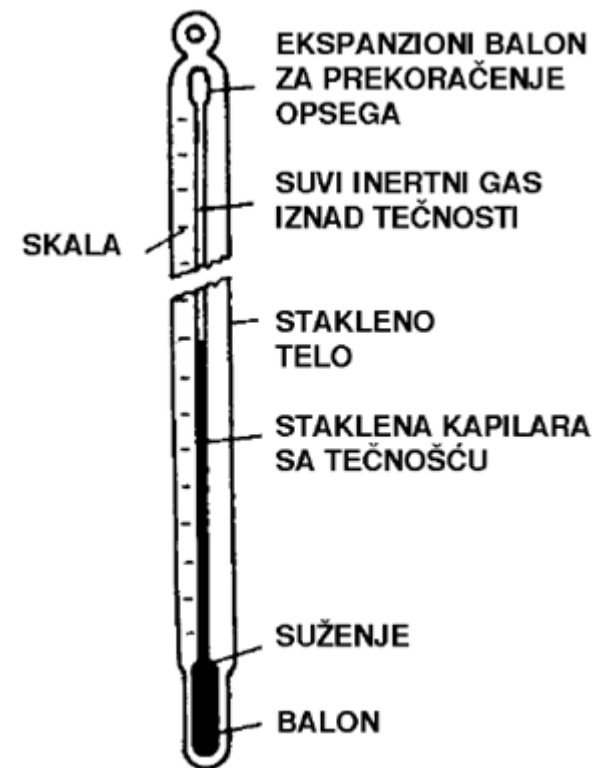
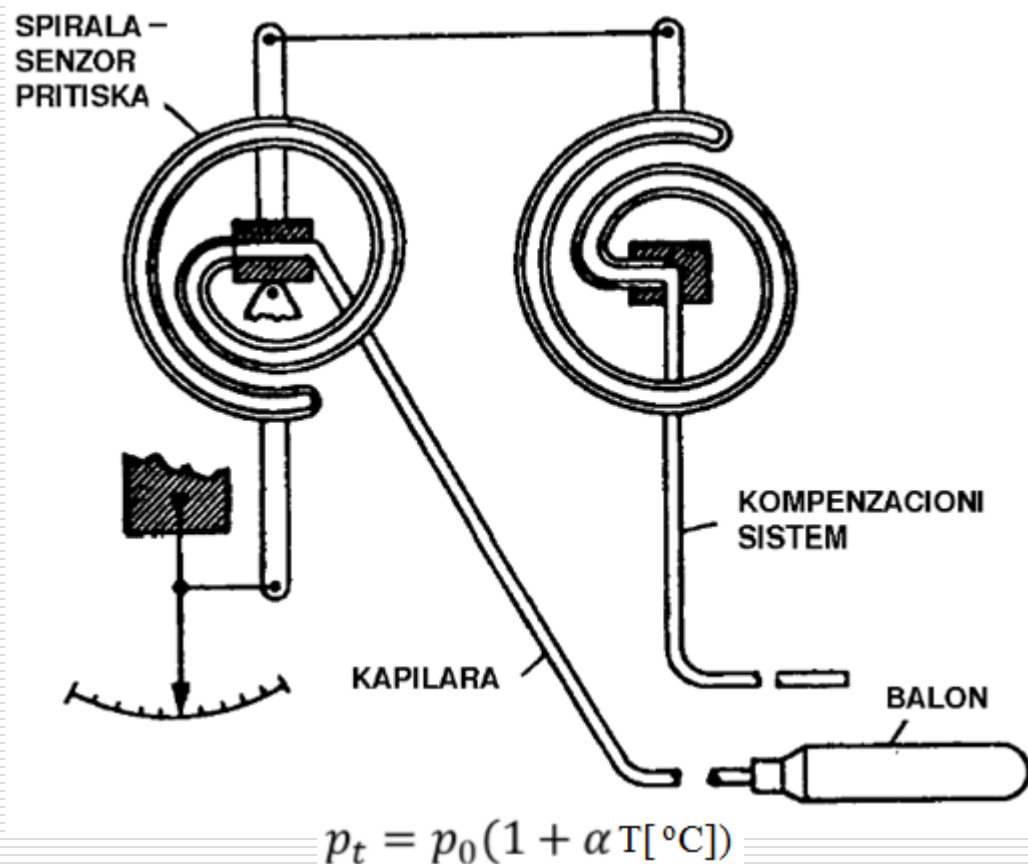


# SENZORI TEMPERATURE

---

Merenje temperature

# Ekspanzioni termometri



$$V_t = V_0(1 + \alpha T[^\circ\text{C}] + \beta T^2[^\circ\text{C}] + \dots)$$

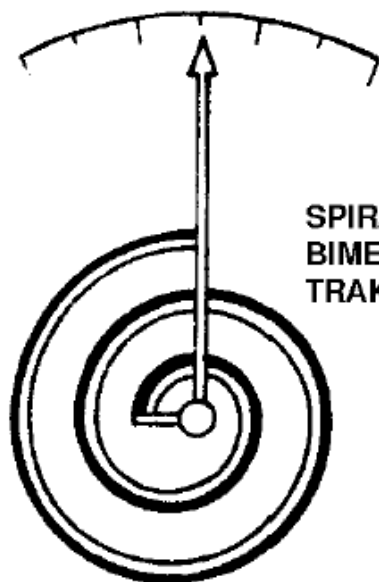
# Bimetalni termometri

NEZAGREJANA  
BIMETALNA  
TRAKA



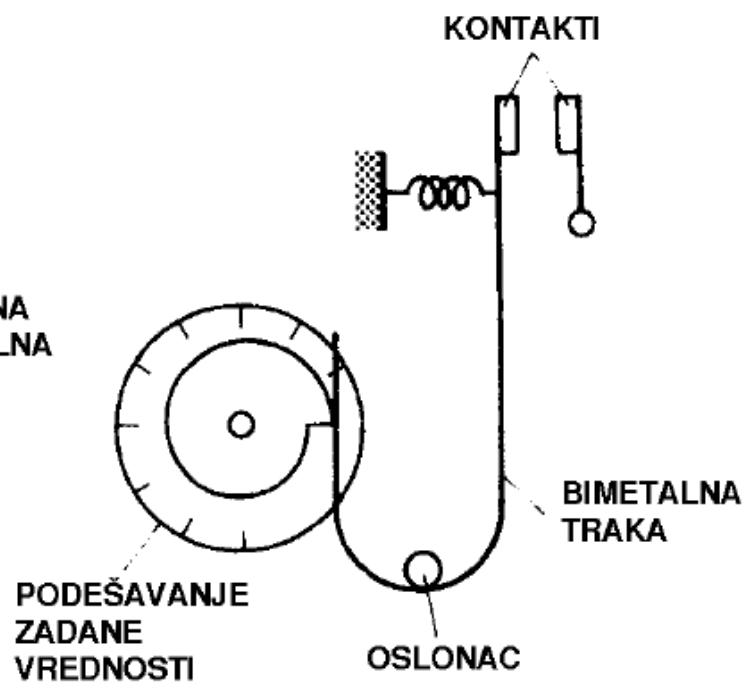
ZAGREJANA  
BIMETALNA  
TRAKA

a)



SPIRALNA  
BIMETALNA  
TRAKA

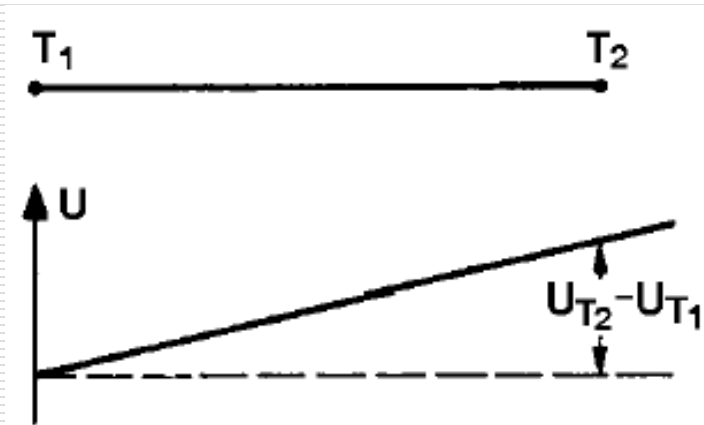
b)



c)

# Termoparovi termoelektrični potencijal

---



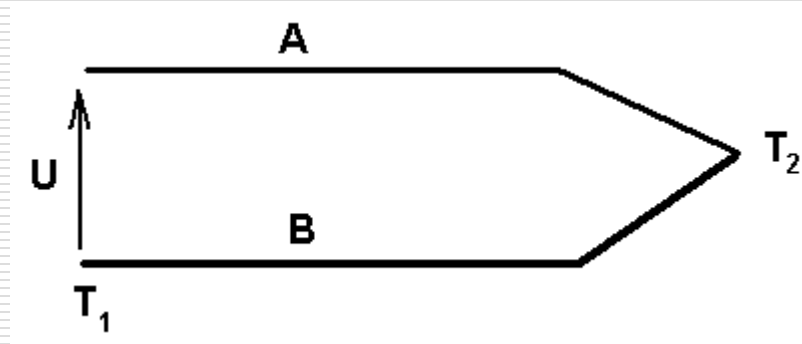
$$dU = KdT$$

$$U_{T_2} - U_{T_1} = \int_{T_1}^{T_2} KdT$$

$$U_{T_2} - U_{T_1} = K(T_2 - T_1)$$

# Termopar

---



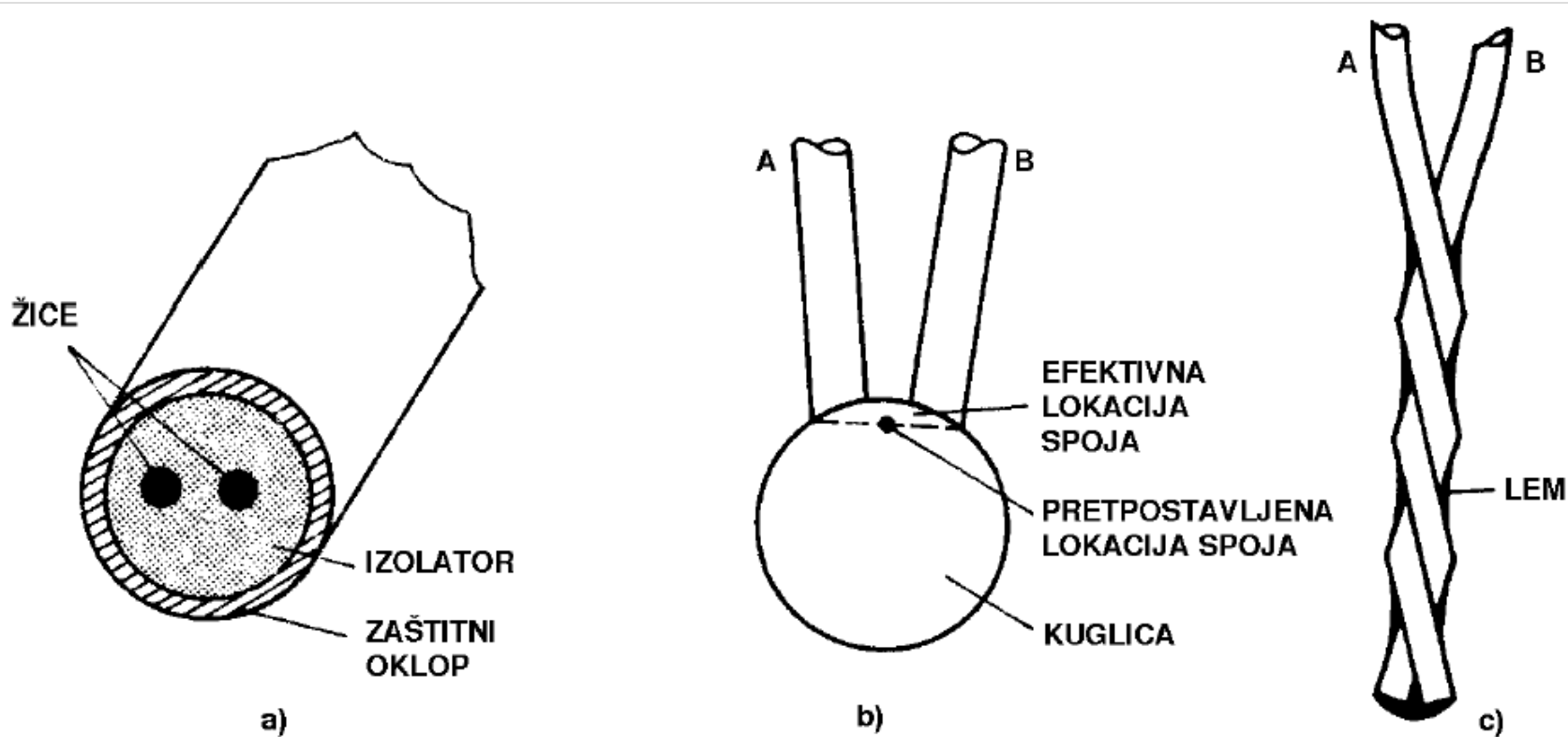
- ☐ A i B različiti materijali
- ☐  $T_1$  hladan kraj
- ☐  $T_2$  topao kraj
- ☐  $U = K_B(T_2 - T_1) - K_A(T_2 - T_1) = \alpha(T_2 - T_1)$

# Termoelektrični niz materijala u odnosu na platinu

MATERIJAL	$\mu\text{V}/^\circ\text{C}$	MATERIJAL	$\mu\text{V}/^\circ\text{C}$	MATERIJAL	$\mu\text{V}/^\circ\text{C}$
Bizmut	-72	Živa	0,6	Bakar	7,6
Konstantan	-35	Ugljik	3	Volfram	8
Nikl	-16,4	Aluminijum	3,5	Molibden	12
Kobalt	-15,2	Kalaj	4,2	Gvožđe	18,5
Alumel	-12,9	Olovo	4,4	Nihrom	25
Potaša	-9	Tantal	4,5	Hromel	28
Rodijum	-6,4	Srebro	6,5	Antimon	47
Paladijum	-5,7	Zlato	7,3	Germanijum	300
Natrijum	-2	Cink	7,5	Telur	500
Platina	0	Kadmijum	7,5	Selen	900

TIP	KOMERCIJALNI NAZIV	MAKSIMALNI OPSEG °C	MAKSIMALNA TEMPERATURA (KRATKOTRAJNO ZAGREVANJE)	PRO- SEČNA OSET- LJIVOST μV/°C	KARAKTERISTIKE RADNE SREDINE I OGRANIČENJA U UPOTREBI
T	Bakar/konstantan	–200 do 350	600	40,5	Slabo korozivna i redukovana atmosfera. Vakuum ili inertna atmosfera. Prisustvo vlage.
J	Gvožđe/konstantan	0 do 750	1 200	52,6	Redukovana atmosfera. Vakuum ili inertna atmosfera. Ograničena upotreba na visokim temperaturama zbog pojačane korozije. Ne preporučuje se za niske temperature
E	Kromel/konstantan	–200 do 900	1 000	67,9	Korozivna ili inertna atmosfera. Ograničena upotreba u vakuumu i redukovanoj atmosferi.
K	Kromel/alumel	–200 do 1250	1 370	38,8	Inertna atmosfera, bez korozija. Ograničena upotreba u vakuumu i redukovanoj atmosferi. Nije dozvoljena upotreba u sumpornoj atmosferi.
S	Platina– 10%rodijum/platina	0 do 1450	1 760	10,6	Korozivna ili inertna atmosfera. Dozvoljena samo kratkotrajna upotreba u vakuumu. Zaštitni oklop samo keramički. Moguća upotreba u metalnim i nemetalnim parama. Ove karakteristike iste su za tip S, R i B.
R	Platina– 13%rodijum/platina	0 do 1450	1 600	12,0	
B	Platina– 30%rodijum/platina- 6%rodijum	0 do 1700	1 800	7,6	

# Konstrukcija termoparova



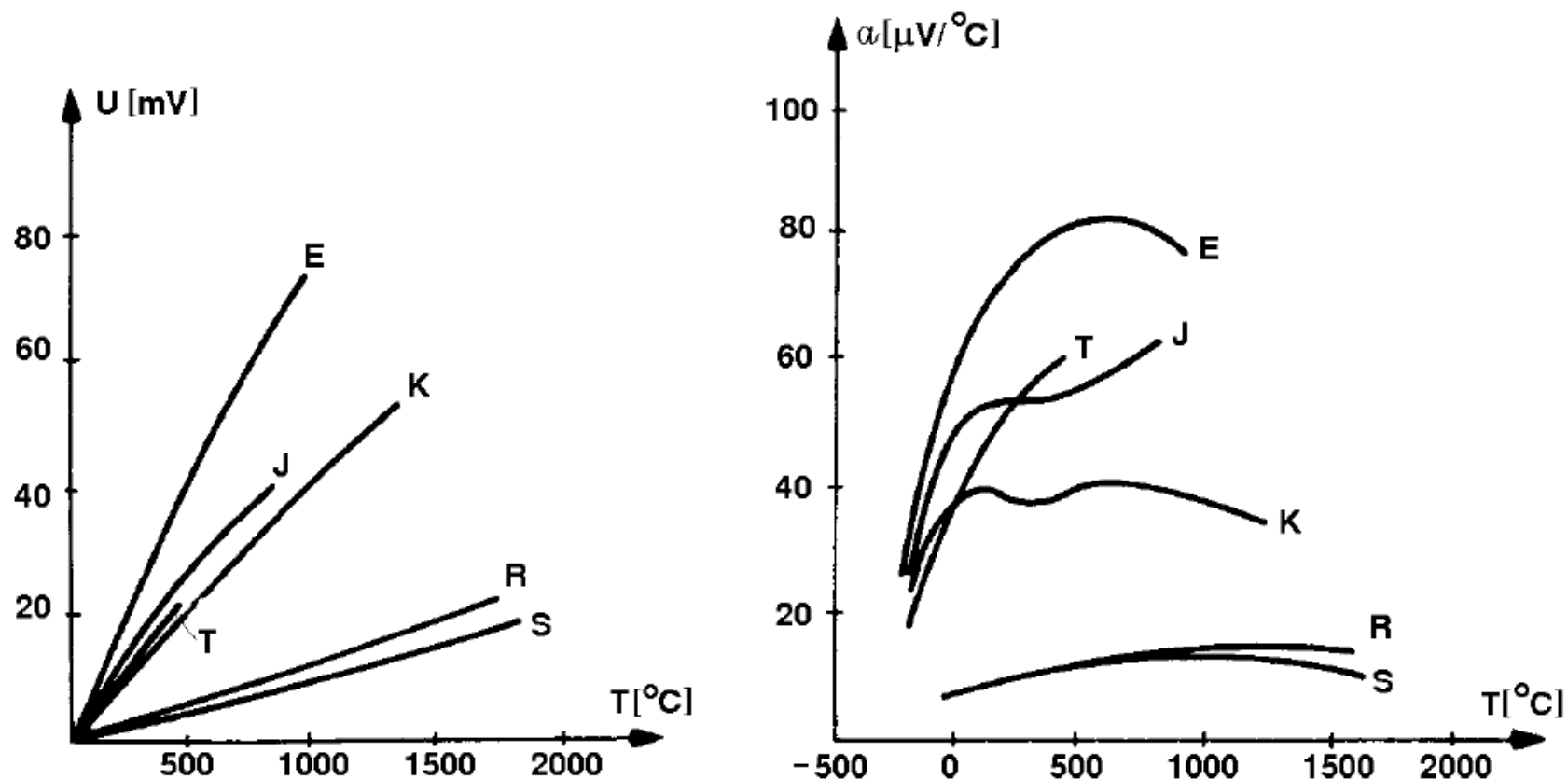


# Načini spajanja

---

- ☐ Zavarivanje topljenjem
- ☐ Lemljenje
- ☐ Potapanje u živu ili rastopljen metal
- ☐ Lemljenje za treći metal
- ☐ Pričvršćenje stezaljkom ili trakom

# Statičke karakteristike termoparova

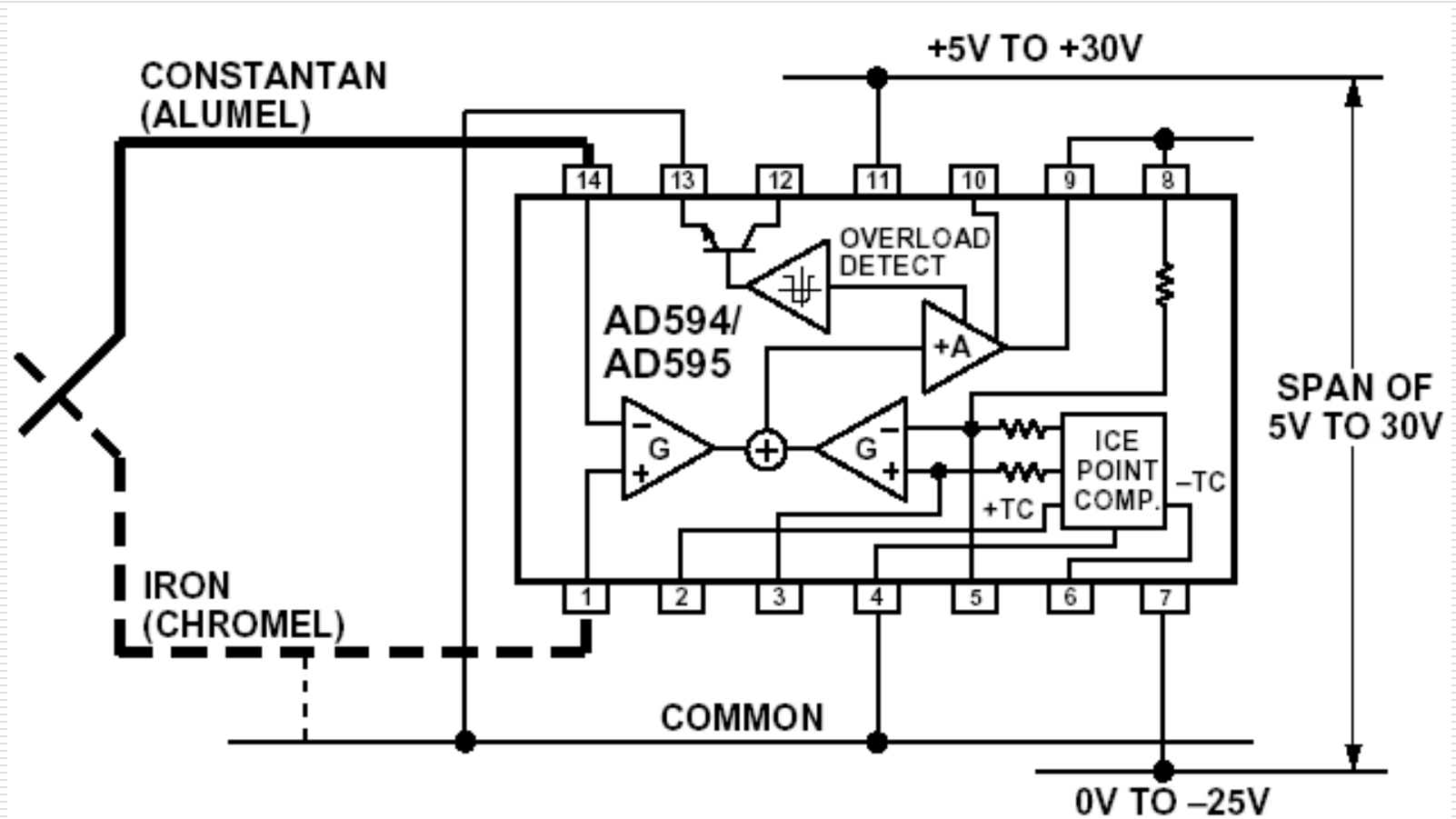


# Karakteristike termopara

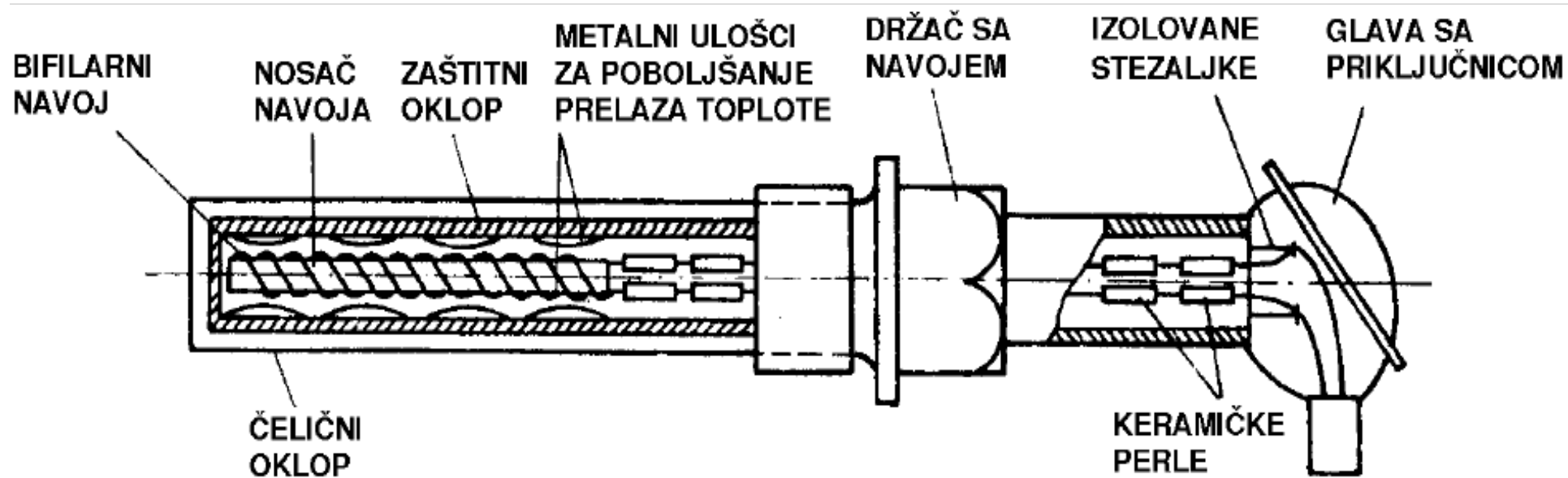
---

- ☐ Aktivan senzor
- ☐ Vrlo mali izlazni napon
- ☐ Nelinearna statička karakteristika
- ☐ Meri razliku temperatura
- ☐ Kompenzacija hladnog kraja
- ☐ Parazitni termospojevi

# Transmitter za termopar



# Otpornički senzori temperature



# Karakteristika metalnog termootpornika

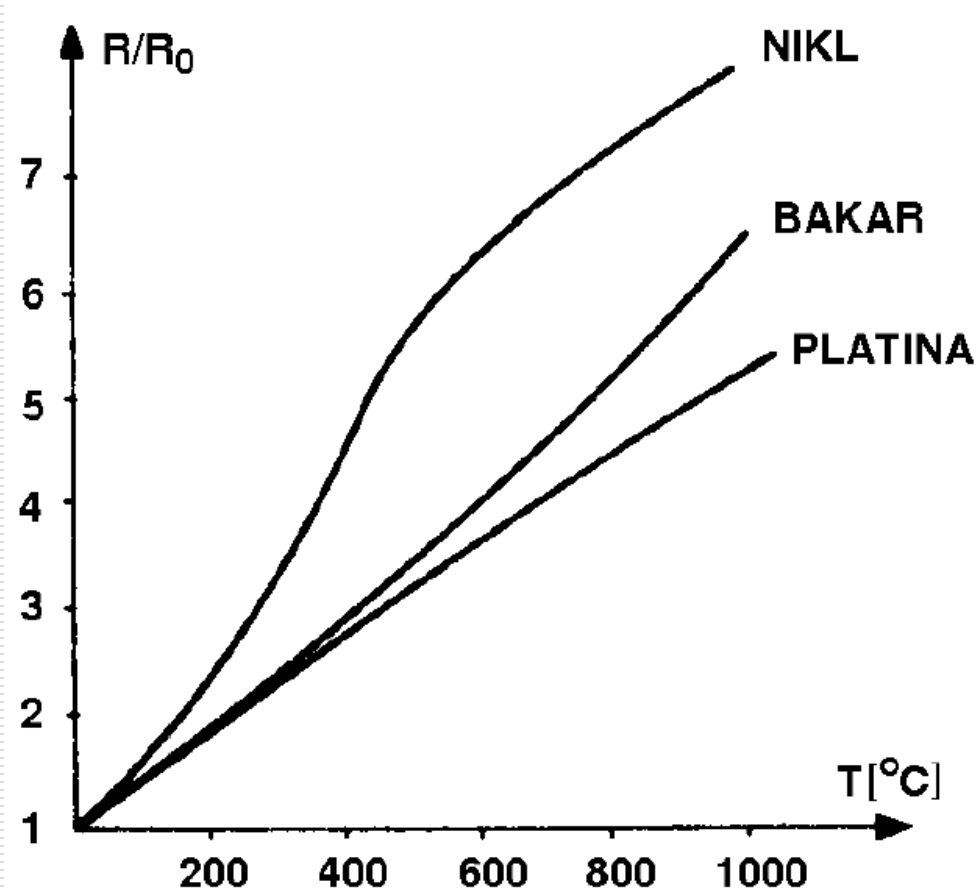
---

- ❑ Karakteristika se aproksimira polinomom 20-og reda
- ❑ U praksi se obično uzimaju prva tri člana

$$R_T(T) = R_0 + R_0 \alpha \left[ T - \delta \left( \frac{T}{100} - 1 \right) \frac{T}{100} - \beta \left( \frac{T}{100} - 1 \right) \left( \frac{T}{100} \right)^3 \right]$$

# Materijali za metalne termootpornike

- ☐ Platina Pt
- ☐ Nikl Ni
- ☐ Bakar Cu



# Karakteristike platine

---

- ❑ Čistoća 99.999%
- ❑  $\rho = 0.1 \mu\Omega\text{m}$
- ❑  $\alpha = 0.00392 \text{ } 1/^{\circ}\text{C}$
- ❑  $\beta = 0$  za  $T > 0$ ;  $\beta = 0.11$  za  $T < 0$
- ❑  $\delta = 1.49$
- ❑ Opseg  $-260$  do  $+650^{\circ}\text{C}$  max  $1500^{\circ}\text{C}$
- ❑ Pt100 i Pt1000



# Karakteristike nikla i bakra

---

## □ Nikl

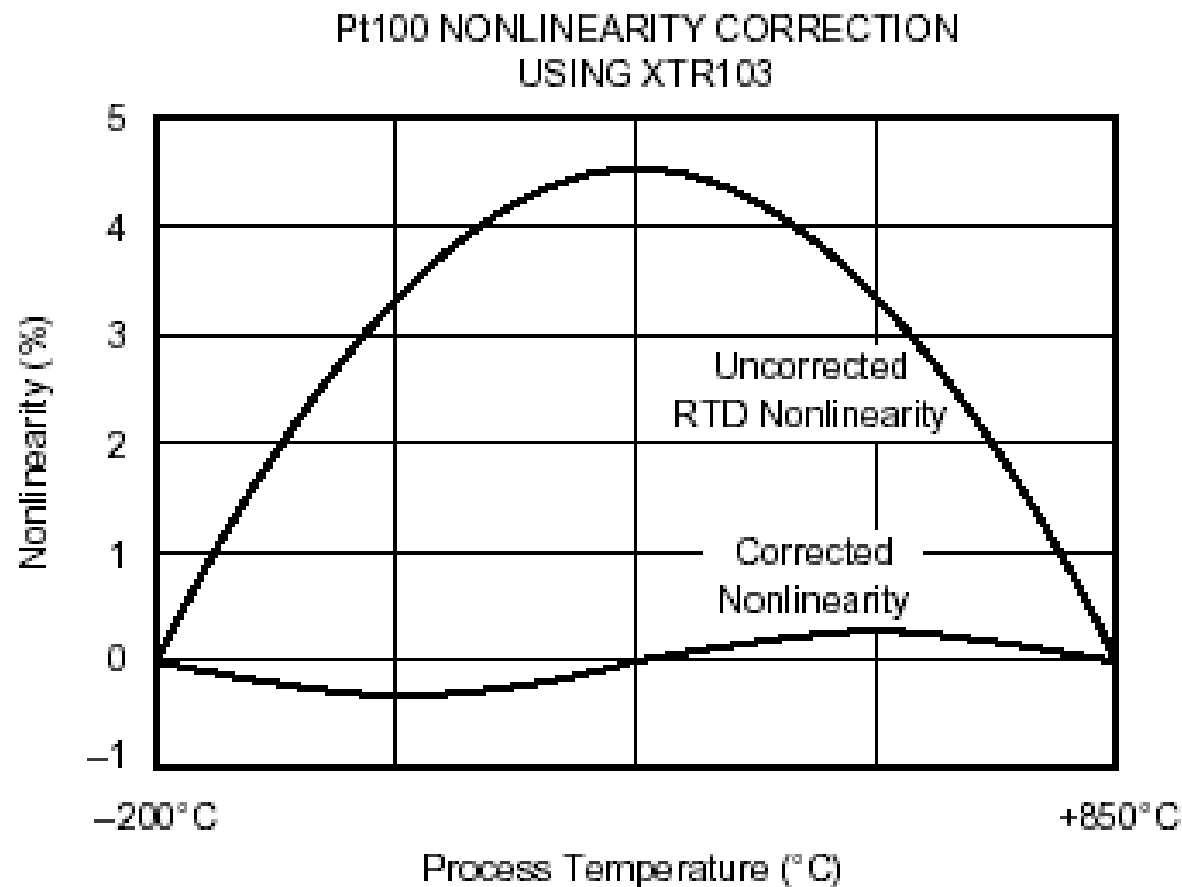
- $\rho = 0.128 \mu\Omega\text{m}$
- $\alpha = 0.00586 \text{ } 1/^{\circ}\text{C}$
- Opseg -50 do +250°C max 430°C

## □ Bakar

- $\rho = 0.017 \mu\Omega\text{m}$
- $\alpha = 0.0042 \text{ do } 0.0427 \text{ } 1/^{\circ}\text{C}$
- Opseg -50 do +180°C max 260°C

# Linearnost transmitera

---



# Primer izračunavanja otpotnosti dužine kabla

---

- Poprečni presek kabla –  $0.5\text{mm}^2$
- Otpornost:  $0.0017\Omega\text{mm}^2$  po m
- Dužina kabla 100m
- Materijal kabla: bakar
- $R = 6.8\Omega$
- Otpor od  $6.8\Omega$  kod PT100 odgovara promeni temperature od  $17^\circ\text{C}$

# Spoj termootpornika i transmitera

---

## ☐ Dvožični:

- Greška usled otpornosti provodnika

## ☐ Trožični:

- Kompenzacija otpornosti provodnika, ali sve tri žice moraju biti isti provodnici, iste dužine

## ☐ Četvorožični:

- Dve žice služe za "napajanje" termootpornika, na njima dolazi do pada napona
- Dve žice služe za merenje napona na samom termootporniku, kroz njih ne teče struja pa nema ni pada napona