

# 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

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

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

$$\varphi = 99,9 \%$$

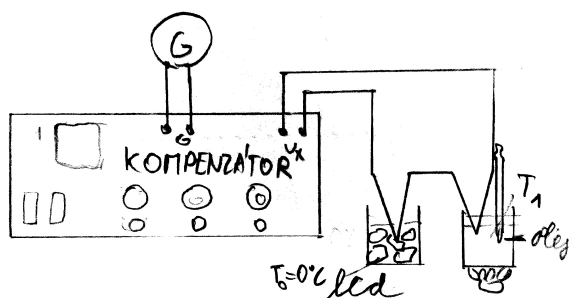
### 1. Úvod

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

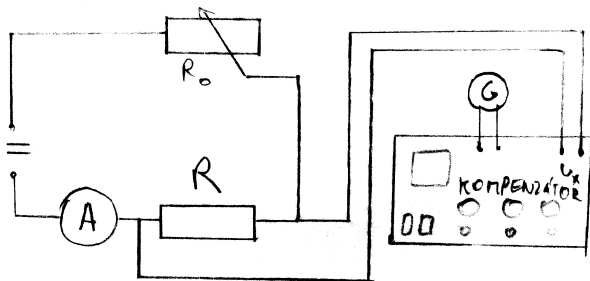
teplotě kontaktu. Pro celkové termonapětí v uzavřeném obvodu, a to jak jednoduchém pro dva vodiče, tak složitějším, platí  $E_T = E_{BA}(T_1) - E_{BA}(T_0)$ , kde  $E_{BA}(T_1)$  a  $E_{BA}(T_0)$  jsou termonapětí kontaktů AB o teplotách  $T_1$  a  $T_0$ . Při určení graduační křivky termočlánku, tj. 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  $\Delta N$  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.

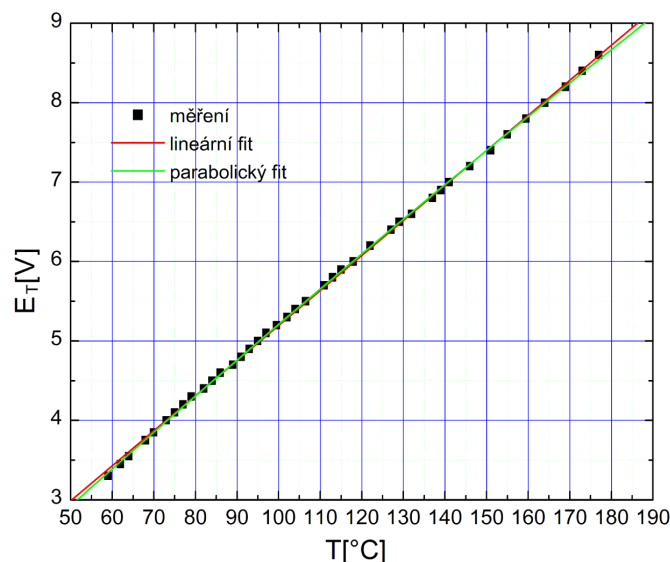
## 3. Měření a zpracování dat

### 3.1. Graduační křivka termočlánku

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 termočládku.

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.  $\rho$  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 termočládku 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:

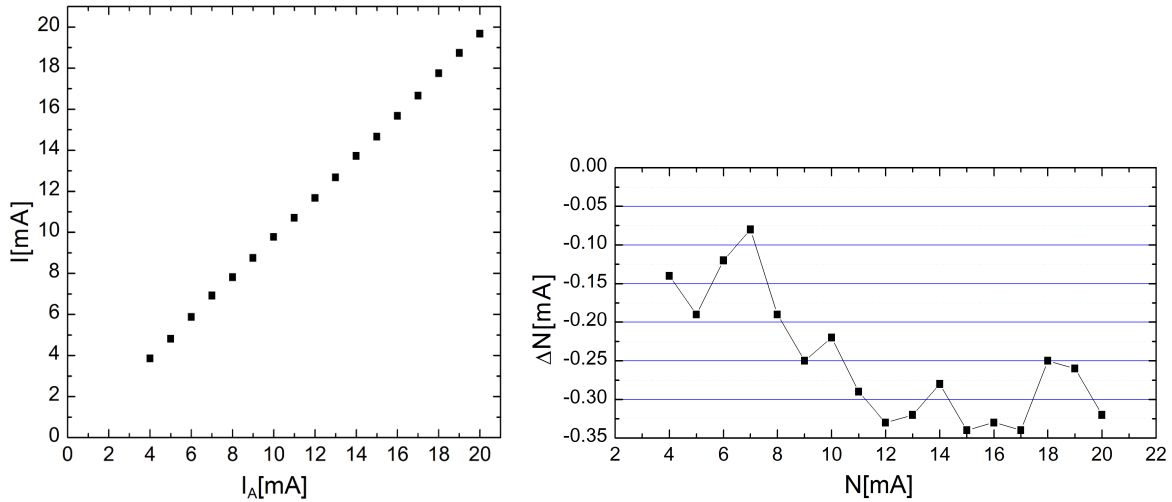
Tabulka 2: Opravené hodnoty proudu, kde  $I_A$  – hodnota udaná ampérmetrem;  $I$  – skutečná hodnota; čili  $I_A = N$ ,  $I = S$ .

$R_0$ [ $\Omega$ ]	$I_A$ [mA]	$U_x$ [mV] $I$ [mA]	$R_0$ [ $\Omega$ ]	$I_A$ [mA]	$U_x$ [mV] $I$ [mA]	$R_0$ [ $\Omega$ ]	$I_A$ [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]	$\Delta N$ [mA]	$N$ [mA]	$\Delta N$ [mA]	$N$ [mA]	$\Delta N$ [mA]	$N$ [mA]	$\Delta N$ [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  $\Delta N$  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  $\pm 0.14$  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 termočlánu konstantan – měď (typ T) a určily jeho konstanty lineární závislosti  $a_1 = (0.78 \pm 0.02)$  mV a  $b_1 = (44.12 \pm 0.15)$   $\mu$ V/K. Dle tabelovaných hodnot je jeho citlivost (Seebeckův koeficient) okolo 43  $\mu$ 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.

## Typografická doporučení

- Rozlišujte 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 nikoli „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.
- Jednopísmenné předložky nemají být osamocené na koncích řádků (pro L<sup>A</sup>T<sub>E</sub>X lze zajistit automaticky programem `vlna`).