

OSNOVNI SENZORI

- OTPORNIČKI SENZORI
- KAPACITIVNI SENZORI
- ELEKTROMAGNETNI SENZORI
- PIJEZOELEKTRIČNI SENZORI
- OPTOELEKTRONSKI SENZORI
- DIGITALNI SENZORI

OTPORNIČKI SENZORI

PRINCIP RADA

Promena otpora u zavisnosti od delovanja mehaničke sile, temperature ili zračenja odavno se primenjuje u tehnici senzora. Osnovni senzorski element u tom slučaju je otpornik ili rezistor.

Agregatno stanje otpornika je **čvrsto**, **tečno** ili **gasovito**.

Otpornički senzori od čvrstih materijala primenjuju se za merenje fizikalnih veličina koje su u vezi sa delovanjem mehaničke sile ili temperature.

Prave se od:

- metala ili
- poluprovodnika.

Otpor metalnih senzora računa se na osnovu poznate formule

$$R = \rho \frac{l}{S}$$

gde su:

ρ - specifični otpor koji zavisi od osobina materijala od kojeg je otpornik napravljen [Ωm],

l - dužina otpornika [m] i

S - poprečni presek otpornika [m^2].

- Delovanje mehaničke sile odražava se na otpornički senzor od metala kao promena njegovih geometrijskih parametara, dužine **l** ili preseka **S** .

- Osetljivost na promenu dužine l je konstantna, a na linearnu promenu poprečnog preseka S je nelinearna:

$$\frac{\Delta R}{\Delta l} = \frac{\rho}{S}$$

$$\frac{\Delta R}{\Delta S} = -\rho \frac{l}{S^2}$$

- Osnovno svojstvo svih čvrstih otpornika je da im otpor u manjoj ili većoj meri zavisi od **temperature**. Na toj osnovi grade se **senzori temperature**, koji su vrlo raspostranjeni i cenjeni u tehničkoj praksi. Zavisnost otpora od temperature je **nepoželjan efekat**, kada je u pitanju merenje mehaničkih veličina.
- U opštem slučaju promena otpora u zavisnosti od temperature je eksponencijalna:

$$R_t = Ae^{\alpha T}$$

$$R_t = R_0 Ae^{\alpha(T-T_0)}$$

gde su:

A - konstanta [Ω],

α - temperaturni koeficijent [$1/^\circ\text{C}$],

T - temperatura [$^\circ\text{C}$],

T_0 - referentna temperatura [0°C ili 20°C] a

R_0 - otpor na referentnoj temperaturi **T_0** .

- Temperaturna osetljivost $\Delta R/\Delta T$ otporničkih senzora je nelinearna. Za metale je ova osetljivost pozitivna, a za poluprovodnike negativna.
- Za tehničku praksu posebno su interesantni metali i poluprovodnici koji u određenim temperaturnim dijapazonima imaju konstantnu osetljivost. To su **termootpori** koji služe kao osnov za gradnju **senzora temperature**.

Tekućinski otpornički senzori su rastvori elektrolita, pa se često nazivaju elektrolitičkim senzorima.

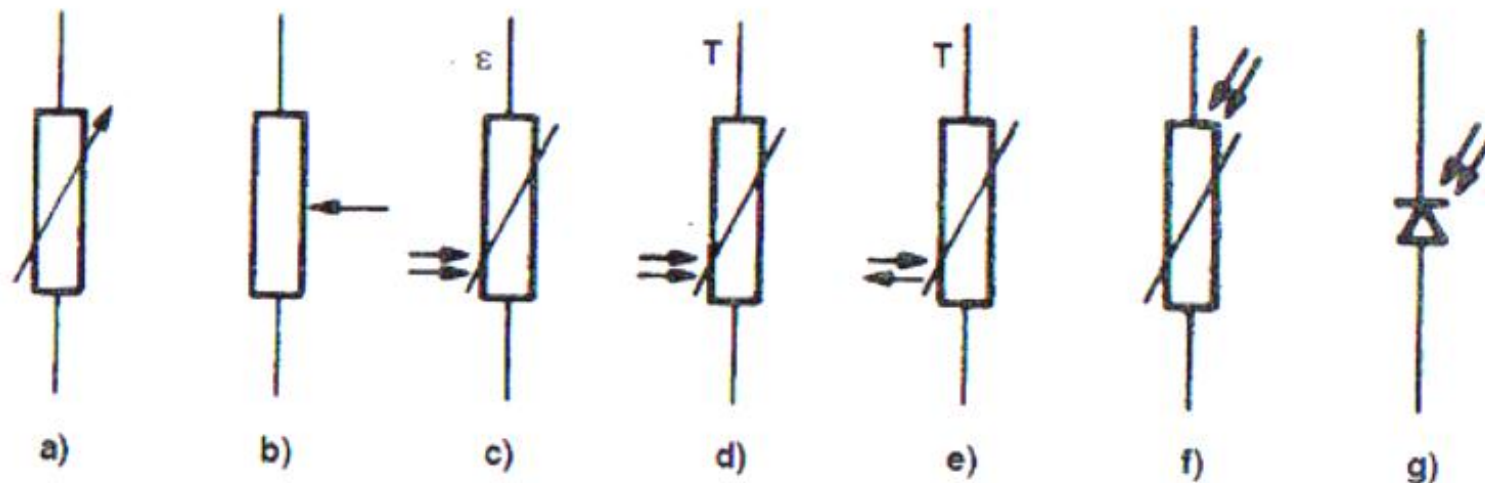
Promena otpora u zavisnosti od količine i vrste rastvorenog materijala predstavlja osnov za elektrohemijsko merenje koncentracije tog materijala u rastvoru.

Gasni otpornički senzori prave se kao stakleni baloni (cevi) ispunjeni razređenim gasom. Rade na osnovu osobine vodljivih gasova da im otpor zavisi od pritiska i jačine svetlosti, dok zavisnost od temperature nema praktični značaj.

Princip rada gasnih otpomičkih senzora primenjuje se u gradnji senzora niskog apsolutnog pritiska, tj. visokog vakuuma.

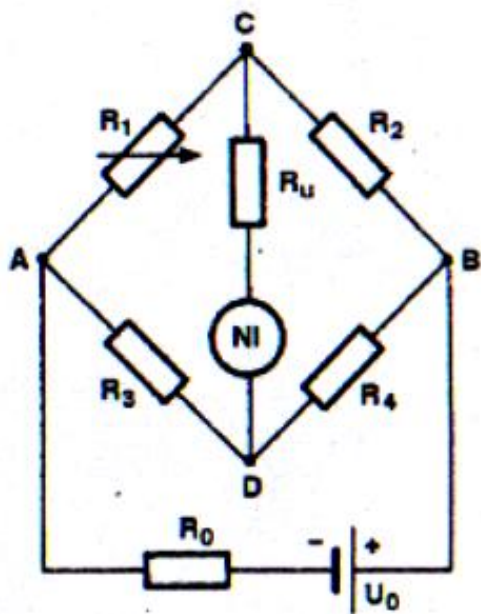
Obeležavanje otporničkih senzora

Na slici 9.1. prikazane su oznake otporničkih senzora. Vrednost otpora je od nekoliko Ω do nekoliko $M\Omega$, što zavisi od načina rada senzora.



MERNE ŠEME SA OTPORNIČKIM SENZORIMA

Šeme sa pasivnim mernim mostom. Principi rada pasivnih mernih mostova dobro su izučeni u teoriji merenja. Zbog svojih kvaliteta imaju značajno mesto u tehnici senzora, odnosno kod merenja otpora, kapaciteta ili induktiviteta senzora.



Ako je $R_0 \approx 0$, struja i napon u izlaznoj dijagonali mosta CD mogu se odrediti primenom Tevenenove teoreme:

$$I = U_0 \frac{R_1 R_4 - R_2 R_3}{R_1 R_4 (R_2 + R_3) + R_2 R_3 (R_1 + R_4)}$$

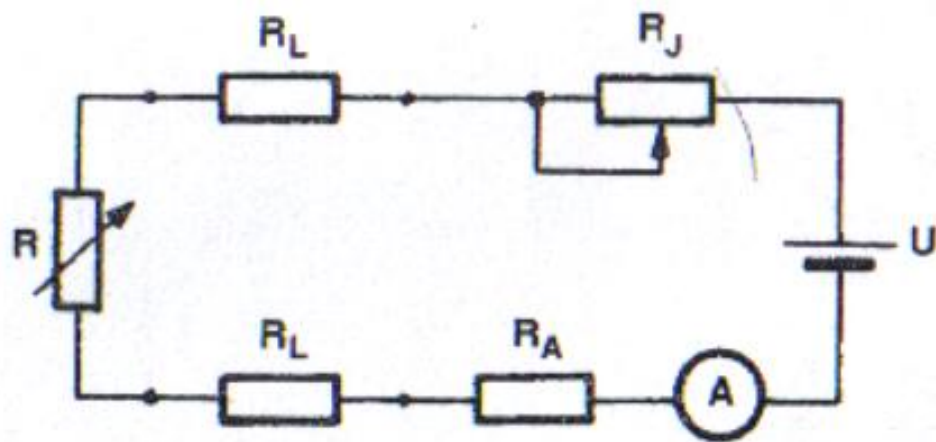
$$U = U_0 \left[\frac{R_1}{R_1 + R_2} - \frac{R_3}{R_3 + R_4} \right] = U_0 \frac{R_1 R_4 - R_2 R_3}{(R_1 + R_2)(R_3 + R_4)}$$

Merna šema za distanciono merenje otpora (I-metod)

Često je potrebno otpornički senzor postaviti na veću udaljenost od centralne merne aparature, ali tada otpor priključnih vodova od senzora do mosta umanjuje tačnost mernog mosta. Zato se za distanciono merenje otporničkog senzora primenjuje metod merenja struje (slika 9.3).

Struja u mernom kolu je:

$$I = \frac{U}{R + R_A + R_J + 2R_L}$$

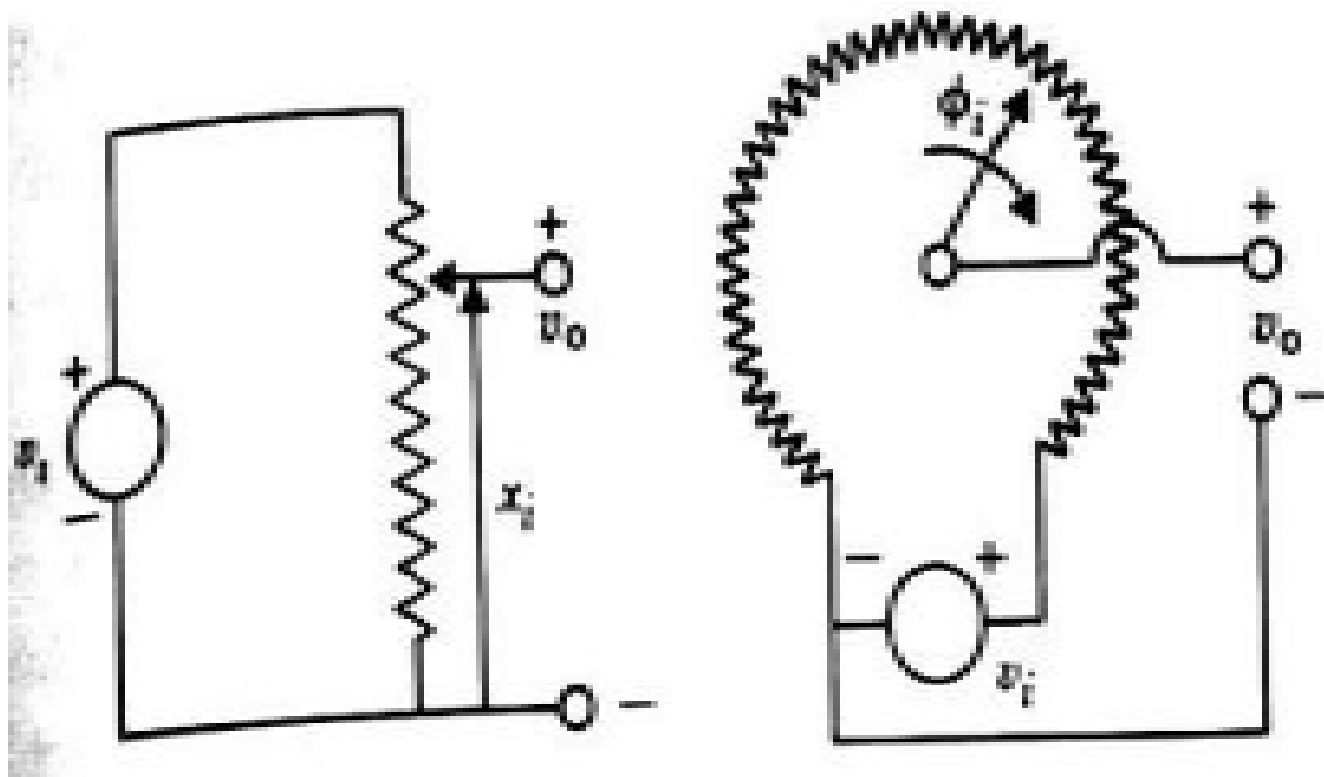


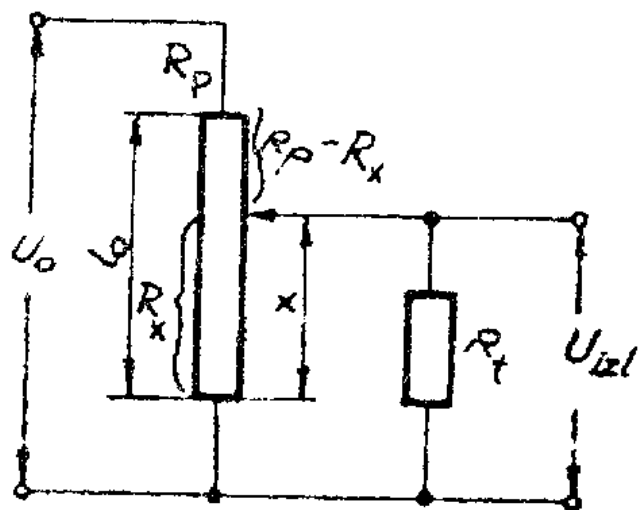
Nadomesni otpor R_J podešava se tako da ukupna suma bude $R_J + R_A + 2R_L = 50 \Omega$

Slika 9.3. Distanciono merenje otpora I-metodom

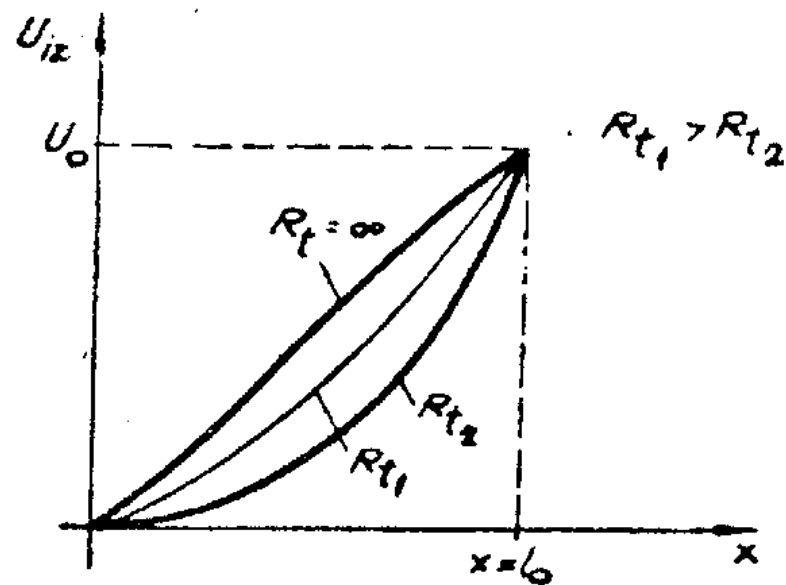
Potenciometarska šema (U-metod) primenjuje se za merenje otpora senzora na bliskim rastojanjima. Senzor u ovom slučaju ima oblik potenciometra, tj. otpomika sa klizačem i pogodan je za merenje mehaničkih veličina.

Struja u mernom kolu je:





a)



b)

$$R_t = \infty$$

$$U_{iz0} = I \cdot R_x = \frac{U_0}{R_p} \cdot R_x = \frac{U_0}{l_0} \cdot x$$

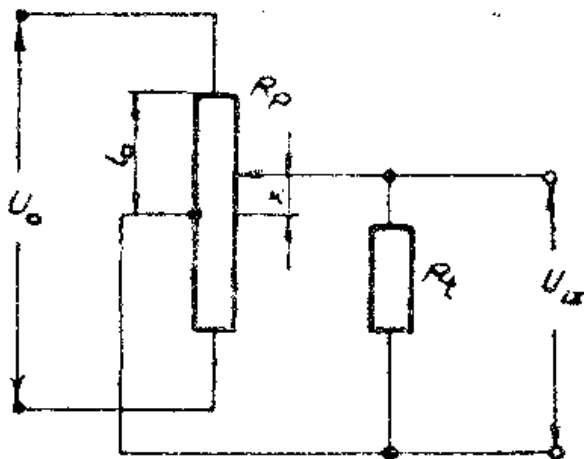
$$R_t \neq \infty$$

$$U_{iz} = \frac{U_0}{(R_p - R_x) + \frac{R_x R_t}{R_x + R_t}} \cdot \frac{R_x R_t}{R_x + R_t}$$

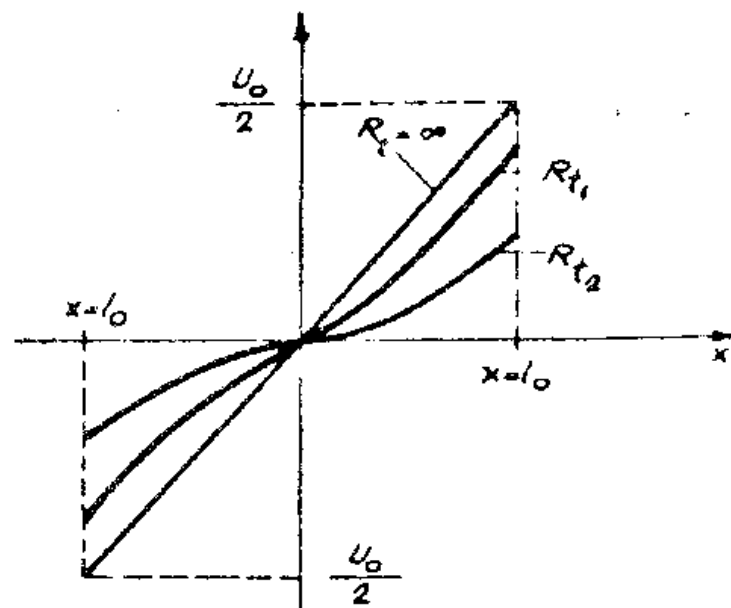
$$\xi = R_p / R_t$$

$$U_{iz} = \frac{U_0}{l_0 + \xi \cdot x(1 - x/l_0)} \cdot x$$

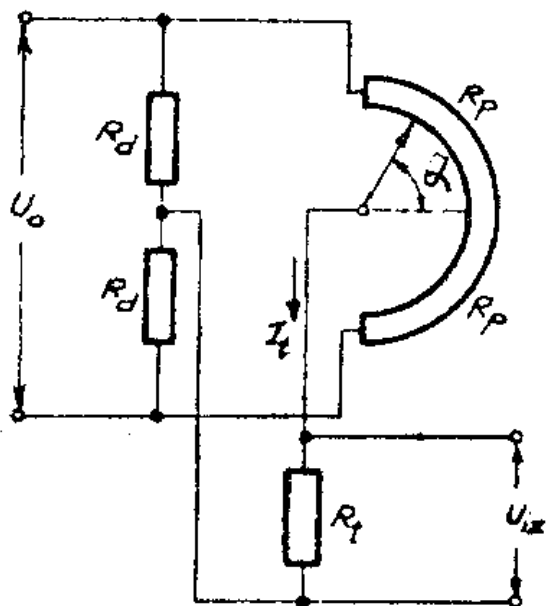
$$U_{iz} = \frac{U_0}{\alpha_0 + \xi \cdot \alpha(1 - \alpha/\alpha_0)} \cdot \alpha$$



a)



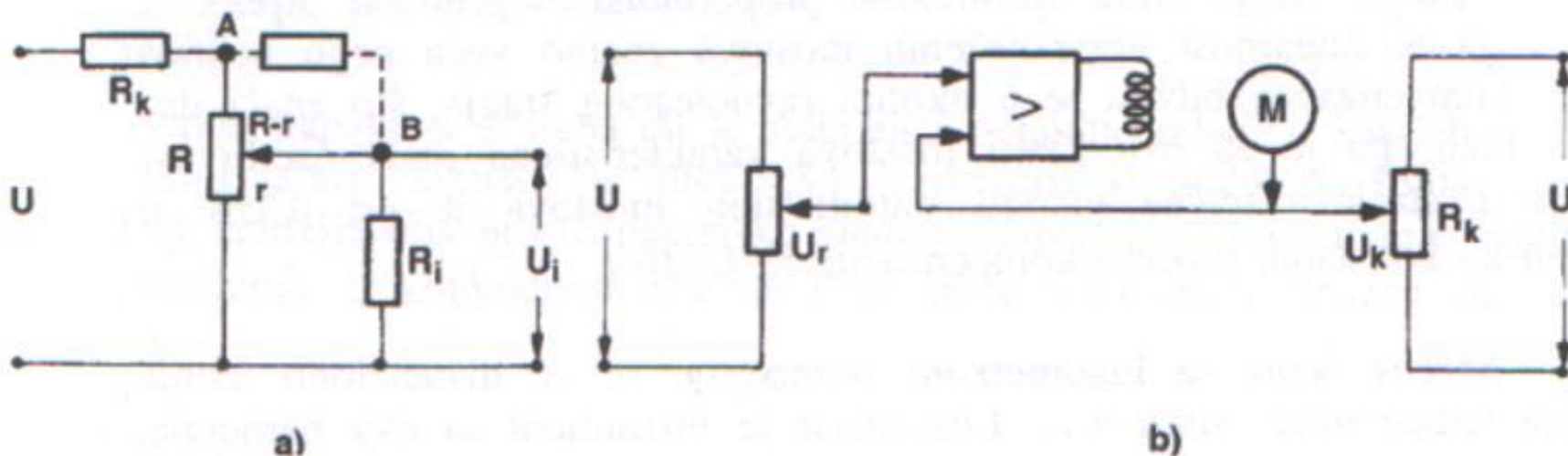
b)



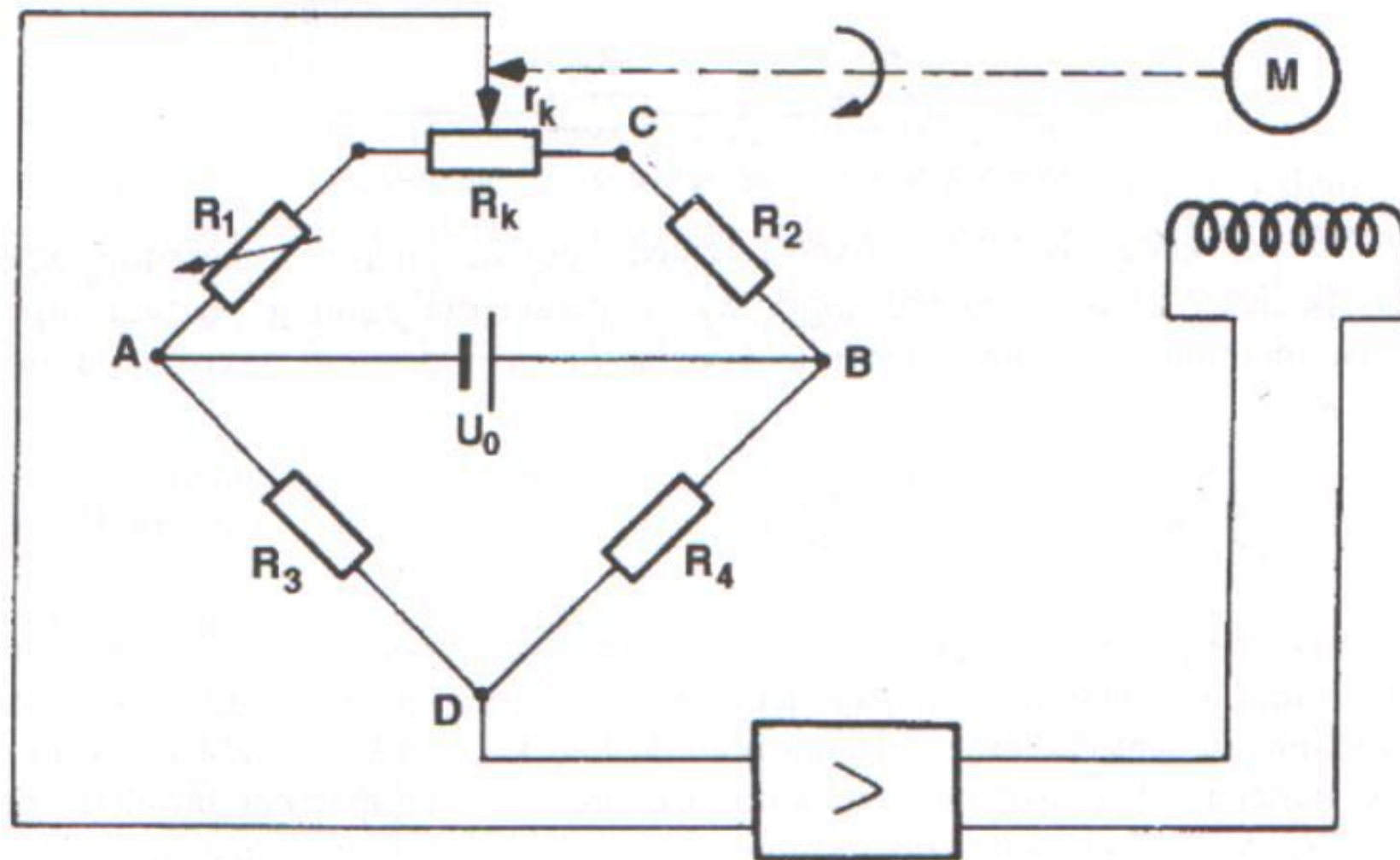
$$U_{iz} = \frac{U_0}{\alpha_0 \left[2 + \frac{R_d}{R_t} + \xi \left(1 - \frac{\alpha^2}{\alpha_0^2} \right) \right]} \cdot \alpha$$

U praksi se primenjuje više načina za smanjenje nelinearnosti, tj. otklanjanje uticaja otpora opterećenja na izlazni napon potenciometerskog senzora:

- 1) Dodavanje kompenzacionog otpornika R_k u seriju sa potenciometerskim senzorom (slika 9.5.a).
- 2) Automatska kompenzacija na principu servomehanizma (slika 9.5.b).
- 3) Postavljanje impedantnog rastavljača (naponskog sledila) između potenciometerskog senzora i opterećenja.



Slika 9.5. Otklanjanje uticaja otpora opterećenja

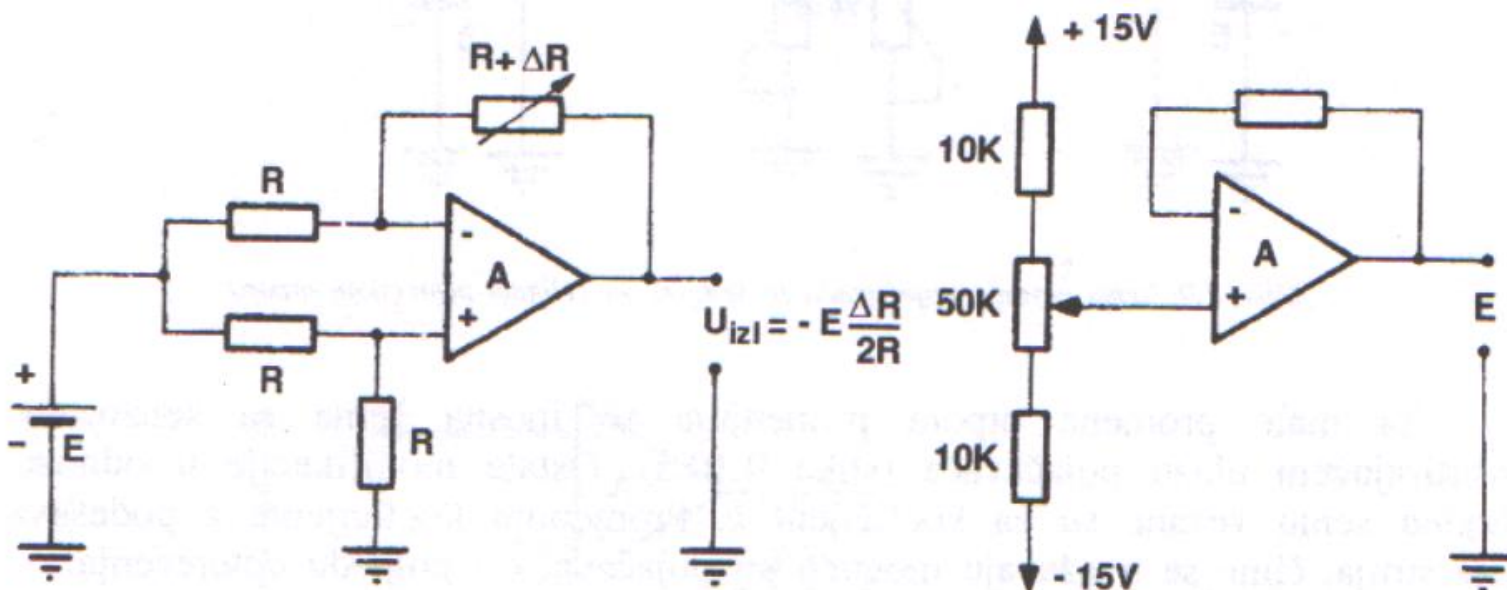


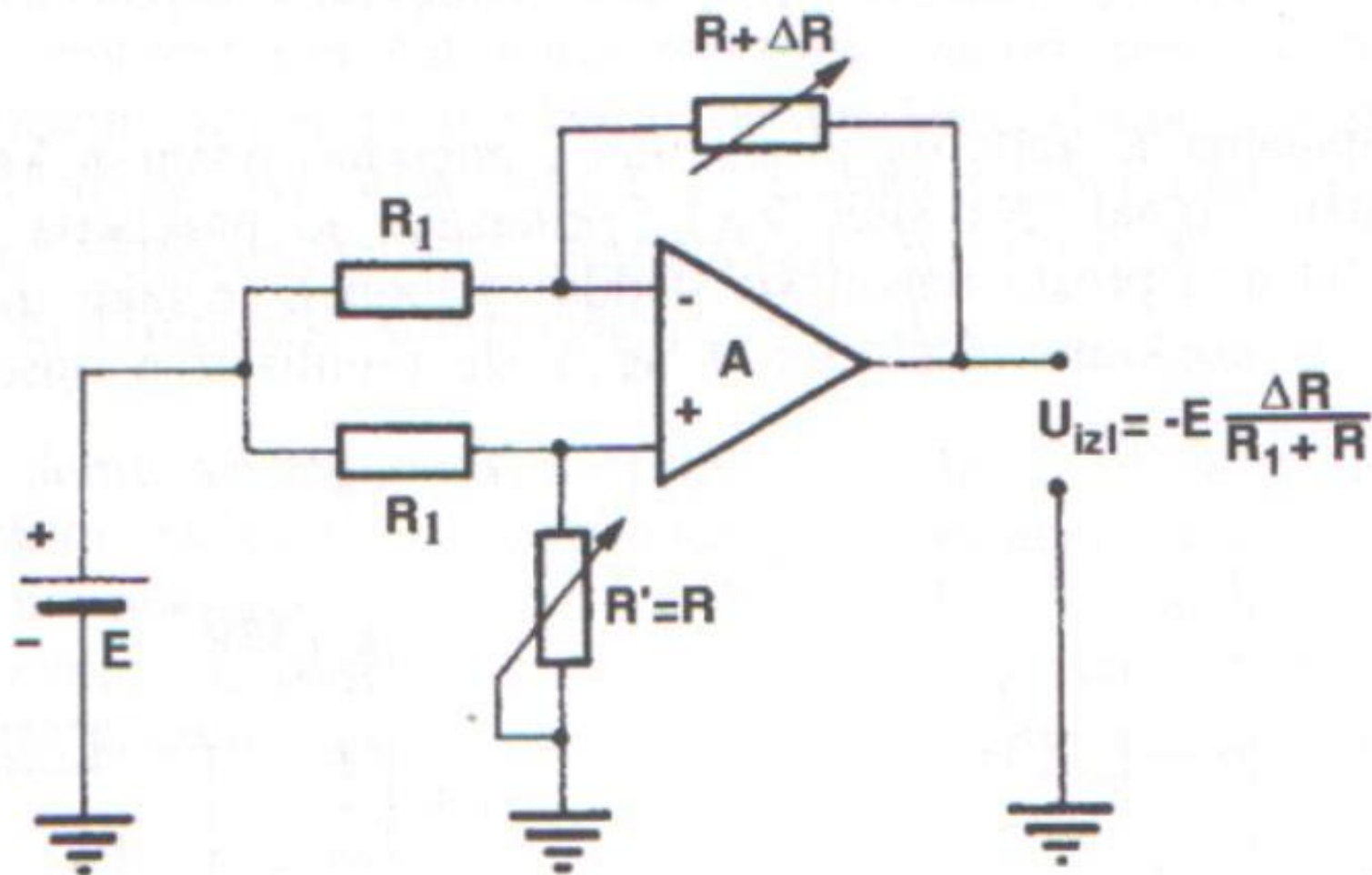
Slika 9.6. Merenje otpora senzora metodom automatske kompenzacije

Metoda mosnih pojačavača. Najveće ograničenje metode merenja otpora pomoću Vinstonovog mosta je osetljivost izlaznog napona na nestabilnost napona napajanja i nelinearnost statičke karakteristike.

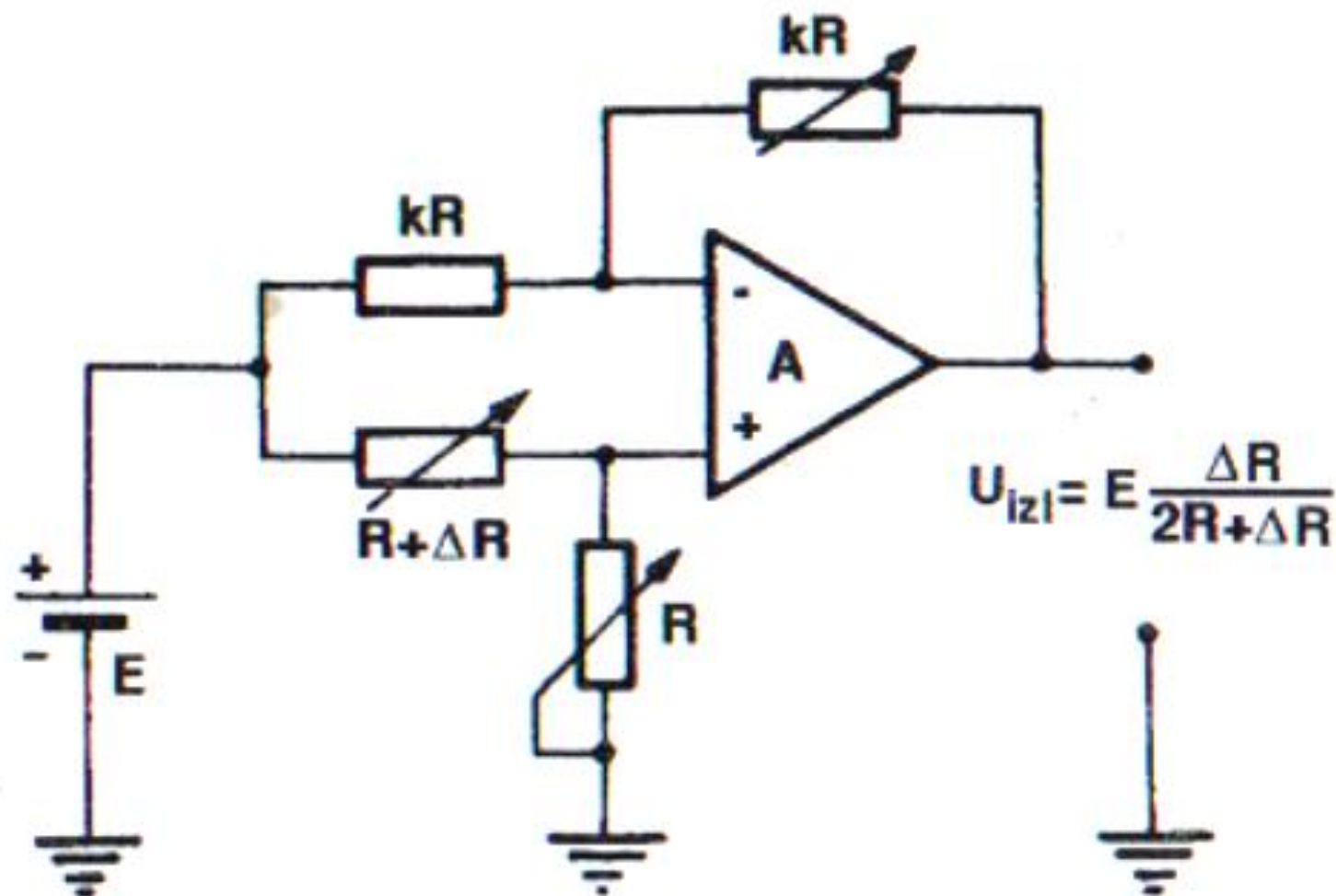
Radi poboljšanja merenja često se upotrebljavaju **mosni pojačavači**. Operacioni pojačavač, tri otpornika jednake otpomosti i otpornički senzor, kao na slici 9.8.a, obrazuju osnovnu šemu mosnog pojačavača.

U praktičnoj primeni je teško ostvariti da sva tri otpornika R imaju otpor jednak otporu senzora za početne uslove. Zato se posebno realizuju šeme za **velike**, a posebno za **male promene otpora** senzora.





Slika 9.9. Šema mosnog pojačavača za senzore sa velikom promenom otpora

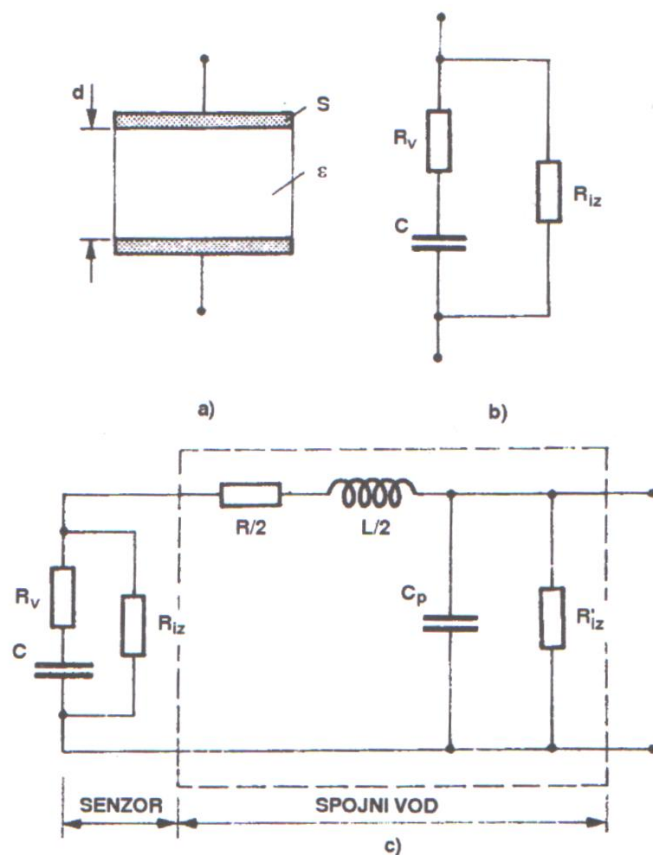


Slika 9.10. Šema mosnog pojačavača za senzore sa malom promenom otpora

KAPACITIVNI SENZORI

PRINCIP RADA

Dve metalne ploče između kojih se nalazi dielektrični (izolacioni) materijal grade kondenzator (slika 10.1.a).



$$C = \epsilon_0 \epsilon_r \frac{S}{d}$$

Slika 10.1. Kapacitivni senzor

- a) opšti prikaz,
- b) ekvivalentna šema,
- c) ekvivalentna šema sa priključnim vodovima

Dobre osobine kapacitivnih senzora su:

- ✓ jednostavnost,
- ✓ preglednost,
- ✓ visoka osetljivost,
- ✓ svestrana upotrebljivost (kako za praćenje stacionarnih tako i za praćenje brzo promenljivih fizikalnih veličina), te
- ✓ primena i kod viših temperatura.

Loše osobine su njihov

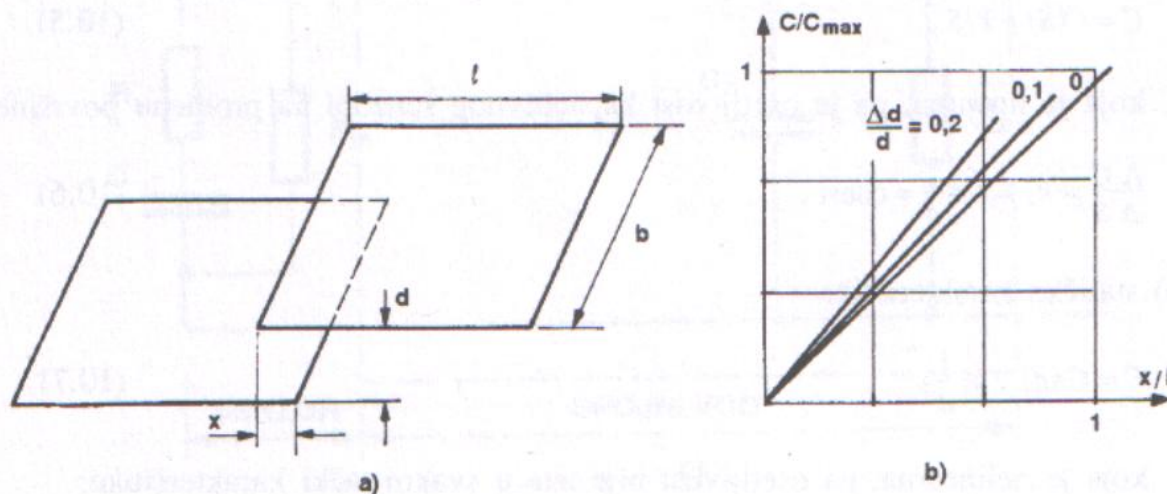
- **veliki unutrašnji otpor**, koji zahteva još veći ulazni otpor mernog bloka i
- **osetljivost relativne dielektrične konstante dielektrika** na delovanje tečnosti sa $\epsilon_r > 1$, kao što su razna ulja, a naročito voda ($\epsilon_r = 80$).

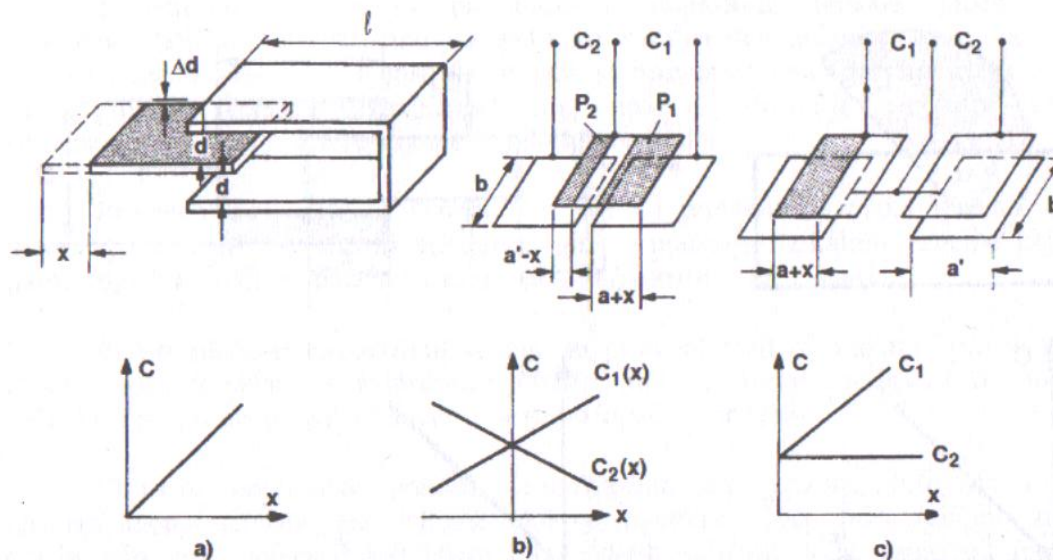
NAČINI GRADNJE KAPACITIVNIH SENZORA

Načini gradnje kapacitivnih senzora razlikuju se prema tome da li se promena kapaciteta ostvaruje:

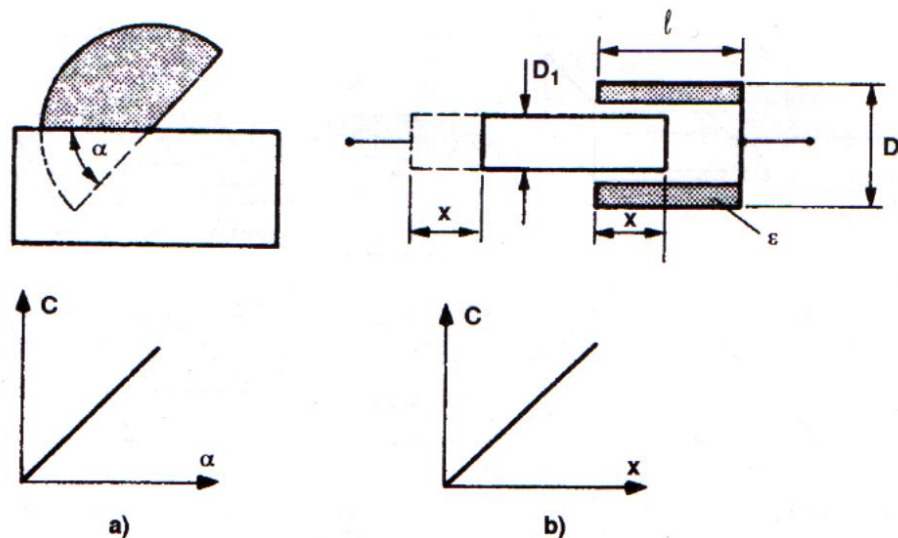
- menjanjem aktivne površine između ploča (elektroda),
- menjanjem zazora između elektroda ili
- promenom dielektrika.

Kapacitivni senzori sa promenljivom površinom





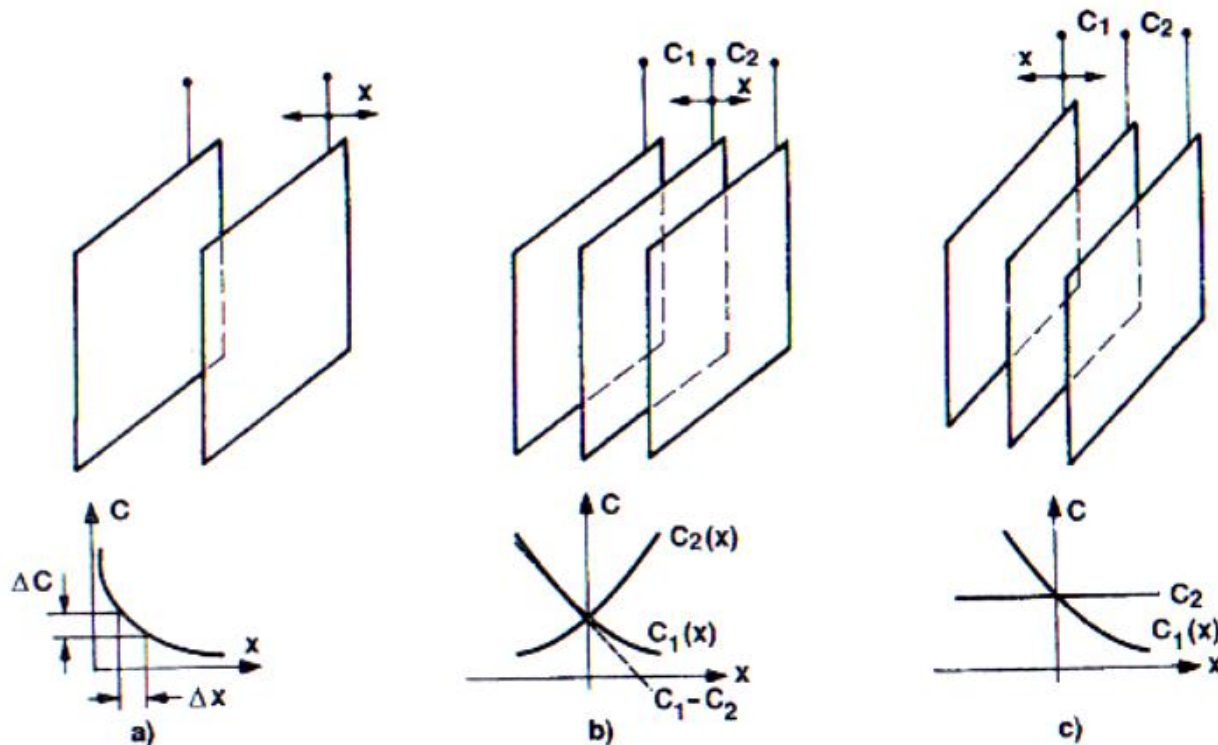
Slika 10.3. Realizacije pločastih kapacitivnih senzora i njihove statičke karakteristike:
a) poboljšana varijanta, b) diferencijalni, c) poludiferencijalni



Slika 10.4. Realizacije kapacitivnih senzora: a) ugaoni, b) cilindrični

Kapacitivni senzori sa promenljivim razmakom između ploča

Promena kapaciteta je veoma osetljiva na promenu razmaka između ploča senzora, pa se zato ovi senzori upotrebljavaju za praćenje fizikalnih veličina koje se manifestuju kao mali pomaci reda milimetra, mikrometra, pa i manje.

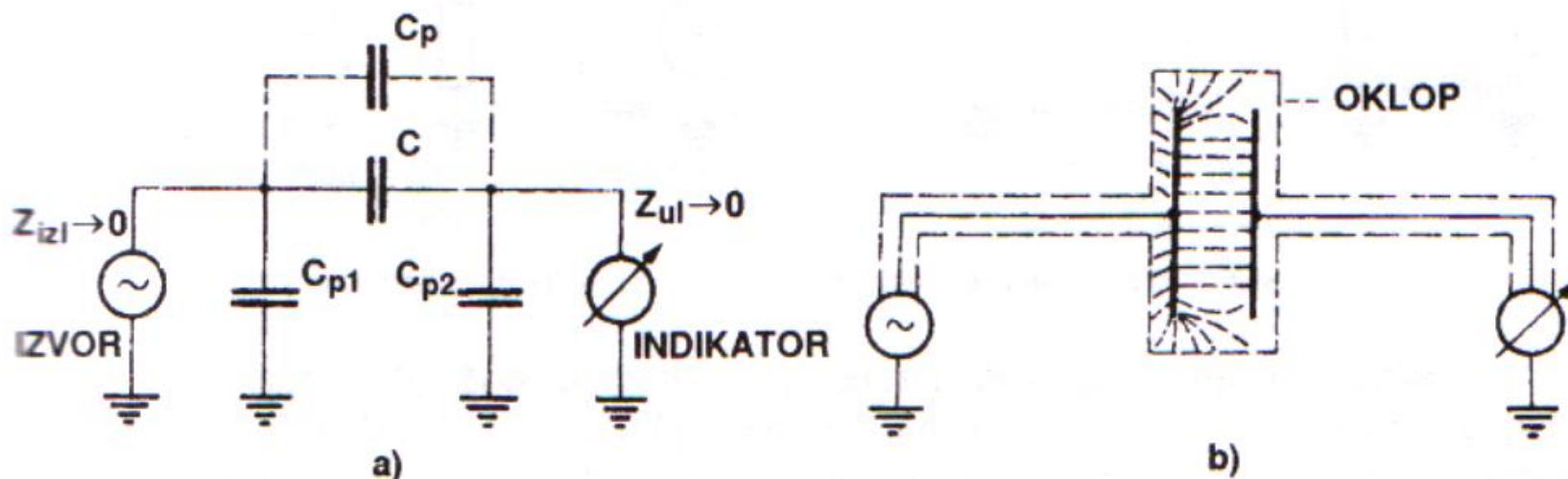


Slika 10.5. Kapacitivni senzori sa promenljivim zazorom i njihove statičke karakteristike:
a) prosti, b) diferencijalni, c) poludiferencijalni

MERNE ŠEME SA KAPACITIVNIM SENZORIMA

Osnovni problem koji se javlja prilikom uključivanja kapacitivnog senzora u mernu šemu je odstranjivanje parazitnih kapaciteta između obloga kondenzatora sa priključnim vodovima i mase.

Šema za eliminaciju uticaja parazitnih kapaciteta naziva se potencijalno-strujna ili trokontaktna šema. Osnovni princip ove šeme je da nijedna elektroda senzora nije direktno spojena sa masom (slika 10.7.a).



Slika 10.7. Priključivanje kapacitivnog senzora:
a) potencijalno-strujna šema, b) elektrostatika zaštita

ELEKTROMAGNETNI SENZORI

PRINCIP RADA

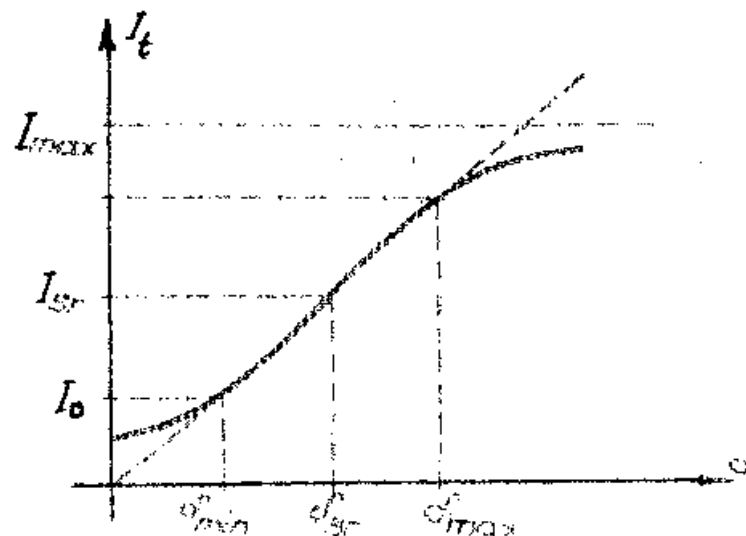
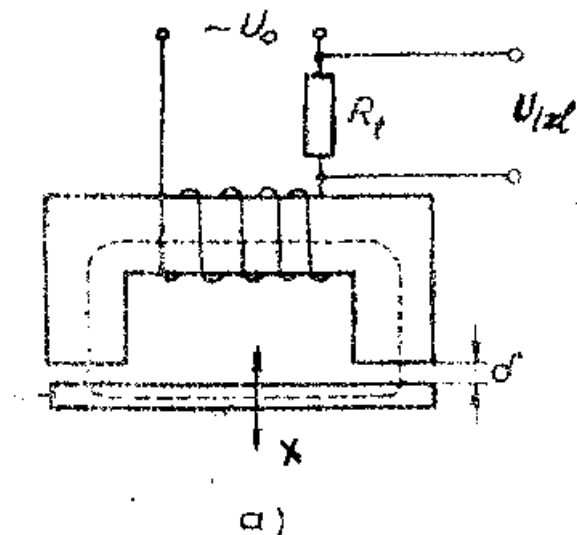
Princip rada **elektromagnetnih senzora** zasniva se na zavisnosti induktivnosti kalema od promene otpora elektromagnetnog kola ili na elektromagnetnoj indukciji.

U tom smislu razlikuju se:

- induktivni,
- međuinduktivni i
- indukcioni (elektrodinamički) senzori.

Induktivni i međuinduktivni spadaju u pasivne, a indukcioni u aktivne senzore

INDUKTIVNI SENZORI



$$G_m = \frac{1}{R_{Fe} + R_\delta} \quad R_\delta = \frac{2\delta}{\mu_0 S} \quad R_{Fe} \ll R_\delta \quad L = N^2 G_m = \frac{N^2 \mu_0 S}{2\delta}$$

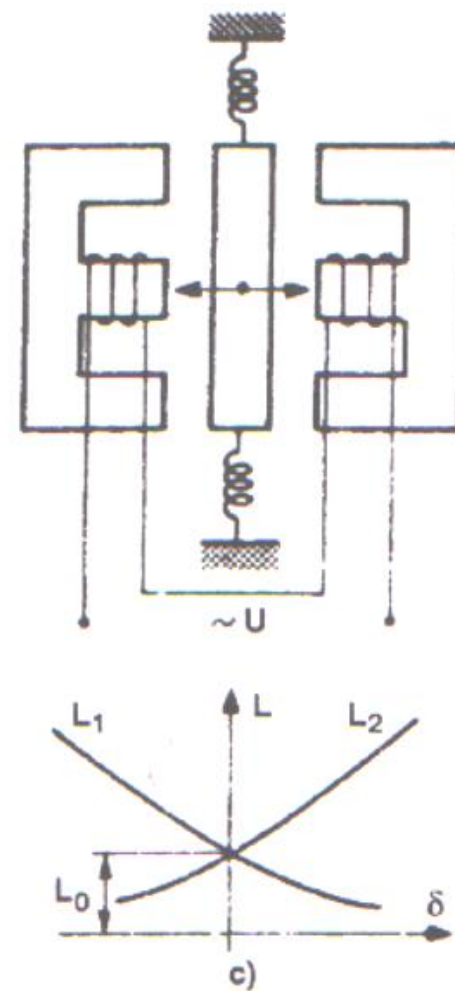
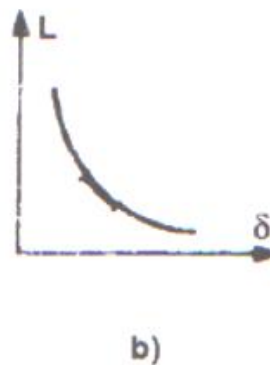
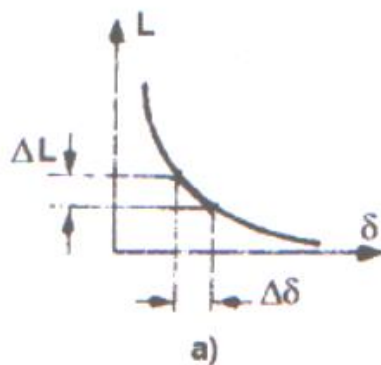
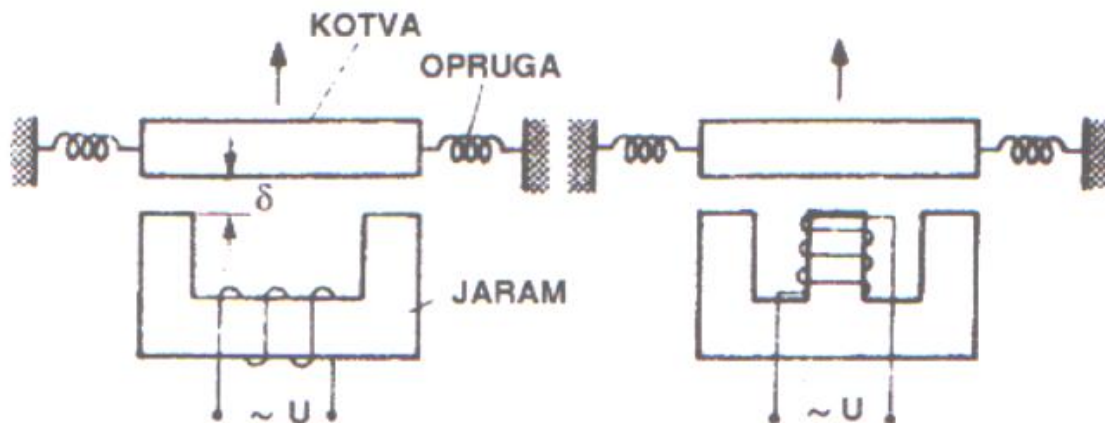
$$I_t = \frac{U_0}{\sqrt{(R_t + R_d)^2 + X_L^2}} = \frac{U_0}{\sqrt{(R_t + R_d)^2 + \left(\frac{2\pi f \mu_0 S N^2}{2\delta}\right)^2}} \quad X_L = 2\pi f L$$

$$X_L \gg (R_t + R_d)$$

$$I_t = \frac{U_0}{X_L} = K_{ID} \cdot \delta \quad K_{ID} = \frac{I}{\delta} = \frac{U_0}{\pi f \mu_0 S N^2} \quad U_{iz} = I_t R_t = K_{ID} R_t \delta$$

Način gradnje induktivnih senzora

1) Induktivni senzori sa promenljivim zazorom



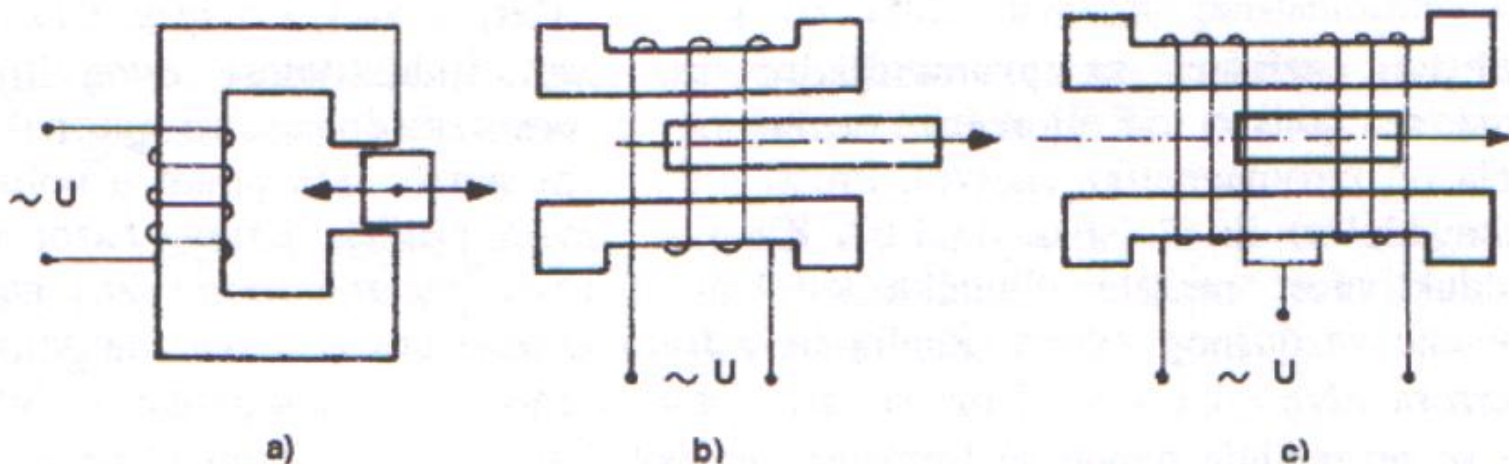
Induktivni senzori sa promenom zazora i njihove statičke karakteristike:

- a) prosti induktivni senzor sa U-presekom, b) prosti induktivni senzor sa E-presekom, c) diferencijalni induktivni senzor

Ozbiljan nedostatak prostih induktivnih senzora je nelinearnost statičke karakteristike i mali opseg promene zazora.

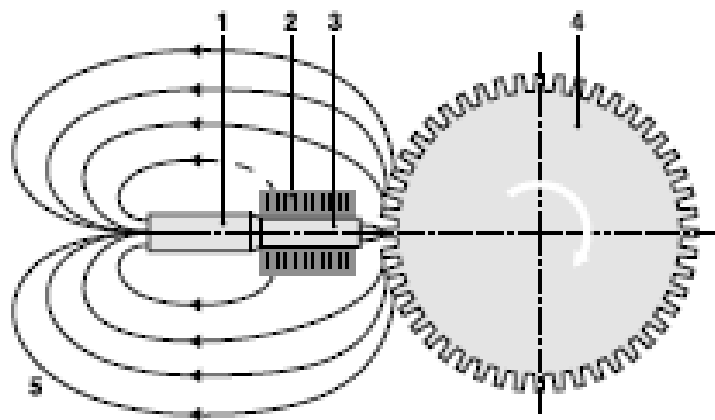
Osim toga, kada kroz induktivitet teče konstantna struja između jarma i kotve deluje privlačna sila, koja izaziva nepoželjno kretanje kotve. Mnogo je bolji diferencijalni induktivni senzor.

2) Induktivni senzori sa promenljivom površinom vazdušnog zazora

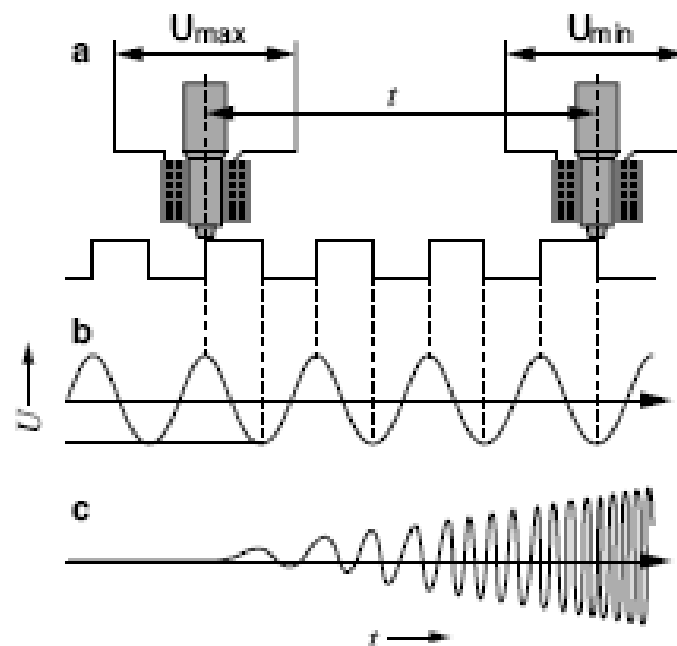


Induktivni senzori sa promenljivom površinom: a) prosti, b) prosti s pomičnim jezgrom, c) diferencijalni

Primer induktivnog senzora sa promenljivim vazdušnim zazorom

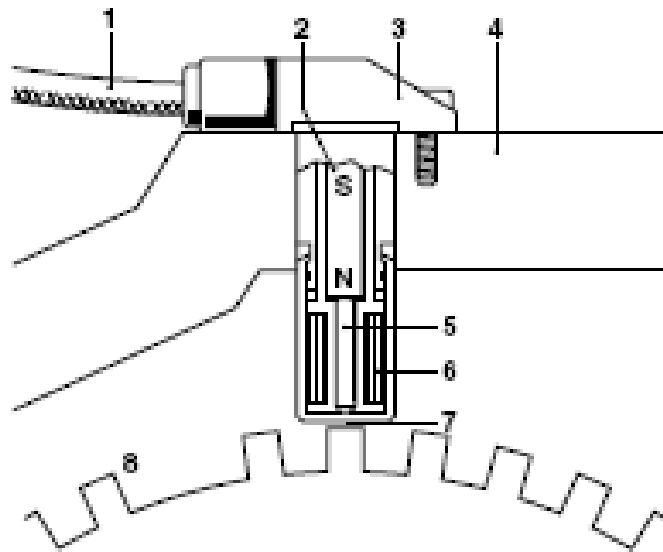


- 1 Permanent magnet
- 2 Solenoid
- 3 Pole piece
- 4 Steel sensor ring
- 5 Magnetic lines of force



- a Passive wheel-speed sensor with sensor ring
- b Sensor signal at constant wheel speed
- c Sensor signal with increasing wheel speed

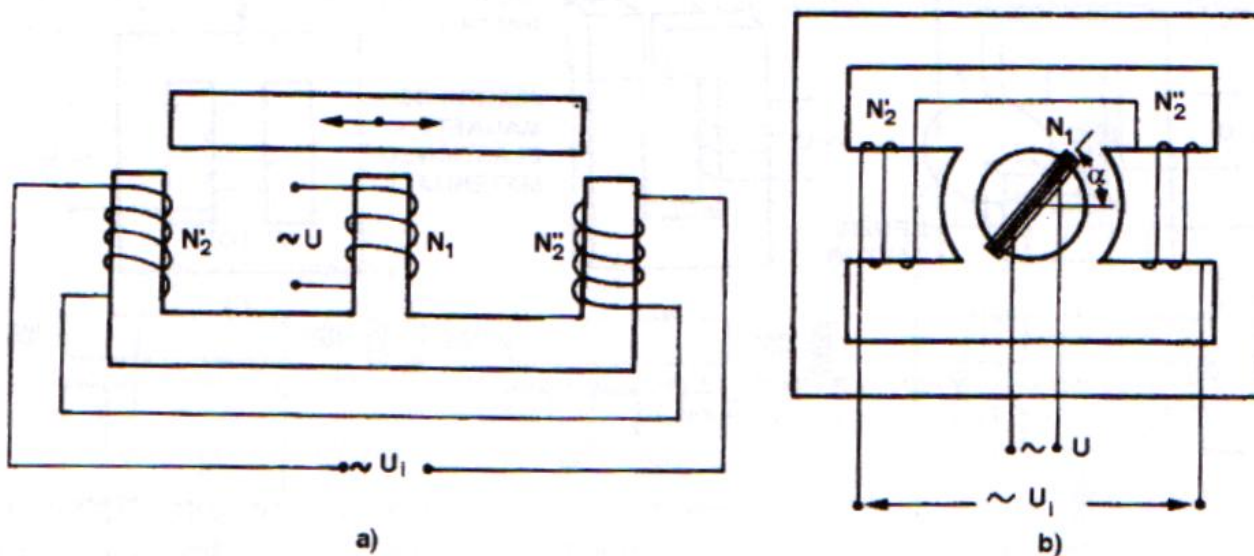
Primer induktivnog senzora sa promenljivim vazdušnim zazorom



- 1 Cable
- 2 Permanent magnet
- 3 Sensor housing
- 4 Housing block
- 5 Soft-iron core
- 6 Coil
- 7 Air gap
- 8 Trigger wheel with reference mark

MEĐUINDUKTIVNI SENZORI

Princip rada. Ovo je posebna klasa induktivnih senzora jer imaju po dva navoja magnetno povezana. Zahvaljujući tome, između izvora napajanja i izlaz postoji transformatorska veza, pa se ovi senzori nazivaju i transformatorski. Grade se tako da imaju promenljivu širinu zazora ili promenljivu površinu preseka. Pogodni su za merenje malih mehaničkih pomeraja.



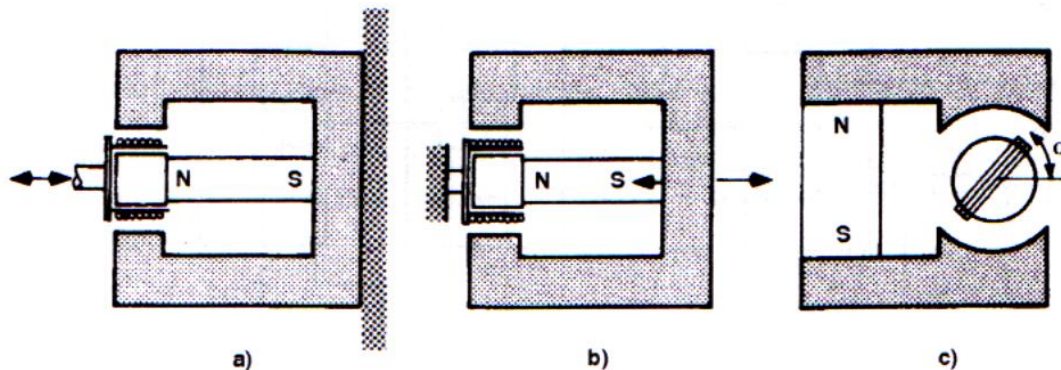
Transformatorski induktivni senzor: a) sa linearnim pomeranjem kotve, b) sa ugaonim zakretanjem primara

INDUKCIONI SENZORI

Princip rada ovih senzora zasniva se na elektromagnetskoj indukciji. U provodniku koji se kreće i preseca silnice stalnog magnetnog polja (slika a) indukuje se napon.

Upotrebljavaju za detekciju brzine ili veličina koje su sa njom u funkcionalnoj vezi.

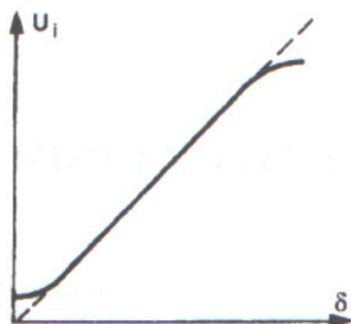
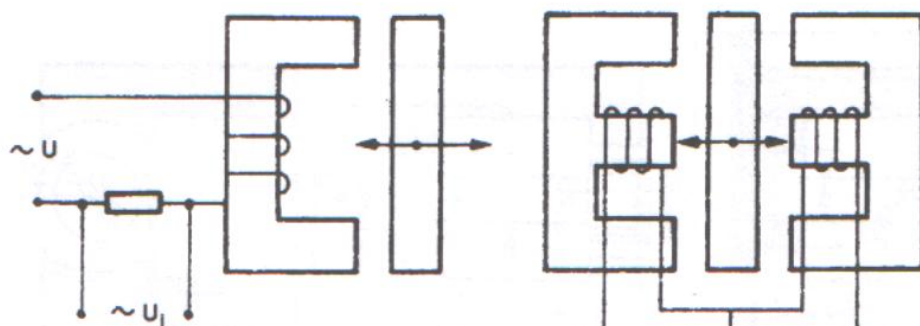
Kao izvanredni detektori vibracija primenjuju se u alarmnim sistemima pod različitim komercijalnim nazivima (geofon, vibrafon). Uobičajena tačnost je reda 0,1-1%.



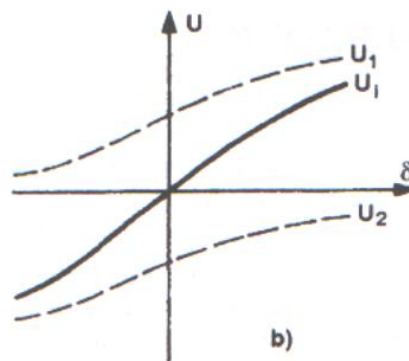
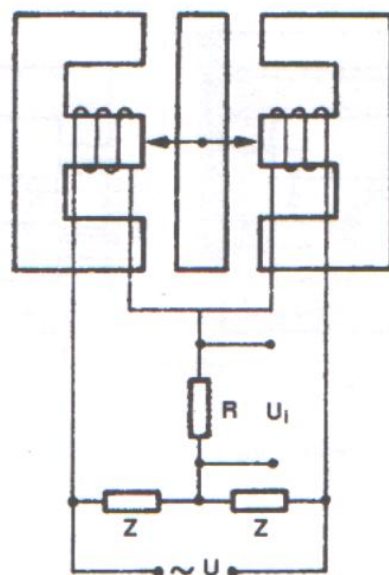
Indukcioni senzori: a) sa pokretnim kalemom, b) sa pokretnim magnetom, c) za detekciju ugaone brzine

MERNE ŠEME SA ELEKTROMAGNETNIM SENZORIMA

Dele se na one koje se primenjuju za proste i na one koje su namenjene za različite varijante diferencijalnih senzora.



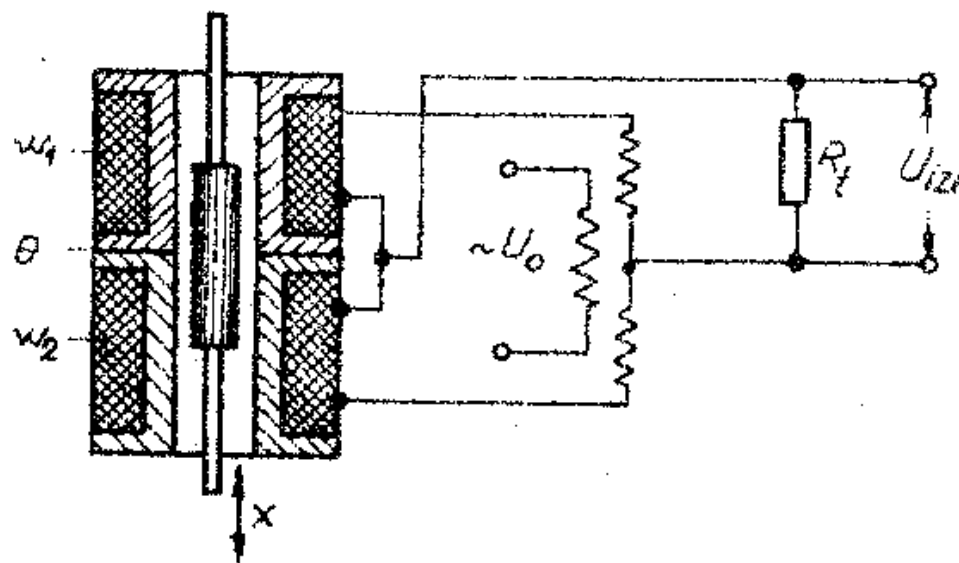
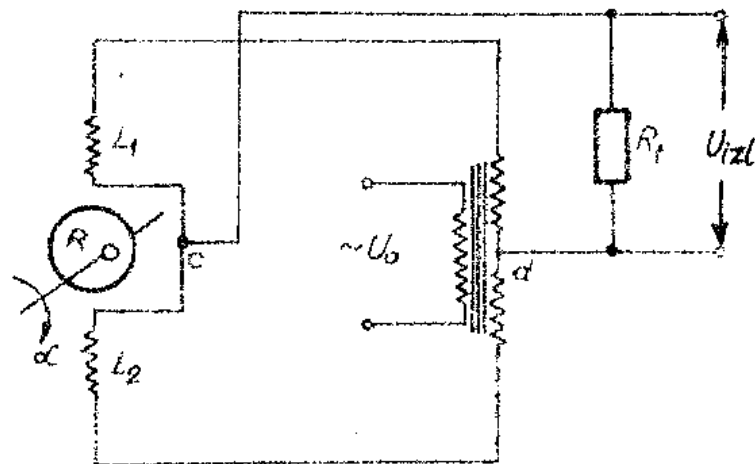
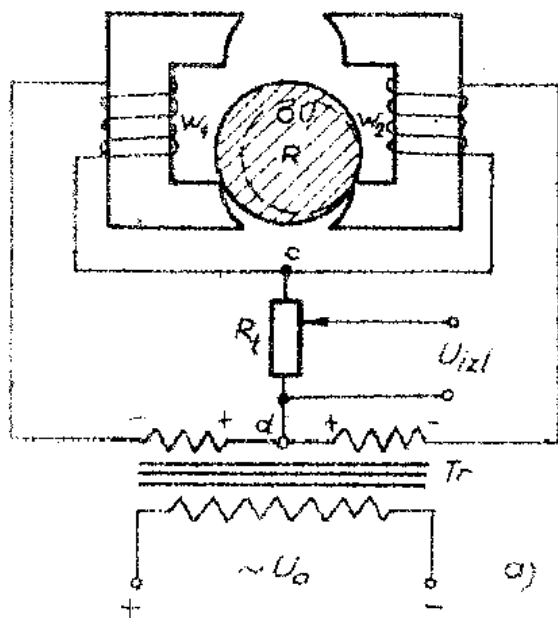
a)



b)

Merne šeme sa induktivnim senzorom:

- a) sa prostim senzorom,*
- b) sa diferencijalnim senzorom*



PIJEZOELEKTRIČNI SENZORI

PRINCIP RADA

- Zasniva se na **Pijezoelektričnom efektu** koji su eksperimentalnim putem otkrili braća Pjer i Žak Kiri 1880. Oni su primetili da izvesni dielektrični materijali monokristalne strukture kada se mehanički naprežu razvijaju električni potencijal.
- Najpoznatiji prirodni pijezo-materijali su: kvarc (SiO_2), Rošelova so, Senjetova so, amonijum-dihidrogen-fosfat i turmalin.
- Razvojem tehnologije sintetizovani su mnogi veštački polarizovani materijali na bazi barijum-titanata (BaTiO_3), olovo-titanata (PbTiO_3) i olovo-cirkonata (PbZrTiO_3 , akronim PZT), koji su poznati pod zajedničkim nazivom **pijezokeramika**.

- Pijezoeфект тумаџи се настaнком или изменом диполног момента P приликом померања електричних наелектрисања q под деловањем механичког напрезања.
- Ово је direktni pijezoeфект, док се промена средњег растојања l између центара дипола под утицајем електричног поља E означава као inverzni pijezoeфект.
- имају израђену осетљивост на деловање радијације и temperature.

Dobre osobine pijezomaterijala su:

- ✓ одлиџни генератори напона (и до 100 kV);
- ✓ имају интензитет оtkаза реда 10^{-6} h^{-1} ; и
- ✓ имају димензије и до 100 пута мање у поређењу са сличним елементима од класиџних материјала.

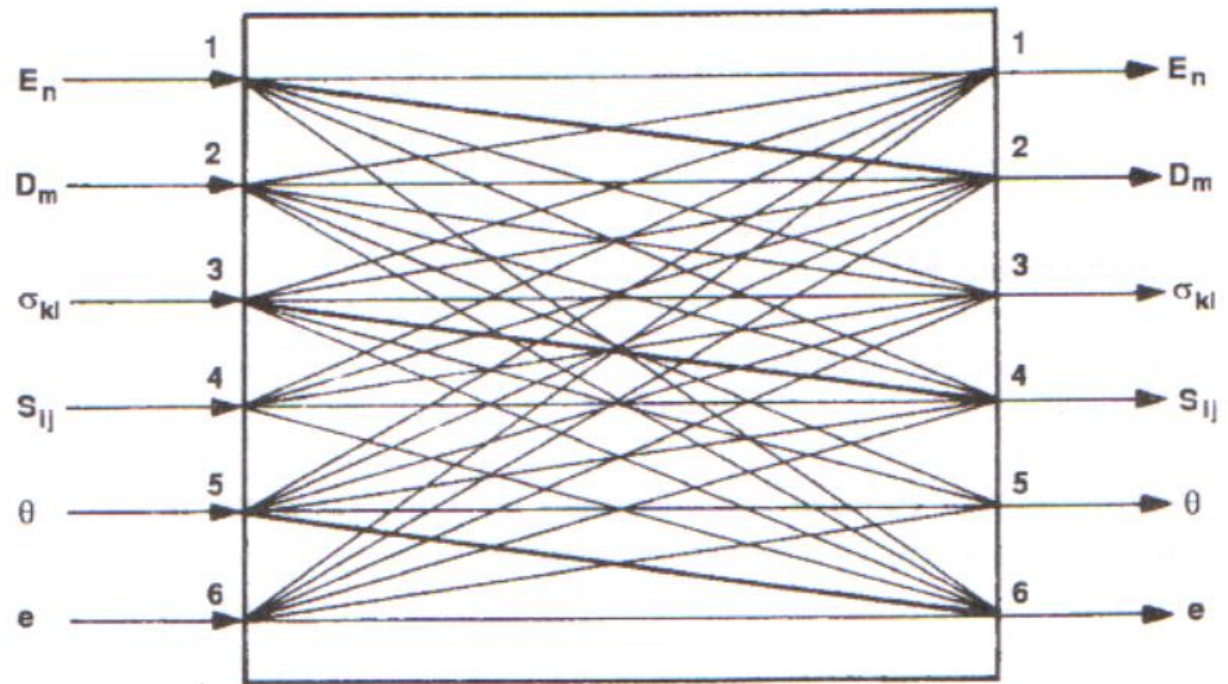
Loše osobine su osetljivost na delovanje

- radijacije i
- temperature

Stanje pijezelektričnog dielektrika, u opštem slučaju, zavisi od odnosa električnih, mehaničkih i toplotnih veličina.

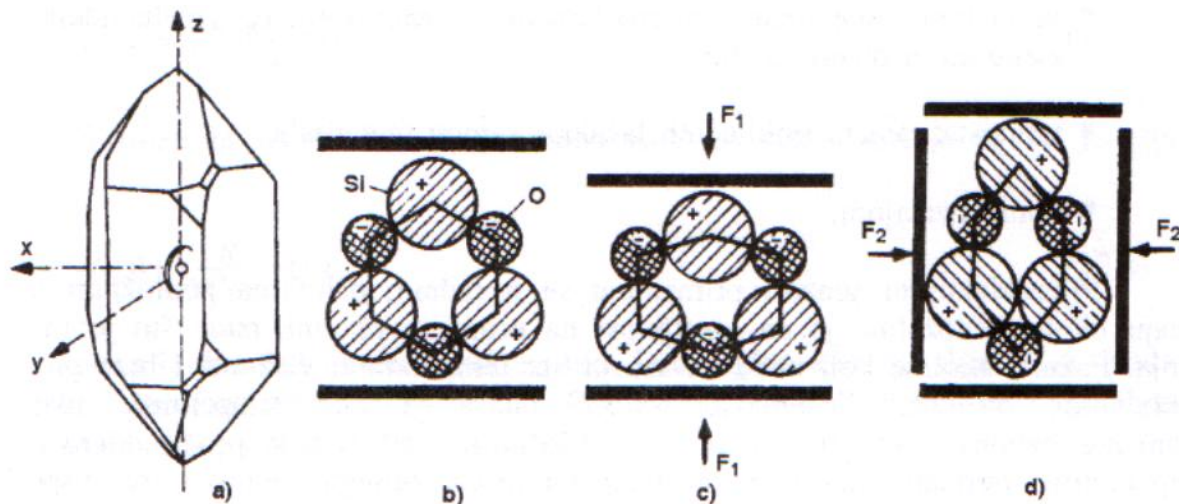
To stanje se predstavlja kao funkcionalna zavisnost :

- električnog polja E ,
- električne indukcije D (ili polarizacije P),
- mehaničkog napre-
zanja σ ,
- mehaničke deforma-
cije S ,
- temperature θ , i
- entropije e .

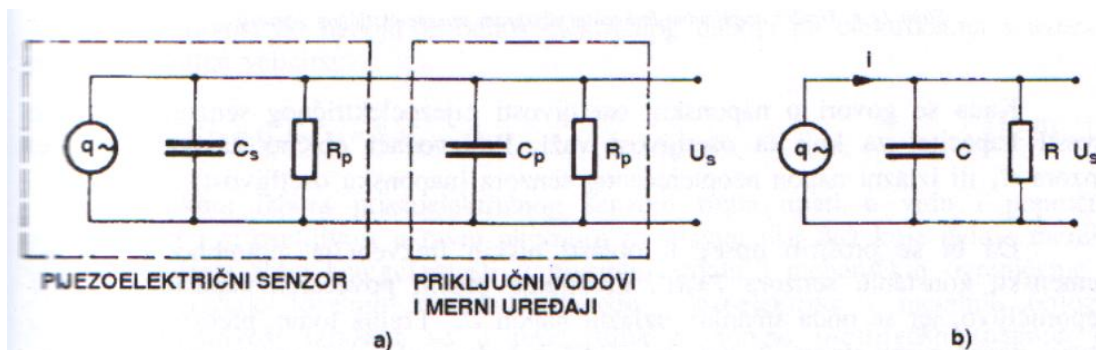


Grafička interpretacija ove zavisnosti prikazuje pizeoelement kao **složen multivarijabilni sistem**.

Fenomen pijezelektričnog efekta



a) Kristal kvarca, b) neopterećeni kristal, c) mehaničko opterećenje duž ose X, d) mehaničko opterećenje duž ose Y

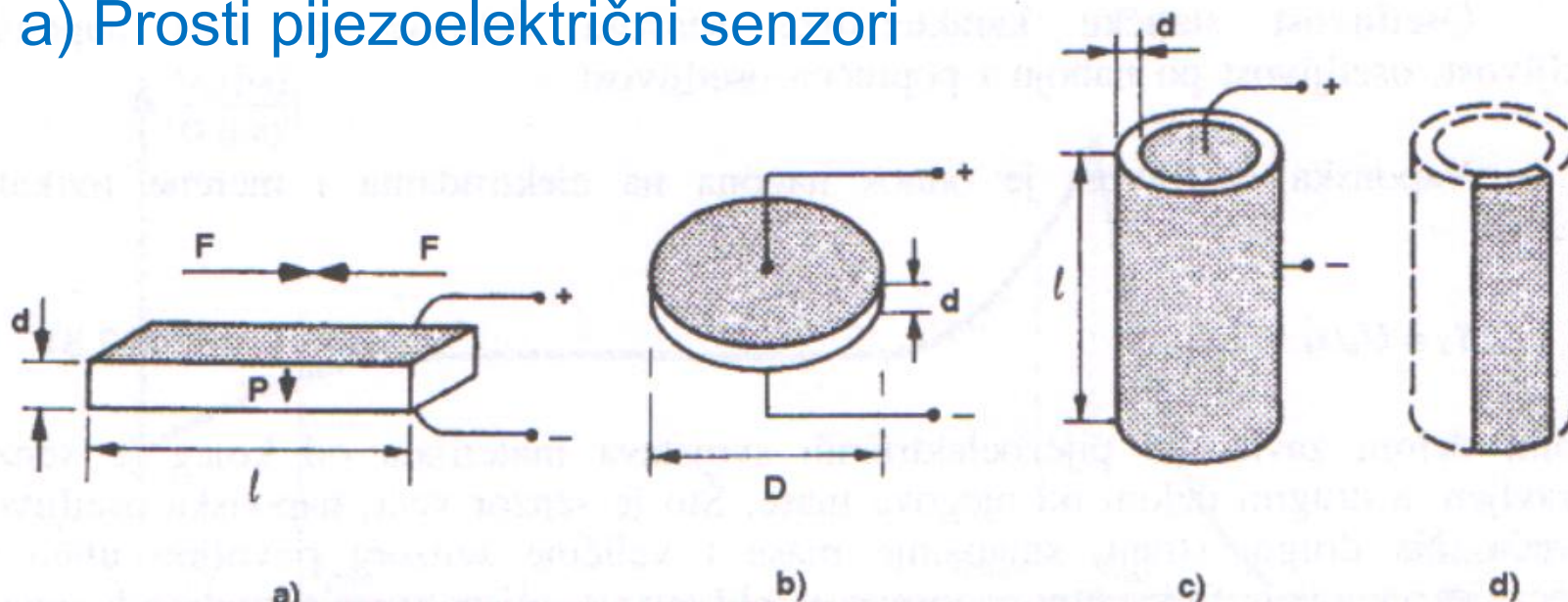


Ekvivalentna šema pijezelektričnog senzora:

a) Potpuna šema, b) uprošćena šema

NAČIN GRADNJE

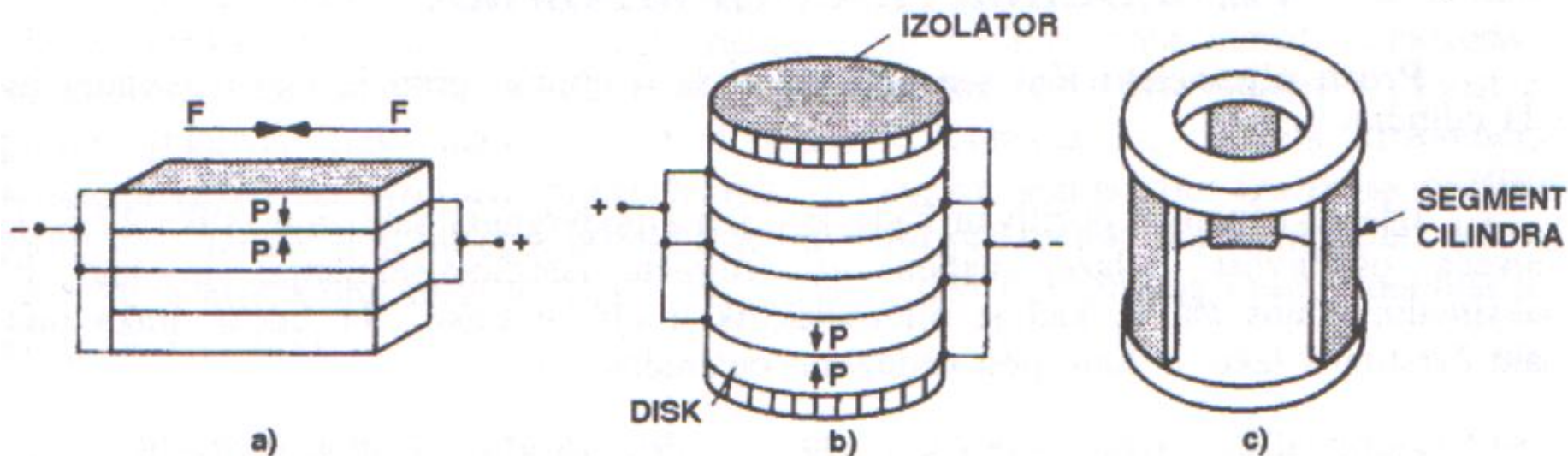
a) Prosti pijezelektrični senzori



a) traka, b) disk, c) cilindar, d) uzdužni segment cilindra

Najveća osetljivost (izlazni napon na jedinicu istezanja/sabijanja) je kad je maksimalni odnos l/d , tj. kad je pijezelektrik u obliku trake ($l > 4d$). Traka ima malu čvrstinu i lako se lomi. Poseban tip trake je pijezoekabl (**tribokabl**), koji se polaže poprečno na kolovoz i služi kao senzor za detekciju vozila u saobraćaju.

b) Višestruki pjezoelektrični senzori



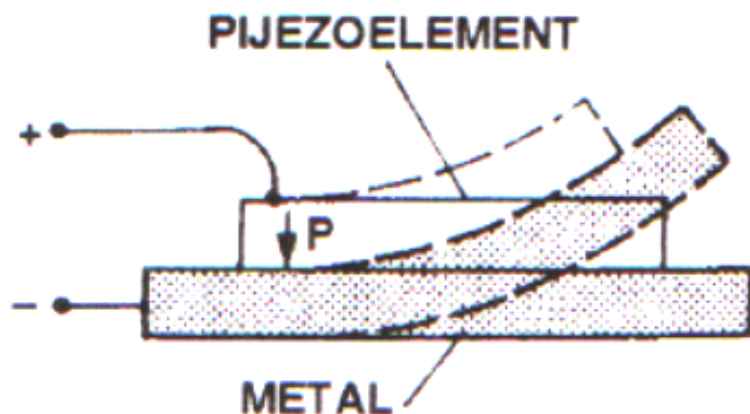
a) lamelarni, b) diskoidni, c) trosegmentni

Nedostaci prostih pjezoelektričnih senzora su:

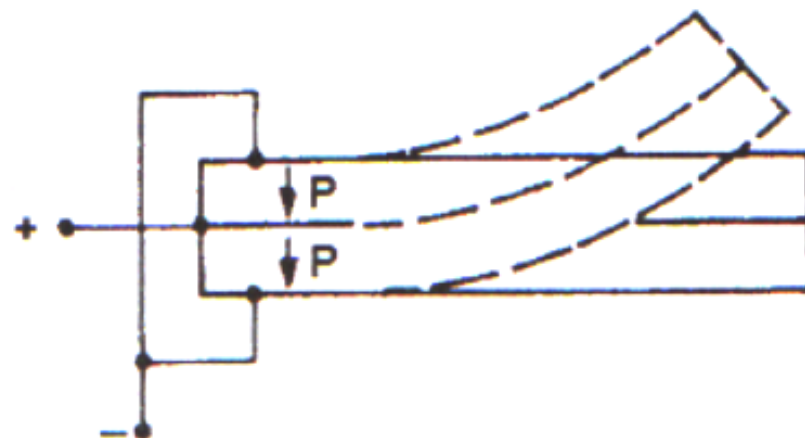
- mali izlazni napon i
- slaba mehanička čvrstina.

Tipična debljina višeslojnog senzora je 5-10 mm , pojedinih slojeva 0,1-0,25 mm , a osetljivost je 2-10 V/mm

c) Jednomorfni i dvomorfni pjezoelektrični senzori



jednomorfni



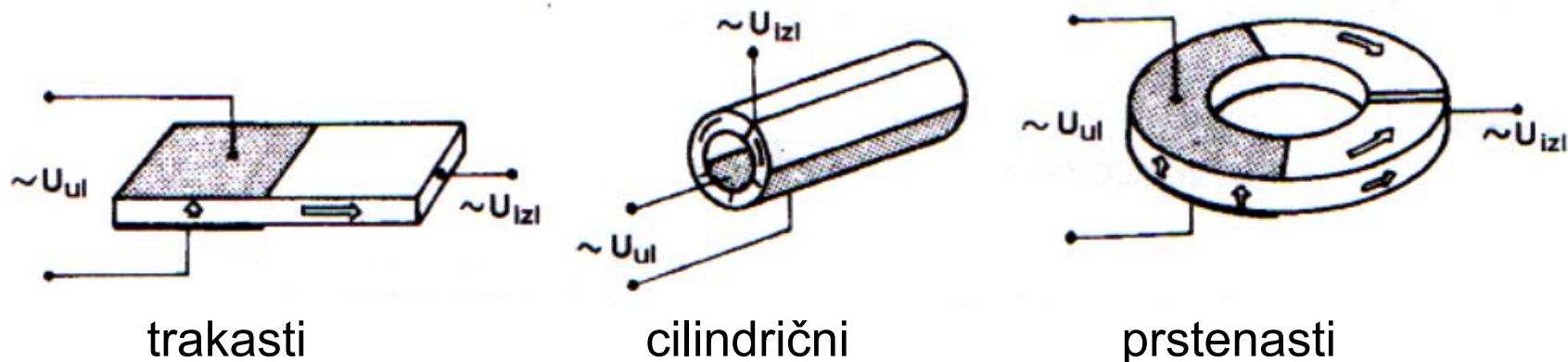
dvomorfni

Primenjuju se za detekciju većih mehaničkih pomeraja.

Jednomorfni senzor pravi se od pjezoelektrične trake nalepljene na tanku metalnu traku. Na jednom kraju senzor je učvršćen, a na slobodnom kraju deluje mehaničko opterećenje.

Veće pomeranje slobodnog kraja (i do 100 mm) i veća osetljivost postižu se pomoću **dvomorfnog senzora**. To su dve različite pjezoelektrične trake nalepljene jedna na drugu, tako da se jedna delovanjem opterećenja sabija, a druga isteže

c) Transformatorski pjezoelektrični senzori



Sastoje se iz dve pjezoaktivne sekcije:

Prva sekcija radi na principu obratnog pjezoefekta (ulazni naponski signal pobuđuje mehaničke oscilacije u oblasti rezonantnih frekvencija), a druga sekcija radi na principu direktnog pjezoefekta.

Senzori ovog tipa upotrebljavaju se za merenje električnih veličina (struje, napona, frekvencije).

Dele se u dve velike skupine:

- **transformatori napona**, sa izlaznim naponom koji je veći od ulaznog pri relativno maloj izlaznoj struji (do 1 mA) i koeficijentom transformacije do 100 za opterećeni, odnosno do 1000 za neopterećeni izlaz senzora;

- **transformatori struje**, sa izlaznim naponom koji je manji od ulaznog, pri čemu je izlazna struja relativno velika (do 10 A).

OPTOELEKTRONSKI SENZORI

PRINCIP RADA

Fizikalni osnov rada optoelektronskih senzora zasniva na **promeni parametara optičkog signala** sa promenom merene fizikalne veličine. Zbog toga, za razliku od otporničkih, kapacitivnih, elektromagnetnih senzora, ovi senzori nemaju galvan-ske i magnetne veze, već samo optičke (**optički senzori**).

Prednosti su:

- ✓ galvansko razdvajanje,
- ✓ jednostavnije šeme priključivanja,
- ✓ zaštita od šumova,
- ✓ pouzdaniji od klasičnih senzora (mogu da rade u uslovima delovanja jakog magnetskog polja, visoke temperature, električnih šumova i hemijske korozije).

Nedostaci :

- složenost izrade,
- složenost obrade signala,
- osetljivost na mehaničke vibracije,
- relativno visoka cena.

Osnovni parametri optičkog signala su:

- amplituda → amplitudna modulacija,
- frekvencija → frekvencijska modulacija,
- faza → fazna modulacija,
- polarizacija → polarizaciona modulacija i
- rasejavanje svetlosnog toka → modulacija apsorpcijom.

Modulatori. Upravljanje amplitudom, frekvencijom, fazom, polarizacijom i rasejavanjem realizuje se u modulatoru.

Mogu se podeliti prema:

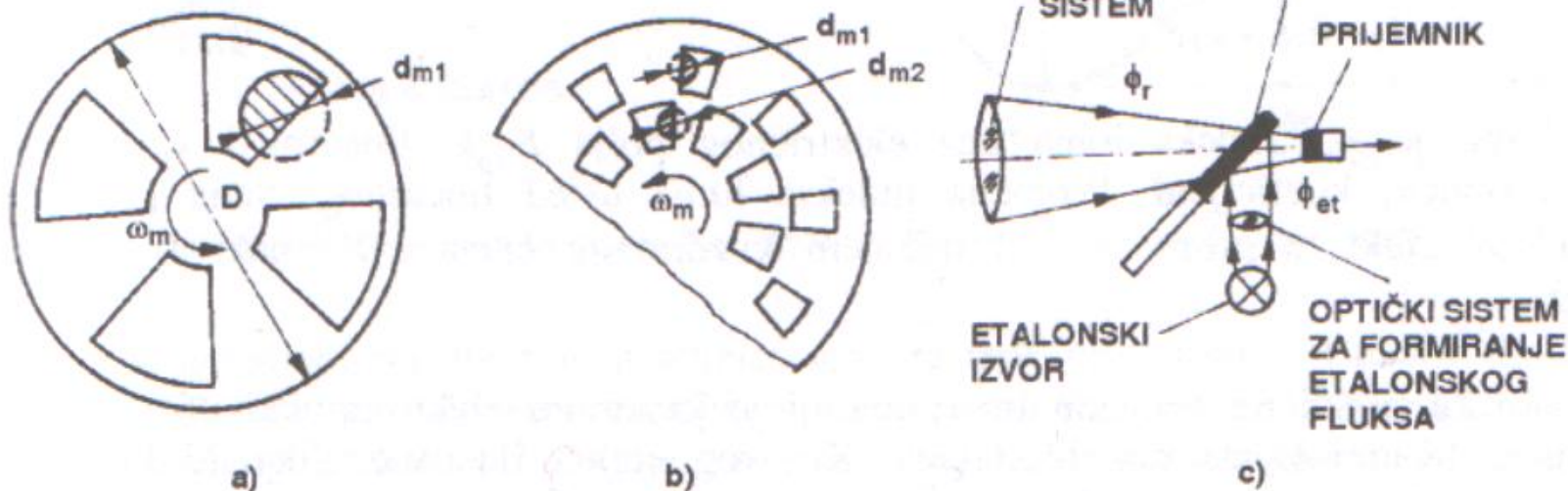
1) načinu rada

- integralni modulatori (vremen. promena ampl.)
- prostorni modulatori (raspodela ampl. u prostoru)

2) prema realizaciji

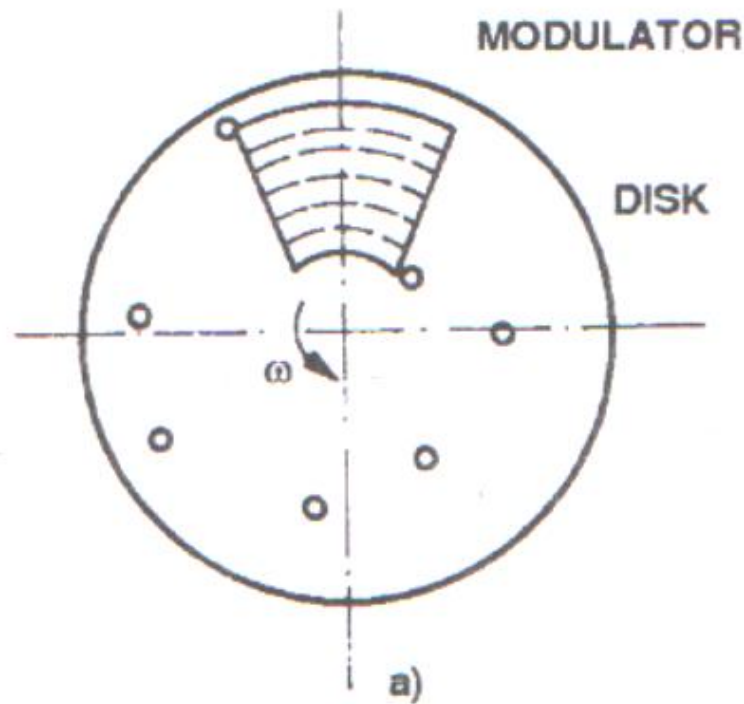
- optomehanički,
- optoelektronski i
- direktni (mehaničkooptički) modulatori.

Optomehanički modulatori integralnog tipa

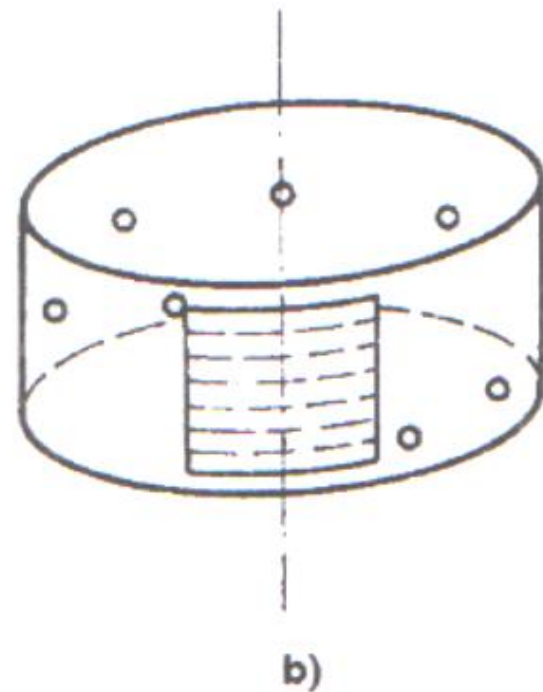


a) jednokanalni disk sa kružnim kretanjem, b) dvokanalni disk sa oscilatornim kretanjem, c) modulator sa referentnim izvorom

Optomehanički modulatori prostornog tipa



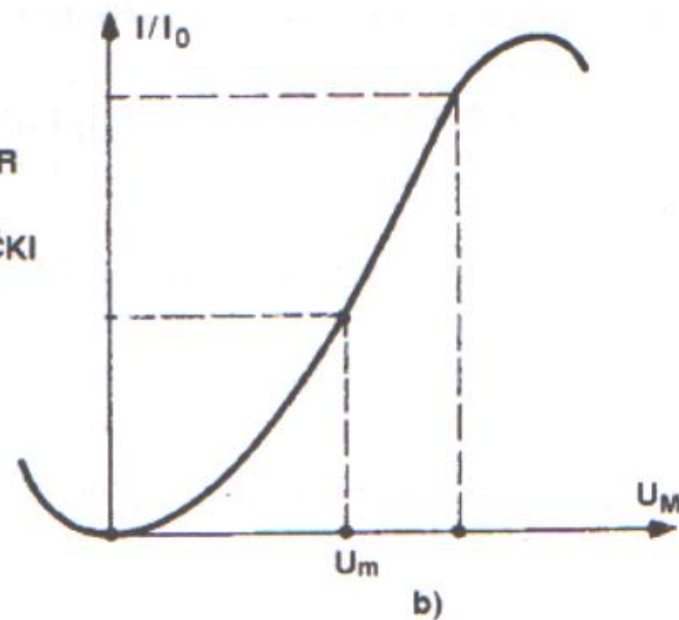
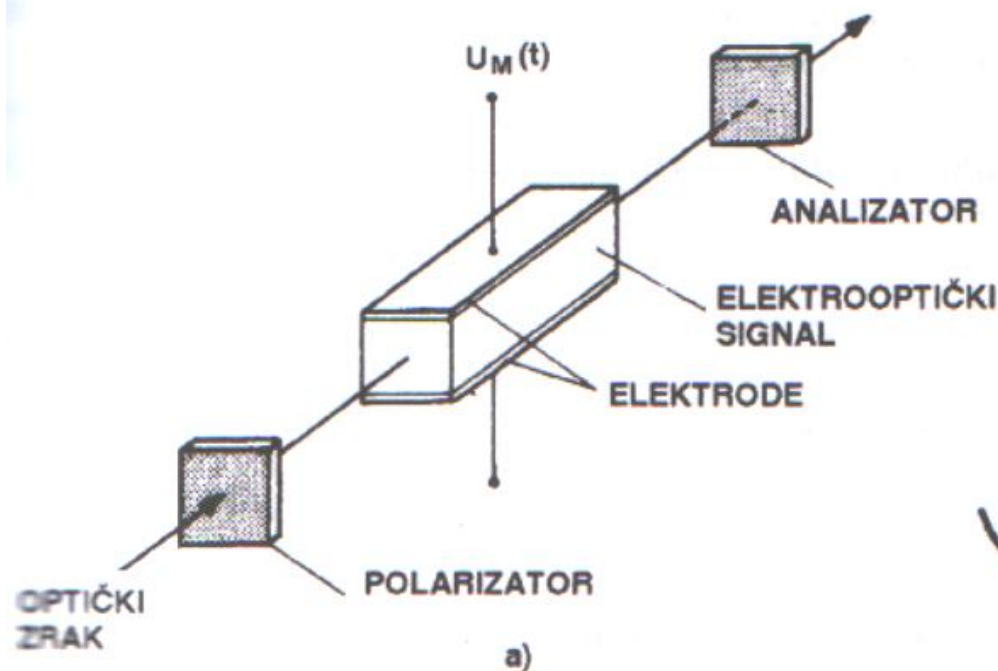
a) disk



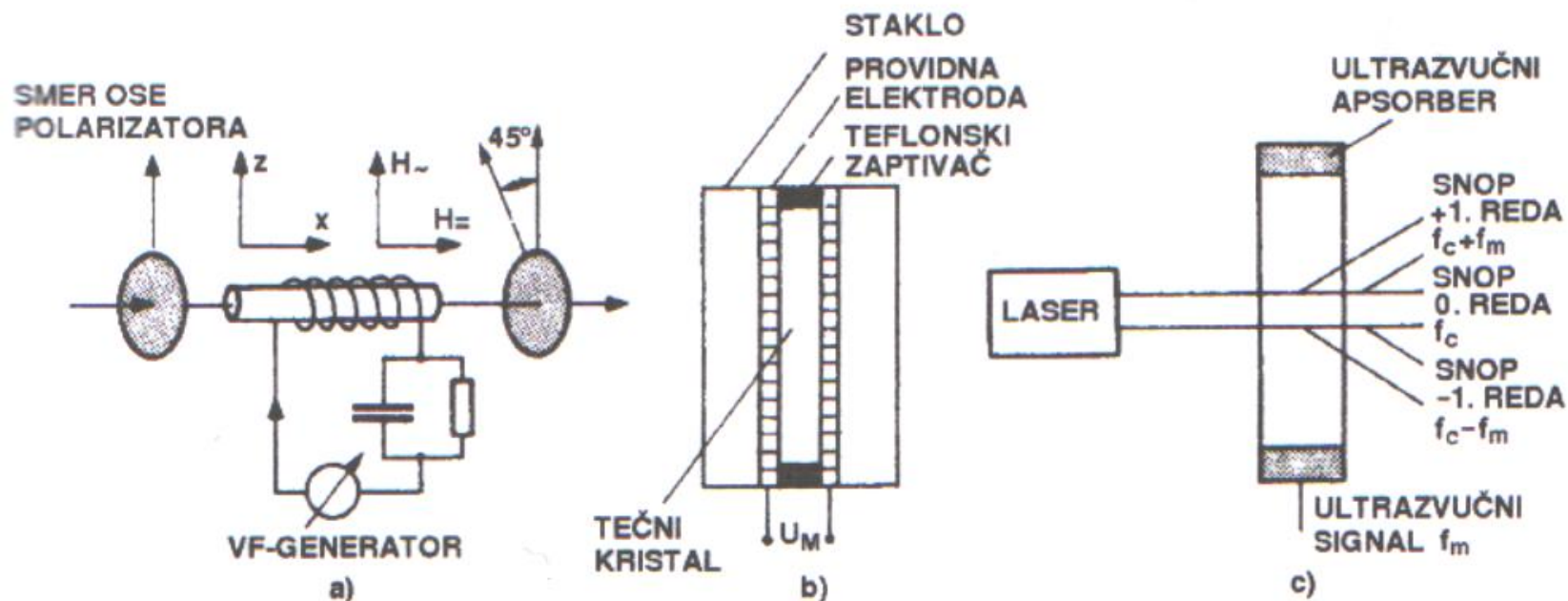
b) beskonačna traka

Optoelektronski modulatori grade se na osnovu principa Pokelsovog ili Kerovog elektrooptičkog efekta ili, ređe, na principu Koton-Mutonovog magnetooptičkog efekta.

Efekti se manifestuju u promeni indeksa loma pod uticajem upravljačkog električnog ili magnetnog polja.



Modulacija na bazi elektrooptičkog efekta:
a) Kerova ćelija, b) modulaciona karakteristika



Modulator: a) na bazi magnetooptičkog efekta, b) na bazi efekta rasejavanja, c) na bazi akustičkooptičkog efekta

Efekt dinamičkog rasejavanja primenjuje se u tehnici senzora tek u novije vreme. Suština je u tome da se prozračnost nekih kristala smanjuje sa povećanjem istosmernog modulirajućeg napona na elektrodama

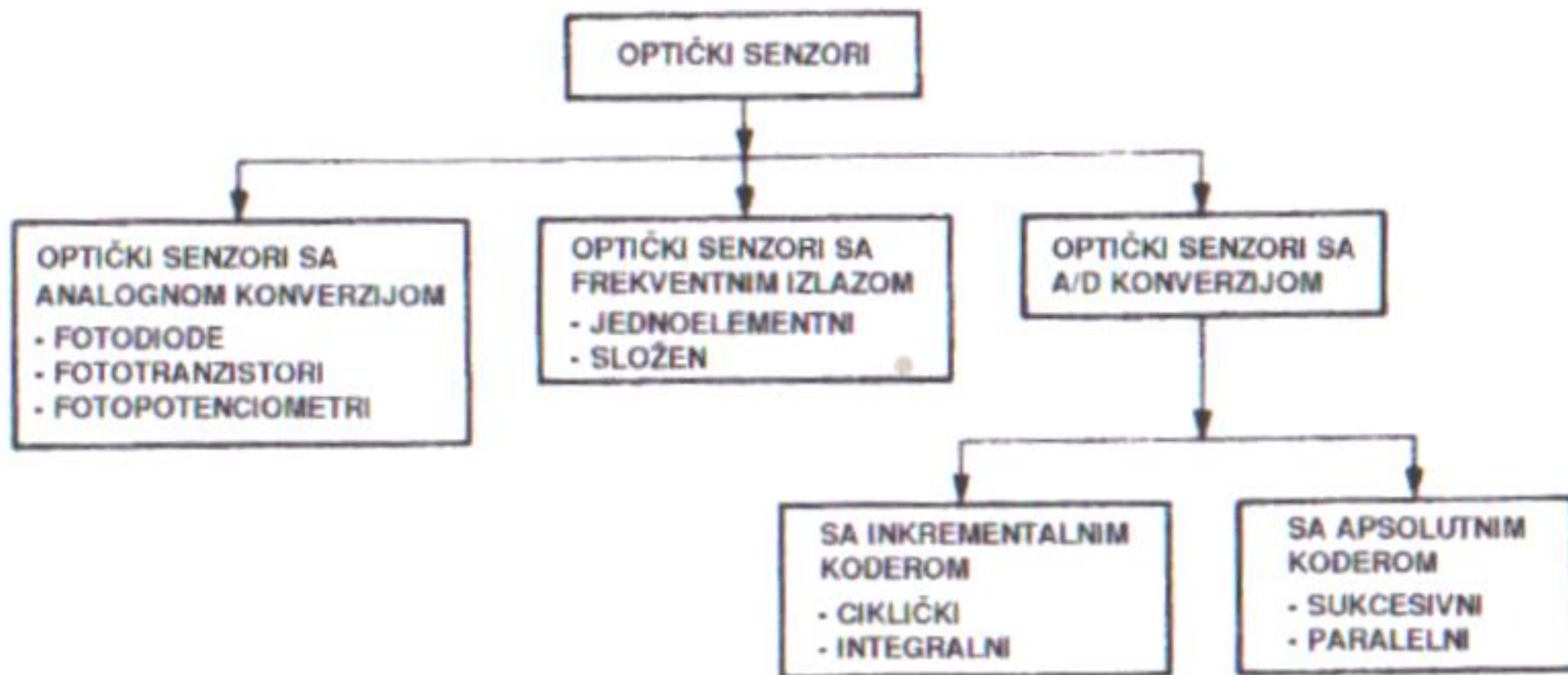
KLASIFIKACIJA OPTIČKIH SENZORA

Najpotpunija je klasifikacija na osnovu načina konverzije merene fizikalne veličine u mernu informaciju.

Na bazi ovog opšteg kriterija razlikuju se:

- senzori sa analognom konverzijom,
- senzori sa konverzijom analognog signala u signal sa promenljivim periodom ili frekvencijom i
- senzori sa analogno-digitalnom konverzijom.

KLASIFIKACIJA OPTIČKIH SENZORA

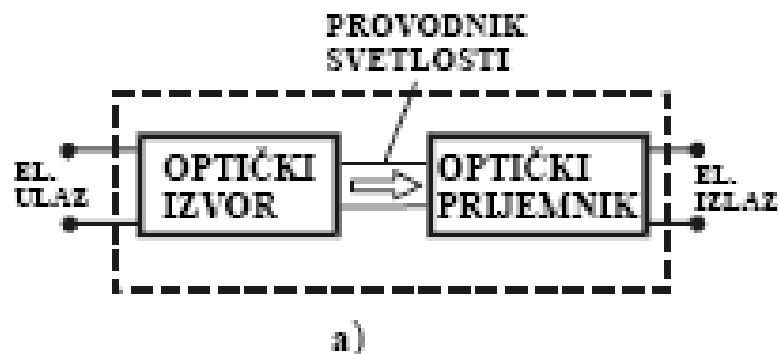


NAČIN GRADNJE OPTIČKIH SENZORA

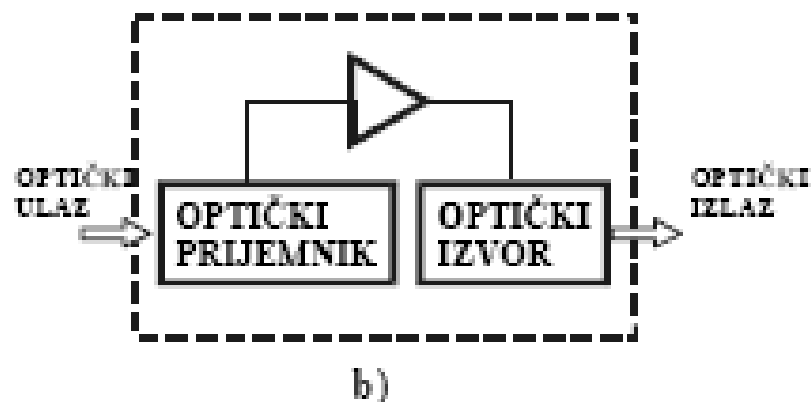
Optički senzori sastoje se od tri dela: izvora, prijemnika optičkog zračenja i prenosnog medija.

Između izvora i prijemnika veze mogu biti optičke ili električne.

Struktura optičkog para



*unutrašnje veze optičke,
spoljne električne*



*unutrašnje veze električne,
spoljne optičke*

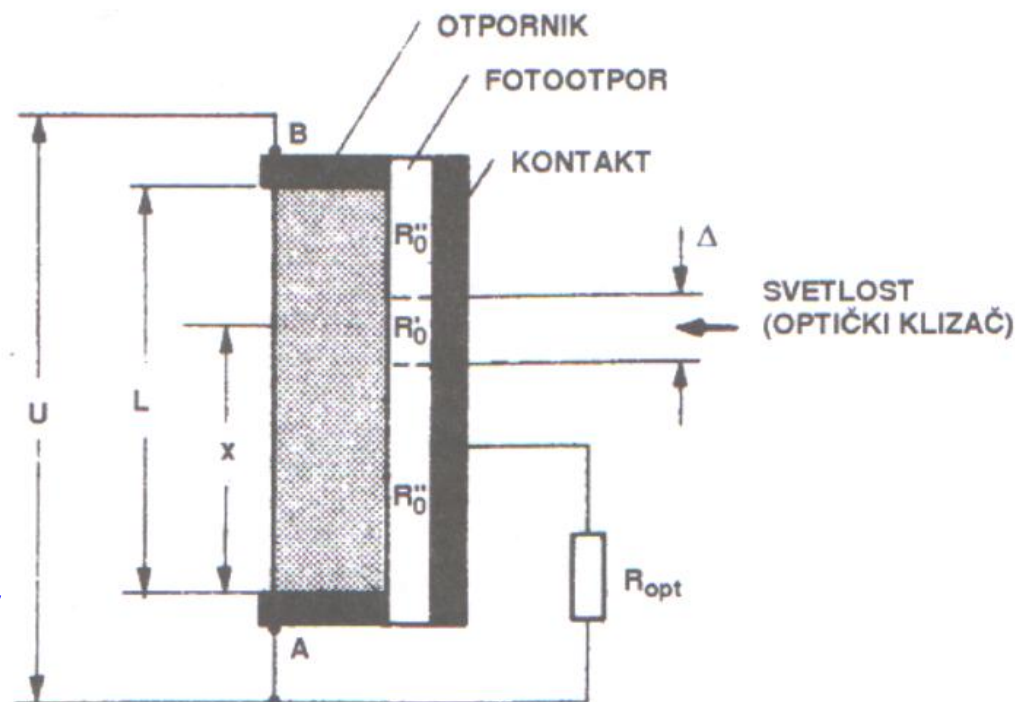
Optički izvor kao senzor. Kao izvori svetlosti najčešće se primenjuju LED-diode i laserske diode (LD).

Prijemnici svetlosti kao optički senzori. Prijemnik kao optički senzor konvertuje optičku energiju u električnu veličinu (struja, napon, otpor, kapacitet ili naelektrisanje).

Razlikuju se dve velike grupe senzora optičkog zračenja:

Senzori **prve grupe** (kvantni detektori) detektuju optičku radijaciju na bazi fotoelektričnih efekata.

Primer:
optički fotopotenciometar



Senzori **druge grupe** apsorbiraju fotone, pri čemu apsorbirana energija dovodi do promene temperature u materijalu od kojeg je napravljen senzor (**termički detektori**).

Najpoznatiji predstavnici ove grupe optičkih senzora su:

- **termistor**, temperaturno osetljivi poluprovodnički otpornik;
- **bolometar**, dva termootpornika u diferencijalnom spoju koji mere promenu temperature proporcionalne ukupnom upadnom zračenju;
- **termopar**, dva različita materijala spojena na jednom kraju (koji je izložen radijaciji) generišu *ems* na otvorenom kraju koji je u senci;
- **piroelektrični senzor**, temperaturno osetljivi kapacitivni senzor sa piro-električnim materijalom između elektroda.

Optički senzori **prve grupe** imaju uži frekvencijski spektar, veću osetljivost i brže vreme odziva.

Optičko vlakno kao senzor

Optička vlakna primenjuju se za gradnju senzora od 1977. god. Zbog svojih dobrih karakteristika predstavljaju glavne elemente u specijalnim senzorima za praćenje:

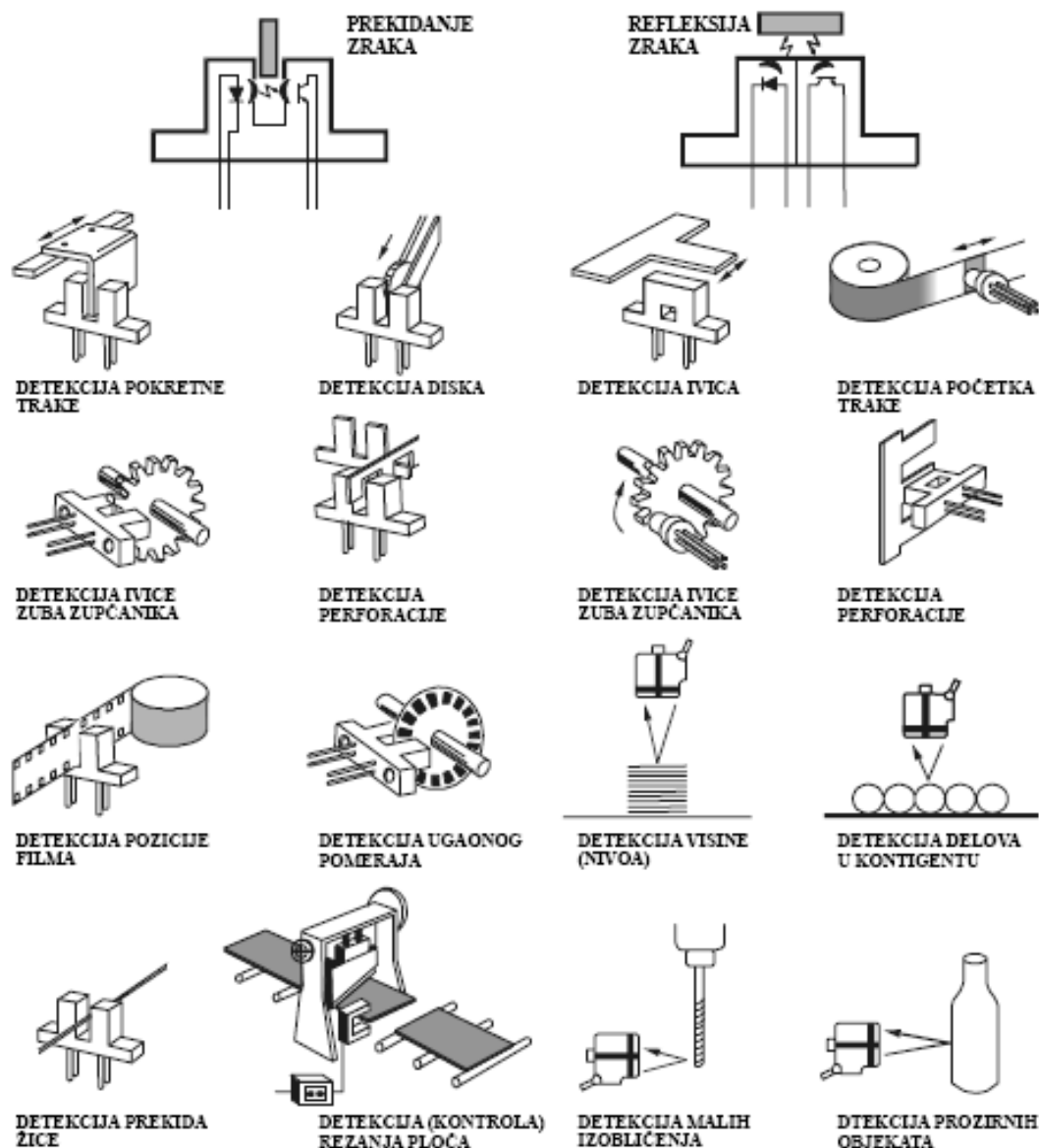
- akustičkih veličina,
- magnetskih veličina,
- temperature,
- pritiska,
- brzine,
- ubrzanja itd.

Senzori na bazi optičkog vlakna su:

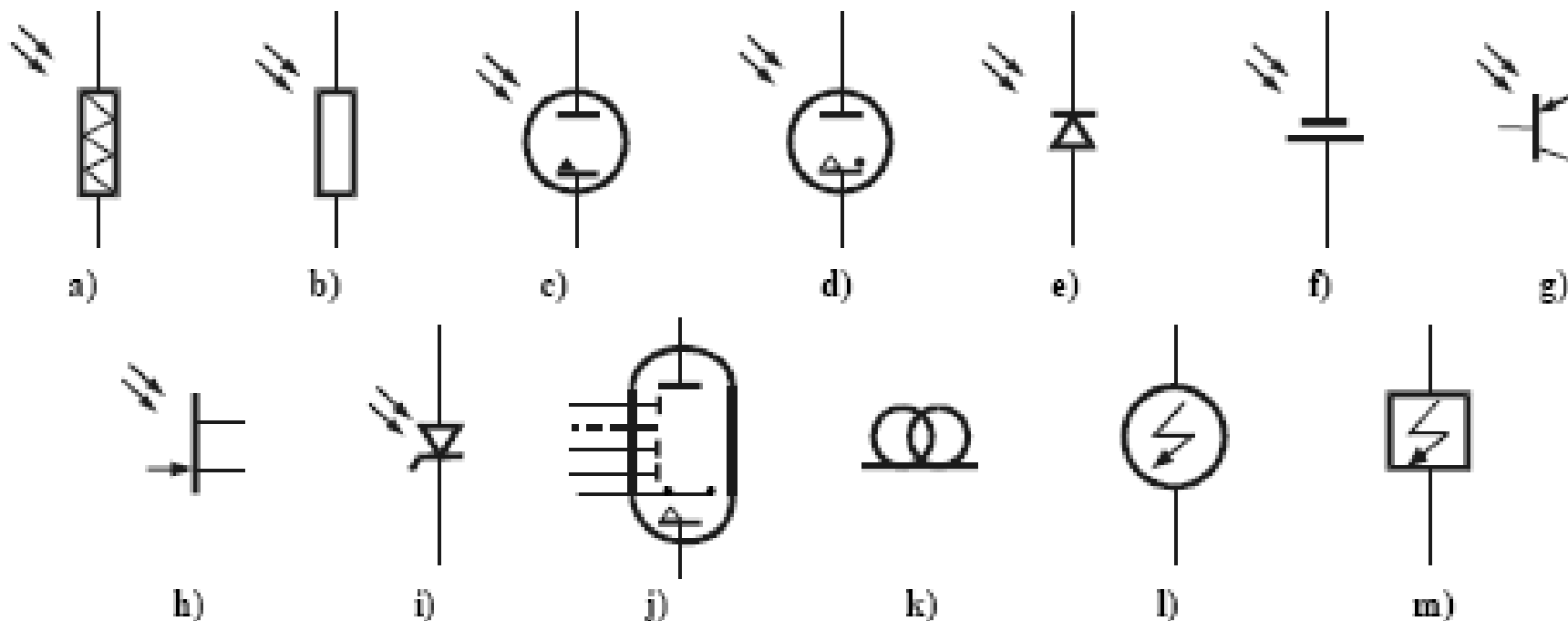
- **interferometarski** (merena fizikalna veličina izaziva interferencijske efekte) ili
- **amplitudni** (merena veličina modulira intenzitet svetlosti).

ELEMENTI AUTOMATSKIH SISTEMA - OPTOELEKTRONSKI SENZORI

Primeri optičkih senzora na bazi optičkog predajnika (LED) i optičkog prijemnika (fototranzistora)



Označavanje optičkih senzora



a) opšta oznaka, b) fotootpornik, c) vakuumska fotoćelija, d) gasna fotoćelija e) fotodioda, f) fotoelement, g) fototranzistor, h) FET-fototranzistor, i) fototiristor, j) fotomultiplikator, k) optičko vlakno, l) optički predajnik, m) optički prijemnik

DIGITALNI SENZORI

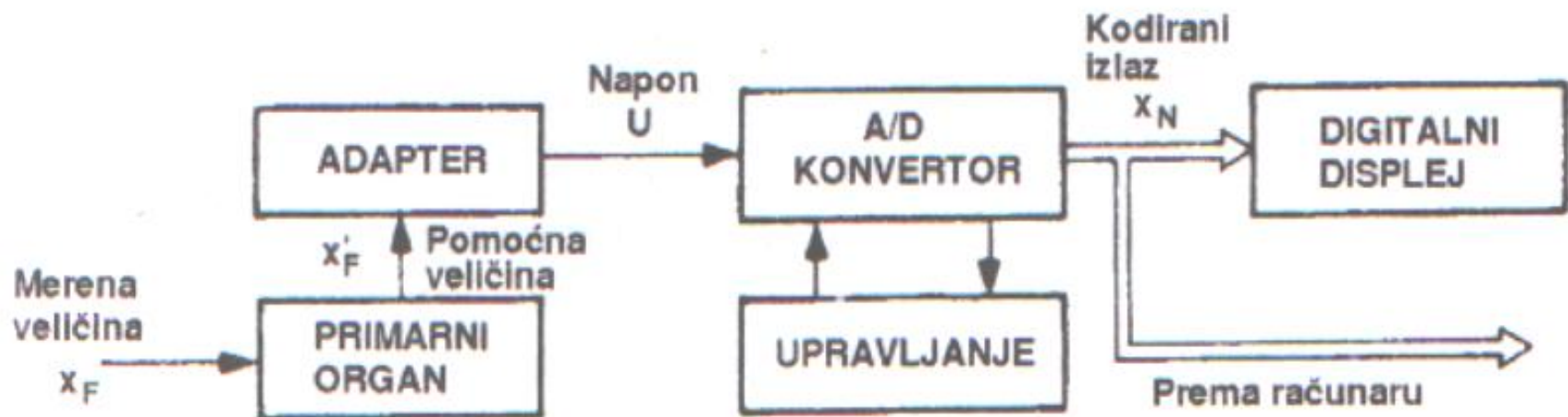
PRINCIP RADA

Pod digitalnim senzorom podrazumeva se merni uređaj koji konvertuje **merenu analognu** veličinu x_F u **digitalni izlazni** signal x_N . Gradi se na bazi mikrokontrolera, što omogućava visok metrološki kvalitet.

Između digitalnih i analognih senzora postoje suštinske razlike u pogledu izrade, karakteristika i primene.

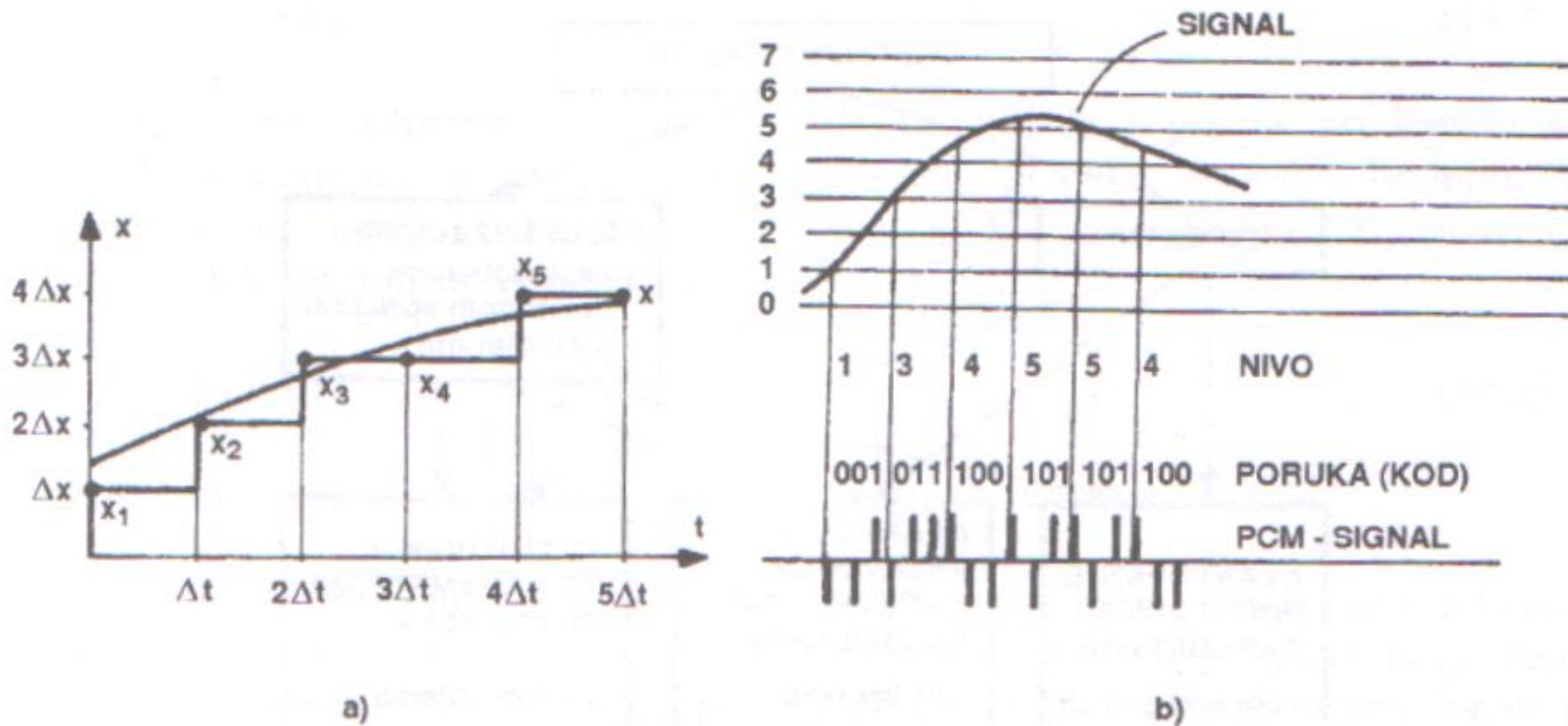
Osnovni nedostaci analognih senzora su: nemogućnost prenosa analognog izlaznog signala na veće udaljenosti, osetljivost izlaznog signala na delovanje šumova, poteškoće u pogledu priključivanja na računar, nestabilnost statičkih i dinamičkih karakteristika itd.

Digitalni senzori omogućavaju da se ovi nedostaci prevaziđu ili da su izraženi u manjoj meri.



Opšta struktura blok-šema digitalnog senzora





Princip rada digitalnih senzora: a) uzorkovanje po vremenu i diskretizacija po amplitudi, b) PCM modulacija