

Vaja 4: Merjenje temperature

Matej Bažec

14. november 2018

Povzetek

Spoznali bomo teoretične osnove merjenja temperature na štiri različne načine: s termočlenom, s senzorjem Pt-100, z NTC termistorjem in s termokamero. Pogledali si bomo, na kakšnih fizikalnih principih delujejo, jih preizkusili v praksi, jim določili karakteristiko in ocenili napako.

1 Uvod

Temperaturo znamo meriti že od Celsiusovih časov dalje. Zato ne preseneča, da imamo na razpolago cel kup naprav, ki temperaturo merijo. Namen te vaje je, da dobite pregled nad principi merjenja temperature in si ogledate štiri najpogostejše načine merjenja temperature; pri tem je izvzet termometer na razteznost tekočin (klasičen živosrebrni ali alkoholni termometer, ki ga ni treba posebej predstavljati).

1.1 Pregled načinov merjenja

Temperaturo lahko merimo s pomočjo fizikalnih sprememb, ki jih sprememba temperature povzroči. Najstarejši način merjenja temperature je temeljil na principu raztezanja in krčenja snovi. Praviloma se materiali raztezajo pri segrevanju (ni pa nujno - zelo pomembna izjema je voda tik nad lediščem). Tako poznamo tekočinske termometre, pri katerih se tekočina, ki je shranjena v bučki širi po tanki kapilari, saj se tekočini pri segrevanju volumen relativno manj spremeni.

V to kategorijo sodijo tudi plinski termometri, pri katerih pa se volumen znatno spremeni. Raje kot spremembo volumna merimo spremembo tlaka pri konstantni prostornini. Poznamo tudi termometre, ki izkoriščajo raztezanje trdnih teles. Najpogostejše so skonstruirani iz plasti dveh različnih materialov. Ker se ta različno širita, se začne plast ukrivljati. Plast lahko oblikujemo v polžasto obliko in jo priključimo na kazalec, ki nam kaže temperaturo. Pogostejša je uporaba bimetalnih trakov za termična stikala, ki se preklapljajo pri vnaprej dani temperaturi.

Kot pri ostalih meritvah, je tudi pri merjenju temperature težnja k pretvorbi na kakšno od električnih količin. V to kategorijo sodijo termočleni in termistorji - uporniki, pri katerih je upornost močno odvisna od temperature. Ker si bomo tovrstne termometre poglobljeje ogledali, se na tem mestu ne bomo spuščali v podrobnosti.

Ne smemo pozabiti niti na merjenje temperature s pomočjo termičnega sevanja. Tudi temu principu bomo posvetili več podrobnosti v posebnem poglavju.

2 Fizikalni principi in konstrukcija

2.1 Termočleni

Termočleni so spoji dveh različnih kovinskih (največkrat iz zlitin) žic. Če imata spoja različni temperaturi, se med njima pojavi električna napetost, ki je reda velikosti nekaj 10 μV na $^{\circ}\text{C}$. Pojavu pravimo Seebeckov efekt. V podrobnosti opisa tega efekta se ne bomo spuščali. Pomembno je, da vemo, da se med vozliščema

Termočleni so spoji dveh žic iz različnih kovin. Če sta spoja pri različnih temperaturah, se med njima ustvari električna napetost, ki je tem višja, čim višja je temperaturna razlika.

°C	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	°C
0	0.000	0.039	0.079	0.119	0.158	0.198	0.238	0.277	0.317	0.357	0.397	0
10	0.397	0.437	0.477	0.517	0.557	0.597	0.637	0.677	0.718	0.758	0.798	10
20	0.798	0.838	0.879	0.919	0.960	1.000	1.041	1.081	1.122	1.163	1.203	20
30	1.203	1.244	1.285	1.326	1.366	1.407	1.448	1.489	1.530	1.571	1.612	30
40	1.612	1.653	1.694	1.735	1.776	1.817	1.858	1.899	1.941	1.982	2.023	40
50	2.023	2.064	2.106	2.147	2.188	2.230	2.271	2.312	2.354	2.395	2.436	50
60	2.436	2.478	2.519	2.561	2.602	2.644	2.685	2.727	2.768	2.810	2.851	60
70	2.851	2.893	2.934	2.976	3.017	3.059	3.100	3.142	3.184	3.225	3.267	70
80	3.267	3.308	3.350	3.391	3.433	3.474	3.516	3.557	3.599	3.640	3.682	80
90	3.682	3.723	3.765	3.806	3.848	3.889	3.931	3.972	4.013	4.055	4.096	90

Tabela 1: Karakteristična funkcija za spoj tipa K (izsek). Napetosti so podane v mV.

žičk pojavi napetost, ki je enaka razliki karakteristične funkcije $E(T)$ med obema temperaturama.

$$U = E(T_1) - E(T_2) \quad (1)$$

Ker je ta napetost tipično majhna, večkrat vezemo termočlene zaporedno, pri čemer se napetosti seštevajo. Nekatere kombinacije zlitin so postale tako popularne, da so postale industrijski standard. Najpogostejša med njimi sta tip J (železo - konstantan) in tip K (kromel-alumel). Za standardne spoje lahko karakteristično funkcijo dobimo kar iz danih tabel.

Temperaturo izmerimo tako, da pomerimo napetost na termočlenu. Meritev je seveda smiselna, če poznamo temperaturo vsaj enega konca. Pri zelo natančnih meritvah postavimo eno krajišče v zmes vode in ledu pri standardnem tlaku, tako da je tam temperatura 0°C . Alternativno pa ima lahko merilec nek notranji termometer, s katerim določi temperaturo krajišča.

2.2 Termistorji

Pri upornikih tipično želimo, da imajo čim bolj neodvisno upornost od temperature. To seveda ne velja, če jih želimo uporabljati kot termometre. Takrat želimo, da je ta odvisnost čim večja.

Praviloma se v prevodnikih upornost veča z naraščajočo temperaturo. Razlog za to je, da prihaja pri višjih temperaturah do več trkov prevodnih elektronov z nihajočo kristalno strukturo, kar upočasni njihovo gibanje.

Najbolj znan termistor iz te skupine je termistor iz platinaste žičke, znan tudi kot Pt-100 (številka 100 predstavlja upornost žičke v Ω pri temperaturi 0°C). Odlikuje ga relativno visoka temperaturna odvisnost (koeficient upornosti $\alpha = 0,00385\text{K}^{-1}$) in linearnost na zelo širokem območju. Zveza med upornostjo in temperaturo je podana z enačbo

$$R = R_0(1 + \alpha(T - T_0)), \quad (2)$$

kjer sta R_0 in T_0 upornost pri dani izhodiščni temperaturi (100Ω in 0°C). Občutljivost lahko seveda povečamo z vezavo v mostiček.

Drugi pomemben tip termistorjev so NTC (negative temperature coefficient) termistorji. Narejeni so iz polprevodnika. Polprevodnikom je skupno, da bolje prevajajo pri višjih temperaturah. Razlog za to je, da nimajo prevodnih elektronov in so v svojem bistvu pravzaprav izolatorji. Prevodnost jim povzročijo termične fluktuacije, ki zbijejo vezane elektrone v prevodne nivoje - šele tam začnejo prevajati, dokler se ne vrnejo na kakšno izpraznjeno mesto (rekombinacija). Višja kot je temperatura, večja je verjetnost, da bo do zbitja elektronov prišlo. Zato se bo upornost zmanjšala.

NTC termistorji so zelo občutljivi na temperaturo, kar pomeni, da se jim upornost znatno spremeni. Njena odvisnost od temperature je

$$R = R_0 e^{-B(\frac{1}{T_0} - \frac{1}{T})}, \quad (3)$$

kjer sta R_0 in T_0 spet izhodiščni upornost in temperatura, B pa tako zvani parameter B (tudi parameter β), ki je značilen za posamezen polprevodnik.

Termistorji so uporniki, pri katerih je upornost močno odvisna od temperature.

2.3 Sevanje črnega telesa

Temperaturo lahko merimo tudi brezkontaktno. Za to lahko izkoristimo pojav znan kot sevanje črnega telesa. Vsako telo namreč seva neko elektromagnetno valovanje z zelo specifičnim spektrom. Do tega pride, ker se med gibajočimi nabitimi delci in elektromagnetnim poljem vzpostavi termično ravnovesje. Zaradi tega vroča telesa žarijo od v rdečih do belih odtenkih. V resnici žarijo tudi hladna telesa, le da je oddana svetloba v infrardečem območju in je zaradi tega ne zaznamo.

Če gledamo spekter tega sevanja, opazimo, da je pri vseh telesih z enako temperaturo enak (z izjemo absorpcijskih črt in podobnih reči). Spekter se da izračunati, če upoštevamo termično ravnovesje prostih fotonov.

$$\frac{dj}{d\lambda} = \frac{8\pi hc}{\lambda^5} \frac{1}{e^{\frac{hc}{\lambda kT}} - 1} \quad (4)$$

Enačbi pravimo Planckov zakon. j predstavlja energetski tok, λ valovno dolžino, h Planckovo konstanto, c svetlobno hitrost, k Boltzmannovo konstanto in T absolutno temperaturo.

Spektralni maksimum dobimo tako, da enačbo 4 odvajamo po λ . Dobimo, da je valovna dolžina najbolj zastopanega valovanja obratno sorazmerna s temperaturo:

$$\lambda_{\max} = \frac{b}{T}, \quad (5)$$

kjer je $b \approx 2900 \mu\text{mK}$.

Prav tako lahko z integracijo po λ dobimo celotno sevalno moč.

$$j = \int_0^\infty \frac{dj}{d\lambda} d\lambda = \sigma T^4, \quad (6)$$

kjer je $\sigma = 5,670 \cdot 10^{-8} \text{Wm}^{-2}\text{K}^{-4}$ Stefan - Boltzmannova konstanta.

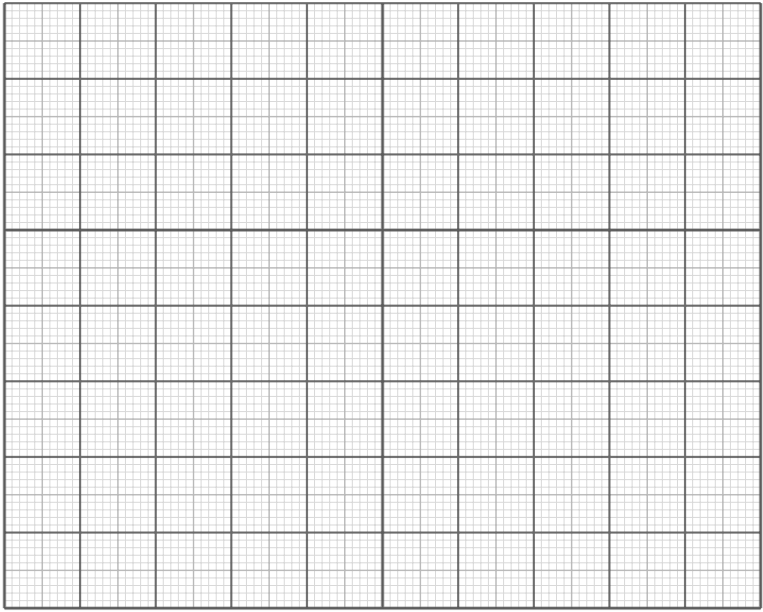
Zgornje zveze lahko uporabimo pri določitvi temperature telesa, ki je valovanje izsevalo. To tipično naredimo z bolometrom (mikrobolometrom v termovizijskih kamerah). To je naprava, ki absorbira vpadno valovanje in se zaradi tega segreje. Izmerimo spremembo temperature v bolometru in s tem določimo prejeto toploto oziroma energijski tok.

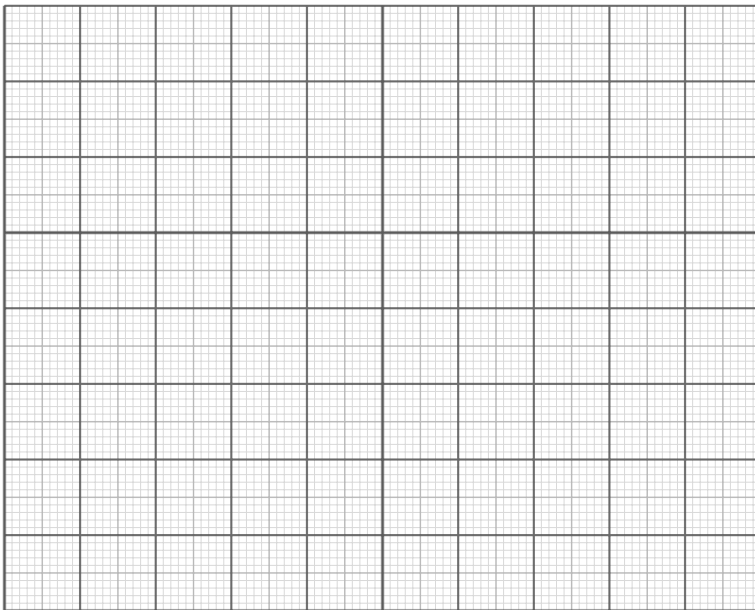
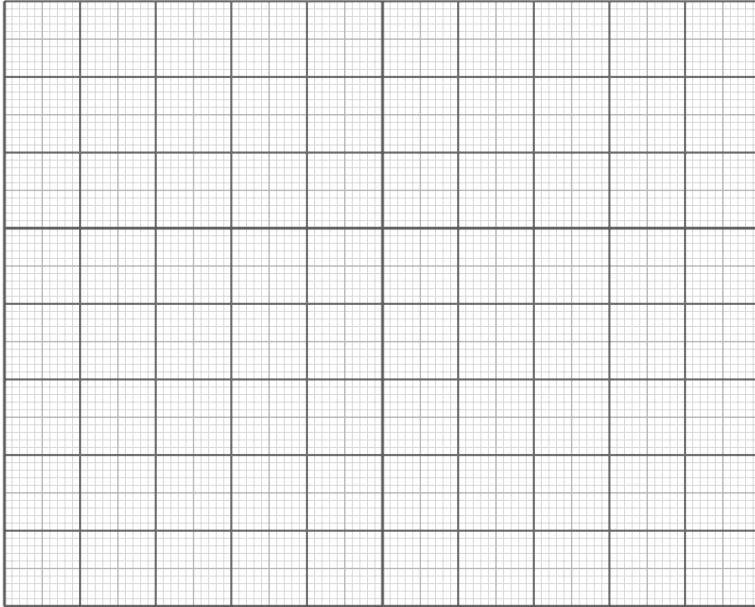
3 Potek meritve

Za prikaz bomo merili s štirimi različnimi termometri: s termočlenom, s Pt-100, z NTC termistorjem in s termovizijsko kamero.

Približno liter vode pristavi v pretočni grelnik. Najprej izmeri temperaturo mrzle vode. Nato segrej vodo za približno 10°C in še enkrat pomeni temperature. Postopek nadaljuj dokler ne presežeš 90°C . Vse meritve pomeni z vsemi štirimi termometri in z referenčnim termometrom. Meritve zapiši v tabelo. V spodnje grafe nariši temperaturno odvisnost napetosti termočlena ter upornosti Pt100 in NTC. Za višjo oceno: iz grafa za Pt-100 poskusi določiti α , iz vrednosti za NTC pa parameter B . Lahko si pomagaš tudi z urejevalnikom razpredelnic.

$T[^\circ\text{C}]$	$U_{t\check{c}}[\text{mV}]$	$R_{Pt}[\Omega]$	$R_{\text{NTC}}[\Omega]$	$T_{\text{IR}}[^\circ\text{C}]$





Literatura

- [1] M. Valič. *Fizikalne meritve*.