



3. Úloha

Měření teplotní závislosti vlastností vodivých materiálů

1 Teoretický úvod

Jednou z možností, jak v technických aplikacích měřit teplotu a její změny, je možnost využít teplotní závislosti elektrické vodivosti materiálů. Ze snímačů teploty využívajících měření přímo elektrických veličin bývají nejčastěji používány **kovové rezistory a termistory** (sleduje se změna odporu snímače), **termoelektrické články** (sledovanou veličinou je termoelektrické napětí) a **snímače s PN přechody** (sleduje se změna prahového napětí).

1.1 Odporové kovové senzory teploty

Všechny kovové materiály se vyznačují tím, že jejich elektrický odpor s teplotou roste (jejich teplotní součinitel elektrického odporu je kladný). Příčinou je rostoucí amplituda kmitání atomů krystalické mřížky kovů, které pak kladou větší odpor průchodu elektronů.

Tuto závislost lze vyjádřit základním lineárním vztahem

$$R = R_0(1 + \alpha T) \text{ (}\Omega\text{)}, \quad (1)$$

kde $\alpha \text{ (K}^{-1}\text{)}$ je teplotní součinitel odporu, $T \text{ (K)}$ je absolutní (termodynamická) teplota vodiče a $R_0 \text{ (}\Omega\text{)}$ je odpor při referenční teplotě. Standardně se uvádí referenční teplota 0°C ($273,15 \text{ K}$).

Vztah je možné při použití jiné referenční teploty než 0°C upravit následovně:

$$R_x = R_{ref}(1 + \alpha \cdot \Delta T) \text{ (}\Omega\text{)}, \quad (2)$$

kde R_x je odpor při měřené teplotě, R_{ref} je odpor při referenční (nenulové) teplotě a ΔT je rozdíl referenční a měřené teploty ($\Delta T = T_x - T_{ref}$).

Pro kovové senzory teploty se většinou využívá platina pro její chemickou netečnost, časovou stálost a vysokou teplotu tavení. Standardní hodnota odporu Pt senzoru je $100 \text{ }\Omega$ při 0°C . Kromě této hodnoty se ale vyrábějí též Pt senzory s hodnotou odporu 50, 200, 500, 1000 a $2000 \text{ }\Omega$ při 0°C . Kromě platiny je možné se u senzorů setkat také s niklem, mědí, molybdenem nebo některými slitinami.

1.2 Termistory

Termistory jsou prvky s výraznou závislostí odporu na teplotě. Podle průběhu jejich teplotních závislostí dělíme termistory na pozitivní a negativní. Pozitivní termistory (pozistory) bývají označovány zkratkou PTC a jejich odpor s teplotou roste. Negativní termistory (negastory)



mívají zkratku NTC a jejich odpor se s teplotou výrazně snižuje.

Charakteristiky u negativních termistorů jsou hladké křivky. Proto nacházejí uplatnění především v měřicí technice, kde se využívají nejčastěji jako teploměry. Charakteristika pozistorů vykazuje skokový nárůst odporu v oblasti Curieovy teploty, proto se na měření příliš nehodí a uplatňují se zejména v automatizační technice nebo signalizačních zařízeních. Negativní termistory se vyrábějí převážně keramickými metodami z vhodné směsi oxidů kovů, zejména železa, kobaltu, niklu, titanu, manganu, barya a mědi. Základem pozitivních termistorů jsou většinou feroelektrické látky, jako jsou např. Segnetovy soli nebo BaTiO_3 .

Teplotní závislost NTC termistorů má exponenciální charakter a lze ji vyjádřit vztahem

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

kde R_T je odpor při absolutní teplotě T , R_0 odpor při absolutní teplotě T_0 a B je materiálová konstanta charakterizující daný termistor (vyjadřuje citlivost termistoru).

Konstantu B , jejíž hodnota se pohybuje v rozsahu od 1500 do 7000 K, lze určit buď z katalogu, nebo měřením. Změřením odporu termistoru při dvou různých teplotách ji lze vyhodnotit ze vztahu

$$B = \frac{T_1 \cdot T_2}{T_2 - T_1} \cdot \ln \frac{R_1}{R_2} \quad (\text{K}), \quad (4)$$

kde R_1 (Ω) je odpor termistoru při teplotě T_1 (K) a podobně R_2 (Ω) je odpor při teplotě T_2 (K).

1.3 Termoelektrické články

Termočlánky jsou jednoduché, široce používané senzory pro měření teploty. Klasický termoelektrický článek se skládá ze dvou vodičů z různých kovů, spojených na jednom konci, tvořícím tzv. měřicí ("teplý") spoj. Jejich druhé konce jsou připojeny na vodiče měřicího obvodu a tvoří tzv. referenční ("studený") spoj.

Velikost termoelektrického napětí na volných koncích termoelektrického článku pak závisí na rozdílu teplot mezi měřicím a referenčním spojem. Pro získání informace o absolutní teplotě navíc musíme znát teplotu referenčního spoje (nebo musí být jeho teplota stále stejná).

Pro výstupní napětí termoelektrického článku platí vztah

$$U = \alpha_{12} \cdot (T_m - T_{ref}) \quad (\text{V}), \quad (5)$$

kde U je napětí na termoelektrickém článku, T_m je teplota měřicího spoje termoelektrického článku, T_{ref} je teplota spoje studeného (referenčního) a α_{12} je tzv. Seebeckův koeficient (jednotka V/K nebo $\mu\text{V/K}$) udávající velikost přírůstku napětí při změně teploty o 1 K. Za referenční teplotu pro



termočlánek se standardně uvažuje teplota 0 °C.

Nejčastěji používaným termočlánkem je termočlánek typu K, který vzniká spojením chromelu a alumelu (Chromel® a Alumel® jsou obchodní názvy slitin niklu s obsahem chromu a hliníku, manganu a křemíku). Měřicí rozsah tohoto termočlánu je od -200 °C do +1250 °C.

2 Zadání

1. Proveďte měření teplotní závislosti elektrického odporu předložených teplotních senzorů (kovového senzoru Pt1000 a polovodičového termistoru typu NTC100) v teplotním intervalu od 30 °C do 70 °C.
2. Proveďte měření teplotní závislosti napětí na předloženém termoelektrickém článku typu K v teplotním intervalu od 30 °C do 70 °C.
3. Všechny naměřené hodnoty запиšte do tabulek pro jednotlivé teplotní senzory a zpracujte grafické závislosti sledovaných parametrů na teplotě následovně.
 - Vyneste závislost odporu R senzoru Pt1000 na termodynamické teplotě T a proložte regresní přímkou.
 - U negativního termistoru vyneste teplotní závislost $R = f(T)$. Pro ověření exponenciální závislosti odporu na teplotě vyneste závislost $\ln R = f(1/T)$. V případě, že je závislost $\ln R = f(1/T)$ lineární, tak je potvrzen exponenciální průběh závislosti $R = f(T)$.
 - U termoelektrického článku vyneste teplotní závislost $U = f(T)$ a proložte regresní přímkou.
4. Z naměřených hodnot určete teplotní koeficient odporu α pro platinu. Využijte hodnoty odporu naměřené při teplotách 30 °C a 70 °C a výše uvedený výpočtový vztah (2).
5. Z naměřených hodnot určete konstantu citlivosti B negativního termistoru. Využijte hodnoty odporu naměřené při teplotách 30 °C a 70 °C a výše uvedený výpočtový vztah (4).
6. Z naměřených hodnot určete Seebeckův koeficient α_{12} termočlánu typu K. Využijte hodnotu napětí naměřenou při teplotě 70 °C a výše uvedený výpočtový vztah (5).
7. Teplotní koeficient odporu α platiny, konstantu citlivosti B termistoru NTC100 a Seebeckův koeficient α_{12} termočlánu typu K porovnejte s hodnotami uvedenými pro daný typ senzoru v příložených katalogových listech.



3 Použité přístroje a další laboratorní vybavení

- sada testovaných senzorů teploty ve skleněných nádobkách (přípravky)
- panelový digitální multimetr
- magnetická míchačka s ohřevem doplněná teplotní sondou
- kádinka s magnetickým míchadlem

4 Postup měření

1. Do kádinky napusťte studenou vodu a postavte ji na magnetickou míchačku. Do kádinky vložte míchadlo.
2. Do otvoru ve víčku skleněné nádoby se senzorovým elementem zasuňte teplotní sondu magnetické míchačky a následně vložte nádobku se senzorem do kádinky tak, aby byla až po plastové víčko ponořena ve vodě. Ujistěte se, že není ponořeno i plastové víčko a voda nevniká do skleněné nádoby.
3. Měřený teplotní senzor připojte k multimetru a nastavte měření příslušné veličiny:
 - dvoubodové měření odporu (tlačítko Ω 2W) pro kovový teploměr Pt1000,
 - dvoubodové měření odporu (tlačítko Ω 2W) pro negativní termistor,
 - měření stejnosměrného napětí (tlačítko DC V) pro termoelektrický článek.
4. Zapněte míchačku kolébkovým přepínačem na její levé straně. Pomocí levého kolečka nastavte teplotu 120 °C a potvrďte stiskem kolečka. Tím se zapne ohřev. Na levém displeji se bude střídát aktuální a nastavená hodnota teploty. Pomocí pravého kolečka nastavte rychlost otáčení na 250 RPM a opět zapněte stiskem.
5. Měřte závislost sledované veličiny (odporu nebo napětí) na teplotě v rozsahu od teploty 30 °C do teploty 70 °C s krokem 5 °C.
6. Po dosažení konečné teploty vypněte míchačku a nechte ji chladnout. S pomocí rukavic vyměňte několikrát v kádince vodu tak, aby byla její teplota na původní úrovni a zároveň se co nejvíce ochladila topná zóna míchačky.
7. Do kádinky vložte další přípravek s teplotním senzorem a do víčka opět zasuňte sondu teploměru. Měření opakujte stejným způsobem pro zbývající dva teplotní senzory.

Pozn.: Při měření termoelektrického článku dbejte na správné připojení k multimetru (červený konektor do zdířky HI, černý konektor do zdířky LO), aby bylo měřeno s rostoucí teplotou postupně rostoucí napětí.