

Fyzikální praktikum II

Úloha č. 4

Název.: Měření malých odporů

Měřil.: Michal Švanda.....**dne:**...29. listopadu 2000.....

odevzdal dne:.....vráceno:.....

odevzdal dne:.....vráceno:.....

odevzdal dne:.....

Posuzoval:.....**dne:**.....

Výsledek klasifikace:.....

Připomínky:

Pracovní úkol

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

Teoretický úvod

Na měření odporů existuje spousta metod. Bohužel většina z nich je zatížena velkou systematickou chybou - tedy odporovým pozadím, které nikdy nemůžeme úplně odstranit. Při měření velkých odporů můžeme prohlásit, že taková chyba nebude větší než určitého řádu a ztratí se např. v aplikaci jiných chyb (např. statistických nebo přístrojových).

To však nemůžeme udělat v případě, pokud chceme změřit odpor malý, kdy již odporové pozadí např. vodičů nebo kontaktů je svou hodnotou srovnatelné s měřeným odporem. Taková chyba by celé měření v podstatě naprosto znehodnotila. Proto k měření malých odporů používáme obvody s můstkem.

Jednoduchý můstkový obvod s odpory ve větvích se nazývá *Wheatstoneův můstek* a je vhodný pro měření odporů v rozmezí $1 \div 10^7 \Omega$. Při větších hodnotách odporů již teče větvevi můstku malý proud a potřebovali bychom tedy velmi citlivý indikátor.

Měření Wheatstoneovým můstkem je typicky zatíženo systematickou chybou, protože změříme odpor zvětšený o odpor kontaktů a přírodních vodičů. Tuto chybu lze odstranit např. čtyřbodovým zapojením rezistoru. Rezistor pak musí být opatřen čtyřmi kontakty: vnější kontakty se nazývají *proudovými*, které se připojí sériově do obvodu se zdrojem napětí. Mezi *vnitřními* kontakty pak měříme napětí. Protože je odpor voltmetru zcela jistě podstatně větší, než odpor měřený, nepoteče proudy v zásadě žádný elektrický proud a proto se neuplatní jejich odpor neuplatní. Čtyřbodové zapojení používáme především při měření dvojitým *Thomsonův můstek*. Měření na odporu se převádí na měření na odporovém normálu, kterým protéká stejný proud. Oba můstky jsou vyobrazeny na přiložených obrázcích. Podrobnější teorii kolem můstků včetně jejich odvození z Kirchhoffových zákonů lze najít např. v [L1] nebo [L2].

Elektrický odpor je veličina do značné míry neobjektivní, protože závisí nejen na látce, z níž je rezistor postaven, ale také na rozměrech rezistoru. Mnohem objektivnější je *měrný elektrický odpor*, který je definován vztahem:

$$\rho = R \frac{S}{l}, \quad [\text{R1}]$$

kde R je elektrický odpor homogenního vodiče délky l a průřezu S .

Postup měření:

Wheatstoneův můstek: Zapojíme obvod podle schematu na přiloženém obrázku. Na panelu můstku nastavujeme tři parametry měření - odpory a , b (nastavují citlivost přístroje) tak, abychom mohli odečítat odpor R na pět platných míst. Změřený odpor je pak dán vztahem:

$$X = R \frac{a}{b} \quad [\text{R2}]$$

Abychom se pokusili eliminovat systematickou chybu způsobenou vodiči, změříme stejným způsobem odpor vodičů při zkratovaném zapojení a od naměřených hodnot tento odpor odečítáme.

Thomsonův můstek: na můstku nastavujeme dva parametry: $a=b$ pro stanovení citlivosti tak, abychom odpor R mohli pokud možno odečíst na pět platných míst. Výsledný odpor X se pak vypočítá podle vztahu:

$$X = R_N \frac{R}{a}, \quad [R3]$$

kde R_N je odporový normál.

Výsledky měření

Měření Wheatstoneovým můstkem shrnuje tabulka [T1]. Při měření jsem dospěl k následujícím hodnotám:

Vzorek	Odpor	Měrný odpor
wolfram	0,1347±0,0002 Ω	54,9±0,9×10 ⁻³ μΩm
měď	0,01730±0,00002 Ω	15,5±0,2×10 ⁻³ μΩm
konstantan	3,662±0,004 Ω	495±7×10 ⁻³ μΩm
železo	0,725±0,001 Ω	150±2×10 ⁻³ μΩm
mosaz	0,2174±0,0003 Ω	65,4±0,6×10 ⁻³ μΩm
chromnikl	2,078±0,002 Ω	1,82±0,02 μΩm

Měření Thomsonovým můstkem shrnuje tabulka [T2]. Dospěl jsem k následujícím hodnotám:

Vzorek	Odpor	Měrný odpor
wolfram	0,1378±0,0001 Ω	56,1±0,7×10 ⁻³ μΩm
měď	0,01990±0,00002 Ω	17,9±0,2×10 ⁻³ μΩm
konstantan	3,5684±0,0007 Ω	482±7×10 ⁻³ μΩm
železo	0,6340±0,0006 Ω	131±2×10 ⁻³ μΩm
mosaz	0,2174±0,0003 Ω	66,4±0,6×10 ⁻³ μΩm
chromnikl	1,1784±0,0002 Ω	1,031±0,009 μΩm

Chyby stanovení odporu jsou určeny z chyb popsanych na štítku přístroje. Projevuje se to tím, že jsou v řádu desetin až setin procent, záleží na rozsahu. Zatímco na chybách měrného odporu se již projevuje více veličin, jsou tedy mnohem větší (řádů procent). Nejistota měřeného průměru drátu je stanovena jako chyba přístrojová (3σ je polovina nejmenšího dílku) a nejistota měřené délky je odhadnuta podle prohnutí a deformace drátu.

Diskuse

Z tabulek [L3] jsem vypsal tabelované hodnoty měrného odporu pro příslušné materiály a porovnal je s hodnotami naměřenými:

Vzorek	Wheatstoneův můstek	Thomsonův můstek	Tabelovaná hodnota	Odchylka tabelované a experimentální hodnoty
wolfram	$54,9 \pm 0,9 \times 10^{-3} \mu\Omega\text{m}$	$56,1 \pm 0,7 \times 10^{-3} \mu\Omega\text{m}$	$53 \times 10^{-3} \mu\Omega\text{m}$	W: +6%, T: +10%
měď	$15,5 \pm 0,2 \times 10^{-3} \mu\Omega\text{m}$	$17,9 \pm 0,2 \times 10^{-3} \mu\Omega\text{m}$	$18 \times 10^{-3} \mu\Omega\text{m}$	W: -14%, T: -1%
konstantan	$495 \pm 7 \times 10^{-3} \mu\Omega\text{m}$	$482 \pm 7 \times 10^{-3} \mu\Omega\text{m}$	$500 \times 10^{-3} \mu\Omega\text{m}$	W: -1%, T: -4%
železo	$150 \pm 2 \times 10^{-3} \mu\Omega\text{m}$	$131 \pm 2 \times 10^{-3} \mu\Omega\text{m}$	$100 \div 200 \times 10^{-3} \mu\Omega\text{m}$	
mosaz	$65,4 \pm 0,6 \times 10^{-3} \mu\Omega\text{m}$	$66,4 \pm 0,6 \times 10^{-3} \mu\Omega\text{m}$	$80 \times 10^{-3} \mu\Omega\text{m}$	W: -18%, T: -17%
chromnikl	$1,82 \pm 0,02 \mu\Omega\text{m}$	$1,031 \pm 0,009 \mu\Omega\text{m}$	$1,1 \mu\Omega\text{m}$	W: +65%, T: -6%

Za tubulky je vidět, že řádově měrné odpory vycházejí velmi dobře. Poslední sloupec vyjadřuje relativní odchylku tabelované hodnoty od střední hodnoty experimentální. Je vidět, že shoda není příliš velká, zvláště u chromniklu Wheatstoneovým můstkem.

Bohužel, tyto odchylky nedovedu vysvětlit. Nemůže jít o systematickou chybu, protože se hodnoty odchylek značně liší, především však nemají neustále stejné znaménko. Shodu mohu prohlásit pouze u železa, neboť měrný odpor velmi závisí na všech příměsích a především na jejich koncentraci. Kladná znaménka v odchylkách lze vysvětlit tím, že naměřený odpor je stanoven pro pokojovou teplotu, zatímco tabelovaný pro teplotu 0°C. Což ovšem nemůže činit 65% u chromniklu. Předpokládám, že nezanedbatelný podíl na rozdílech mají čistoty jednotlivých prvků.

Rozdíly v hodnotách pro Wheatstoneův a Thomsonův můstek mohou být způsobeny pravděpodobně kontakty, jejichž vliv neumím odstranit.

Závěr

Změřil jsem odpory připravených vzorků a měrný odpor jednotlivých kovů. Zjistil jsem, že měření pomocí můstků řádově odpovídá velmi dobře, jeho skutečná přesnost vůči tabelovaným hodnotám je však značně relativní.

Literatura

- [L1] Brož, J. - Základy fyzikálních měření
- [L2] Bakule, R., Šternberk, J. - Fyzikální praktikum II.
- [L3] Mikulčák, J. a kol - Matematické, fyzikální a chemické tabulky pro SŠ

Poznámka:

Uvedené chyby jsou chybami na hladině σ (pokud není uvedeno jinak).