



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. Neither the European Union nor the granting authority can be."

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 spojница, 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

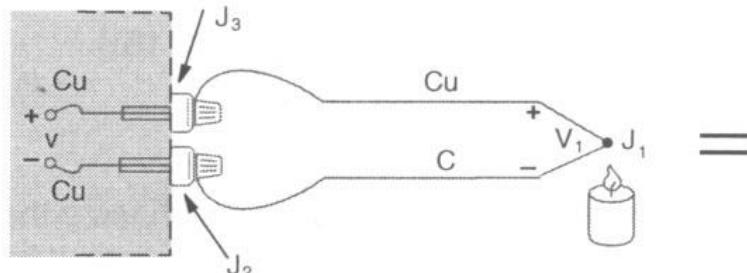
Termoparovi

- 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 (ΔT), odnos s temperaturom je linearan

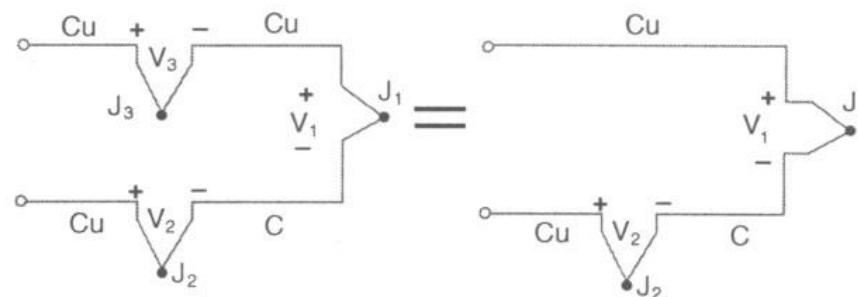
$$\Delta V = \alpha \Delta T$$

- Za veće promjene temperature mogu se pojaviti nelinearnosti

Mjerenje napona termopara



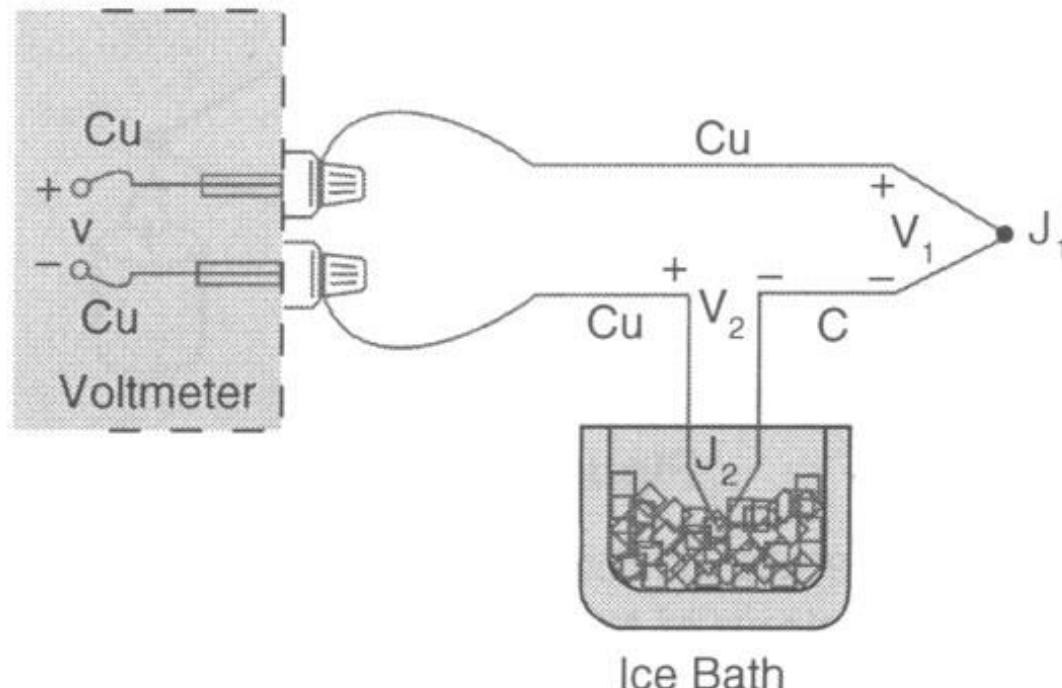
EQUIVALENT CIRCUITS



- Prikazani napon bit će proporcionalan razlici između J_1 i J_2 (tj. između T_1 i T_2)
- Tipični primjer: „Tip T“ termopar

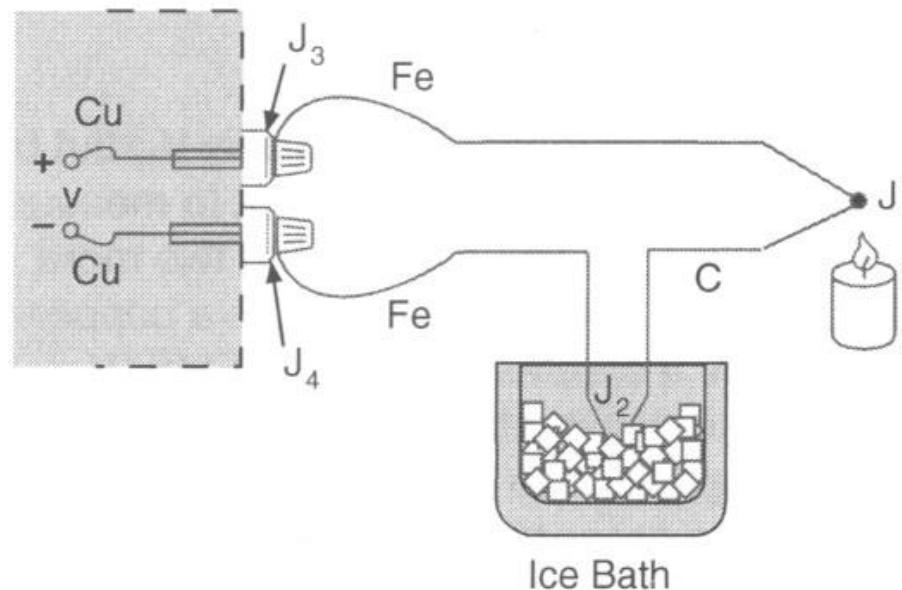
Vanjska referentna temperatura

Rješenje za tačnije mjerjenje je postavljanje J2 u ledenu kupku, jer tada T2 postaje poznata vrijednost, a izlazni napon zavisi od T1 - T2



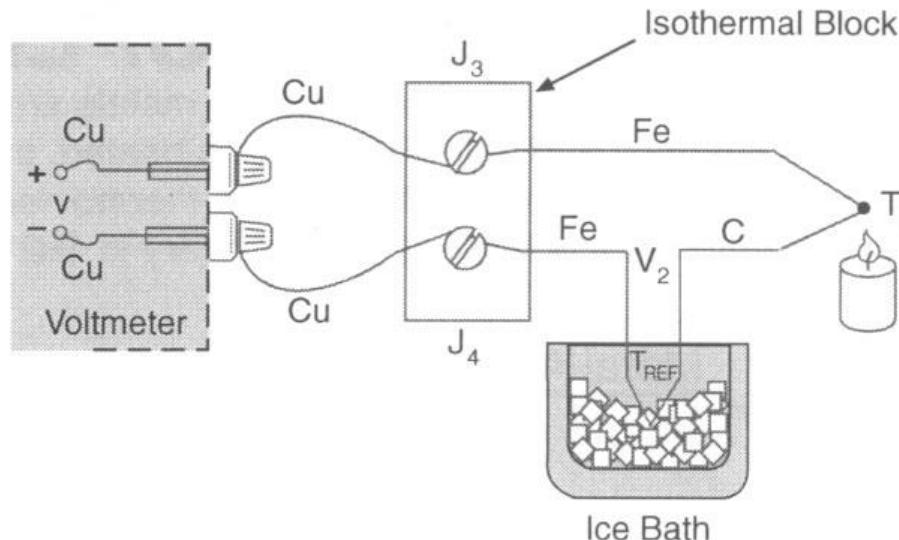
Ostali tipovi termoparova

- Mnogi termoparovi nemaju bakrenu žicu. Na slici je prikazan termopar tipa 'J'
- Ako dva terminala (J_3 , J_4) nisu na istoj temperaturi, to također može uzrokovati grešku



Izotermni blok

- Blok je električni izolator, ali dobar provodnik topline. Na taj način naponi za J_3 i J_4 se poništavaju. Postavke za prikupljanje podataka termoparom uključuju ove izotermne blokove.
- Ako se eliminira ledena kupka, tada je temperatura izoternog 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.

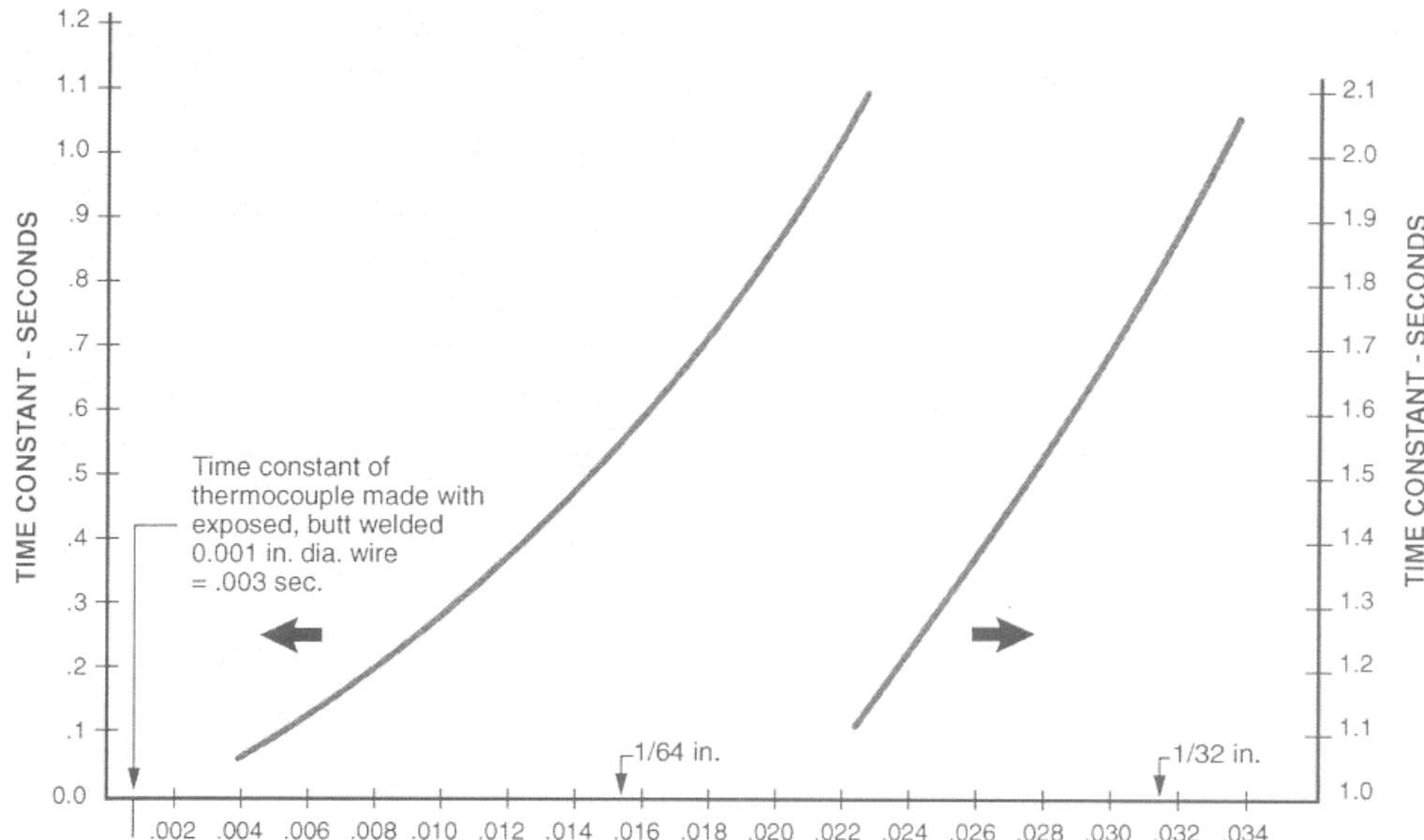
Hardverska kompenzacija

- Kod **hardverske kompenzacije** ponovo se mjeri temperatura izoternog 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.

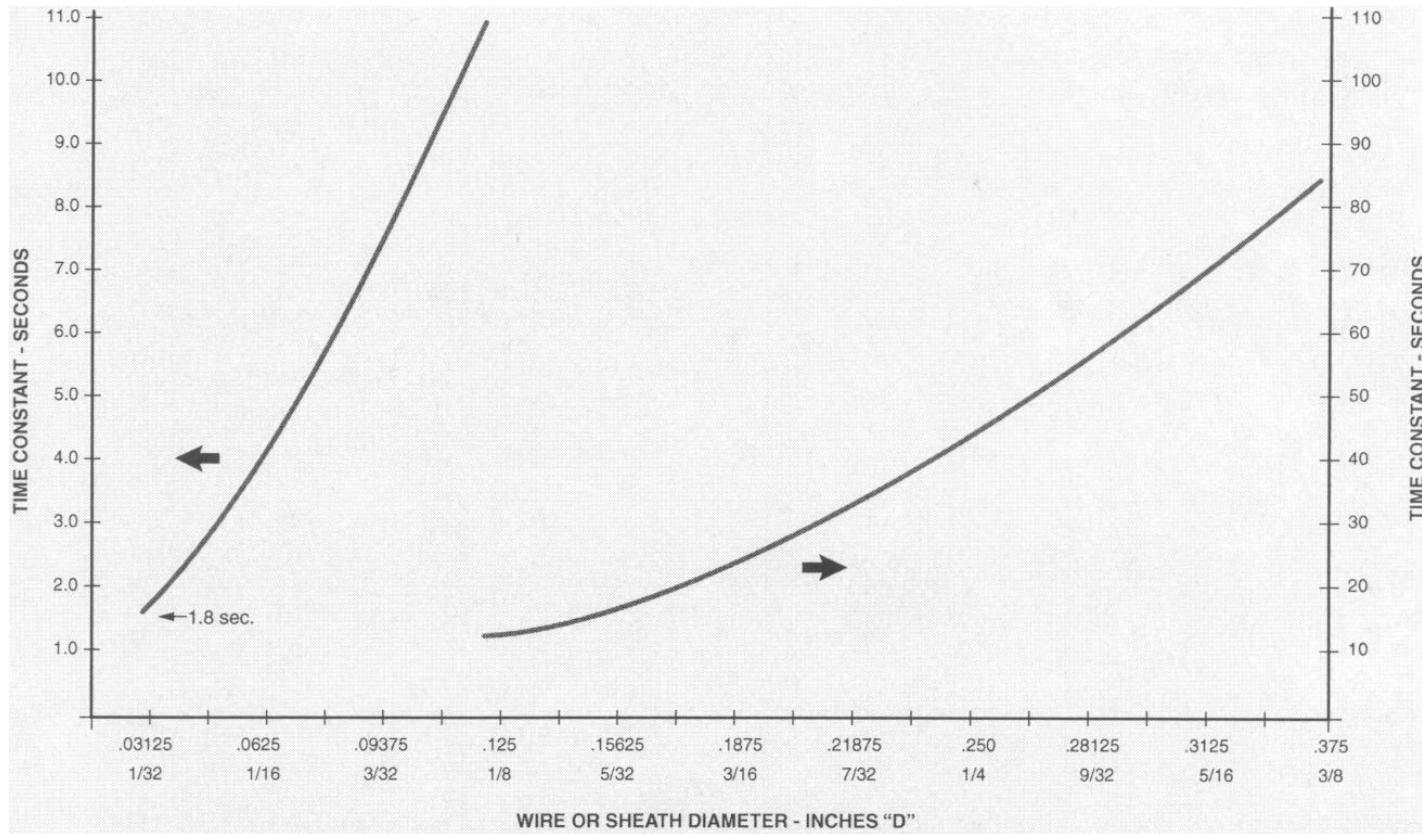
Izrada spojeva termoparova

- **Lemljenje**, tvrdo (srebreno) lemljenje, plinsko zavarivanje, uvrтанje 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 stavljuju 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.ControlandInstrumentation.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 temperturni 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 previšoka.
- 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 uticajne u područjima sa velikim temperaturnim gradijentom (uobičajeno u gvožđu). Metalne navlake mogu pomoći u smanjenju njihovog utjecaja na

Potencijalni problemi

Provodenje duž žice termoelementa

- U područjima velikog temperaturnog gradijenta, toplina se može provoditi duž žice termoelementa, mijenjajući temperaturu spoja.
- Žice malog prečnika provode manje ove toplotne.
- 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.