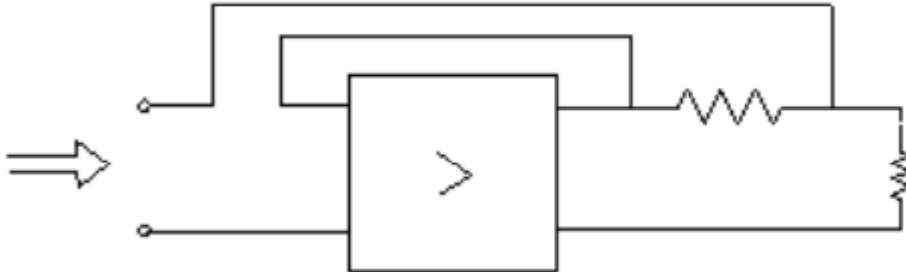


1. pretvornik milivolta – objasniti (obradi pažnju na neki otpornik)

Pretvornik milivolta - radi na principu kompenzacije napona. Osnovni problem je konstrukcija istosmjernog pojačala. Galvansko odvajanje ulaza od izlaza - veza s procesnim računalima



2. hidraulički ventili

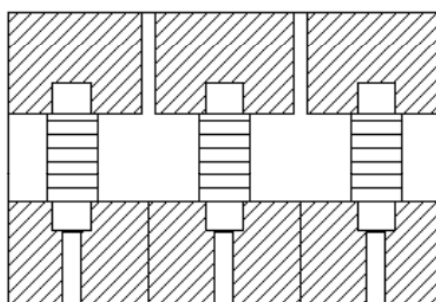
Upravlja protokom ulja od izvora energije (pumpe) do potroša Upravlja protokom ulja od izvora energije (pumpe) do potrošača (motora) (motora) Karakteristične vrijednosti kod hidrauličkih ventila:

Nazivni tlak: do 40 Mpa (maksimalni trajni tlak, koji još omogućava besprijekoran rad) besprijekoran rad)

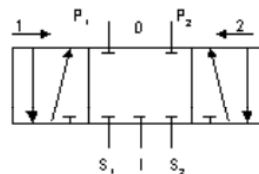
Nazivni promjer: 4 – 63 mm (unutarnji promjer priključnog voda – maksimalno dozvoljena protočna količina)

Način spajanja in spajanja: ugradnja u cjevovod baterijsko ili plo ugradnja u cjevovod, baterijsko ili pločasto ulančenje

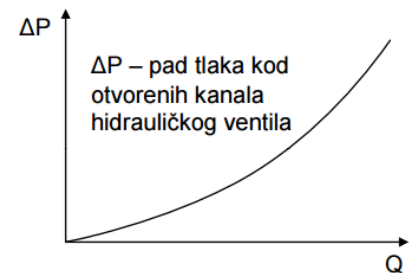
VIŠESMJERNI VENTILI - otvaraju ili zatvaraju put struji ulja



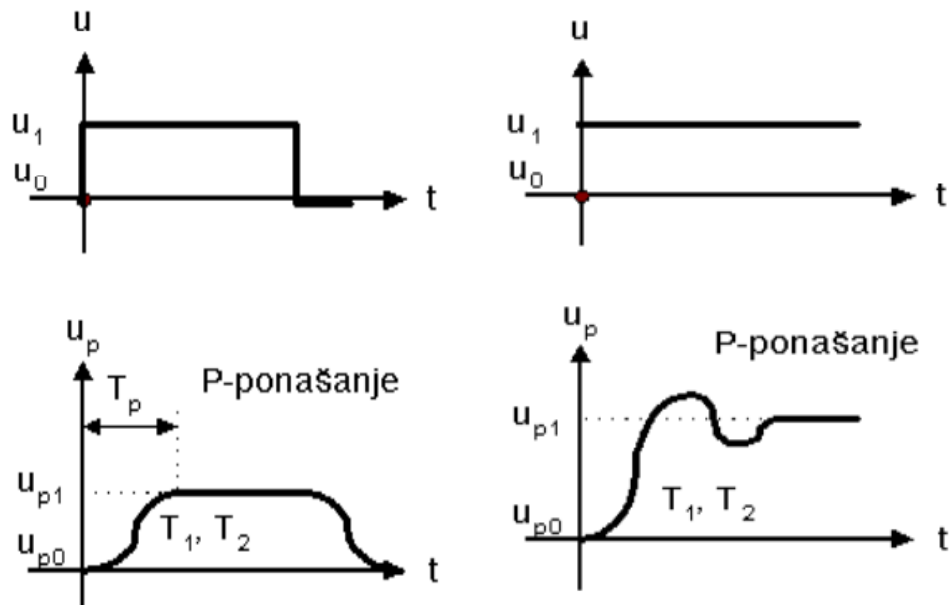
5 upravljanih priključaka
3 sklopna položaja



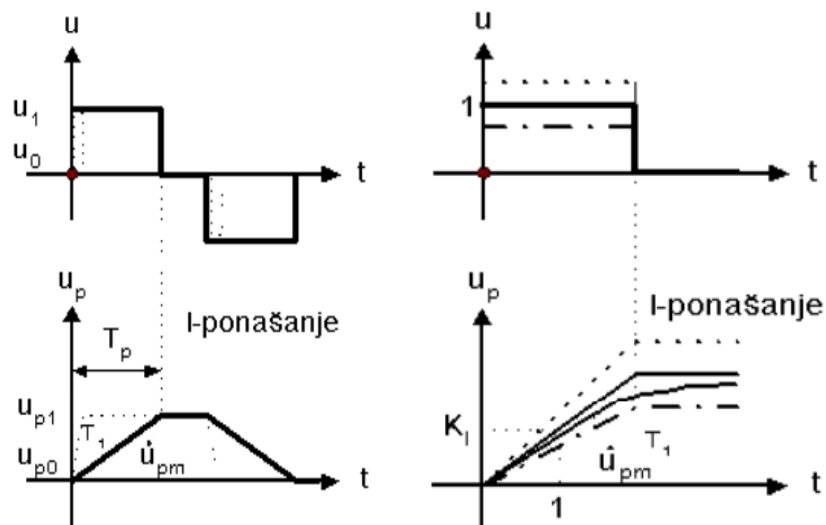
I - PUMPA
P₁, P₂ - potrošač
S₁, S₂ - spremnici ulja



3. pneumatski motor s oprugom - proporcionalno ponašanje



4. pneumatski motor bez opruge – integralno ponašanje



T_p – postavno vrijeme za ukupni pomak

$T_p \geq 2 \text{ s}$

\dot{u}_{pm} – ograničena brzina

T_1, T_2 – vremenske konstante

5. Što je to integralno ponašanje?

Primjer: zakret osovine motora je integral brzine vrtnje motora

Integralno djelovanje djeluje na pogrešku u stacionarnom stanju

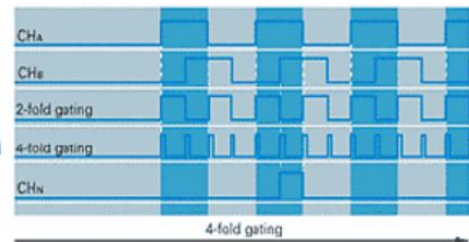
6. enkoderi

Ili davači impulsa spadaju u mjerne detektore brzine. Razlikujemo Impulsne (inkrementalne) i digitalne (apsolutne) enkodere.

Inkrementalni enkoderi



rotirajući disk s optičkom rešetkom i nul-impulsom



Dva kanala impulsa A i B fazno pomaknuta za 90°

Dodatna obrada impulsa pomoću EX-ILI logičkih vrata – uvećanje frekvencije impulsa za 2 i 4 puta

Gustoća optičke rešetke definira rezoluciju mjerenja

Rezolucija mjerenja P – broj impulsa po okretaju

Minimalni **zakret** koji se može mjeriti:

$$\alpha_0 = 2\pi/P \text{ rad/imp}$$

Maksimalna **brzina vrtnje** koja se može mjeriti:

$$\omega_{\max} (\text{okr/s}) = f_{\text{gr}} (\text{Hz})/P$$

f_{gr} enkodera se zna iz kataloga proizvođača

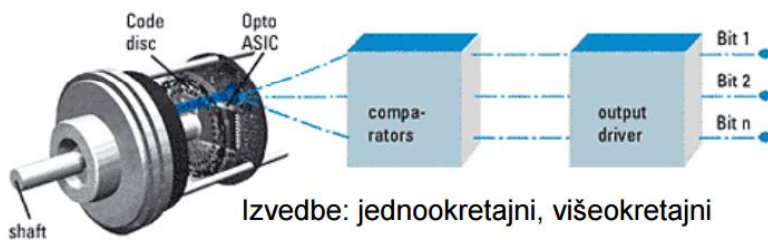
izvor: <http://www.baumelelectric.com>

Tipična rezolucija industrijskih enkodera
→ $P = 10^2 - 10^4$ imp/okr

Laserski enkoderi → $P > 10^6$ imp/okr

Postoje i linearni enkoderi (mjerne letve)

Apsolutni enkoderi

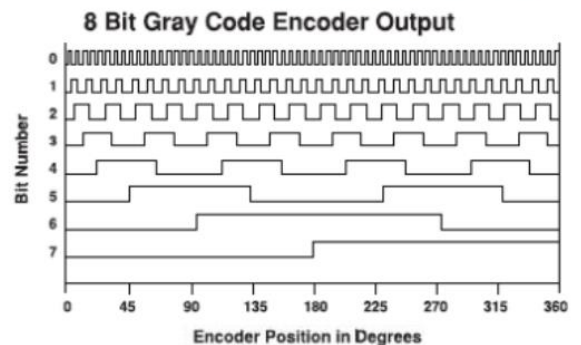


Izvedbe: jednookretajni, višeokretajni



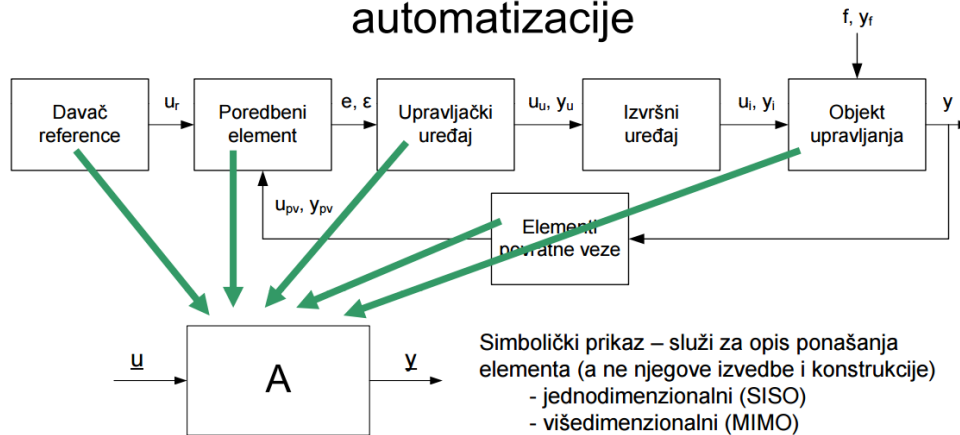
Nakon uključenja napajanja odmah daje digitalnu kodiranu informaciju o **trenutnom položaju** osovine → Binarni kod, BCD kod i najčešći u uporabi **Grayov kod** – pouzdanije očitavanje podataka (samo jedan bit se mijenja između dva susjedna mjerena položaja)

Za daljnje korištenje, podatak u Grayovom kodu treba najprije prebaciti u binarni kod (postoji algoritam za to)



7. Podjela sustava upravljanja

Simbolički prikaz elemenata sustava automatizacije



A – operator koji djeluje nad $\underline{u} \rightarrow u$ pravilu je to neka funkcija ili funkcional

Podjela:

Prema linearnosti operatora A: linearni, po djelovima linearni, nelinearni

Prema načinu rada elemenata: diskretni, kontinuirani, impulsi, sustavi s diskretnim događajima, hibridni

Prema stacionarnosti parametara: stacionarni, nestacionarni

Prema dimenzionalnosti ulaza i izlaza: SISO, MIMO

Prema strukturi sustava: sustavi s promjenjivom strukturom

Prema karakteristikama upravljanja: robusni, pneumatski, hidraulički, elektropneumatski, elektrohidraulički

Prema izvršnom elementu (električki): istosmjerni i izmjenični

8. Objasniti što je statička, a što dinamička karakteristika. Statičke karakteristike- Promatranje svojstava elementa u različitim radnim točkama, Dinamičke karakteristike- Promatranje svojstava elementa pri prijelazima među različitim radnim točkama

9. razlika između prave i žive nule

Električki (IEC 381):

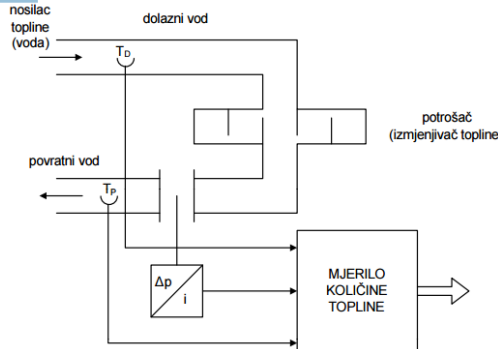
- 0-20 mA= (opterećenje 0-600 Ω ili 0-1200 Ω) \rightarrow prava nula
Potrebne su 3 žice (uglavnom kod digitalnog prijenosa signala)
- 4-20 mA= \rightarrow živa nula
Potrebne su 2 žice, jer se uz mjerni signal može voditi i napajanje

10. mjerenje protoka (kazes jedan i objasnis)

Mjerilo količine topline

Prijenos konvekcijom - nužan uvjet je razlika temperatura $T = T_D - T_P$

Mjerenje protoka Q



Količina topline u jedinici vremena (snaga):

$$E = mcT = V\rho cT$$

$$P = \frac{d}{dt}(V\rho cT) = \frac{dV}{dt}\rho cT + V\rho c\frac{dT}{dt}$$

$$P = P_u - P_i = Q\rho cT_D - Q\rho cT_P = \rho cQ(T_D - T_P)$$

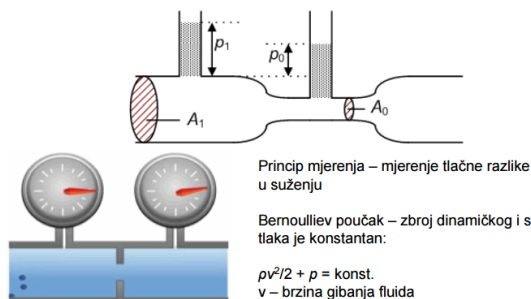
$$P = kQ(T_D - T_P) = kQNT$$

$$k = \rho c - \text{faktor topline}$$

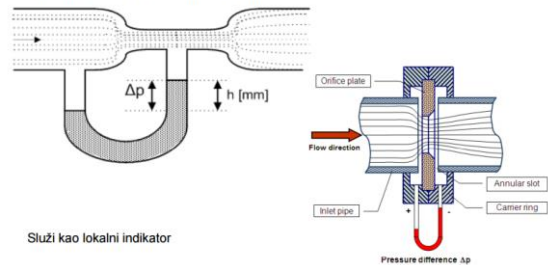
Ukupna količina topline:

$$E = \int_{t_1}^{t_2} P dt = k \int_{t_1}^{t_2} Q(T_D - T_P) dt$$

Mjerenje protoka pomoću prigušnice:

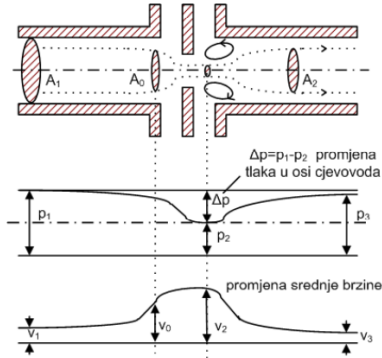


Mjerenje tlačne razlike pomoću U cijevi:



Služi kao lokalni indikator

Mjerenje protoka pomoću mjernog zaslona



$$\rho \frac{v_1^2}{2} + p_1 = \rho \frac{v_2^2}{2} + p_2$$

$$\Delta p = p_1 - p_2 = \frac{\rho}{2}(v_2^2 - v_1^2)$$

Uvjet kontinuiteta protoka:

$$A_1 v_1 = A_0 v_0 = A_2 v_2 \Rightarrow v_1 = \frac{A_2}{A_1} v_2$$

$$\Delta p = \frac{\rho}{2} \left(v_2^2 - \left(\frac{A_2}{A_1} \right)^2 v_2^2 \right)$$

$$v_2 = \frac{1}{\sqrt{1 - \left(\frac{A_2}{A_1} \right)^2}} \sqrt{\frac{2}{\rho} \Delta p}$$

$\frac{A_0}{A_1} = m$ koeficijent ili modul prigušnice

$\frac{A_2}{A_0} = \mu$ koeficijent suženja mlaza

$$\frac{A_2}{A_1} = m\mu \Rightarrow v_2 = \frac{1}{\sqrt{1 - m^2 \mu^2}} \sqrt{\frac{2}{\rho} \Delta p}$$

Volumenski protok nestlačive tekućine

$$Q = v_2 A_2 = v_2 \mu A_0$$

$$Q = \frac{\mu}{\sqrt{1 - m^2 \mu^2}} A_0 \sqrt{\frac{2}{\rho} \Delta p} \text{ (teoretska vrijednost)}$$

Praktička vrijednost - u obzir se uzima brzinski korekcijski faktor ξ
 \Rightarrow vrijedi za brzine manje od kritične brzine, tj. brzine zvuka u dotičnom fluidu

$$Q = \frac{\xi \mu}{\sqrt{1 - \mu^2}} A_b \sqrt{\frac{2}{\rho} \Delta p} = \alpha A_b \sqrt{\frac{2}{\rho} \Delta p}$$

α – koeficijent protoka

$$Q = \alpha A_b \sqrt{\frac{2}{\rho} \Delta p} \quad \text{volumenski protok za nestlačive tekućine}$$

$$Q = \alpha \varepsilon A_b \sqrt{\frac{2}{\rho} \Delta p} \quad \text{protok plinova i para}$$

ε – ekspanzijski koeficijent ($\varepsilon = 1$ za tekućine)

Maseni protok:

$M = \rho Q$ za stlačive tekućine $\Rightarrow \rho$ se određuje ispred prigušnice

11. standardizirani signali

Standardizirani signali (Hrvatska)

Hidraulički signali: nisu standardizirani

Pneumatski signali: Standard IEC 382: 0.2 - 1 bar (10^5 N/m)

Električki (IEC 381):

- 0-20 mA= (opterećenje 0-600 Ω ili 0-1200 Ω) \rightarrow prava nula
Potrebne su 3 žice (uglavnom kod digitalnog prijenosa signala)
- 4-20 mA= \rightarrow živa nula
Potrebne su 2 žice, jer se uz mjerni signal može voditi i napajanje

Prednosti istosmjernih signala pred izmjeničnim:

- može se zanemariti impedancija linije, utjecaj vanjskih električkih i magnetskih polja, fazni pomaci, nisu potrebni oklopljeni kablovi

Prednosti istosmjerne struje pred istosmjernim naponom:

- moguće je serijsko povezivanje elemenata (pokaznih uređaja, alarmnih uređaja, pisača, regulatora)

12. kakva je statička karakteristika kod mjerenja protoka mjernim zaslonom – korijen ?

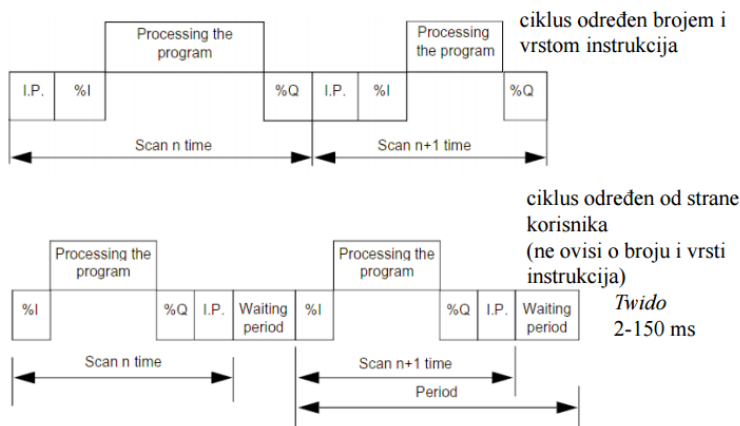
13. razlike između istosmjerne i izmjenične struje – kod istosmjerne nema utjecaja magnetskog polja

Prednosti istosmjernih signala pred izmjeničnim:

- može se zanemariti impedancija linije, utjecaj vanjskih električkih i magnetskih polja, fazni pomaci, nisu potrebni oklopljeni kablovi

14. ako ima nešto sa zaključavanjem linija odgovor je DA!

15. Od čega se sastoji jedan ciklus kod PLC-a?



16. Zašto se uvodi filter kod tahogeneratora?

Glavni razlog uprabe filtra je pulziranje brzine vrtnje onom frekvencijom kojom radi pojačalo snage

Usmeni: Statička i dinamička karakteristika? (Statičke karakteristike-Promatranje svojstava elementa u različitim radnim točkama, Dinamičke karakteristike-Promatranje svojstava elementa pri prijelazima među različitim radnim točkama) 24.str.

Ne sjećam se pitanje ali odgovor je bio Linearan i neliaran, onda je pitao jedan realni linearan primjer (odg.: otpornik, ako imamo napon i pomoću otpornika dobivamo struju tj. otpornik nam služi kao senzor), **onda je pitao gdje koristimo otpornik za pretvaranje električne signale** 'nisam siguran da li je točno ovako pitao' ali odgovor je u pojačalo...

Ponašanje pneumatskog motora? (ako ima oprugu je Proporcionalno ponašanje ako nema Integralno ponašanje) onda je pitao **Kako upravljamo motorom ako nema oprugu?** (uloga opruge jest da se motor može vratiti u njegovom normalnom stanju, pa ako nemamo oprugu onda moramo imati još jedan ulaz tako da imamo jedan niskotlačni ulaz i visokotlačni ulaz tako da se motor može vratiti na njegov položaj),(gledajte slike na str.178. i 187.)

I Hidraulički ventil onaj 5/3 (znači ima 5 upravljanih priključaka (3 ulaza i 2 izlaza) i 3 sklopna položaja (naprijed, nazad i miruje)) **onda je pitao a što je ventil 4/2** (ovaj ima samo dva stanja).

I to je to što sam zapamtio. I da, malo da znate dobivate puno bodova.

Sretno svima!

koja je velicina bliska omega c kod zatvorenog kruga upravljanja : omega g

koje tri vrste ponasanja poznajemo te kako utjecu

- **Proporcionalno (P) ponašanje**
 - Primjer: tlak na dnu posude je proporcionalan razini tekućine
- **Integralno (I) ponašanje**
 - Primjer: zakret osovine motora je integral brzine vrtnje motora
- **Derivativno (D) ponašanje**
 - Primjer: inducirani napon u zavojnici je derivacija struje zavojnice

na sto treba paziti prilikom modeliranja sa nelinearnim elementom

Nelinearni elementi (sustavi)

Sustav je nelinearan ako je operator sustava nelinearan

Teorija linearnih sustava se bavi rješavanjem linearnih diferencijalnih jednačbi → Odziv sustava na $u(t)$ određuje se iz odziva na $S(t)$ i $\delta(t)$

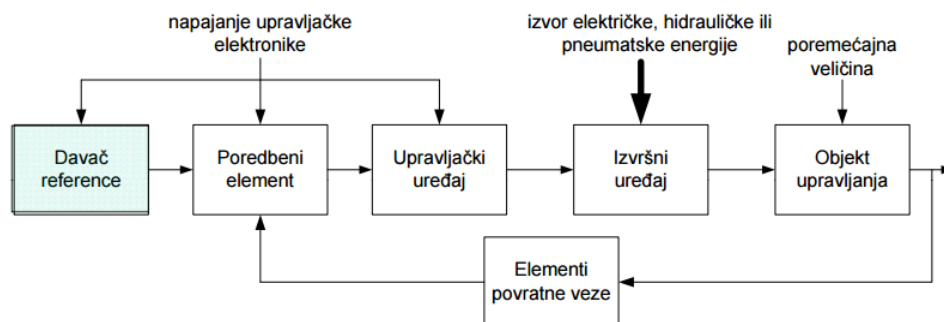
Realni sustavi – nelinearni → simuliranje na računalu

Postupak linearizacije → koriste se približne metode

nesto, odgovor; pneumatski motor sa kliznim ventilom

sto se spaja na taj motor; prigusenje opruga i masa, kao model bilo kojeg sustava

1. Nacrtati blokovski shemu nekog upravljačkog kruga, kaj ide gdje, koji elementi, sami smo trebali odrediti čime ćemo upravljati (nap brzina vrtnje, temperatura...).



2. Maketa robotske ruke, nacrtat shemu upravljanckog kruga, koji bi mjerni clan koristili, koji regulator i zasto?

Vjerojatno shema kao i ovo gore. Sad pogledate senzore u robotici, mjerne članove i regulatore, i sami odlučite.

3. Dva senzora; jedan od tih je bio otpornički termometar. od čega je građen?(82.)

Pasivni detektori

Izrađuju se od sljedećih metala:

Pt, Ni, Cu, W

Otpor se mijenja s temperaturom:

$$R_{\Theta} = R_0 [1 + A(\Theta - \Theta_0) + B(\Theta - \Theta_0)^2 + \dots]$$

za manja mjerna područja

ima manju preciznost:

$$R_{\Theta} = R_0 [1 + \alpha(\Theta - \Theta_0)]$$

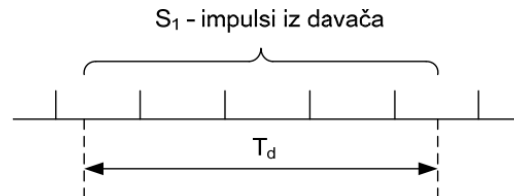
4. Hidraulički motor, kako bi napravili sustav s njim, a da se on može micat naprijed/natrag i stajat

Korisito bi hidraulički ventil 5/3. Ima 5 upravljivih priključaka i 3 sklopna položaja. Svaki položaj bi upravljao radom motora (lijevo, desno, mirovanje).

5. P/T, P i T, enkodери, rezolucija mjerenja, sinkroniziranost, kako se generiraju impulsi f_c (58.)

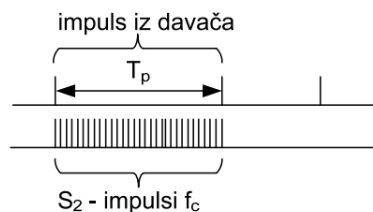
P – postupak

- Brojanje impulsa iz enkodera u unaprijed zadanom vremenu T_d
- Mjerenje nije sinkronizirano s dolaskom impulsa (može započeti taman iza dolaska impulsa i završiti taman prije dolaska još jednog impulsa) – utječe na točnost mjerenja kad je ukupni broj registriranih impulsa mali
- Kvaliteta mjerenja raste s brzinom vrtnje



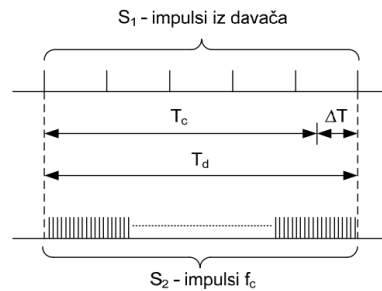
T – postupak

- Mjerenje je sinkronizirano s dolaskom impulsa (započinje s rastućim bridom impulsa i završava s rastućim bridom idućeg impulsa)
- Mjerenje trajanja jednog impulsa enkodera T_p obavlja se na način da se za vrijeme mjerenja jednog impulsa u drugom brojilu paralelno broje impulsi iz izvora poznate visoke frekvencije f_c (reda veličine MHz)
- Kvaliteta mjerenja bolja pri nižim brzinama vrtnje



Kombinirani P/T postupak (Ohmae i dr.)

- Objedinjava dobre strane P- i T- postupka
- Predstavlja standard u industriji
- Početak i kraj mjerenja sinkroniziran s dolascima impulsa iz davača



Izračunavanje brzine vrtnje

$$\omega = \frac{x}{T_d} = \frac{x}{T_c + \Delta T} \Rightarrow n = \frac{30}{\pi} \omega$$

$$\left. \begin{aligned} x &= \frac{2\pi}{P} S_1 \\ T_d &= \frac{S_2}{f_c} \end{aligned} \right\} n = \frac{60 f_c S_1}{P S_2}$$

Dinamička pogreška

$$|\Delta n|_{din} = \frac{60 f_c \Delta S_1}{P S_2} = \frac{60 M_b T_d}{2\pi J_u} \frac{T_d}{2}$$

ista kao kod P-postupka

Rezolucija mjerenja

$$Q_n = \frac{n}{S_2 - 1}$$

bolja pri nižim brzinama

Statička pogreška

$$\varepsilon_s [\%] = 100 \frac{Q_n}{n} = \frac{100}{S_2 - 1}$$

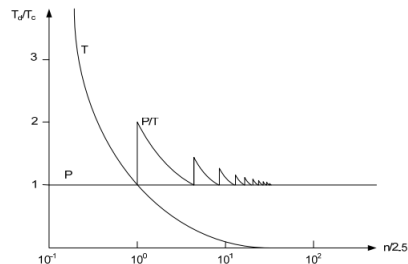
$$= f(f_c, T_d) = konst.$$

Pogreška zbog nejednolikosti optičke rešetke manja S_1 puta

Vrijeme detekcije

$$T_d = T_c \quad \text{za } \Delta T = 0$$

$$T_d = \left(\frac{P n T_c}{60} + 1 \right) \frac{60}{P n} \quad \text{za } \Delta T \neq 0$$



6. Kako bi povezali dinamičku karakteristiku i statičku (nacrtaj neku linearnu). Odnosno kako se dolazi iz jedne u drugu. (23.)

Dinamičke karakteristike su prijelazi između statičkih točaka (karakteristika) pa po tome dobivamo vezu?

08/09

8. Zadavanje referenci i kakve sve reference postoje; (32.)

Zadavaju se kao Set Point – uaz u regulator. Iznosom reference se definira radna točka, promjenom reference se prelazi u novu radnu točku.

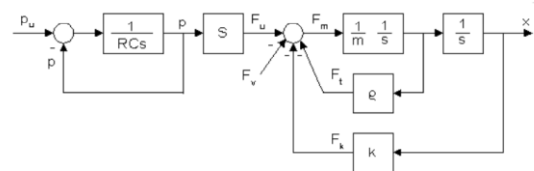
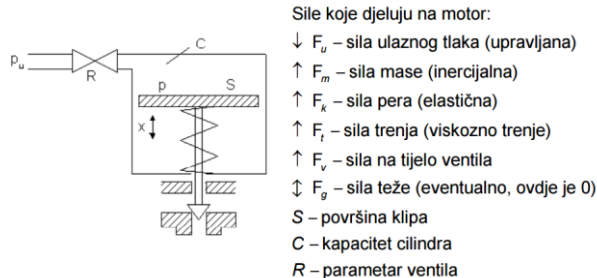
Različiti oblici zadavanja reference:

- kao analogne veličine → npr. napon na potencijometru, regulirani izvor napona
- kao digitalne veličine → A/D pretvorbom analognog signala, neposrednim zadavanjem digitalne vrijednosti, putem SCADA (System Control and Data Acquisition) sustava
- kao niza impulsa → npr. impuls = osnovni pomak, gušći niz impulsa = veća brzina gibanja, dulji impuls = veći pomak → upravljanje gibanjem pomoću impulsno-širinske modulacije
- kao logičko stanje

9. Koja brzina se zadaje kao referenca kod motora (trenutna, efektivna, SREDNJA);

10. Odziv sustava 3. reda na step (tangenta u nuli je horizontala);

11. Diferencijalne jednačbe i blok šema kod pneumatskog motora (sa klipom), napisati sve sile koje djeluju i koje su jos zanemarene, fizikalni princip rada (stlačivost zraka), blok šeme (znati da je to sustav 3. reda jer ima tri integratora), usporedba sa motorom s membranom (nema trenja, odziv), kako uvest integralno ponasanje, kako upravljat s njim, koja je razlika izmedju P i I ponasanja



Statičko ponašanje: $\ddot{x} = \dot{x} = 0 \rightarrow$ točnost ovisi o konstanti pera k i površini klipa S

Dinamičko ponašanje: **Proporcionalno (P)** ponašanje
Integralno (I) ponašanje (kad nema opruge)

Pneumatski motor – matematički model

$$\Sigma F = 0$$

$$F_u - F_m - F_k - F_t - F_v = 0$$

$$F_u = Sp$$

$$F_m = m \frac{d^2 x(t)}{dt^2}$$

$$F_k = k(x + x_0) \quad (x_0 - \text{prednapetost pera})$$

$$F_t = \rho \frac{dx(t)}{dt} \quad (\text{suho trenje zanemareno})$$

$$F_m + F_k + F_t = F_u - F_v$$

$$m \frac{d^2 x(t)}{dt^2} + k(x + x_0) + \rho \frac{dx(t)}{dt} = Sp - F_v$$

$$\text{Slijedi izvod posljednje jednačbe: } RC \frac{dp}{dt} + p = p_u$$

Razlika P i I ponašanja je prije

odgovorena

(179.) **12. Usporedba pneumatika-hidraulika (opet stlačivost);**

13. Hidraulička pumpa.

Hidrauličke pumpe

Pretvorba mehaničke u tlačnu energiju fluida – princip istiskivanja

Vrste pumpi:

- zupčaste
- klipne
- vijčane

Karakteristike:

- jednostruka horizontalna centrifugalna pumpa
- 3 brzine vrtnje
- kućište može biti iz bronce ili iz lijevanog željeza, rotor je iz GF – PP, a vratilo iz nehrđajućeg čelika
- radni fluid može biti: voda ili mješavina vode i glikola u omjeru 1:1
- brzina vrtnje 1100 do 2200 okr/min
- temperatura radnog medija: -10°C do 110°C
- maksimalni radni tlak 10 bar
- pokreće ju jednofazni dvopolni asinhroni motor

Primjena: - sustavi za grijanje, hlađenje i klimatizaciju (kao cirkulacijska i recirkulacijska pumpa)

WILO - Star - RS –
CIRKULACIJSKA PUMPA



Maksimalna količina ulja koja se može istisnuti

$$Q_i = V_f n \quad \text{idealna (maksimalna) vrijednost protoka}$$

$$V_f - \text{istisni volumen (određen dimenzijama pumpe)}$$

$$n - \text{broj okretaja pumpe}$$

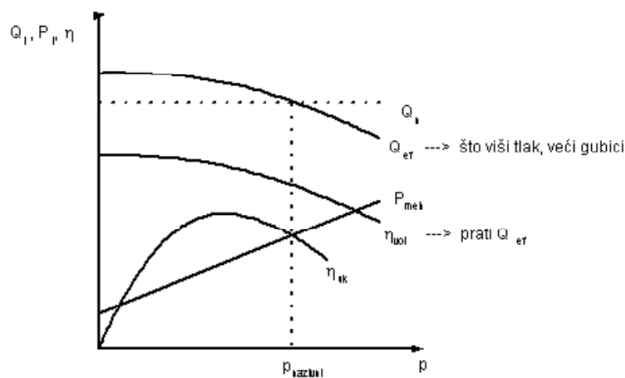
$$Q_{ef} = Q_i - Q_g = Q_i \cdot \eta_{vol}$$

$$Q_g - \text{količina izgubljena zbog nesavršenog brtvljenja}$$

$$\eta_{vol} - \text{količinski (volumetrijski) stupanj djelovanja}$$

Potrebna snaga:

$$P_{meh} = \frac{Q_i \cdot p}{\eta_{meh}} = \frac{Q_{ef} \cdot p}{\eta_{vol} \eta_{meh}} = \frac{Q_{ef} \cdot p}{\eta_{uk}}$$

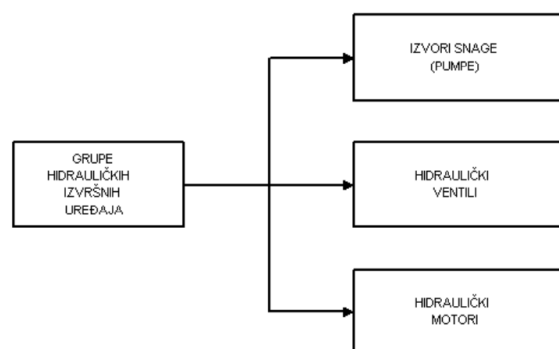


14. Nacrtati regulaciju brzine vrtnje.

15. Na 1. labosu kad smo mjerili temperaturu. 2 tipa, jedan brzi jedan spori, ovisi o vremenskoj konstanti materijala, a sastoji se od oklopa, to je jedna, a druga je nevodljivi materijal oko kojeg je spiralno namotana zica koja mijenja struju u ovisnosti o promjeni otpora zbog temperature, koja je druga vremenska konstanta, znaci sveukupno τ_{t2} . to se onda aproksimira pravcem i nastaje τ_{t1} i odnosi se na vremensku konstantu nevodljivog materijala + kasnjenje (mrtvo vrijeme), to je oklop. pitao je zakaj je jedan brzi, a drugi spori - zbog razlicite vremenske konstante, od razlicitih materijala je senzor napravljen.

16. Zašto funkcija zagrijavanja nije ista ko i funkcija hlađenja u primjeru sa kuhalom - zato jer je voda bolji vodič topline od zraka pa se u vodi brže zagrije, a na zraku se sporo hladi, funkcija je ustvari ista, samo je razlika u konstanti vodiča topline.

18. Pitao je hidraulički sustav , od čega se sastoji?



Mislim barem

19. Detektor protoka kako se realizira? Imaju gore vrste tih detektora u fluidima... Koji je najjednostavniji pretvornik koji se koristio za taj protok prije valjda u radiatorima da ljudi znaju koliko su potrošili?

20. Pneumatski motor, oznaka 53, 5 je broj ulaza i izlaza, a 3 regulacijska stanja ili tako nešto, ta 3 su kada puštamo tlak na jednu stranu da bi pomakli klip udesno, pa na drugu stranu da bi ga pomakli ulijevo a 3. stanje je kada želimo da motor stoji pa pustimo jednak tlak na obje strane.

21. Linerane karakteristike onih termometara sa labosa? Pogledajte u izvještajima

22. Kakav je ventil na hidrauličkom sustavu, kako radi taj sustav?

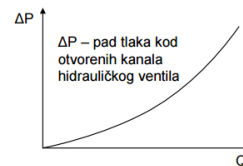
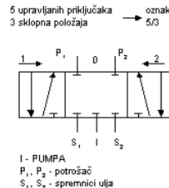
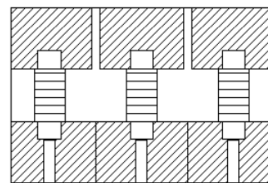
Hidraulički ventili

Upravlja protokom ulja od izvora energije (pumpe) do potrošača (motora)

Karakteristične vrijednosti kod hidrauličkih ventila:

- **Nazivni tlak** → do 40 Mpa (maksimalni trajni tlak, koji još omogućava besprijekoran rad)
- **Nazivni promjer** → 4 – 63 mm (unutarnji promjer priključnog voda – maksimalno dozvoljena protočna količina)
- **Način spajanja** → ugradnja u cjevovod, baterijsko ili pločasto ulančenje

VIŠESMJERNI VENTILI - otvaraju ili zatvaraju put struji ulja



23. Potom je pitao mjerenja protoka, kako od razlike kvadrata brzine (bernoulli) stići do struje. (187.)

24. Formule za mjerenje protoka preko razlike tlakova, kako su povezani Q i delta P preko formula.

$$\rho \frac{v_1^2}{2} + p_1 = \rho \frac{v_2^2}{2} + p_2$$

$$\Delta p = p_1 - p_2 = \frac{\rho}{2} (v_2^2 - v_1^2)$$

Uvjet kontinuiteta protoka:

$$A_1 v_1 = A_0 v_0 = A_2 v_2 \Rightarrow v_1 = \frac{A_2}{A_1} v_2$$

$$\Delta p = \frac{\rho}{2} \left(v_2^2 - \left(\frac{A_2}{A_1} v_2 \right)^2 \right)$$

$$v_2 = \frac{1}{\sqrt{1 - \left(\frac{A_2}{A_1} \right)^2}} \sqrt{\frac{2}{\rho} \Delta p}$$

$$\frac{A_0}{A_1} = m \text{ koeficijent ili modul prigušnice}$$

$$\frac{A_2}{A_0} = \mu \text{ koeficijent suženja mlaza}$$

$$\frac{A_2}{A_1} = m\mu \Rightarrow v_2 = \frac{1}{\sqrt{1 - m^2 \mu^2}} \sqrt{\frac{2}{\rho} \Delta p}$$

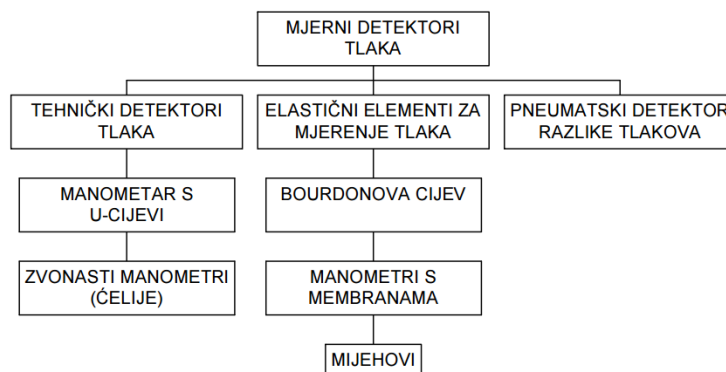
Volumenski protok nestlačive tekućine

$$Q = v_2 A_2 = v_2 \mu A_0$$

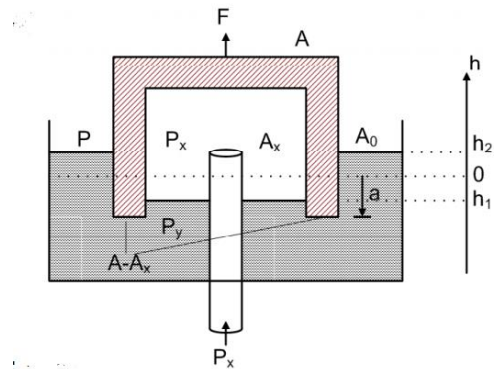
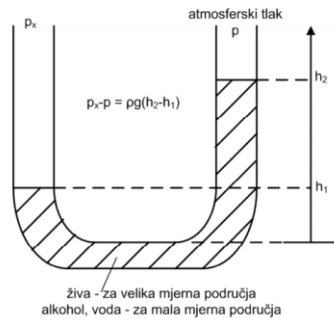
$$Q = \frac{\mu}{\sqrt{1 - m^2 \mu^2}} A_0 \sqrt{\frac{2}{\rho} \Delta p} \text{ (teoretska vrijednost)}$$

25. Navesti na koje se sve načine može mjeriti tlak.

Mjerni detektori tlaka



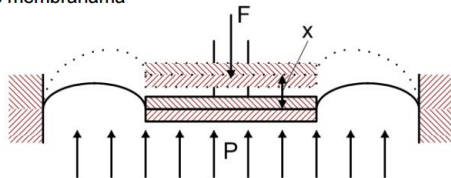
Manometar s U-cijevi:



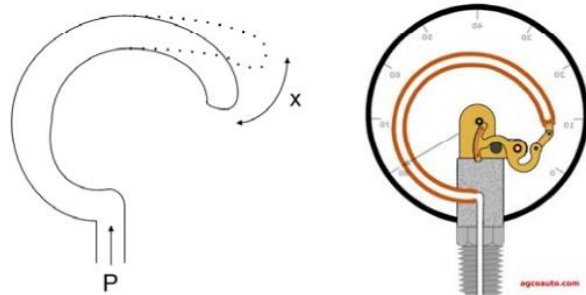
Zvonasti manometar

Bourdonova cijev

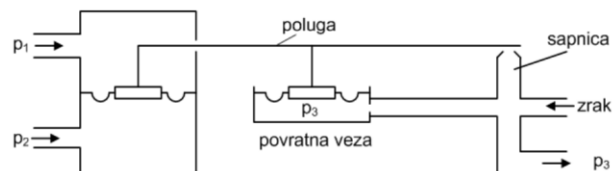
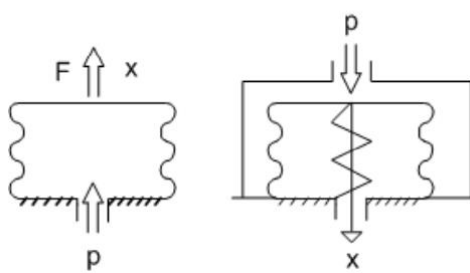
Manometri s membranama



Mijehovi – bez opruge i s oprugom



Pneumatski detektor razlike tlakova

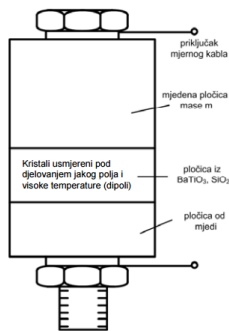


$p_2 - p_1 \uparrow \rightarrow$ poluga je bliže sapnici i smanjeno je strujanje zraka $\rightarrow p_3 \uparrow$
 p_3 – izlaz iz detektora i povratna veza na polugu

26. Objasniti piezoelektrični detektor.

Piezoelektrički detektori (aktivni)

- Pogodni za mjerenje dinamičkih veličina (vibracije, periodička gibanja)
- Pri djelovanju sile, zbog deformacije u materijalu dolazi do polarizacije



$$P = k_{\sigma}\sigma + k_p E$$

1. član – zbog meh. naprezanja
2. član – zbog utjecaja el. polja

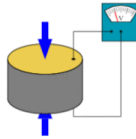
Obrnuti učinak:

El. polje stvara u piezoelektričkom materijalu rastezanje
Ako još na materijal djelujemo silom – naprežanjem, onda je rastezanje:

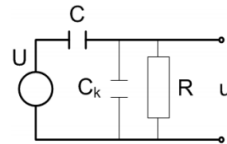
$$\varepsilon = \frac{\sigma}{Y_E} + k_{\varepsilon} E$$

Piezoelektrički motor (aktuator)

Promjena polariteta – promjena smjera deformacije



Nadomjesna shema piezoelektričkog detektora



C_k - kapacitet voda

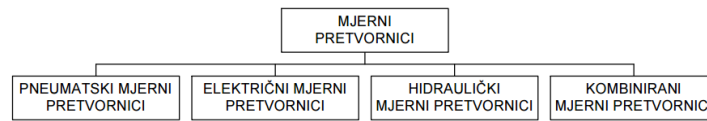
R - otpor voda i ul. otpor pojačala

Din. karakteristika:

$$G(s) = \frac{sCR}{1+s(C+C_k)R}$$

$$\text{Za } R \gg \rightarrow G(s) = \frac{C}{C+C_k}$$

27. Dosta detaljno o mjernim pretvornicima. Djeluje jako malo ali o ovim mjernim pretvornicima je pitao najdetaljnije moguće. E/p, P/E, sa kompenzacijom momenta i sile, način rada.

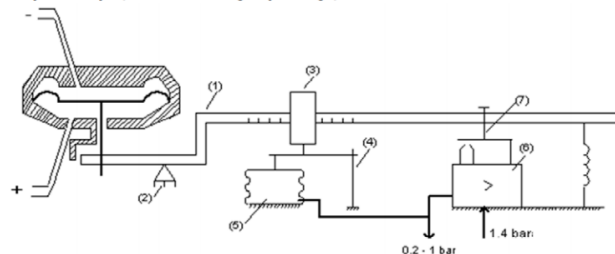


1. tip (engl. transducers): ulazna i izlazna veličina su fizikalno različite (pneumatski, električki)
2. tip (engl. transmitters): elementi za obradu signala (E/P, P/E, A/D, D/A)

Pneumatski mjerni pretvornici

- Daju normirani signal - tlak od 0.2 do 1 bara
- Npr. pretvornici temperature, tlaka, tlačne razlike, razine - rade na principu kompenzacijskog postupka
- Tri osnovna načina pretvorbe:
 - a) **Pretvorba na principu kompenzacije momenata**

- opis djelovanja pneumatskog mjernog pretvornika tlačne razlike:



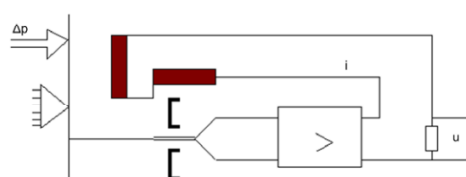
- Mjerni pretvornik sadrži **sustav vage s polugom (1)**
- Poluga vage je utežištena u **osovini (2)**.
- Lijevi krak poluge vezan je za membranu **detektora tlačne razlike**.
- Desni krak poluge vezan je preko **pomičnog jahača (3)** na krak **pomoćne poluge (4)**. Na desni krak poluge montirana je **odbojna pločica**, koja zajedno s **pneumatskom sapnicom** čini **pojačalo (7)**. Desni krak poluge ujedno je vezan i na **oprugu za podešavanje nul-točke**. Pomoćni izvor (kompresor) daje sustavu zrak pod tlakom od 1.4 bara, a **pneumatsko pojačalo (6)** na izlazu daje standardizirani signal od 0.2 do 1 bara. Ovaj signal se ujedno dovodi u **reakcijski mijeh (5)**, koji preko povratnog djelovanja na **pomoćnu polugu (4)** vrši protudjelovanje na desni krak **poluge (1)**.
- Pretvornik radi na principu uspoređivanja zakretnih momenata. Dok na ulaznu membranu djeluje **tlačna razlika**, vaga ima otklon i mijenja međusobni položaj **odbojne pločice i sapnice** - mijenja se tlak na izlazu **pojačala (6)**.
- Spomenuta promjena izlaznog tlaka steže ili isteže **mijeh (5)**, te u stacionarnom stanju dovodi do potpune kompenzacije momenata.
- Dok ulazni tlakovi na membrani mogu biti proizvoljne vrijednosti, izlazni tlak iz pretvornika je u okvirima propisanog standarda. Promjena mjernog područja može se obaviti micanjem **jahača (3)**, tj. promjenom duljine desnog kraka **poluge (1)**.

Električni mjerni pretvornici

- Daju normirani signal – istosmjernu struju 0-20 mA
- Tri osnovna načina pretvorbe:
 - a) **Pretvorba na principu kompenzacije sile** (koncept iz 1931.) → rješenje problema mjerenja količine topline (protoka tople vode)

$$Q \sim \sqrt{\Delta p} \Rightarrow \Delta p \sim Q^2 \Rightarrow F_u = KQ^2 \text{ (djelovanje preko mijeha, membrane ili zvona)}$$

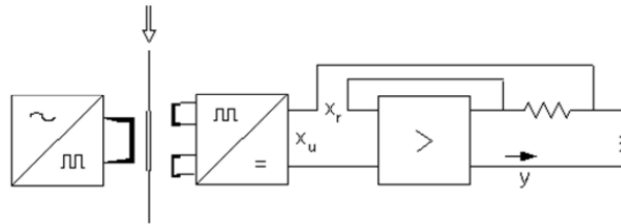
$$F_i = K_i i^2 \text{ (elektrodinamička sila)} \rightarrow i \approx Q \text{ (elektromehaničko korjenovanje)} \text{ ako } F_i = F_u$$



- Promjena ulazne veličine remeti ravnotežu momenata i uzrokuje promjenu izmjeničnog napona induktivnog davača (dif. transf.)
- Izlazna istosmjerna struja iz pojačala djeluje povratno na polugu preko kompenzacijskog elektrodinamskog kruga

Električni mjerni pretvornici

b) **Pretvorba na principu kompenzacije napona** – na izlazu iz induktivnog davača (dif. Transformatora) ispravljeni je napon x_u kome se suprotno veže napon povratne veze x_r



Ako je koeficijent pojačanja strujnog pojačala $K \gg 1$, tada je $x_u - x_r = 0$

$$x_r = K_1 y$$

$$x_u - x_r = x_u - K_1 y = 0 \rightarrow y \sim x$$

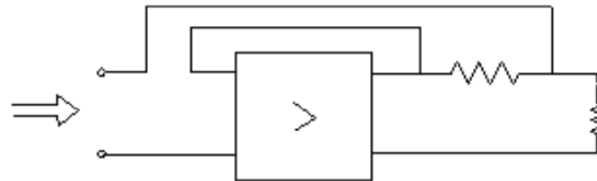
Takav pretvornik ima linearnu karakteristiku

- može se izvesti i s korjenovanjem

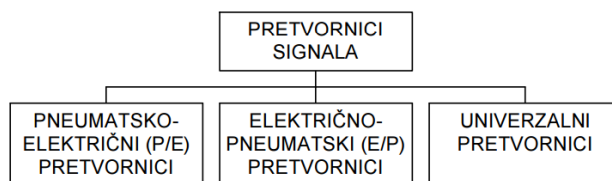
c) **Pretvornik milivolta** - radi na principu kompenzacije napona

- osnovni problem je konstrukcija istosmjernog pojačala
- galvansko odvajanje ulaza od izlaza - veza s procesnim računalima

Na primjer za priključak napona iz termoelementa



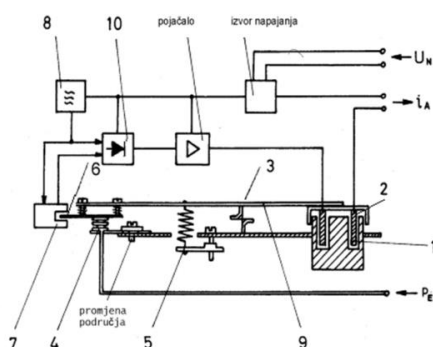
Pretvornici signala



Uloga **pneumatsko-električnih (P/E)** pretvornika - pretvoriti normirani pneumatski signal od 0.2 do 1 bara u normirani električni signal od 0 do 20 mA

Uloga **električno-pneumatskih (E/P)** pretvornika - pretvoriti normirani električni signal od 0 do 20 mA u normirani pneumatski signal od 0.2 do 1 bara

Princip kompenzacije momenta – opis djelovanja pretvornika



P/E pretvornici signala

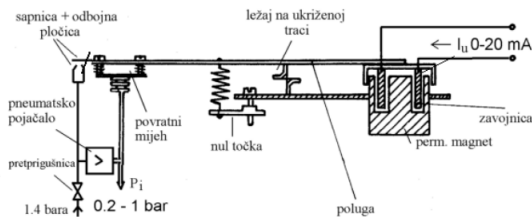
- Na stabilnu aluminijsku ploču montiran je **sustav vage s polugom** (9).
- Poluga vage je utežištena **ukriženim trakama** (3).
- Jedan krak poluge nosi **uvlačni svitak** (2), a drugi **opružni mijeh** (4) i **opругu za nul točku** (5).
- Na slobodnom kraju nalazi se **alumijska zastavica** (6) koja ulazi u polje **svitaka oscilatora** (7).
- Pretvornik radi na principu uspoređivanja zakretnih momenata. Dok na opružni mijeh djeluje **normirani tlak**, vaga ima otklon i mijenja položaj zastavice - mijenja se amplituda titraja **oscilatora** (8).
- Napon iz oscilatora se ispravlja (10) i dovodi na ulaz **pojačala**, koje na izlazu daje **normiranu struju**.
- Struja teče kroz **uvlačni svitak** (2) i izaziva **kompenzacijsku silu**.

E/P pretvornici signala

Pneumatski izvršni članovi - koriste se gdje to nalažu sigurnosno-tehnički razlozi

Sličnost u konstrukciji s P/E pretvornicima - samo su uloge uvlačnog svitka i opružnog mijeha zamijenjene

1. Princip kompenzacije momenta (sile na polugu) (>5 mA)



Univerzalni pretvornik signala

Primjer: SIEMENS SITRANS TW

- Prikladan je za sve vrste temperaturnih mjerenja, kao i mjerenja struje, napona i otpora.
- Ima galvansku zaštitu u svim krugovima.
- Izlazni signal mu je 0/4 do 20 mA sa HART-om.
- Može se programirati putem PC-a preko SIMATIC PDM-a. Ima priključak za dvije ili četiri žice.

