



Funded by  
the European Union

# Senzori Temperature

Author: prof.dr. Hazim Bašić  
Univerzitet Džemal Bijedić  
Mašinski fakultet Mostar

Sensor Systems 15.04.2025

"Funded by the European Union. Views and opinions expressed are however those of the author(s) only and do not necessarily reflect those of the European Union or the European Education and Culture Executive Agency (EACEA). Neither the European Union nor EACEA can be held responsible for them."

**Partnership for Promotion and Popularization of Electrical Mobility through  
Transformation and Modernization of WB HEIs Study Programs/PELMOB**

Call: ERASMUS-EDU-2022-CBHE-STRAND-2

Project Number: 101082860

# Sadržaj

- Termoparovi
  - Pregled, referentna spojnica, pravilno povezivanje, tipovi, specijalni vodiči s ograničenom greškom, vremenske konstante, omotači, potencijalni problemi
- RTD senzori
  - Pregled, mostovi, kalibracija, tačnost, vrijeme odziva, potencijalni problemi
- Termistori
- Infracrvena termometrija
  - Osnovni principi, određivanje emisivnosti, vidno polje
- Kako odabrati senzor
  - Standardi, cijena, tačnost, stabilnost, osjetljivost, veličina, kontaktni / beskontaktni, temperaturni opseg, vrsta fluida

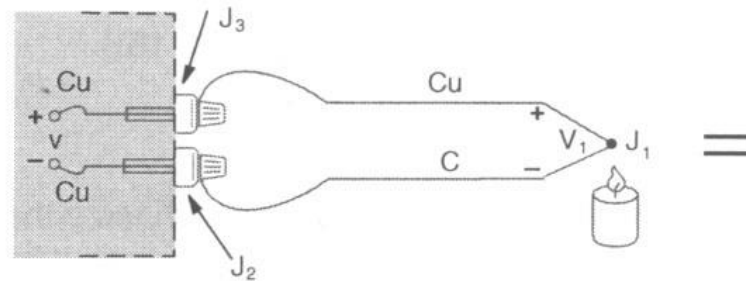
# Termoparovi

- Seebeckov efekat
- Ako se dva provodnika od različitih metala spoje na oba kraja i jedan kraj se zagrije, **poteći će struja**
- Ako je strujni krug prekinut, između žica će postojati napon otvorenog kola
- Napon je funkcija temperature i vrste metala.
- Za male promjene temperature ( $\Delta T$ ), odnos s temperaturom je linearan

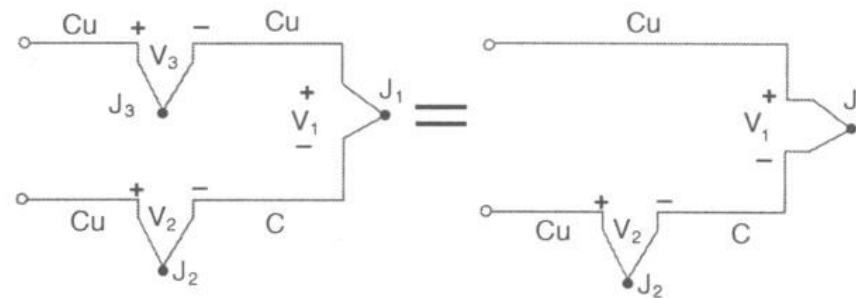
$$\Delta V = \alpha \Delta T$$

- Za veće promjene temperature mogu se pojaviti nelinearnosti

# Mjerenje napona termopara



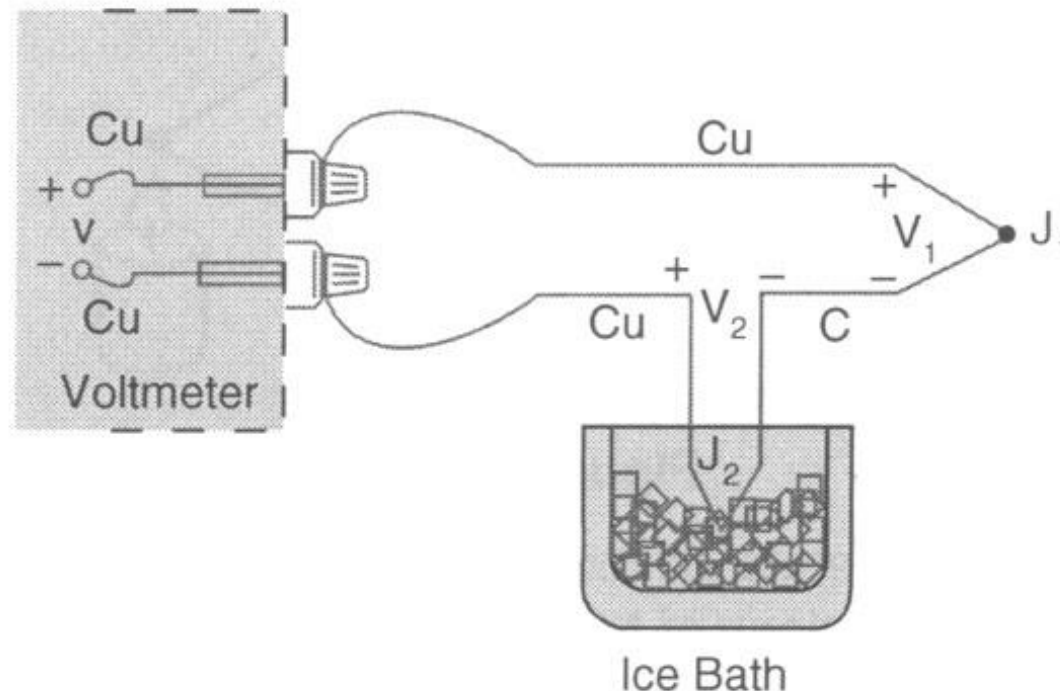
EQUIVALENT CIRCUITS



- Prikazani napon bit će proporcionalan razlici između J1 i J2 (tj. između T1 i T2)
- Tipični primjer: „Tip T“ termopar

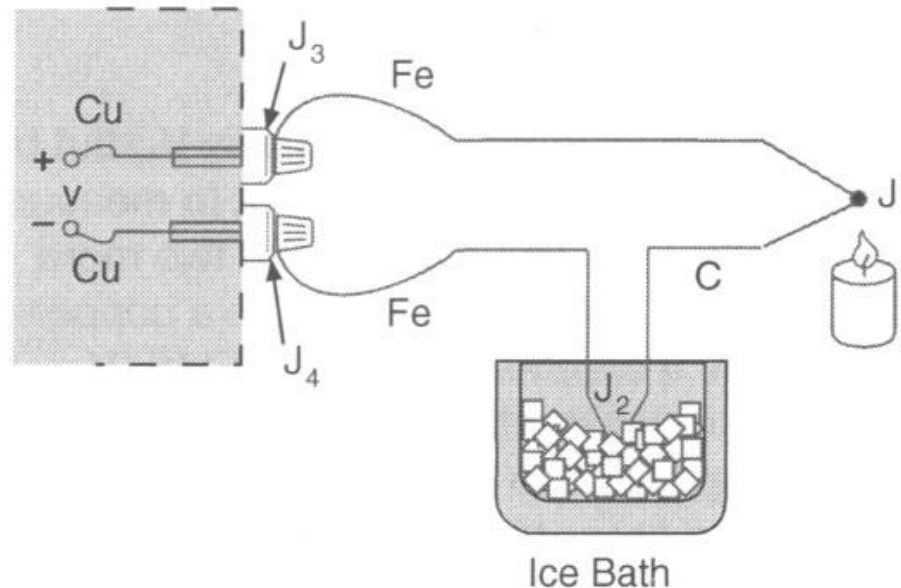
# Vanjska referentna temperatura

Rješenje za tačnije mjerenje je postavljanje  $J_2$  u ledenu kupku, jer tada  $T_2$  postaje poznata vrijednost, a izlazni napon zavisi od  $T_1 - T_2$



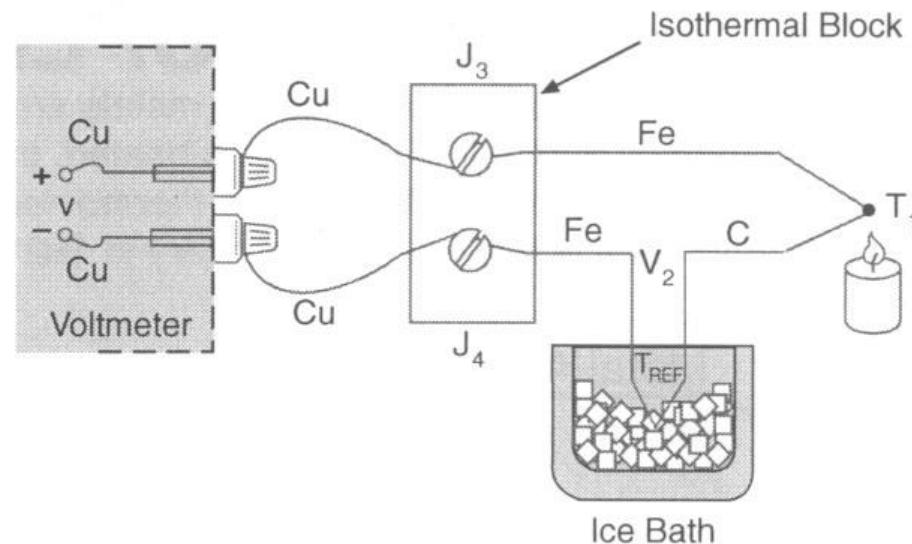
# Ostali tipovi termoparova

- Mnogi termoparovi nemaju bakrenu žicu. Na slici je prikazan termopar tipa 'J'
- Ako dva terminala (J3, J4) nisu na istoj temperaturi, to također može uzrokovati grešku



# Izotermni blok

- Blok je električni izolator, ali dobar provodnik toplote. Na taj način naponi za J3 i J4 se poništavaju. Postavke za prikupljanje podataka termoparom uključuju ove izotermne blokove.
- Ako se eliminira ledena kupka, tada je temperatura izotermnog bloka referentna temperatura



# Softverska kompenzacija

- Kako se može odrediti temperaturu bloka? Koristiti termister ili RTD.
- Kada je temperatura poznata, napon povezan s tom temperaturom može se oduzeti.
- Zašto onda uopće koristiti termoelemente?
- Termoparovi su jeftiniji, manji, fleksibilniji i robusniji i rade u širem temperaturnom rasponu.
- Većina sistema za prikupljanje podataka ima ugrađenu softversku kompenzaciju. Prilikom upotreba Labview, mora se znati da li je u pitanju termister ili RTD.

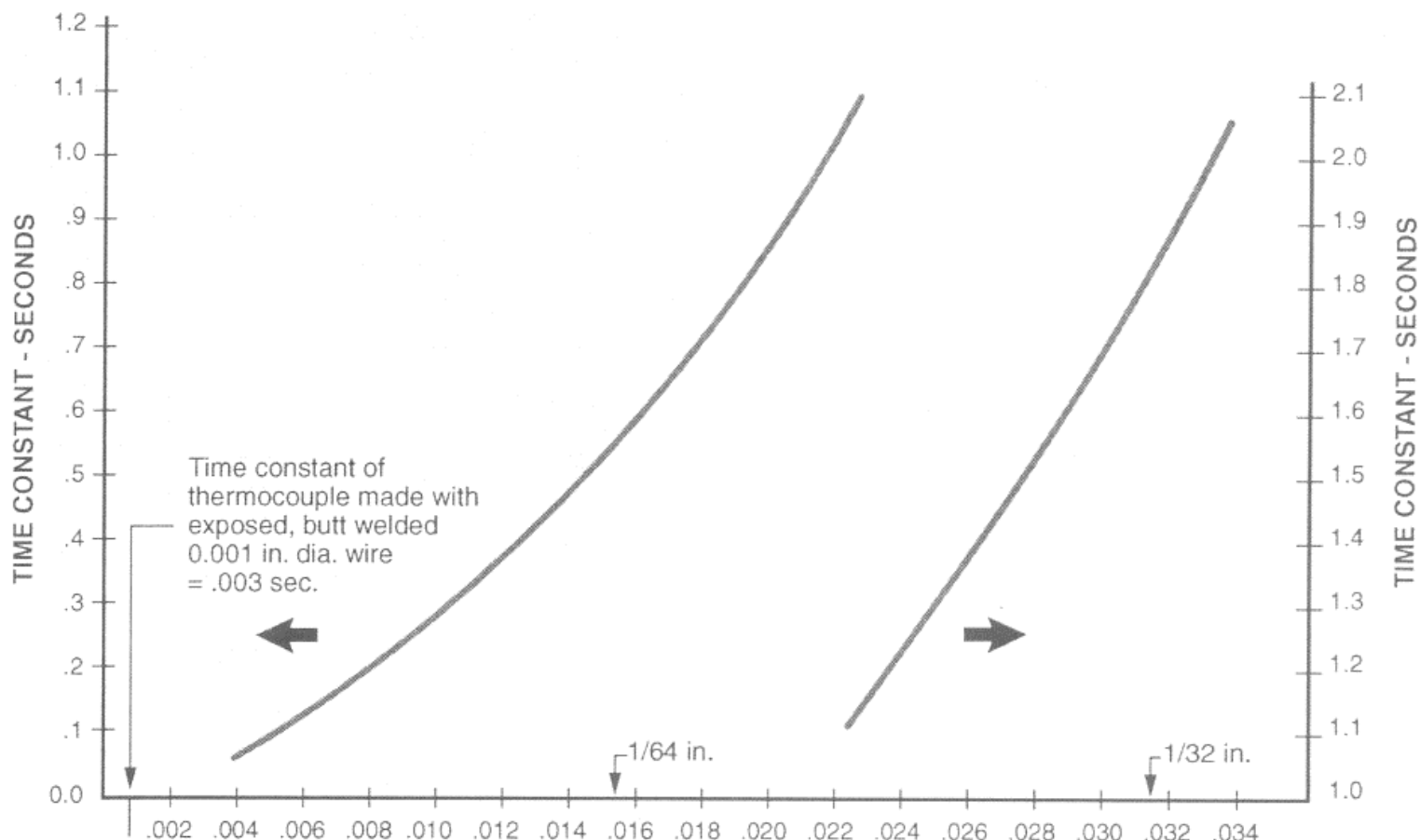
# Hardverska kompenzacija

- Kod **hardverske kompenzacije** ponovo se mjeri temperatura izotermnog bloka, a zatim se koristi baterija za poništavanje napona referentne kupke.
- Ovo se takođe naziva „**elektronska referentna tačka leda**“. Uz ovu referencu, može se koristiti normalni voltmetar umjesto čitača termoelementa. Potrebna je posebna referenca ledene tačke za svaki tip termoelementa.

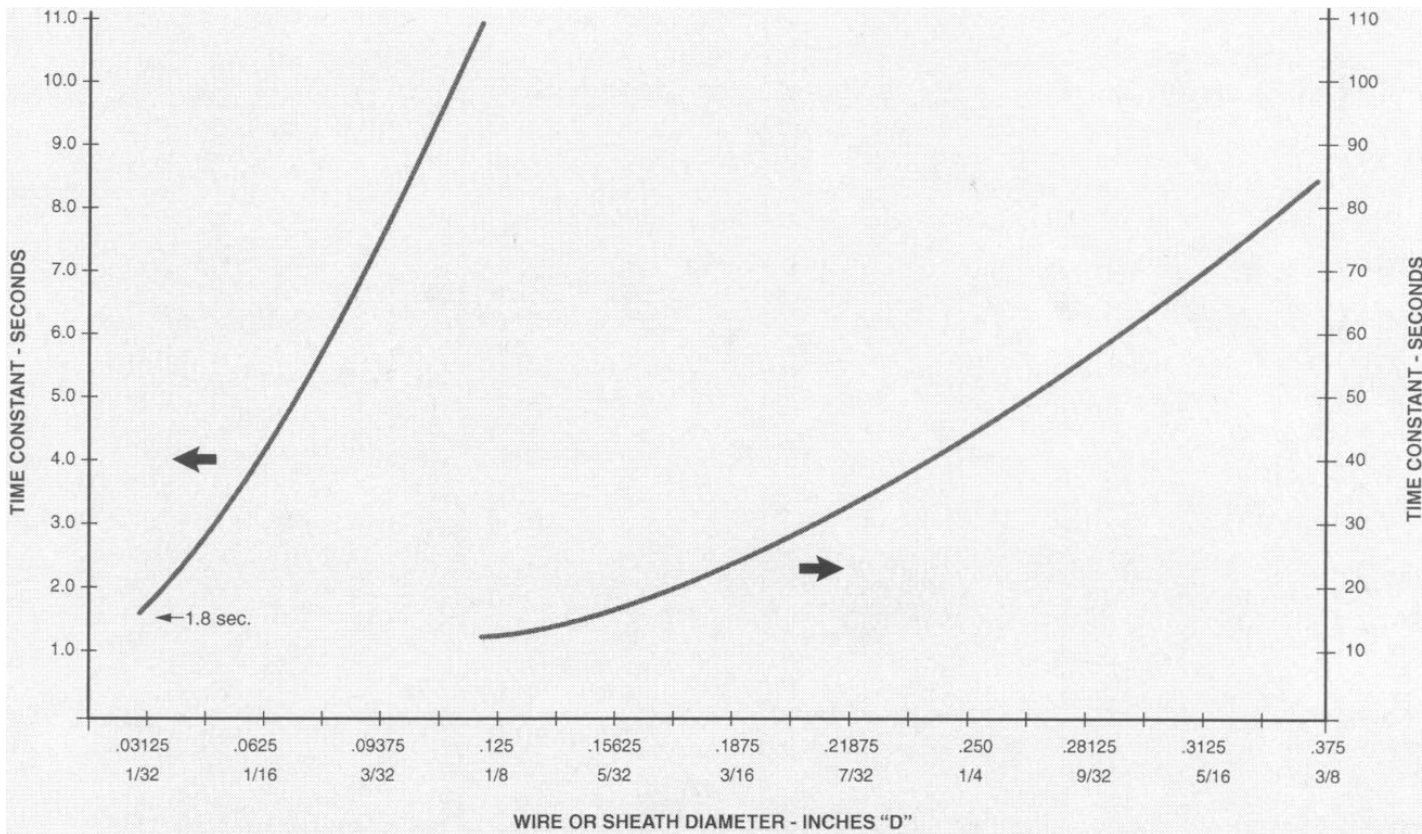
# Izrada spojeva termoparova

- **Lemljenje**, tvrdo (srebreno) lemljenje, plinsko zavarivanje, uvrtnje i presovanje su prihvatljive metode
- Treći uvedeni metal ne utiče na rezultate sve dok je temperatura svuda u spoju ista
- **Zavarivanje** treba obaviti pažljivo kako ne bi došlo do oštećenja metala
- Moguća je upotreba zavarivača za termoelemente; krajevi žica se stavljaju u odgovarajući otvor i pritiskom dugmeta se izvrši zavarivanje

# Vremenska konstanta u odnosu na prečnik žice



# Vremenska konstanta u odnosu na prečnik žice



# Tipovi termoparova

Thermocouple Types			
Type	Conductor Combination	Temperature Range	
		°F	°C
B	Platinum 30% Rhodium / Platinum 6% Rhodium	2500 to 3100	1370 to 1700
E	Nickel-chromium / Constantan	32 to 1600	0 to 870
J	Iron / Constantan	32 to 1400	0 to 760
K	Nickel-chromium / Nickel-aluminium	32 to 2300	0 to 1260
N	Nicrosil / Nisil	32 to 2300	0 to 1260
R	Platinum 13% Rhodium / Platinum	1600 to 2640	870 to 1450
S	Platinum 10% Rhodium / Platinum	1800 to 2640	980 to 1450
T	Copper / Constantan	-75 to +700	-59 to +370

[www.Control and Instrumentation.com](http://www.Control and Instrumentation.com)

# Tipovi termoparova

- **Tip B** – veoma nepouzdan ispod 50°C; temperatura referentne spojnice nije važna jer je izlazni napon gotovo isti od 0 do 42 °C.
- **Type E** – dobar za niske temperature jer je  $dV/dT$  (a) visok za niske temperature
- **Tip J** – jeftin jer je jedan provodnik od željeza; visoka osjetljivost, ali i velika nesigurnost zbog nečistoća u željezu
- **Tip T** – dobra tačnost ali niska maksimalna temperatura (400 °C); jedan vod je bakar, što olakšava povezivanje; paziti da se toplina provodi duž bakrene žice
- **Tip K** – popularan jer ima solidnu tačnost i širok temperaturni opseg, ali s vremenom može doći do nestabilnosti
- **Tip N** – najstabilniji tokom vremena kada su izloženi povišenim temperaturama tokom dužeg perioda

# Obloga

- Obloga žica ih štiti od okoline (lom, oksidacija, itd.) i štiti ih od električnih smetnji.
- Plašt treba da se u potpunosti proteže kroz medij od interesa. Izvan medija od interesa može se smanjiti.
- Ponekad je perla izložena i samo je žica pokrivena omotačem. U težim okruženjima, perla je takođe pokrivena. Ovo će povećati vremensku konstantu.
- Platinske žice treba da budu obložene nemetalnim omotačem jer imaju problem sa difuzijom metalne pare na visokim temperaturama.

# Potencijalni problemi

## Loša konstrukcija perli

- Zavar je promijenio karakteristike materijala jer je temp. bila previsoka.
- Velika perla za lemljenje sa temperaturnim gradijentom preko njega

## Dekalibracija

- Ako se termoelementi koriste za vrlo visoke ili niske temperature, svojstva žice se mogu promijeniti zbog difuzije izolacije ili čestica atmosfere u žicu, hladne obrade ili žarenja.
- Nehomogenosti u žici; posebno su uticajnije u područjima sa velikim temperaturnim gradijentom (uobičajeno u gvožđu). Metalne navlake mogu pomoći u smanjenju njihovog utjecaja na

# Potencijalni problemi

## Provođenje duž žice termoelementa

- U područjima velikog temperaturnog gradijenta, toplina se može provoditi duž žice termoelementa, mijenjajući temperaturu spoja.
- Žice malog prečnika provode manje ove toplote.
- Termoparovi tipa T imaju više problema s ovim nego većina drugih tipova, jer je jedan od vodova napravljen od bakra koji ima visoku toplotnu provodljivost.

## Netačna ledena tačka

# Potencijalni problemi

## Galvansko djelovanje

- Boje u nekim izolacijama stvaraju elektrolit u vodi. Ovo stvara galvansko djelovanje s rezultirajućom strujom potencijalno mnogo puta većom od termoelementa. Potrebno je koristiti odgovarajući štitnik za vlažno okruženje.
- Termoparovi tipa “T” imaju manje problema s ovim.