. Obje trake se postavljaju tako da rade u potpuno jednakim temperaturnim uslovima.



POSTAVLJANJE MJERNE TRAKE ZA POSTIZANJE TEMPERATURNJE KOMPENZACIJE

Temperaturna kompenzacija mjernih traka se bolje rješava povezivanjem mjernih traka u uravnotežen mjeri most.

U sve grane se postavljaju mjerne trake. Ako sve trake imaju iste karakteristike i nalaze se na istoj podlozi i istoj temperaturi, most će biti potpuno temperaturno kompenzovan.



TEMPERATURNJA KOMPENZACIJA U PUNOM MOSTU



## 12. Kapacitivni i otpornički senzori vlažnosti

**Otpornički senzori vlažnosti** rade na osnovu promjene električne otpornosti materijala koji upija vlagu iz okoline. Kada se poveća relativna vlažnost vazduha, porozni materijal u senzoru apsorbira više vlage, što smanjuje njegovu otpornost. Za izradu se najčešće koriste materijali poput litijum ili kalijum hlorida, koji se nanose na izolaciono tijelo oko kojeg su namotane provodne žice. U savremenim izvedbama koristi se ravna podloga s metalnim folijama u obliku elektroda.

Ovi senzori obično imaju otpornost u rasponu od 1 k $\Omega$  do 100 M $\Omega$ , a mogu mjeriti relativnu vlažnost između 5% i 95%, pri temperaturama od  $-40^{\circ}\text{C}$  do  $+100^{\circ}\text{C}$ . Imaju dobru tačnost (oko  $\pm 2\%$ ), ali im karakteristike vremenom slabe – greška raste za oko  $\pm 3\%$  godišnje, pa im je radni vijek ograničen, posebno u težim uslovima rada.

Poseban način rada je režim samozagrijavanja, kada se senzor zagrijava iznad temperature okoline, čime dolazi do isparavanja vlage iz senzorskog sloja. Temperatura na kojoj se uspostavi ravnoteža zavisi od vlažnosti, pa se ona tada očitava preko temperaturnog senzora. Promjena otpornosti pretvara se u električni signal koji se dalje obrađuje.

**Kapacitivni senzori vlažnosti** funkcionišu na principu promjene dielektrične konstante materijala u zavisnosti od vlažnosti. Sastoje se od dvije elektrode između kojih se nalazi sloj higroskopskog dielektrika, formirajući kondenzator. Vlažnost utiče na promjenu kapaciteta tog kondenzatora.

Kapacitivni senzori su vrlo precizni, stabilni, kompaktni i troše malo energije. Mogu mjeriti relativnu vlažnost u punom rasponu – od 0% do 100% RH. Promjena kapaciteta je obično 0.2 do 0.5 pF po 1% RH, dok ukupni kapacitet senzora varira između 100 i 500 pF. Da bi se precizno očitala promjena, senzori se povezuju u AC mjerne sklopove. Zbog osjetljivosti na spoljašnje elektromagnetne uticaje, potrebno ih je elektronski zaštititi.

U modernim primjenama, kapacitivni senzori se često integrišu s elektronskim sistemima i A/D konvertorima za digitalnu obradu signala. Iako ih razlikujemo po načinu rada, i otpornički i kapacitivni senzori u osnovi mjere vlažnost na isti način – kroz promjene električnih osobina materijala. U praksi se često koriste oksidi metala, poput aluminijuma, jer efikasno upijaju vlagu i mijenjaju svoja električna svojstva.