



Sveučilište u Zagrebu  
Fakultet elektrotehnike i računarstva  
Zavod za osnove elektrotehnike i električka mjerenja



---

## **10. TEMA**

# **MJERNI PRETVORNICI I MJERENJE ELEKTRIČNIH I NEELEKTRIČNIH VELIČINA**

---

**Predmet "Mjerenja u elektrotehnici"**  
**Prof.dr.sc. Damir Ilić, prof.dr.sc. Roman Malarić**  
**Zagreb, 2020.**

# Teme cjeline

---

- **Mjerni pretvornici električnih veličina u istosmjerne električne veličine normiranih vrijednosti (napon ili struju)**
- **Mjerni pretvornici opće namjene u izlaznu istosmjernu struju normiranih vrijednosti**
- **Načela rada mjernih osjetila za pretvaranje neelektričnih veličina u električne veličine za:**
  - mjerenje temperature
  - mjerenje pomaka
  - mjerenje naprezanja
  - mjerenje zakreta
  - mjerenje sile
  - mjerenje razine tekućina

# Mjerni pretvornici - općenito

---

- **Mjerenje i električnih i neelektričnih veličina moguće je svesti na mjerenje određenih električnih veličina, što je svakako proširenje područja primjene, i važnosti, mjerenja električnih veličina**
- **Terminologija:**
  - eng. converter ... pretvornik (električne veličine u električnu veličinu, ostvaren kao uređaj, mjerni sklop ili sustav)
  - eng. transducer ... pretvornik (neelektrične veličine u električnu veličinu, ostvaren kao uređaj, mjerni sklop ili sustav)
  - eng. sensor ... osjetilo (element ili naprava koja reagira na neku veličinu)
- **U komercijalnoj uporabi često se ovi pojmovi zamjenjuju ...**

# Mjerni pretvornici el. vel. u el. vel.

---

- ❑ Pri praćenju tehničkih procesa i njihovu upravljanju potrebno je provesti mjerenja na većem broju mjesta, ponekad i udaljenih, te mjerenja više različitih električnih veličina, koje uz to mogu biti i različitih vrijednosti
- ❑ To se odnosi na izmjeničnu snagu, izmjenični napon, izmjeničnu struju, faktor snage ( $\cos\varphi$ ), frekvenciju, i drugih veličina, posebno vezanih uz **mjerenje snage i/ili energije**
- ❑ Prikladno je da se takva mjerenja mogu provesti jednim mjernim sustavom (načelno mjernim instrumentom) ako bi se različite mjerene veličine pretvorile u jednu veličinu, pritom i istog dinamičkog opsega
- ❑ Tako dolazimo do pretvornika različitih električnih veličina kod kojih je izlazna veličina istosmjerna struja ili istosmjerni napon normiranih vrijednosti

# Mjerni pretvornici el. vel. u el. vel.

- Općenito, pretvornik je sklop (uređaj) koji pretvara ulaznu veličinu  $X$  u izlaznu veličinu  $Y$



- Osnovna relacija:  $X = kY$
- Konstanta (stalnica)  $k$  ovisi o tomu koja je veličina ulazna, a koja je veličina izlazna
  - npr. ako je ulazna veličina izmjenični napon u opsegu od 0 V do 100 V, a izlazna veličina je istosmjerna struja od 0 do 20 mA, tada je konstanta  $k = (100 \text{ V})/(20 \text{ mA})$ ; ako smo pritom na izlazu izmjerili  $Y = 14 \text{ mA}$ , slijedi da je pritom ulazni napon bio  $X = [(100 \text{ V})/(20 \text{ mA})] \times (14 \text{ mA}) = 70 \text{ V}$
  - očito je da je točnost pretvornika zapravo sadržana u točnosti konstante pretvornika  $k$  koja povezuje izlaznu i ulaznu veličinu te da utječe na ukupnu mjernu nesigurnost mjerenja

# Mjerni pretvornici el. vel. u el. vel.

---

## □ Normirane ulazne veličine:

- napon: 100 V,  $100/\sqrt{3}$  V, 220 V, 380 V, 500 V
- struja: 1 A, 5 A

## □ Razredi točnosti: 0,1; 0,2; 0,5; 1; 1,5; 2,5

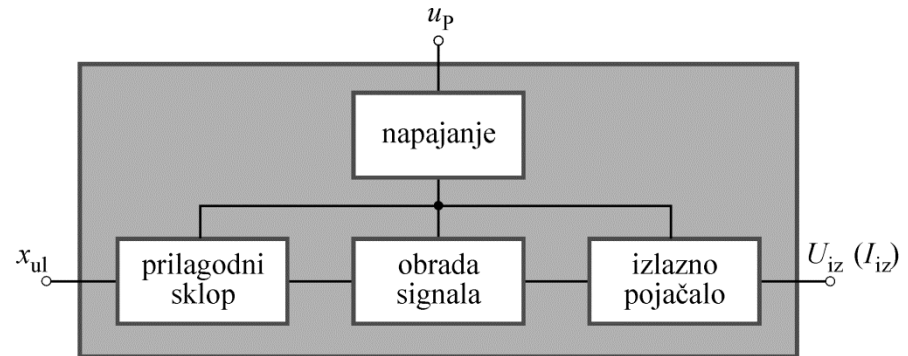
## □ Izlazne veličine:

- istosmjerna struja: 0 mA do 5 mA; 0 mA do 10 mA; 0 mA do 20 mA;  
4 mA do 20 mA
  - problem: utjecaj otpora izolacije
- istosmjerni napon: 0 do 1 V; 0 do 10 V; -5 V do + 5 V
  - problem: utjecaj otpora spojnih vodiča

## □ Namjena: različite izmjenične i istosmjerne veličine mjere se istom vrstom instrumenata na istom mjernom opsegu

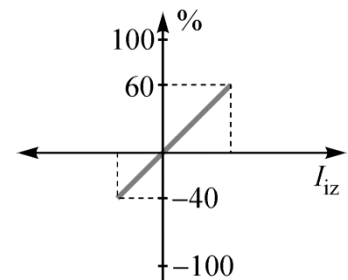
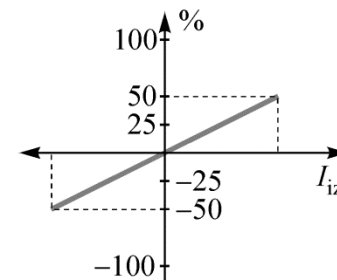
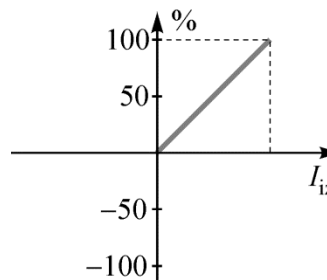
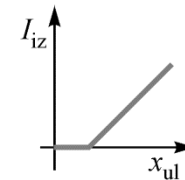
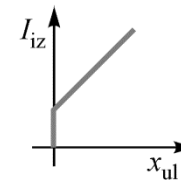
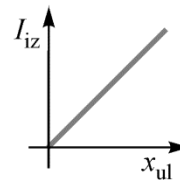
# Mjerni pretvornici el. vel. u el. vel.

## □ Načelna shema



## □ Karakteristike

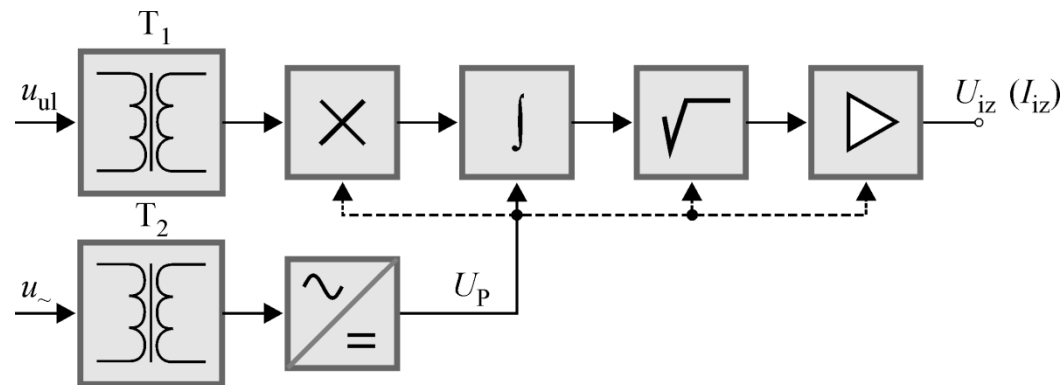
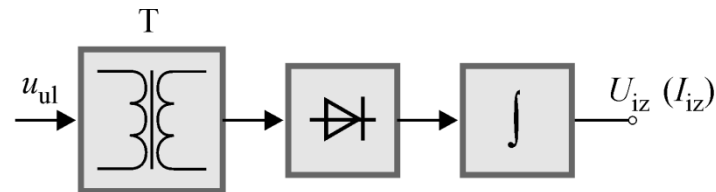
- temeljna
- sa “živom nulom”
- s “potisnutim” početkom



# Mjerni pretvornici el. vel. u el. vel.

Mjerni pretvornici izmjeničnog napona ili struje:

- a) odziv na srednju vrijednost
- b) odziv na efektivnu vrijednost





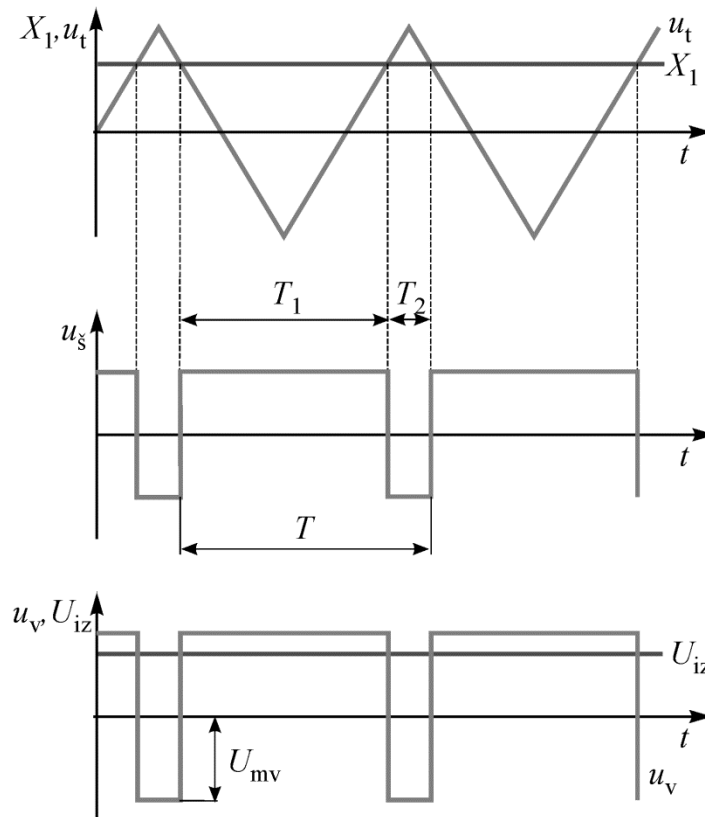
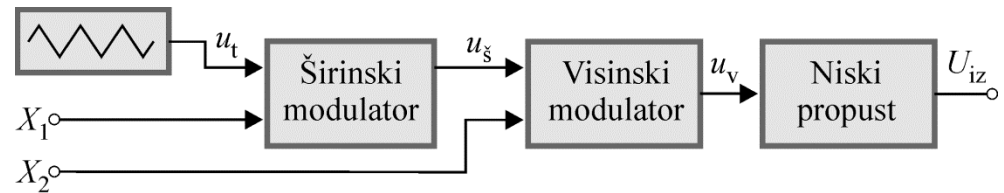
# Mjerni pretvornici el. vel. u el. vel.

Mjerni pretvornici izmjenične snage s impulsnim multiplikatorom (TDM – time division multiplier):

$$U_{iz} = \frac{1}{T} (U_{mv} T_1 - U_{mv} T_2)$$

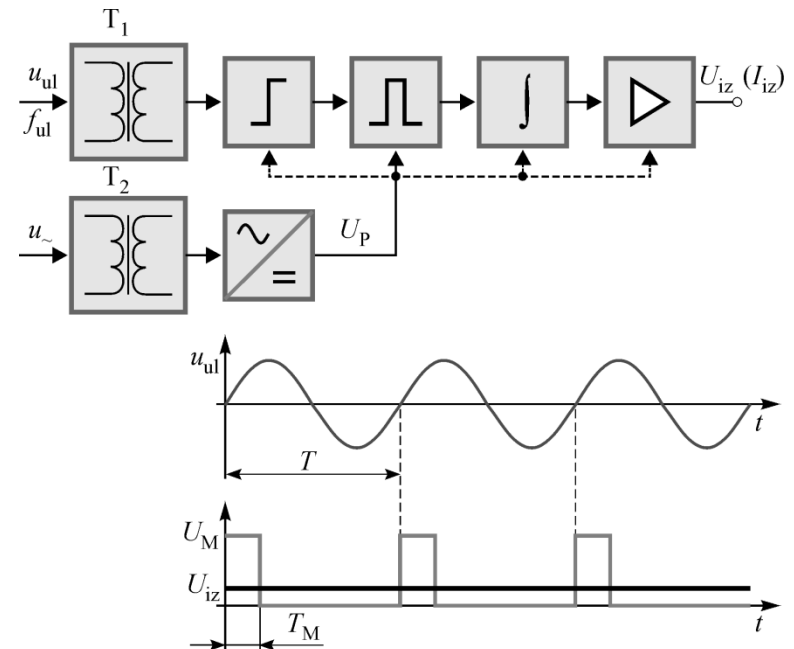
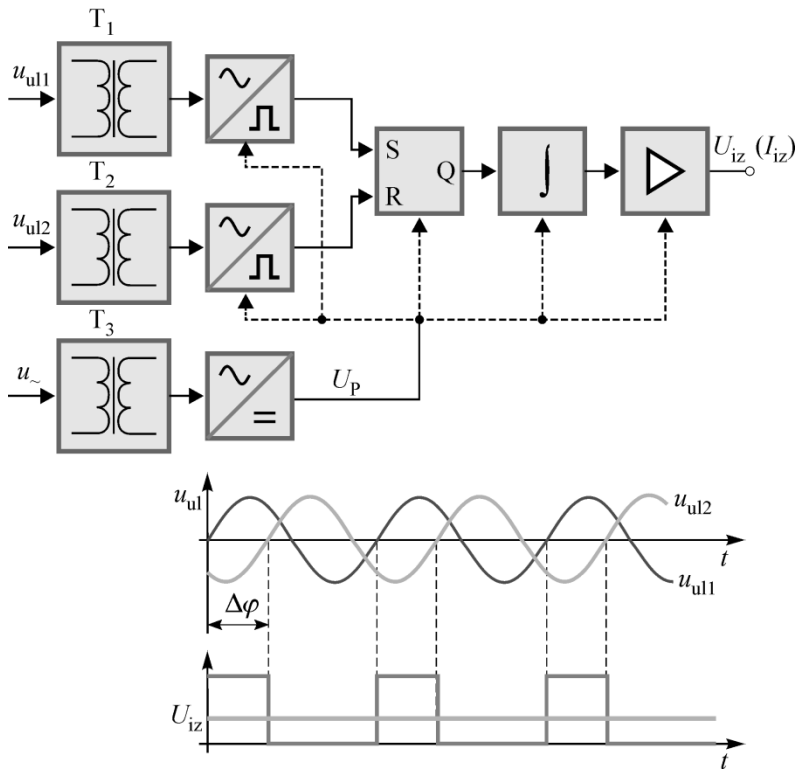
$$U_{iz} = U_{mv} \frac{T_1 - T_2}{T_1 + T_2}$$

$$U_{iz} = kX_1 X_2$$



# Mjerni pretvornici el. vel. u el. vel.

## Mjerni pretvornici faznog pomaka i frekvencije:



# Mjerni pretvornici el. vel. u el. vel.

## Mjerenje snage

Strujni izlaz mjernog pretvornika mjerimo digitalnim ampermetrom na mjernom opsegu 100 mA, na kojem proizvođač deklarira točnost instrumenta  $\pm(4 \cdot 10^{-4} \text{ of reading} + 4 \cdot 10^{-4} \text{ of range})$ . Ako smo pritom mjerili djelatnu snagu pri 50 Hz, a poznata nam je konstanta  $k = (0,5 \text{ W})/(100 \mu\text{A})$  s relativnom mjernom nesigurnošću od 0,5 %, kolika je mjerna nesigurnost tako izmjerene snage ako je ampermetar pokazao 14 mA?

**Rješenje:  $u_c(P) = 0,37 \text{ W}$**

$$P = k \cdot I$$

$$u_c(P) = \sqrt{I^2 u^2(k) + k^2 u^2(I)}$$

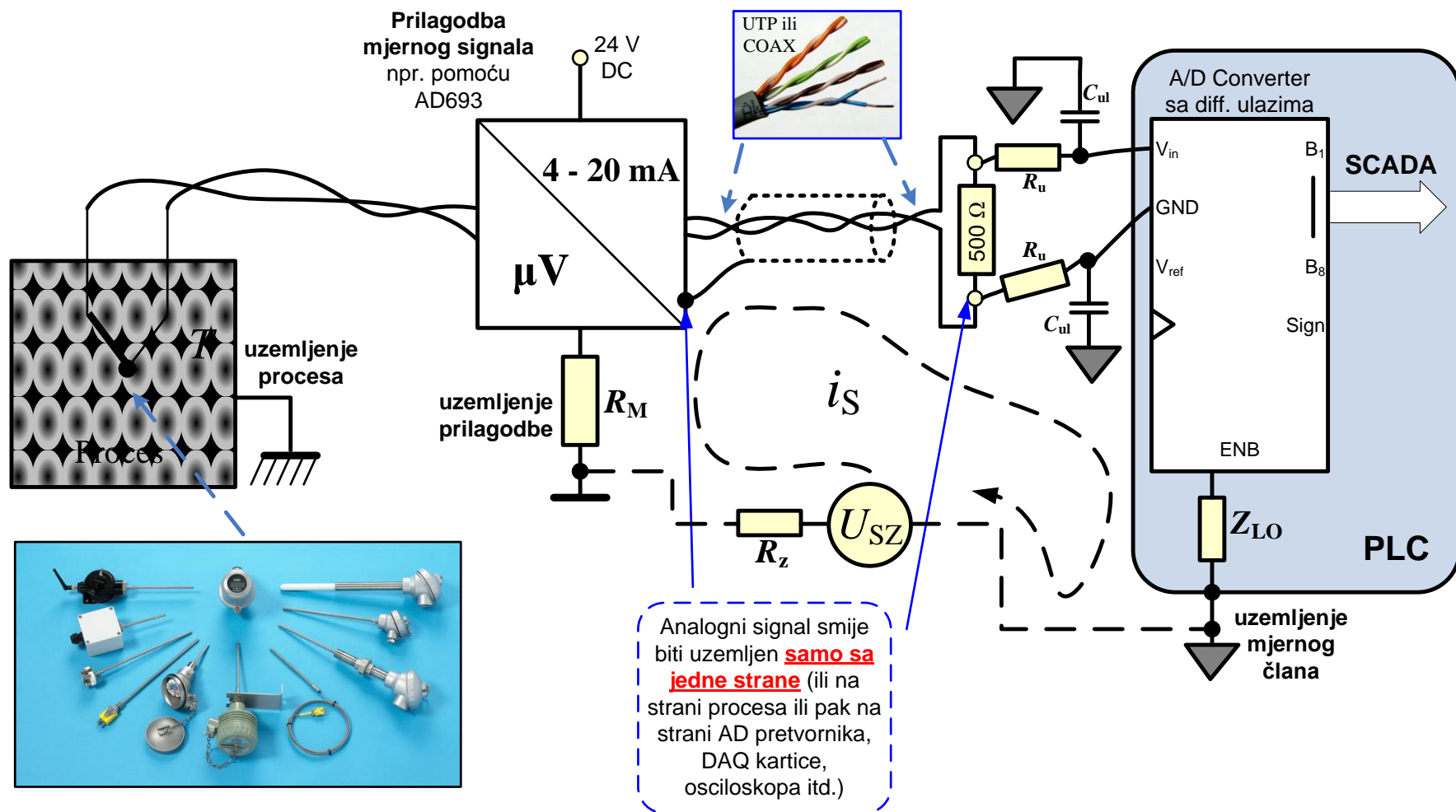
$u(k)$	25,00	W/A
$a(I)$	4,56E-05	A
$u(I)$	2,63E-05	A
<b><math>u_c(P)</math></b>	<b>0,37</b>	<b>W</b>

# Mjerni pretvornici el. vel. u el. vel. opće namjene

---

- ❑ Ovdje razmatramo samo primjenu mjernih pretvornika opće namjene sa strujnim izlazom do 20 mA
- ❑ Pritom se kao ulazna veličina najčešće pojavljuje napon, bilo da se radi o malim naponima na dijagonali neuravnoteženog mosta, ili pak naponima do desetak volta
- ❑ To znači da su namijenjeni za primjenu u mjerenjima i neelektričnih veličina, odnosno svih veličina koje se mogu svesti na mjerenje napona
- ❑ Nadalje, svaka takva izlazna analogna struja može se pretvoriti u digitalni zapis primjenom  $I$ - $U$  pretvorbe (npr. preko pada napona na poznatom otporu) te digitalizirati A/D pretvornikom

# Mjerni pretvornici el. vel. u el. vel. opće namjene



# Mjerni pretvornici el. vel. u el. vel. opće namjene

- ❑ Prikazan je primjer pretvornika opće namjene AD693\* s tri različita strujna izlaza (normiranih vrijednosti) koji služi za prilagodbu signala



Loop-Powered 4–20 mA  
Sensor Transmitter

**AD693**

## FEATURES

Instrumentation Amplifier Front End

Loop-Powered Operation

Precalibrated 30 mV or 60 mV Input Spans

Independently Adjustable Output Span and Zero

Precalibrated Output Spans: 4–20 mA Unipolar

0–20 mA Unipolar

12 ± 8 mA Bipolar

Precalibrated 100 Ω RTD Interface

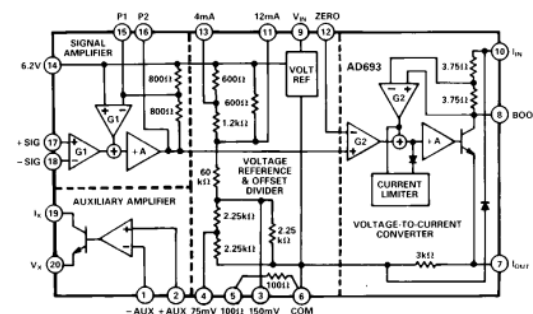
6.2 V Reference with Up to 3.5 mA of Current Available

Uncommitted Auxiliary Amp for Extra Flexibility

Optional External Pass Transistor to Reduce

Self-Heating Errors

## FUNCTIONAL BLOCK DIAGRAM



# Mjerni pretvornici el. vel. u el. vel. opće namjene

Tip	Ulazni signal	Izlazna struja	Značajke	Proizvođač
<b>AD693</b>	0 mV do 60 mV, mjerjenje napona na dijagonali neuravnoteženog mosta	4 mA do 20 mA 0 mA do 20 mA 12 mA ± 8 mA	Pt100, termoparovi	Analog Devices
<b>AD694</b>	od 0 V do 2 V od 0 V do 10 V	4 mA do 20 mA 0 mA do 20 mA	Pretvorba napona u struju za široke primjene	Analog Devices
<b>XTR112</b>	0 mV do 50 mV	4 mA do 20 mA	$I_{out} = (U_{in} * 40) / R_G + 4 \text{ mA}$	Texas Instruments
<b>XTR114</b>	$U_{in}$ napon na dijagonali neuravnoteženog mosta	4 mA do 20 mA	Velika točnost	Texas Instruments
<b>MAX1459</b>	od 1 mV do 40 mV	4 mA do 20 mA	Digitalno podešavanje pojačanja G, visok CMRR	Maxim

**\* Napomena: navođenje proizvođača ovdje je isključivo radi informativnosti i točnosti, i ne predstavlja preporuku autora niti potvrđuje da je navedeno najbolje rješenje**

# Mjerenje neelektričnih veličina

---

## □ Općenito razmatranje

- neelektrične veličine (vrlo često su to mehaničke veličine) pretvaraju se u električne veličine na temelju fizikalnih zakonitosti, i za to su potrebno određena osjetila
- njihovo mjerenje od iznimne je važnosti jer se primjenjuje u svim područjima ljudske djelatnosti (istraživanje, razvoj, industrijska proizvodnja, trgovina, zdravlje, okoliš, i dr.), a isto tako je važna i ostvariva točnost mjerenja

## □ Navedimo neelektrične veličine koje ćemo ovdje razmatrati

- temperatura
- pomak
- naprezanje
- zakret
- sila
- razina tekućina



# Mjerenje neelektričnih veličina - osjetila

---

- ❑ Osjetila se mogu podijeliti na različite načine, ali najveće razlike među njima ovise o mjerenoj veličini i načinu na koji je detektiraju
- ❑ Druge detaljnije podjele su prema radnom području uporabe, statičkim i dinamičkim karakteristikama, specifikacijama (uključujući točnost), izlaznoj veličini, materijalima izvedbe, itd.
- ❑ Izbor osjetila ovisi o očekivanom opsegu promjene mjerene veličine, očekivanoj točnosti mjerenja, dozvoljenom vlastitom potrošku (kod pasivnih osjetila), dimenzijama, utjecaju (interakciji) mjerene veličine s ostalim fizikalnim veličinama
- ❑ Ovdje nije namjera prikazati sve moguće izvedbe osjetila za sve neelektrične veličine, nego samo objasniti načela za odabrane primjere
- ❑ Uz osjetilo potrebno je ostvariti određenu prilagodbu signala, čemu služe dodatni mjerni elementi ili sklopovi

# Mjerenje neelektričnih veličina - osjetila

---

## □ Prema detektiranju mjerenih veličina dijele se na:

- akustička
- biološka i kemijska
- električka i magnetska
- mehanička
- optička
- radijacijska
- toplinska
- i na ostale specijalne tipove

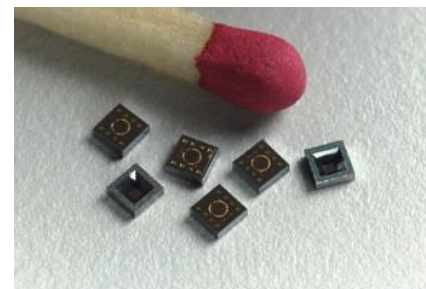
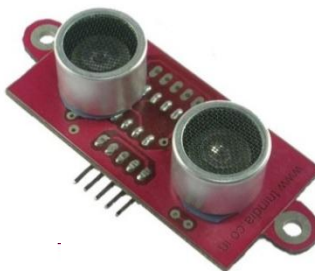
## □ Prema načinu rada dijele se na:

- pasivna: potreban je pomoćni izvor napajanja, a koriste se za posredne ili neposredne promjene otpora, kapaciteta, induktiviteta ili međuinduktiviteta
- aktivna: u načelu nije potreban pomoćni izvor napajanja, a dolazi do pretvorbe (toplinske, svjetlosne, mehaničke ili kemijske) energije u električnu energiju

# Mjerenje neelektričnih veličina - osjetila

## ■ Akustička osjetila

- rade na principu odašiljana ultrazvučnih signala, te detektiraju promjene u vremensko frekvencijskom spektru (amplituda, faza, frekvencija, kašnjenje, modulacija...) ili samo detektiranja signala iz prostora, a detektiraju se pomoću seizmometara ili mikrofona
- koriste se za mjerenje udaljenosti, pokreta, protoka, vibracija, i dr.



# Mjerenje neelektričnih veličina - osjetila

## ■ Biološka i kemijska osjetila

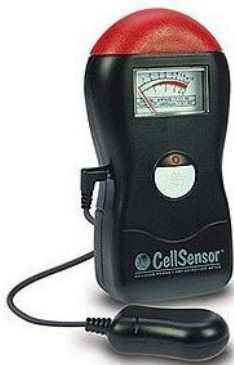
- detektiraju tvari i sastave tvari, strukture i molekule materijala, mjere iznose određene tvari u drugoj, prate biološke i kemijske procese
- koriste se za detekciju plinova, požara, dima, mirisa, zagađenja zraka, analiza krvi, plazme, i dr.



# Mjerenje neelektričnih veličina - osjetila

## □ Električka i magnetska osjetila

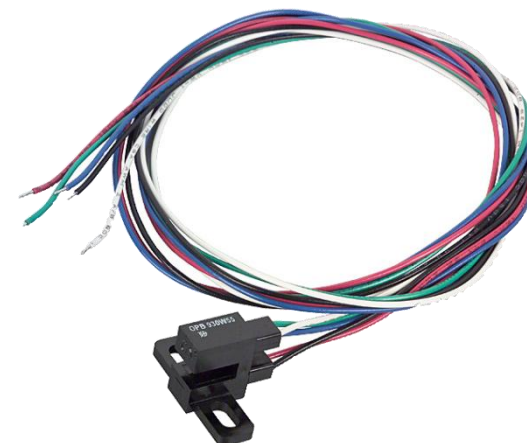
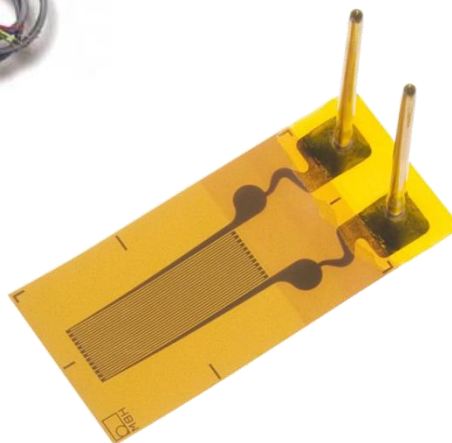
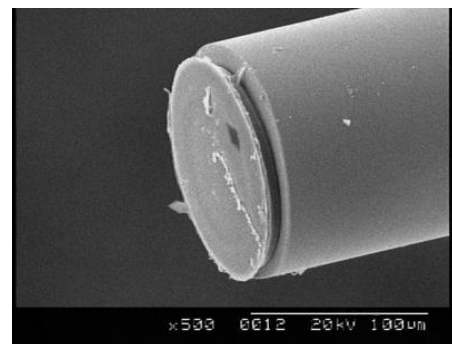
- detektiraju promjene, razlike i protoke naboja i magnetskih silnica kroz materijale, mjere jakost električnog i magnetskog polja u prostoru
- koriste se za mjerenje napona, struje, naboja, snage, amplitude i faze električnog i magnetskog polja, otpora i vodljivosti, magnetsku indukciju, brzine, i dr.



# Mjerenje neelektričnih veličina - osjetila

## ■ Mehanička osjetila

- detektiraju promjene mehaničkih svojstava materijala zbog izloženosti djelovanju mjerenih fizikalnih veličina promatranog prostora
- koriste se za detektiranje naprezanja, čvrstoće, gustoće, sile, tlaka, protoka, deformacija, mase, pozicije, pomaka, brzine, ubrzanja, vibracija, i dr.



# Mjerenje neelektričnih veličina - osjetila

## □ Optička osjetila

- rade na principu odašiljana i detektiranja svjetlosnih signala ili samo detektiraju promjene u signalu iz prostora (detektiranje, amplituda, faza, brzina, indeks loma, odbijanje, raspršivanje, i dr.)
- koriste se za mjerenje temperature, pomaka, tlaka, naprezanja, određivanje mase, udaljenosti, brzine, akceleracije



# Mjerenje neelektričnih veličina - osjetila

## ▣ Radijacijska osjetila

- detektiraju čestice u prostoru, detektiraju zračenja opasna po ljudski život, služe za specijalne namjene u istraživačkoj fizici
- koriste se za detekciju  $\alpha$ ,  $\beta$  i  $\gamma$  čestica i neutrona, tj. za detekciju radioaktivnog zračenja, ionizacijskog zračenja





# Mjerenje neelektričnih veličina - osjetila

## ■ Toplinska osjetila

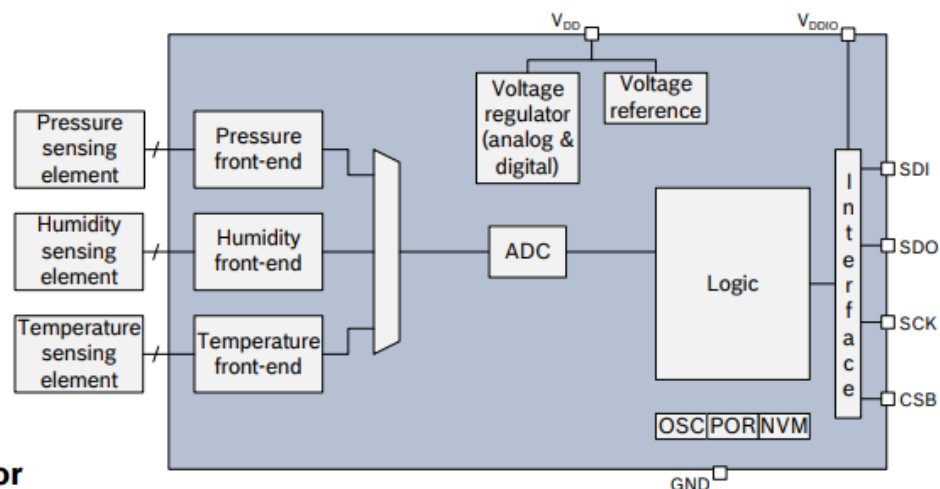
- detektiraju toplinu u prostoru, kontaktno (kondukcija i konvekcija) ili beskontaktno (zračenjem), koja utječe na fizička i mehanička svojstva materijala
- koriste se za mjerenje temperature, akceleracije



# Mjerenje neelektričnih veličina - osjetila

## □ Primjer integriranog osjetila – BME280

- osjetila su često integrirana zajedno sa sustavima za prilagodbu signala u jedan proizvod tako da imamo izlaze u obliku napona ili struje koji odgovaraju iznosima iz mjernog opsega osjetila, ili pak već kao digitalni signal



### BME280

#### Digital humidity, pressure and temperature sensor

##### Key features

- Package: 2.5 mm x 2.5 mm x 0.93 mm metal lid LGA
- Digital interface: I<sup>2</sup>C (up to 3.4 MHz) and SPI (3 and 4 wire, up to 10 MHz)
- Supply voltage: V<sub>DD</sub> main supply voltage range: 1.71 V to 3.6 V  
V<sub>DDIO</sub> interface voltage range: 1.2 V to 3.6 V
- Current consumption: 1.8  $\mu$ A @ 1 Hz humidity and temperature  
2.8  $\mu$ A @ 1 Hz pressure and temperature  
3.6  $\mu$ A @ 1 Hz humidity, pressure and temperature  
0.1  $\mu$ A in sleep mode
- Operating range: -40...+85 °C, 0...100 % rel. humidity, 300...1100 hPa
- Humidity sensor and pressure sensor can be independently enabled / disabled
- Register and performance compatible to Bosch Sensortec BMP280 digital pressure sensor
- RoHS compliant, halogen-free, MSL1

# Mjerenje neelektričnih veličina - mjerenje temperature

## □ Temperatura utječe na:

- električki otpor vodiča ili poluvodiča, generiranje elektromotorne sile (termonapona) na spojištu dviju različitih kovina, dimenzijska svojstva materijala, itd.

## □ Ovdje ćemo posebno obraditi **mjerenje temperature otporničkim osjetilima**

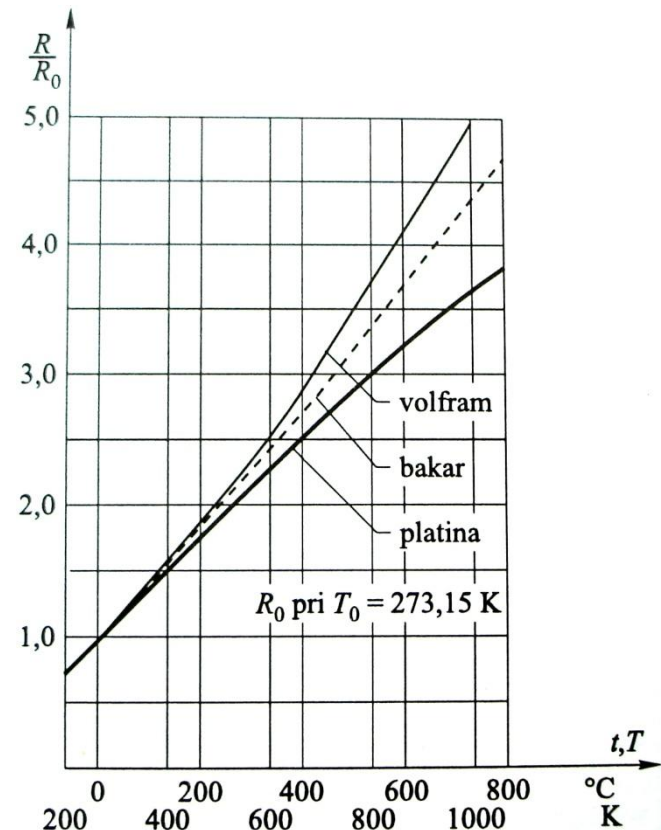
## □ Kovinska osjetila temperature

- promjena temperature  $T$  za  $\Delta T = T - T_0$  prouzročuje promjenu otpora:

$$R = R_0[1 + \alpha\Delta T + \beta(\Delta T)^2 + \gamma(\Delta T)^3 + \dots]$$

- $R_0$  je otpor osjetila pri referentnoj temperaturi  $T_0$ , dok su  $\alpha$ ,  $\beta$  i  $\gamma$  stalnice za pojedini materijal
- za većinu čistih kovina (metala), ili pak za uže temperaturno područje, obično vrijedi linearna promjena otpora:

$$R = R_0(1 + \alpha\Delta T)$$



# Mjerenje neelektričnih veličina - mjerenje temperature

- takva kovinska osjetila izrađuju se ili namatanjem žice, ili napanjanjem tankog kovinskog sloja, na izolator
- rabe se metali koji imaju veliki temperaturni koeficijent otpora, npr.  $(0,35 \div 0,7) \text{ \%}/\text{K}$ , a mogu se dobiti s velikom čistoćom, što ima za posljedicu ponovljivost temperaturne karakteristike
- koriste se nikal, platina, volfram i bakar

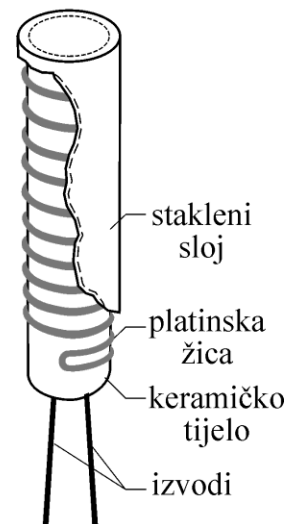
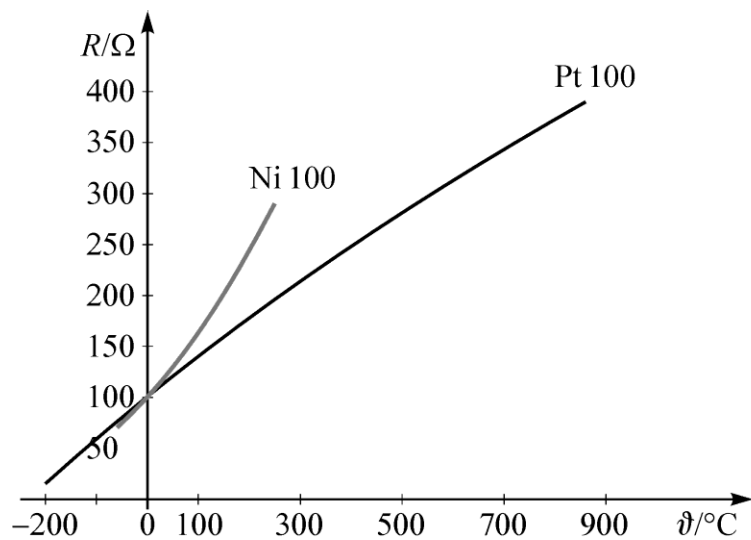
## □ Nikalna osjetila

- bitno su jeftinija od platinskih osjetila, no nešto lošijih karakteristika (lošije su stalnosti ili ponovljivosti otpora s temperaturom)
- koriste se za temperaturni opseg od npr.  $-195 \text{ }^{\circ}\text{C}$  do  $300 \text{ }^{\circ}\text{C}$  pa se primjenjuju u industriji
- temperaturni koeficijent  $\alpha = 6,178 \cdot 10^{-3} \text{ K}^{-1}$  (prema bivšoj normi DIN 43760)

# Mjerenje neelektričnih veličina - mjerenje temperature

## ■ Platinska osjetila

- na donjoj slici prikazana je karakteristika takvog osjetila i izvedba s namatanjem žice na keramičko tijelo
- to su najtočnija osjetila i koriste se kao referentna za temperaturni interval od  $-200\text{ }^{\circ}\text{C}$  do  $850\text{ }^{\circ}\text{C}$
- $R_0$  definiran je kao otpor pri  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ , i može biti od  $10\text{ }\Omega$  do  $1000\text{ }\Omega$  (najčešće  **$100\text{ }\Omega$** ), dok je stalnica  $\alpha = 3,851 \cdot 10^{-3}\text{ K}^{-1}$ , prema normi IEC 60751:2008 Industrial platinum resistance thermometers and platinum temperature sensors (no, u nekim drugim normama postoje i druge vrijednosti za  $\alpha$ , npr.  $3,92 \cdot 10^{-3}\text{ K}^{-1}$  – oprez!)



# Mjerenje neelektričnih veličina - mjerenje temperature

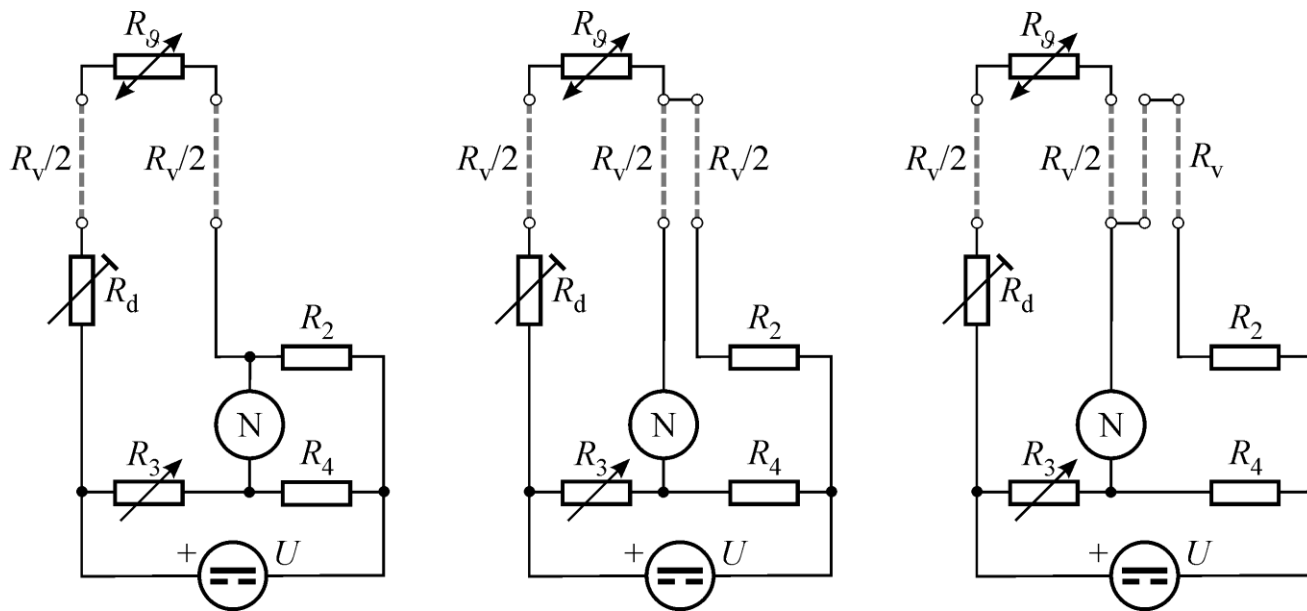
- prema normi IEC 60751:2008, u pogledu točnosti platinska osjetila podijeljena su u četiri razreda:

Klasa točnosti	Granice pogrešaka	Temp. int. (žičani)	Temp. int. (tanki film)
AA	$\pm(0,1\text{ °C} + 0,0017 \cdot  \Delta T )$	-50 °C do 250 °C	0 °C do 150 °C
A	$\pm(0,15\text{ °C} + 0,002 \cdot  \Delta T )$	-100 °C do 450 °C	-30 °C do 300 °C
B	$\pm(0,3\text{ °C} + 0,005 \cdot  \Delta T )$	-196 °C do 600 °C	-50 °C do 500 °C
C	$\pm(0,6\text{ °C} + 0,01 \cdot  \Delta T )$	/	/

- označavanje platinskih osjetila sadrži informacije o otporu  $R_0$ , klasi točnosti, načinu spajanja i temperaturnom intervalu primjene (na primjer, Pt 100/A/3 -100/+200)
- mjerenje otpora Pt osjetila provodi se strujom od 1 mA (tipično)

# Mjerenje neelektričnih veličina - mjerenje temperature

- za mjerenje koristi se Wheatstoneov most u dvožičnom (lijevo na donjoj slici), trožičnom (sredina) ili četverožičnom spoju (desno), ili neka druga metoda za mjerenje otpora
- utjecaj otpora spojnih vodiča (jer se često mjerno mjesto ne nalazi u blizini osjetila) otklanja se umetanjem ugodivog otpora  $R_d$ , koji se ugađa tako da njegov otpor i ukupni otpor vodiča daju potreban otpor
- utjecaj otpora spojnih vodiča  $R_v$  (i njihove promjene s temperaturom) značajno je manji kod 3-žičnog i 4-žičnog spoja
- Pt osjetilo za 4-žični spoj može se i izravno spojiti na digitalni multimeter te primijeniti klasično četverožično mjerenje otpora



# Mjerenje neelektričnih veličina - mjerenje temperature

## ■ prednosti kovinski osjetila temperature su:



- linearna karakteristika
- visoka točnost mjerenja temperature (uske granice pogrešaka)
- vrlo dobra stalnost karakteristike te postojanost na starenje
- vrlo širok temperaturni opseg mjerenja

## ■ nedostaci kovinskih osjetila su



- relativno mali temperaturni koeficijent
- relativno mali otpor (koji treba mjeriti)
- spori odziv na brze promjene temperature
- veće dimenzije
- visoka cijena



# Mjerenje neelektričnih veličina - mjerenje temperature

## □ Poluvodička osjetila

- najčešće se podrazumijevaju kao osjetila s **negativnim temperaturnim koeficijentom**, tzv. **NTC otpornici** - na donjoj slici prikazana je karakteristika takvog osjetila i različite izvedbe
- koriste se za temperaturni interval od  $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$  do  $150\text{ }^{\circ}\text{C}$
- $R_{T_N}$  definiran je kao otpor pri  $T_N=278,15\text{ K}$  ( $\vartheta=25\text{ }^{\circ}\text{C}$ ), a smanjivanje otpora s temperaturom opisano je eksponencijalnom funkcijom:

$$R_T = R_{T_N} e^{\beta\left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_N}\right)}$$

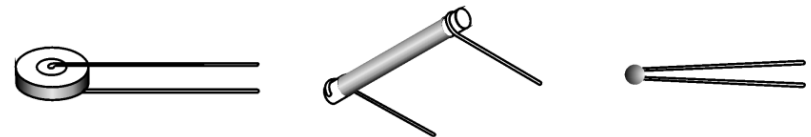
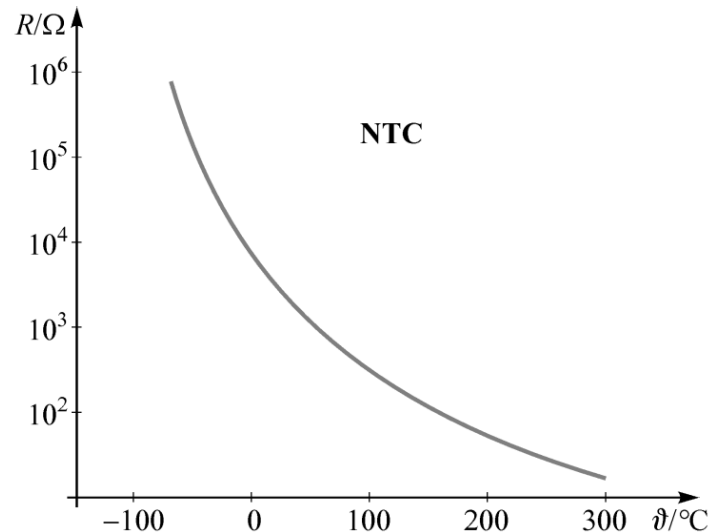
- $\beta$  je stalnica koja ovisi o:

- materijalu
- temperaturi
- $[\beta] = \text{K}$

- $R_{T_N}$  je reda kilooma ili više

- stvarne izvedbe

- disk promjera do  $\phi = 25\text{ mm}$
- štapići duljine do  $50\text{ mm}$
- kuglice promjera do  $\phi = 3\text{ mm}$



# Mjerenje neelektričnih veličina - mjerenje temperature

- podaci za pojedini tip NTC otpornika proizvođači daju tablično, u koracima po 1 °C
  - u donjoj tablici prikazani su podaci za temperature od 0 °C do 29 °C za 4 tipa NTC otpornika koji imaju otpor  $R_{T_N} = 10 \text{ k}\Omega$  pri 25 °C i granice pogrešaka  $\pm 0,2 \text{ °C}$  u intervalu (0 do 70) °C: FE (Fenwal uni-curve UUA41J1); BTS (BetaCURVE Thermistor Series III 10K3A1W2); ATP (coated chip thermistor A1004-C3); EP (uni-curve S 863/10k/F40)

$\vartheta / \text{°C}$	$R_T / \Omega$			
	FE	BTS	ATP	EP
0	32650	32650,8	29490	32650
1	31030	31030,4	28157	31030
2	29500	29500,1	26891	29490
3	28050	28054,2	25689	28050
4	26690	26687,6	24547	26680
5	25390	25395,5	23462	25390
6	24170	24172,7	22431	24170
7	23010	23016,0	21450	23010
8	21920	21921,7	20518	21920
9	20880	20885,2	19631	20880
10	19900	19903,5	18787	19900
11	18970	18973,6	17983	18970
12	18090	18092,6	17219	18090
13	17250	17257,4	16490	17250
14	16460	16465,1	15797	16460

$\vartheta / \text{°C}$	$R_T / \Omega$			
	FE	BTS	ATP	EP
15	15710	15714,0	15136	15710
16	15000	15001,2	14506	15000
17	14320	14324,6	13906	14320
18	13680	13682,6	13334	13680
19	13070	13052,8	12788	13070
20	12490	12493,7	12268	12490
21	11940	11943,3	11771	11940
22	11420	11420,0	11297	11420
23	10920	10922,7	10845	10920
24	10450	10449,9	10413	10450
<b>25</b>	<b>10000</b>	<b>10000,0</b>	<b>10000</b>	<b>10000</b>
26	9573	9572,0	9606	9572
27	9167	9164,7	9229	9165
28	8777	8777,0	8869	8777
29	8407	8407,7	8525	8408

- problem predstavlja određivanje mjerene temperature  $T$  iz bilo koje izmjerene vrijednosti otpora  $R_m$

# Mjerenje neelektričnih veličina - mjerenje temperature

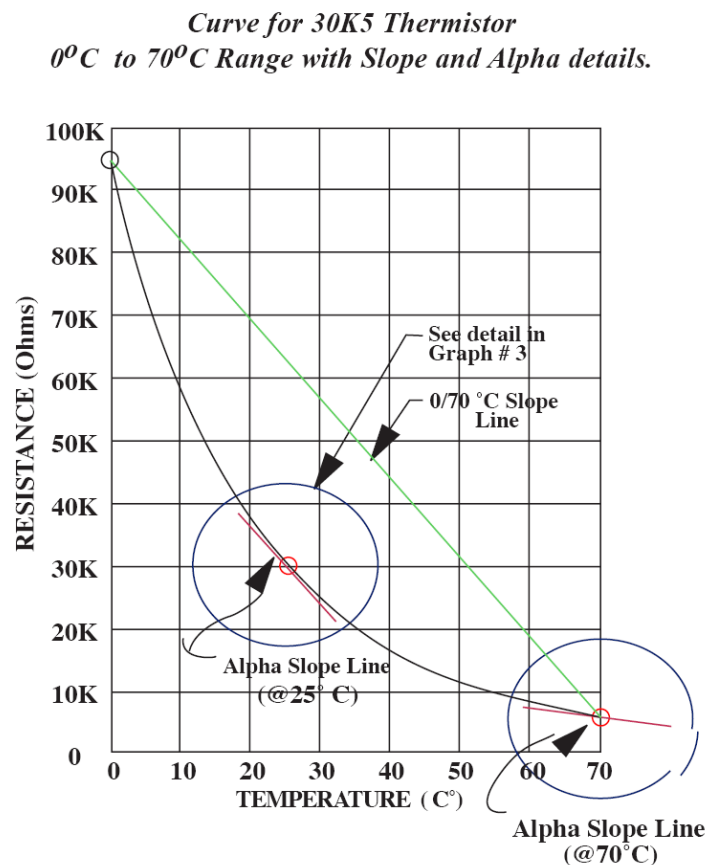
- stalnica  $\beta$  obično je vezana za tip otpornika, odnosno materijal od kojega je napravljen, i odnosi se na sve NTC otpornike takvoga tipa, a ponešto ovisi i o temperaturi
- materijali za NTC osjetila kombinacije su dvaju ili više oksida kobalta, bakra, željeza, magnezija, nikla (npr.  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{MgCr}_2\text{O}_4$  i drugi)
- postoje i otpornička osjetila s pozitivnim temperaturnim koeficijentom, koja se nazivaju PTC otpornici
- za točnije mjerenje temperature to ponekad nije dovoljno, i potrebno je odrediti promjenu otpora s promjenom temperature za svaki pojedini otpornik - to je moguće primjenom Steinhart-Hart jednadžbe:

$$\frac{1}{T} = A_0 + A_1(\ln R_T) + A_3(\ln R_T)^3$$

- ovdje su  $A_0$ ,  $A_1$  i  $A_3$  parametri koji se određuju metodom najmanjih kvadrata, kada otpornik mjeri poznatu temperaturu  $T$  u odabranim koracima i u odabranom intervalu (tj. umjeravanjem otpornika)
- nakon toga ista se jednadžba koristi za određivanje nepoznate temperature iz izmjerene vrijednosti otpora  $R_m$  (tj. jednostavnim uvrštavanjem  $R_T = R_m$ ); pritom se koriste vrijednosti  $A_0$ ,  $A_1$  i  $A_3$  određene u prethodnom koraku
- ostvariva je točnost bolja čak od 50 mK, što je izvrsno za NTC osjetila

# Mjerenje neelektričnih veličina - mjerenje temperature

- kako je promjena otpora s promjenom temperature nelinearna, temperaturni koeficijent  $\alpha_T$  nije konstantan jer je razmjeran koeficijentu nagiba tangente u promatranoj točki  $R$ - $T$  krivulje (koji opada s porastom temperature) – vidi sliku (izvor: BetaTHERM)
  - općenito, pri 25 °C vrijednost  $\alpha_T$  je u intervalu od  $-3 \cdot 10^{-2} \text{ K}^{-1}$  do  $-6 \cdot 10^{-2} \text{ K}^{-1}$ , tj. od  $-3 \text{ \%/K}$  do  $-6 \text{ \%/K}$
  - to je bitno više od kovinskih osjetila
  - izraz:  $\alpha_T = \frac{\left(\frac{dR_T}{dT}\right)}{R_T}$
  - linearizacija za uži temp. interval



# Mjerenje neelektričnih veličina - mjerenje temperature

- problem samozagrijavanja: da bi se otpor mogao izmjeriti kroz NTC osjetilo prolaziti će istosmjerna struja  $I$ , i zbog toga će se disipirati snaga  $P = I^2 R$ ; ako je  $R = 10 \text{ k}\Omega$ , a  $I = 100 \text{ }\mu\text{A}$ , slijedi da je  $P = 0,1 \text{ mW}$  – to nije velika snaga, ali neka osjetila su vrlo malih dimenzija pa to za njih može biti značajno
- problem "senziranja" mjerene temperature: NTC osjetilo, kao i svako drugo, potrebno je postaviti tako da mjeri mjerenu temperaturu što je bolje moguće – neka su izvedbeno tomu posebno prilagođena kako bi se ostvario što bolji kontakt (npr. s površinom objekta čiju temperaturu želimo mjeriti; vidi slike)



# Mjerenje neelektričnih veličina - mjerenje temperature

## ■ prednosti NTC osjetila temperature su:

- velika osjetljivost, odnosno velika promjena otpora s temperaturom
- manje dimenzije
- brzi odziv na brze promjene temperature
- niska cijena
- vrijednost otpora na razini kilooma, koja se jednostavno izravno mjeri digitalnim multimetrom

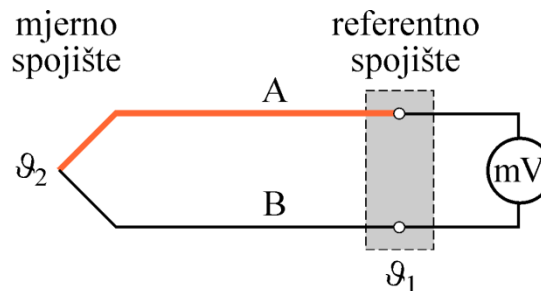
## ■ nedostaci NTC osjetila su:

- nelinearna karakteristika
- redovito široke granice pogrešaka ( $\pm 1$  °C, ili i lošije), osim za posebne izvedbe
- relativno mali temperaturni interval mjerenja
- ne tako dobra stalnost karakteristike
- promjene otpora s temperaturom nisu normirane kao kod kovinskih osjetila

# Mjerenje neelektričnih veličina - mjerenje temperature

## □ Mjerenje temperature termoparovima

- koriste se za temperaturni interval od  $-200\text{ }^{\circ}\text{C}$  do  $1600\text{ }^{\circ}\text{C}$
- mjerenje se temelji na tzv. termoelektričkom efektu kojeg je 1821. godine otkrio Thomas Johann Seebeck
- za primjenu je važno "empiričko termoelektričko pravilo"
  - ako su spojišta metala A s nekom trećom kovinom i metala B s nekom trećom kovinom (koju na slici predstavlja milivoltmetar) na istoj temperaturi  $\vartheta_1$ , ukupna generirana TEMS (termoelektromotorna sila) u krugu bit će ista kao da te kovine nema
- tako dolazimo do osnovnog mjernog spoja (prikazan na slici), gdje se spojište dva metala A i B naziva mjerno spojište i nalazi na mjerenoj temperaturi  $\vartheta_2$ , dok njihovi slobodni krajevi čine referentno spojište i nalaze se na temperaturi  $\vartheta_1$
- mili(mikro)voltmetar pritom mjeri generiranu TEMS  $E_{21} = S_{AB}(\vartheta_2 - \vartheta_1)$ , gdje je  $S_{AB}$  Seebeckov koeficijent koji ovisi o odabranim metalima A i B



# Mjerenje neelektričnih veličina - mjerenje temperature

- Seebeckov koeficijent definiran je kao Seebeckov napon po jedinici temperature, i za različite metale iskazuje se u odnosu na platinu

metal ili legura	$S / (\mu\text{V/K})$
bakar (Cu)	+7,6
nikal (Ni)	-15,2
platina (Pt)	0
željezo (Fe)	+18
konstantan (60 % Cu, 40 % Ni)	-35
platina-rodij (90 % Pt, 10 % Rh)	+6,5
chrometal (90 % Ni, 10 % Cr)	+31
nikrom (80 % Ni, 20 % Cr)	+25

- očito je da Seebeckov koeficijent može biti i pozitivan i negativan
  - za male temperaturne razlike generirana TEMS bit će na razini mikrovolta, ili par desetaka mikrovolta, što nije jednostavno mjeriti s dobrom točnošću
- za formiranje termopara odabiru se parovi kovina (A i B) koje se odlikuju dobrim fizičkim i kemijskim svojstvima, imaju relativno velik Seebeckov koeficijent te dovoljno linearnu karakteristiku

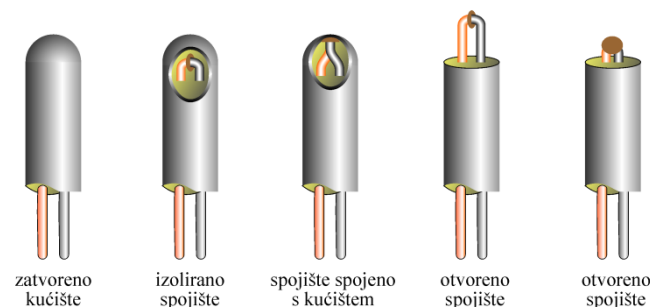


# Mjerenje neelektričnih veličina - mjerenje temperature

- u opisu termopara uvijek se kao prva navodi kovina koja je pozitivnija prema platini, a na shemi ona se prikazuje debljom crtom – u mjerne svrhe rabe se sljedeći termoparovi:

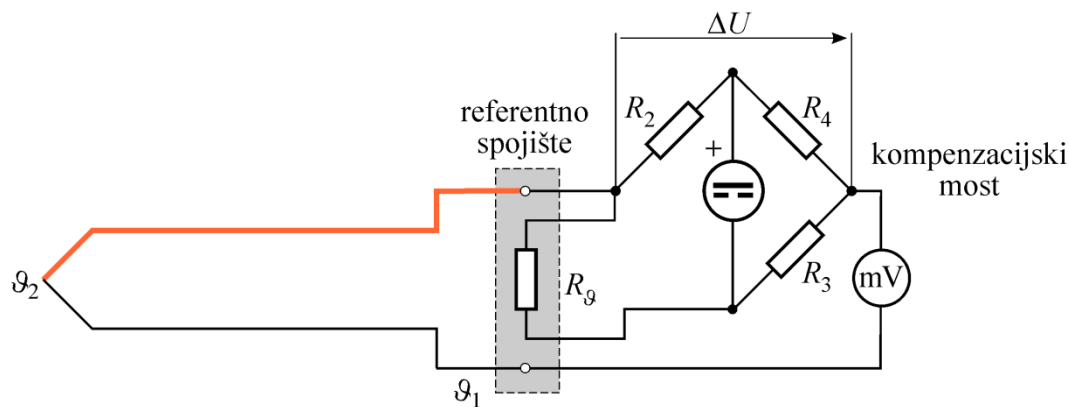
tip	+ metal, - metal	$S / (\mu\text{V/K})$	uporaba
B	Pt (30 % Rh) – Pt (6 % Rh)	8	0 °C do 1820 °C
E	chrometal – konstantan	60	-270 °C do 1000 °C
J	Fe – konstantan	51	-210 °C do 1200 °C
K	chrometal – alumel	40	-270 °C do 1372 °C
R	Pt (13 % Rh) – Pt	12	-50 °C do 1767 °C
S	Pt (10 % Rh) – Pt	11	-50 °C do 1767 °C
T	Cu – konstantan	40	-270 °C do 400 °C

- termoparovi se izrađuju od žica promjera do  $\phi = 2,5 \text{ mm}$  prešanjem na spojnem mjestu i štite zaštitnom metalnom ili keramičkom cijevi od utjecaja okoline



# Mjerenje neelektričnih veličina - mjerenje temperature

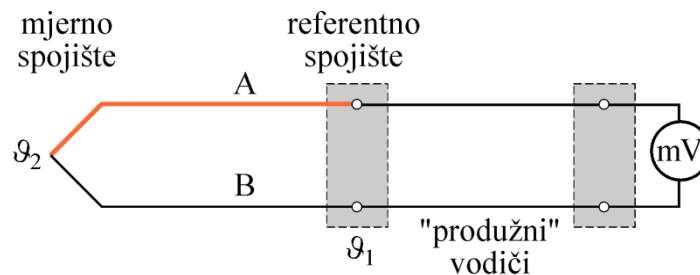
- problem temperature referentnog spojišta  $\vartheta_1$ : vrijednosti TEMS pojedinih termoparova za mjerenu temperaturu  $\vartheta_2$  daju se tablično (u normama), uz pretpostavku da je temperatura  $\vartheta_1 = 0\text{ °C}$ 
  - kad je temperatura  $\vartheta_1 \neq 0\text{ °C}$  primjenjujemo još jedno od "empiričkih termoelektričkih pravila": ako termopar s kovinama A i B uz razliku temperatura ( $\vartheta_a - \vartheta_b$ ) generira  $E_{ab}$ , a uz razliku ( $\vartheta_b - \vartheta_c$ ) generira  $E_{bc}$ , tada će uz razliku ( $\vartheta_a - \vartheta_c$ ) generirati  $E_{ac} = E_{ab} + E_{bc}$
  - primjer: ako je  $\vartheta_2 > \vartheta_1$  i  $\vartheta_1 = 20\text{ °C}$  mjerenjem dobijemo  $E_{21}$ ; tada je potrebno iz tablica odrediti  $E_{10}$  koju bismo izmjerili za razliku temperatura ( $20\text{ °C} - 0\text{ °C}$ ) kako bismo izračunali  $E_{20} = E_{21} + E_{10}$  koja odgovara razlici temperatura ( $\vartheta_2 - 0\text{ °C}$ ); iz tabličnih podataka tada prema  $E_{20}$  odredimo vrijednost mjerene temperature  $\vartheta_2$
  - poželjno je da temperatura referentnog spojišta bude  $0\text{ °C}$  i nepromjenjiva – najčešće je situacija upravo suprotna i ona odgovara temperaturi okoline, pa je potrebno provesti kompenziranje tog utjecaja (na slici prikazano je automatsko kompenziranje dodavanjem napona dijagonale; za  $\vartheta_1 = 0\text{ °C}$  napon  $\Delta U = 0\text{ mV}$ )



- u automatiziranim sustavima kompenziranje se može provesti programski izravnim mjerenjem temperature  $\vartheta_1$  te korekcijom preko *lookup* tablica

# Mjerenje neelektričnih veličina - mjerenje temperature

- problem spajanja: čest je slučaj da je referentno spojište udaljeno od mjernog mjesta, pa je zbog toga potrebno koristiti "produžne" kompenzacijske vodiče, koji se odabiru tako da na spojištima stvaraju TEMS jednakih iznosa, a suprotnih predznaka; za svaki tip termopara postoje zasebni takvi vodiči



- problem mjerenja malih napona: generirane TEMS relativno su male, čak i za velike razlike ( $\vartheta_2 - \vartheta_1$ ), pa
  - ako se koristi milivoltmetar tada njegov unutrašnji otpor mora biti višestruko veći od otpora termoelementa i otpora priključnih vodiča
  - bolje je rješenje primjena **kompenzatora**, odnosno kompenzacijske metode mjerenja napona, jer se time izravno mjeri TEMS bez smetajućih padova napona na bilo kojim otporima u mjernom krugu

# Mjerenje neelektričnih veličina - mjerenje temperature

## ■ prednosti termoparova su:



- relativno brzi odziv na brze promjene temperature
- normirani tipovi termoparova i vrijednosti generiranih TEMS
- veliki temperaturni interval mjerenja
- izlazna veličina je istosmjerni napon
- prihvatljive dimenzije
- prihvatljiva cijena
- linearna karakteristika

## ■ nedostaci termoparova su:



- vrijednost generiranih TEMS na razini desetaka mikrovolta do desetaka milivolta koje nije jednostavno mjeriti s dobrom točnošću
- mala osjetljivost, odnosno mala promjena napona s temperaturom
- problem temperature referentnog spojišta
- problem "produžnih" kompenzacijskih vodiča

# Mjerenje neelektričnih veličina - mjerenje pomaka

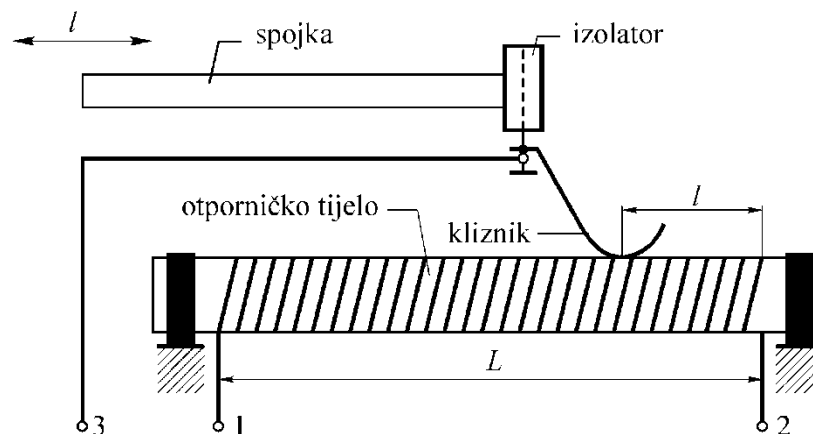
## □ Pomak je mehanička veličina

- možemo govoriti o promjeni položaja, što može biti razmjerno nekim drugim veličinama
- mjeri se otporničkim, induktivnim ili kapacitivnim osjetilima

## □ Mjerenje pomaka otporničkim osjetilima

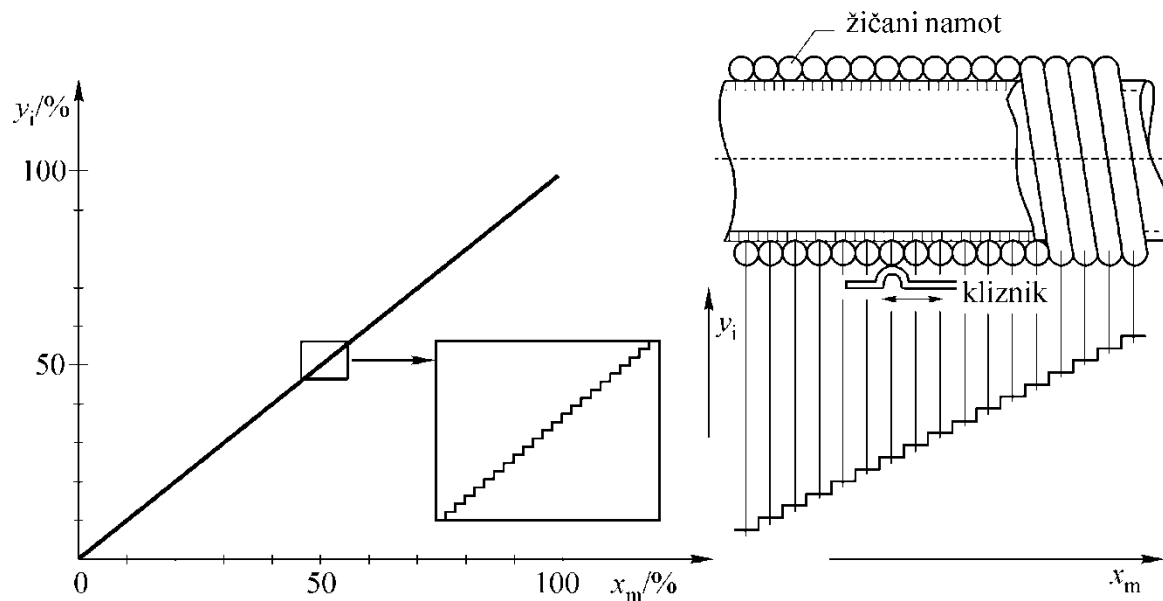
- odlikuju se robusnošću, jednostavnošću i dugim životnim vijekom
- koriste se klizni otpornici, koji mogu biti slojni ili žičani, u potenciometarskom spoju, kod kojeg se mjereni pomak prenosi preko spojke i izolatora na kliznik
  - izvor napona  $U$  spaja se između dva kraja potenciometra 1 i 2
  - napon između jednog kraja potenciometra i kliznika razmjera je pomaku  $l$
  - izlazni napon  $U_{13}$  ne smije se opteretiti jer će u tom slučaju statička karakteristika postati nelinearna

$$l = L \frac{U_{13}}{U} = kU_{13}$$



# Mjerenje neelektričnih veličina - mjerenje pomaka

- kod žičanih otpornika razlučivanje je određeno debljinom žice, i zbog toga je karakteristika kvazi-linearna, tj. izlazna veličina mijenja se u malim i mjerljivim koracima
- na slici je prikazana statička karakteristika takvog pretvornika



- njima se mogu mjeriti pomaci u opsegu od 0 mm do 1 m, uz razlučivanje do 0,1 % i linearnost bolju od  $\pm 0,5$  %

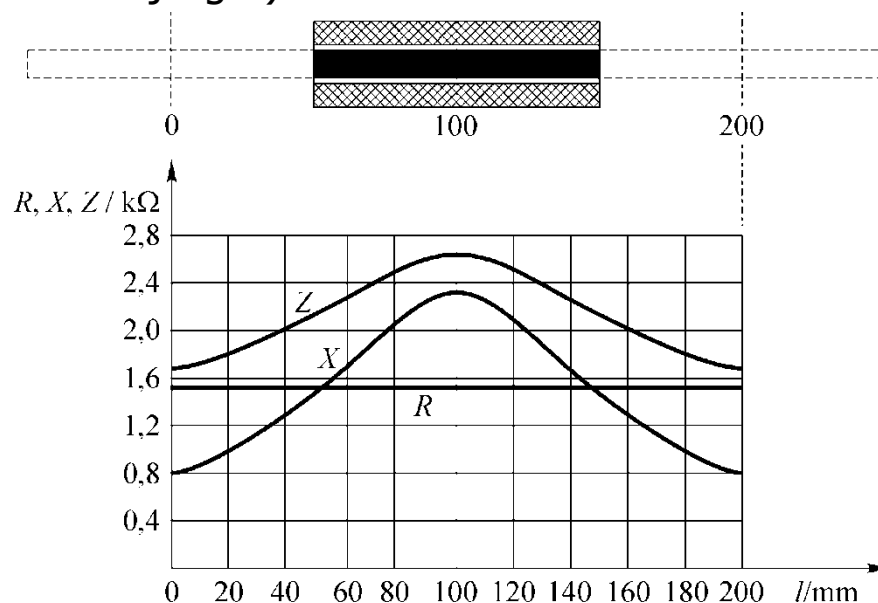
# Mjerenje neelektričnih veličina - mjerenje pomaka

## □ Mjerenje pomaka induktivnim osjetilima

- induktivitet jednoslojnog svitka duljine  $l$ , površine presjeka  $A$ , s ukupno  $N$  zavoja žice djelatnog otpora  $R$  jednak je:

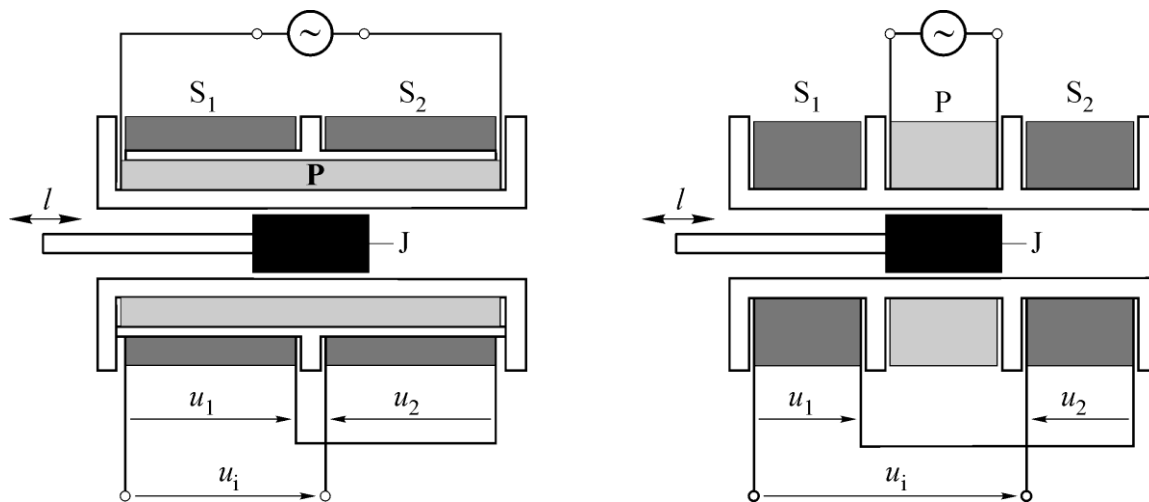
$$L = \mu N^2 \frac{A}{l}$$

- promjena induktiviteta postiže se promjenom permeabilnosti, koja se dobiva promjenom položaja feromagnetske jezgre u odnosu na svitak
  - obično je pritom jezgra slobodno pomična, a njenim pomicanjem mijenja se induktivitet svitka za  $\Delta L$ , odnosno reaktancija za  $\Delta X = \omega \Delta L$
  - $R$  je konstantno (ne ovisi o pomaku jezgre)
- slijedi da je  $\Delta Z = R + j\Delta X$
- linearnost je loša



# Mjerenje neelektričnih veličina - mjerenje pomaka

- bitno bolje rješenje predstavlja **linearno promjenjiv diferencijalni transformator (LDPT)**
- sastoji se od pobudnog svitka P i dva identična svitka  $S_1$  i  $S_2$  u serijskom protuspoju (na slici su pokazane dvije moguće izvedbe)
  - pomicanje jezgre iz centralnog položaja izaziva povećanje induktiviteta jednog svitka, a smanjenje drugog, zbog čega dolazi do razlike između napona  $u_1$  i  $u_2$ , odnosno pojave izlaznog napona  $u_i$  (kojeg je faza ovisna o smjeru pomaka jezgre pa se s pomoću fazno osjetljivog sklopa pretvara u istosmjerni napon odgovarajućeg predznaka)
  - u opsegu pomaka jezgre statička karakteristika osjetila je linearna, mogu se mjeriti pomaci od nekoliko nanometara do nekoliko centimetara, s granicama pogrešaka  $\pm 0,5 \%$  i linearnošću  $\pm 0,5 \%$
  - mogu se primijeniti i kao mjerila vibracija

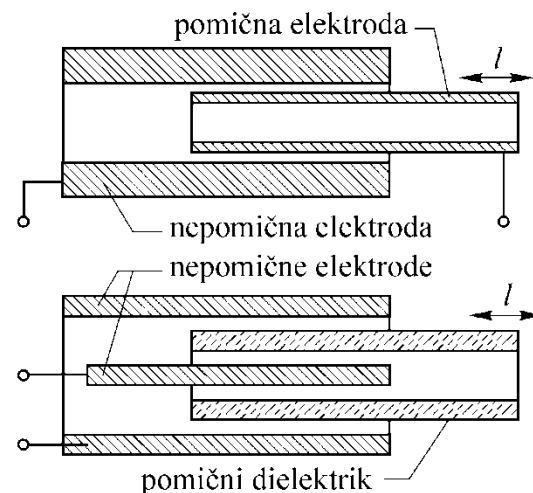
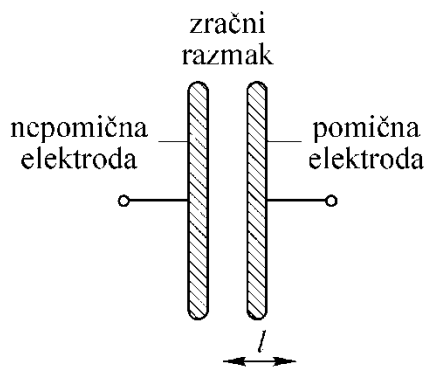




# Mjerenje neelektričnih veličina - mjerenje pomaka

## ■ Mjerenje pomaka kapacitivnim osjetilima

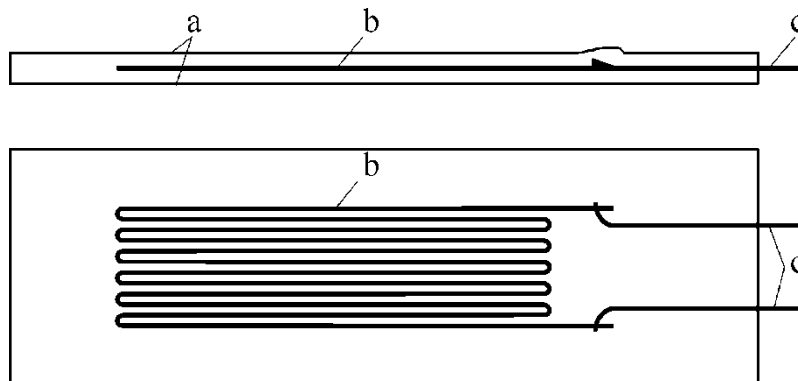
- kako kapacitet kondenzatora ovisi o dielektričnosti materijala  $\varepsilon$ , aktivnoj površini  $A$  i razmaku elektroda  $d$  ( $C = \varepsilon A / d$ ), promjenu kapaciteta  $\Delta C$ , koja će biti razmjerna mjerenom pomaku  $l$ , možemo dobiti promjenom bilo koje od navedenih veličina
- na slikama su prikazane načelne izvedbe kod kojih se koristi načelo (redom) promjene razmaka elektroda  $\Delta d$ , promjene aktivne površine  $\Delta A$  te promjene dielektričnosti  $\Delta \varepsilon$  permeabilnosti
- pritom je potrebno mjeriti promjene kapaciteta traženom točnošću poznatim metodama, najčešće mosnim (Wienov most), ili diferencijalnim



# Mjerenje neelektričnih veličina - mjerenje naprezanja

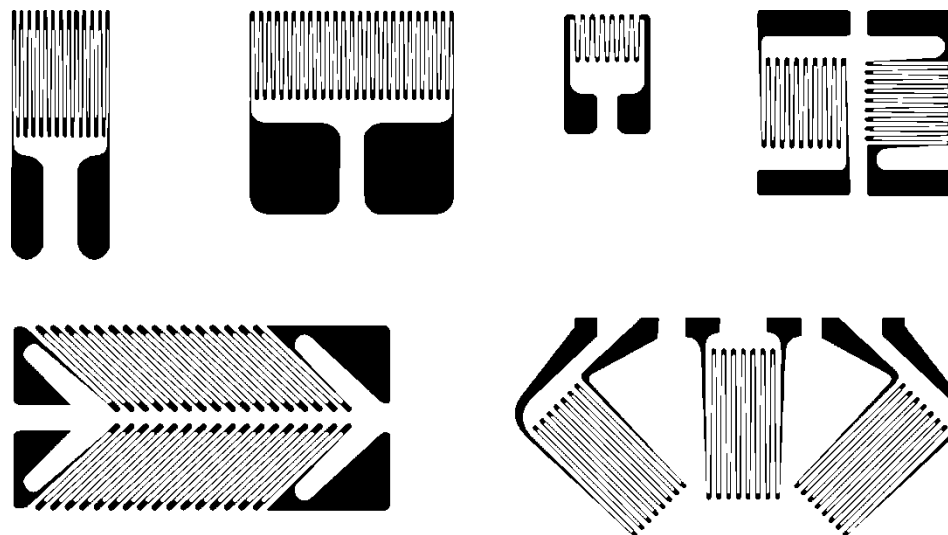
## ■ Mjerenje naprezanja otporničkim osjetilima

- mehaničko naprezanje  $\sigma$  predstavlja omjer sile koja djeluje na neku površinu, može biti vlačno, tlačno ili torzijsko, a pod djelovanjem sile nastaju deformacije  $\varepsilon$  na mjernom objektu, odnosno promjene vanjskih dimenzija
- ako se otporničko osjetilo postavi na mjerni objekt tako da bude s njim tijesno povezano, generirane deformacije prenosit će se na osjetilo i uzrokovati promjenu otpora vodiča (promjenu duljine i poprečnog presjeka) - tzv. **rastezna otpornička osjetila** (*strain gauges*)
- žičana rastezna osjetila izrađuju se od tanke žice ( $\phi = 20 \mu\text{m}$ ) od nikla, konstantana ili sličnih materijala (b), izvedenih u obliku meandra radi povećanja otpora, zaštićene izolacijskim materijalom (a) i s izvedenim priključcima (c)



# Mjerenje neelektričnih veličina - mjerenje naprezanja

- folijska rastezna osjetila izrađuju se jetkanjem otporne folije od vodljivog materijala (npr. konstantana ili slitine NiCr) debljine od 3  $\mu\text{m}$  do 8  $\mu\text{m}$ , čime se može izvesti daleko više raznih oblika osjetila



- osjetilo se učvršćuje lijepljenjem na mjerno mjesto tako da može vjerno slijediti deformacije mjerenog objekta (mjere se tlačne, vlačne i torzijske deformacije strojeva, nosača, mostova, osovina i dr.)
  - i ljepljivo je u ovom slučaju dio mjernog kruga koje treba vjerno prenijeti deformacije s mjerenog objekta na osjetilo – kako je to čest slučaj da se mjeri na otvorenom prostoru, tim zahtjevima mora udovoljavati pri vrlo različitim vremenskim uvjetima
- vrijednosti otpora su 60  $\Omega$ , 120  $\Omega$ , 240  $\Omega$ , 300  $\Omega$ , 600  $\Omega$  i 1000  $\Omega$ , a dopuštena struja u granicama od 10 mA do 20 mA

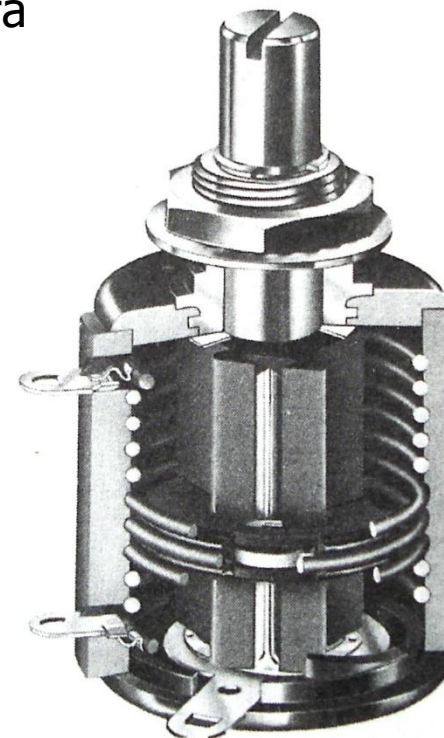
# Mjerenje neelektričnih veličina - mjerenje naprezanja

- deformacije koje nastaju pod djelovanjem sila redovito su male i često se iskazuju u relativnom obliku (npr. mm/m ili  $\mu\text{m}/\text{m}$ )
- promjena otpora pod djelovanjem naprezanja je linearna i bez histereze ako je istežanje manje od  $\pm 0,5$  % duljine žice, što je sasvim prihvatljivo za ovu primjenu jer je mjerni opseg deformacija do npr.  $\pm 0,15$  %
- kod mjerenja statičkih naprezanja koristi se istosmjerna struja, a kod dinamičkih izmjenična
- kako su očekivane promjene otpora male, a korisna je informacija upravo promjena otpora u odnosu na neko ravnotežno stanje, za mjerenje promjene otpora redovito se koriste neuravnoteženi mostovi (vidi temu Mjerenje impedancija), kod kojih je relativna promjena napona na dijagonali mosta prema napajanju mosta ( $\Delta U/U$ ) razmjerna relativnoj promjeni otpora ( $\Delta R/R$ )
- ostvarive su granice pogrešaka  $\pm 0,1$  %
- budući da sila izaziva deformaciju, ova osjetila mogu se primijeniti i za mjerenje sile, pa ih nalazimo kod vrlo preciznih vaga za mjerenje mase

# Mjerenje neelektričnih veličina - mjerenje zakreta

## ■ Mjerenje zakreta otporničkim osjetilima

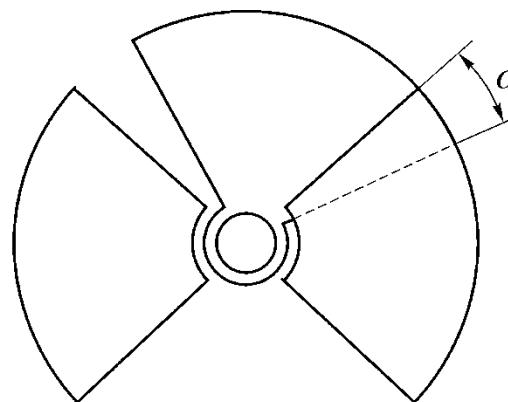
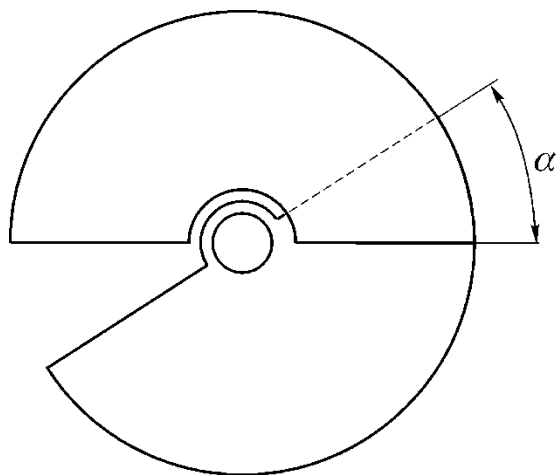
- zakret se pretvara u promjenu otpora (slično kao i pomak) između jednog kraja potencijometra i kliznika, jedino što ovdje imamo otpornički element kružnog oblika, kod kojega se kliznik također pomiče po kružnici
- to su pasivna osjetila zakreta, nazivno do  $360^\circ$
- kod helikoidalnih kliznih otpornika, koji mogu imati i do 10 okretaja kliznika, razmjerno tomu može se mjeriti i zakret od  $n \times 360^\circ$
- vrijedi sve već izrečeno za primjenu potencijometara



# Mjerenje neelektričnih veličina - mjerenje zakreta

## ■ Mjerenje zakreta kapacitivnim osjetilima

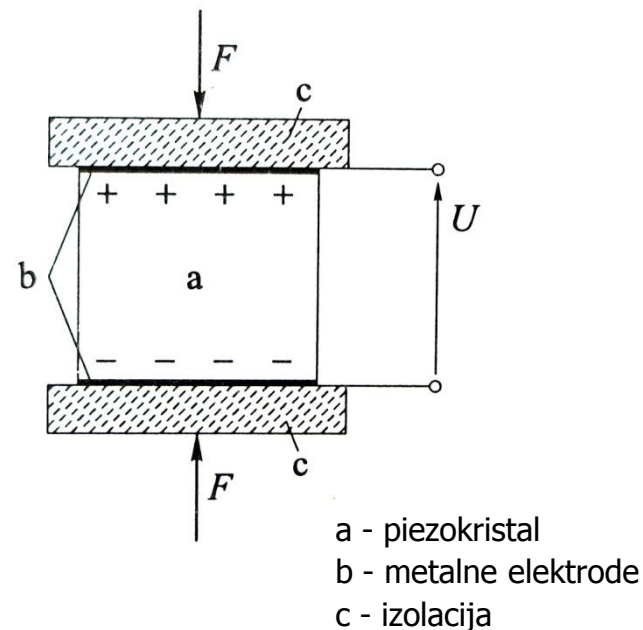
- to su pasivna osjetila zakreta, nazivno do  $360^\circ$ , a načelo je prikazano slikama
- kod primjene kapacitivnih osjetila ne dolazi do njihovog zagrijavanja
- promjenu kapaciteta  $\Delta C$ , koja će biti razmjerna mjerenom kutu  $\alpha$ , dobivamo redovito promjenom aktivne površine  $A$  jer zbog zakreta dolazi do promjene površine preklapanja elektroda
- ostvarive su granice pogrešaka od  $\pm 0,1 \%$



# Mjerenje neelektričnih veličina - mjerenje sile

## □ Mjerenje sile piezoelektričkim osjetilima

- u određenim dielektričnim materijalima (određene vrste kristala, keramika i ili polimera, kao što su kremen, barijev titanat ili poliviniliden difluorid) električna polarizacija  $P$  može se generirati ako se taj materijal podvrgne mehaničkom naprezanju, odnosno vanjskoj sili – jedna površina nabit će se pozitivno, a druga negativno
- obično su to materijali velike mehaničke čvrstoće i velikog Youngovog modula elastičnosti (za kremen je 80 GPa) pa je deformacija elastična
- piezoelektrični efekt je reverzibilan, odnosno pod djelovanjem električnog polja  $E$  dolazi do deformacije materijala
- osnovne relacije:
  - $P = d \sigma$  (izravni učinak)
  - $\varepsilon = d E$  (obrnuti učinak)
  - $P$  je polarizacija,  $[P] = \text{C/m}^2$
  - $\sigma$  je naprezanje,  $[\sigma] = \text{N/m}^2$
  - $\varepsilon$  je deformacija,  $[\varepsilon] = 1$
  - $d$  je piezoelektrički koeficijent,  $[d] = \text{C/N}$
- generirani naboj razmjern je sili:
  - $Q = d F$



# Mjerenje neelektričnih veličina - mjerenje sile

- budući da se radi o dielektričnom materijalu, možemo ga nadomjestiti kapacitetom  $C$  između dviju nasuprotnih površina, i u tom slučaju dobit ćemo napon između njih:

$$U = Q / C = d F / C$$

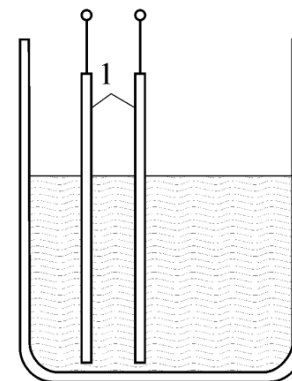
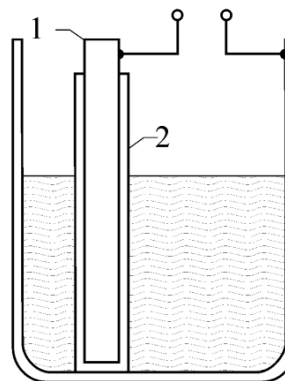
- uzmimo za primjer kocku od kremena sa stranicama duljine 1 cm koju tlačimo silom od 1 N između dviju nasuprotnih stranica u pravcu piezoelektrične osi kristala, kad je piezoelektrički efekt najveći; ako je pritom stalnica  $d = 2,3 \text{ pC/N}$ , a pripadni je kapacitet  $0,31 \text{ pF}$  ( $\epsilon_r = 3,5$ ), dobit ćemo napon  $U = 7,42 \text{ V}$
  - problem predstavlja mjerenje tog napona, jer spajanjem mjernog uređaja za mjerenje napona paralelno kapacitetu kremene kocke spajamo kapacitet spojnog kabela i ulazni kapacitet mjernog uređaja; neka je taj neželjeni kapacitet jednak  $C_{\text{dod}} = 100 \text{ pF}$ , pa ćemo u tom slučaju dobiti 324 puta manji napon  $U = 22,9 \text{ mV}$
- piezoelektrička osjetila spadaju u aktivna osjetila



# Mjerenje neelektričnih veličina - mjerenje razine

## □ Mjerenje razine tekućine kapacitivnim osjetilima

- kapacitivna osjetila posebno su prikladna za mjerenje razine tekućina (time i obujma ako su poznate izmjere spremnika) jer pri mjerenju ne dolazi do disipacije snage
- pritom je potrebno ostvariti promjenu kapaciteta  $\Delta C$  koja će biti razmjerna mjerenoj razini, a razlikujemo dva slučaja:
  - mjerenje razine električki vodljive tekućine – proba “1” koja se uranja u spremnik sastoji se od jedne elektrode koja je kompletno izolirana “2”, dok drugu elektrodu čini tekućina sa spremnikom; promjena razine utječe na promjenu djelatne površine elektroda (lijevo na donjoj slici)
  - mjerenje razine električki nevodljive tekućine – promjena kapaciteta ostvaruje se promjenom relativne dielektričnosti izolacije, jer se promjenom razine mijenja udio kapaciteta sa zrakom kao izolatorom u odnosu na udio kapaciteta s tekućinom kao izolatorom, pa se time mijenja i ukupni kapacitet (desno na donjoj slici, “1” su elektrode)



# Mjerenje neelektričnih veličina

---

## □ Mjerenje ostalih neelektričnih veličina

- protok (tekućina ili plinova)
- brzina vrtnje
- brzina
- akceleracija
- vibracije
- pH
- ...

## □ Ovdje smo prikazivali načela rada različitih osjetila

- u uporabi postoje osjetila koja koriste druga mjerna načela za mjerenje ovdje prikazanih neelektričnih veličina, ili
- postoje pretvornici koji imaju i osjetila i sustave za prilagodbu signala, a izlazne veličine mogu se izravno spojiti na ADC, ili su prilagođene kao normirani istosmjerni izlazi (npr. 4 mA do 20 mA)

## □ Nije moguće u jednom kratkom prikazu dati sve informacije za sve neelektrične veličine i za sva moguća načela njihova mjerenja – to, uostalom, nije bio niti cilj

# Zaključak

---

- **Prikazali smo načela rada mjernih pretvornika električnih veličina u istosmjerne električne veličine normiranih vrijednosti (napon ili struju)**
- **Prikazali smo načela rada mjernih osjetila različitih neelektričnih veličina u električne**