

FYZIKÁLNÍ PRAKTIKUM

Speciální praktikum z abc

Zpracoval: Jan Novák

Naměřeno: 1. ledna 2001

Obor: F Ročník: IV Semestr: IX

Testováno:

Úloha č. 13: Graduace termočlánku a cejchování ampérmetru

$$T = 99,9 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$p = 999 \text{ hPa}$$

$$\varphi = 99,9 \text{ \%}$$

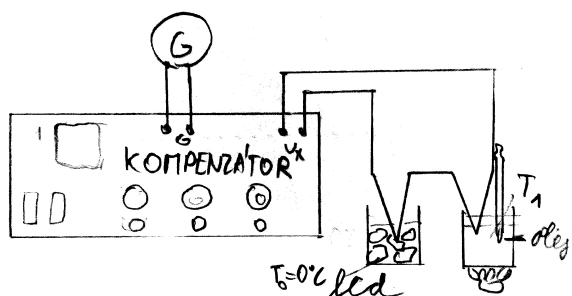
1. Úvod

Zde krátce uvedeme téma měřené úlohy, zdůvodníme její užitečnost, např. takto: Určení graduační křivky elektrických přístrojů je nezbytné pro přesné měření daných veličin nejen uvnitř elektrickém obvodu, ale i okolního prostředí. V tomto praktiku budeme stanovovat graduační závislost napětí termočlánku na teplotě a stanovíme také korekci stupnice proudu procházejícího ampérmetrem jeho drátěnými svorkami.

2. Teorie

2.1. Určení graduační křivky termočlánku konstantan – měď

V odstavci o teorii popíšeme, krátce problém, přičemž elektrická úloha musí vždy obsahovat schéma zapojení a optická úloha názorný náčrt čoček, přístroje či chodu paprsků. Obrázek a popis mohou vypadat například takto.



Obrázek 1: Schéma pro graduaci termočlánku v zapojení s kompenzátorem.

Popis teorie může vypadat např. takto: Zapojíme-li dva různé materiály A a B do obvodu a jejich spoje budou mít různou teplotu, viz obr. 1, vzniká elektrické napětí. Příčinou tohoto termoelektrického jevu jsou různé výstupní práce elektronů z kovu A a B. Dochází tak k difúzi elektronů do sousedního kovu čímž vzniká konstantní potenciál v okolí kontaktu. Jsou-li obě látky stejné, tak se difúze v obou směrech vykompenzuje a látka je elektricky neutrální. Rozdílem potenciálu stykových míst pak vzniká elektromotorické napětí, které se nazývá termoelektrické napětí. Je zřejmé, že toto napětí závisí na

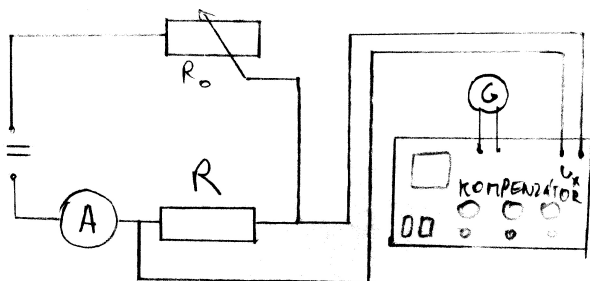
teplotě kontaktu. Pro celkové termonapětí v uzavřeném obvodu, a to jak jednoduchém pro dva vodiče, tak složitějším, platí $E_T = E_{BA}(T_1) - E_{BA}(T_0)$, kde $E_{BA}(T_1)$ a $E_{BA}(T_0)$ jsou termonapětí kontaktů AB o teplotách T_1 a T_0 . Při určení graduační křivky termočlánu, tj. závislosti pro $T_0 = \text{konst.}$, použijeme k určení E_T kompenzátoru. Ten je již vyroben tak, že při nastavování kompenzačního napětí odporovou dekádou čteme na dekádě přímo hledané napětí. Toto napětí pak musí být takové, aby výchylka galvanometru byla nulová.

2.2. Kontrola ampérmetru

Kontroly měřících přístrojů provádíme, abychom zjistili odchylky údajů přístrojů od správných hodnot. Při měření sestavujeme tzv. korekční křivku, tj. závislost opravy ΔN na údaj N , který přístroj ukazuje při správné hodnotě S . Tedy

$$S = N + \Delta N. \quad (1)$$

Naměřené hodnoty spojíme lomenou čarou. Proud procházející ampérmetrem změříme tak, že pomocí kompenzátoru určíme napětí U_x na normálovém odporu $R = 1 \Omega$. Měřící obvod sestavíme podle schématu na obrázku 2.



Obrázek 2: Elektrické zapojení pro graduaci ampérmetru.

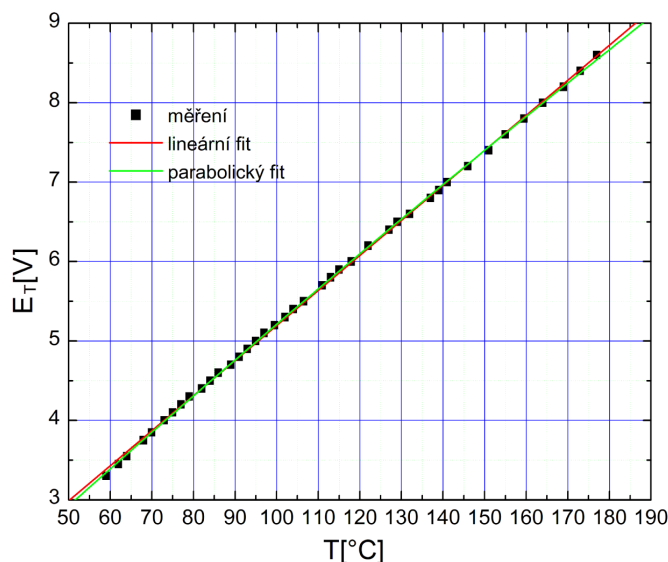
3. Měření a zpracování dat

3.1. Graduační křivka termočlánu

Při měření zahříváme nádobu v níž je kontakt T_1 , kontakt T_0 je umístěn ve směsi vody a ledu $T_0 = 0 \text{ }^\circ\text{C}$, viz obr. 1. Protože T_1 se spojitě mění, nastavíme na kompenzátoru napětí U_x a v okamžiku, kdy galvanoměr ukáže nulovou polohu, zapíšeme teplotu pro U_x . Zároveň musíme dbát na to, aby proud kompenzátoru byl konstantní $I = 1 \text{ mA}$. Vlastní naměřené hodnoty závislosti napětí $U_x \equiv E_T$ na teplotě T_1 jsou:

Tabulka 1: Závislost termoelektrického napětí na teplotě.

| E_T [V] | T_1 [$^\circ\text{C}$] | E_T [V] | T_1 [$^\circ\text{C}$] | E_T [V] | T_1 [$^\circ\text{C}$] | E_T [V] | T_1 [$^\circ\text{C}$] | E_T [V] | T_1 [$^\circ\text{C}$] |
|-----------|----------------------------|-----------|----------------------------|-----------|----------------------------|-----------|----------------------------|-----------|----------------------------|
| 3.3 | 59 | 4.3 | 79 | 5.1 | 97 | 6.0 | 118 | 7.2 | 146 |
| 3.45 | 62 | 4.4 | 82 | 5.2 | 99.5 | 6.2 | 122 | 7.4 | 151 |
| 3.55 | 64 | 4.5 | 84 | 5.3 | 102 | 6.4 | 127 | 7.6 | 155 |
| 3.75 | 68 | 4.6 | 86 | 5.4 | 104 | 6.5 | 129 | 7.8 | 159.5 |
| 3.85 | 70 | 4.7 | 89 | 5.5 | 106.5 | 6.6 | 132 | 8.0 | 164 |
| 4.0 | 73 | 4.8 | 91 | 5.7 | 111 | 6.8 | 137 | 8.2 | 169 |
| 4.1 | 75 | 4.9 | 93 | 5.8 | 113 | 6.9 | 139 | 8.4 | 173 |
| 4.2 | 77 | 5.0 | 95 | 5.9 | 115 | 7.0 | 141 | 8.6 | 177 |



Obrázek 3: Závislost graduace termočláňku.

Touto závislostí jsme nejprve proložili parabolou $E_T = a_2 + b_2(T - T_0) + c_2(T - T_0)^2$ a metodou nejmenších čtverců zjistili $a_2 = (0.55 \pm 0.05) \text{ mV}$ ($\rho = 9 \%$), $b_2 = (48.5 \pm 0.8) \cdot 10^{-3} \text{ mV/K}$ ($\rho = 1.7 \%$) a $c_2 = (-1.9 \pm 0.4) \cdot 10^{-5} \text{ mV/K}^2$ ($\rho = 20 \%$). Vidíme, že koeficient kvadratického členu c_2 polynomu přispívá v daném rozsahu teplot jen zanedbatelně a jeho nejistota, s níž byl stanoven, je dosti velká. Již z grafu na obr. 3 je patrné, že závislost je na měřeném intervalu v podstatě lineární a je vhodnější jí proložit přímkou $E_T = a_1 + b_1(T - T_0)$, odkud dostáváme: $a_1 = (0.78 \pm 0.02) \text{ mV}$ ($\rho = 3 \%$), $b_1 = (44.12 \pm 0.15) \cdot 10^{-3} \text{ mV/K}$ ($\rho = 0.3 \%$), kde nejistota a_1 a b_1 je podstatně menší. ρ označujeme relativní nejistotu měření.

3.2. Cejchování ampérmetru

Odporovou dekádou R_0 regulujeme proud procházející ampérmetrem a pro daný odpor R_0 , tedy i proud I , nastavíme na kompenzátoru napětí U_x , tak aby výchyłka galvanoměru byla nulová. Použitý kompenzátor je stejný jako v měření termočláňku 3.1. Pro proud protékající ampérmetrem pak platí $I = U_x(1/R + 1/R_v)$, kde R_v je odpor kompenzátoru. Protože však platí $R_v \gg R$, můžeme psát $I = U_x/R$. A protože používáme odporový normál $R = 1 \Omega$, je proud číselně roven napětí U_x .

Opravené hodnoty proudu měřeného ampérmetru jsou v tabulce 2:

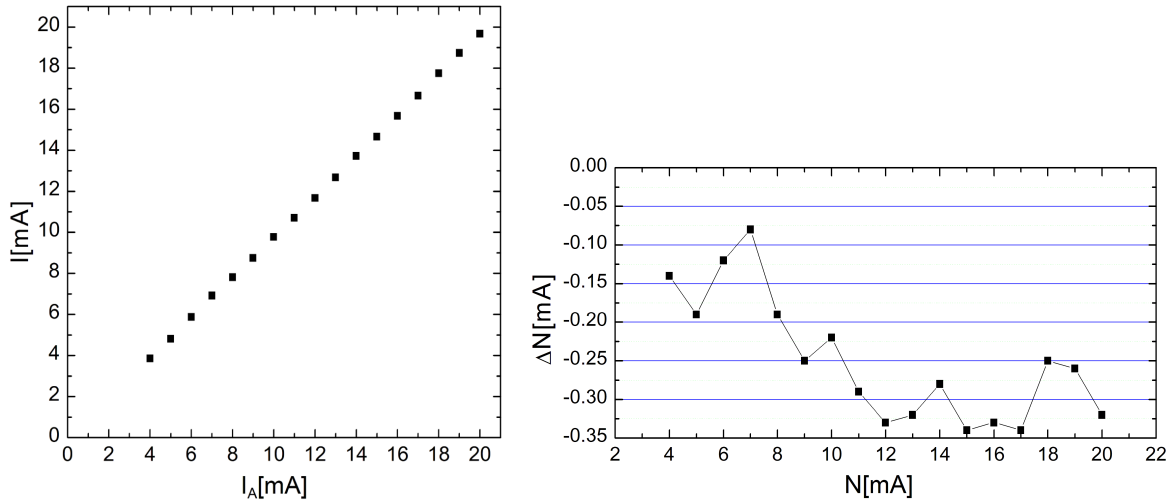
Tabulka 2: Opravené hodnoty proudu, kde I_A – hodnota udaná ampérmetrem; I – skutečná hodnota; čili $I_A = N$, $I = S$.

| R_0 [Ω] | I_A [mA] | U_x [mV] I [mA] | R_0 [Ω] | I_A [mA] | U_x [mV] I [mA] | R_0 [Ω] | I_A [mA] | U_x [mV] I [mA] |
|--------------------|------------|------------------------|--------------------|------------|------------------------|--------------------|------------|------------------------|
| 6000 | 4 | 3.86 | 2400 | 10 | 9.78 | 1490 | 16 | 15.67 |
| 4900 | 5 | 4.81 | 2190 | 11 | 10.71 | 1400 | 17 | 16.66 |
| 4000 | 6 | 5.88 | 2010 | 12 | 11.67 | 1320 | 18 | 17.75 |
| 3400 | 7 | 6.92 | 1850 | 13 | 12.68 | 1250 | 19 | 18.74 |
| 3000 | 8 | 7.81 | 1710 | 14 | 13.72 | 1190 | 20 | 19.68 |
| 2680 | 9 | 8.75 | 1600 | 15 | 14.66 | | | |

Tabulka 3: Závislost opravy $\Delta N = I - I_A$ na udané hodnotě $N = I_A$.

| N [mA] | ΔN [mA] | N [mA] | ΔN [mA] | N [mA] | ΔN [mA] | N [mA] | ΔN [mA] |
|----------|-----------------|----------|-----------------|----------|-----------------|----------|-----------------|
| 4 | -0.14 | 9 | -0.25 | 14 | -0.28 | 19 | -0.26 |
| 5 | -0.19 | 10 | -0.22 | 15 | -0.34 | 20 | -0.32 |
| 6 | -0.12 | 11 | -0.29 | 16 | -0.33 | | |
| 7 | -0.08 | 12 | -0.33 | 17 | -0.34 | | |
| 8 | -0.19 | 13 | -0.32 | 18 | -0.25 | | |

Závislost opravy $\Delta N = I - I_A$ na udané hodnotě N je uvedena v tabulce 3. Grafy z tabulek 2 a 3 jsou vyobrazeny na obrázku 4, včetně korekční křivky ampérmetru.



Obrázek 4: Vlevo: závislost opravených hodnot proudů. Vpravo: korekce proudů ΔN pro různé proudy.

Z uvedené korekční křivky ampérmetru je vidět, že třída přesnosti měřeného přístroje je asi 1.5. Toto však nesouhlasí s údajem na přístroji, který je podle výrobce 0.5. Z korekční křivky je patrné, že oprava není rovnoměrně rozložena kolem rovnovážné polohy, ale spíše nerovnoměrně kolem polohy -0.21 mA a to s absolutní nejistotou ± 0.14 mA (zde bereme střed minimální a maximální polohy – nejedná se o gausovské rozdělení). To znamená, že ručka ampérmetru je patrně posunutá (ohnutá) o 0.21 mA na stupnici. Potom by byla třída přesnosti $0.14/24 \doteq 0.59\%$ pro rozsah přístroje 24 mA, což je daleko blíže třídě přesnosti udané výrobcem. Přesto je však naměřená třída přesnosti ampérmetru o něco větší než původní udávaná.

4. Závěr

Každý protokol musí obsahovat závěr, ve kterém jsou shrnuty podstatné výsledky, zhodnocena úspěšnost experimentu a v případě možnosti jsou naměřené univerzální veličiny srovnány s tabelovanými či jinde publikovanými hodnotami:

V tomto praktiku jsme stanovili graduační křivku termočláňku konstantan – měď (typ T) a určily jeho konstanty lineární závislosti $a_1 = (0.78 \pm 0.02)$ mV a $b_1 = (44.12 \pm 0.15)$ μ V/K. Dle tabelovaných hodnot je jeho citlivost (Seebeckův koeficient) okolo 43 μ V/K, přičemž můžeme tvrdit, že naše měření tomuto výsledku odpovídá vzhledem k tomu, že tato hodnota se s teplotou mění. Ve druhé části praktika se nám podařilo ověřit třídu přesnosti ampérmetru, která vychází nepatrně vyšší i po započtení opravy nulové polohy ručičky přístroje.

Poznámky pro studenty

- Neplette si spojovník - a pomlčku –. Je-li používá spojovník, mezi větami je pomlčka, číselné rozsahy 1–20 jsou s pomlčkou.
- Jednotky se nepíše kurzívou, tedy jeden metr je 1 m a ne 1 *m*.
- Nejistota je pět procent se zapíše 5 %, zatímco pětiprocentní jako 5%.
- Tabulky mají popisky nad tabulkou, obrázky mají popisky pod obrázkem či grafem.
- Nakonec po sobě práci přečtete a opravte všechny hrubky a překlepy (máte přece maturitu, že?) a také nenechte jednopísmenné předložky na koncích řádků (ručně nebo automaticky programem `vlna`).