

SENZORI I METODE MERENJA NEELEKTRIČNIH VELIČINA

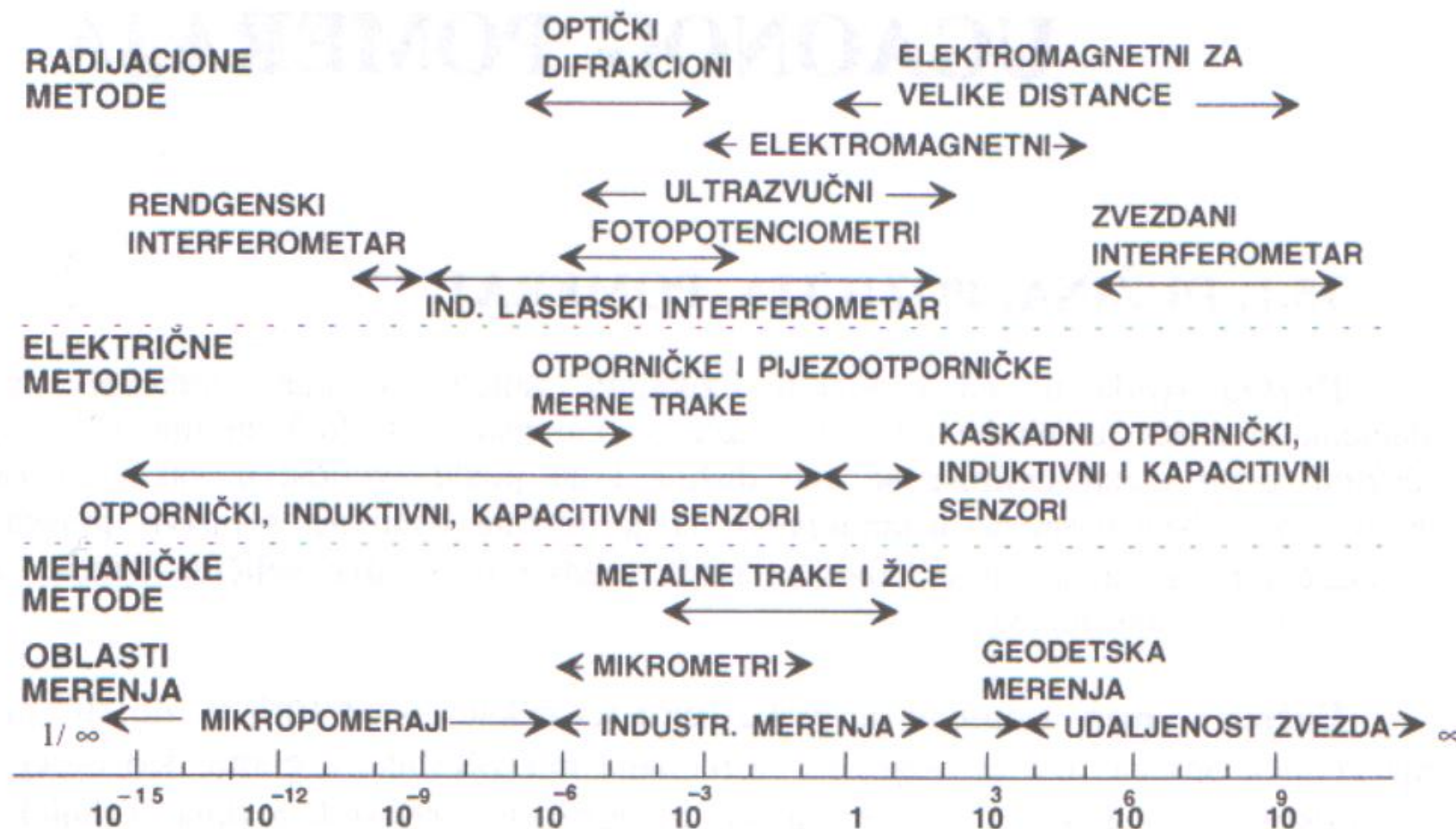
- SENZORI LINEARNOG I UGAONOG POMERAJA
- SENZORI BRZINE I UBRZANJA
- SENZORI SILE I MOMENTA

SENZORI LINEARNOG I UGAONOG POMERAJA

DUŽINA, POZICIJA, POMERAJ

- **Dužina** spada u red osnovnih fizikalnih veličina i njeno merenje ima fundamentalni značaj u tehnici i ljudskoj delatnosti uopšte.
- Dužina se meri u opsegu od preko četrdeset dekada – od 10^{-15} m (mikročestica) do 10^{27} m (galaktičkim razmerama od sto milijardi svetlosnih godina).
- **Apsolutno i relativno merenje dužine.** Merenje ukupne dužine nekog tela je apsolutno merenje čiji se rezultat izražava u metrima. U tehnici često nije potrebno meriti ukupnu dužinu, već samo promenu dužine posmatranog tela (relativno merenje).

- **Linearni pomeraj** je promena dužine između dve tačke koje leže na pravoj liniji. Primarna funkcija senzora pomeraja je merenje translatorsnog kretanja tela. Oni se mnogo primenjuju i kao sekundarni pretvarači u mernim uređajima u kojima se merena fizikalna veličina (mehaničko napreza-
nje, sila, pritisak, nivo, temperatura i dr.) pomoću primarnog senzora prvo pretvori u linearni pomeraj.
- **Ugaoni pomeraj** je promena ugaonog položaja tela koje rotira oko neke ose. U tehničkoj praksi ugaoni pomeraj meri se u opsegu od 0,0001" do 360°. Mehaničkim vezama linearni (translatorsni) pomeraj često se pretvara u ugaoni i obrnuto – ugaoni pomeraj pretvara se u linearni.
- **Metode merenja** linearnog i ugaonog pomeraja su:
 - mehaničke,
 - električne i
 - radijacione.



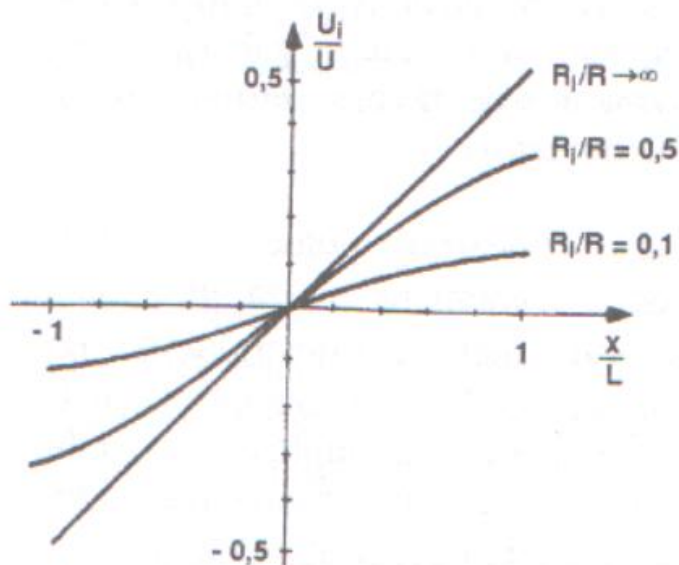
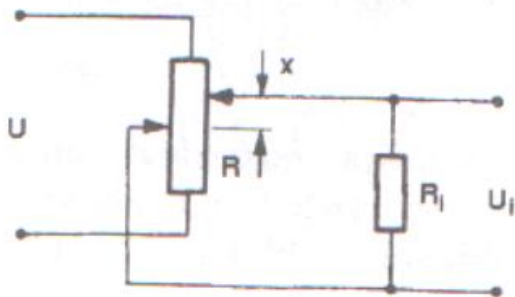
SENZORI LINEARNOG POMERAJA

- Otpornički potencimetarski senzori
- Kapacitivni senzori
- Elektromagnetni senzori
- Specijalni senzori
(koordinatometri, linearni induktosin, lokacioni senzor)

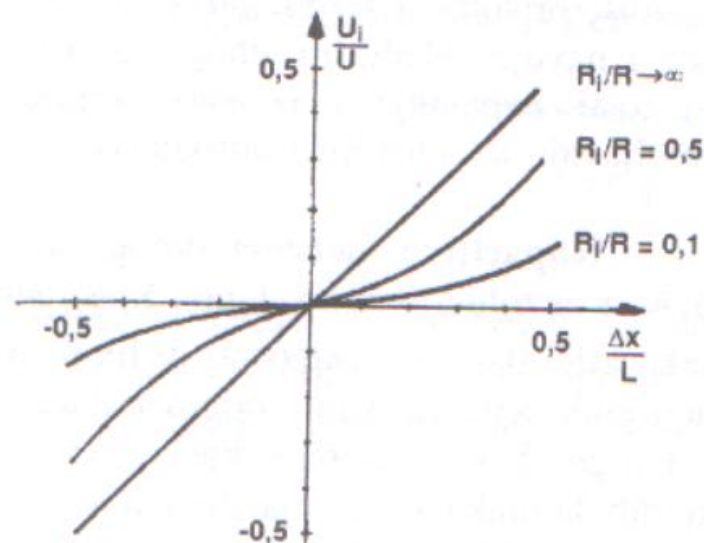
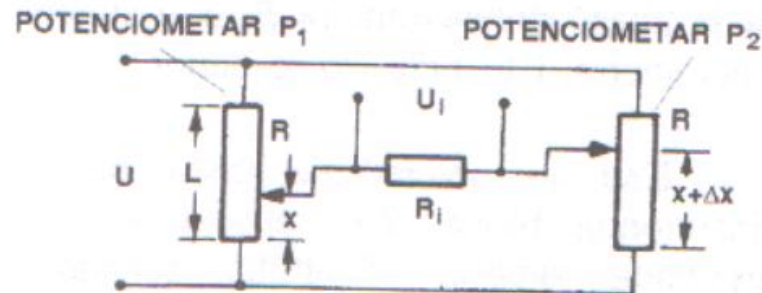
SENZORI UGAONOG POMERAJA

- Inkrementalni senzori
- Obrtni transformatori
- Rotacioni induktosin

■ Otpornički potencimetarski senzori



a)



b)

a) u spoju sa srednjim izvodom, b) u mosnom spoju

▪ Otpornički potencimetarski senzori

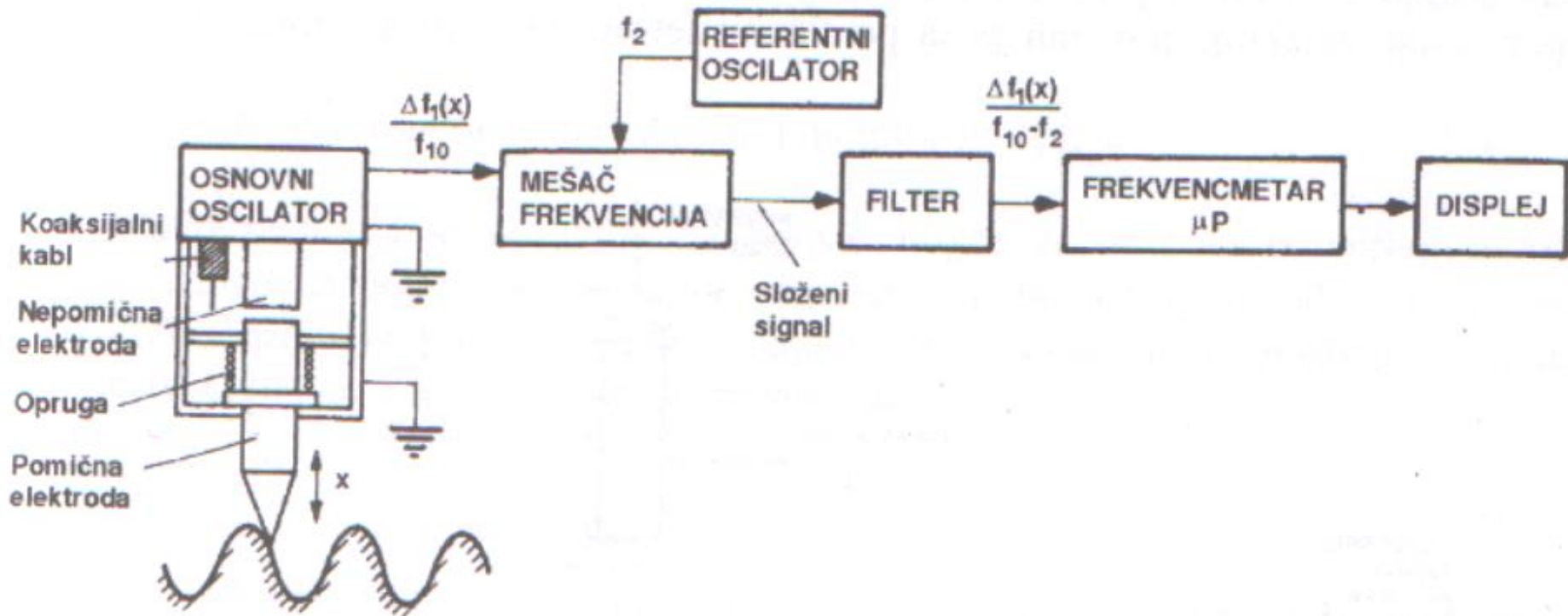
Nedostaci:

- mala osetljivost,
- prisutnost termičkih šumova i
- promenljivi prelazni otpor između kontakta klizača i navoja

Prednosti su:

- ✓ jednostavnost konstrukcije,
- ✓ mali gabariti
- ✓ niska cena,
- ✓ mogućnosti napajanja iz jednosmernog ili naizmeničnog izvora veoma mnogo se upotrebljavaju u detekciji i automatskoj regulaciji pomeraja.

■ Kapacitivni senzori



Kapacitivni detektor hrapavosti

- **Kapacitivni senzori** omogućavaju merenje linearnog pomeraja sa tačnošću **+0,01%** i rezolucijom do **1 μm** . Specijalne izvedbe namenjene su za merenje malih pomaka (do **0,1 nm**).

Nedostaci:

- visoka izlazna impedansa ovog senzora
- podložnost smetnjama

Prednosti su:

- ✓ dugovečnost,
- ✓ odsustvo pokretnih kontakata i trenja, te
- ✓ mala osetljivost na temperaturu, radijaciju i koroziju.

Elektromagnetni senzori pomeraja prave se u formi:

- **pasivnih** induktivnih i međuiduktivnih (transformatorskih) senzora
- **aktivnih** indukcionih.

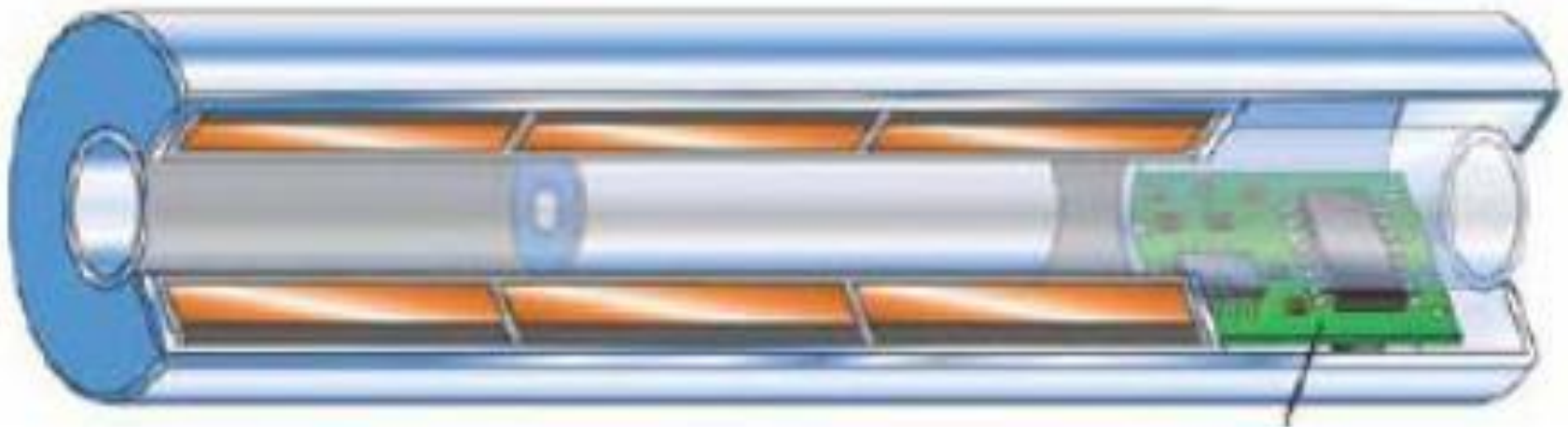
Tipičan parametri induktivnih senzora su:

- merni opseg 0-10mm,
- osetljivost 80 mV po 1V napona napajanja, a
- tačnost $\pm 0,5\%$ mernog opsega.

Mogu se pratiti pomeraji sa frekvencijom do 1 kHz, ali treba voditi računa o pojavi mehaničke rezonanse.

Elektromagnetni senzori

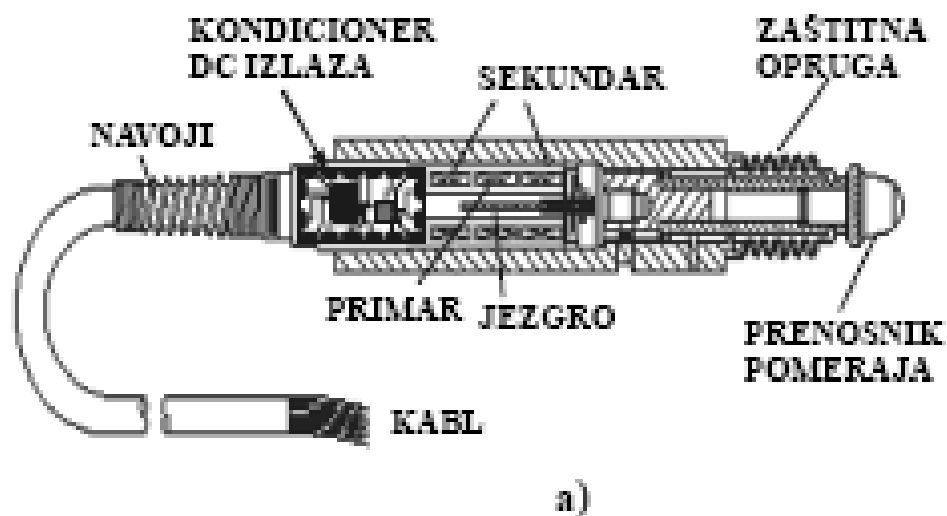
U tehničkoj praksi posebno mesto zauzima linearni varijabilni diferencijalni transformator – **LVDT**.



Linear Variable Differential Transformer

LVDT

Elektromagnetni senzori

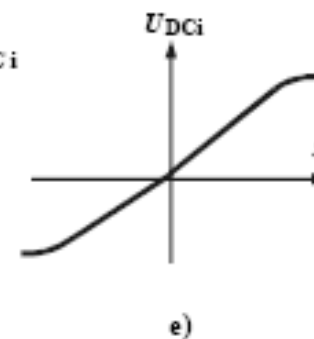
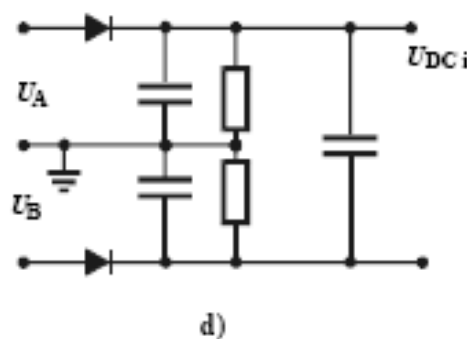
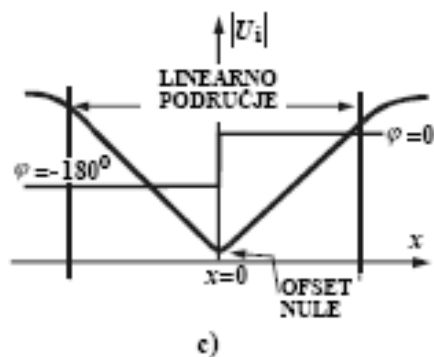
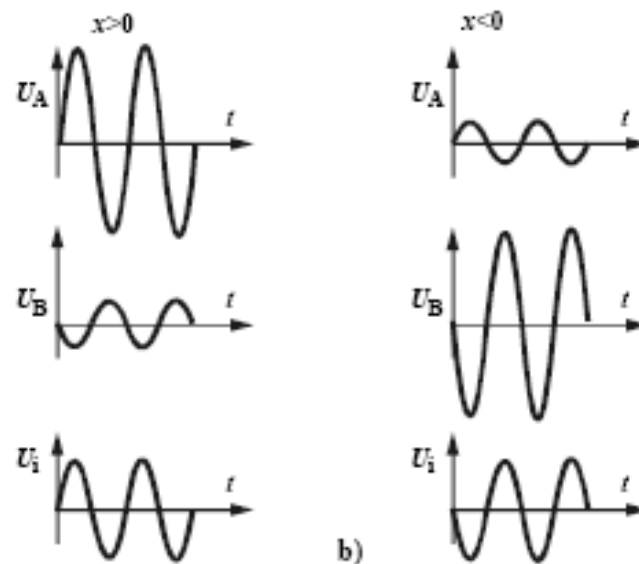
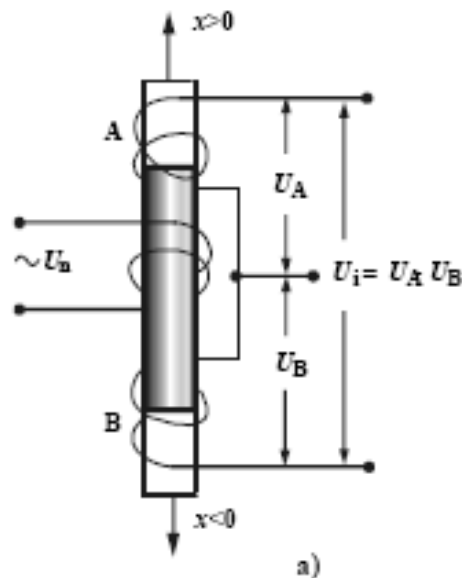


a) konstrukcija,



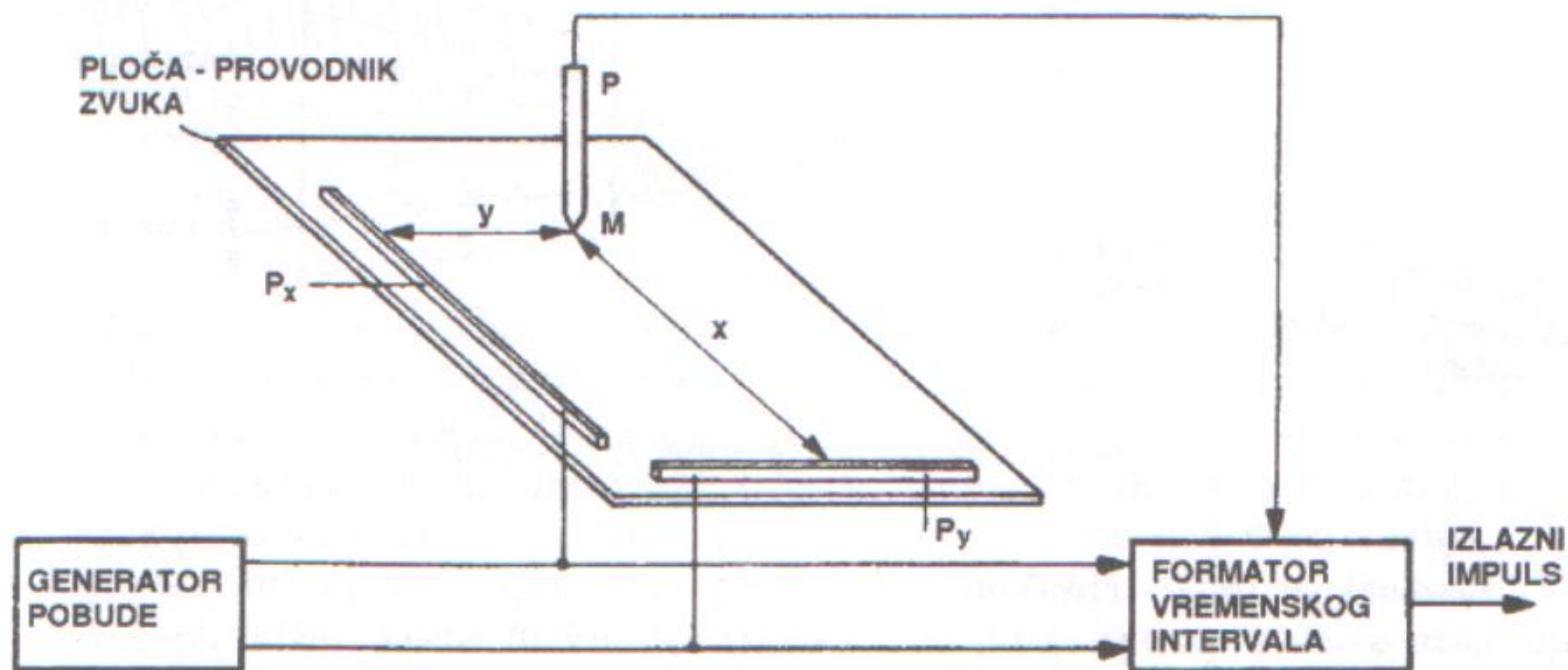
b) tipični izgled

Elektromagnetni senzori

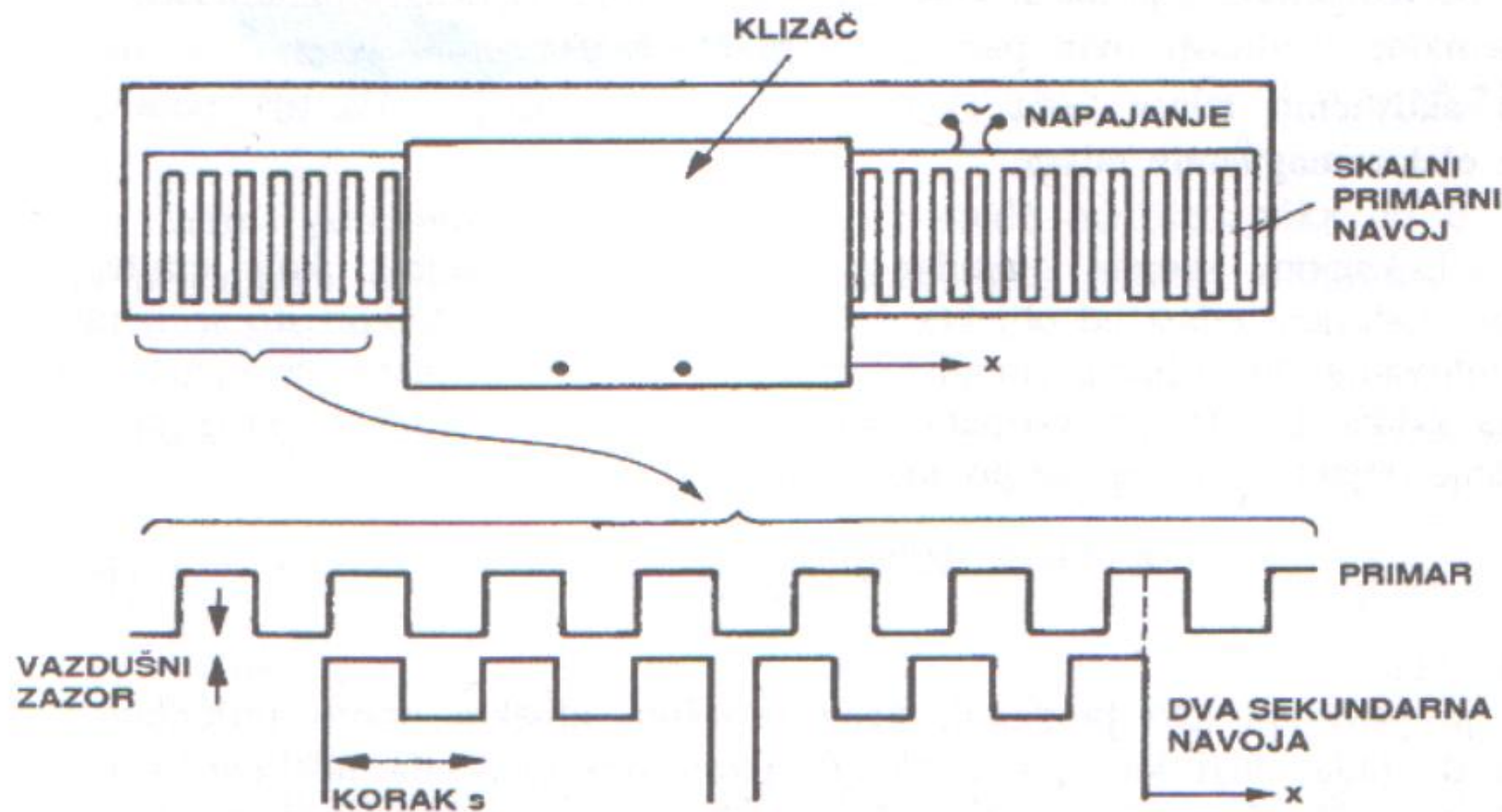


LVDT: a) princip rada, b) talasni oblici napon na sekundarima i izlazu za $x < 0$ i $x > 0$, c) statička karakteristika, d) kondicioner izlaznog signala, e) statička karakteristika sa jednosmernim izlaznim signalom

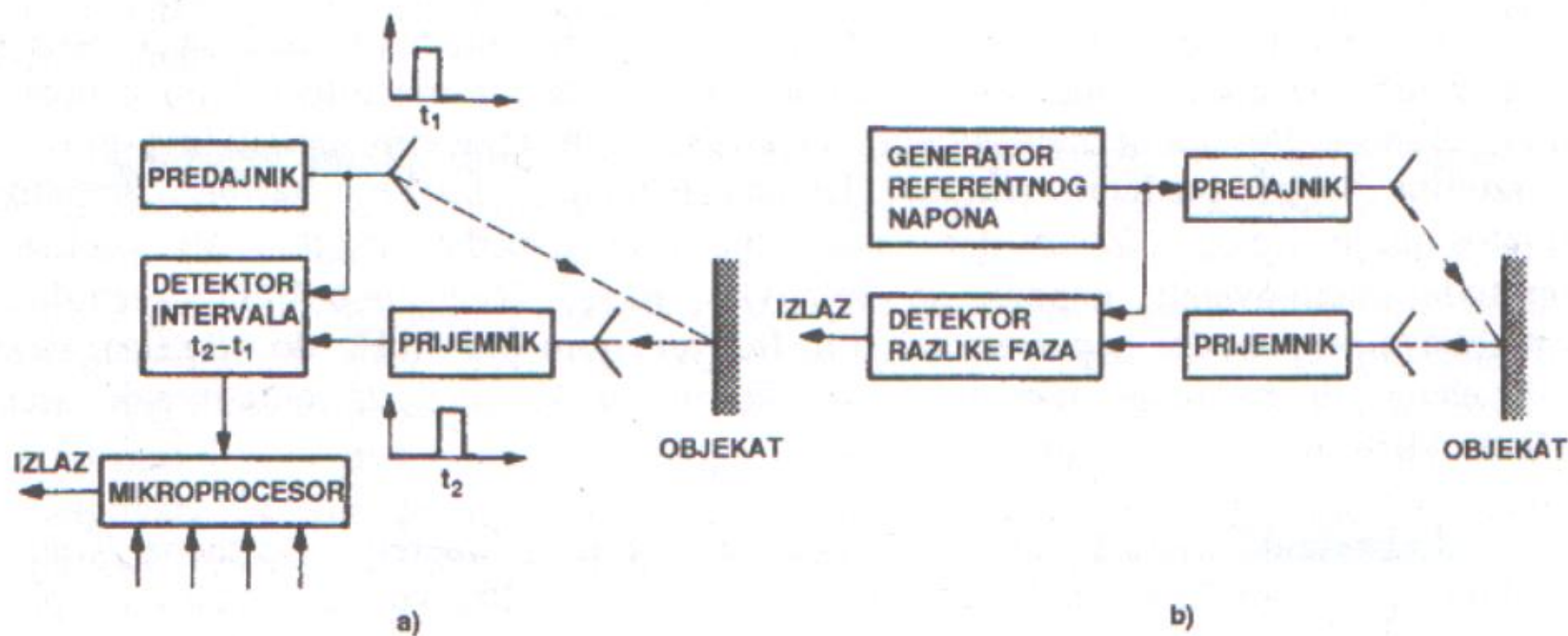
Specijalni senzori



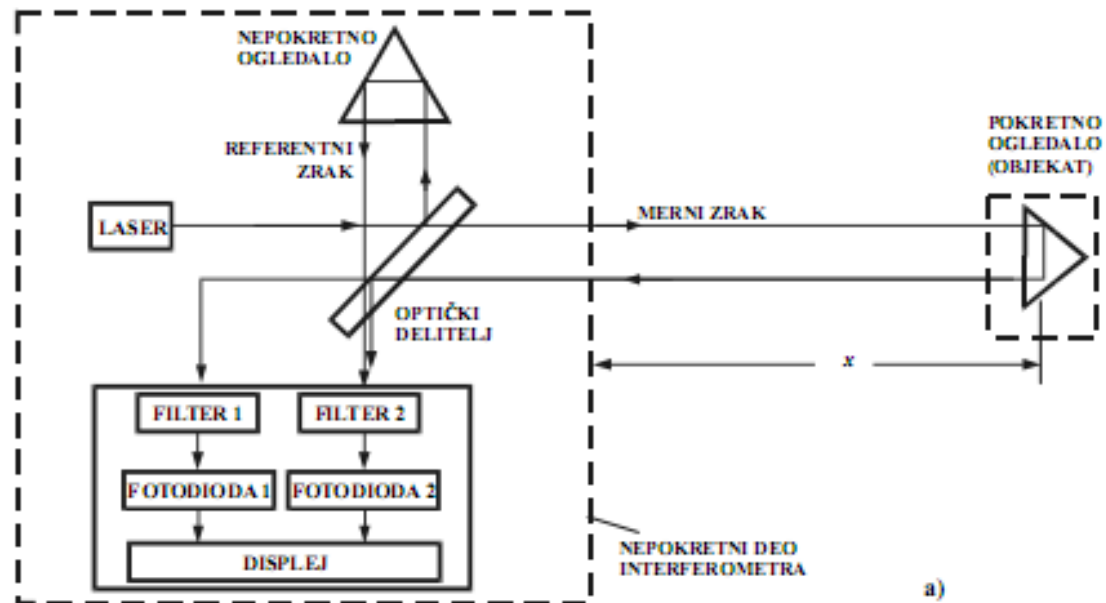
Pijezoelektrični dvokordinator



Linearni induktosin



Lokacioni senzor: a) indukcionog tipa, b) faznog tipa



INTERFERENCIJSKE LINIJE
REFERENTNOG I MERNOG ZRAKA

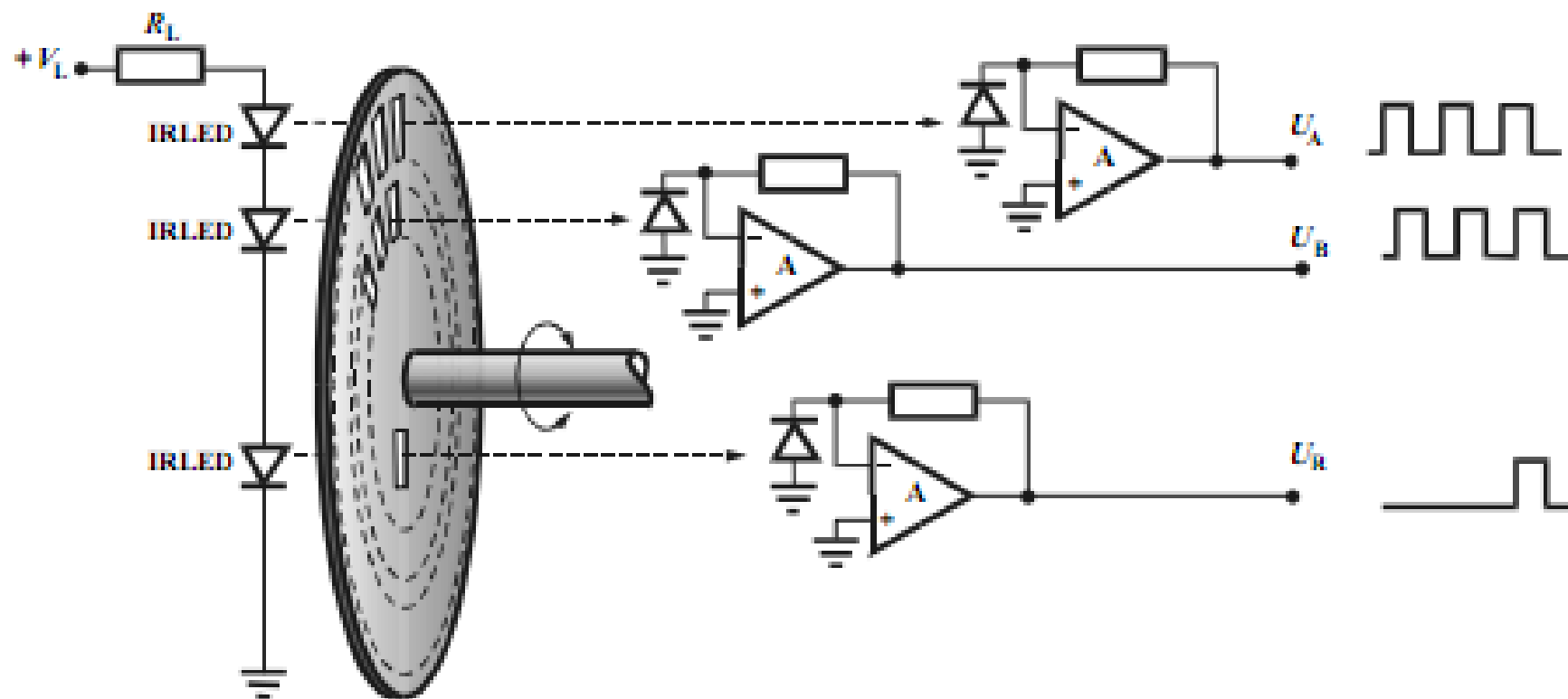


b)

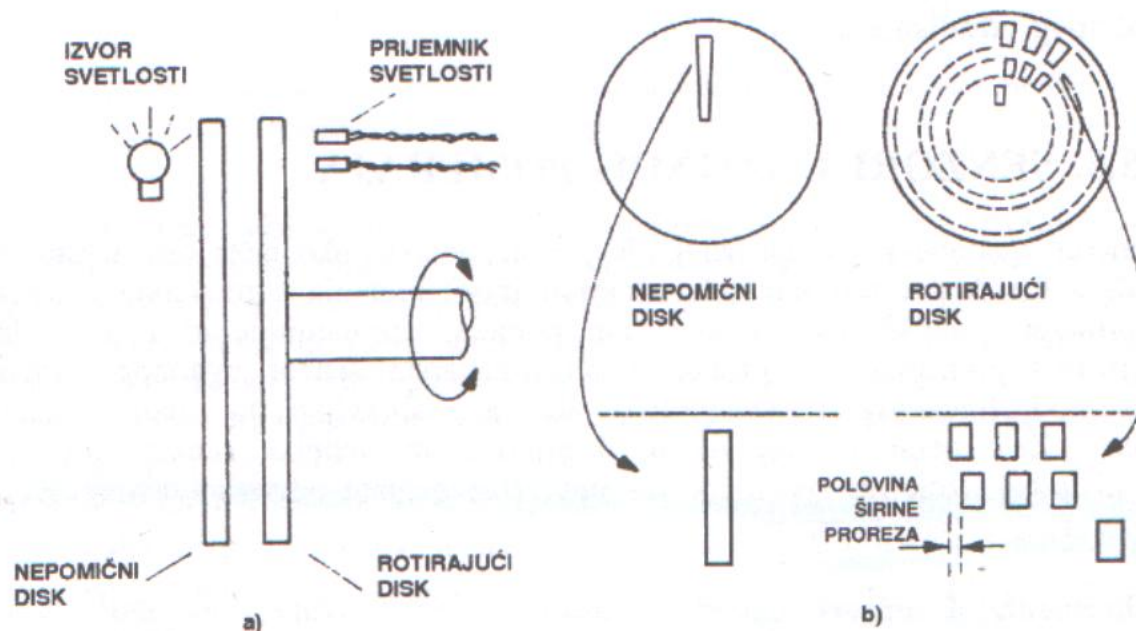


c)

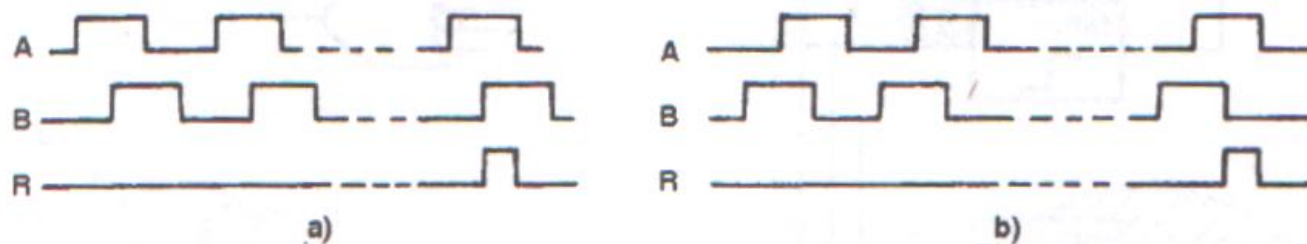
Slika 15.18. Laserski interferometar: a) interferometar sa dva parcijalna zraka, b) iterferencijske linije, c) izgled industrijskog laserskog interferometra za merenje rastojanja



Slika 15.23. Inkrementalni optoelektronski senzor

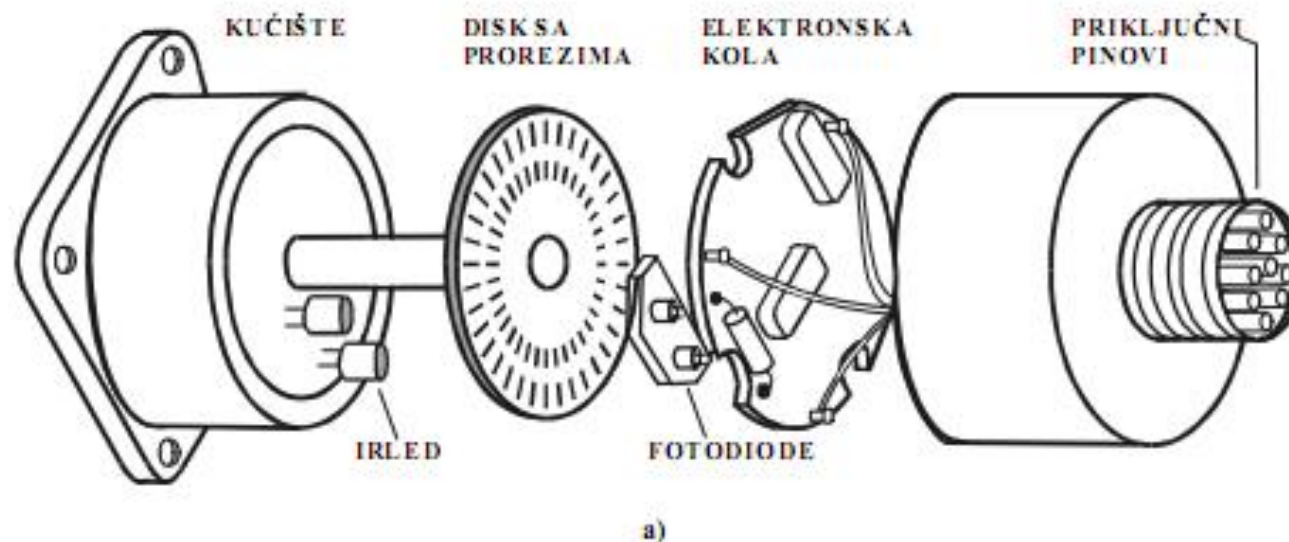


Inkrementalni optički senzor: a) izgled, b) prorezi na diskovima



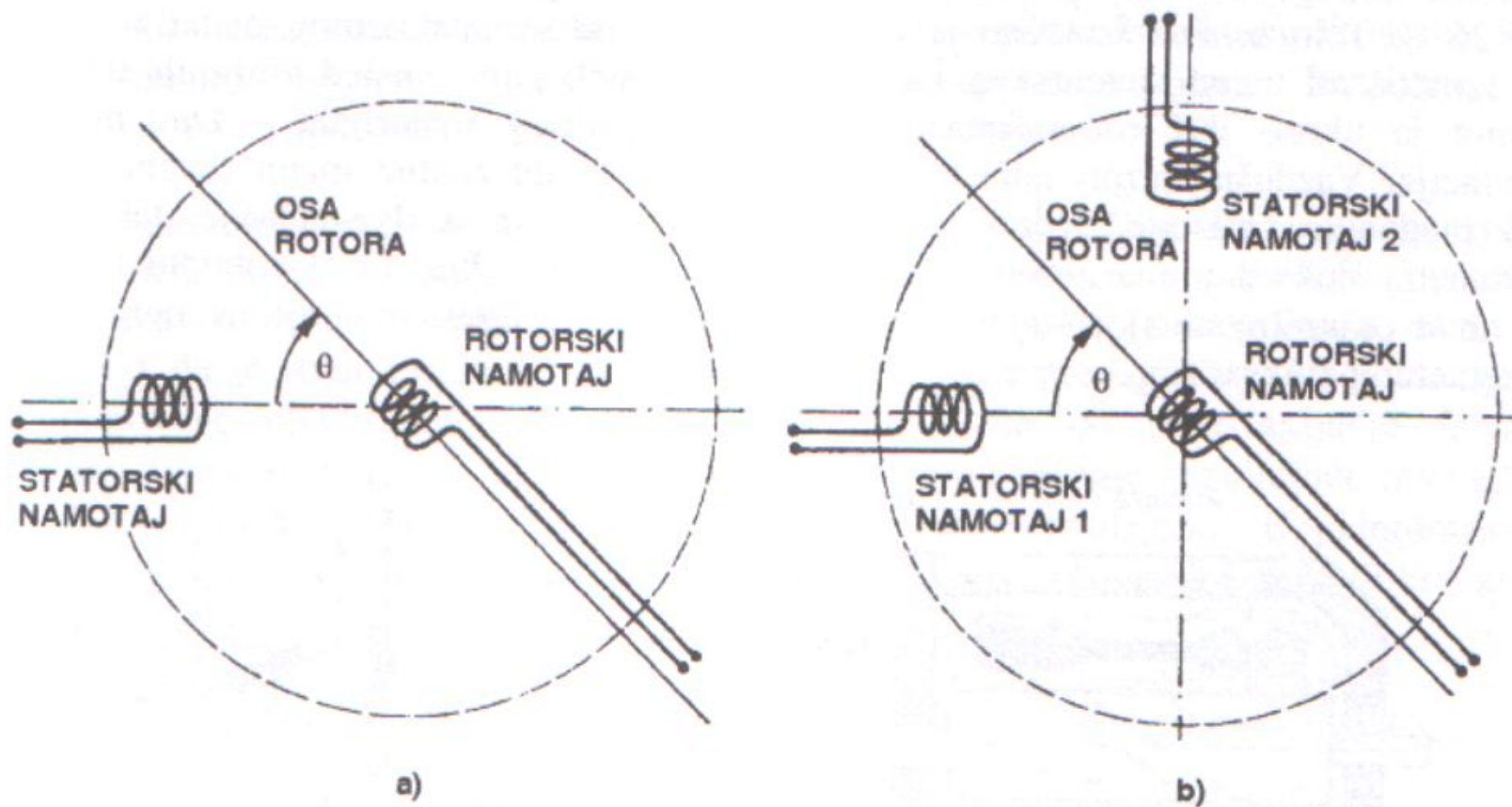
Izgled signala: a) za pozitivni smer ugaonog pomeraja,

b) za negativni smer ugaonog pomeraja

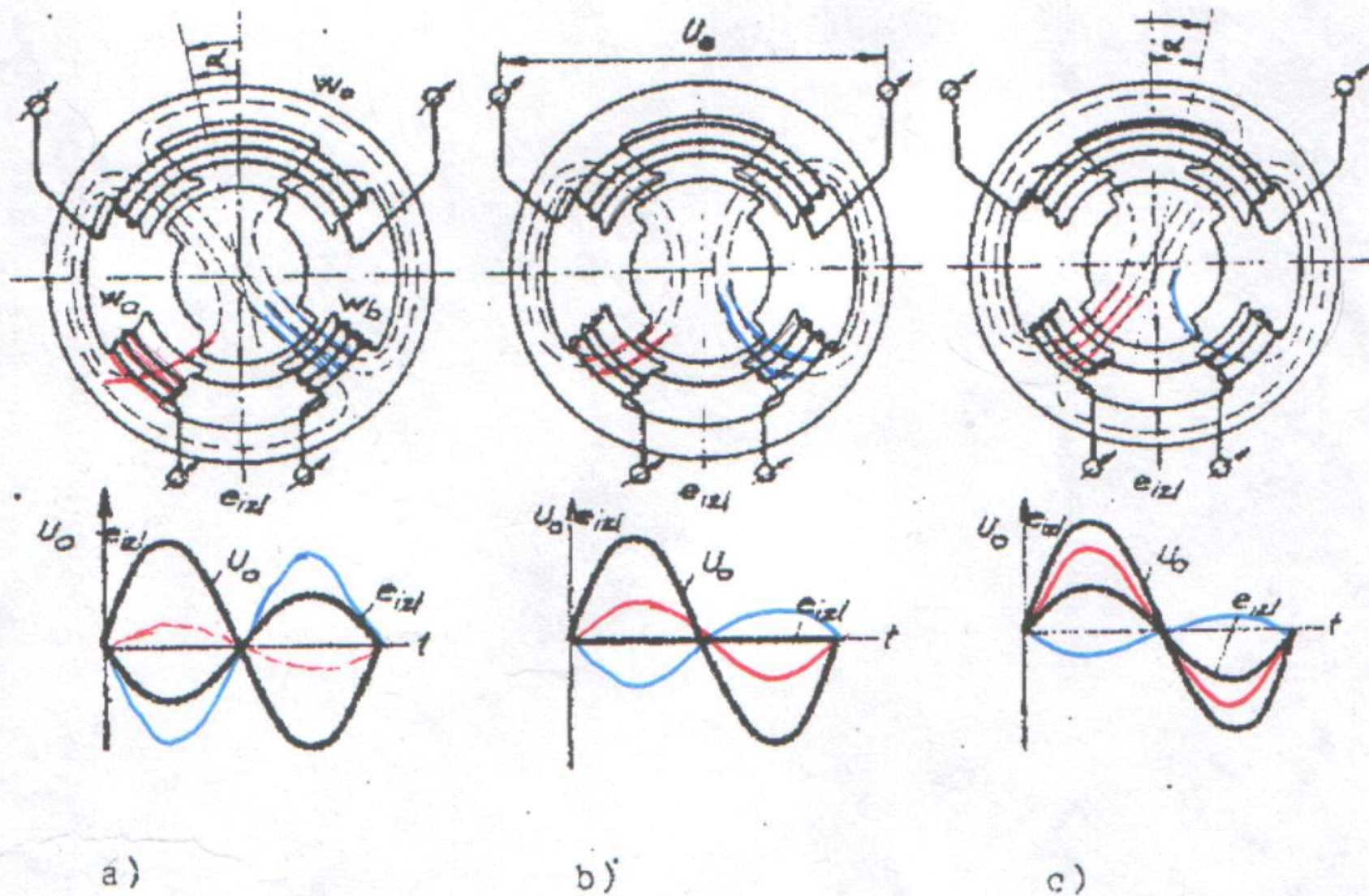


Slika 15.26. Konstrukcija optičkog inkrementalnog enkodera: a) presek enkodera, b) izvedba sa vanjskom osovinom, c) izvedba sa šupljom osovinom

ELEMENTI AUTOMATSKIH SISTEMA -SENZORI UGAONOG POMERAJA

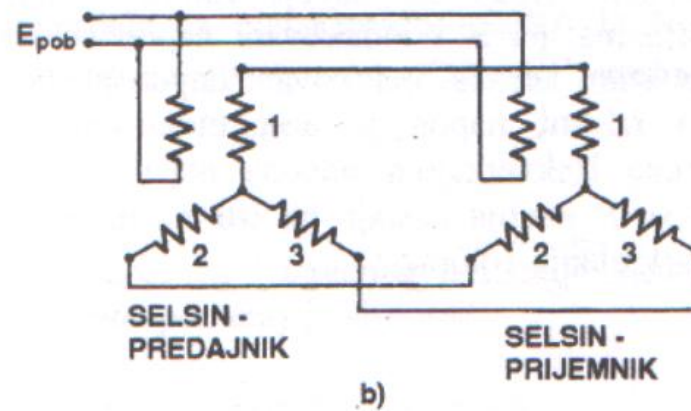
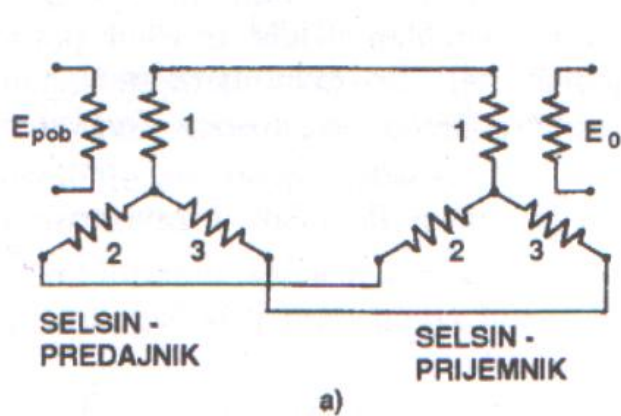


Obrtni transformator: a) amplitudni režim rada, b) fazni režim rada

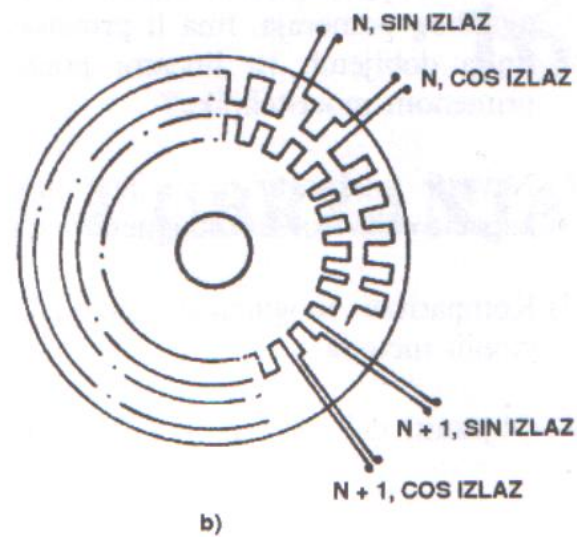
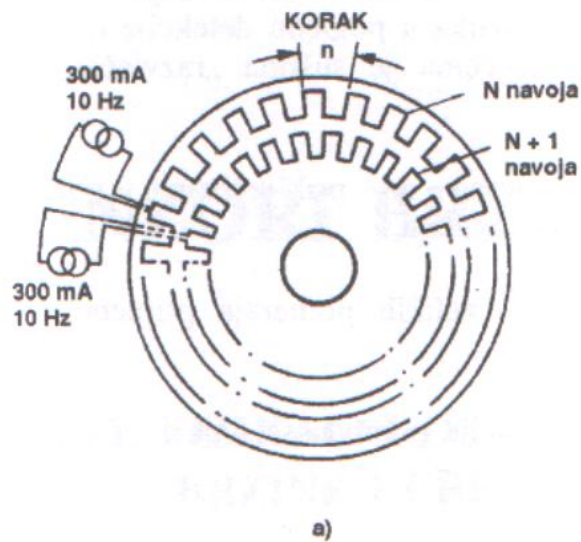


Bezkontaktni obrtni transformator:

a) za negativni smer ugaonog pomeraja, b) neutralni položaj c) za pozitivni smer ugaonog pomeraja,

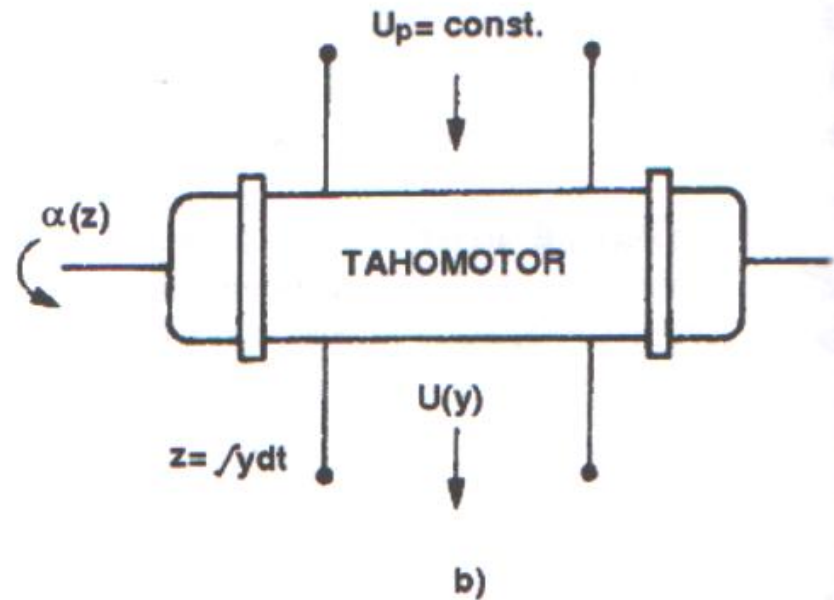
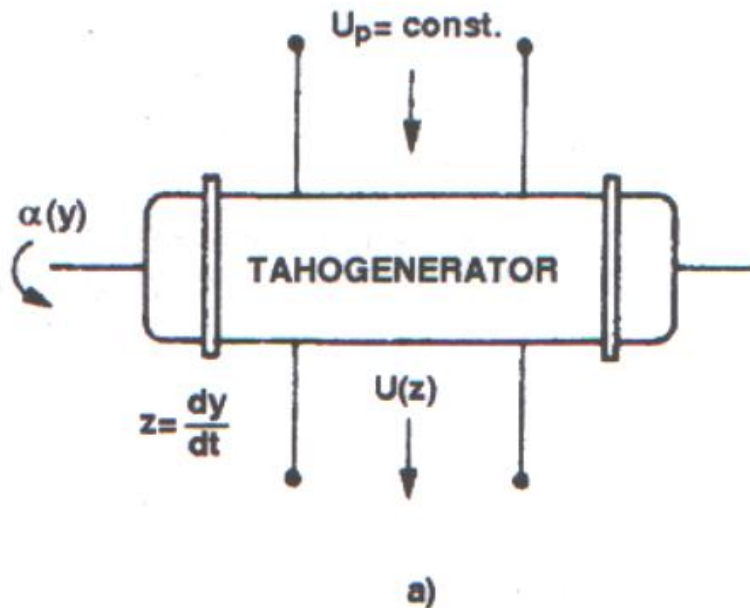


Režimi rada selsinskih sistema: a) transformatorski režim, b) indikatorski režim

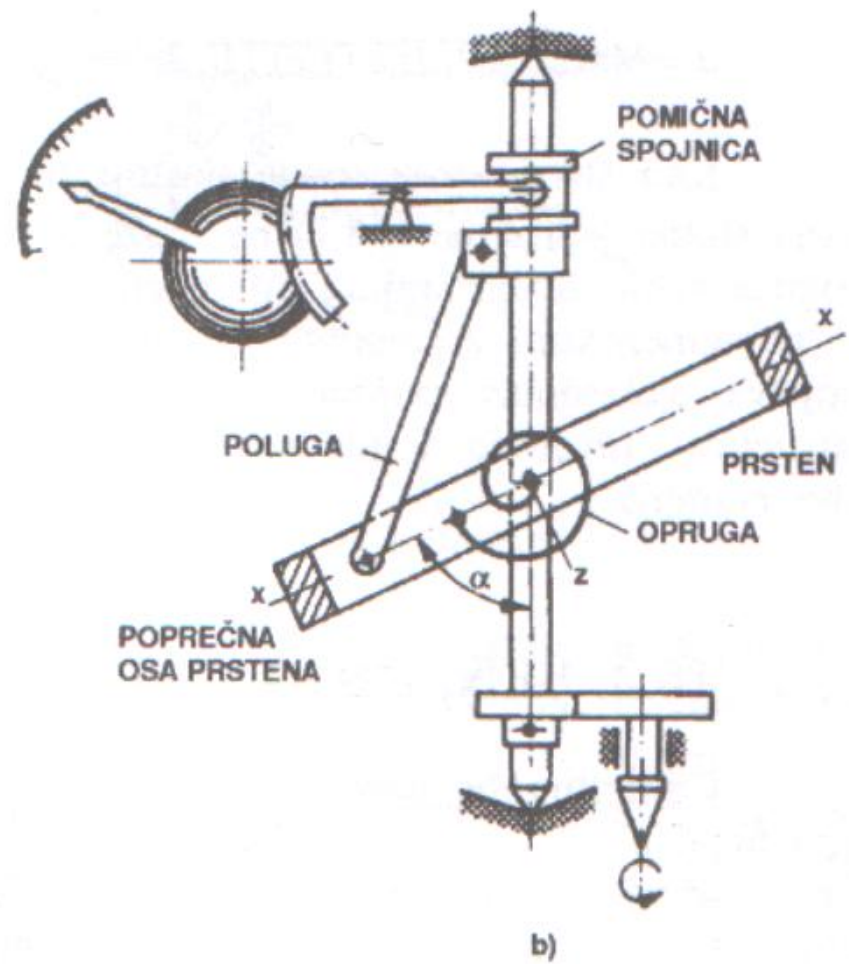
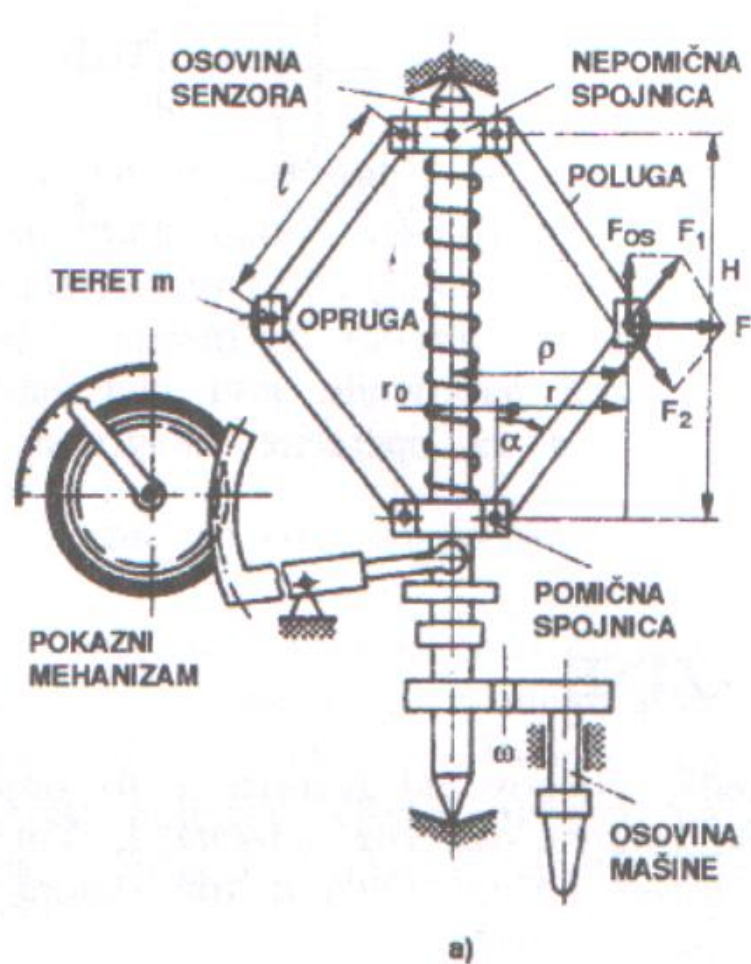


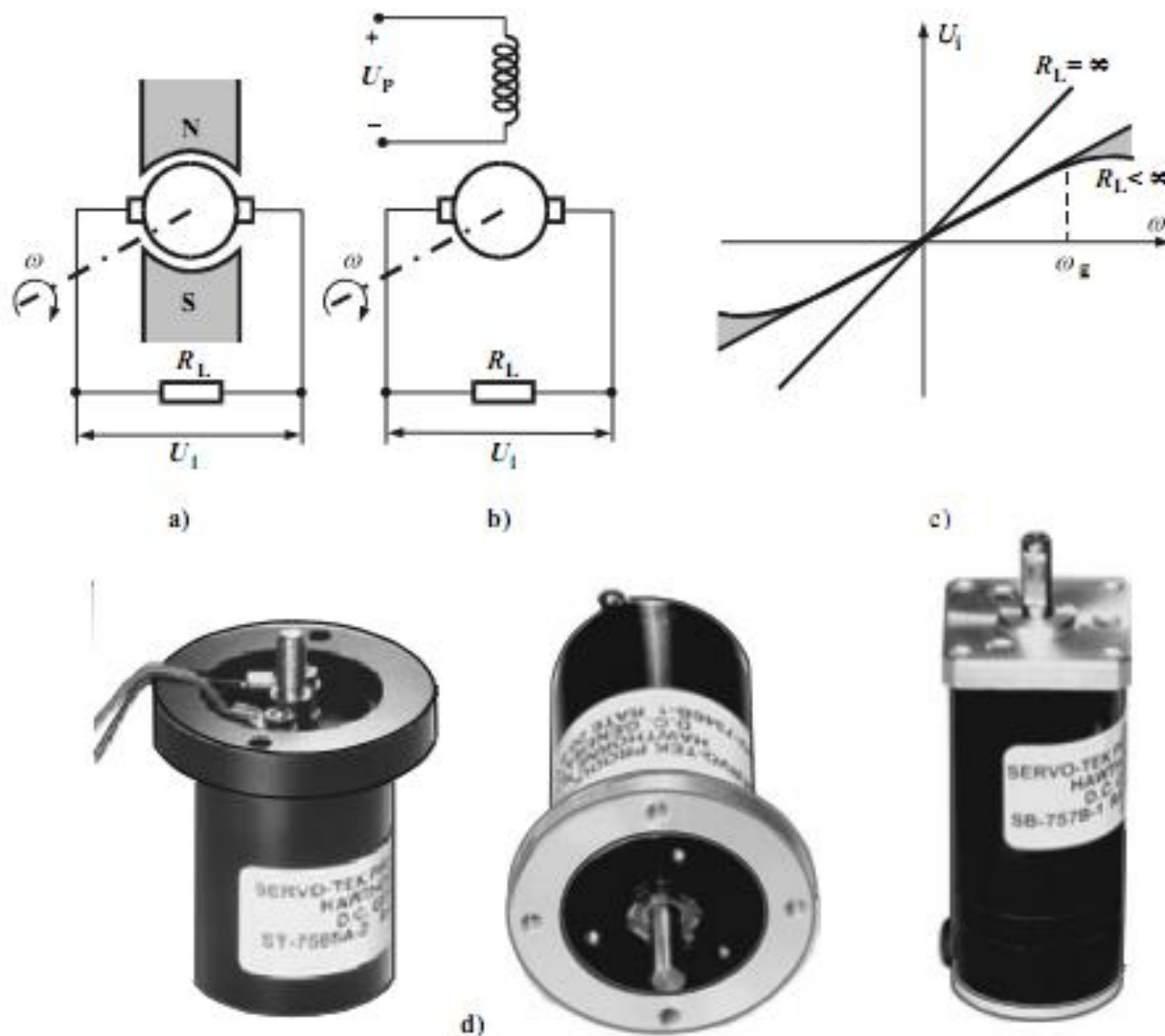
Stator i rotor rotacionog induktosina

SENZORI BRZINE I UBRZANJA



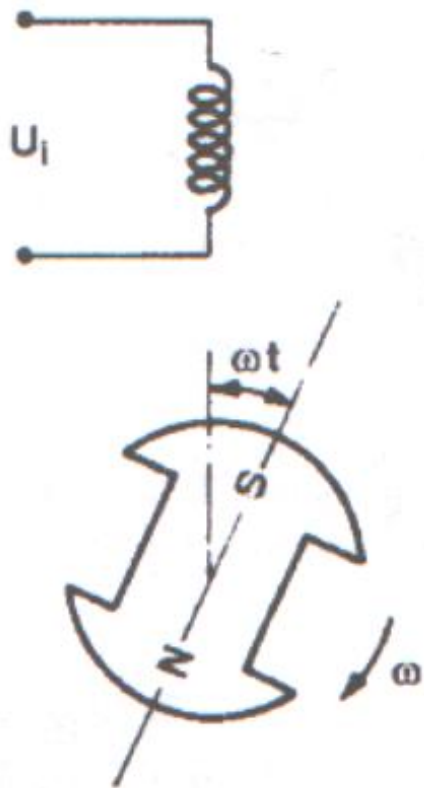
ELEMENTI AUTOMATSKIH SISTEMA - SENZORI BRZINE I UBRZANJA



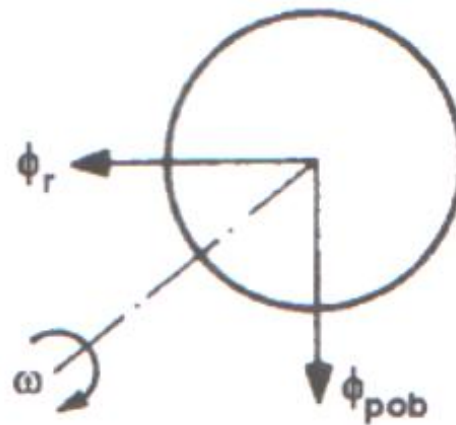
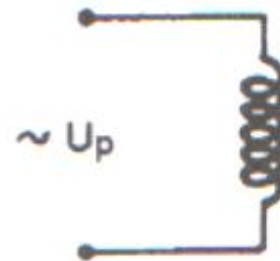


Slika 16.6. Istosmerni tahogenerator: a) pobudno kolo sa stalnim magnetom, b) nezavisno pobudno kolo, c) uticaj opterećenja na statičku karakteristiku, d) izgled tahogeneratora

ELEMENTI AUTOMATSKIH SISTEMA - SENZORI BRZINE I UBRZANJA

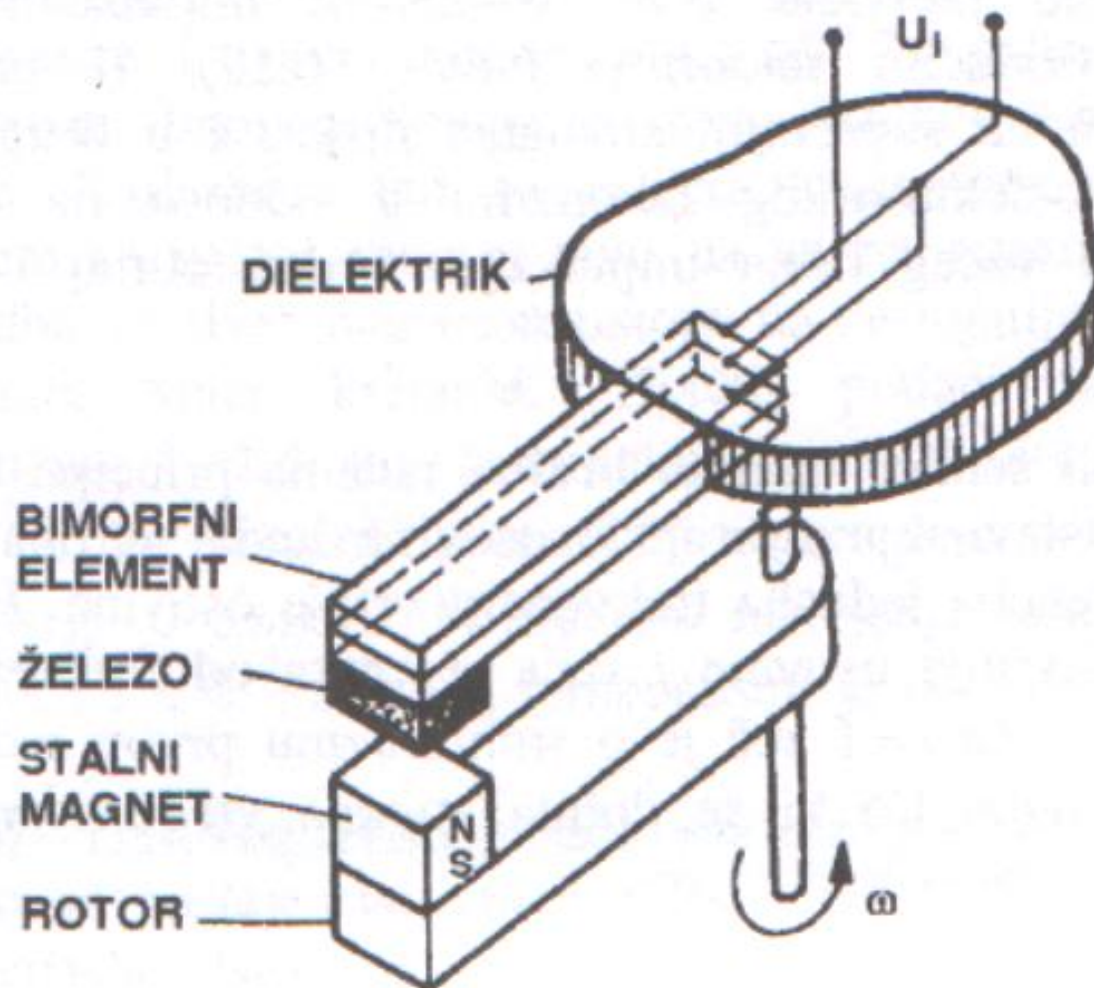


a)

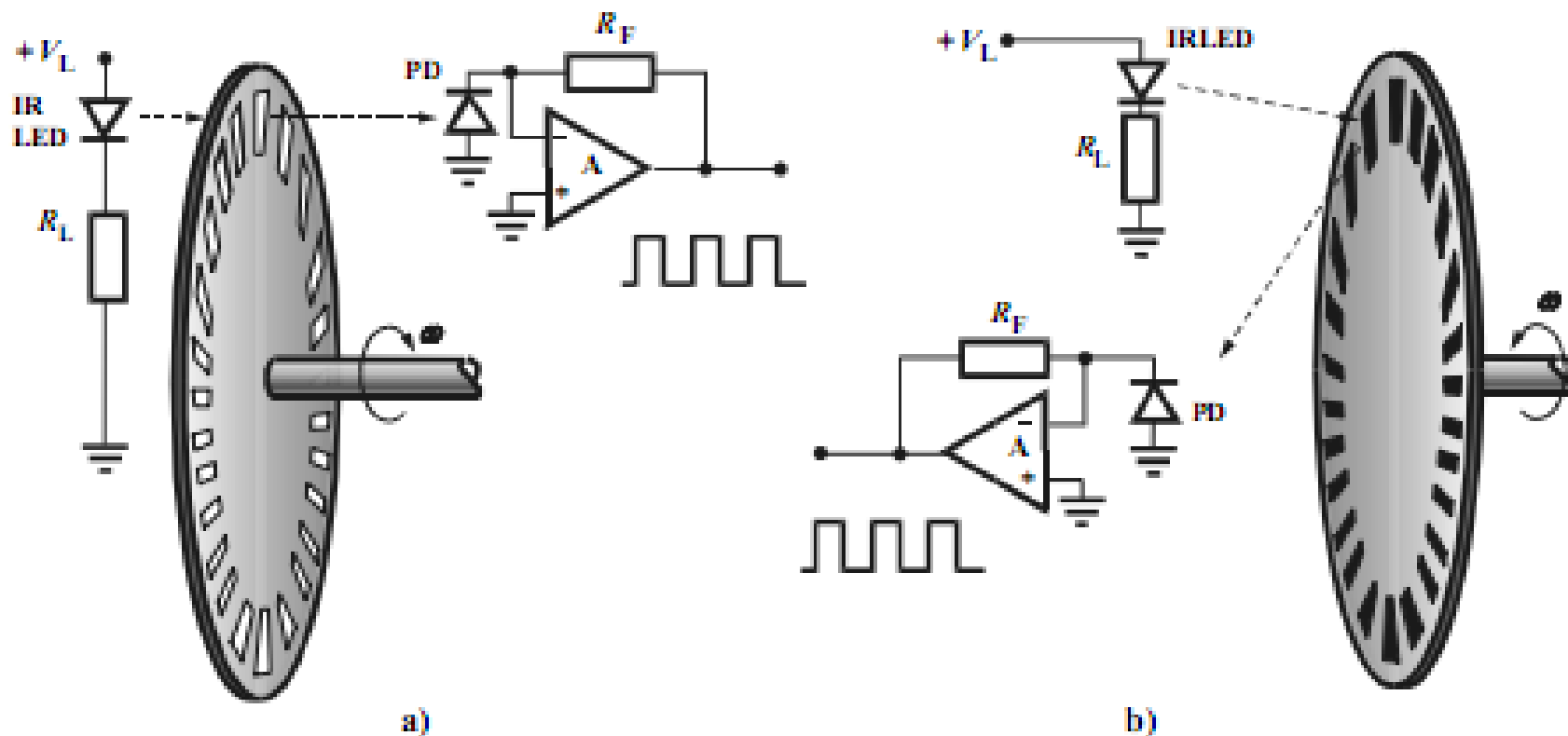


b)

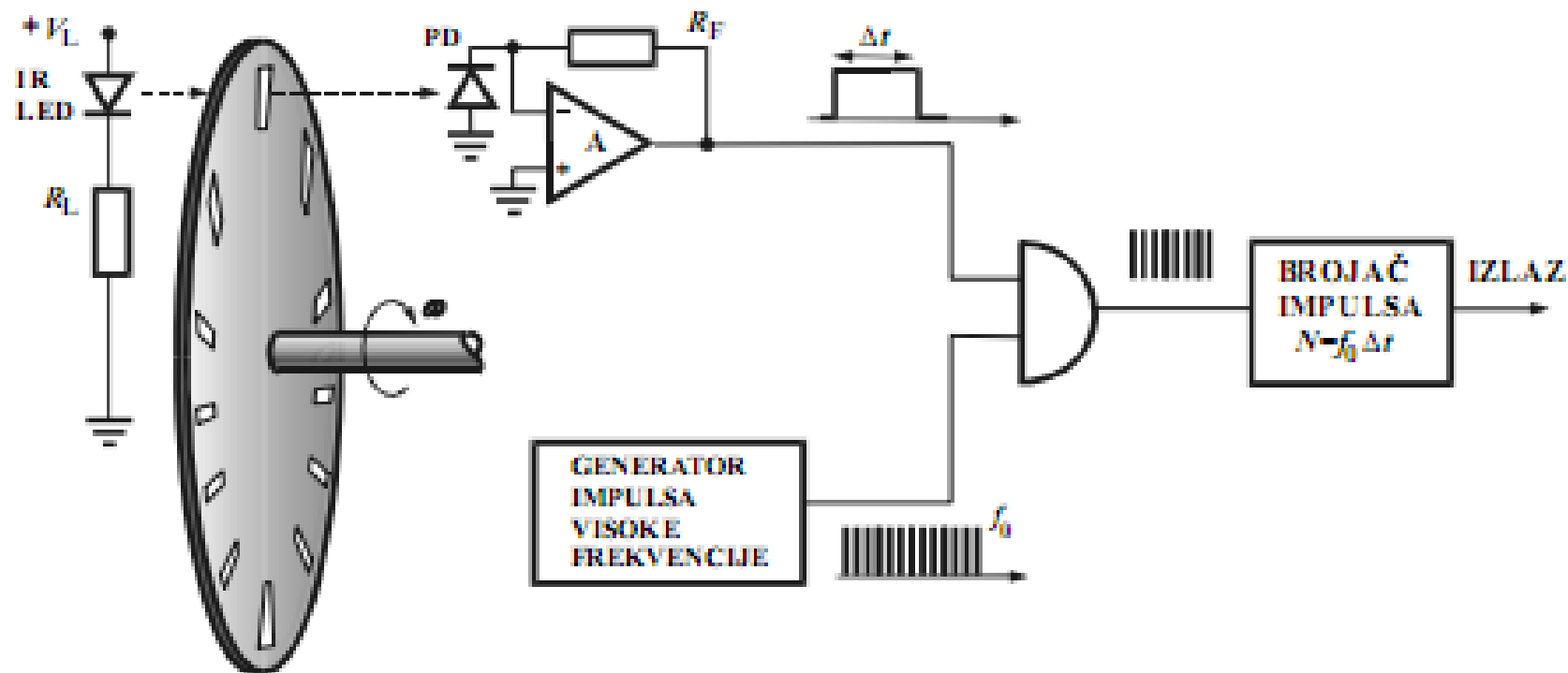
Piezoelektrični tahometar



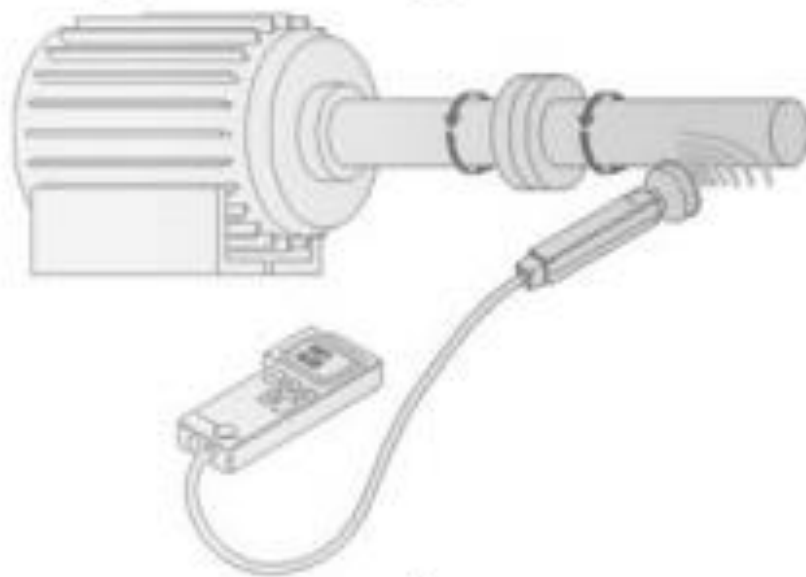
Optoelektronski senzor ugaone brzine



Slika 16.12. Optoelektronski tahometar: a) izvor i prijemnik svetlosti na suprotnim stranama diska, b) izvor i prijemnik svetlosti sa iste strane rotirajućeg diska



Slika 16.13. Optoelektronski tahometar za merenje male ugaone brzine



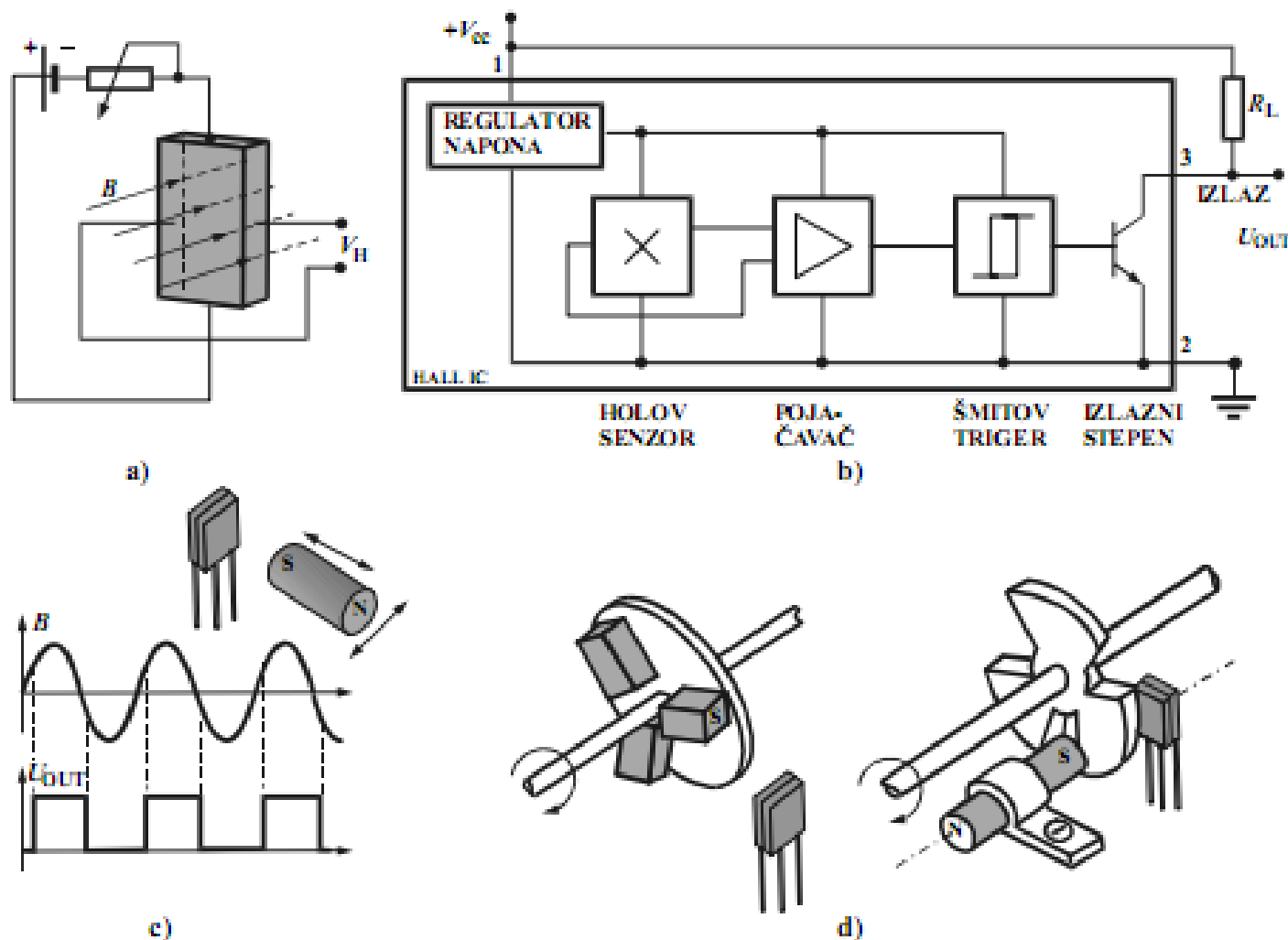
a)



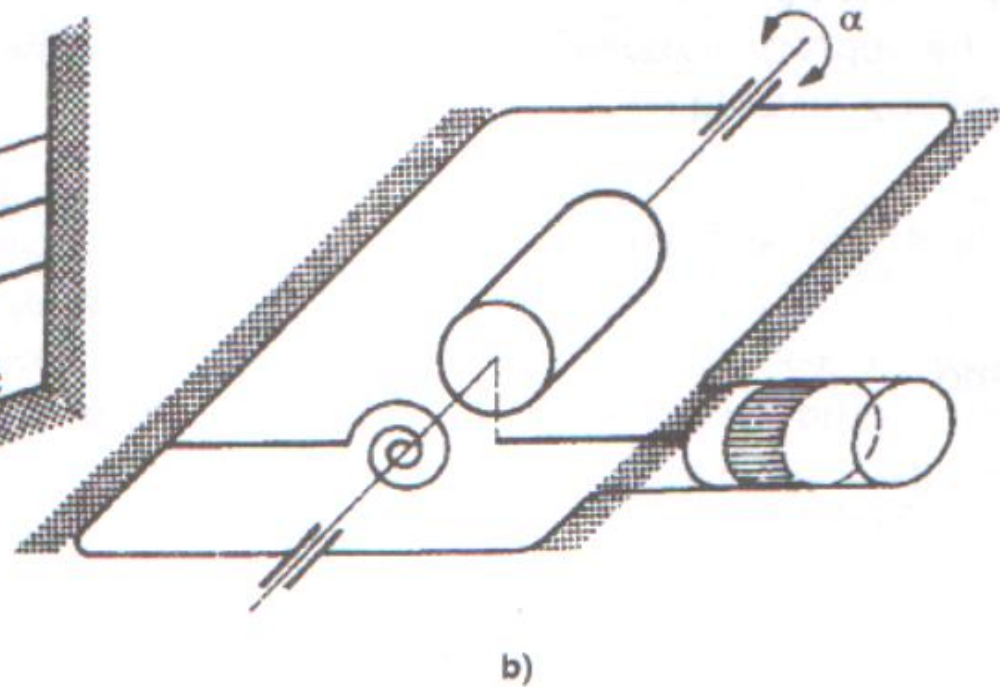
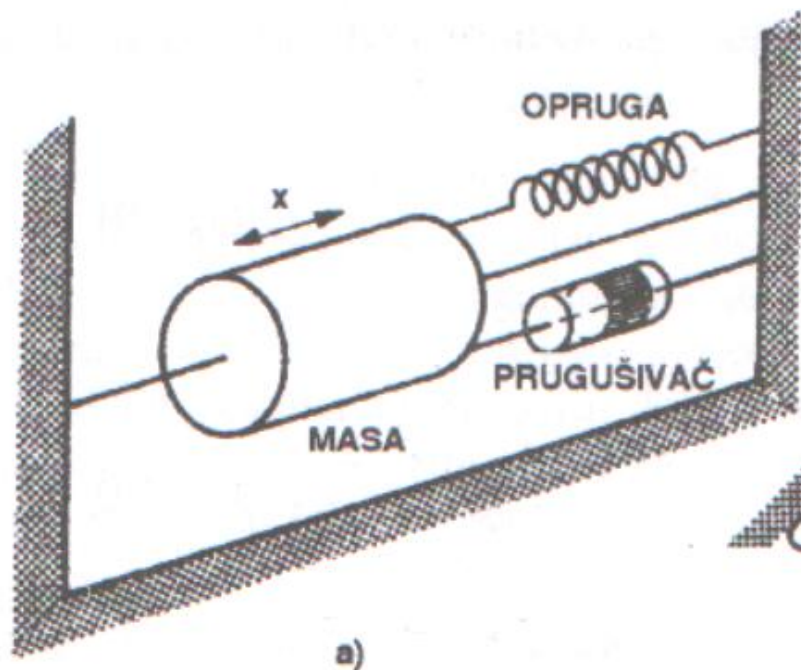
b)

Slika 16.15. Stroboskop: a) merenje sa stroboskopom, b) izgled stroboskopa

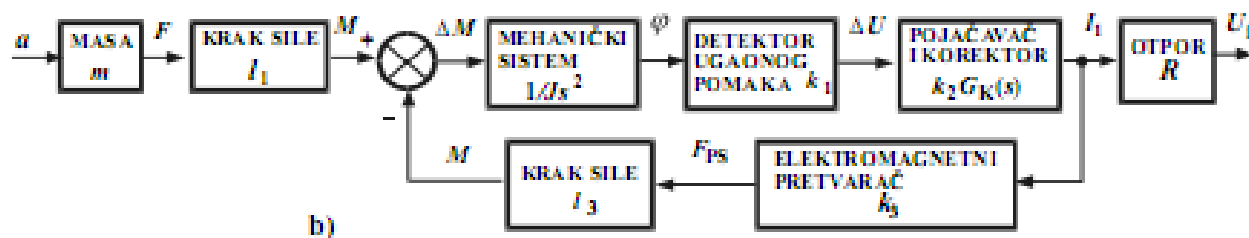
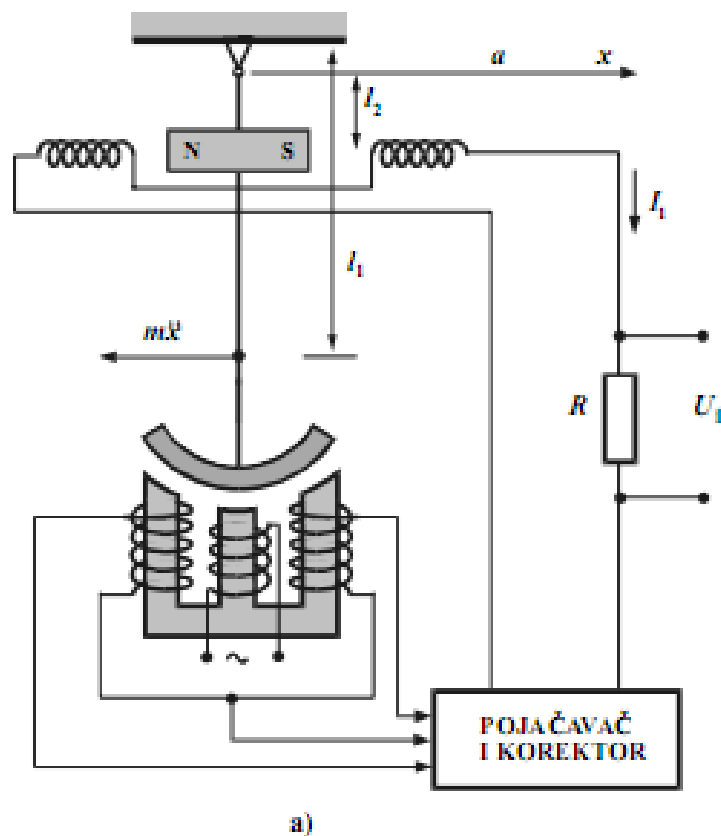
Senzor ugaone brzine na bazi Holovog efekta



Slika 16. 17. Senzor na bazi Holovog efekta: a) ilustracija Holovog efekta, b) senzor i kolo za obradu signala u čipu, c) promena fluksa i izlazni signal, d) obrtomer sa Holovim senzorima

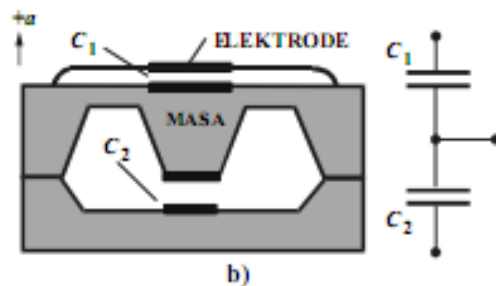
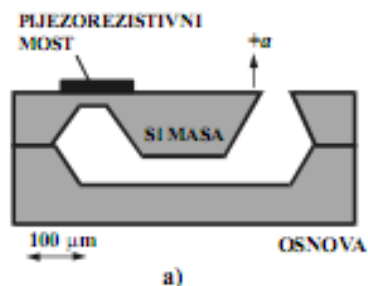


ELEMENTI AUTOMATSKIH SISTEMA - SENZORI UBRZANJA

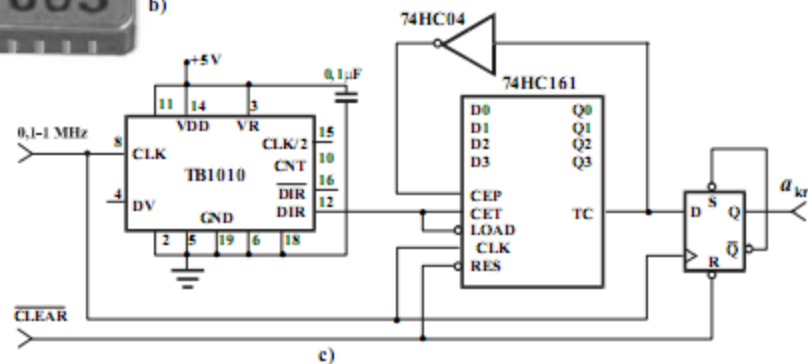
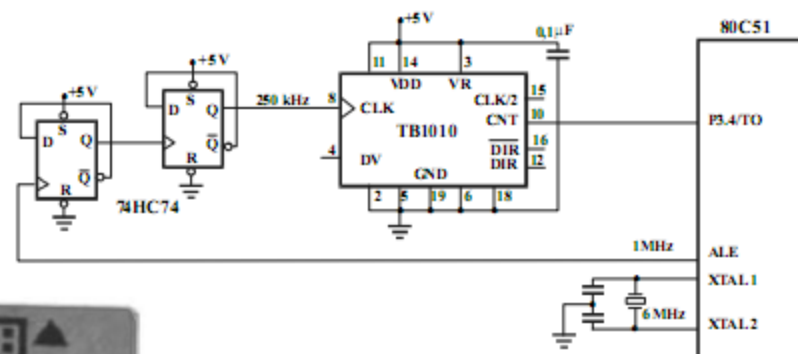


Slika 16. 20. Senzor akceleracije sa kompenzacijom momenta: a) funkcionalna šema, b) blokšema, c) tipični izgled

ELEMENTI AUTOMATSKIH SISTEMA - SENZORI UBRZANJA

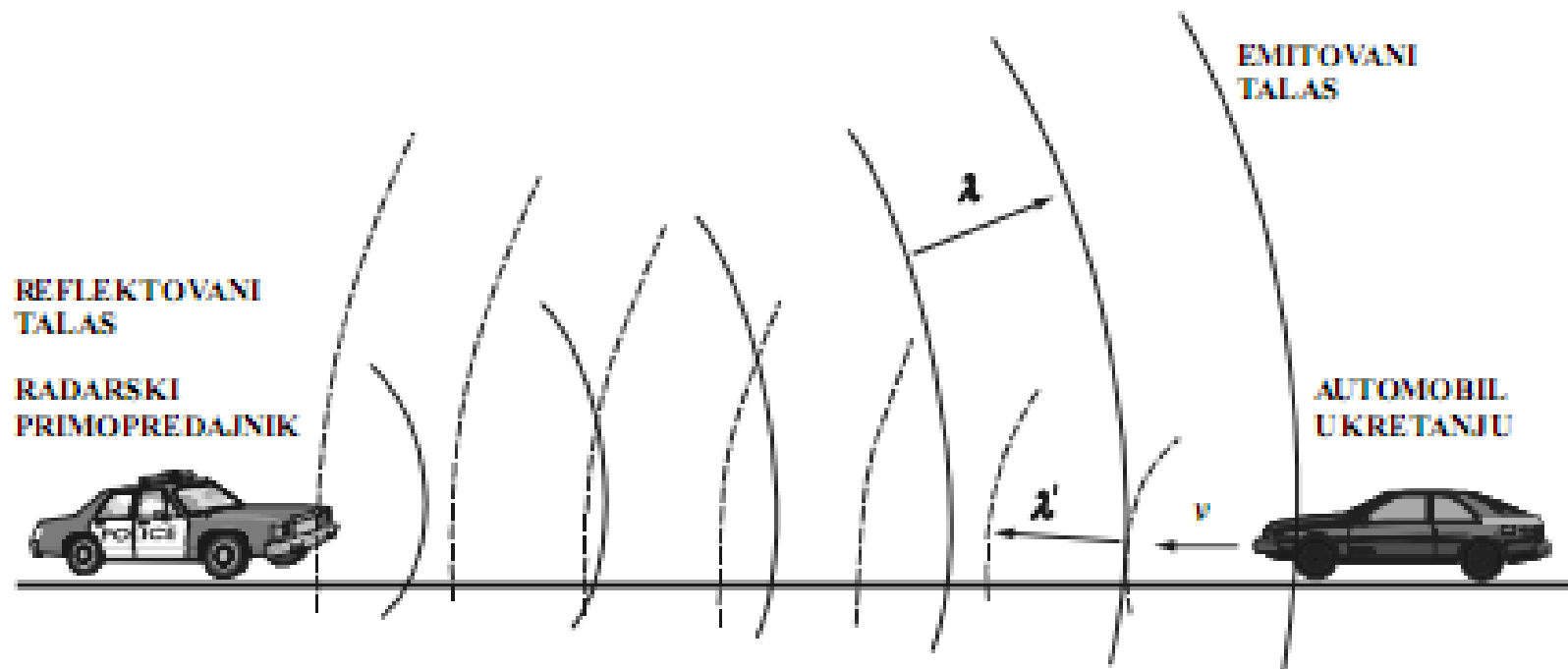


Slika 16.21. Poluprovodnički akcelerometar: a) seizmička masa na elastičnoj konzoli, b) masa na pokretnoj elektrodi diferencijalnog kapacitivnog senzora



Slika 16.22. Digitalni akcelerometar TB1010: a) povezivanje sa mikrokontrolerom, b) senzorski čip, c) kolo za detekciju praga,

Radarsko merenje brzine



Slika 16.24. Radarsko merenje brzine vozila u saobraćaju

SENZORI SILE I MOMENTA

FIZIKALNE OSNOVE MERENJA SILE

- **Sila** je jedna od osnovnih veličina u mehanici.

Sila, koja je vektorska veličina, može se definisati kao akcija koja izaziva ubrzanje ili neku reakciju tela.

Ukoliko na telo deluju druga tela, desiće se izobličenja i/ili promena položaja tela u tačkama delovanja ili kontakta.

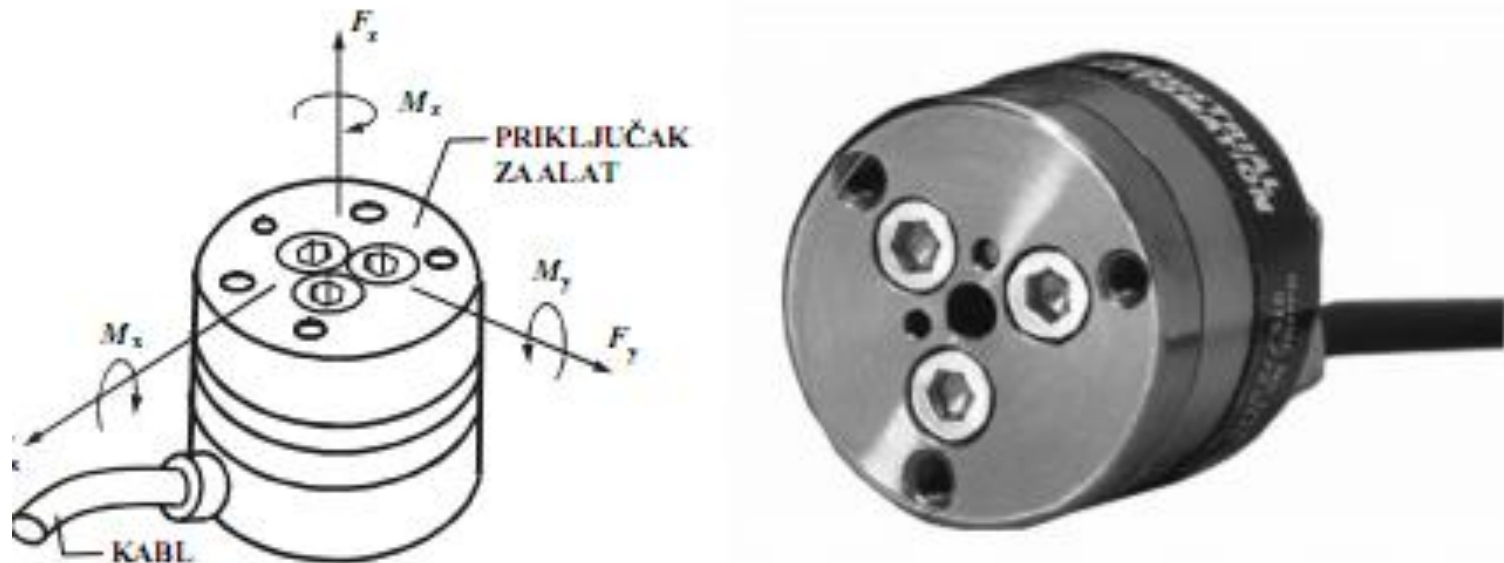
- **Metode merenja** zasnivaju se na primeni:
 - drugog Njutnovog zakona,
 - gravitacionog zakona i
 - Hukovog zakona.

Nepoznata sila se može meriti na sledeći način:

1. Izjednačavanjem nepoznate sile sa poznatom masom kroz sistem poluga.
2. Merenjem ubrzanja tela čija je masa poznata.
3. Njeno izjednačavanje sa magnetskom silom koja je nastala kao interakcija između kalema i magneta.
4. Raspoređivanjem sile na specifičnu oblast da bi generisali pritisak, a zatim merenjem pritiska.
5. Pretvaranjem primenjene sile u deformaciju elastičnog elementa.

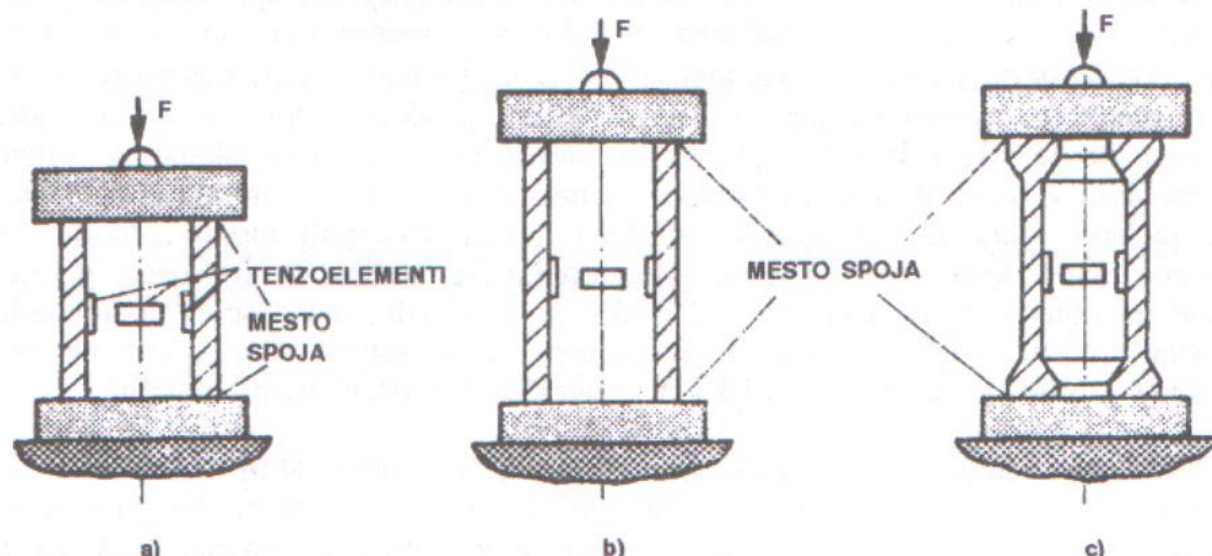
▪ Problemi merenje sile

- problem tačnosti,
- ulaz vektorska a izlaz skalarna veličina,
- ogranišenost mehaničkih naprezanja u materijalu i
- problem interakcije u mernom sistemu.

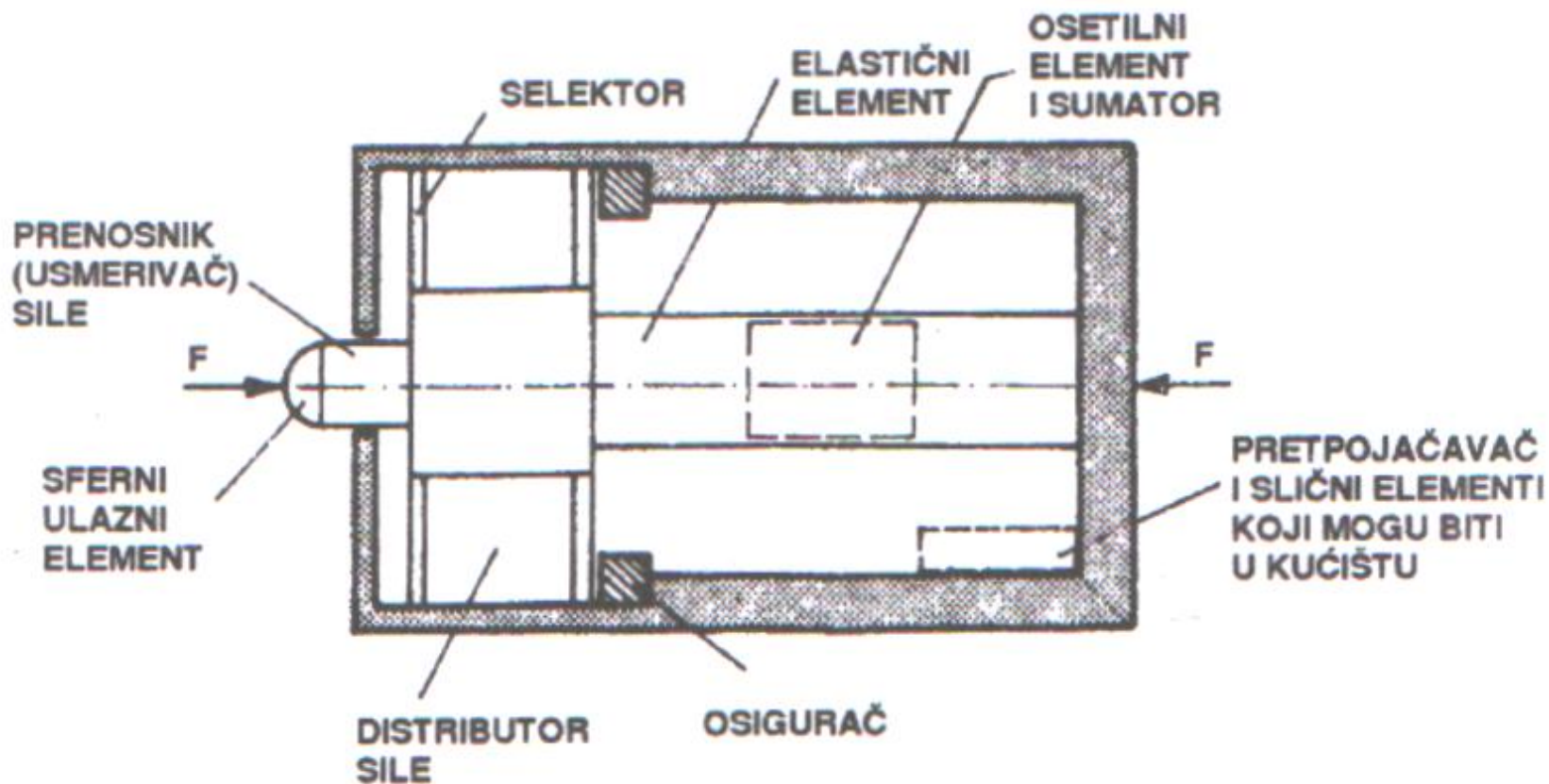


Slika 17.1. Šestokomponentni senzori: a) komponente sile i momenta, b) izgled senzora

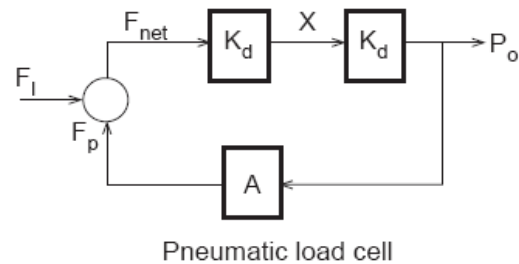
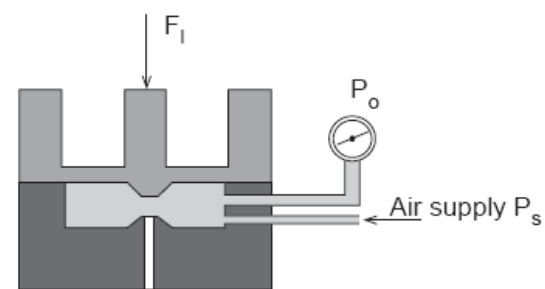
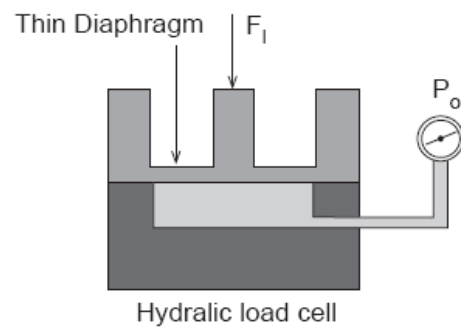
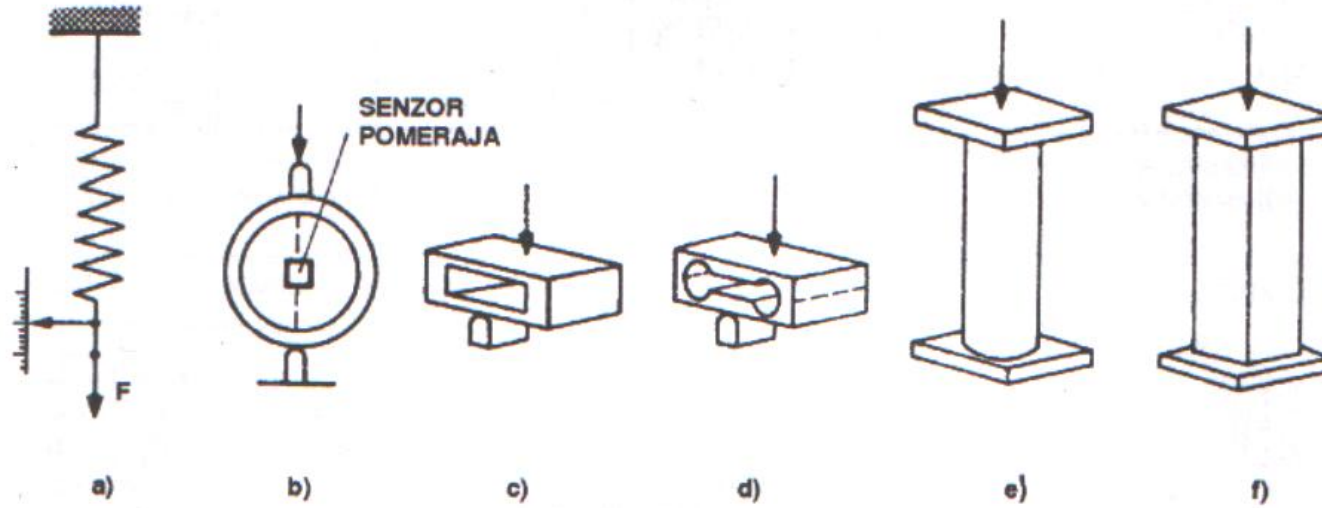
- **Gradnja senzora sile** je određena fizikalnim principima konverzije sile u izlazni signal, te tehnološkim i ekonomskim mogućnostima.
- Da bi se dobile optimalne tehničke karakteristike prilikom gradnje treba poštovati:
 - princip monolitnosti,
 - princip integriranja
 - princip optimalnih konstruktivnih granica i
 - princip simetrije.



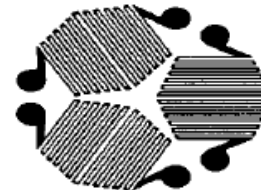
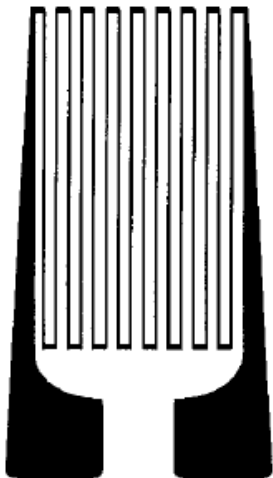
Struktura senzora sile



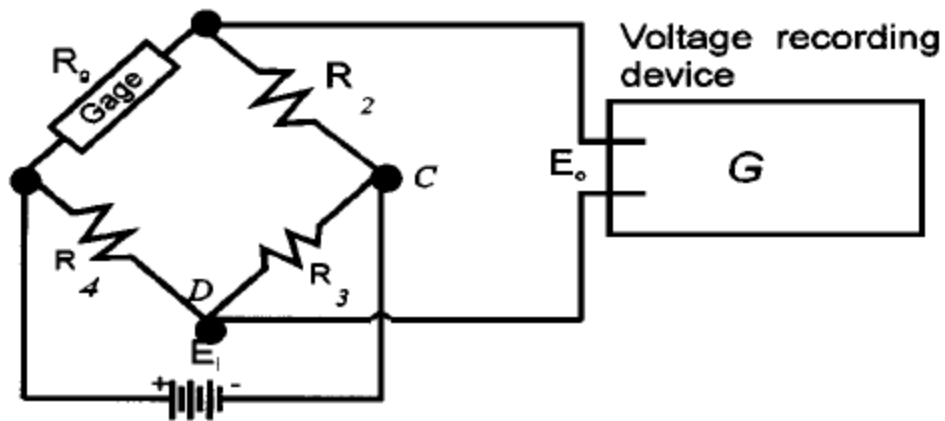
ELEMENTI AUTOMATSKIH SISTEMA – SENZORI SILE I MOMENTA



ELEMENTI AUTOMATSKIH SISTEMA – SENZORI SILE

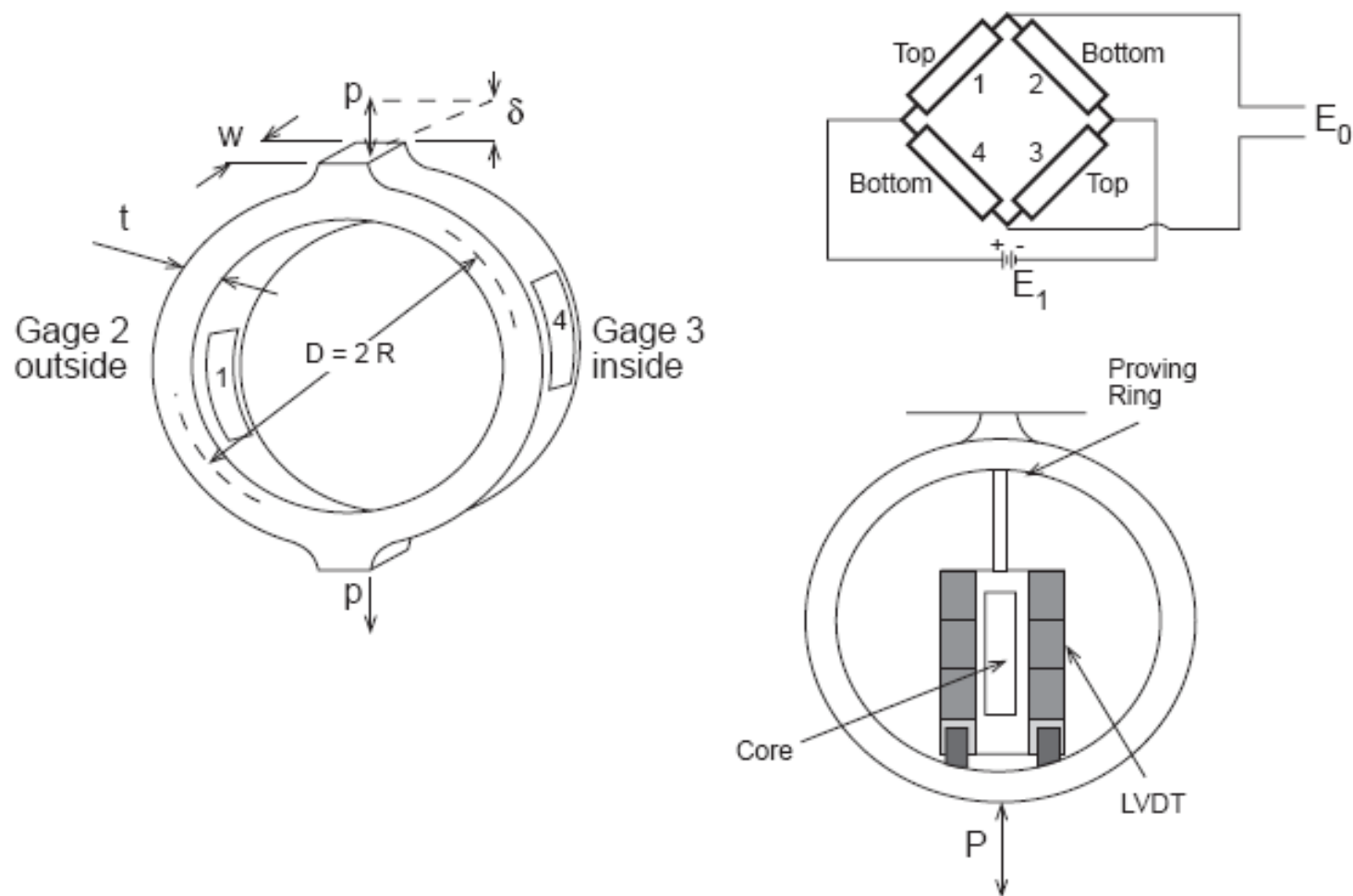


Konfiguracija mernih traka sa metalnim otpornim folijama: (a) sa jednim elementom; (b) sa dva elementa; i sa tre elementa (c).



Vistonov most

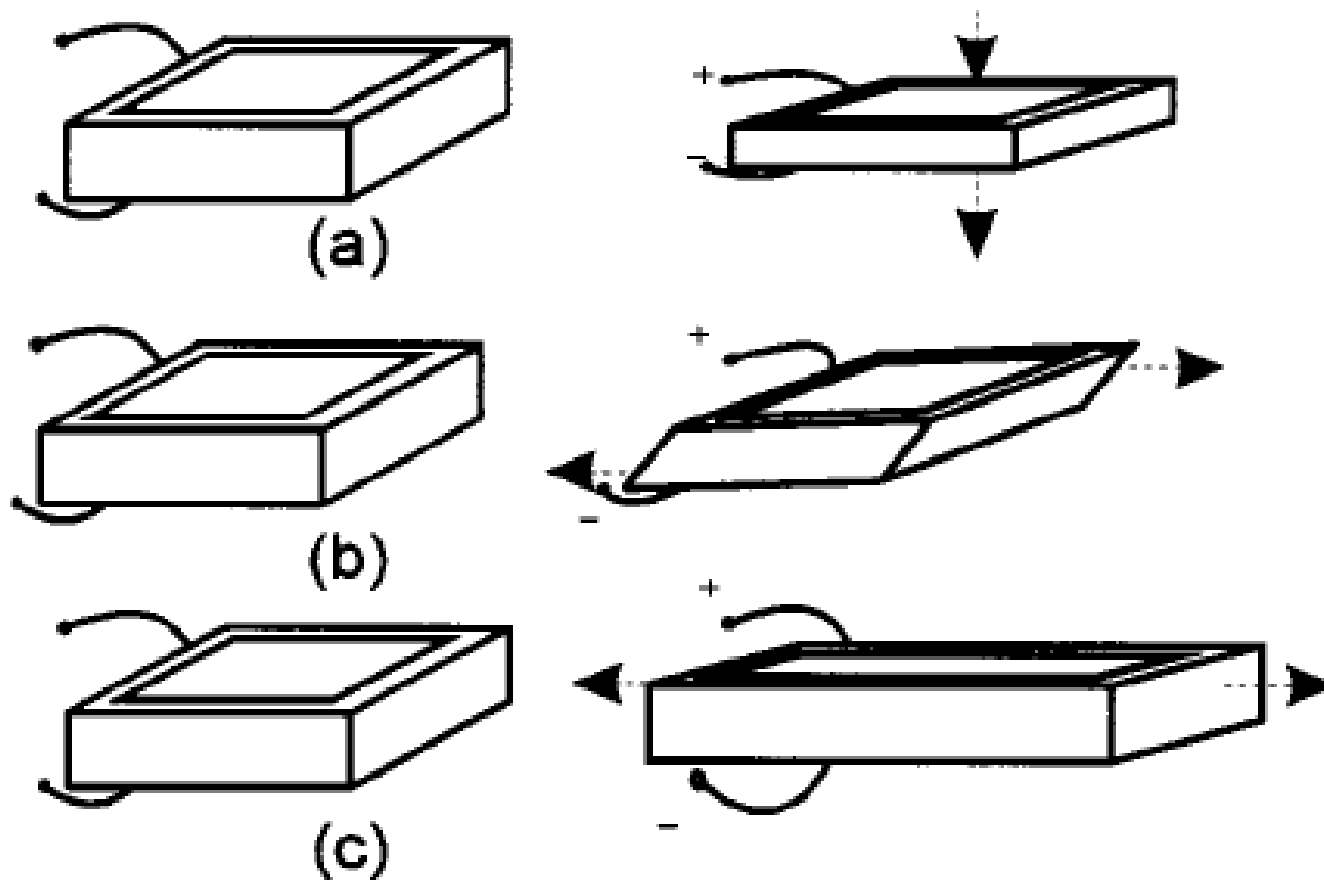
ELEMENTI AUTOMATSKIH SISTEMA – SENZORI SILE



(c)

Prstenaste otporne ćelije: (a) elastični element sa deформacionom trakom kao senzorom; (b) položaji deформacionih traka u Vistonovom mostu; i (c) elastični elementi sa LVDT kao senzorom.

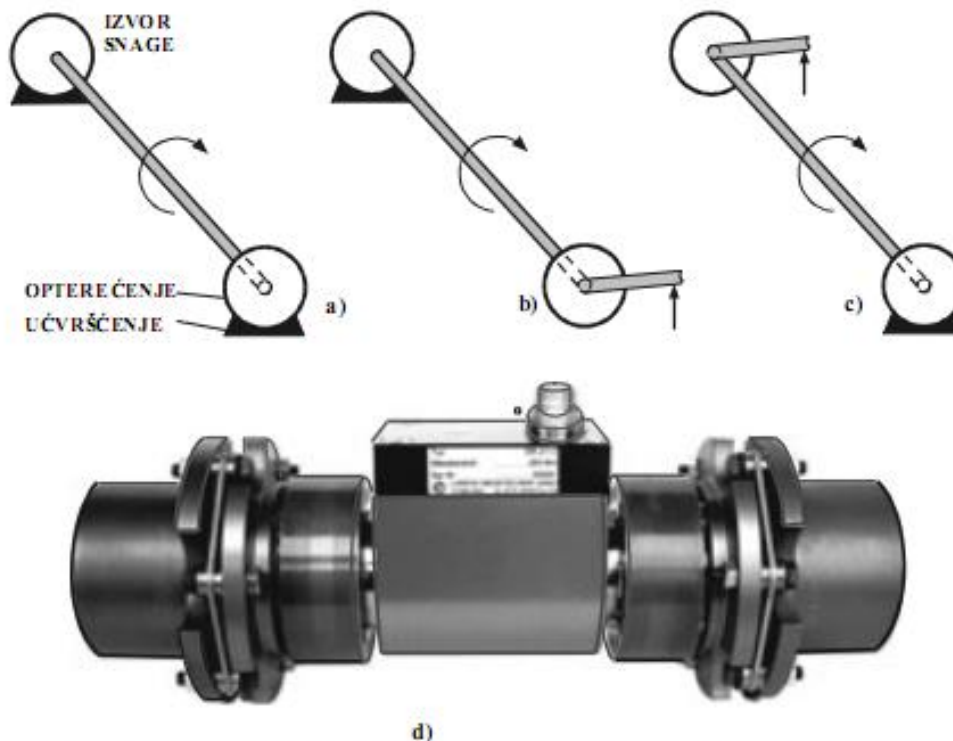
ELEMENTI AUTOMATSKIH SISTEMA – SENZORI SILE



Načini rada za jednostavnu ploču kao piezoelektrični uređaj

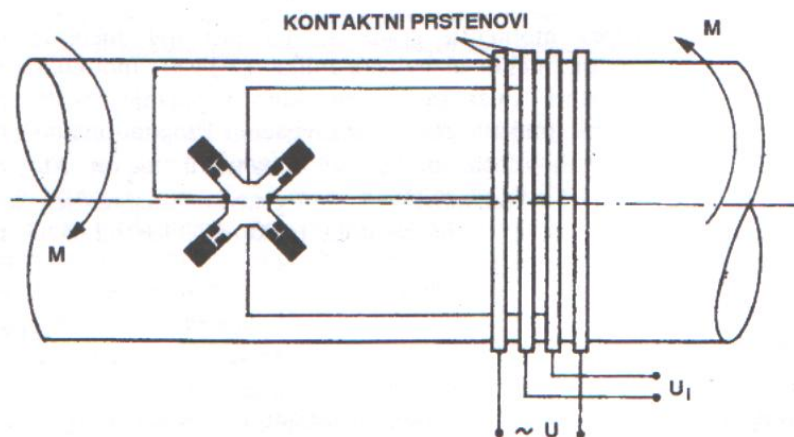
MERENJE MOMENTA

- **Moment** je izvedena mehanička veličina koja predstavlja proizvod sile i njenog rastojanja do referentne ose.
- **Problemi merenje momenta** su isti kao i kod merenja sile a dodatni je problem postavljanja osovine (vratila) u ležište.

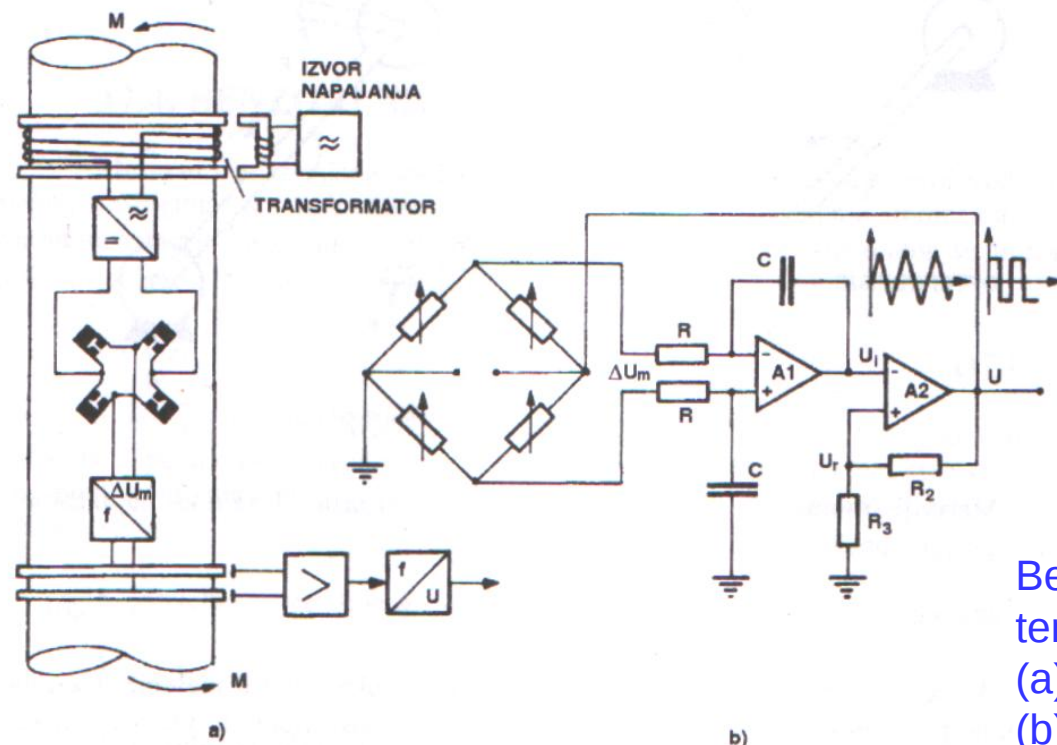


Slika 17.10. Dinamometarski princip merenja momenta: a) prenos snage pomoću osovine, b) merenje sile na strani opterećenja, c) merenje sile na strani izvora, d) meri sistem

ELEMENTI AUTOMATSKIH SISTEMA – SENZORI MOMENTA

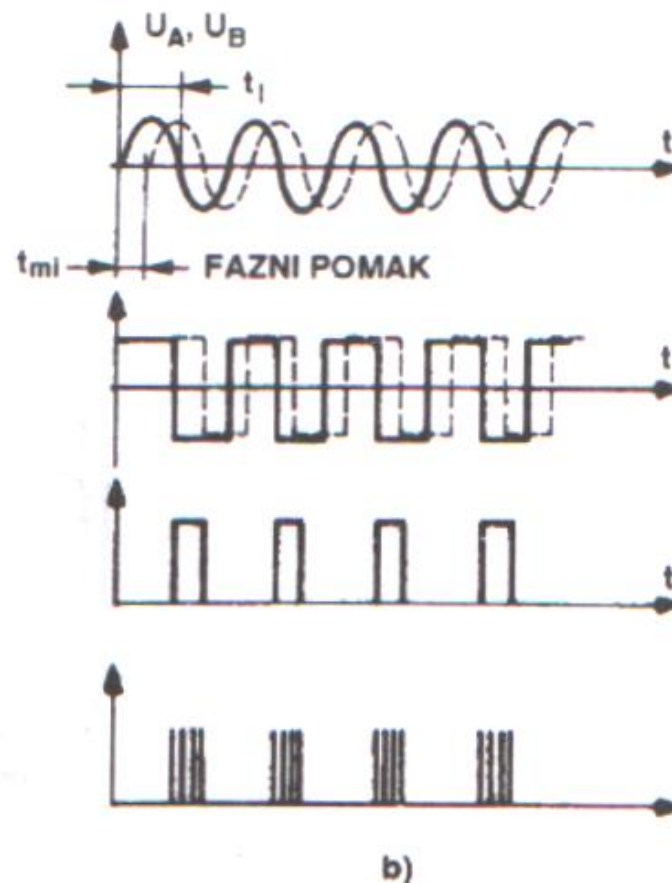
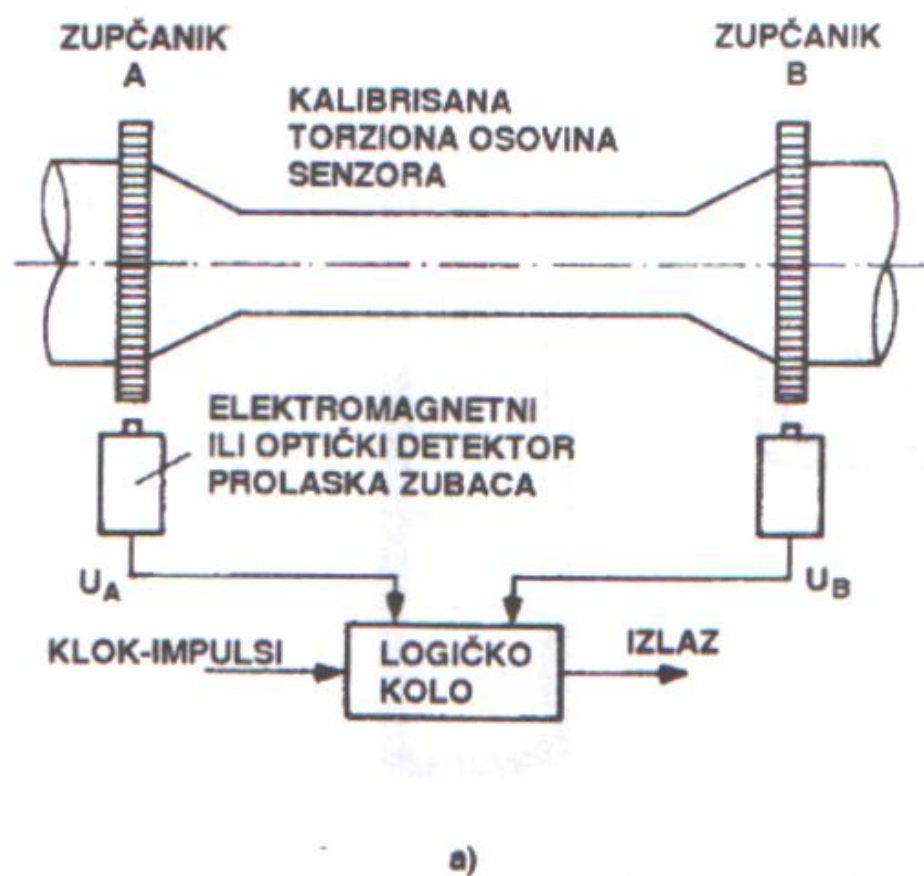


Senzor momenta sa tenzoelementima i kontaktnim prstenovima.



Beskontaktni senzor momenta sa tenzoelementima:
(a) principijelna šema;
(b) pretvarač napona u frekvenciju.

ELEMENTI AUTOMATSKIH SISTEMA – SENZORI MOMENTA



Digitalni senzor momenta: (a) princip rada; (b) talasni oblici signala.