

Oddělení fyzikálních praktik při Kabinetu výuky obecné fyziky MFF UK

PRAKTIKUM II – Elektřina a magnetismus

Úloha č.: IV

Název: Měření malých odporů

Pracoval: Pavel Brožek

stud. skup. 12

dne 19.12.2008

Odevzdal dne:

Hodnocení:

Připomínky:

Kapitola referátu	Možný počet bodů	Udělený počet bodů
Teoretická část	0 – 3	
Výsledky měření	0 – 10	
Diskuse výsledků	0 – 4	
Závěr	0 – 2	
Seznam použité literatury	0 – 1	
Celkem	max. 20	

Posuzoval: dne

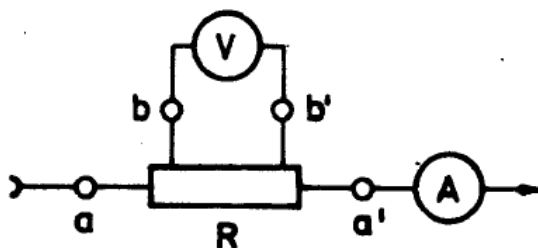
1 Pracovní úkol

1. Změřte průměry šesti drátů na pracovní desce
2. Změřte odpor šesti drátů Wheatstoneovým a Thomsonovým můstkem Metra - MTW. Vysvětlete rozdíly ve výsledcích měření.
3. Změřte odpory ve čtyřbodovém zapojení pomocí můstku Keithley model 2010
4. Stanovte měrný odpor jednotlivých vzorků i s příslušnou chybou výsledku. Stanovené hodnoty porovnejte s hodnotami uváděnými v tabulkách.

2 Teorie

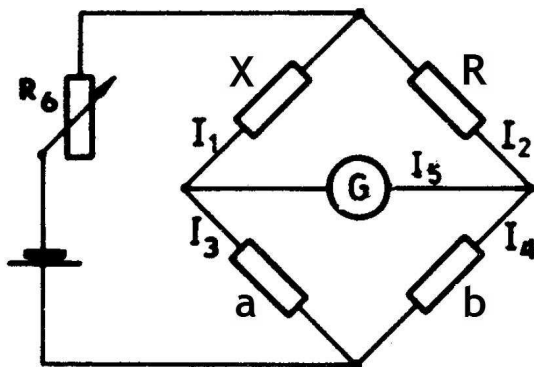
Měření malých odporů provádíme pomocí čtyřbodového zapojení (obrázek 1). Napětí měříme na vnitřních svorkách, aby byl měřen skutečný pokles napětí na odporu bez napětí na přívodních vodičích.

Obrázek 1: Čtyřbodové zapojení



Malé odpory měříme v zapojení Wheatstoneova můstku (obrázek 2) a Thomsonova můstku (obrázek 3). Při obou zapojeních se snažíme docílit toho, aby galvanometrem netekl žádný proud.

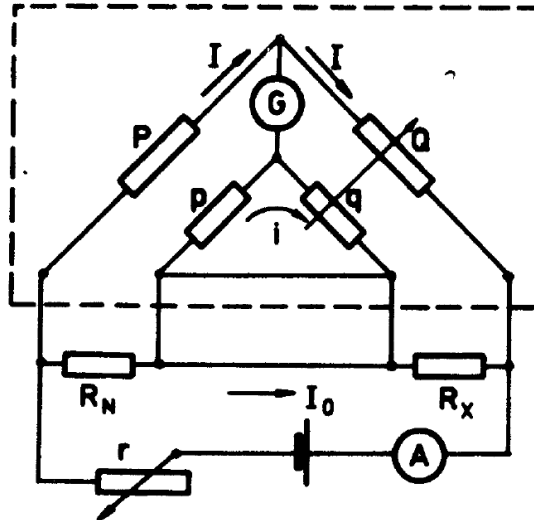
Obrázek 2: Zapojení Wheatstoneova můstku



Pokud jím žádný proud nepoteče v případě Wheatstoneova můstku a budeme znát velikost nastavitelného odporu R a odporů a a b , pak měřený odpor určíme z rovnosti

$$X = R \frac{a}{b} . \quad (1)$$

Obrázek 3: Zapojení Thomsonova můstku



V případě Thomsonova můstku při nulovém proudu galvanometrem platí vztah

$$R_X = R_N \frac{R}{R_p}, \quad (2)$$

kde R_X je odpor, jehož velikost měříme, R_N velikost odporového normálu, R_p odpovídá odporům P a p na obrázku a R je odpor odporové dekády, který představuje odpory Q a q na obrázku.

Měrný odpor vodiče ϱ můžeme určit tak, že změříme odpor drátu R , jeho délku l a průřez S . Pro měrný odpor pak platí vztah

$$\varrho = R \frac{S}{l}. \quad (3)$$

3 Výsledky měření

Měřil jsem odpor a měrný odpor šesti drátů označených: wolfram, měď, konstantan, železo, mosaz, chromnikl. Mikrometrem jsem změřil průměr jednotlivých drátů. Měření jsem opakovl vícekrát na různých místech drátu. Naměřené hodnoty a určené průměry s chybou jsou uvedeny v tabulce 1. Z průměrů jsem určil průřezy drátů S , které také s chybou uvádím v tabulce 1.

Délku drátů l mezi ryskami, v kterých byly zapojeny napěťové kontakty, jsem měřil pásovým měřidlem. Délka všech drátů byla stejná. Chybu měření odhaduji 1 cm.

$$l = (90 \pm 1) \text{ cm} \quad (4)$$

Při zapojení Wheatstoneova můstku jsem nastavil $a = 1 \Omega$ a $b = 1000 \Omega$, abych mohl využít celé odporové dekády a zvětšil tak přesnost. Pro každý drát jsem určil odpor R na odporové dekádě, při kterém galvanometrem neprocházal proud. Protože jsem takto měřil odpor drátů i s přívodními kabely, změřil jsem i odpor těchto kabelů R_{kab} podle vztahu (1), abych ho mohl odečíst při měření odporu drátů.

$$R_{\text{kab}} = (21,1 \pm 0,5) \text{ m}\Omega \quad (5)$$

Odpor drátů jsem určil tak, že jsem od hodnoty dané vztahem (1) odečetl odpor přívodních kabelů. Chybu určení odporu R na odporové dekádě, při kterém galvanometrem tekl nulový proud, odhaduji na $0,5 \Omega$ a to z důvodu, že pro podobné hodnoty odporu nebyl pohyb ručičky galvanometru zřetelný. Chyba určení hledaného odporu X je pro všechny dráty $\sigma_X = 0,7 \Omega$. Naměřené

Tabulka 1: Měření průměru drátů

	d [mm]					
	wolfram	měď	konstantan	železo	mosaz	chromnikl
	0,695	1,105	0,405	0,417	0,602	1,032
	0,697	1,103	0,404	0,416	0,602	1,010
	0,693	1,110	0,405	0,411	0,600	1,051
	0,693	1,103	0,403	0,416	0,601	1,007
	0,690	1,104	0,411	0,415	0,599	1,038
průměr	0,694	1,105	0,406	0,415	0,601	1,03
σ_{sys}	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002
σ_{stat}	0,002	0,003	0,003	0,002	0,001	0,02
σ_d	0,003	0,004	0,004	0,003	0,002	0,02
S [mm ²]	0,378	0,959	0,129	0,135	0,283	0,83
σ_S	0,003	0,007	0,003	0,002	0,002	0,03

hodnoty na odporové dekádě R a určené odpory drátů X (po korekci na přívodní kabely) uvádím v tabulce 2.

Tabulka 2: Naměřené hodnoty - Wheatstoneův můstek

	R [Ω]	X [m Ω]
přívodní kabely	21,1	21,1
wolfram	162,1	141,0
měď	39,4	18,3
konstantan	3740,1	3719,0
železo	1495,0	1473,9
mosaz	241,6	220,5
chromnikl	1198,6	1177,5

Při měření pomocí Thomsonova můstku jsem nastavil pro jednotlivé dráty vhodně R_p a určil jsem odpor R na odporové dekádě, při kterém neprotékal galvanometrem žádný proud. Odpor normálu je $R_N = 0,1 \Omega$. Naměřené hodnoty a vypočítané neznámé odpory R_X podle vzorce (2) jsou uvedeny v tabulce 3. V téže tabulce jsou uvedeny i odpory R_k naměřené přístrojem Keithley.

Měrný odpor jsem podle vzorce (3) určil z odporů drátů naměřených pomocí Thomsonova můstku. Hodnoty s chybami jsou uvedeny v tabulce 4.

4 Diskuse výsledků

Při měření Wheatstoneovým můstkem se oproti měření Thomsonovým můstkem projevuje systematická chyba způsobená odporem přívodních vodičů. Po započtení odporu přívodních vodičů se však hodnoty naměřené různými metodami stále liší. Určená chyba měření odporu je pravděpodobně velmi podceněná. Na měření mohla mít vliv rostoucí teplota drátů při průchodu proudem. To však nevysvětluje různé hodnoty naměřené pro konstantan, jehož teplotní součinitel odporu je velmi malý.

Hodnoty měrných odporů z tabulek [2] jsou uvedeny v tabulce 5. Hodnoty se příliš neliší od hodnot naměřených, do intervalu daného chybou měření však většinou nespádají. Velký rozdíl

Tabulka 3: Naměřené hodnoty - Thomsonův můstek, Keithley

	$R_p[\Omega]$	$R[\Omega]$	$R_X[m\Omega]$	$\sigma_{R_X}[m\Omega]$	$R_k[m\Omega]$
wolfram	1000	1403,5	140,35	0,05	136,9
měď	1000	165,9	16,59	0,05	16,5
konstantan	100	3622,0	3622,0	0,5	3630,5
železo	100	1539,7	1539,7	0,5	1474,1
mosaz	1000	2237,0	223,70	0,05	220,3
chromnikl	100	1180,3	1180,3	0,5	1178,6

Tabulka 4: Měrné odpory

	$\varrho \cdot 10^9[\Omega m]$	$\sigma_\varrho \cdot 10^9[\Omega m]$
wolfram	58,9	0,8
měď	17,7	0,2
konstantan	520	12
železo	231	4
mosaz	70,5	0,9
chromnikl	1090	40

mezi hodnotou naměřenou a tabelovanou je u železa. Pravděpodobně měřený drát není vyroben z čistého železa, ale má v sobě příměsi, což zvyšuje jeho měrný elektrický odpor.

Tabulka 5: Měrné odpory - tabelované hodnoty

	$\varrho \cdot 10^9[\Omega m]$
wolfram	48,9
měď	15,55
konstantan	490
železo	88,1
mosaz	70-90
chromnikl	1040-1120

5 Závěr

Změřil jsem rozměry šesti drátů (tabulka 1).

Wheatstoneovým a Thomsonovým můstkem jsem změřil jejich odpor (tabulka 2 a 3). Odpor drátů jsem také změřil můstkem Keithley (tabulka 3).

Stanovil jsem měrný odpor a jeho chybu (tabulka 4) a porovnal s hodnotami uváděnými v tabulkách (tabulka 5).

Reference

- [1] R. Bakule, J. Šternberk: Fyzikální praktikum II - Elektřina a magnetismus, SPN, Praha
- [2] J. Brož, V. Roskovec, M. Valouch: Fyzikální a matematické tabulky, SNTL, Praha