

**Tehnološki merni sistemi – osma
nastavna jedinica / Senzori**

**Prof. dr Vidosav D.
MAJSTOROVIĆ, dipl.maš.inž.
Mašinski fakultet, Beograd**

Pojam senzora

- ☞ **Senzor je prvi član mernog lanca koji prima energiju od objekta:**
 - srazmernu vrednosti merne veličine, i
 - generiše merni signal
- ☞ **Primanje i pretvaranje energije se karakteriše njenom disipacijom**
- ☞ **Nema apsolutno tačnog senzora**
- ☞ **Merni senzori visokog kvaliteta**

Nazivi za senzor

- ☛ Davač, merni prenosnik, detektor, receptor
- ☛ Generator mernog signala, pretvarač
- ☛ Primač, indikator, merni pretvarač
- ☛ Sonda, transmisor
- ☛ Merač, transduktor, datčik, ...

Podela senzora

Kriterijumi klasifikacije (šest):

- princip merenja
- tip (vrsta) konverzije merne veličine
- vrsta merne veličine
- karakter izlaznog signala
- odnos senzora i objekta merenja
- vrsta objekta na koji se postavljaju senzori

Princip merenja – fizički fenomen i njegova zakonitost

- Mehanički / optički / pneumatski / hidraulični / elektromagnetni / kapacitivni / fotoelektrični / taktilni / elektrorezistorski / galvanomagnetni / elektronski / akustički / piezoelektrični / frekventno elektromehanički / kombinovani

Vrsta merne (ulazne) veličine

- ☞ Senzore karakteristika kvaliteta (tolerancija dužina, ...)
- ☞ Senzore karakteristika procesa (sila, momenat, temperatura, parametar habanja, ...)
- ☞ Senzor karakteristike stanja sistema (OS, MM, ...)
- ☞ Senzor karakteristika stanja radne sredine

Vrsta objekta na koji se postavljaju senzori

- ☛ **Senzori mernih sistema (analognih, digitalnih, MM, mernih robota, ...)**
- ☛ **Senzori mašina alatki**
- ☛ **Senzori adaptivnih robota**
- ☛ **Senzori drugih objekata**

Karaktera izlaznog signala

- ☛ **generatorski senzori**
- ☛ **modulatorski (parametarski) senzori – promena ulazne veličine izaziva promenu nekog parametra na izlazu**

Tipa (vrste) konverzije merne veličine u merni (izlazni) signal

- ☛ Senzore (pretvarače) neelektričnih u neelektrične veličine
- ☛ Senzore (pretvarače) neelektričnih u električne veličine
- ☛ Senzore (pretvarače) nepneumatskih u pneumatske veličine
- ☛ Senzore (pretvarače) drugih kombinacija konverzije

Odnosa senzora i objekta

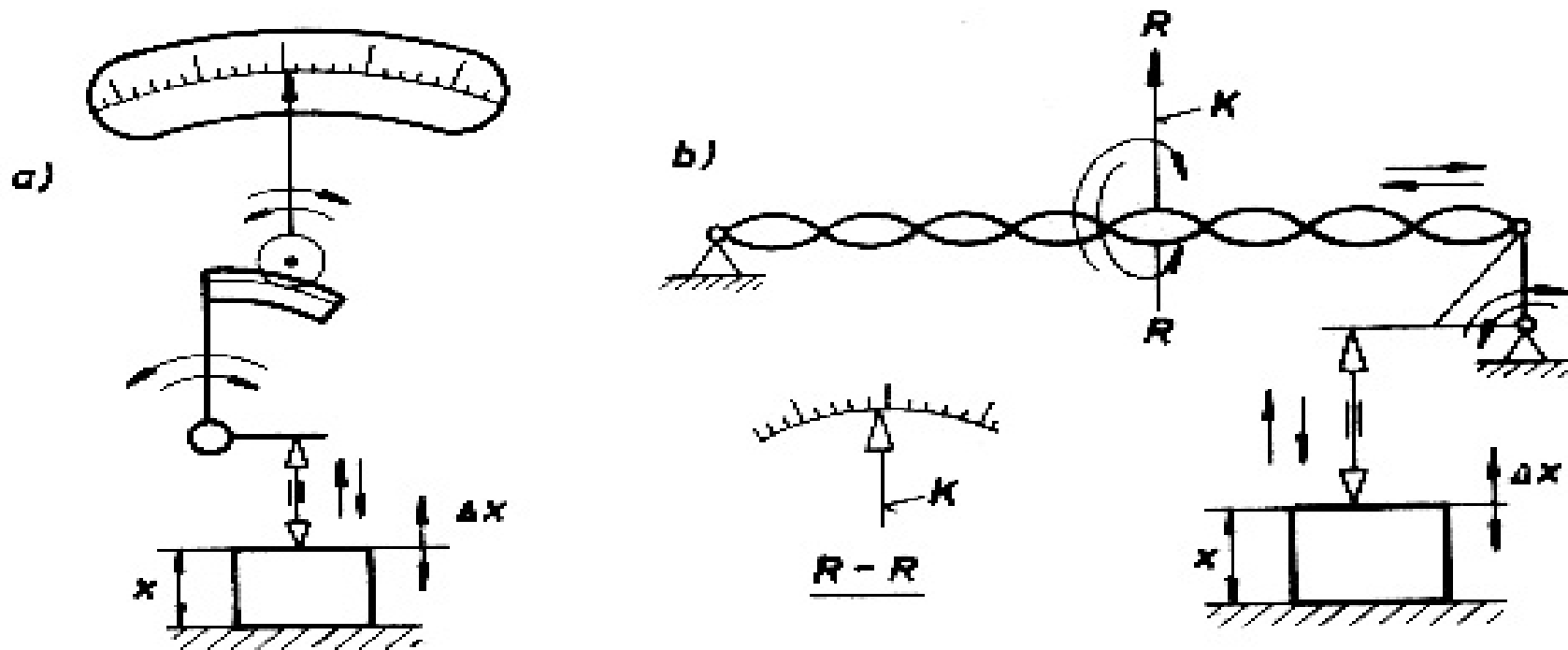
- ☛ **Kontaktne**
- ☛ **Bezkontaktne**

**Prvi kriterijum – osnov za dalje
izučavanje senzora**

Mehanički senzori

- Spadaju u klasu starijih konstrukcija
- Široka primena, ali se zamenjuju novim konstrukcijama
- Mala tačnost (relativno)
- Metrološke performanse – srednje
- Konstrukcija jednostavna
- Prenosni elementi – polužni, pužni, zupčasti parovi/segmenti/poluge, opruge
- Proizvođači: Tesa, C.Zeiss, C. Mahr, Johanson, Mitutoyo, ...

Slika 8.1 Primeri mehaničkih senzora



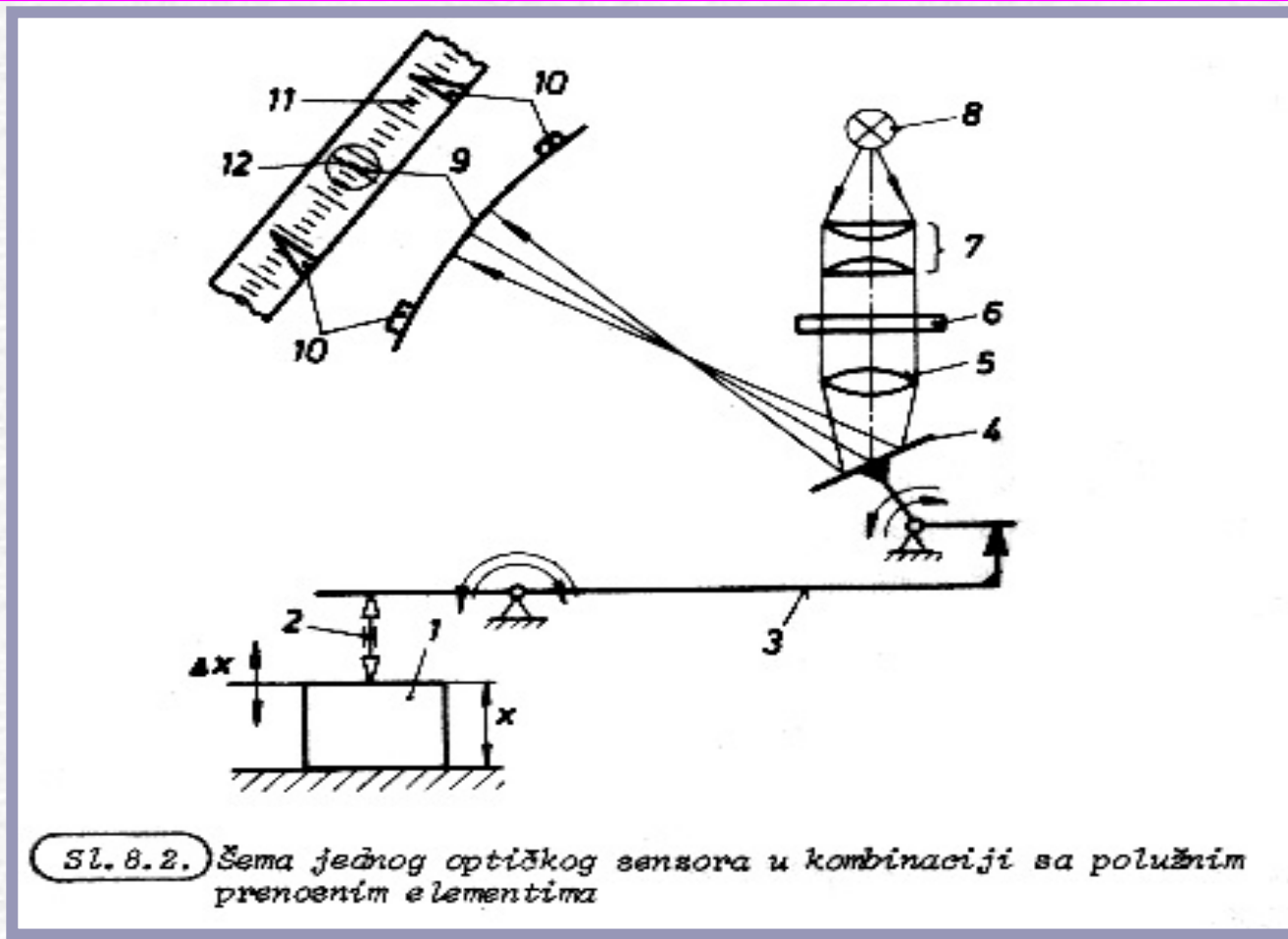
Sl. 8.1. Primeri mehaničkih senzora (a - sa sipčastim segmentom, b - sa uvijenom oprugom)

8.1 b – najosetljiviji mehanički senzor (prenosni odnos do 5000, vrednost podeljka skale 0.2 mikrometara)

Optički senzori

- **Veoma rasprostranjeni u mernoj tehnici**
- **Primena – posleprocesni merni pribori**
- **Konstrukcija – prenosni elementi mehaničkih senzora**
- **Princip dejstava – zakoni optike**
- **Veća tačnost od mehaničkih**

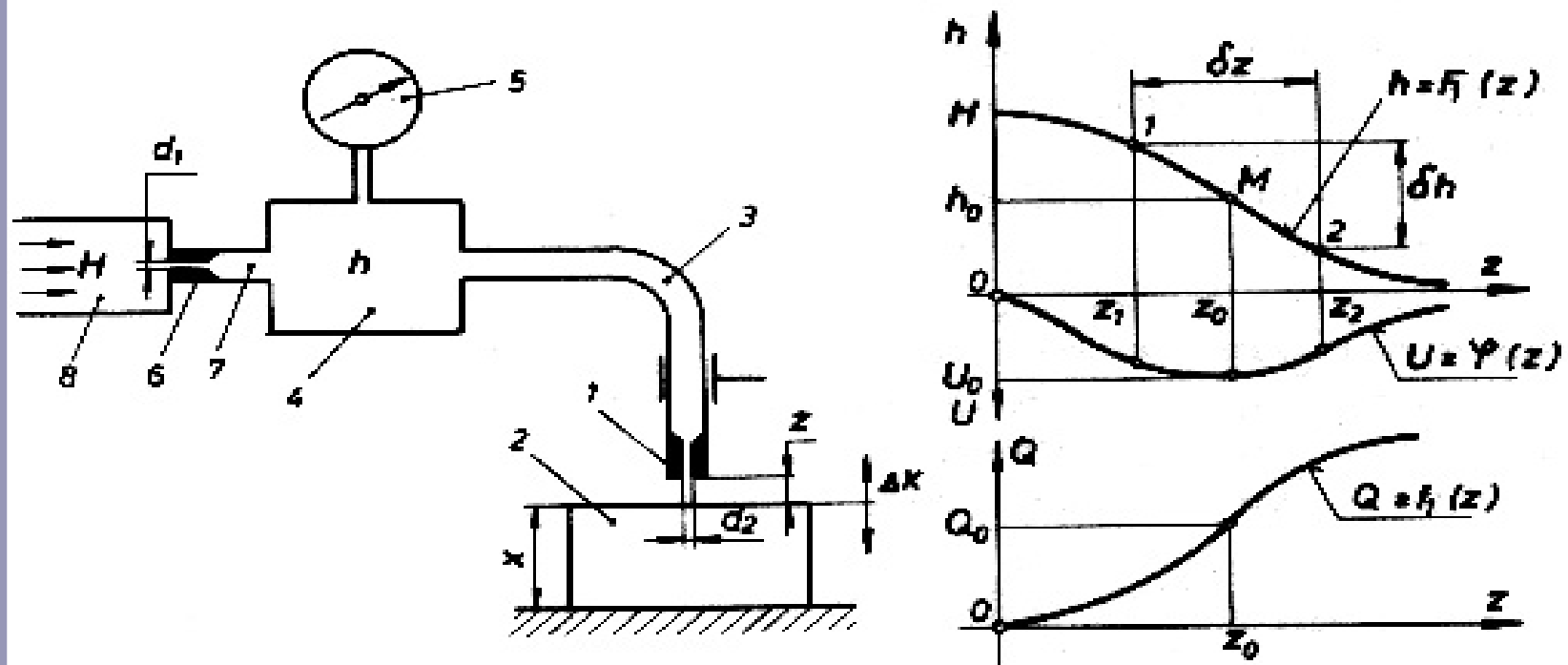
Slika 8.2 Šema optičkog senzora sa polužnim prenosnim elementima



Pneumatski senzori

- ☛ Vrlo raširena grupa pretvarača
- ☛ Dele se na: manometarske / rotametarske / bolometarske senzore
- ☛ Primer – manometarski tip / fizička zavisnost protoka (potrošnje) vazduha Q u zavisnosti od promene karaktersitike kvaliteta Δx

Slika 8.3 Pneumatski princip merenja sa odgovarajućim statičkim karakteristikama merne šeme pribora

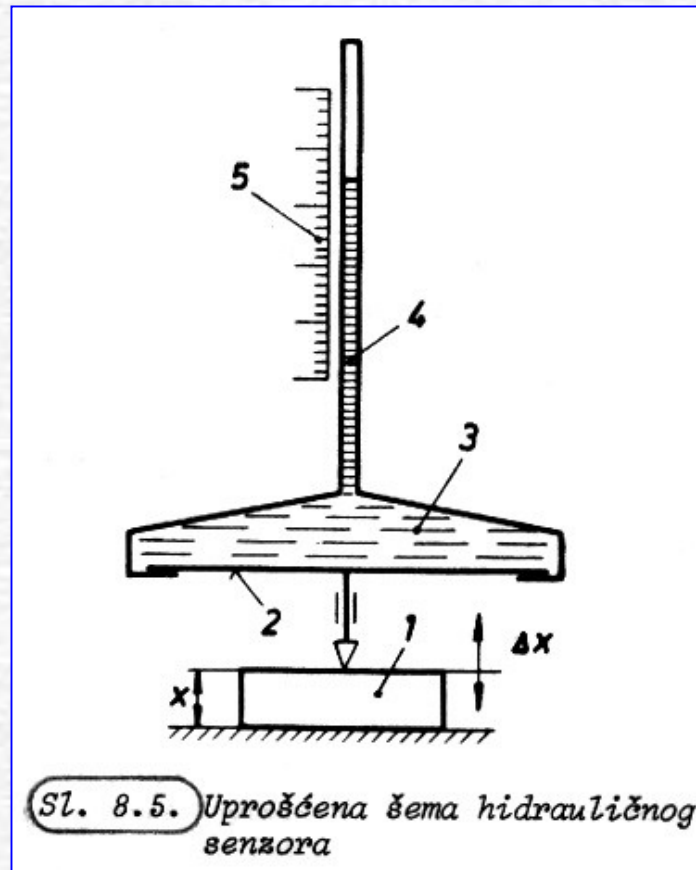


Sl. 8.3. Pneumatski princip merenja sa odgovarajućim statičkim karakteristikama merne šeme pribora

Hidraulični senzori

- **Jednostavna konstrukcija i princip merenja**
- **Veza promene karakteristike kvaliteta Δx i spuštanje / podizanje membrane**
- **Prenosni odnos: 500 - 2000**

Slika 8.5 Uprošćena šema hidrauličnog senzora



Elektromagnetni senzori

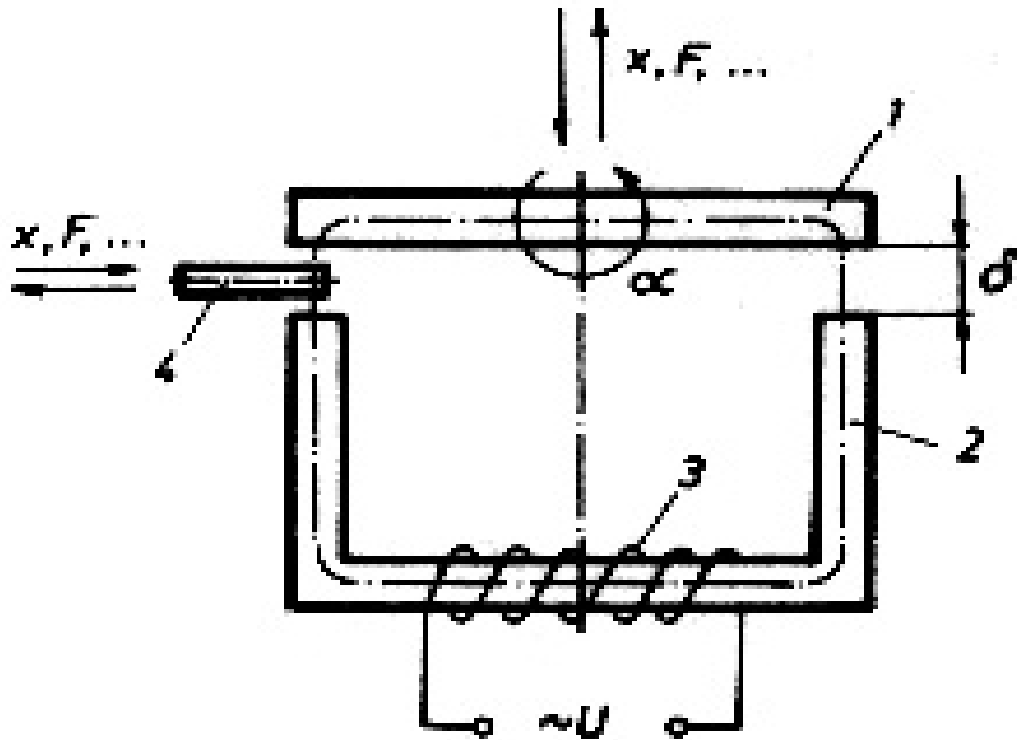
Primena i podela:

- Široko se koristi u proizvodnoj metrologiji: sila, momenat, napon, pritisak, oscilacije, debljina, hrapavost, pomeranje, pozicija, geometrijske karakteristike, ...
- Osnovne grupe: **induktivni, transformatorski, indukcijski**
- Prve dve grupe: prosti i diferencijalni

Prosti induktivni senzori

- Princip dejstva – promena neelektične veličine (karakteristike kvaliteta) u promenu *induktivne otpornosti RL* kalema
- Promena induktivne otpornosti zavisi od veličine vazdušnog jastuka - Δ
- Induktivni senzori su parametarski, a odlikuju se: velikom osetljivošću, jednostavnom konstrukcijom, mogućnošću dinstacionog merenja, korišćenje analognog / digitalnog pokazivača

Slika 8.6 Šema induktivnog senzora



1 – kotva

2 – jezgro

3 – kalem

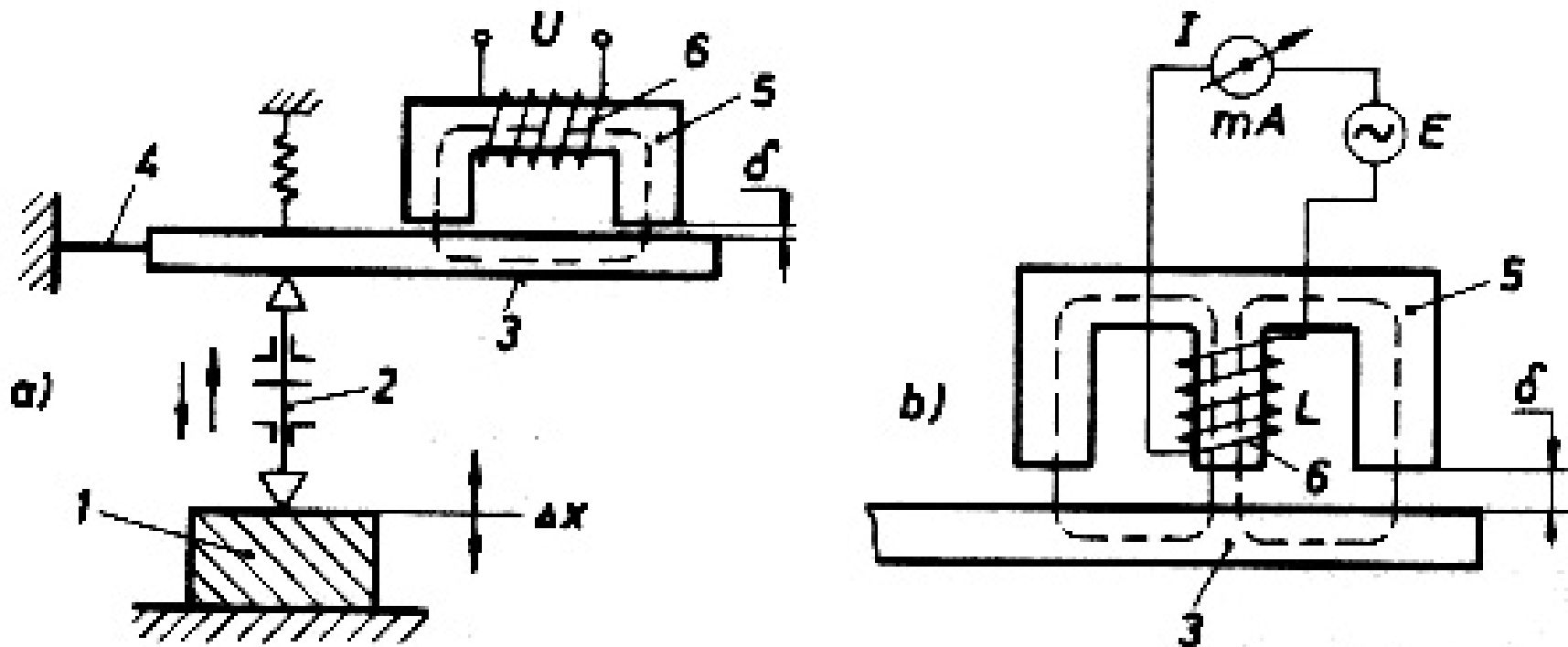
4 - disk

Sli. 8.6. Šema induktivnog senzora

Prosti induktivni senzor

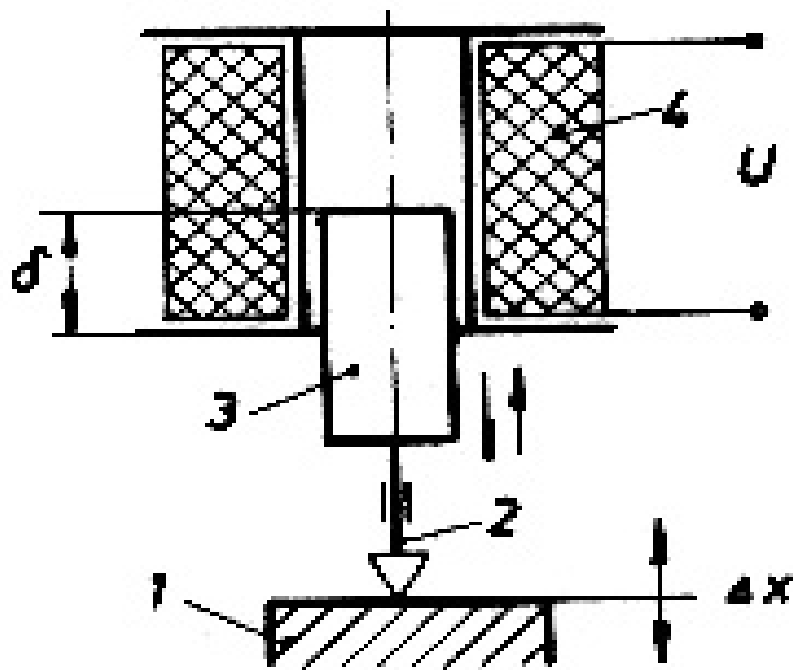
- ☞ Sa pokretnom kotvom (slika 8.7a)
- ☞ Promena karakteristike kvaliteta Δx – promena induktivnosti L kalema
- ☞ Funkcionalna zavisnost (zakon pretvaranja) ulaznih u izlazne veličine senzora
- ☞ Generisanje električnog signala (slika 8.7b) – senzor se veže u električno kolo u kome se nalazi izvor naizmenične struje
- ☞ Primena – za pretvaranje malih pomeraja
- ☞ Lanac promene: $X - \Delta x - L - I$

Slika 8.7 Šema prostog induktivnog senzora sa pokretnom kotvom



Slika 8.7. Šema prostog induktivnog senzora sa pokretnom kotvom

Slika 8.8 Prosti induktivni senzor sa pokretnim jezgrom



• Pretvaranje većih pomeraja i merenje promena dimenzija od nekoliko mm pa do jednog ili više dm

Sl. 8.8. Prosti induktivni senzor sa pokretnim jezgrom

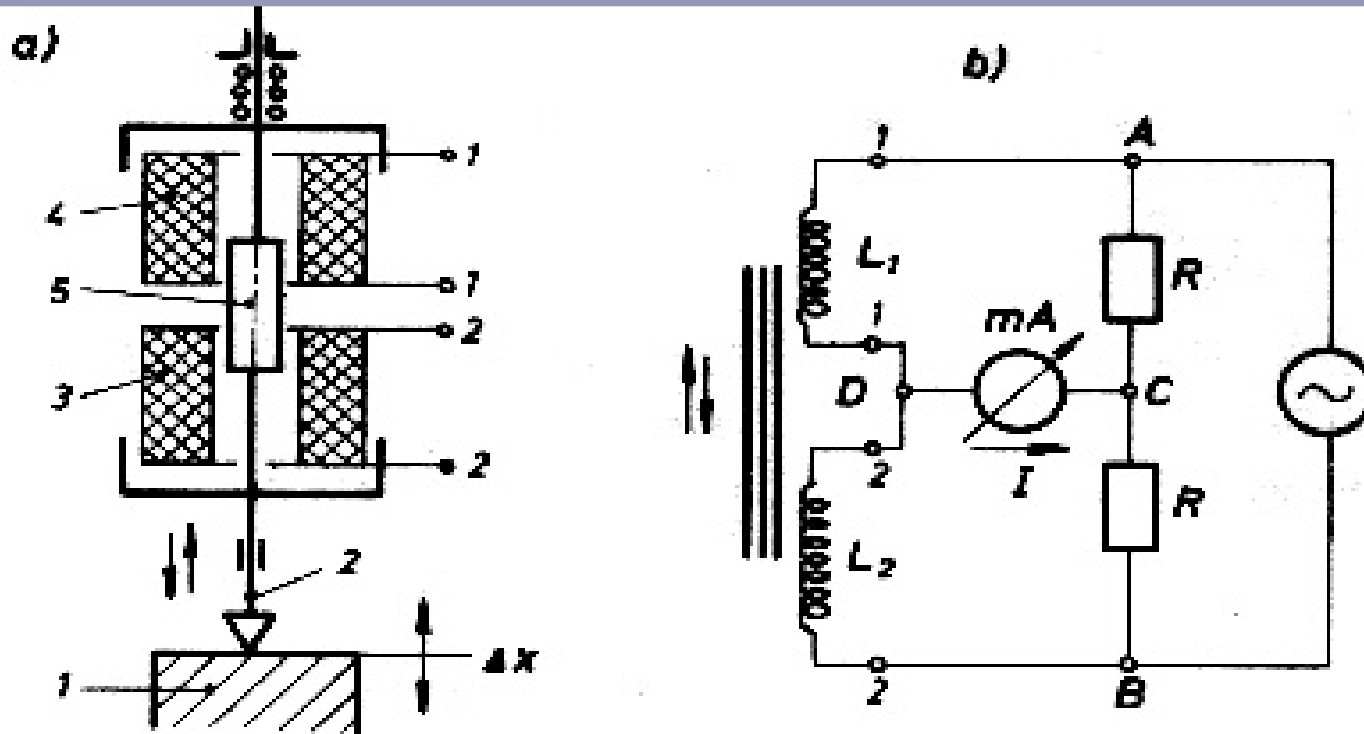
Diferencijalni induktivni senzor

- ☞ Karakteristike: veća osetljivost, veća otpornost na spoljašnje poremećajne uticaje (temperature, promena napona)
- ☞ Dosta se koriste u mernim priborima / sistemima
- ☞ Konstruišu se sa pokretnim jezgrom (sl. 8.9) ili sa pokretnom kotvom (sl. 8.10)

Diferencijalni induktivni senzori

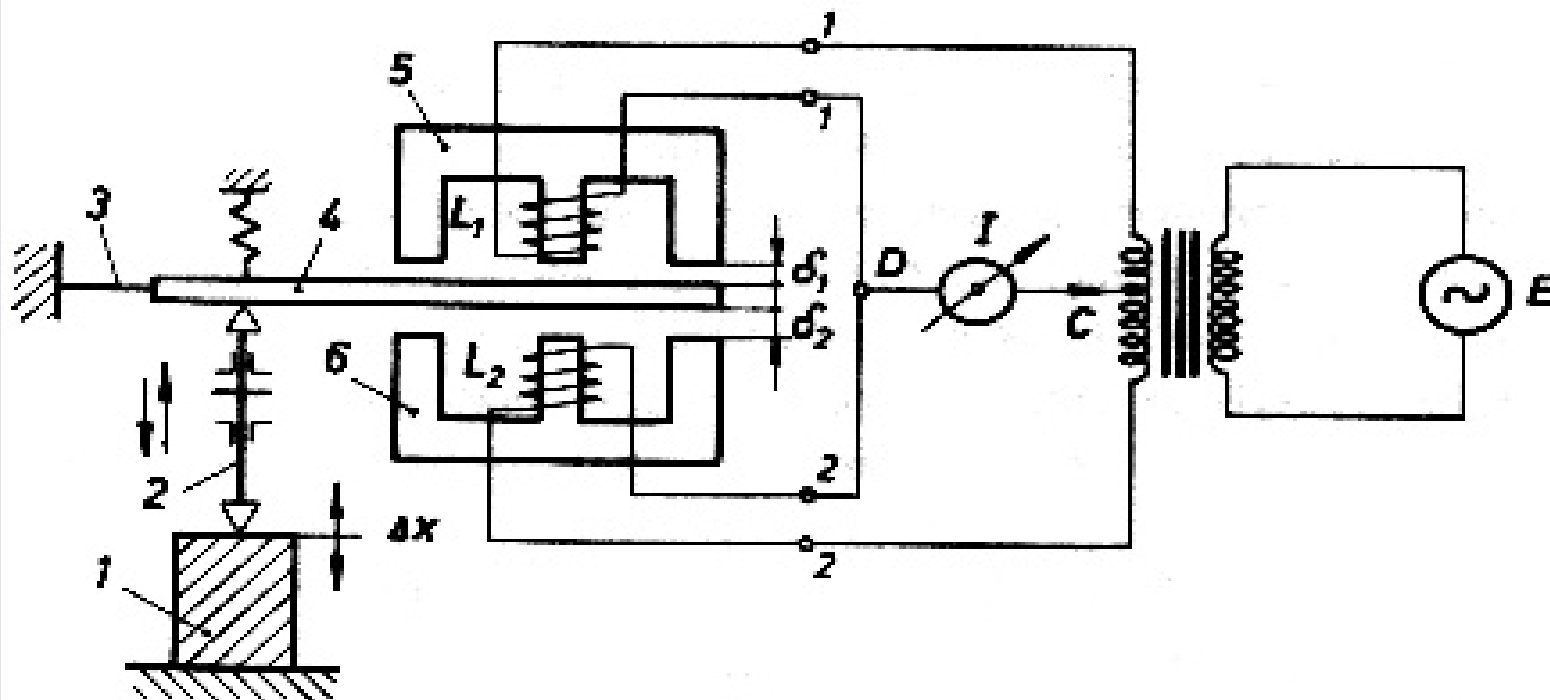
- Najvažniji delovi: feromagnetno jezgro – prati promenu karaktersitike kvaliteta, dva zasebno namotana kalema
- Srednji / nulti položaj je ravnoteža kola senzora
- Veći pomeraji (8.9), manji pomeraji – veća osetljivost (8.10)

Slika 8.9 Diferencijalni induktivni senzor sa pokretnim jezgrom a) i električnim kolom b)



Sl. 8.9. Diferencijalni induktivni senzor (induktivni mikrometar), sa pokretnim jezgrom (a) i električnim kolom-mostom (b)

Slika 8.10 Diferencijalni induktivni senzor sa pokretnom kotvom

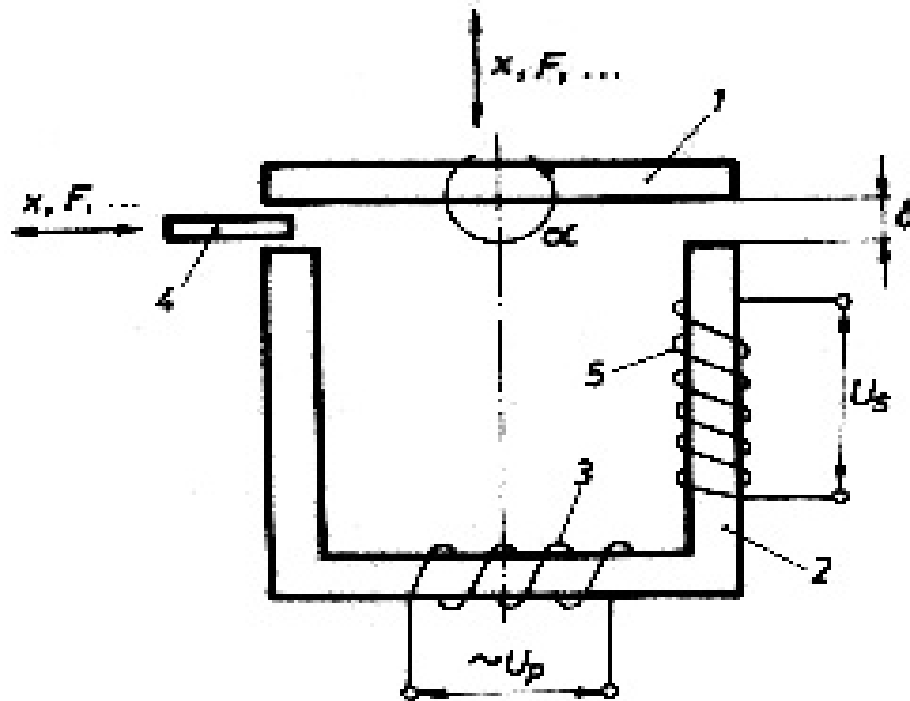


Sl. 8. 10. Diferencijalni induktivni senzor sa pokretnom kotvom

Prosti transformatorski senzori

- Princip dejstva: $x - \Delta x - M - I(U_s)$
- Dva kalema: primarni (U_p) i sekundarni (U_s)
- Primarni priključen na naizmenični napon
- Sekundarni kalem generiše EMS (u zavisnosti od promene karakteristike kvaliteta)
- Promenom karakteristike kvaliteta menja se i induktivnost sekundara odnosno veličina EMS

Slika 8.14 Šema prostog transformatorskog senzora

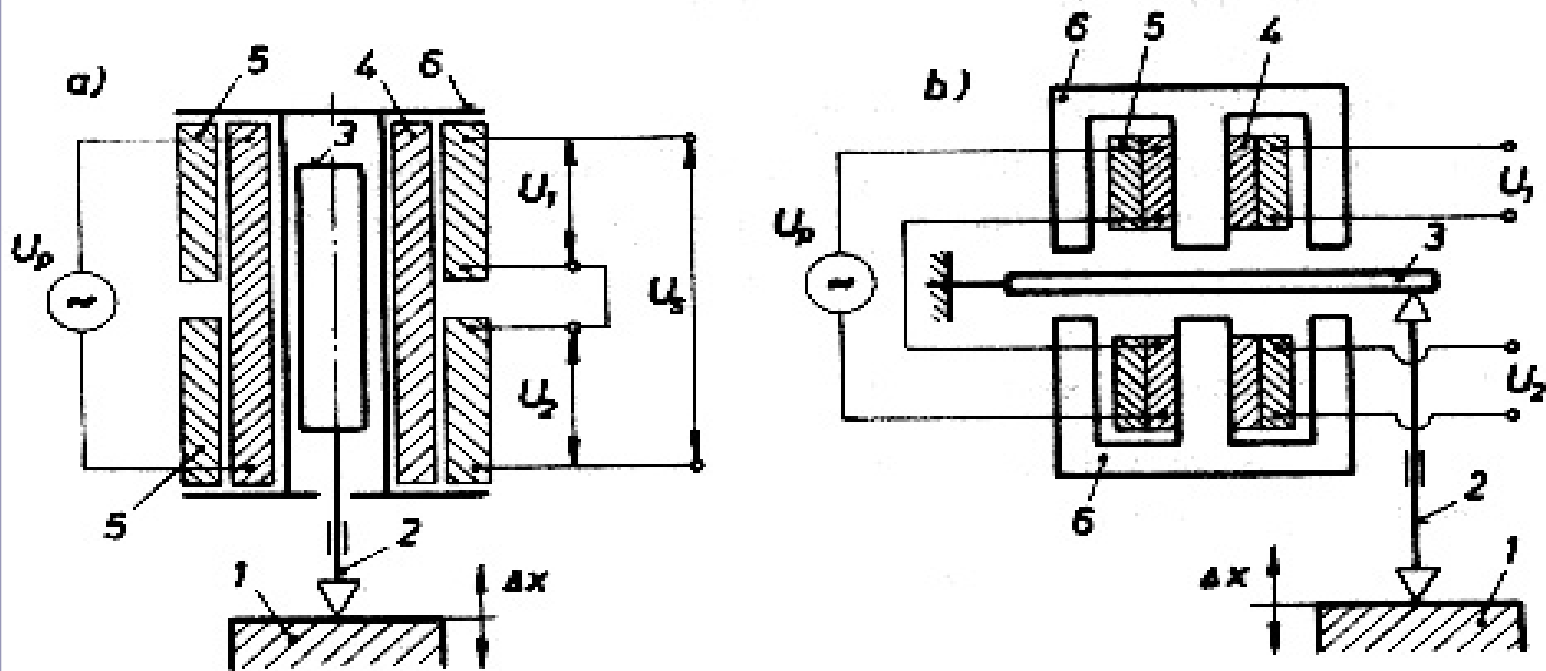


(Sl. 8.14.) Šema prostog transformatorskog senzora

Diferencijalni transformatorski senzori

- ☛ Šema dve konstrukcije prikazana je na slici 8.15 a) i b)
- ☛ Primarni i dva međusobno jednaka sekundarna namotaja
- ☛ Sekundarni namotaji su vezani serijski
- ☛ Primarni namotaj je vezan na naizmenični napon U_p stvara naizmenično magnetno polje koje indukuje u sekundarnim namotajima napone U_1 i U_2 .
- ☛ Razlika napona U_s zavisi od položaja feromagnetnog jezgra

Slika 8.15 Šema diferencijalnih transformatorskih senzora

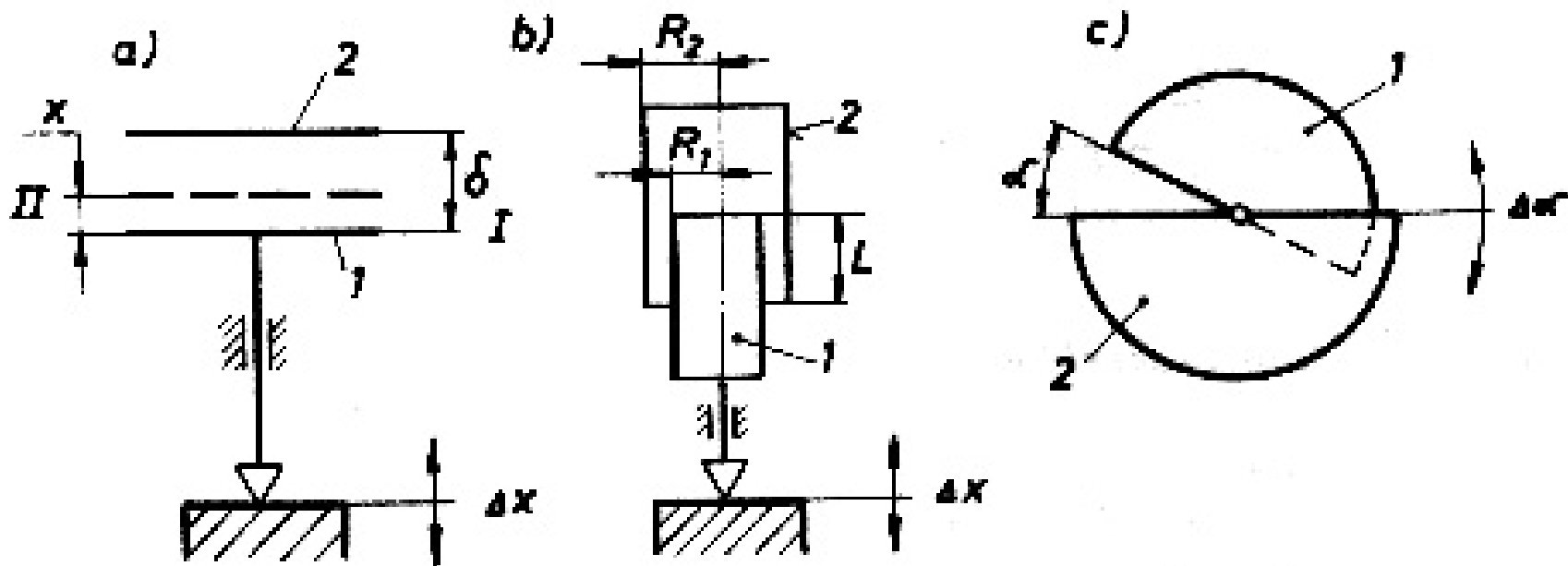


Sl. 8.15. Šeme diferencijalnih transformatorskih senzora sa pokretnim jezgrom (a) i pokretnom kotvom (b)

Kapacitivni senzori

- ☞ Kapacitivni senzor – pločasti / cilindrični kondenzator
- ☞ Ploča 1 nepokretna, ploča 2 pokretna
- ☞ Prate promene linijskih, uglovnih karakteristika kvaliteta
- ☞ Koriste se za merenje i temperatura, pritiska, naprezanja
- ☞ Zakon promene kapacitivnosti senzora ΔC u zavisnosti od promene karakteristike kvaliteta

Slika 8.20 Osnovni oblici kapacitivnih senzora

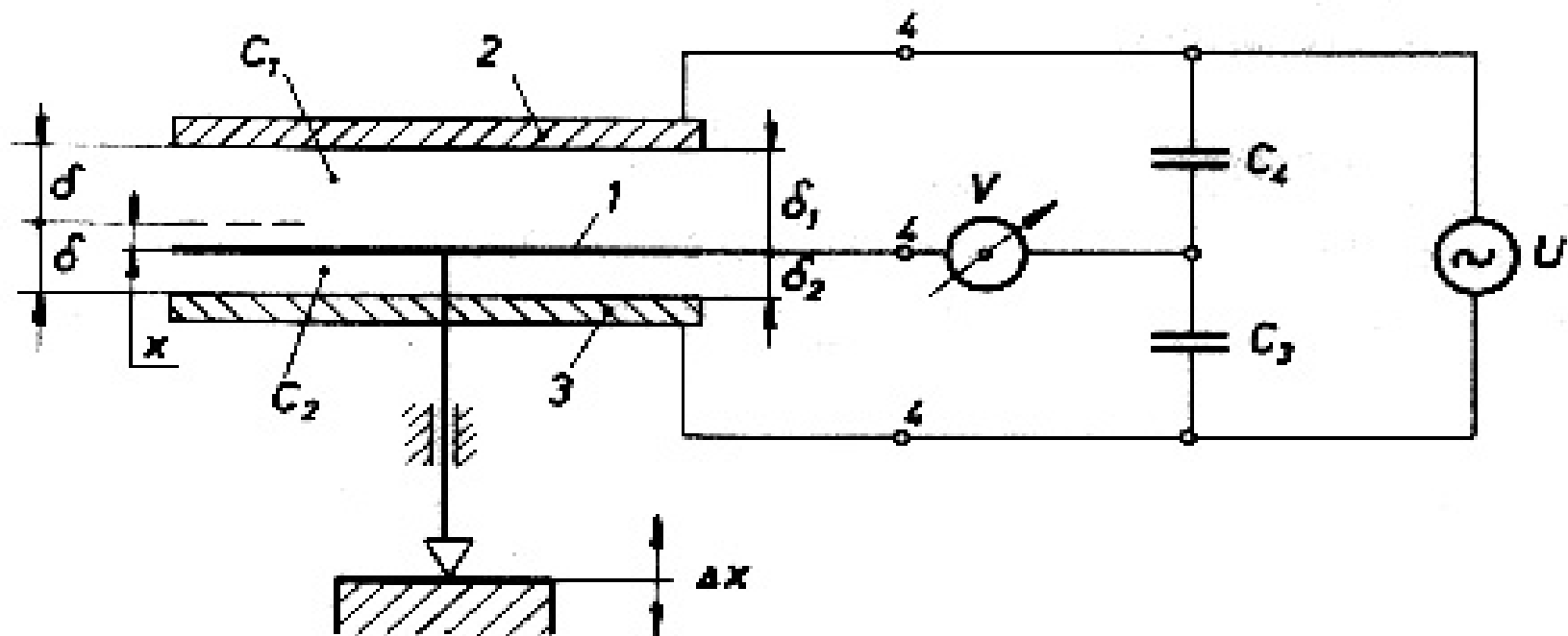


Sl. 8.20. Osnovni oblici kapacitivnih senzora

Diferencijalni kapacitivni senzor

- Kondenzaori C_1 i C_2 se povežu u most, tako da prvu/dругu granu čine C_1 i C_2 , a teću/četvrtu čine kondenzatori C_3 i C_4 .
- Menjanje položaja pokretne ploče narušava se ravnoteža mosta što se manifestuje na voltmetru

Slika 8.21 Šema električnog kola diferencijalnog kapacitivnog senzora

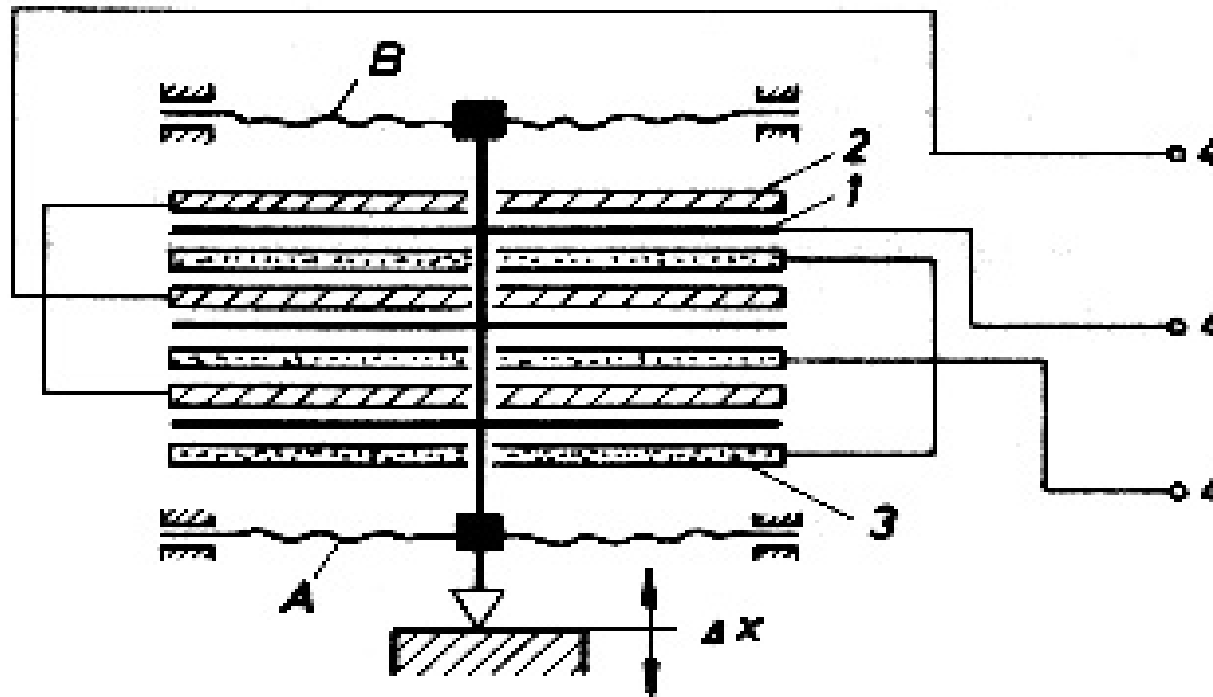


Sl. 8.21. Šema električnog kola (mosta) diferencijalnog kapacitivnog senzora sa dve nepokretne tačke

Diferencijalni kapacitivni senzor u obliku višepločastog kondenzatora

- Poboljšane merne performanse (osetljivost), slika 8.22
- Mogućnost merenja vrlo malih promena karakteristika kvaliteta, do 0.1 mikrometar
- Reagovanje na brze promene vrednosti merene veličine

Slika 8.22 Višepločasti kapacitivni senzor



Slika 8.22. Šema diferencijalnog kapacitivnog senzora u obliku višepločastog kondenzatora

Nedostaci kapacitivnih senzora

- ☞ **Osetljivost na uticaj promene temperature okoline, koje mogu izazvati greške merenja**
- ☞ **Relativno mala kapacitivnost senzora**
- ☞ **Potreban je generator visoke učestanosti kao izvor napajanja**

Hvala Vam na pažnji !

V a š

Prof. dr Vidosav D.

MAJSTOROVIĆ, dipl.maš.inž.,

P I T A N J A !