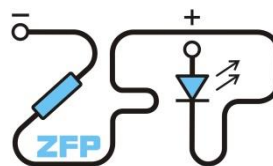


Kabinet výuky obecné fyziky, UK MFF

Fyzikální praktikum II



Úloha č. 8

Název úlohy: Měření malých odporů

Jméno: Ondřej Skácel

Obor: FOF

Datum měření: 30.11.2015

Datum odevzdání:

Připomínky opravujícího:

	Možný počet bodů	Udělený počet bodů
Práce při měření	0 - 5	
Teoretická část	0 - 1	
Výsledky měření	0 - 8	
Diskuse výsledků	0 - 4	
Závěr	0 - 1	
Seznam použité literatury	0 - 1	
Celkem	max. 20	

Posuzoval:.....

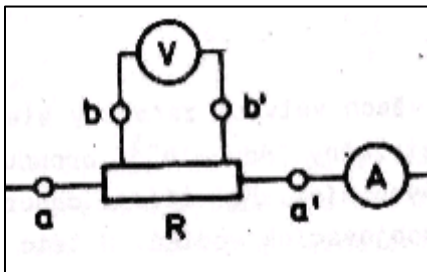
dne:

Pracovní úkoly

- 1) Změřte průměry šesti drátů na pracovní desce.
- 2) Změřte odpor šesti drátů Wheatstoneovým a Thomsonovým můstkem Metra - MTW. Vysvětlete rozdíly ve výsledcích měření. Současně určete odpor přívodních vodičů a odpor na svorkách v případě měření Wheatstoneovým můstkem.
- 3) Změřte odpory ve čtyřbodovém zapojení pomocí multimetru KEITHLEY 2010.
- 4) Určete měrný odpor jednotlivých vzorků i s příslušnou chybou výsledku. Stanovené hodnoty porovnejte s hodnotami uváděnými v tabulkách.

Teoretická část

Při měření malých odporů je výhodné používat tzv. čtyřbodové zapojení rezistoru (viz obr. 1).



Obr. 1 – čtyřbodové zapojení rezistoru – převzato z [1]

Výhodou je, že při měření napětí se oproti standartnímu zapojení neměří i napětí na přívodních konektorech, které je při malém odporu rezistoru vůči skutečnému napětí nezanedbatelné.

Měrný odpor drátu je definován pomocí

$$\rho = \frac{RS}{l} \quad (1)$$

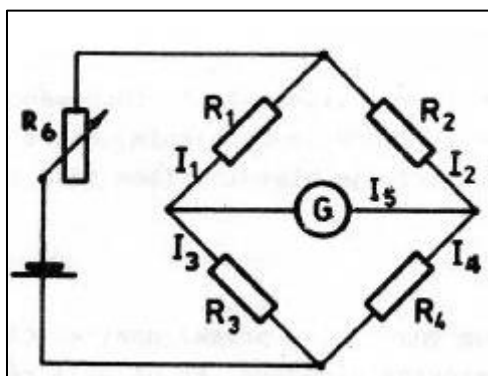
kde l je jeho délka a S obsah jeho průřezu, který je dán

$$S = \pi \frac{d^2}{4} \quad (2)$$

kde d je jeho průměr.

Měření odporu lze provést multimetrem (použitý multimetr pracuje se 4-bodovým zapojením) nebo pomocí můstků.

Wheatstonův můstek



Obr. 2 – Wheatsonův můstek – převzato z [1]

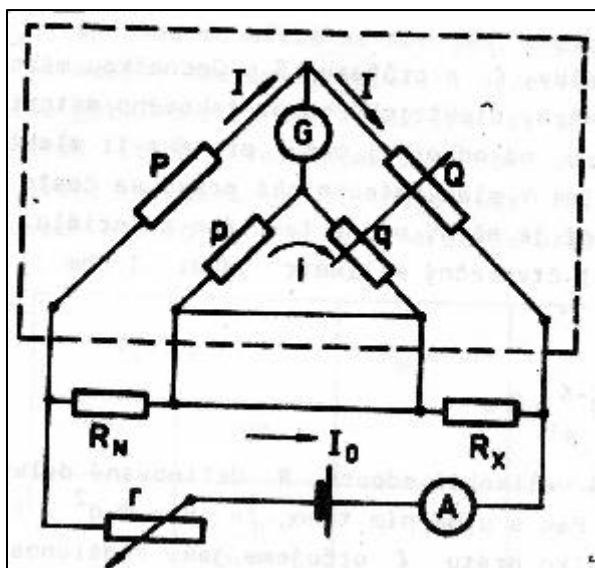
Při nulovém proudu I_5 platí mezi odpory vztah

$$\frac{R_1}{R_2} = \frac{R_3}{R_4} \quad (3)$$

U můstku použitého k měření je na místě odporu R_1 zkoumaný odpor R_X , na místě odporu R_2 je pětimístný dekádový odpor R s rozsahem do 10000Ω . Odpory R_3 a R_4 jsou nastavitelné jako mocniny desítky, ve výsledcích měření je poměr jejich velikostí uveden jako $a/b \equiv R_3/R_4$. Pro hledaný odpor pak platí

$$R_X = R \frac{a}{b} \quad (4)$$

Thomsonův můstek



Obr. 3 – Thomsonův můstek – převzato z [1]

Při nulovém proudu indikátorem G a odporech zvolených tak, aby platilo

$$\frac{p}{P} = \frac{q}{Q} \quad (5)$$

což zajišťuje výrobce můstku, platí pro hledaný odpor

$$R_X = R_N \frac{Q}{P} \quad (6)$$

kde odpor P je konstantní a odpor Q je nastaven na odporové dekádě. Odpor je zapojen čtyřbodově (napěťové kontakty jsou připojeny k můstku, proudové do obvodu s ampérmetrem a zdrojem) a tudíž je měření velmi přesné.

Výsledky měření

Měření probíhalo za teploty $(24,1 \pm 0,1)^\circ\text{C}$.

Všechny chyby jsou vztaženy na pravděpodobnost 1σ .

Chyba měření odporu na dekádě (R respektive Q pro jednotlivé můstky) je $0,02\%$.

Chyba určení odporů můstkovými metodami viz diskuzi.

Naměřené hodnoty

Rozměry drátů

Délka všech drátů je $l = (89,7 \pm 0,2)\text{cm}$.

Chyba určení průměru drátů mikrometrem je $u_d = 5\mu\text{m}$.

Tabulka 1 – průměry drátů na třech různých místech

materiál	$d_{\text{měřené}}[\text{mm}]$			$d_{\text{průměrné}}[\text{mm}]$
chromnikl	0,98	0,98	0,98	0,98
mosaz	0,48	0,48	0,48	0,48
železo	0,40	0,40	0,40	0,40
kanthal	0,49	0,49	0,49	0,49
měď	1,08	1,09	1,09	1,09
wolfram	0,67	0,68	0,67	0,67

Wheatsoneův můstek

Poměr a/b byl pro všechna měření nastaven jako $1/1000$.

Odpor přírodních vodičů byl také změřen na můstku a hodnoty ostatních odporů byly pak odpovídajícím způsobem zkorigovány (viz tabulku 2). Jejich odpor je $(21,6 \pm 0,1)\text{m}\Omega$.

Tabulka 2 – odpory jednotlivých drátů měřené Wheatstonovým můstkem před a po korekci

materiál	$R[\Omega]$	$R_X[\Omega]$	$R_X \text{ po korekci}[\Omega]$
chromnikl	1202,6	1,2026	1,1810
mosaz	329,5	0,3295	0,3079
železo	1507,7	1,5077	1,4861
kanthal	6245,0	6,245	6,2234
měď	39,1	0,0391	0,0175
wolfram	164,9	0,1649	0,1433

Thomsonův můstek

Odpor R_N byl pro všechna měření roven $0,1\Omega$.

Tabulka 3 - odpory jednotlivých drátů měřené Thomsonovým můstkem

materiál	$Q[\Omega]$	$P[\Omega]$	$R_x[\Omega]$
chromnikl	1180,3	100	1,1803
mosaz	3063,0	1000	0,3063
železo	1486,9	100	1,4869
kanthal	6232,0	100	6,2320
měď	167,8	1000	0,0168
wolfram	1386,0	1000	0,1386

Multimetr

Byl použit multimetr Keithley 2010. Jeho chyba je 10^{-4} hodnoty a 10^{-5} rozsahu.

Tabulka 4 - odpory jednotlivých drátů měřené multimetrem

materiál	chromnikl	mosaz	železo	kanthal	měď	wolfram
$R_x[\Omega]$	1,1793	0,30624	1,4832	6,2297	0,01686	0,13856
$u_R[\Omega]$	0,0002	0,00004	0,0003	0,0007	0,00001	0,00002

Měrné odpory

Jednotlivé měrné odpory byly určeny podle rovnice (1) za použití hodnot odporů z měření multimetrem, který je z použitých metod nejpřesnější. Jejich chyba byla díky zanedbatelnosti chyb měření délky a odporu oproti chybě průměru d odhadnuta jako

$$u_\rho = \rho \left(\frac{2u_d}{d} \right) \quad (7)$$

Tabulka 5 – měrné odpory drátů v porovnání s tabulkovými hodnotami z [3] (kanthal) a [4] (ostatní)

materiál	$\rho[\mu\Omega\text{m}]$	$\rho_{\text{tabulkový } 24^\circ\text{C}}[\mu\Omega\text{m}]$
chromnikl	$0,99 \pm 0,01$	1,01 – 1,52
mosaz	$0,062 \pm 0,001$	0,059 – 0,071
železo	$0,208 \pm 0,005$	0,100
kanthal	$1,31 \pm 0,03$	1,51
měď	$0,0174 \pm 0,0002$	0,0175
wolfram	$0,055 \pm 0,001$	0,057

Hodnoty pro 24°C byly hodnot z [3] a [4] spočítány podle tam uvedených koeficientů teplotní závislosti rezistivity.

Diskuze výsledků

Tabulka 6 – porovnání hodnot odporů měřených jednotlivými metodami

materiál	$R_{X\text{ Wheat.}} [\Omega]$	$R_{X\text{ Wheat. po korekci}} [\Omega]$	$R_{X\text{ Thompson}} [\Omega]$	$R_{X\text{ multimetr}} [\Omega]$
chromnikl	1,2026	1,1810	1,1803	1,1793
mosaz	0,3295	0,3079	0,3063	0,30624
železo	1,5077	1,4861	1,4869	1,4832
kanthal	6,245	6,2234	6,2320	6,2297
měď	0,0391	0,0175	0,0168	0,01686
wolfram	0,1649	0,1433	0,1386	0,13856

Porovnáním naměřených hodnot jednotlivými metodami lze odhadnout jejich přesnost a potažmo chyby měření odporů můstkovými metodami.

Tabulka 7 – chyby odporů měřených Wheatstonovým můstkem

materiál	chromnikl	mosaz	železo	kanthal	měď	wolfram
$R_{X\text{ multimetr}} [\Omega]$	1,1793	0,30624	1,4832	6,2297	0,01686	0,13856
$chyba_{Wheat.} [m\Omega]$	1,68	1,66	2,94	-6,31	0,64	4,74
$rel. chyba_{Wheat.} [\%]$	0,14	0,54	0,20	0,10	3,8	3,4

Je vidět, že po korekci hodnot z Wheatsonova můstku o odpor přírodních vodičů je i tato metoda poměrně přesná. Relativní chyba měření roste s klesajícím odporem. Pro použité velikosti odporů ji lze odhadnout mezi 0,1 a 4%.

Při měření Thomsonovým můstkem se relativní chyba pohybuje mezi 0,02 a 0,5%. Není však nijak zjevně závislá na velikosti měřeného odporu a tak lze tyto odchylky brát jako statistické a tvrdit, že chyba měření lze odhadnout na 0,3%.

Hodnoty měrných odporů pro chromnikl, mosaz, měď a wolfram dobře odpovídají v rámci experimentálních chyb a rozsahů tabulkových hodnot pro jednotlivá složení tabulkovým hodnotám.

Pro kanthal uvádí výrobce [3] výrazně jinou hodnotu, než jaká byla naměřena. Pravděpodobně je hodnota uvedena pro drát odlišný složením od měřeného.

Pro železný drát se tabulková hodnota zcela neshoduje s naměřenou a jediný možný závěr je, že měřený drát nebyl z čistého železa.

Závěr

1) Průměry drátů

materiál	chromnikl	mosaz	železo	kanthal	měď	wolfram
$d[mm]$	0,98	0,48	0,4	0,49	1,09	0,67

2) Odpor

materiál	$R_{X\text{Wheat.}}[\Omega]$	$R_{X\text{Wheat. po korekci}}[\Omega]$	$R_{X\text{Thompson}}[\Omega]$	$R_{X\text{multimetr}}[\Omega]$
chromnikl	1,2026	1,1810	1,1803	1,1793
mosaz	0,3295	0,3079	0,3063	0,30624
železo	1,5077	1,4861	1,4869	1,4832
kanthal	6,245	6,2234	6,2320	6,2297
měď	0,0391	0,0175	0,0168	0,01686
wolfram	0,1649	0,1433	0,1386	0,13856

3) Měrné odpory

materiál	chromnikl	mosaz	železo	kanthal	měď	wolfram
$\rho[\mu\Omega m]$	$0,99 \pm 0,01$	$0,062 \pm 0,001$	$0,208 \pm 0,005$	$1,31 \pm 0,03$	$0,0174 \pm 0,0002$	$0,055 \pm 0,001$

Použitá literatura

[1] studijní text dostupný na

http://physics.mff.cuni.cz/vyuka/zfp/_media/zadani/texty/txt_204.pdf

[2] Jiří English: Úvod do praktické fyziky I, Matfyzpress, Praha 2006

[3] webové stránky výrobce kanthalu dostupné na

<http://kanthal.com/en/products/material-datasheets/wire/resistance-heating-wire-and-resistance-wire/kanthal-a-1/>

[4] fyzikální tabulky dostupné na

http://www.engineeringtoolbox.com/resistivity-conductivity-d_418.html