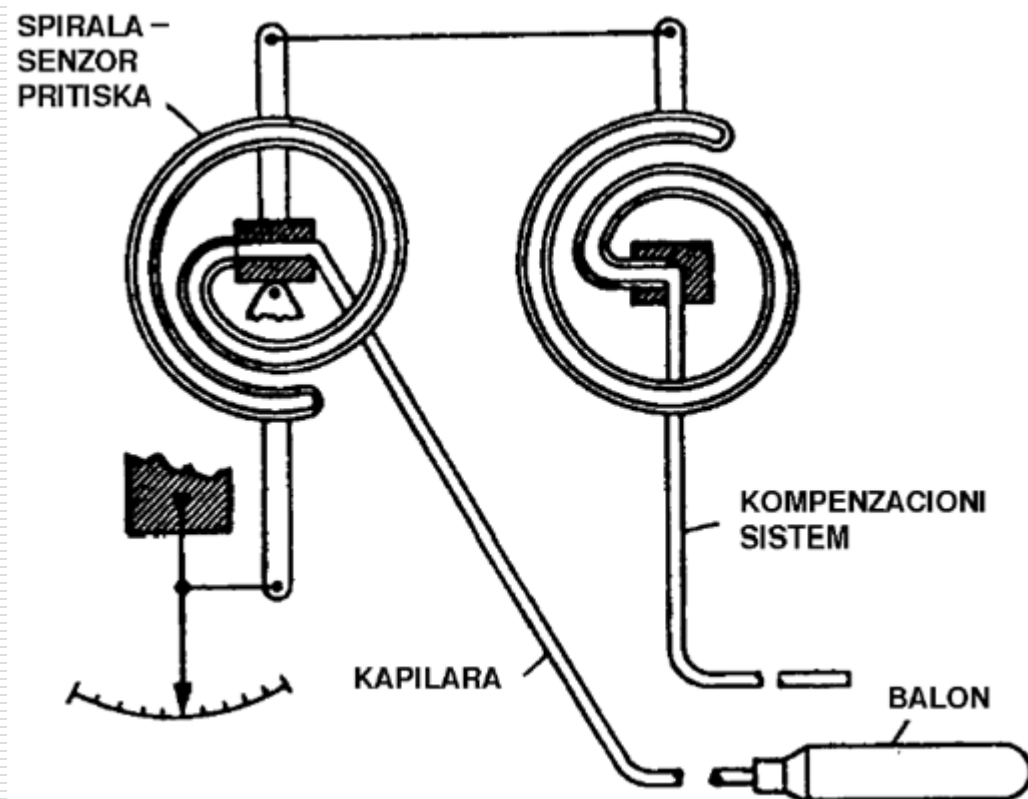


# SENZORI TEMPERATURE

---

Merenje temperature

# Ekspanzioni senzori temperature – gasni



Jednačina stanja idealnog gasa:

$$pV=nRT$$

$p$  – apsolutni pritisak gasa

$V$  – zapremina gasa

$T$  – temperatura gasa u K

$n$  – broj molova gasa

$R$  – univerzalna gasn konstanta

Ako imamo istu količinu gasa  
čija se zapremina ne menja:

$n=\text{const.}, V=\text{const.}$

$$p = \frac{nR}{V} T = kT$$

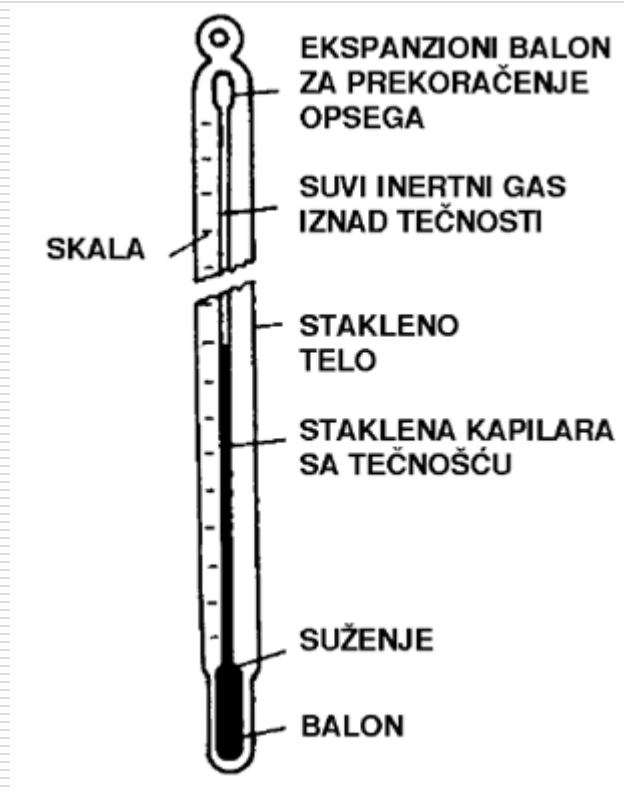
na  $0^{\circ}\text{C} \rightarrow p_0 = k \cdot 273.15$

na  $T[^{\circ}\text{C}] \rightarrow p_t = k \cdot (273.15 + T[^{\circ}\text{C}])$

$$p_t = p_0 + k \cdot T[^{\circ}\text{C}] = p_0(1 + \alpha \cdot T[^{\circ}\text{C}])$$

$$\alpha = k/p_0 = 1/273.15\text{K}^{-1}$$

# Ekspanzioni senzori temperature sa tečnošću

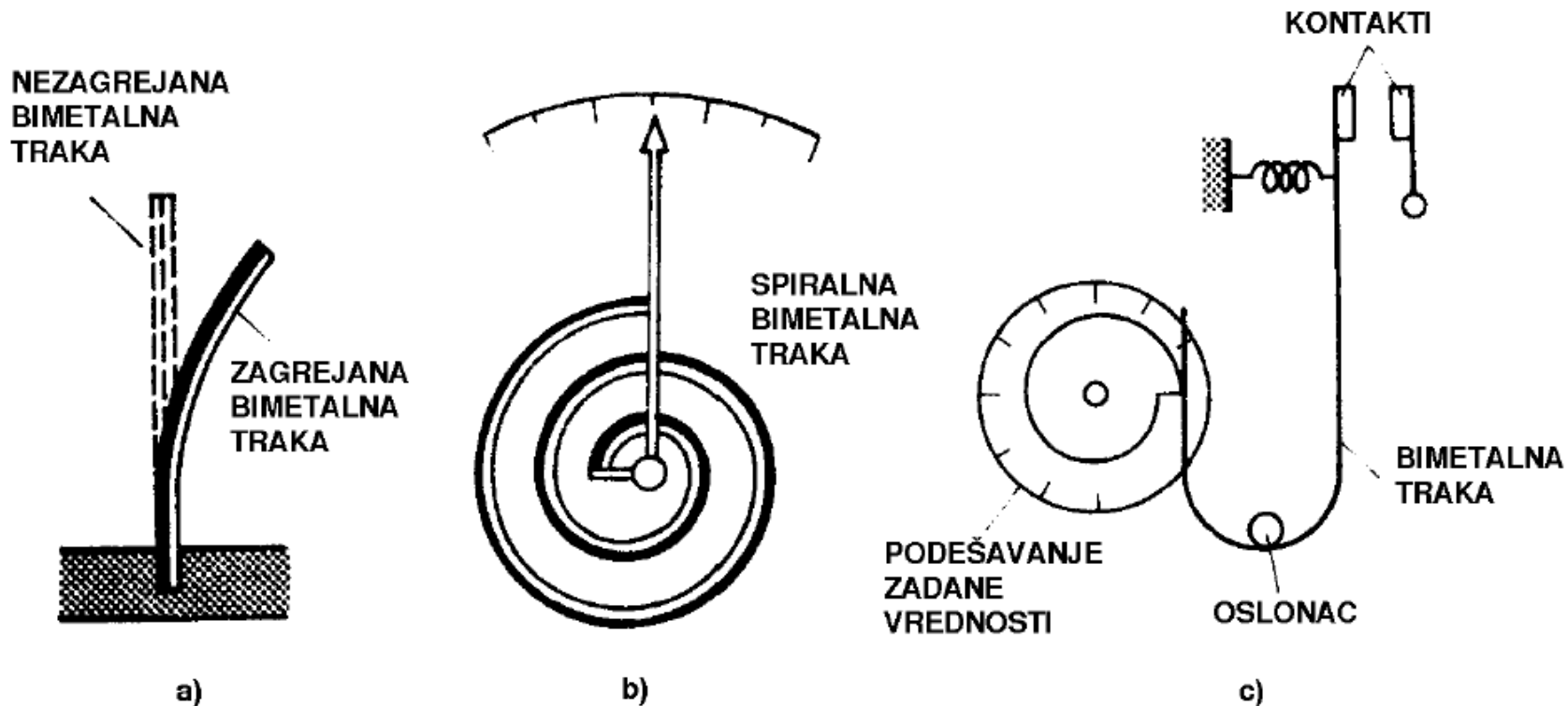


Sistemske greške:

- ❑ Drift nule zbog termičkih svojstava stakla i njegovog starenja
- ❑ Nepotpuna potopljenost senzora u mernom medijumu, tako da je nepotopljeni deo izložen uticaju okoline
- ❑ Nejednakost poprečnog preseka staklene kapilare

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

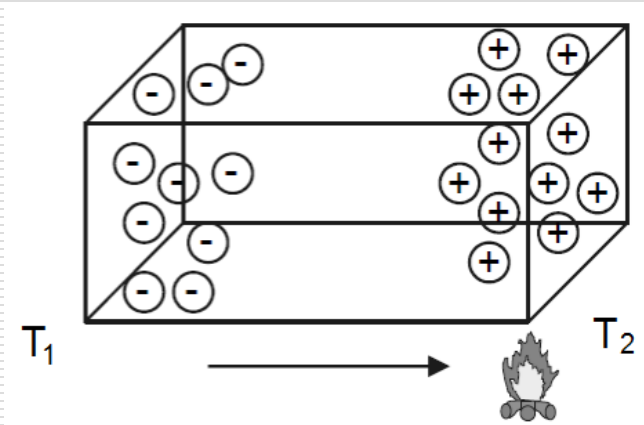
# Bimetalni senzori temperature



- ❑ Prave se spajanjem dva različita metala koji imaju različit koeficijent linearnog širenja
- ❑ Pri porastu temperature bimetalna traka se savija na stranu metala sa manjim koeficijentom linearnog širenja

# Termoparovi

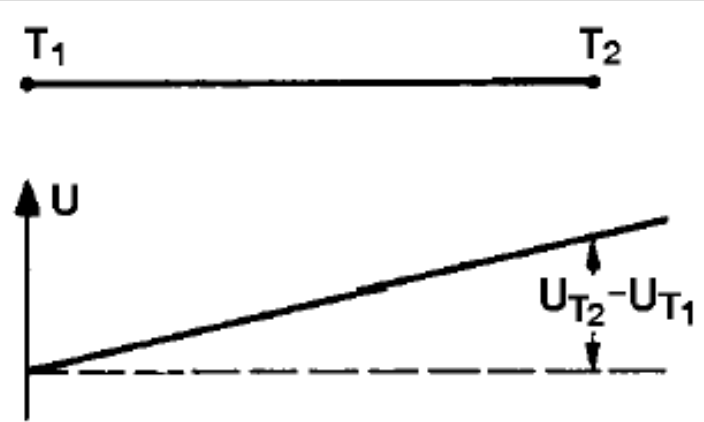
## termoelektrični potencijal 2/2



- ❑ Kada se homogeni provodnik zagreva lokalno, koncentracija slobodnih elektrona nije ista na svakom mestu u materijalu
- ❑ Slobodni elektroni traže tačku sa minimumom energije i sakupljaju se na hladnijem kraju
- ❑ Topliji kraj postaje pozitivnije naelektrisan u odnosu na hladniji
- ❑ Na određenoj razlici temperatura dolazi do dinamičkog ekvilibrijuma; termički napon koji je generisan kreira električno polje koje se suprotstavlja difuziji elektrona
- ❑ Napon između dve tačke je proporcionalan razlici temperatura

# Termoparovi

## termoelektrični potencijal 2/2



$$dU = K(T)dT$$

$$U_{T_2} - U_{T_1} = \int_{T_1}^{T_2} K(T)dT$$

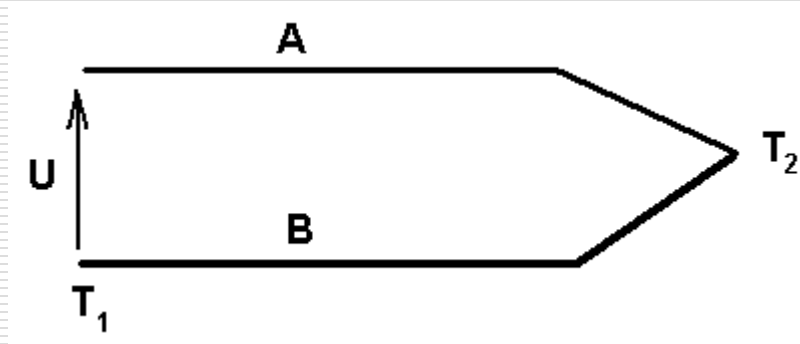
$K(T)$  – Seebeck-ov koeficijent

Za male promene temperature:

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

# Termopar

---



- ❑ A i B različiti materijali
- ❑  $T_1$  hladan kraj,  $T_2$  topao kraj
- ❑  $U = U_B(T_2, T_1) - U_A(T_2, T_1)$
- ❑  $U = K_B(T_2 - T_1) - K_A(T_2 - T_1) = \alpha(T_2 - T_1)$
- ❑ Relativni Seebeck-ov koeficijent  $\alpha = K_B - K_A$

# Termoelektrični niz materijala u odnosu na platinu

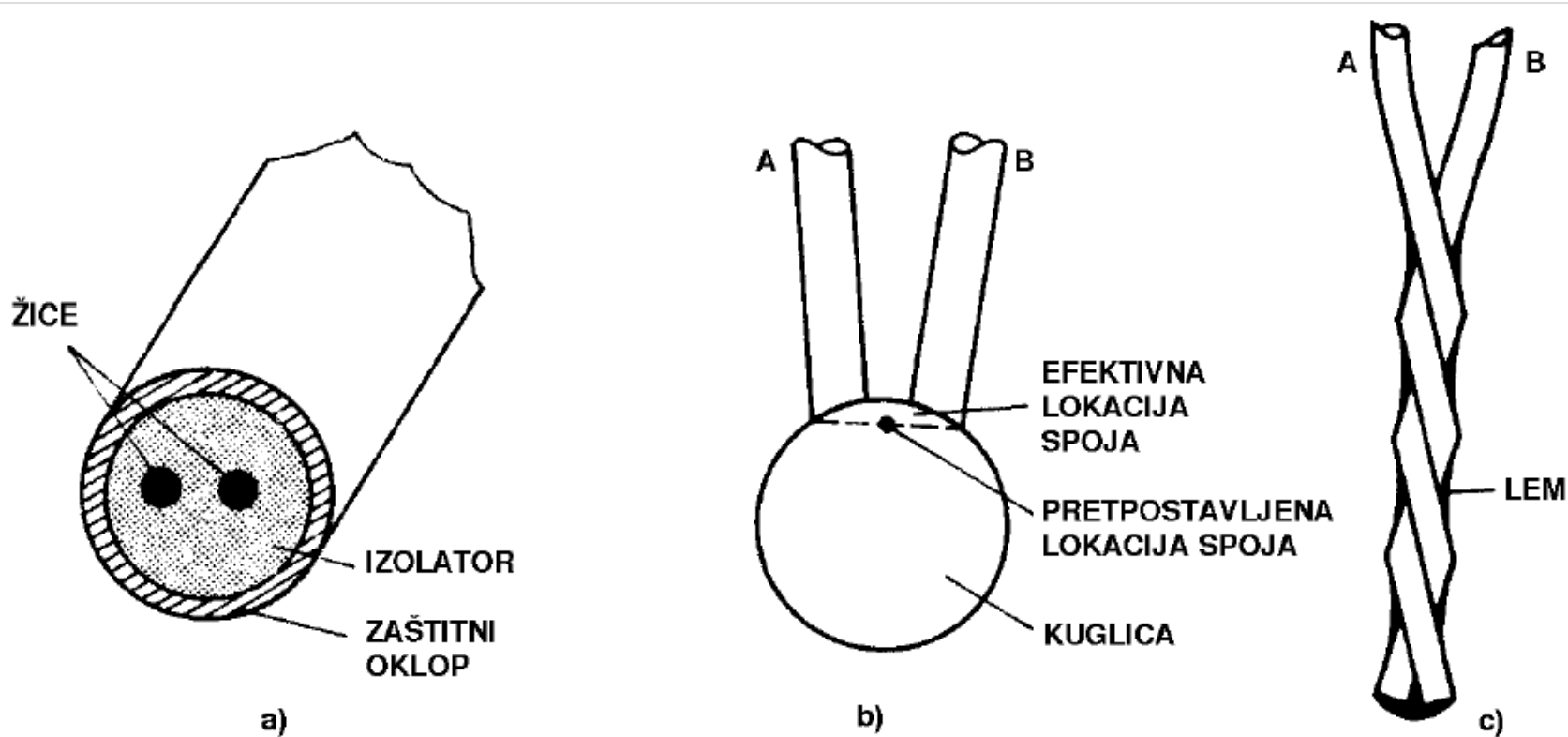
- Za relativno poređenje materijala koristan je tzv. termoelektrični niz, koji pokazuje koliki je termoelektrični napon  $\mu\text{V}/^\circ\text{C}$  za neki materijal u spoju sa platinom, kada je hladni kraj na  $0^\circ\text{C}$ , a topli kraj na  $100^\circ\text{C}$

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

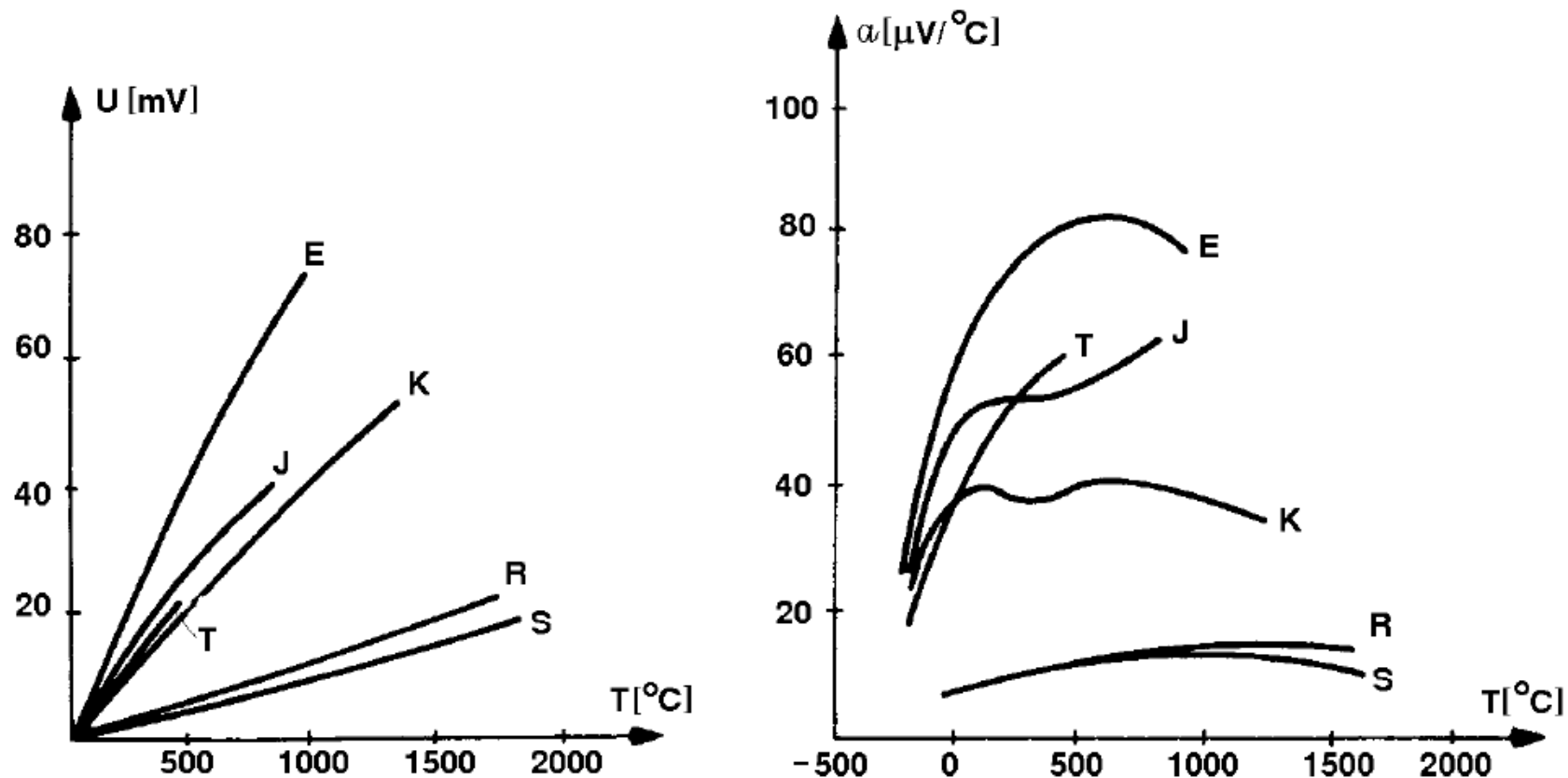


# Načini spajanja

---

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

# Statičke karakteristike termoparova



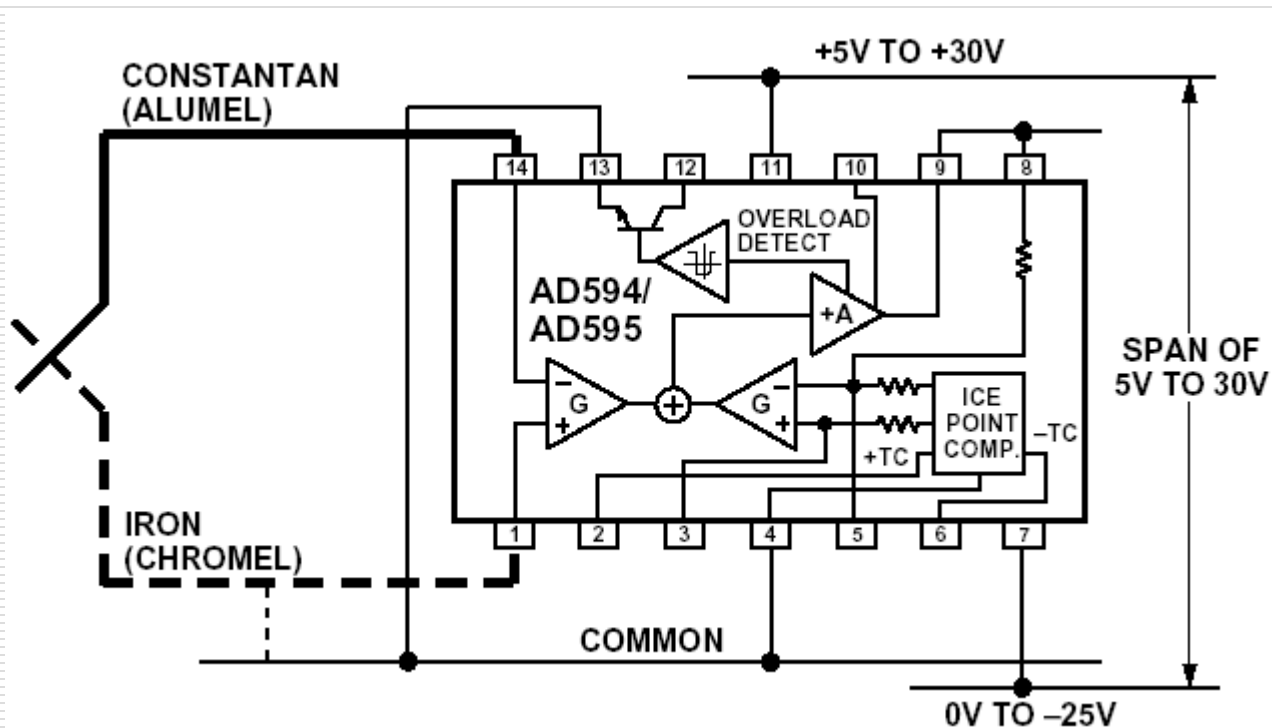
# Karakteristike termopara

---

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

# Pojačavač AD594/AD595

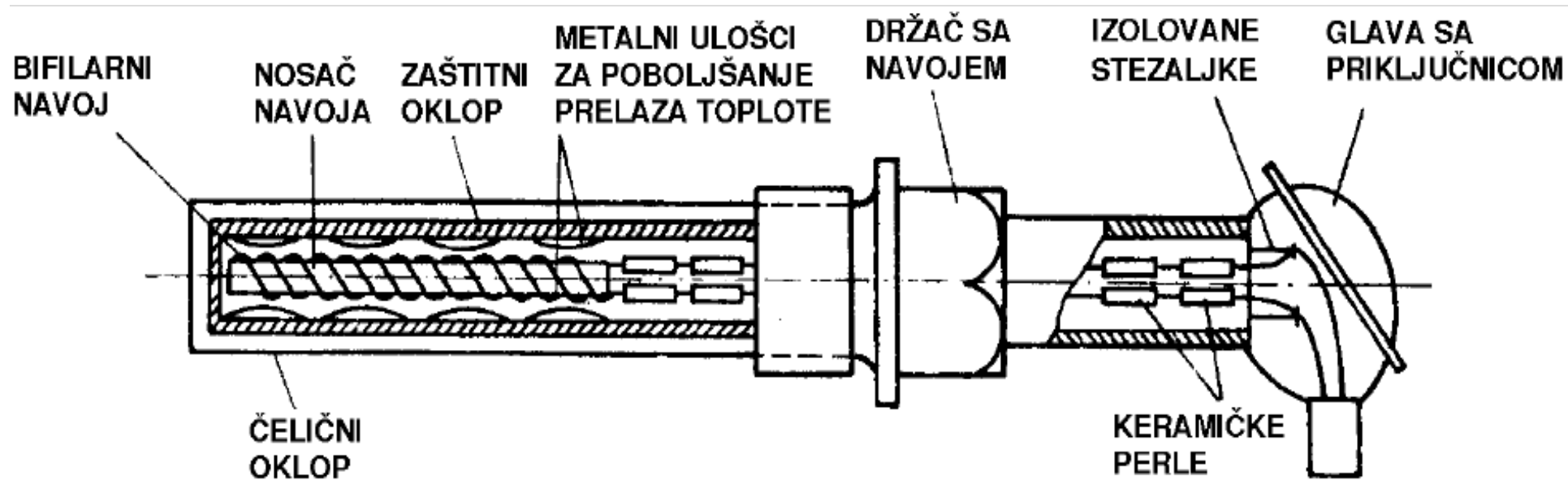
- Koristi se za implementaciju transmitera za termopar
- Pojačava signal i vrši kompenzaciju temperature hladnog kraja



kompenzovani signal :  $U(T_2, T_{ref}) = U(T_2, T_1) + U(T_1, T_{ref})$

# Otpornički senzori temperature

---



# Karakteristika metalnog termootpornika

---

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

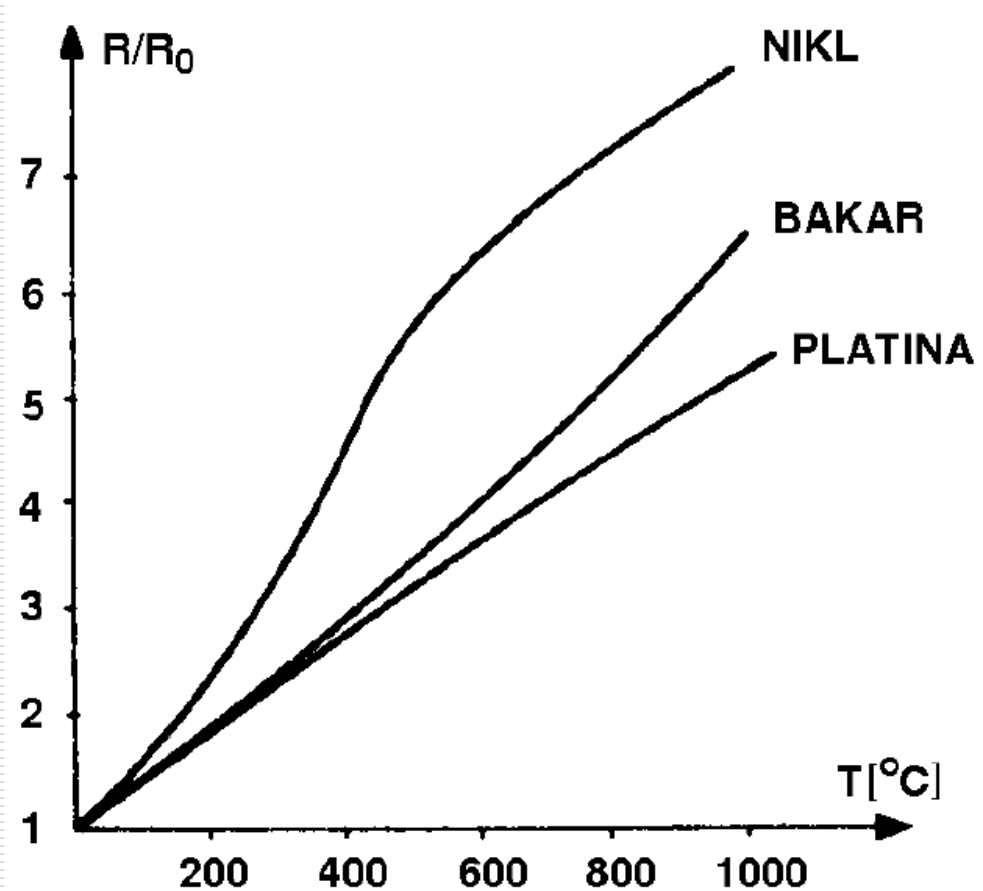
$$R_T(T) = R_0 + R_0 \alpha \left[ T - \delta \left( \frac{T}{100} - 1 \right) \frac{T}{100} - \beta \left( \frac{T}{100} - 1 \right) \left( \frac{T}{100} \right)^3 \right]$$

- ❑ Pasivan senzor temperature
  - ❑ Kroz njega mora da prolazi struja kako bi se odredila otpornost
  - ❑ Prolaskom struje kroz termootpornik nastaje Džulova toplota koja ga dodatno zagreva i dovodi do sistemske greske merenja



# 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

---

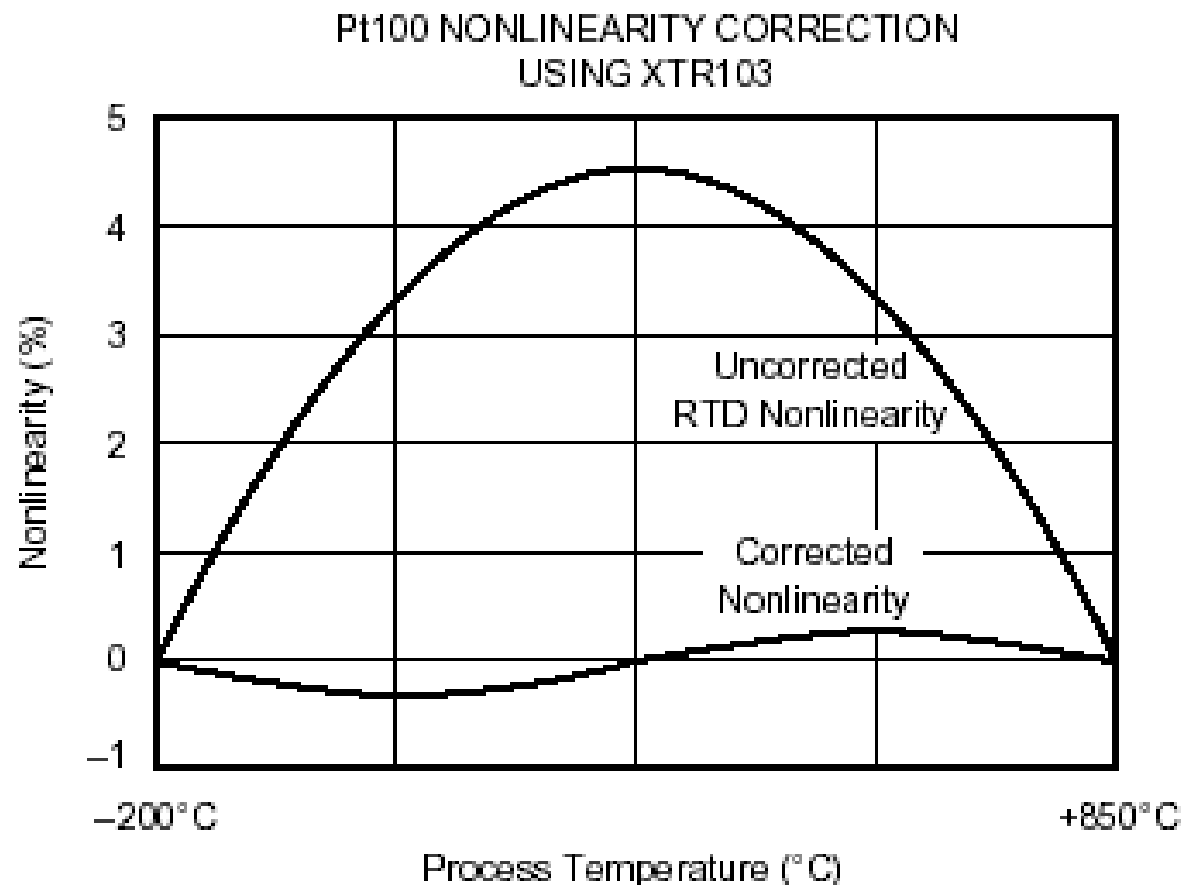
## ☐ Nikl

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

## ☐ Bakar

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

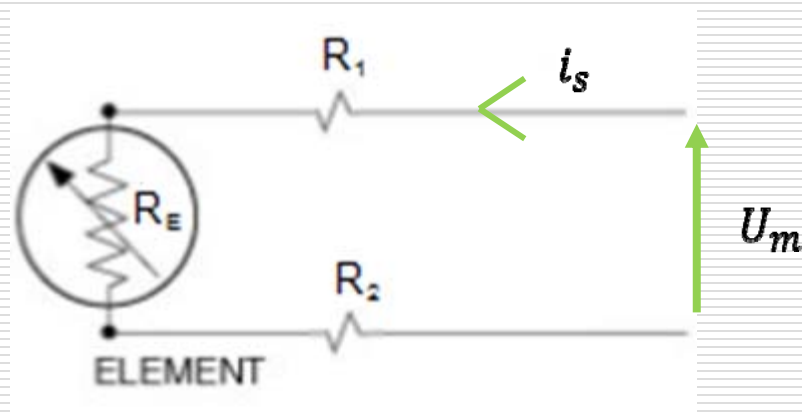
# Korekcija linearizacije karakteristike Pt100 u transmiteru



# Spoj termootpornika i transmitera

## □ Dvožični:

- Greška usled otpornosti provodnika



$$R_m = \frac{U_m}{i_s}$$
$$R_m = R_E + R_1 + R_2$$

# Primer izračunavanja otpotnosti dužine kabla

---

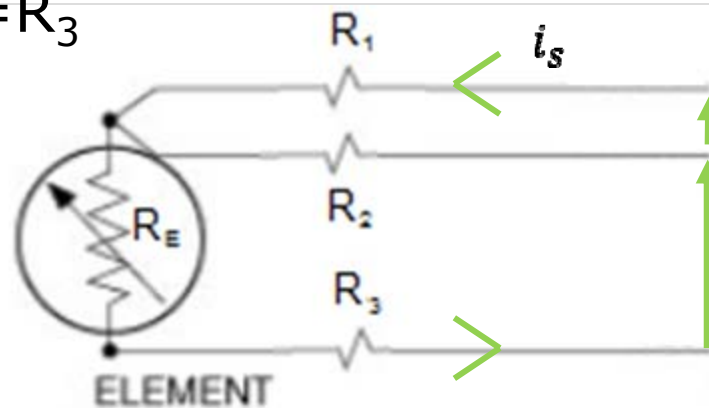
- ❑ Poprečni presek kabla – 0.5mm<sup>2</sup>
- ❑ Materijal kabla: bakar
- ❑ Otpornost: 0.017Ωmm<sup>2</sup>/m
- ❑ Dužina kabla 100m
- ❑  $R = 2 \cdot 100\text{m} \frac{0.017\Omega\text{mm}^2/\text{m}}{0.5 \text{ mm}^2} = 6.8\Omega$
- ❑ Otpor od 6.8Ω kod PT100 odgovara promeni temperature od 17C

# Spoj termootpornika i transmitera

## □ Trožični:

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

$$R_1 = R_2 = R_3$$



$$U_{m2} = i_s R_1 = i_s R$$

$$U_{m1} = i_s (R_E + R_3) = i_s (R_E + R)$$

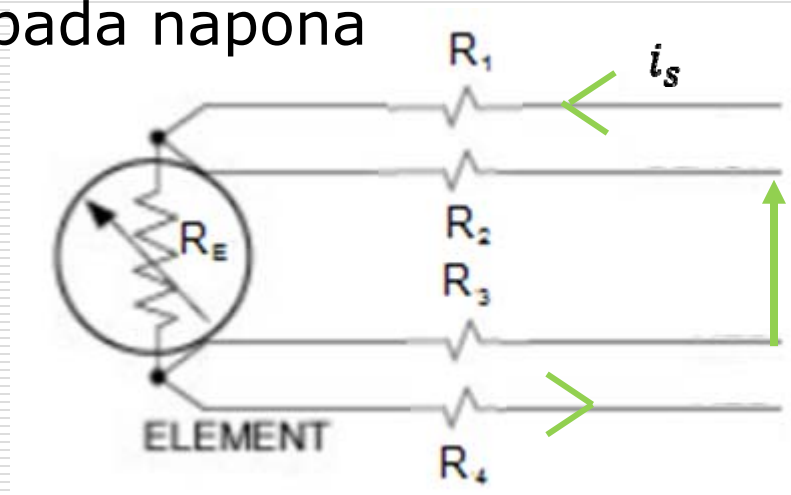
$$U_m = U_{m1} - U_{m2} = i_s R_E$$

$$R_m = \frac{U_m}{i_s} = R_E$$

# Spoj termootpornika i transmitera

## □ 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



$$U_m = i_s R_E$$
$$R_m = \frac{U_m}{i_s} = R_E$$