

## MĚŘENÍ REZISTANCE (ELEKTRICKÉHO ODPORU)

### Teorie:

Nenulovou rezistanci (elektrický odpor) mají prakticky všechny elektrické a elektronické součástky. Na velikostech jejich odporů závisí vlastnosti elektrických obvodů, které jsou z nich sestaveny. Velikost rezistancí určuje i velikost energetických ztrát v obvodech.

Měření rezistance patří mezi klasická a propracovaná měření; závisí na přístrojovém vybavení, jakou metodu či postup k měření vybereme. Kromě přímého měření ohmmetrem se podle požadované přesnosti měření často používají **metoda přímá**, **substituční** a metoda využívající **Wheatstoneův můstek**.

### Základní vztahy:

Rezistance (elektrický odpor)  $R$  vůči stejnosměrnému proudu je koeficient úměrnosti mezi elektrickým napětím  $U$  a proudem  $I$ . Platí vztah [1]:

$$R = \frac{U}{I}, \quad (1)$$

který plyne z Ohmova zákona. Rezistance závisí na materiálu, délce a průřezu vodiče.

Hlavní jednotkou rezistance je 1 ohm = 1  $\Omega$ : je to odpor vodiče, v němž stálé elektrické napětí 1 V mezi konci vodiče vyvolá proud 1 A, nepůsobí-li ve vodiči elektromotorické napětí.

a) Přímá metoda (podrobněji viz [1], odst. 4.2.7.) V zapojení AMONT (*obr. 1*, přepínač P je v poloze 2) měří voltmetr součet napětí na rezistoru o neznámém odporu  $R_X$  a na ampérmetru o vnitřním odporu  $R_A$ . Neznámou rezistanci vypočteme z naměřených hodnot  $U$  a  $I$  podle vztahu

$$R_X = \frac{U}{I} - R_A. \quad (2)$$

V případě  $R_A \ll R_X$  platí přibližně

$$R_X \cong \frac{U}{I}. \quad (2a)$$

Protože vnitřní odpory ampérmetrů mají řádově velikost jednotek ohmů, je uvedené zapojení *vhodné pro měření velkých rezistancí* (řádově k $\Omega$ ).

V zapojení AVAL (*obr. 1*, přepínač P je v poloze 1) měří ampérmetr součet proudu procházejícího rezistorem a proudu tekoucího voltmetrem o vnitřním odporu  $R_V$ . V tomto případě vypočteme neznámou rezistanci z rovnice

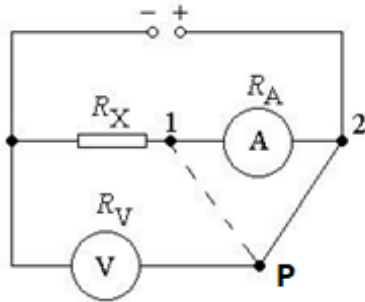
$$R_X = \frac{U}{I - \frac{U}{R_V}}. \quad (3)$$

Pro  $R_V \gg R_X$  platí přibližný vztah (2a). Zapojení je *vhodné k měření malých rezistancí* (malých ve srovnání s vnitřním odporem voltmetru). Při použití přístrojů třídy přesnosti 0,5 je relativní chyba měření rezistance menší než 1 %.

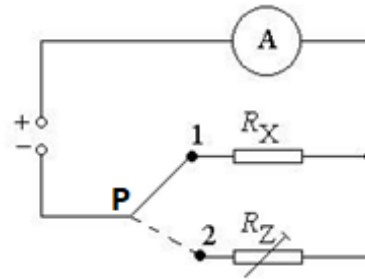
b) Substituční metoda Změříme proud  $I$  procházející neznámým odporem  $R_X$  (*obr.2*, přepínač P v poloze 1), zařadíme regulovatelný rezistor o známé hodnotě rezistance  $R_Z$

(přepínač v poloze 2) a nastavíme na něm takovou hodnotu rezistance, aby obvodem procházel stejný proud  $I$  jako před přepnutím přepínače  $P$ . V tom případě platí

$$R_X = R_Z. \quad (4)$$



Obr. 1: Přímá metoda



Obr. 2: Substituční metoda

Metoda umožňuje rychlé měření rezistance s přesností 1 % a vyšší.

### c) Wheatstoneův můstek

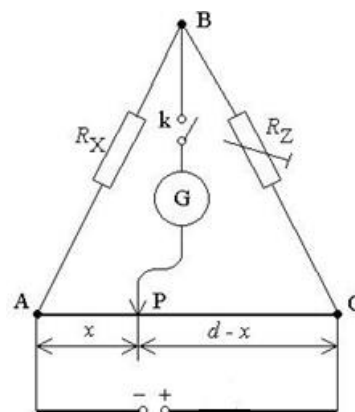
Zařízení tohoto typu je komerčně vyráběno v různých provedeních, umožňujících dosáhnout přesnosti měření až 0,001 %. V zapojení na obr. 3 provedeme **vyrovnání** můstku (tzn. dosáhneme toho, aby při sepnutém klíči  $k$  neprocházel galvanometrem žádný proud) měněním poměru délek  $x$  a  $(d - x)$  homogenního odporového drátu konstantního průřezu a celkové délky  $d$ . Po vyrovnání můstku platí

$$R_X = R_Z \frac{x}{d-x}. \quad (5)$$

Nejpřesnějšího výsledku dosáhneme v případě, že hodnoty  $R_X$  a  $R_Z$  jsou přibližně stejné. Potom se posuvný jezdec  $P$  nachází v blízkosti středu odporového drátu.

#### Pracovní úkol:

1. Změřte rezistance nejméně dvou různých rezistorů metodami přímou, substituční a Wheatstoneova můstku.
2. Pro každou metodu stanovte chybu měření a porovnejte metody z hlediska přesnosti.



Obr. 3: Wheatstoneův můstek

**Potřeby:** zdroj stejnosměrného napětí s jemným nastavením, ampérmetr, voltmetr, galvanometr, odporová dekáda, pravítkový můstek, přepínač, vypínač, klíč, sada rezistorů.

#### Pokyny k měření a jeho zpracování:

- 1) Zapojíme obvod podle schématu na obr. 1 a obvod si necháme zkontrolovat. Změříme hodnoty proudu a napětí při obou polohách přepínače  $P$ . Provedeme alespoň 5 měření při různých hodnotách napětí a proudu. Kromě naměřených hodnot si poznamenejeme rozsahy přístrojů (a jim příslušející vnitřní odpory  $R_A$  a  $R_V$ ) a jejich třídy přesnosti. Stejný postup opakujeme na jiném rezistoru o neznámé hodnotě odporu. Před rozpojením necháme obvod zkontrolovat.

- 2) Připravíme zapojení podle *obr. 2* jako regulovatelný rezistor o známé hodnotě odporu  $R_Z$  použijeme odporovou dekádu. Jemnou regulací zdroje nastavíme určitou výchylku  $\alpha$  ručky ampérmetru (přepínač P je v poloze 1). Na odporové dekádě nastavíme **maximální hodnotu** rezistance a přepneme přepínač do polohy 2. Snižujeme postupně rezistanci dekády až do okamžiku, kdy výchylka ručky ampérmetru dosáhne opět hodnoty  $\alpha$ . Zjištěnou hodnotu odporu  $R_Z$  dekády si poznamenejeme. Měření několikrát opakujeme při různých procházejících prouděch. Stejným způsobem měříme druhou neznámou rezistanci. U odporové dekády je nutné započítat i chyby odporů dekády, které činí  $\sim 2\%$  pro  $k\Omega$  a  $h\Omega$ ;  $\sim 5\%$  pro desítky a jednotky  $\Omega$ .
- 3) Zapojíme obvod podle schématu na *obr. 3*. Jako rezistor o známé rezistanci  $R_Z$  použijeme opět odporovou dekádu, na které nastavíme hodnotu odporu blízkou hodnotě zjištěné při měření substituční metodou. Po kontrole zapojení při stisknutí klíči k posouváme posuvným jezdcem P tak dlouho, až galvanometr ve větvi BP ukáže nulovou výchylku. Zjištěné hodnoty  $R_Z$ ,  $x$  a  $(d - x)$  zapíšeme do připravené tabulky. Měření opakujeme několikrát při (nepříliš) odlišných hodnotách  $R_Z$ .
- 4) Z hodnot napětí a proudů zjištěných při měření přímou metodou vypočítáme velikosti neznámých rezistancí podle vztahů (2) a (3), stanovíme jejich aritmetický průměr a směrodatnou odchylku. Vztahu (2a) použijeme, nepřekročí-li oprava na započtení vnitřních odporů přístrojů 1% jmenovité hodnoty měřené rezistance (ověřte!). V závěru uveďte (se zdůvodněním) pouze jeden výsledek (zapojení AMONT nebo AVAL) s ohledem na poměr velikostí odporů  $R_X$ ,  $R_A$ ,  $R_V$ .
- 5) Hodnoty zjištěné substituční metodou zpracujeme jako přímá měření se započtením chyb odporové dekády.
- 6) Jednotlivá měření na Wheatstoneově můstku zpracujeme podle vztahu (5), pro každý měřený rezistor vypočteme aritmetický průměr a směrodatnou odchylku. Je nutné i zde započítat chyby odporů odporové dekády.
- 7) Vypočtené hodnoty rezistancí získané různými metodami spolu s příslušnými chybami shrneme do přehledné tabulky.
- 8) Dosažené výsledky porovnáme a zhodnotíme.

#### Kontrolní otázky:

- 📖 Jakou modelovou představou lze (mikroskopicky) vysvětlit elektrický odpor kovu?
- 📖 Znáte značky užívané ve schématech elektrických obvodů? Co je to třída přesnosti analogového voltmetru (ampérmetru) a kde údaj o ní najdete?
- 📖 Kdy je vhodnější, při měření přímou metodou, použít zapojení AMONT a kdy AVAL?
- 📖 Co znamená, že Wheatstoneův můstek je vyrovnán?

#### Literatura:

- [1] WAGNER, J., KOPAL, A. *Fyzika II*. Vydání 2. Liberec: TUL, 1995.

**Autoři textu:** Mgr. Lubor Machonský, CSc.