Úkoly

1. Změřte odpor vzorku drátu Wheatstoneovým a Thomsonovým můstkem a čtyřbodovým zapojením. Vysvětlete rozdíly ve výsledcích měření.
2. Vypočítejte měrný odpor jednotlivých vzorků i s příslušnou chybou výsledku.
3. Stanovené hodnoty porovnejte s hodnotami uvedenými v tabulkách.

Teorie

Účelem této úlohy je seznámení se s metodami, kterými se měří malé odpory. Pro taková měření se používají můstky Wheatstoneův a Thomsonův.

Čtyřbodové zapojení se používá k eliminaci vlivu kontaktních potenciálů. Je znázorněno na obrázku 1 str. 25. v [1]. Wheatstoneův můstek je znázorněn na obrázku 2 straně 26. v [1]. Měření odporu spočívá ve vyvážení můstku tak, aby větví s galvanometrem netekl žádný proud. Pro tento vyvážený stav pak platí rovnice

$$X = R\frac{a}{b} \tag{1}$$

kde X značí měřený odpor, a R, a a b příslušné odpory dle zapojení.

Thomsonův můstek je znázorněn na obrázku 3 straně 27. v [1]. Zde pro vyvážený stav platí rovnice

$$X = R\frac{R_N}{R_p} \tag{2}$$

kde X značí měřený odpor, a R, a, b, R_N a R_p příslušné odpory dle zapojení.

Pomůcky

můstky v zařízení Metra–MTW, Galvanometr M65, Keithley 210 multimeter, zdroj Statron Type 2229, pásové měřidlo ($\Delta = 0,1$ cm), mikrometr ($\Delta = 0,005$ mm), vzorky drátů, přívodní vodiče

Měření

Posuvným měřidlem jsme proměřili délku měřených částí drátů $l = (89,9 \pm 0,1)\,cm$, která je z konstrukce uchycení stejná pro všechny vzorky. Následně jsme na více místech změřili průměr drátů. Výsledky jsou zaznamenány v tabulce 1.

Nejdříve jsme změřili odpory pomocí Wheatstoneova můstku, poté pomocí Thomsonova a nakonec čtyřbodově pomocí zařízení Keithley. Obvody jsme zapojili dle [1], viz. Teorie. Jako referenční odpor u Thomsonova zpojení jsme použili $R_N = 0,1\,\Omega$, na zdroji napětí jsme nastavili $U = 0,1\,\mathrm{V}$. Naměřené hodnoty jsou v Tabulce 2.
Dodatečně jsme změřili Wheatstoneovou metodou odpor přívodních drátů ke vzorkům, který vyšel

$$R_0 = (21 \pm 1)\,m\Omega$$

Stanovili jsme měrné odpory vzorků, výsledky jsou v tabulce 3.

Tabulka 1: průměry drátů

	Wolfram	**Měď**	**Konstantan**	**Železo**	**Mosaz**	**Chromnikl**
d_i	0,68	1,10	0,40	0,42	0,59	1,03
[mm]	0,68	1,10	0,40	0,41	0,59	0,99
	0,68	1,09	0,40	0,40	0,59	1,00
	0,69	1,09	0,40	0,40		1,01
		1,09				
		1,09				
d	**0,683**	**1,09**	**0,400**	**0,41**	**0,590**	**1,01**
Δd	0,009	0,01	0,000	0,02	0,000	0,03

Tabulka 2: měření odporů: Wheatstone, Thomson a Keithley

Wheatstone $a/b = 0,001$

	Wolfram	**Měď**	**Konstantan**	**Železo**	**Mosaz**	**Chromnikl**
R [Ω]	162,3	38,8	3729,5	1514,2	241,0	1199,0
X [Ω]	0,162	0,039	3,730	1,514	0,241	1,199
X_{opr} [Ω]	0,142	0,018	3,709	1,494	0,220	1,178

Thomson $R_N == 0,1\,\Omega$

	Wolfram	**Měď**	**Konstantan**	**Železo**	**Mosaz**	**Chromnikl**
R_p [Ω]	1000	1000	100	100	1000	100
R [Ω]	1378,0	166,0	3617,4	1479,7	2202,3	1179,2
X [Ω]	0,138	0,017	3,617	1,480	0,220	1,179

Keithley

	Wolfram	**Měď**	**Konstantan**	**Železo**	**Mosaz**	**Chromnikl**
R [mΩ]	136,8	16,23	3621,3	1465,0	219,4	1178,1
X [Ω]	0,137	0,016	3,621	1,465	0,219	1,178

Tabulka 3: měrné odpory vzorků

$[\Omega\mathrm{m} \cdot 10^{-8}]$	**Wolfram**	**Měď**	**Konstantan**	**Železo**	**Mosaz**	**Chromnikl**
Wheat. ρ	**5,8**	**1,9**	**51,8**	**21,7**	**6,7**	**104,5**
$\Delta\rho$	0,4	0,2	3,4	5,2	0,2	17,4
$\delta\rho$	3,8%	6,3%	3,3%	11,9%	1,6%	8,3%
Thom. ρ	**5,6**	**1,7**	**50,6**	**21,5**	**6,7**	**104,6**
$\Delta\rho$	0,2	0,1	1,2	1,8	0,1	6,2
$\delta\rho$	2,68%	3,69%	2,30%	8,43%	1,08%	5,88%
Keith. ρ	**5,6**	**1,7**	**50,6**	**21,3**	**6,7**	**104,5**
$\Delta\rho$	0,1	0,04	1,2	1,8	0,1	6,1
$\delta\rho$	2,66%	2,13%	2,30%	8,43%	1,06%	5,88%
MFChT ρ	**5,3**	**1,78**	**50**	**10 – 20**	**8**	**110**

Diskuse

Výsledky experimentu se s uspokojivou předsností shodují s tabelovanými hodnotami z [2]. Odchylky od nich mohou být způsobeny jednak vlivy elektrickými jako kontaktní potenciály, vlivy přívodních vodičů, či teplotní závislostí, jednak nepřesnostmi vzorků – nestejnoměrný průměr po celé délce a neúplné propnutí drátů.

Různé metody ukázaly, jak jsou vhodné pro měření jakých odporů. Zatímco Thomsonova metoda a meření se zařízením Keithley prokázaly velkou přesnost, Wheatstoneova metoda se dle očekávání při měření nejmenších odporů od zbylých dvou značně vychylovala směrem k vyšším odporům. Po odečtení vlivu přívodních kabelů se však ke zbylým dvěma metodám svými výsledky přiblížila tak, že se v rámci chyb shodují.

Díky použití nízkého napětí na zdroji jsme u Thomsonovy metody nepozorovali zahřívání vodičů.

Závěr

Měřili jsme měrné odpory šesti vzorků třemi metodami – Wheatstoneovou, Thomsonovou a zařízením Keithley. Experiment se povedl dle očekávání, výsledky jsou zaznamenány v tabulce 3.

Literatura

[1] Bakule R., Šternberg J., Fyzikální praktikum II., SPN Praha 1989

[2] Kolektiv autorů: Matematické, fyzikální a chemické tabulky, SPN, 1970