

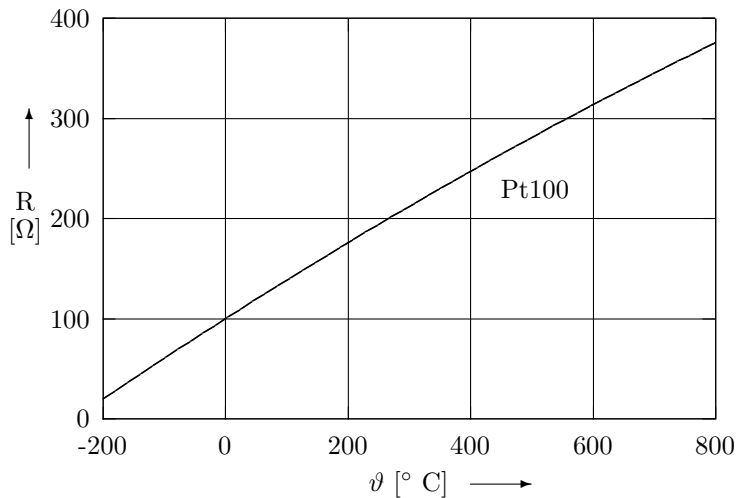
Meranie teploty

Odporové snímače teploty

Meranie teploty tvorí snáď najväčší podiel priemyselných meraní vôbec. Na jej meranie bolo vyvinutých niekoľko rozličných metód, meranie na základe zmeny odporu s teplotou je jedno z najrozšírenejších. Na realizáciu *odporového snímača teploty* sa používajú predovšetkým čisté kovy. Ich odpor závisí od dĺžky, prierezu a materiálu. Geometrické rozmery sa s teplotou menia:

$$R = \rho \frac{l}{S} \quad l = l_0(1 + \alpha \Delta\vartheta),$$

kde R je odpor, l dĺžka vodiča (l_0 pri referenčnej teplote ϑ_0) a S jeho prierez. Merná vodivosť ρ a koeficient dĺžkovej rozťažnosti α je pre rôzne kovy uvedená v tabuľke. Kladná zmena odporu s rastúcou teplotou je vlastnosťou všetkých kovov, nie všetky však vyhovujú požiadavkám na chemickú odolnosť a stabilitu.



Obr. 33: Prevodová charakteristika Pt100.

	kov	ρ [$\mu\Omega\text{cm}$]	α [$10^{-6}/^{\circ}\text{C}$]
Ag	Striebro	1,59	18,9
Cu	Meď	1,673	16,6
Au	Zlato	2,19	14,2
Al	Hliník	2,655	23,2
Ni	Nikel	6,84	12,8
Fe	Železo	9,71	11,9
Pt	Platina	9,83	8,8
Ko ¹	Konštantán	?	?

Tabuľka 1: Materiálové konštanty kovov.

Platinové odporové snímače teploty Pt 100 s odporom 100Ω pri 0°C sa v praxi používajú najčastejšie. Tvorí ich tenký platinový drôtik vyrobený z tzv. fyzikálne čistej platiny (99,93 až 99,99%). Môžu sa používať na meranie v rozsahu -200 až $+800^{\circ}\text{C}$, ich teplotná závislosť je na obr. 33. V súčasnosti sa možno stretnúť aj s citlivejšími snímačmi Pt 500 a Pt 1000. Okrem platinových sa používajú aj lacnejšie niklové (Ni 500) a medené (Cu 50) snímače.

Závislosť odporu Pt 100 na teplote nie je lineárna a dá sa v rozsahu $0 - 850^{\circ}\text{C}$ popísať polynómom

$$R(\vartheta) = R_0(1 + A \cdot \vartheta + B \cdot \vartheta^2)$$

kde R_0 je odpor pri teplote 0°C (t.j. 100Ω), A a B sú materiálové konštanty: $A = 3,9083 \cdot 10^{-3} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$; $B = -5,775 \cdot 10^{-7} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-2}$ (podľa IEC 751).

Platinové snímače teploty sú vinuté tenkým drôtkom ($0,04\text{ mm}$) na podložke zo sludy alebo keramiky, celok je uložený v ochrannom puzdre a pripojený na svorkovnicu v hlavici. Niektorí výrobcovia do hlavice umiestňujú aj prevodník na unifikovaný signál. Okrem drôtových snímačov sa vyrábajú aj plošné pomocou tenkovrstvej technológie. Sú lacnejšie, majú menšie rozmery a hodnota sa dá dostaviť presným laserovým trimovaním vo výrobe.

Merací prevodník je tvorený buď Wheatstonovým mostíkom a príslušným zosilňovačom, alebo ide o budenie konštantným prúdom. V druhom prípade sa meria úbytok napätia na snímači a zo známej hodnoty prúdu sa odpor vypočíta. Prúd snímačom musí byť vždy obmedzený (typ. na $0,1 - 1\text{ mA}$) tak, aby nespôsobil samoohrev snímača, čím by znehodnotil meranie.

Na meranie použijeme priemyselný snímač teploty Pt 100 (výrobca: ZPA) s prevodníkom ST (výrobca: Meret Slovakia). Merací prevodník na DIN lište prevádza signál zo senzora v rozsahu $100,00$ až $130,89\Omega$ (t.j. $0 - 80^{\circ}\text{C}$) na unifikovaný prúdový signál $4 - 20\text{ mA}$. Senzor Pt100 je uložený v púzdre z nehrdzavejúcej oceli a je prepojený s prevodníkom trojvodičovým vedením, ktoré čiastočne kompenzuje chyby spôsobené zmenou odporu prívodných vodičov.

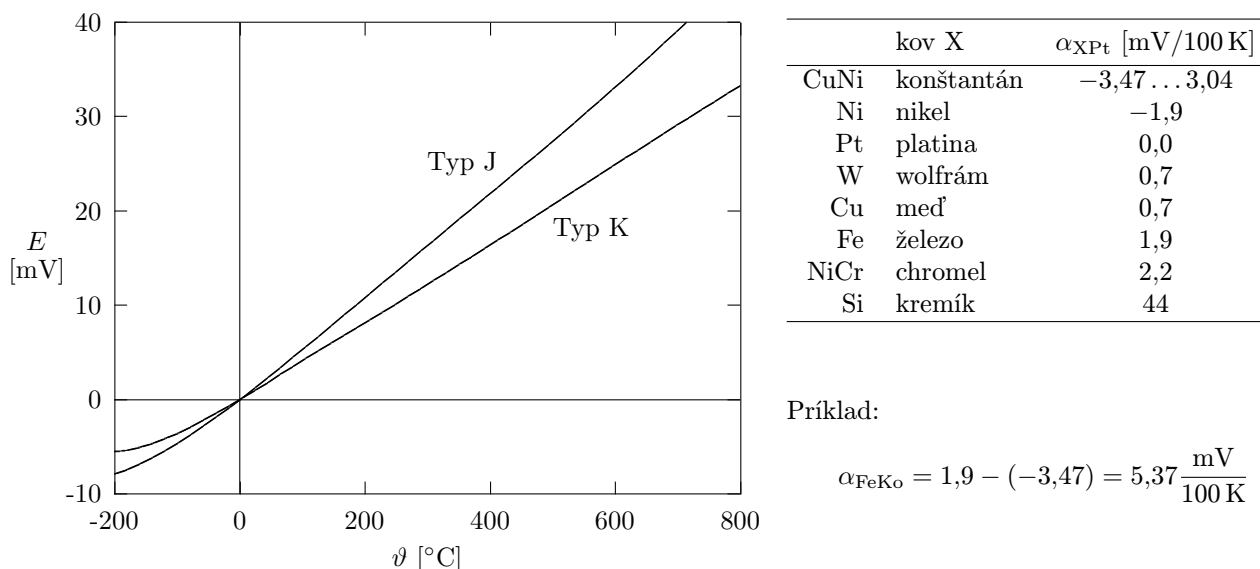
¹Konštantán (kopel) je zliatina 45% Ni a 55% Cu.

Termočlánky

Termočlánok je snímač teploty, ktorý využíva tzv. *Seebeckov¹ jav* – ak spojíme dva rôzne kovy a ich konce budú mať rôznu teplotu ϑ_0 a ϑ_1 , v obvode začne tiecť prúd (viď obr. 35a). Prúd vzniká v dôsledku termoelektrického napätia E (obr. 35b), ktoré je rôzne pre každú dvojicu kovov (viď tab. 2) a závisí aj od *rozdielu teplôt* medzi oboma koncami:

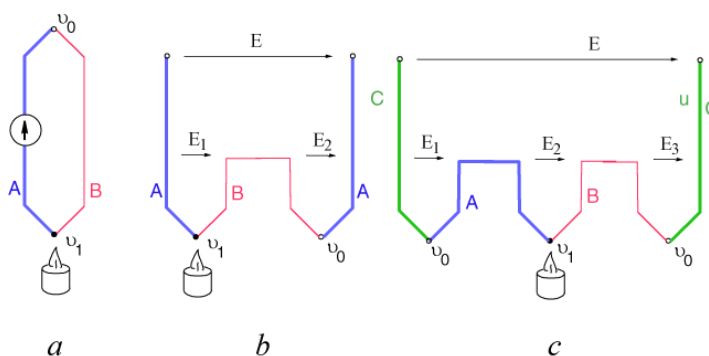
$$E = \alpha_{AB}(\vartheta_1 - \vartheta_0) \quad (1)$$

Koeficient citlivosti α má veľkosť len niekoľko desiatok $\mu\text{V}/^\circ\text{C}$ a je konštantný len v úzkom rozsahu. Závislosť je mierne nelineárna (viď obr.34).



Obr. 34: Teplotná závislosť termočlánkov typu J a K.

Tabuľka 2: Seebeckove koeficienty voči Pt.



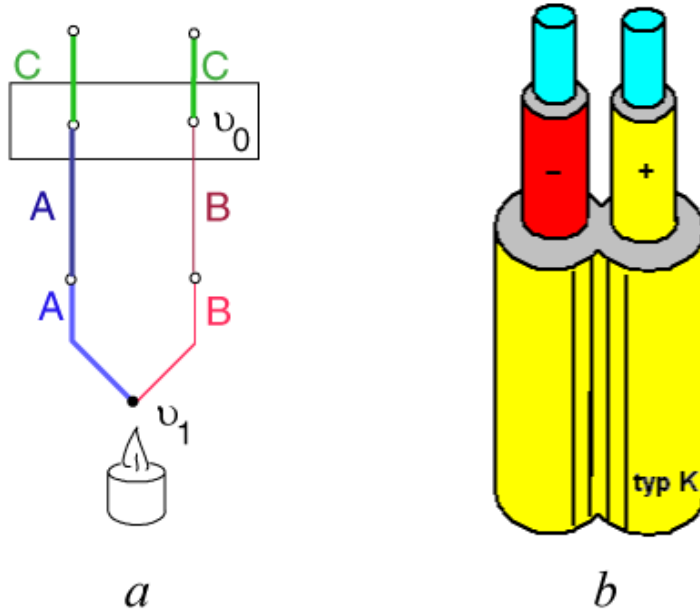
Obr. 35: Termočlánky. a) Seebeckov jav b) termoelektrické napätie c) referenčné spoje.

Pretože výstupné napätie závisí od *rozdielu teplôt*, pre praktické merania je potrebné jeden zo spojov považovať za referenčný a udržiavať ho na konštantnej teplote. Situáciu navyše komplikuje fakt, že na pripojenie k meraciemu prístroju (voltmeter, merací prevodník,...) sa používajú medené vodiče, takže napokon máme v obvode až tri termočlánky CA, AB a BC (viď obr. 35c). Ak však budeme udržiavať oba referenčné spoje CA a BC na rovnakej teplote ϑ_0 , bude stále platiť rovnica (1).

Pri laboratórnych meraniach sa chladí referenčný spoj v nádobe s ľadom, takže v rovnici (1) je ϑ_0 nulová. V priemyselnej praxi je pre niekoľko termočlánkov súčasne použitý tzv. *izotermický blok* uložený v termostate, kde je udržiavaný na konštantnej teplote (napr. 50°C – viď obr. 37a). Nameraná hodnota je potom zaťažená systematickou chybou, ktorú je možné jednoducho odpočítať.

¹Nemecký fyzik Thomas Johann Seebeck, 1822

Prívodné vodiče od termočlánku po izotermickú svorkovnicu sú obvykle realizované tzv. *kompensačným vedením*. Je to káblik z kovov, ktoré sú buď zhodné, alebo veľmi podobné tým v termočlánku (viď obr.36a). Tak na spojoch nevznikne žiadne, alebo len veľmi malé termoelektrické napätie.



Obr. 36: Termočlánky. a) kompenzačné vedenie, b) farebné značenie.

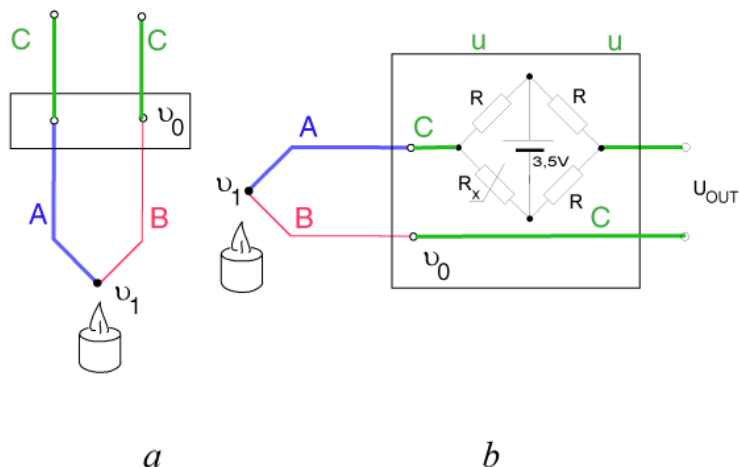
Ak namiesto termostatovania budeme merať teplotu izotermického bloku pomocou odporového snímača, môžeme vyrátať napätie na referenčných svorkách a korekciu vypočítame. Hovoríme o tzv. *softvérovej kompenzácii* (viď obr.37a).

Pri tzv. *hardvérovej kompenzácii* do elektrického obvodu privádzame opačne orientované napätie. Zariadenie sa nazýva *kompensačná krabica* (viď obr.37b). Obvykle býva zapojená ako Wheatstonov mostík, pričom odpory sú navrhnuté tak, aby veľkosť napätia na uhlopriečke korešpondovala s termoelektrickým napätím na referenčnom konci termočlánku. Ak je jeden z odporov v mostíku teplotne závislý (viď obr.), tak aj kompenzačné napätie sa mení v zhode s napätím referenčného spoja. Výsledné merané napätie je potom úmerné len meranej teplote ϑ_1 .

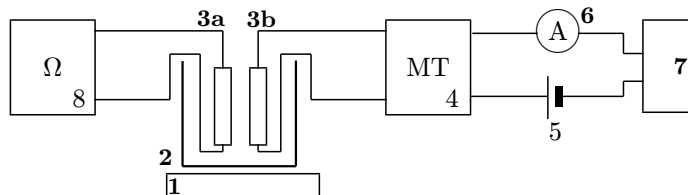
Na cvičení je použitý termočlánok typu K od firmy Omega. Tento typ je tvorený kombináciou zliatín Chromel (NiCr +) a Alumel (NiAl -) Kompensačným vedením s teflonovou izoláciou je pripojený cez špeciálny kompenzačný konektor až k inteligentnému meraciemu prevodníku Sitrans T (Siemens). Merací prevodník Sitrans T umožňuje programovo meniť typ pripojeného snímača, meracie rozsahy i správanie počas poruchy. Kompenzácia zmeny teploty referenčného spoja je realizovaná programovo, na základe merania teploty v špeciálnej pripojovacej svorke. Výstupný signál 4 – 20 mA zobrazujeme na inteligentnej jednotke DMU-2 (Meret), na ktorej sme nastavili zobrazovanie priamo v stupňoch Celzia.

Úlohy

1. Zmerajte prevodovú charakteristiku snímača Pt100 a sústavy snímač + prevodník.
2. Zmerajte prevodovú charakteristiku termočlánku typu K s prevodníkom.
3. Zmerajte ich prechodové charakteristiky.
4. Určte nelinearitu a prenos meracieho člena.



Obr. 37: Termočlánky. a) softvérová kompenzácia, b) kompenzačná krabica.



1 – varič, 2 – nádoba, 3 – snímače Pt100, 4 – prevodník MT, 5 – zdroj, 6 – ampérmeter, 7 – zapisovač, 8 – ohmmeter.

Obr. 38: Schéma zapojenia pre meranie.

Postup

1. Naplňte nádobu studenou vodou tak, že minimálne 3/4 snímača sú ponorené vo vode.
2. Skontrolujte zapojenie prístrojov podľa obr. 38. Ak je všetko v poriadku, zapnite zdroj napätia (5).
3. Odčítajte teplotu vody v nádobe zo skleného teplomera, zodpovedajúci odpor snímača a výstupný prúd prevodníka. Pre termočlánok prepnite zobrazenie DMU na kanál B (šípka nadol) a zapíšte priamo zobrazenú teplotu.
4. Zapnite varič. Každých 5 °C si zapíšte referenčnú teplotu, zodpovedajúci odpor snímača (3a) a výstupný prúd (6). Pre termočlánok zapisujte teplotu z kanála B na DMU. Maximálna teplota nesmie prekročiť 95 °C! Vypnite varič.
5. Zmerajte prechodovú charakteristiku snímača. Zapnite registračný ampérmeter (7) a urobte skokovú zmenu teploty, t.j. opatrne preložte snímač z horúcej vody do studenej vo vedľajšej nádobe, resp. naopak.
6. Zapíšte si teploty v oboch nádobách a vyčkajte, pokiaľ sa charakteristika na papieri neustáli. Vypnite zapisovač.
7. Preložte snímač späť do teplej vody a zopakujte meranie podľa bodu 4 pre klesajúce teploty.
8. Nakreslite prevodovú charakteristiku snímača Pt100, t.j. graf $R = f(\vartheta)$. Do grafu zakreslite aj ideálne hodnoty odporu podľa tabuľky 3.
9. Nakreslite prevodovú charakteristiku sústavy snímač a merací prevodník, t.j. graf $I_{\text{out}} = f(\vartheta)$. Do grafu zakreslite aj ideálne hodnoty prúdu zo známych rozsahov.

10. Nakreslite prevodovú charakteristiku termočlánku s prevodníkom a zobrazovacou jednotkou, t.j. graf $\vartheta_{\text{out}} = f(\vartheta)$. Do grafu zakreslite aj ideálne hodnoty zo známych rozsahov.
11. Identifikujte prenos snímača.

ϑ [°C]	-5	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45
R [Ω]	98,04	100,000	101,953	103,903	105,849	107,793	109,735	111,673	113,608	115,541	117,470
ϑ [°C]	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
R [Ω]	119,397	121,321	123,242	125,160	127,075	128,987	130,897	132,803	134,707	136,608	138,505

Tabuľka 3: Hodnoty odporu pre snímač Pt 100 (IEC 751).

Typ J

ϑ [°C]	-5	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45
E [mV]	-0,251	0,000	0,253	0,507	0,762	1,019	1,277	1,536	1,797	2,058	2,321
ϑ [°C]	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
E [mV]	2,585	2,849	3,115	3,381	3,649	3,917	4,186	4,445	4,725	4,996	5,268

Typ K

ϑ [°C]	-5	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45
E [mV]	-0,197	0,000	0,198	0,397	0,597	0,798	1,000	1,203	1,407	1,611	1,817
ϑ [°C]	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
E [mV]	2,022	2,849	2,436	2,643	2,850	3,058	3,266	3,473	3,681	3,888	4,095

Tabuľka 4: Hodnoty elektromotorického napätia pre termočlánky typu J a K.