

## 1. Podela metrologije

Metrologija je nauka koja se bavi realizacijom i održavanjem etalona fizičkih veličina, metodama merenja pre svega fizičkih veličina, i obradom i analizom izmerenih rezultata.

Deli se na:

- 1) **Zakonsku metrologiju (regulativu)** - Oblast koju reguliše država zakonima I propisima. Zakonska metrologija obezbeđuje: merno jedinstvo u zemlji, razvoj metrologije u skladu sa tehnološkim razvojem zemlje, povećanje kvaliteta roba i usluga, zaštitu potrošača u kupoprodajnim odnosima, I kontrolisanu zaštitu čovekove životne i radne sredine.
- 2) **Industrijsku metrologiju** - Oblast koja omogućuje da se industrijski i drugi proizvodi izradjuju u skladu sa medjunarodnim I regionalnim standardima.
- 3) **Naučnu metrologiju** - Oblast koja objedinjuje razvojni i naučno istraživački rad u oblasti metrologije i koja uključuje merenje najveće tačnosti I preciznosti u metrološkim laboratorijama

## 2. Upotrebljene karakteristike mernih instrumenata

**Normalni uslovi** određuju granice merene veličine unutar kojih se može primeniti merni uredaj.

**Granični uslovi** su granične vrednosti normalnih uslova, tj. vrednosti merene veličine za koje je još uvek moguće merenje bez degradacije instrumenta.

**Referentni uslovi** su tačno zadati uslovi u kojima se mora obaviti merenje - baždarenje.

## 3. Statičke karakteristike mernih instrumenata

Statičke karakteristike: tačnost, preciznost-ponovljivost, rezolucija, linearost, osetljivost, pokretljivost, stabilnost, histerezis, ulazna impedansa.

**Tačnost** je stepen slaganja pokazivanja mernog instrumenta sa stvarnom vrednošću merene veličine. Određuje se testiranjem instrumenta sa etalonima, pri tačno definisanim uslovima, velik broj puta. Tačnost je definisana najvećom ostvarenom greškom.

Važno je razlikovati tačno i precizno, može biti precizno i tačno, precizno i netačno, neprecizno i tačno, i neprecizni i netačno.

**Preciznost - ponovljivost** je sposobnost da aparat pokazuje vrednosti koje su medjusobno bliske ili iste. Način koji na najbolji način pokazuje preciznost je standardna devijacija. Standardna devijacija je statistička mera ponovljivosti merenja i definiše se kao  $\sigma = \sqrt{\frac{1}{n} \sum (X_i - \bar{X})^2}$ .

**Razlaganje - rezolucija** mernog sredstva je sposobnost razlikovanja bliskih vrednosti, tj. min. rastojanje između 2 vrednosti merene veličine koju možemo detektovati. Ako se radi o uredjaju sa analognom indikacijom onda je najmanji podeok moć razlaganja, a ako se radi o digitalnom očitavanju, tada je jedinica poslednje cifre karakteristika razlaganja.

**Linearost** je mera odstupanja statičke karakteristike mernog sredstva od idealne prave. Statička karakteristika je kriva koja prikazuje vezu između merene veličine i pokazivanja instrumenta u ustaljenom stanju.

**Osetljivost** mernog sistema ili uredjaja se dobija iz  $K = \Delta y / \Delta x$  i predstavlja nagib statičke karakteristike. Osetljivost može da bude konstantna (linearni sistem) ili da zavisi od veličine merene veličine.

**Pokretljivost** mernog sistema je odredjena pragom, tj. min. vrednošću signala koju moramo dovesti da bi došlo po početka merenja (da se pomeri kazaljka). U tom smislu se definiše najmanji merni opseg i razlaganje.

**Stabilnost** mernog uredjaja predstavlja nepromenljivost statičke karakteristike u vremenu.

**Histerezies** je pojava koja dovodi do neponovljivog pokazivanja instrumenta u zavisnosti od načina promena ulazne veličine pri merenju. Karakteristično je da pri povećanju ulazne veličine imamo veća pokazivanja u odnosu na pokazivaja koja dobijamo kada se smanjuje ulazna veličina, kao što je to prikazano na slici. Mera histerezisa je maksimalna razlika izlaznih vrednosti koje se dobijaju za istu ulaznu vrednost.

$$Gh = (y_g - y_d) / y_{max} * 100$$

**Ulazna impedansa** predstavlja parametar koji definiše kako merni element opterećuje sistem. Pri merenjima u kojima posmatramo prostoperiodične signale, a i pri drugim merenjima u kome je ulazni signal promenljiv definiše se pojam ulazne i izlazne impedanse mernog uredjaja. Od interesa je ul. impedansa uredjaja za merenje i izl. impedansa materijalizovane mere.

## 4. Opšte karakteristike senzora

Senzor je uređaj koji se stavlja negde u proces i vrši merenje neke fizičke veličine i na svom izlazu daje neki signal.

Senzor ili merni element detektuje merenu veličinu od interesa, npr. pritisak – membrana. Transmiter pretvara izlazni signal senzora u standardizovan signal. Transducer ili merni pretvarač pretvara fizičku veličinu u alternativnu formu: električni signal, pneumatski signal, hidraulični signal.  
Transducer=senzor+transmiter.

Značaj senzora: Prikupljanje podataka o objektu ili procesu u svrhu: Dijagnostika, analiza, projektovanje, upravljanje.

Primena u svim inženjerskim i mnogim drugim oblastima.

Kalibracija ili statička karakteristika senzora je relacija između fizičke veličine X i mernog signala S.

Senzor se kalibriše dovođenjem na njegov ulaz elemente skup poznatih vrednosti fizičke veličine i snimajući odziv

Interferentni ulazi – odziv senzora predstavlja linearnu kombinaciju interferentnog ulaza i ulaza za merenu fizičku veličinu.

Modifikujući ulaz – ovaj ulaz menja statičku karakteristiku senzora. Temperatura je vrlo čest modifikujući ulaz.

## 5. Dinamičke karakteristike senzora sa primerima

Odziv senzora na promenljivu pobudu se razlikuje u odnosu na odziv na konstantnu pobudu. Razlog je postojanje elemenata koji akumuliraju energiju: Inercije: masa, induktivnost. Kapacitivne: elastičnost, električna kapacitivnost, termička kapacitivnost.

Senzori sa karakteristikom prenosa nultog reda:

Karakteristike: Nulto kašnjenje, Beskonačan propusni opseg, Nema promene faze, Ne postoje elementi koji akumulira energiju.

Senzori sa karakteristikom prenosa prvog reda: Ima jedan element koji akumulira energiju, Step odziv, A amplituda stepa, K (1/a<sub>0</sub>) statičko pojačanje, τ (a<sub>1</sub>/a<sub>0</sub>) vremenska konstanta  $y(t)=Ak(a-e^{-t/\tau})$

Senzori sa karakteristikom prenosa drugog reda: Postoje dva elementa koji akumuliraju energiju, k statičko pojačanje, ζ faktor prigušenja, on prirodna učestanost

$$a_2 \frac{d^2y}{dt^2} + a_1 \frac{dy}{dt} + a_0 y(t) = x(t) \Rightarrow \frac{Y(s)}{X(s)} = \frac{1}{a_2 s^2 + a_1 s + a_0}$$
$$\frac{Y(s)}{X(s)} = \frac{k\omega_n^2}{s^2 + 2\zeta\omega_n s + \omega_n^2}$$

$$k = \frac{1}{a_0}, \quad \zeta = \frac{a_1}{2\sqrt{a_0 a_1}}, \quad \omega_n = \sqrt{\frac{a_0}{a_2}}$$

## 6. Klasifikacija senzora

Senzori se dele na *diskrete* i *analogne*. Diskretni: izlazni signal može imati samo diskrete predefinisane vrednosti. Diskretni senzori se deli na *binarne* i *digitalne*. Binarni: Izlaz se može naći u dva stanja. Izlaz je najčešće u obliku kontakta ili open kolektor tranzistora koji ima stanje: uključeno (on) – zatvoren kontakt, isključeno (off) – otvoren kontakt.

Podela binarnih senzora, prema stanju izlaza kad senzor nije aktiviran:

NO (normal open) normalno otvoren izlaz, NC (normal close) normalno zatvoren izlaz

Podela binarnih senzora prema tipu izlaza:

NPN struja ulazi u izlaz senzora, PNP struja izlazi iz izlaza senzora

Primeri: Granični prekidač, nivostati, presostati, blizinski detektori.

Digitalni: Izlazni podatak u paralelnom digitalnom formatu ili u obliku povorke impulsa koji se prebrojavaju, npr. Apsolutni optički encoder, inkrementalni optički encoder.

**Analogni:** izlazni signal može imati bilo koju vrednost unutar predefinisanog opsega

Odziv im je u obliku kontinualnog analognog signala predefinisanog tipa i opsega

Prednosti – daju više informacija o procesu nego diskretni senzori

Nedostaci – veća kompleksnost u poređenju sa diskretnim senzorima, veća podložnost uticaju šuma

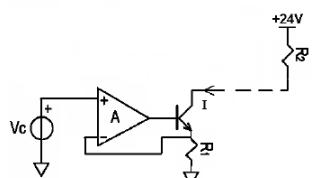
## 7. U/I konvertori

Pretvara naponski signal u standardni strujni.

Zahtevana visoka tačnost, linearnost i mali temperaturni drift (promena karakteristike u zavisnosti od temp.)

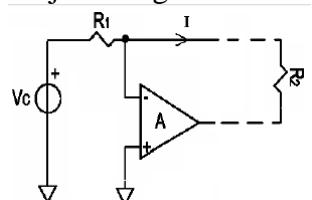
Konstrukcija:

1) **Tranzistorski** - Sastoje se od tranzistora npr. NPN tipa i otpornika koji se postavi u kolo sa emitom. Ako na bazu tranzistora dovedemo konstantan napon V, struja kroz kolektor će biti  $I_c$ . Po II kirhokovom zakonu  $V - V_{be} - R_e I_c = 0$ ,  $I_c = V - V_{be} / R_e$ . Struja  $I_c$  zavisi samo od otpornosti  $R_e$  i to radi kao strujni generator, ali prilično neidealno.

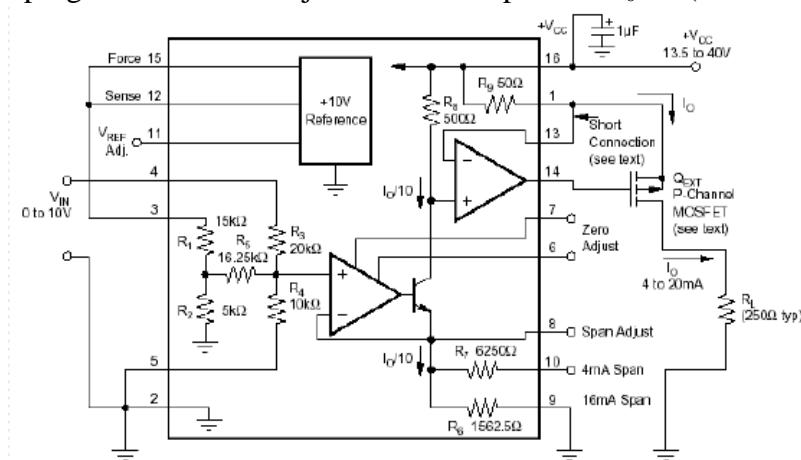


2) **Bazirani na OP** – Mnogo bolji nego tranzistorski. Usled virtualne mase, vidi se da je  $I = V_c / R_1 = \text{const}$ . Dokle god OP ne ode u zasićenje  $I = V_c / R_1$ . Dobra stvar je što je jednostavan. Loša stvar je što ovaj potrošač  $R_2$  nije referenciran u odnosu na masu. Da jeste, na PLC koji nema galvanski izolovane analogne ulaze, mogli bi dovesti više ovih zajedničkih konvertora jer bi svi imali zajedničku masu. Ovo kolo možemo dovesti na PLC, samo ako su analogni ulazi potpuno galvanski izolovani, pošto svaki pliva u odnosu na drugi, tj. nemaju zajedničku referentnu tačku, a takvi ulazi su prilično skupi.

Druga šema je strujni izvor sa OP. Ako se na njegov neinvertujući ulaz dovede napon  $V_c$ , OP će težiti da taj napon ostvari na emitoru tranzistora (ponašaće se kao bafer). Tranzistor predstavlja regulacioni element. Ako na neinvertujućem ulazu napon malo poraste, on će biti malo pozitivniji od napona na invertujućem ulazu i tada će porasti napon na bazi tranzistora, a samim tim i struja baze, struja koja ulazi u tranzistor. Istovremeno će se povećati i struja  $I$ . Ona će se povećavati sve dok se ne formira napon na  $R_1$  koji je jednak naponu  $V_c$ . Kada struja  $I$  opadne, OP će da je podigne i obrnutu. To znači da je u pitanju negativna povratna sprega. Dobra stvar je što je potrošač  $R_2$  referenciran na  $+24V$ , tj. naponu napajanja, što odgovara velikom broju analognih ulaza. Loša stvar je što na  $R_1$  odlazi ceo ulazni napon  $V_c$ .



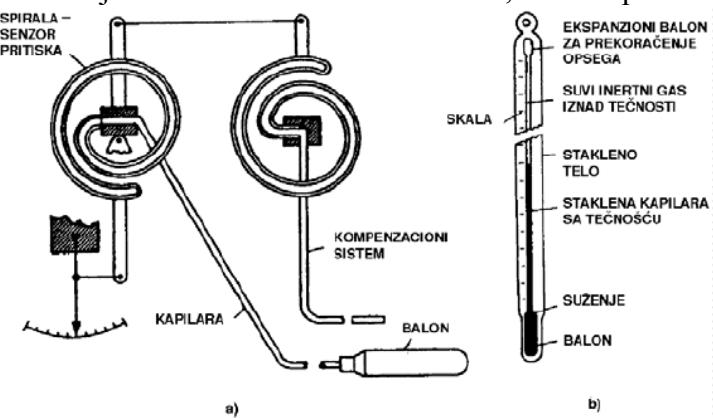
3) **Monolitna integrisana kola** - prijemnik signala referenciran prema masi. Laserski trimovani otpornici obezbeđuju visoku tačnost. Greška linearnosti ispod 0.005%. Ugrađeni otpornici za izbor ulaznog i izlaznog opsega. Minimalan broj eksternih komponenti.  $I_o = 10(V_{refin}/16 + V_{in1}/4 + V_{in2}/2)$ .



## 8. Ekspanzionalni termometri

To su termometri čiji se medijum grejanjem širi, a hlađenjem skuplja, tako da linearno menja svoje geometrijske dimenzije. Ukoliko je radni medijum smešten u prostor sa konstantnom zapreminom, tada se umesto promene dimenzija javlja promena pritiska. Gasni ekspanzionalni termometri rade na principu Gej-Lisakovog zakona o promeni pritiska kaptiranog gasa ( $V=\text{const.}$ ) kada se menja temperatura koji glasi  $p_t = p_0(1+\alpha t)$ , gde su:  $p_0$  pritisak gasa na temp.  $0^\circ\text{C}$ ,  $p_t$  pritisak gasa na temp.  $t$  i  $\alpha$  termički koeficijent pritiska jednak  $1/273,15\text{K} = 0,00366\text{K}^{-1}$  za idealni gas. Gasni ekspanzionalni senzori temperature sastoje se od balona kao rezervoara gase, kapilare kao spojnog voda i senzora pritiska. Senzor pritiska obično je Burdonova cev, spirala ili helikoida, pa odatle tradicionalni naziv manometarski termometri. Balon, kapilara i senzor pritiska spojeni su hermetički u jedinstvenu celinu.

Kod ekspanzionih termometara gas se nalazi u balonu. Završetak kapilare je budonova cev. To je cev savijena u spiralu. Kada se poveća pritisak ona će pokušati da se odmota. Kada zagrejemo gas u balonu on će početi da se širi, povećaće mu se pritisak, burdonova cev će pokušati da se odmota, usled čega će pomeriti kazaljku i očitaćemo vrednost temperature. Najveća količina gasa mora biti smeštena u balonu, da bi promena temp. gase najviše utacala na pokazivanje instrumenta. Takođe treba sprečiti da spoljašnja temp. utiče na promenu pokazivanja instrumenta. To se radi pomoću kompenzacionog sistema koji meri temp. pokaznog instrumenta. Ako ta temp. raste, onda će kompenzacioni sistem tako da dejstvuje na ovu pobudu da kazaljku vraća ka nižim vrednostima, tako da porast temp. pokaznog instrumenta kompenzuje.

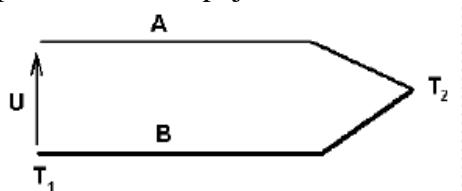


## 9. Termoparovi

To su termometri koji fizički predstavljaju provodnike od 2 različita materijala. Kada su krajevi provodnika na različitim temperaturama  $T_2 > T_1$ , između njih nastaje topotok tok od toplijeg prema hladnjem kraju. Prenos toplotne je usko povezan sa kretanjem slobodnih elektrona. Njihova koncentracija i pripadni potencijal neravnomerno su raspoređeni duž provodnika, pa se javlja struja  $I_e = -k_e dU/dx$ . Istovremeno se javlja struja zbog temperaturnog gradijenta  $I_t = -Kt dT/dx$ . Koeficijenti  $K_e$  i  $K_t$  označavaju proporcionalnost struja  $I_e$  i  $I_t$  sa gradijentom potencijala, odnosno gradijentom temperature. Znak minus upućuje na negativan prirast potencijala i temp. sa pozitivnim prirastom rastojanja duž provodnika. Budući da nije zatvoreno nikakvo spoljašnje el. kolo, ukupna struja kroz provodnik jednak je nuli, tj.  $I_e + I_t = 0$ , odakle proizilazi da je  $dU = -(Kt/K_e)dT$ . Napon koji nastaje kao rezultat temp. razlike  $T_2 - T_1$  između krajeva posmatranog provodnika naziva se termoelektrični napon, a njegova vrednost se dobija integracijom jednačine  $U_{T_2} - U_{T_1} = \int (KdT)$ . Koeficijent  $K = -(Kt/K_e)$  zavisi od svojstva materijala od kojeg je izrađen provodnik i temperature. Za male promene temp. može se smatrati da je  $U_{T_2} - U_{T_1} = K(T_2 - T_1)$ .

Načini spajanja: Zavarivanje topljenjem, lemljenje, potapanje u živu ili rastopljen metal, lemljenje za treći metal, pričvršćenje stezaljkom ili trakom

Karakteristike termopara: Aktivan senzor zato što za svoj rad ne zahteva napajanje, tj. on je generator, vrlo mali izlazni napon, nelinearna statička karakteristika, meri razliku temperature, kompenzacija hladnog kraja, parazitni termospojevi.

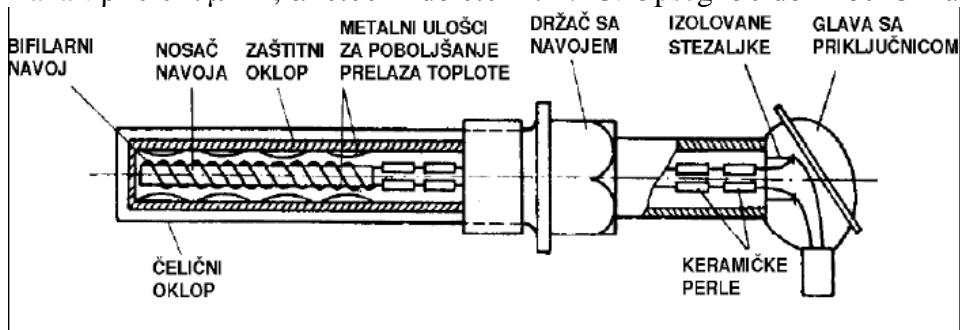


## 10. Termootporni senzori temperature

Senzori na ovom principu često se označavaju akronimom RTD (Resistance Temperature Detector). Termootpornici od metala se prave u obliku kalema, po pravilu sa bifilarnim navojima. Prečnik žice je 0,05-0,1 mm, a dužina 50-100 mm. Nelinearnost statičke karakteristike manja je nego kod termoelementa. Za njenu aproksimaciju služe polinomi do 20-og reda, ali se u praksi obično uzimaju prva 3 člana.  $R_t(T) = R_0 + R_0\alpha [T - \delta(T/100-1)] T/100 - \beta(T/100-1)(T/100)^3$ , gde su  $R_t$  otpor na temp.  $T$ ,  $R_0$  otpor na temp. 0°C. Platina je najbolji materijal za izradu metalnih termootpornika jer se može dobiti sa čistoćom do 99,999%, hemijski je neutralna, ima dovoljno veliki linearni temperaturni koef. otpora ( $\alpha = 0,003921/^\circ\text{C}$ ), a njen specifični otpor je  $\rho = 0,1 \times 10^{-6} \Omega\text{m}$ .  $\beta = 0$  za  $T > 0$ ;  $\beta = 0,11$  za  $T < 0$ ,  $\delta = 1,49$ , Opseg -260 do +650°C max 1500°C, Pt100 i Pt1000. Termootpornički senzor je pasivan i kroz njega mora prolaziti neka struja da bi se dobio napon koji se može meriti. Međutim, prolaskom struje kroz termootpornik nastaje Džulova toplota  $I^2R$ , koja ga dodatno zagreva. Ovaj najveći nedostatak termootporničkih senzora ispoljava se kod platinskog kao sistemska greška  $\pm 0,2$ - $0,5^\circ\text{C}$  pri  $I^2R = 10\text{mW}$ .

Nikl:  $\rho = 0,128 \mu\Omega\text{m}$ ,  $\alpha = 0,00586 1/^\circ\text{C}$ . Opseg -50 do +250°C max 430°C.

Bakar:  $\rho = 0,017 \mu\Omega\text{m}$ ,  $\alpha = 0,0042$  do  $0,0427 1/^\circ\text{C}$ . Opseg -50 do +180°C max 260°C.

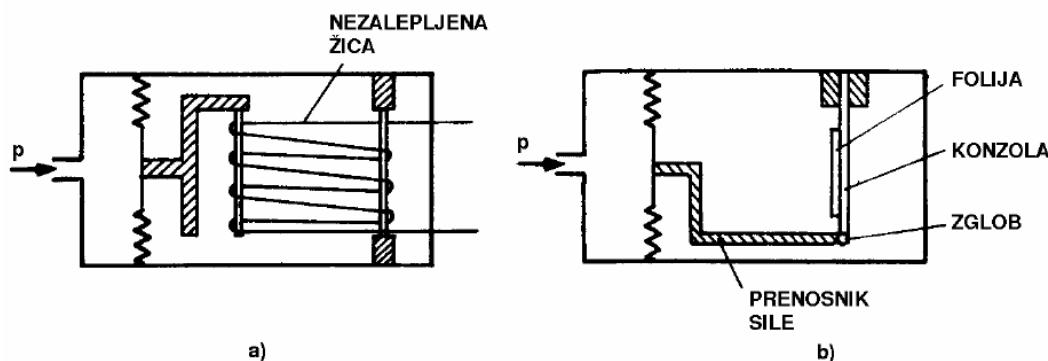


## 11. Tenzometarski senzori

Tenzoelement (tenzometar, tenzotpornik, rastezna traka, merna traka, strain gage) je pasivni otpornički senzor mehaničke deformacije. Njegov rad se zasniva na činjenici da se otpor el. provodnika menja kada je taj provodnik izložen elastičnoj deformaciji. Efekat je otkrio Tomson (Lord Kelvin) 1856, a u praktične svrhe prvi su ga primenili Ruge i Siemens. Tenzoelement je prvenstveno namenjen merenju površinskih deformacija, kao i posrednom merenju drugih veličina koje mogu izazvati deformaciju. Tako se tenzoelementi primenjuju u gradnji senzora pritiska, sile, momenta, ubrzanja, vibracije, nivoa i dr.

Prema načinu izrade razlikuju se 4 tipa tenzoelementa:

- 1) Slobodna ili nezalepljena žica koja je upeta na krajevima na odgovarajućem skeletu. Za izradu se uzima žica od konstantana debljine 0,025-0,02 mm i dužine 2-4 cm. Sa pomeranjem pomičnog dela skeleta dolazi do istezanja ili sabijanja žice, što se može detektovati odgovarajućim Vitstonovim mostom.
- 2) Metalni ili poluprovodnički meandar u obliku folije, koja je čitavom dužinom zalepljena na deformacionu površinu. Ovaj tip tenzoelementa najviše je zastupljen u tehnici senzora.
- 3) Tankoslojni metalni otpornik (thin film) trajno deponovan na deformacionoj površini.
- 4) Poluprovodnički otpornik unesen difuzionim postupkom u deformacioni element od silicijuma. Takav tenzoelement naziva se pijezorezistivni senzor.



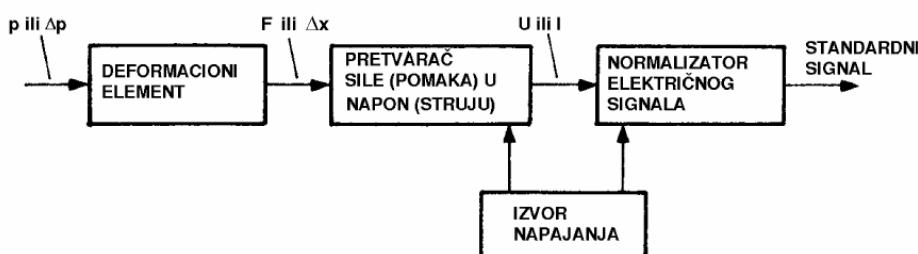
## 12. Senzori pritiska

Kategorije merenja pritiska:

- 1) **Merenje apsolutnog pritiska** kao razlike izmedju pritiska u specificiranoj tacki fluida i pritiska apsolutne nule, koji ima vakum.
- 2) **Merenje atmosfersog pritiska**. oko 760 mm Hg
- 3) **Merenje diferencijalnog pritiska**, kao razlike izmedju dva pritiska

Pritisak može da izvrši mehaničku deformaciju, tako da na taj način možemo da ga pretvorimo u neki električni signal.

Senzori pritiska se sastoje od nekoliko elemenata:



**1) Deformacioni element** – posebno pravljen element koji treba da pritisak pretvori u elastičnu deformaciju (promenu dužine, sabijanje itd.) Ovde smo pritisak pretvorili u promenu neke dimenzije (ugla, dužine itd.).

**2) Pretvarač sile u napon ili struju** – zahteva električno napajanje i to je najčešće Vitstonov most.

**3) Normalizator električnog signala** – pretvarač koji će pretvoriti izlazni napon ili struju u standardni strujni signal.

**4) Reduktor sile** – element koji redukuje silu. Koristi se kada se mere veći pritisci.

**Membrana** je deformacioni element koja može biti napravljena od različitih materijala (bronza, mesing, kristal-kvarc) i to je najčešće jedan sloj metala koji zatvara cev.

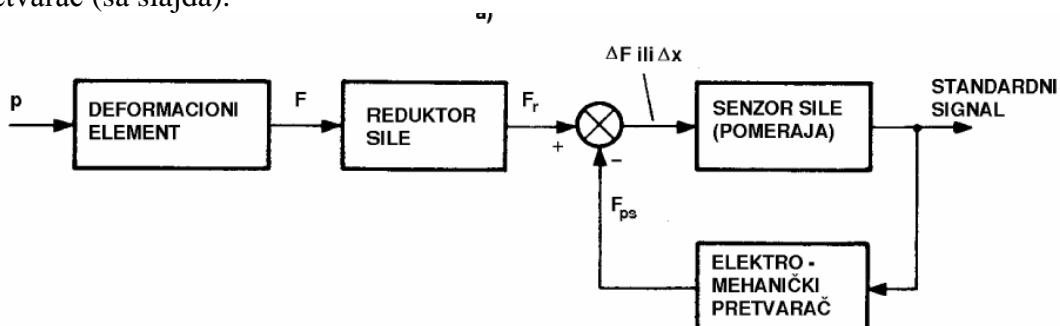
**Talasasta membrana** je elastičnija, koristi se za merenje većih pritisaka i omogućuje veću osetljivost ( $\Delta x/p$  je veliko).

**Kapsula bez punjenja** je deformacioni element koja je napravljena od tankog lima od bronce i kada kapsulu (balon) dovedemo pod pritisak, on će se deformisati, tj. povećaće se.

**Kapsula sa punjenjem** je deformacioni element koji takođe predstavlja balon, ali je on zatvoren i njegove dimenzije će zavisiti od okolnog pritiska. Ako je spoljašnji pritisak manji, balon će se povećati jer je pritisak u njemu veći i obrnuto.

**Meh** je deformacioni element koji omogućuje veliku osetljivost ( $\Delta x/p$  je prilično veliko). Kada dovedemo pritisak u meh, on će se (kao harmonika) rastegnuti, a kada se pritisak u njemu smanji, vratiće se u prvobitni položaj i skupiće se.

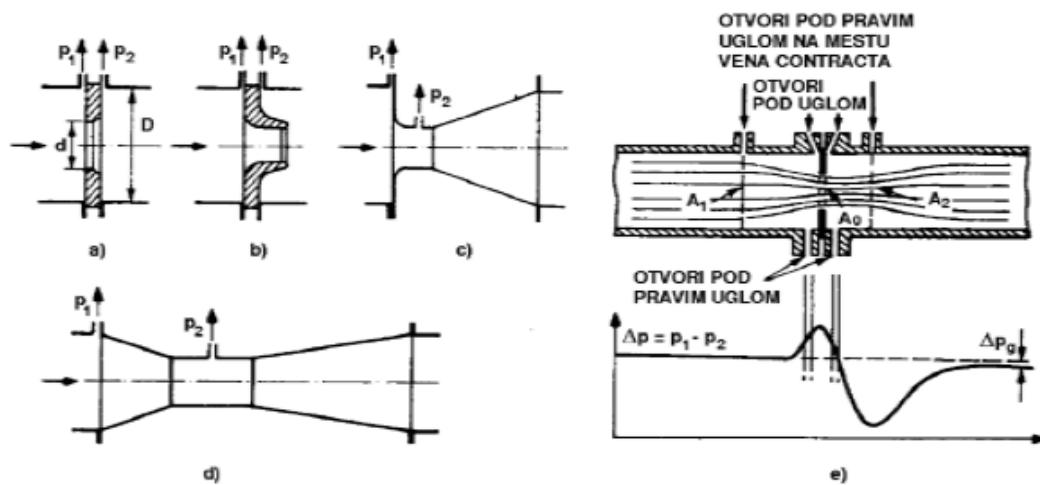
**Burdonova cev** je deformacioni element koja izgleda kao kuka. Kada se dovede neki pritisak u Burdonovu cev, ona će se deformisati. Te deformacije su ugaone. Burdonova cev će težiti da se odvije i praviće rotaciono kretanje. To rotaciono kretanje se obično vezuje za kazaljku i dobijemo manometre, uređaje za merenje pritiska. Loša stvar kod Burdonove cevi je prilično malo  $\Delta x$ . Ako želimo da ga povećamo, onda koristimo usukanu Burdonovu cev koja ima mnogo više tih navojaka. Razlika u odnosu na Burdonovu cev je ta što će ovo  $\Delta x$  biti mnogo veće sa istom promenom pritiska. Nakon što je deformacioni element izvršio neki pomjeraj, potrebno je taj pomjeraj pretvoriti u el. signal. Najjednostavnije rešenje je potenciometarski pretvarač (sa slajda).



## 13. Senzori protoka sa prigušnicom

Princip  $\Delta p$  protokomera – Ovde imamo neki fluid koji protiče protokom  $Q$  i ovde se napravi suženje. S jedne strane deluje jedan pritisak, a sa druge strane drugi pritisak. U zavisnosti koji od ova 2 pritiska je veći, poluga će se pomeriti u jednu ili drugu stranu. Ili preko senzora sile, ili preko senzora položaja, detektovaće se koliki je taj pomeraj i na osnovu toga će se odrediti vrednost pritiska, a na osnovu pritiska će se odrediti vrednost protoka. Izlazni signal predstavlja koren karakteristiku  $q=k*\sqrt{\Delta p}$ . Senzori za merenje protoka ne daju linearan izlazni signal.

Osobine – dosta je skup zato što sadrži senzor za merenje diferencijalnog pritiska.

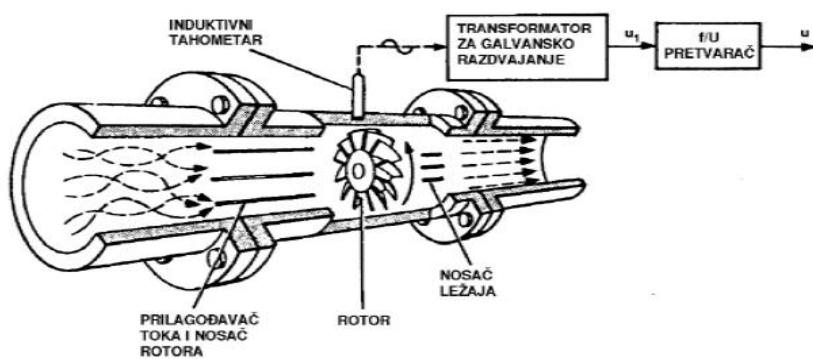


Slika 20.1. Senzori protoka sa prigušnicom: a) merna blenda, b) sapnica, c) Venturijeva sapnica, d) Venturijeva cev, e) deo cevovoda sa mernom blendom

## 14. Turbinski protokomeri

Kod njih se u cevovodu nalazi turbina. Fluid koji prolazi kroz cevovod će stvarati silu na propelerima i dolaziće do okretanja turbine. Ako je protok veći, turbinu će se okretati brže i obrnuto. Da bismo odredili brzinu proticanja fluida, potrebno je da znamo koliko se brzo vrti turbinu. Merenje brzine turbine se vrši tako što na jedan ili dva propelera se postave permanentni magneti. Permanentni magnet svaki put kada prođe pored ovog kalema, u kalemu će indukovati jedan električni impuls. Merenjem frekvencije ovih impulsa dobijamo informaciju koliko obrtaja u minuti pravi turbina. Na osnovu toga i parametara turbine, tj. viskoznosti fluida, izračunava se ovaj protok.

Osobine – jednostavniji je i jeftiniji od  $\Delta p$  protokomera, ima mehaničke delove (ležajeve), koji mogu da zaribaju.



## 15. Vrtložni protokomeri

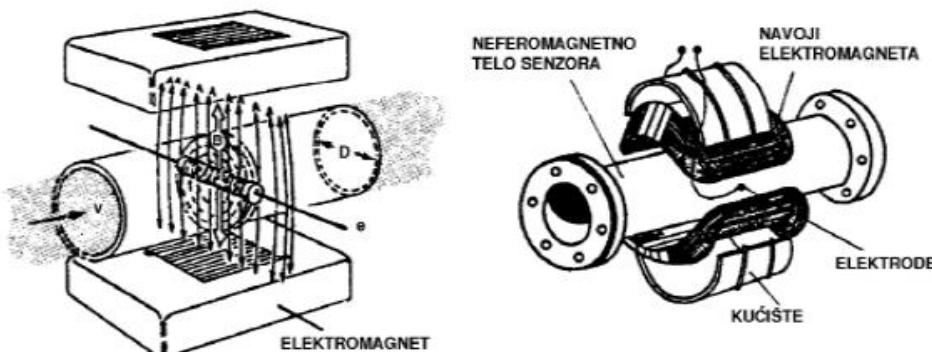
Princip rada vrtložnih senzora se zasniva na odvajanju vrtloga iza prepreke postavljene u toku fluida. Frekvencija odvajanja vrtloga proporcionalna je brzini toka. Nailaskom na prepreku, brzina fluida raste, a pritisak opada. Na polovini poprečnog preseka prepreke dešava se obrnuti proces - brzina opada, a pritisak raste. Na taj način, na prednjoj strani se formira viši, a na zadnjoj niži pritisak. Pod delovanjem ove razlike pritiska odvaja se pogranični sloj fluida sa prepreke u obliku vrtloga. Vrtlozi se odvajaju naizmenično na gornjoj i donjoj strani. Funkcionalna zavisnost frekvencije vrtloga od brzine toka naziva se Struhalovim brojem  $Sh=f/D/v$ .



## 16. Indukcioni protokomeri

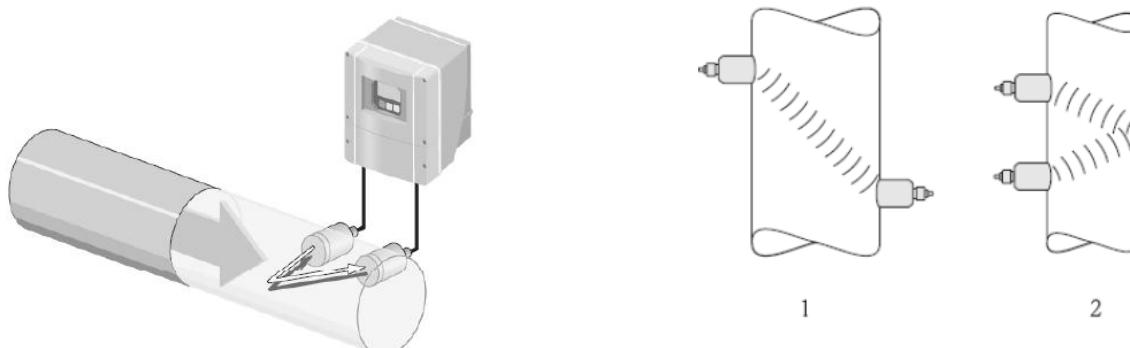
To su elektromagnetni senzori koji rade na principu Faradejevog zakona indukcije. Ovaj zakon kaze da se relativnim kretanjem provodnika i magnetnog polja pod pravim uglom na provodniku indukuje napon. Kod fluida napon se indukuje na ivicama cevi.

Koriste se isključivo kod električno provodnih fluida. Ovaj senzor je dobar jer: napravljen je od neferomagnetičnih materijala, ne stvara pad pritiska, ne troši hidrauličnu energiju, nema pokretnih delova, retko se kvari, sve se nalazi spolja, vrlo često se koristi.



## 17. Ultrazvučni protokomeri

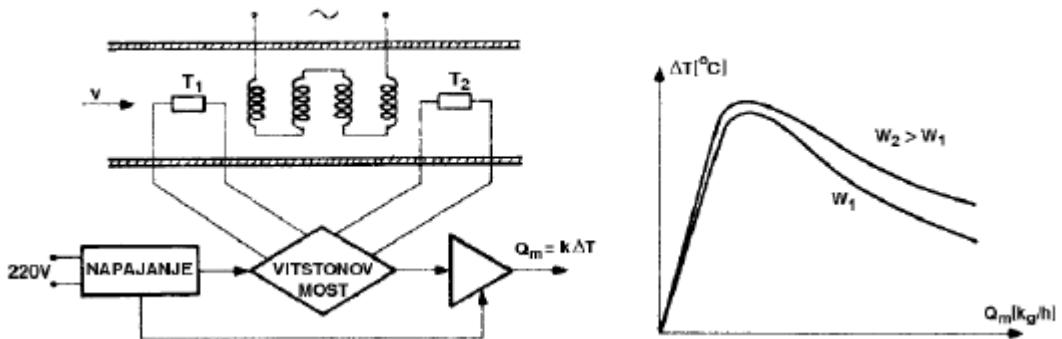
Radi na principu doplerovog efekta. Brzina fluida utiče na frekvenciju ultrazvučnog talasa. Ultrazvučni odašiljač emituje ultrazvučne talase. Ultrazvučni prijemnik prima te talase i meri se razlika frekvencija poslatih i primljenih talasa. Na osnovu razlike tih frekvencija računa se brzina kretanja fluida. Na jedan cevovod se postavi odašiljač pod takvim uglom da se zvučni talas reflektuje od druge strane zida i da padne na prijemnik. Sunde mogu da se postave na više načina. Postoje dve tehnike za postavljanje: senzor je upakovani kao deo cevi ili CLAMP-ON (koristi se na cevima velikih prečnika). Pored sondi mora da postoji računska jedinica koja je veoma složena.



Položaj ultrazvučnih sondi

## 18. Kalorimetrijski protokomeri

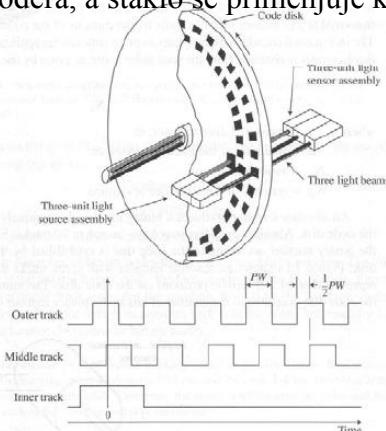
Kalometarski senzor tipa grejana cev. Ispred i iza grejača postavljeni su termootporni senzori temperature. Prolaskom pored grejača fluid se zagreva, tako da se dobije temperaturna razlika  $T_2 - T_1$ . Ako je snaga grejača  $W$  konstantna i cev izolovana, tako da se sva energija grejača troši na zagrevanje fluida, tada jednačina toplotne ravnoteze glasi  $W = kQ_m c_p \Delta T$ .  $k$ - korekcionii koeficijent, koji uzima u obzir gubitke toplotne i greške merenja  $\Delta T$  nastale zbog neravnomerne raspodele temperature po poprečnom preseku,  $c_p$  specifični toplotni kapacitet fluida na temperaturi  $(T_1+T_2)/2$ .



## 19. Inkrementalni enkoderi

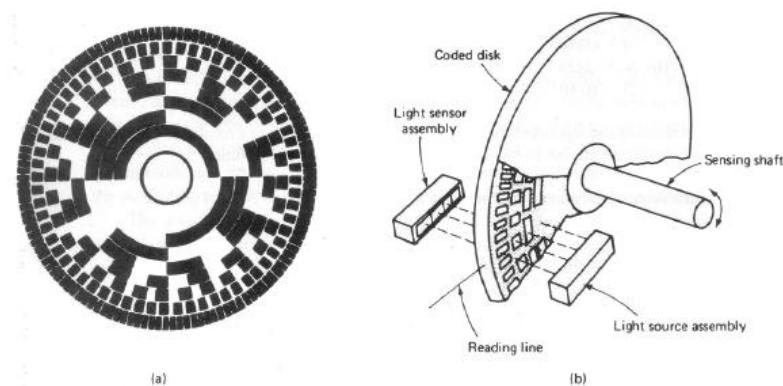
Sastoje od dekoriranog diska. Taj disk se nalazi na jednoj osovini i ta osovina visi na ležajevima. Spolja izlazi kvant tog samog uređaja i praktično na tu osovnu dovodimo rotaciono kretanje čiju brzinu želimo da merimo. Ovaj enkoder sa slike se koristi isključivo za merenje rotacionog kretanja, odnosno ugaone brzine. Ako želimo da merimo brzinu linearno, nešto što se kreće pravolinijski, onda moramo na osovinu tog enkodera postaviti točkić. Kada taj točkić naslonimo na traku koja se kreće, on će se okretati brzinom koja je proporcionalna brzini kretanja te trake. Rupice na disku služe kao mesta koje će da propuste svetlosni snop. Ovde se nalaze 3 izvora svetla. Obično su to LED diode koje emituju svetlost. Ta svetlost mora biti usmerena i ona prolazi kroz ove rupice. Prolazi samo kada je rupica naspram svetlosnog izvora, a kada je ovaj drugi deo naspram svetlosnog izvora, onda neće proći. Kako se ovaj točak okreće, dobijaćemo svetlosni snop koji je isprekidan (ima svetla - nema svetla itd.). Sa druge stane se nalaze senzori koji detektuju svetlo. Kada ima svetla, on će na izlazu dati napon, a kada nema neće. Tako da će se ovo imati svetla - nema svetla pretvoriti u imati napona - nema napona. Na izlazu tog senzora dobijećemo napon koji izgleda kao na slici.

U zavisnosti od brzine obrtanja diska, dobijećemo manju ili veću frekvenciju ovih signala, odnosno širina impulsa (perioda) će biti manja ako je brzina veća i obrnuto. Prva dva signala, koji se obično obeležavaju sa *kanal a* i *kanal b*, su identični, samo što su fazno pomereni. Taj fazni pomeraj obično iznosi  $90^\circ$ . Jedan impuls se koristi za merenje brzine. Dva se koriste za detekciju smera obrtanja enkodera, a treći predstavlja marker koji se zove indeks (jedan prozorčić na punom krugu). Marker se obično koristi za neko poravnavanje, dovođenje u početni položaj i sl. da bismo znali gde je početak, odnosno referentna tačka merenja. Pomoću enkodera se rade 2 stvari. Prva stvar je merenje brzine, koja se meri merenjem frekvencije. Frekvencija se meri tako što u roku jedne sekunde izbrojimo koliko impulsa je stiglo, ili da merimo vreme između 2 impulsa. Ako je frekvencija impulsa velika, onda se koristi prva tehnika, a ako je mala, koristimo drugu. Druga stvar je merenje pozicije. Npr. ako enkoder ima 360 podeoka, 1 stepen predstavlja 1 impuls. Ako nešto treba pomeriti za 45 stepeni, treba odbrojati 45 impulsa. Enkoderi se prave od metala sa laserski izbušenim rupicama, od stakla ili providne plastike, kojima je naneta metalizacija na mestima gde ne treba da bude providno, tj. nacrtani su otvori. Metalni se primenjuju u industriji kada imamo velike vibracije, udare i slične stvari koje mogu doći do enkodera, a staklo se primenjuje kod štampača.



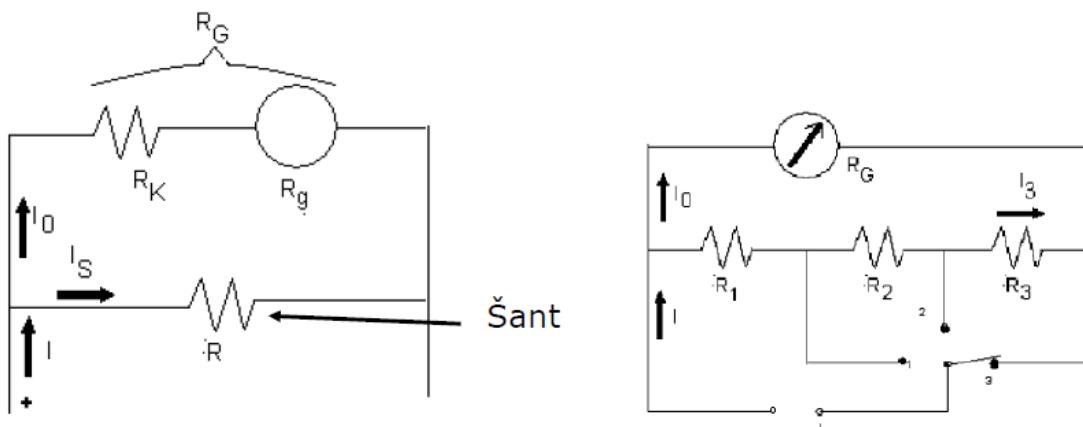
## 20. Apsolutni enkoderi

Apsolutni enkoder, za razliku on inkrementalnog daje apsolutnu poziciju. Ima složeni disk sa više prstenova. Svaki prsten predstavlja 1 bit u kodu. Ima 8 senzora i 8 led dioda. Ovo je pravi digitalni enkoder, jer nam na izlazu daje pravi digitalni podatak. Koristi se za računanje pozicije. Pricip rada mu je isti kao kod inkrementalnog enkodera, s tom razlikom što umesto proreza ima kodovane proreze. Postoje 3 koda koji se koriste: binarni, grejev i BCD kod. Enkoder sa slike se koristi za manje rezolucije. Danas se apsolutni enkoderi prave tako što se u inkrementalni enkoder upakuje brojač, mali procesor, koji će da vodi računa o tom enkoderu i baterija, koja će da čuva podatke kada se enkoder isključi. Inkrementalni enkoder postavimo u neku poziciju i kažemo to je nula, čime smo resetovali brojač. Od tog trenutka on broji i inkrementira brojač, tako da iz njega isčitavamo stanje brojača. Brojač može biti 32-bitni i više, tako da se ovi enkoderi mogu koristiti za veće rezolucije. Izlaz iz enkodera je diferencijalni naponski izlaz  $\pm 5V$ .



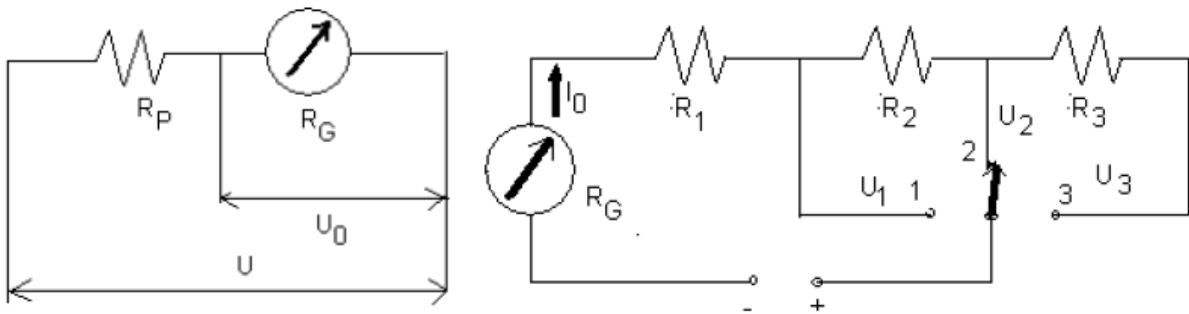
## 21. Ampermetri – opšte karakteristike i proširenje mernog opsega

Svaki merni instrument ima neku svoju unutrašnju otpornost ( $R_i$ ). Da bi ampermetar uneo što manje promena  $R_i$  treba da teži 0. Ampermetar se vezuje redno u kolo sa potrošačem i meri struju. Da bi merili veće struje dodaje se otpornik u paraleli (šant). Otpornost šanta mora znati:  $R_g+R_k$  mora biti definisano (referentni uslovi),  $I_{gmax}$  pri kojoj struja će instrument bez šanta dati najveći otklon,  $I_{max}$  opseg koji želimo da postignemo kada dodamo otpornost šanta.



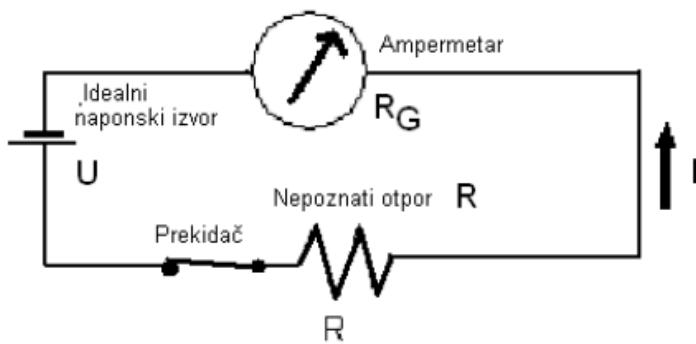
## 22. Voltmetri – opšte karakteristike i proširenje mernog opsega

Svaki merni instrument ima neku svoju unutrašnju otpornost ( $R_i$ ). Da bi voltmetar uneo što manje promena  $R_i$  treba da teži  $\infty$ . Voltmetar se vezuje paralelno u kolo sa potrošačem i meri napon. Ako želimo da mu povećamo merni opseg vežemo otpornik redno. Eyrton-ov šant (podešivi predotpornik) pravimo voltmetar sa više različitih opsega merenja.

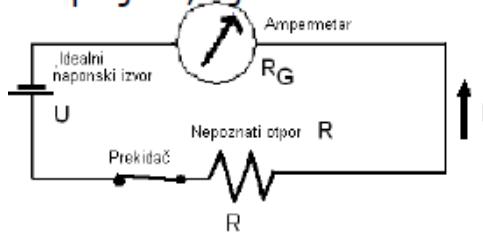


## 23. Ommetri – opšte karakteristike i proširenje mernog opsega

Radi u bez naponskom stanju pa moramo imati bateriju (1.5-9V). Otpornik i instrument se vezuju redno. Skala je  $1/R$  (obrnutno je okrenuta) i nije linearna. Kod instrumenta sa više opsega imamo više skala. Na slici umesto prekidača treba da stoje priključci. Prva stvar koju treba da uradimo pre merenja je da kratko spojimo te priključke. Tada je struja kroz instrument maksimalna i onda se pomoću potenciometra podeši da pokazivanje bude maksimalno. Time smo izvršili kalibraciju instrumenta. Zatim razdvojimo priključke i spojimo na nepoznatu vrednost otpornika i odredimo njegovu otpornost.

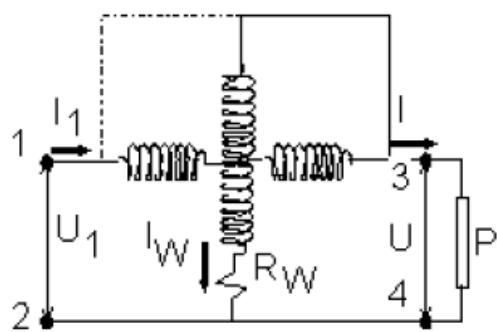


Pokazivanje je 0 kada je naponski izvor kratko spojen, tj. kolo čine ampermetar i izvor.



## 24. Vatmetri – opšte karakteristike i proširenje mernog opsega

Elektrodinamički vatmetar ima 2 kalema (horizontalni i vertikalni). Ugao skretanja kazaljke je proporcionalan proizvodu struje jedan i kroz drugi kalem. Sa jednim kalemom moramo napraviti ampermetar, koji je spojen redno sa potrošačem, a sa drugim voltmeter, koji je spojen paralelno sa potrošačem. Time dobijamo da jedan kalem ima struju koja je proporcionalna struci potrošača, a drugi ima struju koja je proporcionalna naponu potrošača. Skretanje kazaljke će biti proporcionalno proizvodu ove 2 veličine. Pored proizvoda dobijemo i faktor snage  $\cos\phi$ , pri čemu je  $\phi$  fazni ugao između struje i napona. Instrument ima linearnu skalu.



## **25. Instrumenti sa pokretnim kalemom – opšte karakteristike i princip rada**

Meri struju. Skala je linearna. Ugao skretanja je direktno proporcionalan struji. Sastoji se od jezgra mekog gvožđa preko kojeg je namotan kalem, 2 spiralne opruge i osovine koja je čvrsto povezana sa kalemom. Dolazi do interakcije izmedju dva magnetna polja. Jedno je mag. polje stalnog magneta, dok drugo nastaje prilikom prolaska struje kroz kalem. Kalem se mota oko feromagnetskog materijala i obično je tanka žica koja je izrađena od bakra. Rastojanje između magneta i valjka na kojem je kalem je veoma malo. Zakretanje kalema uzrokuje zakretanje kazaljke, a opruga uvek vraća kazaljku na nulu kada nema struje da teče kroz kalem. Imamo i mehanizam za podešavanje nule. U vertikalnom delu se stvara magnetno polje a ne u horizontalnom. Najveća mana ovih instrumenata je osetljivost na vibracije i nemaju napajanje.

## **26. Merenje naizmeničnih struja instrumentom sa pokretnim kalemom**

Instrument mora imati ispravljač neizmenične struje. Ugao skretanja je proporcionalan srednjoj vrednosti struje koja se doveđe na kretni kalem, a skala je kalibrirana u efektivnoj vrednosti prostoperiodične struje. Ovaj instrument se pravi tako da bude malo jače prigušen. On tada ne može da prati ni prilično spore promene AC struje, tako da će nam prilično rano dati srednju vrednost struje. Grecov ispravljač ne može da ispravlja male struje. Za ispravljanje malih struja koriste se ispravljači sa OP. Kvantitativna procena sistematske greške se izražava koristeći tzv. faktor oblika. Faktor oblika se definiše kao odnos srednje i efektivne vrednosti signala. Najveći nedostatak ovih instrumenata je greška (klasa tačnosti 1 do 5) i sistematsko odstupanje rezultata za signale koji su različiti od prostoperiodičnih signala. Za merenje malih signala se ne mogu primeniti prikazani ispravljači. U nekim slučajevima je nemoguće merenje jer su smetnje (šum) koje prate signal toliko velike da ih je pri merenju teško razdvojiti od merenog signala. U tom cilju se primenjuju elektronski elementi za primarnu obradu signala koji mogu da selektivno pojačaju željeni signal, a atenuiraju šum.

## **27. Instrument sa pokretnim gvožđem – opšte karakteristike i princip rada**

Meri jednosmernu i neizmeničnu struju. Skala je kvadratne funkcije i ugao skretanja je proporcionalan kvadratu efektivne struje. Nije osetljiv na smer struje. Ovaj instrument nema ispravljač jer nema potrebe za tim, bez obzira koji tip signala da dovedemo uvek će pokazivati efektivnu vrednost. U polju koje stvara struja u kalemu pokreće se meko gvoždje za koje je vezana kazaljka.

Obrtanje je rezultat odbijanja istoimenih polova magneta. Meko gvoždje postaje magnet u magnetskom polju. Opruga obezbeđuje uravnoteženje.

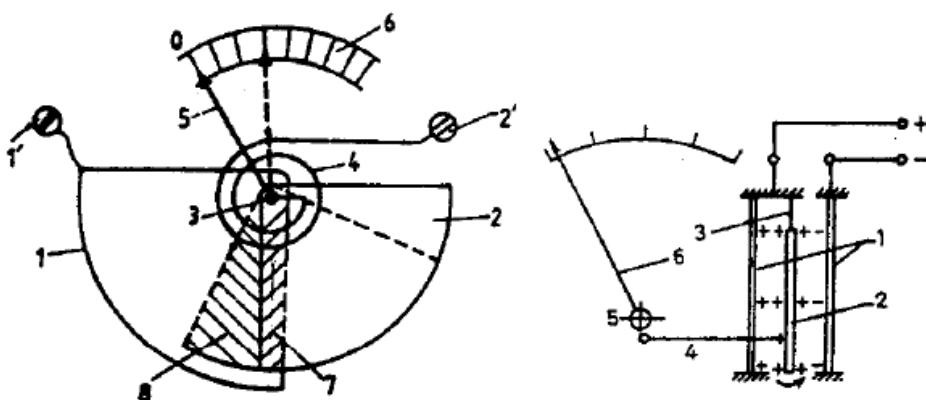
## **28. Elektrodinamički instrument – opšte karakteristike i princip rada pri merenju snage**

Ovi instrumenti direktno mere snagu. Skretanje kazaljke je proporcionalno struji na oba kalema. Velike su tačnosti i jako su osetljivi. Elektrodinamički instrumenti se realizuju primenom dva kalema. Jedan kalem je nepokretan, a drugi pokretan. Struje u kalemovima su nezavisne. Nepokretan kalem koji generiše magnetsko polje u kome se okreće pokretan (manji) kalem se konstruiše tako da formira skoro homogeno magnetsko polje i ravnomeran fluks bez obzira na položaj pokretnog kalema. Ravnoteža pokretnog kalema se obezbeđuje spiralnom oprugom koristeći ranije opisanu strukturu. U ovom slučaju je energija koja potiče od struja u kalemima.

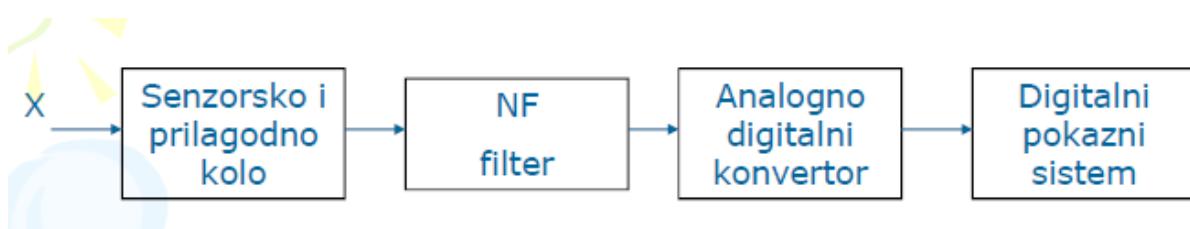
## 29. Elektrostatički instrument - opšte karakteristike i princip rada

Sastoje se od aluminijumskih ploča koje su u obliku kružnih isečaka. Jedna ploča je pokretna, a druga je fiksirana. Postoji više tih ploča. Između svake 2 stacionarne ploče nalazi se 1 pokretna. Kada dovedemo napon između tih ploča, elektrostatičko polje će težiti da te ploče uvuče unutra, tj. da ih preklopi, zato što je tada energija u polju najmanja. Ako se suprotstavimo toj sili koja uvlači ploče unutra nekom spiralnom oprugom, dobićemo momenat koji se suprotstavlja drugim momentom i kada se ta 2 momenta izjednače, ploče će negde stati i na kazaljki čemo pročitati koji je to ugao i na osnovu toga pročitati vrednost napona.

Ovaj instrument vrši direktno merenje napona i njegovo skretanje je proporcionalno intenzitetu elektrostatičkog polja. Njegova unutrašnja otpornost je beskonačno velika. Jednosmerna struja ne teče kroz njega. Elektrostatički instrumenti koriste efekat dejstva elektrostatičke sile koja je posledica napona. Većina elektrostatičkih instrumenata zasniva svoj rad na primeni kondenzatora kod kojih se relativnim pomeranjem delova menja kapacitivnost.



## 30. Elementi digitalnog mernog instrumenta – struktura i opis elemenata



**Senzorsko i prilagodno kolo** - Merenu veličinu pretvara u naponski signal i prilagođava opseg napona ADC-u (0V-10V);

**Senzorski deo:** Strujni šant za merenje struje; Sistem za merenje otpora; Konvertor efektivne vrednosti;

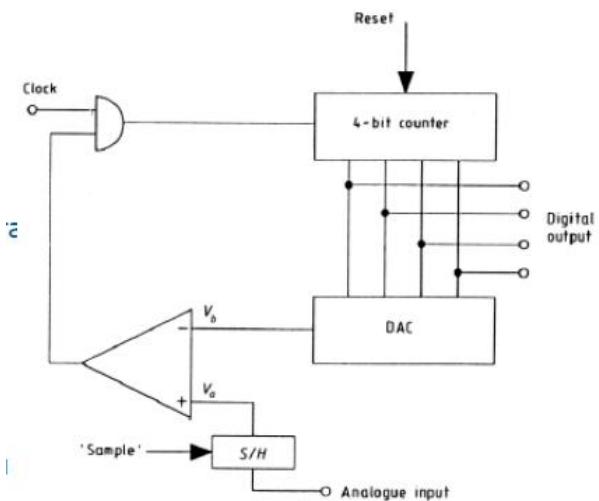
**Prilagodni deo:** Naponski razdelnici (attenuatori); Pojačavači sa podešljivim pojačanjem

**Analogni NF filter** - Služi za otklanjanje visokofrekventnih smetnji, sprečava preklapanje spektra prilikom procesa odabiranja, njegova osnovna uloga je ograničavanje spektra ulaznog signala. Granična učestanost filtra po Nikvistovom kriterijumu mora biti manja od polovine učestanosti odmeravanja. Naziva se antialijasing filter (aliasing - preklapanje) i sprečava preklapanje spektra prilikom procesa odabiranja. Iza njega se nalazi ADC koji u sebi ima S/H kolo i na kraju se nalazi digitalni pokazni instrument.

S/H kolo ima zadatku da izvrši semplovanje signala. Na ulazu ADC-a se mora obezbediti konstantna vrednost napona u toku trajanja A/D konverzije i to se ostvaruje kolom zadrške.

**Kolo zadrške** se sastoje od 2 bafera, čiji je zadatku da prenesu signal i da imaju visoku ul. impedansu. Prvi treba da ima visoku ul. impedansu da izoluje S/H kolo. Nakon toga imamo prekidač, najčešće mosfet, koji kada na gejt dovedemo pozitivan napon, on ga propušta, a kada dovedemo nulu, prekida strujno kolo. Kondenzator može da zadrži vrednost napona. Iza njega je bafer koji treba da obezbedi da se kondenzator ne prazni preko neke ul. impedanse. Zato bafer ima veliku ul. impedansu, da se kondenzator ne bi praznio sam od sebe. Kada želimo da izvršimo odabiranje, odnosno zadršku, tranzistor se isključuje i kondenzator zadržava napon koji je poslednji bio. Ciklus se ponavlja.

## 31. A/D konvertor sa jednostrukom rampom – blok šema i opis rada, karakteristike

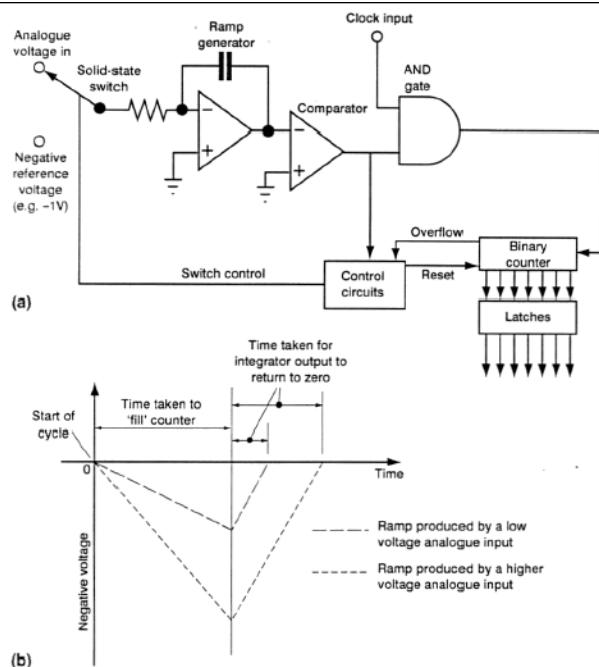


Sastoji se od bin. brojača, DAC-a, analognog komparatora čiji je jedan ulaz profiltriran S/H kolom i I kola kojim se dovodi takt.

Princip rada: Brojač se resetuje, vrednost u njemu je nula. Nakon toga se izvrši odabiranje, tj. zamrzne se vrednost analognog signala i ta vrednost se poređi sa izlazom DAC-a. Izlaz DAC-a je 0, a ako pretpostavimo da je  $V_a$  neki napon veći od 0 (logička "1"), izlaz će biti jedinica. Ta "1" se dovodi do I kola i praktično imamo "1" i takt, što znači da će to I kolo da propušta takt koji se dovodi na brojač. Brojač se inkrementira i ta vrednost se dovodi na DAC trenutno. Samim tim se menja vrednost na  $V_b$  ulazu komparatora i onog trenutka kada  $V_a = V_b$ , izlaz komparatora sa jedinice pada na nulu. Ta nula se doveđe na I kolo i ono više ne propušta takt. Pošto nema takta, brojač se zaustavlja. Stanje koje se zateklo na brojaču je digitalna vrednost koja odgovara dovedenom naponu.

Karakteristike: Jednostavnii su, imaju malu brzinu, za N-bitnu konverziju je potrebno  $2^N$  taktova

## 32. A/D konvertor sa dvostrukom rampom – blok šema i opis rada, karakteristike

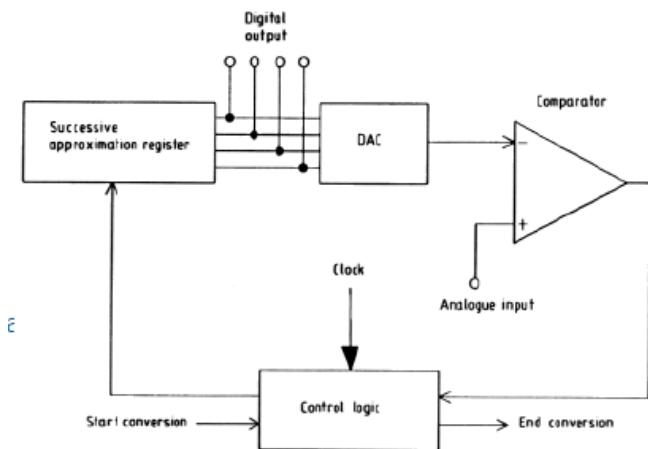


Sastoji se od integratora, detektora prolaska signala kroz nulu, binarnog brojača, logičkog kola i prekidača.

Princip rada: Brojač je resetovan i prekidač dovodi ulazni napon na integrator. Integrator generiše negativnu rampu sa nagibom proporcionalnom ulaznom naponu i izlaz komparatora odlazi na 1 omogućujući brojanje brojača. Kad stanje brojača pređe sa svih jedinica na sve nule kontrolna logika prebacuje prekidač na negativnu naponsku referencu. Integrator generiše pozitivnu rampu čiji nagib ne zavisi od ulaznog napona, ali zavisi početno stanje integratora; brojač nastavlja da broji od nule. Kad izlaz integratora dostigne nulu izlaz komparatora odlazi na nulu i zaustavlja brojač. Stanje brojača predstavlja rezultat konverzije.

Karakteristike: velika rezolucija, ali mala brzina; česti u digitalnim multimetrima; otporni na drift takta, drift komponenti i VF šum

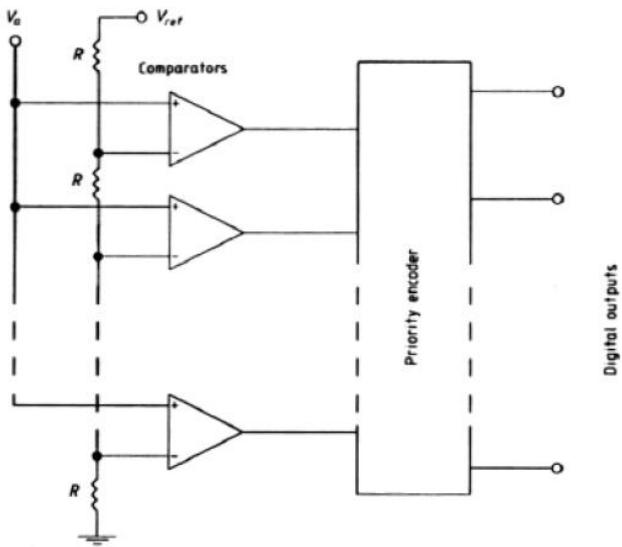
### 33. A/D konvertor sa sukcesivnim aproksimacijama – blok šema i opis rada, karakteristike



Sastoji se od registra sukcesivnih aproksimacija (SAR), DAC-a, analognog komparatora i kontrolne logike. Princip rada: Kontrolna logika kada dobije signal takt konverzije, prvo će izvršiti resetovanje registra. Stanje registra je npr (0000) Nakon toga se izvrši odabiranje, tj. zamrzne se vrednost analognog signala i ta vrednost se poredi sa izlazom DAC-a, tj. sa 0. Ukoliko je ta vrednost veća od 0, šalje se informacija kontrolnoj logici da idemo na sledeći stepen. Ta informacija se dovodi do registra nakon čega se njegov najviši bit setuje na jedinicu (1000). To stanje (1000) dolazi na DAC i na izlazu dobijamo napon koji je jednak  $U_{max}/2$  npr. 5V. Zatim se taj napon poredi sa analognim ulazom. Ako je analogni ulaz i dalje veći, ciklus se ponavlja, setovaće se sledeći bit registra na 1 (1100) i na izlazu DAC-a ćemo dobiti  $3U_{max}/4$ ; 7,5V. Taj napon se ponovo poredi sa analognim ulazom i ako je npr. manji, na izlazu komparatora dobijamo 0 i ta 0 će reći kontrolnoj logici da se napon ne nalazi iznad 7,5V, već ispod. Tada će se resetovati taj bit i setovaće se prvi niži (1010). Ciklus se ponavlja dok ne dođemo do poslednjeg bita, u ovom slučaju imaćemo 4 ciklusa.

Karakteristike: Zahteva N taktova za N-bitnu konverziju, velika brzina

## 34. Paralelni FLASH A/D konvertor – blok šema i opis rada, karakteristike

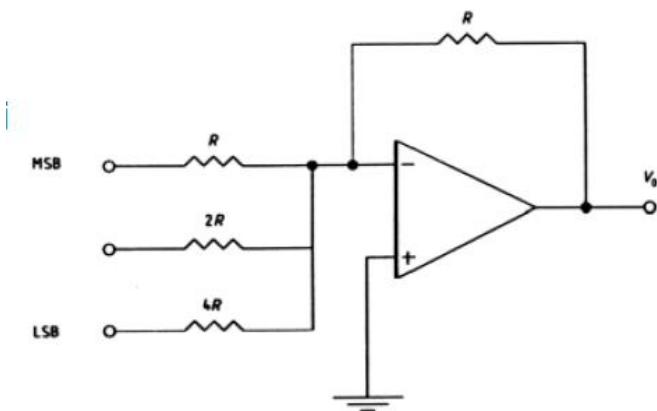


Sastoji se od višestrukog naponskog razdelnika, seta komparatora i kodera (enkoder prioriteta).

Princip rada: Ulagani napon se dovodi na neinvertujuće ulaze svih komparatora, dok se na invertujuće dovodi referentni napon, ondnosno delovi ref. napona (pogledati sliku u svesci). Komparatori upoređuju vrednost ulaznog napona za vrednošću delova ref. napona i ako je ulagani napon veći, na izlazu komparatora dobijamo "1", a ako je manji "0". Npr. ako je ul. napon veći od  $V_{ref}/3$ , na izlazu iz svih komparatora ćemo imati (00011). Što je veći ul. napon broj "1" raste. Da bisto taj broj "1" pretvorili u binarni kod, na izlazu iz komparatora se stavlja koder koji koduje zatečeno stanje u binarni kod. Njegova dobra osobina je što izlaz dobijamo trenutno, za nekoliko ns, a to je vreme prostiranja signala kroz komparator i koder.

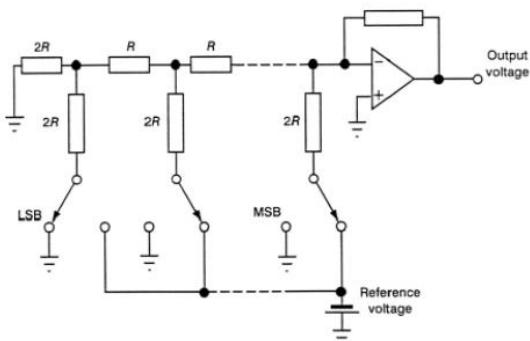
Karakteristike: Veoma velika brzina i do 20MSemplova/S, skupi zbog velikog broja komparatora,  $2^N - 1$  komparator za N-bitnu konverziju. Koriste se za A/D konverziju slike i video signala.

## 35. D/A konvertor sa težinskom otpornom mrežom – šema i opis rada, karakteristike



Na ulaz DAC-a se doveđe neki ref. napon koji predstavlja binarni kod. Bit koji se dovodi na ulaz je stanje prekidača (pogledati sliku u svesci). Ako je prekidač uključen (log. "1"), ref. napon se dovodi na taj ulaz, a ako je isključen (log. "0"), ne dovodi se. Svaki otpornik kod DAC-a mora biti 2 puta veći od prethodnog. Na taj način dobijamo da binarni kod apsolutno odgovara analognom ulaznom naponu. Zbog opsega min. i max. vrednosti otpornika, ovaj tip DAC se koristi za manje rezolucije.

## 36. D/A konvertor sa lestvičastom otpornom mrežom – šema i opis rada, karakteristike



Principijelno je isti kao i DAC sa težinskom otpornom mrežom. Razlika je u tome što se kod njega koriste samo 2 vrste otpornika,  $R$  i  $2R$ . Sa slike se vidi da, ako je MSB bit “0”, prekidač će biti spojen na masu, a ako je MSB bit “1”, prekidač će biti spojen na ref. napon i tako svaki sledeći bit. Ovaj DAC se može lako napraviti za visoke rezolucije, jer koristi samo 2 vrste otpornika. Svi ti otpornici se nalaze u jednom čipu.

## 37. Greške A/D i D/A konvertora

1) **Kvantizacioni šum** - direktno je povezan sa brojem bita, odnosno sa rezolucijom ADC i on je u opsegu  $\pm 1/2$  LSB. Ako imamo neka 2 praga, a signal nam se nalazi negde između, mi ćemo vrednost tog signala postaviti na neki od ova 2 praga. Na taj način pravimo grešku, a najveća greška je jednaka  $1/2$  LSB-a, koliko iznosi kvantizacioni šum.

Razlika između signala pre kvantizacije i signala posle kvantizacije!

2) **Greška offseta** - kod ADC-a znači da njegova karakteristika, koja može biti idealno ili manje linearna, ne kreće iz nule, nego je malo pomerena, nekoliko  $\mu$ V. Svi pragovi su za isti naponski nivo pomereni, a taj naponski nivo se zove offset.

3) **Greška pojačanja** - Nagib krive sa slike definiše grešku pojačanja. Npr. ako kažemo da je greška pojačanja  $\pm 0,1\%$ , to znači da nagib statičke karakteristike DAC-a može da bude pomeren za  $0,1\%$  gore ili dole.

4) **Greška linearnosti** - znači da DAC nema jednakе pragove. Ako neki otpornik ima malo veću otpornost, a neki malo manju, onda nemamo linearnu A/D konverziju, jer će neki od ovih pragova biti malo duži, a neki malo kraći. U tom slučaju statička karakteristika DAC-a neće biti linearna, a odstupanje od zamišljene prave linije (asimptota statičke karakteristike DAC-a) predstavlja grešku linearnosti.

5) **Glitch DAC-a** - Glitch se dešava kad više ulaza DAC-a menja stanja. Npr. kada se menja stanje 0111- $>1000$ , vrlo često se desi da se prvo ova 0 promeni u 1, pa tek onda ove tri 1 u tri 0. Na izlazu će nam se to reflektovati kao glitch. Imali smo vrednost koja odgovara 7 i treba da pređemo na vrednost koja odgovara 8. Međutim, mi smo prešli prvo na 15, pošto nam se promenila 1, a još se nisu promenile nule i nakon toga smo prešli na 8. Ne može se ukloniti, NF filter mu smanjuje amplitudu, ali proizvod VT ostaje konstantan, što znači da ako ga profiltriramo NF filtrom, on će biti niži, ali će biti širi.

## 38. Konstrukcija analognog osciloskopa

Pomoću osciloskopa možemo signal da vidimo na ekranu, u njegovom izvornom obliku. Sastavni delovi analognog osciloskopa:

katodna cev – deflekcijski sistem (skreće elektronski snop) – po ovome se razlikuje od katodne cevi koje se koriste kod TV-a.

Ekran osciloskopa je iznutra premazan fluorescentnim materijalom i kada ga pogodi elektron, on će zasvetleti. Mlaz elektrona kreće od katode. Ubrzava se električnim poljem između katode i anode. Mlaz elektrona je podešen tako da gađa centar ekrana.

**Horizontalne ploče** – dovođenjem napona između njih podešavamo skretanje mlaza elektrona vertikalno. Taj napon je praktično signal koji ćemo dovesti sa ulaza. Signal koji merimo, preko odgovarajućeg pojačavača, dovodimo na taj par ploča. Na horizontali ekrana je prikazano vreme.

**Vertikalne ploče** – vrše skretanje po horizontali. Na vertikali ekrana je prikazana amplituda. Na ove ploče se dovodi signal vremenske baze koji se linearno kreće od npr. -10V do +10V. -10V je skroz levo, a +10V skroz desno na ekranu. Taj signal generiše osciloskop. Ako na ove ploče nedovedemo nikakav napon, pojaviće se horizontalna linija na sredini ekrana.

Osciloskop u sebi ima attenuator (razdelnik napona) pomoću kojeg ulazni napon prilagođavamo horizontalnim pločama.

Ako je ulazni napon mnogo mali, onda ga pojačamo, a ako je veliki, onda ga oslabimo.

**Volts/div** – odabira pojačanje [volti po podeoku] Sa njim vršimo prilagođavanje napona horizontalnim pločama.

**Y-pos** - pomoću potenciometra podešavamo prikaz signala, da li će biti na sredini, gore ili dole.

**Time/div** – podešava periodu ulaznog signala [vreme po podeoku]

**X-pos** (potenciometar) – vrši pomeranje signala levo ili desno

Ulagni signal mora biti periodičan (ponovljiv), vremenska baza i signal se moraju sinhronizovati da se signali ne bi preklapali. O tome brine trigger komparator. Trigger uvek okida na rastuću ili na opadajuću ivicu signala. Trigger signal predstavlja start iscrtavanja vremenske baze. On obezbeđuje da iscrtavanje vremenske baze, tj. mlaža, uvek kreće u trenutku sinhronizovanim sa ulaznim signalom. Nivo trigger-a mora biti podešen unutar opsega signala jer u suprotnom signal nikada neće doći do trigger-a i ponovo će doći do preklapanja signala.

Analogni osciloskopi se prave kao: jednokanalni (jedan ulagni signal), dvokanalni (2 ulagna signala, 2 horizontalna i 2 vertikalna pojačavača), četvorokanalni

Prebacivanje sa jednog na drugi signal se vrši pomoću elektronskog prekidača – multipleksera koji može biti alternativno za brze promene i čopersko za spore promene. Kod sporih signala se koristi čopersko (u određenim vremenskim intervalima se prebacuje prekidač). Kod brzih se prekidač prebacuje tek kad se cela perioda iscrtava.

## 39. Konstrukcija digitalnih osciloskopa

Digitalni osciloskop je, u suštini, jedan računar. Analogni signal se konvertuje u digitalni, pomoću ADC-a, i snima se u memoriju. Pretvara električne signale u podatke i smešta ih u memoriju. Računar iz memorije koristi takav signal i iscrtava ga na neki ekran, koji može biti bilo koji računarski monitor. Najčešće se koriste 8-bitni ADC. Može da ima više od 4 kanala.

Brzina digitalizacije (odmeravanja) i propusni opseg pojačavača određuju najbrži signal koji se ispravno može snimiti i prikazati. Digitalni osciloskop može da ima i 64 kanala. Svaki od njih ima svoj pojačavač, ADC i memoriju. Sve kontroliše jedan mikroprocesor (DSP), koji startuje A/D konverziju, smešta podatke, uzima ih iz memorije i prikazuje ih na običnoj katodnoj cevi. Ovde postoji i trigger koji u sebi ima komparator, liniju za kašnjenje, start/stop akvizicije itd.

**Najvažnija prednost digitalnih osciloskopa je što možemo da snimimo signal koji se ne ponavlja. Pojavi se signal na ulazu, trigger startuje snimanje, podaci se smeste u memoriju i stop. Podaci iz memorije se prikažu na ekranu i mogu stajati na ekranu koliko želimo, iako signal više ne postoji na ulazu.**

## 40. Propusni opseg osciloskopa

Propusni opseg analognog osciloskopa je do 100MHz. Svi osciloskopi imaju specificiran propusni opseg koji predstavlja frekvenciju na kojoj za prostoperiodični ulagni signal prikaz je za 3dB manji od amplitude signala.

Uticaj na signal preko: Usporenja vremena uspona, Slabljenje amplitude

Uzroci: Ulazni pojačavač, Attenuator, Osciloskopske sonde

Najbrži signal ima vreme uspona (pada)  $t_r$ . Tada se širina spektra signala računa kao, BWsignal  
 $BW_{signal} = 0.35/t_r$

Potreban propusni opseg je, BWscope

$BW_{scope} = 1 * BW_{signal}$  (za ~41% grešku)

$BW_{scope} = 3 * BW_{signal}$  (za ~5% grešku)

$BW_{scope} = 5 * BW_{signal}$  (za ~2% grešku)

## 41. Osciloskopske sonde

Služe za dovođenje signala do osciloskopa. Imaju konektore s kojima se spajaju sa osciloskopom. Osciloskopska sonda treba da se ponaša kao visoko-omski ulaz. Visoka ulazna impedansa,  $10\text{ M}\Omega$  (da ne opterećujemo kolo gde vršimo snimanje).

Pasivne sonde – ne zahtevaju napajanje. Nemaju nikakvu elektroniku u sebi. Sastavljenje su od konektora i kabla. Mogu biti:

sa 1x slabljenjem (pogodne za male signale, veliko opterećenje elektronskog kola, ulazna impedansa je  $1\text{ M}\Omega$ )

sa 10x slabljenjem (Pogodne za signale visokih frekvencija, malo opterećenje elektronskog kola, ulazna impedansa je  $10\text{ M}\Omega$ )

sa 20x slabljenjem (novijeg su datuma, mala kapacitivnost)

Propusni opseg i kapacitivnost: 10MHz (100pF) i 500MHz (10pF)

aktivne sonde – u sebi imaju neki pojačavački element, pa zahtevaju napajanje

Propusni opseg i kapacitivnost je 1GHz (1.5pF)

Dobre su za brze digitalne signale sa taktom preko 100MHz

strujne sonde - Obuhvataju provodnik i pretvaraju strujni signal kroz provodnik u naponski koji se prikazuje na ekranu osciloskopa.

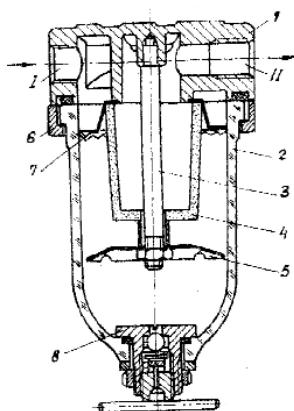
AC strujne sonde (Princip rada je strujni transformator, Karakteristična donja granična učestanost, Pasivne – ne zahtevaju napajanje)

AC-DC strujne sonde (Princip rada holova sonda, Aktivne zahtevaju napajanje)

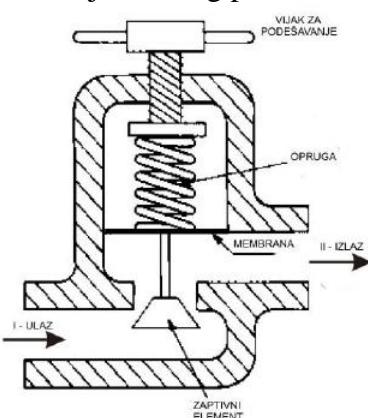
Diferencijalne sonde - Omogućuju merenje diferencijalnih signala, Mogu imati slabljenje i pojačanje ulaznog signala, Aktivne sonde – zahtevaju napajanje za svoj rad

## 42. Pneumatske instalacije - pripremna grupa

**PREČISTAČ:** Služi za odvajanje kapljica vode i ulja i mehaničkih nečistoća. Kapljice vode i ulja uslijed centrifugalne sile padaju na čašicu i slijevaju se na dno. Mehaničke nečistoće zadržavaju se na filtru. Zaštitnik sprečava da se izdvojena tečnost vrati u sistem.

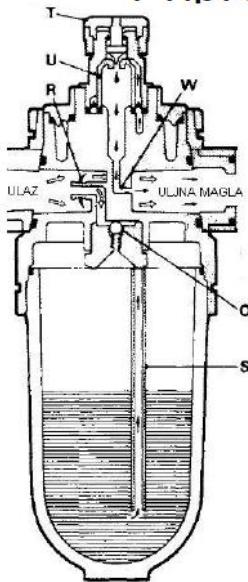


**REGULATOR PRITiska:** Regulator pritiska održava konstantan pritisak u instalaciji bez obzira na oscilacije ulaznog pritiska.



**ZAULJIVAČ:** Kod potrošača koji koriste nauljeni vazduh, u pripremnoj grupi se nalazi i zauljivač.

Prečišćeni vazduh zadatog pritiska ulazi u zauljivač. Deo vazduha prolazi kroz kontrolni ventil da bi obezbedio pritisak u čašici. Veći deo vazduha prolazi kroz zauljivač preko otpornog elementa. Kombinacija uljanog rezervoara pod pritiskom i razlike pritisaka stvorene pomoću otpornog elementa dovodi do strujanja ulja kroz cevčicu. Brzina kapanja ulja podešava se pomoću zavrtnja dok ulje proilazi kroz dovodnu kupolu. Svo ulje koje prolazi kroz dovodnu kupolu od grlica pretvara se u finu uljanu maglu konstanten gustine.

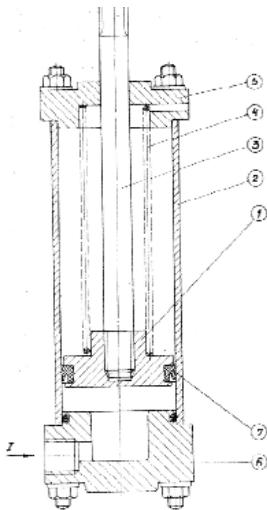


#### 43. Pneumatski servo ventil

Vazduh pod pritiskom dolazi iznad dijafragme i djeluje silom  $F=pA$  na nju. Usljed toga dolazi do sabijanja opruge, odnosno deformacije dijafragme i opruge I generisanja odgovarajućih sila koje djeluju u suprotnom smjeru. Opruga će se sabiti za onoliko koliko je potrebno da se izjednače sile otpora opruge i dijafragme sa ulaznom silom. Kada ulazni pritisak nije veći od minimalne vrijednosti (3 psi, 6 psi) opruga I dijafragma se ne deformišu. Ukoliko je ulazni pritisak veći od minimalne vrijednosti, zaptivni element će se u odnosu na krajnji gornji položaj pomjeriti prema sedištu ventila i usljed smanjene površine kroz koju strui fluid doći će do prigušenja strujanja i smanjenog protoka. Kada je ulazni pritisak jednak maksimalnoj vrijednosti (15psi, 30psi) ili veći od nje, pomjeranje je maksimalno moguće, odnosno toliko da se zaptivni element nalazi na sjedištu ventila čime je u potpunosti zatvoren prolaz fluidu i protok je 0.

#### 44. Pneumatski cilindri

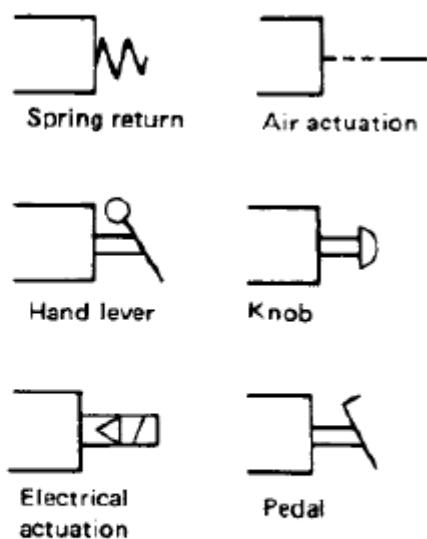
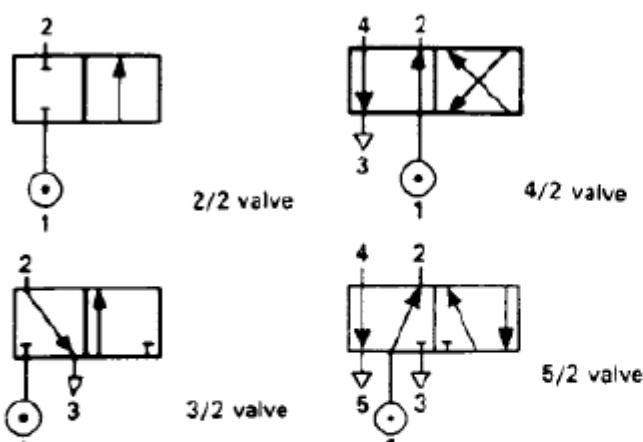
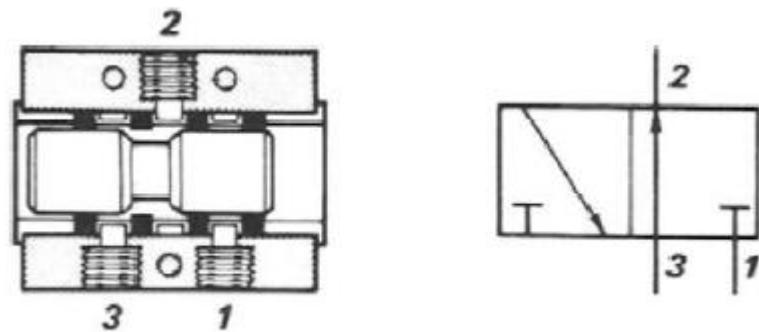
Po svojoj konstruktivnoj koncepciji pneumatski cilindri mogu biti izvedeni da pod dejstvom komprimovanog vazduha vrše neki rad u jednom ili dva smjera. Kada se komprimovani vazduh upušta u cilindar sa jedne strane klipa a druga je povezana sa atmosferom klip će se zbog sile klipa, atmosferom, koja djeluje na njega kao posljedica razlike pritisaka kretati u stranu manjeg pritiska. Kada je cilindar takav da se upuštanje komprimovanog vazduha može vršiti samo sa jedne strane, Takav se cilindar zove cilindar jednosmjernog dejstva. Kada se u cilindar naizmjenično upušta komprimovani vazduh sa obe strane klipa, Cilindar ovakvog konstruktivnog rješenja jeste cilindar dvosmjernog dejstva. Sila koja se dobija na klipnjači cilindra dvosmjernog dejstva zavisi od strane sa koje se upušta vazduh. Često uslovi primjene zahtjevaju da se kraj hoda klipa ne završi čvrstim dodjom o poklopac. U takvim slučajevima u tјelu poklopca se ugrađuje prigušni element tako da se zaustavljanje postiže sa tzv. "vazdušnim jastukom". Nešto prije kraja hoda izlaz vazduha je zatvoren srednjim dijelom klipa, tako da je preostali vazduh ispred klipa prinuđen da izlazi u atmosferu preko prigušnika. Pneumatski cilindri udarnog dejstva su relativno malih dimenzija, a imaju veliku udarnu silu.



## 45. Pneumatski razvodnici

Razvodnici su pneumatske komponente za upravljanje izvršnim organima (cilindrima). Preko razvodnika se vazduh pod pritiskom usmjerava prema cilindru ili se cilindar povezuje sa atmosferom. Razvodnik može biti aktiviran ručno, mehanički, pneumatski, eletkromagnetskom. Označavanje razvodnika vrši se prema broju otvora za priključke i broju položaja koje razvodnik može da zauzme. Tako npr. razvodnik označen sa 4/2 ima 4 priključka i dva položaja, a razvodnik 5/2 ima 5 priključaka i dva položaja.

Razvodnik se u šematskom prikazu uvijek crta u neaktivnom položaju, odnosno tako da je prikazana povezanost priključaka koja odgovara situaciji bez upravljačkog signala na razvodniku.



**Primjer simbola koji se koriste pri označavanju razvodnika**