

## Měření odporu rezistoru

Odpor [rezistoru](#) se ve většině případů měří tak, že [voltmetrem](#) změříme [elektrické napětí](#)  $U$  na daném rezistoru a [ampérmetrem](#) [elektrický proud](#)  $I$ , který daným rezistorem prochází. Na základě těchto dvou údajů pak můžeme odpor rezistoru  $R$  určit na základě vztahu  $R = \frac{U}{I}$ .

Tato metoda je použitelná pro určení odporu jakékoliv součástky (rezistor, [termistor](#), [fotorezistor](#), [diody](#), [LED](#), ...), protože využívá aktuálního napětí měřeného na dané součástce a aktuálního proudu, který danou součástkou prochází. Není nutný žádný předpoklad o tom, jak vypadá voltampérová charakteristika dané součástky.

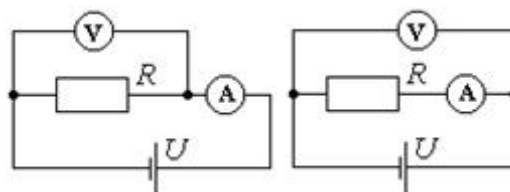
Ve všech dále uvedených variantách měření odporu rezistoru budeme uvažovat obvod připojený ke zdroji [svorkového napětí](#)  $U$ . Při skutečném měření je vhodné toto napětí (a tedy i proud procházející měřeným rezistorem) měnit (např. pomocí [reostatu](#)). Principiálně ale budeme mít v každém okamžiku (tj. při každém z několika provedených měření) měřený rezistor připojený k určitému zdroji o svorkovém napětí  $U$ .

Pokud bychom měli k dispozici zdroj daný svým [elektromotorickým napětím](#) a [vnitřním odporem zdroje](#), určíme nejdříve na základě [Ohmova zákona pro celý obvod](#) svorkové napětí zdroje.

Voltmetr připojujeme k měřenému rezistoru paralelně a ampérmetr sériově, ale i tak máme dvě základní možnosti - viz schémata elektrických obvodů na obr. 70 a obr. 71. V obou těchto zapojeních přitom neuvažujeme vnitřní odpory měřících přístrojů.

Uvedené způsoby zapojení jsou ve shodě s předpokladem, že nebudeme uvažovat vnitřní odpory obou přístrojů. Znamená to, že uvažujeme kvalitní měřící přístroje. Kvalitní ampérmetr má téměř nulový (ideální ampérmetr má přesně nulový) vnitřní odpor, a proto se zařazuje do obvodu sériově. Neovlivní tak proud, který daným obvodem prochází.

Kvalitní voltmetr má velmi vysoký (ideální voltmetr má nekonečně velký) vnitřní odpor, a proto se k dané součástce v obvodu zapojuje paralelně. V tom případě ani tento přístroj neovlivní měřenou součástku, protože jím bude procházet nulový proud; všechny proud poteče druhou větví, k níž je voltmetr paralelně připojen.



Obr. 70

Obr. 71

V zapojení podle schématu zobrazeného na obr. 70 pro elektrický proud naměřený ampérmetrem platí  $I_{A1} = \frac{U}{R}$ . Napětí na voltmetru pak je  $U_{V1} = RI_{A1} = R \frac{U}{R} = U$ . Měřená hodnota odporu rezistoru  $R_{M1}$  tedy je  $R_{M1} = \frac{U_{V1}}{I_{A1}} = U \frac{R}{U} = R$ . Tedy naměříme stejnou hodnotu odporu, jaký daný rezistor má.

[Veličinu](#)  $R_M$  s příslušnými indexy zavádíme proto, abychom odlišili hodnotu odporu  $R$  rezistoru, která je na daném rezistoru napsána, od hodnoty odporu, kterou počítáme na základě měření. Jak

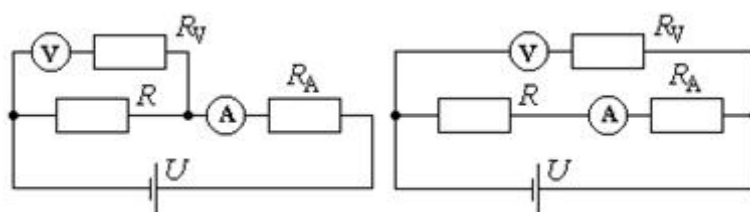
bude uvedeno dále, ne vždy budou tyto dvě hodnoty stejné.

V zapojení podle schématu zobrazeného na obr. 71 voltmetr ukáže hodnotu napětí  $U_{V2} = U$  a ampérmetr ukáže hodnotu proudu  $I_{A2} = \frac{U_{V2}}{R} = \frac{U}{R}$ . Tedy přesně stejná situace jako v předchozím případě. Proto naměřená hodnota odporu rezistoru je  $R_{MB} = R$ .

Při pečlivém měření je ale nutné si uvědomit, že jak voltmetr tak ampérmetr nejsou ideální součástky. Každá z nich má svůj vnitřní odpor. Označme vnitřní odpor voltmetru  $R_V$  a vnitřní odpor ampérmetru  $R_A$ .

Na schématech zobrazených na obr. 72 a obr. 73 tak symboly „V v kroužku“ a „A v kroužku“ reprezentují opět ideální přístroje (ideální voltmetr a ideální ampérmetr). Vnitřní odpory obou měřicích přístrojů jsou k těmto ideálním přístrojům připojeny sériově.

I v tomto případě máme dvě možnosti, jak daný obvod zapojit - viz schémata zobrazená na obr. 72 a obr. 73.



Obr. 72

Obr. 73

V zapojení podle obr. 72 jsou rezistor o odporu  $R$  a vnitřní odpor voltmetru spojeny paralelně a k nim je sériově připojen vnitřní odpor ampérmetru. [Paralelní spojení rezistorů](#) o odporech  $R$  a  $R_V$

můžeme nahradit jediným rezistorem o odporu  $R_1 = \frac{RR_V}{R + R_V}$ . Celkový odpor obvodu, který je zapojen podle schématu zobrazeného na obr. 72 (tj. [séριοvé zapojení rezistorů](#) o odporech  $R_1$  a  $R_A$ ), tedy je dán vztahem  $R_{\text{celk}} = R_A + R_1 = R_A + \frac{RR_V}{R + R_V} = \frac{RR_A + R_A R_V + RR_V}{R + R_V}$ . Ampérmetr tedy ukáže hodnotu

elektrického proudu danou vztahem:  $I_{A3} = \frac{U}{R_{\text{celk}}} = U \frac{R + R_V}{RR_A + R_A R_V + RR_V}$ . Napětí, které ukáže voltmetr, je

dáno vztahem  $U_{V3} = I_{A3} R_1 = U \frac{R + R_V}{RR_A + R_A R_V + RR_V} \cdot \frac{RR_V}{R + R_V} = \frac{URR_V}{RR_A + R_A R_V + RR_V}$ . Pro měřenou hodnotu

odporu  $R_{MB}$  tedy můžeme psát  $R_{MB} = \frac{U_{V3}}{I_{A3}} = \frac{URR_V}{RR_A + R_A R_V + RR_V} \cdot \frac{RR_A + R_A R_V + RR_V}{U(R + R_V)} = \frac{RR_V}{R + R_V}$ . Tento vztah

můžeme dále upravit vytknutím a následným zkrácením na tvar  $R_{MB} = \frac{RR_V}{R_V \left( \frac{R}{R_V} + 1 \right)} = \frac{R}{\frac{R}{R_V} + 1}$ .

Měřená hodnota odporu je tedy v tomto případě hodnota odporu rezistoru, kterým lze ekvivalentně nahradit paralelní zapojení rezistoru o odporu  $R$  a vnitřního odporu voltmetru. A to je ve shodě se schématem zobrazeným na obr. 72.

Hodnota odporu  $R_{MB}$  (tedy hodnota, kterou skutečně na základě údajů voltmetru a ampérmetru změříme) by měla být stejná jako hodnota odporu  $R$  v obvodu zapojeného rezistoru. Z posledního vztahu je ale zřejmé, že měřená hodnota je ovlivněna vnitřním odporem voltmetru. Vzhledem k tomu, že kvalitní voltmetry mají hodnoty vnitřních odporů velmi velké (řádově desítky kiloohmů až megaohmy), je zřejmé, že pro hodnoty odporů  $R$ , které jsou výrazně menší než hodnota vnitřního odporu voltmetru, bude poslední vztah velmi dobře ve shodě se skutečností a měření odporu nebude hodnotou vnitřního odporu příliš ovlivněno.

Bude-li mít vnitřní odpor voltmetru hodnotu např.  $R_V = 100 \text{ k}\Omega = 10^5 \Omega$  a bude-li mít měřený rezistor odpor např.  $R = 1 \text{ k}\Omega = 10^3 \Omega$ , pak pro hodnotu měřeného odporu  $R_{MB}$  dostaneme:

$$R_{MB} = \frac{10^3}{\frac{10^3}{10^5} + 1} \Omega = \frac{10^3}{1,01} \Omega \approx 990 \Omega$$

. Při měření s kvalitnějším voltmetrem (tj. s voltmetrem, jehož vnitřní odpor bude mít vyšší hodnotu), získáme údaj, který se liší od skutečné hodnoty odporu  $R$  ještě méně.

Nyní prostudujeme zapojení obvodu podle schématu na obr. 73. V tomto obvodu je rezistor o odporu  $R$  zapojen sériově s vnitřním rezistorem ampérmetru  $R_A$ . Toto sériové zapojení rezistorů o odporech  $R$  a  $R_A$  lze nahradit jediným rezistorem o odporu  $R_2 = R + R_A$ . Ze schématu je zřejmé, že ampérmetrem tedy poteče elektrický proud  $I_{A4} = \frac{U}{R_2} = \frac{U}{R + R_A}$ . Voltmetr zapojený paralelně ke [zdroji napětí](#)  $U$  ukáže hodnotu  $U_{V4} = U$ . Pro měřenou hodnotu odporu  $R_{M4}$  tedy můžeme psát:

$$R_{M4} = \frac{U_{V4}}{I_{A4}} = \frac{U}{I_{A4}} (R + R_A) = R + R_A.$$

Měřená hodnota odporu je tedy v tomto případě hodnota odporu rezistoru, kterým lze ekvivalentně nahradit sériové zapojení rezistoru o odporu  $R$  a vnitřního odporu ampérmetru. A to je ve shodě se schématem zobrazeným na obr. 73.

Hodnota odporu  $R_{M4}$  (tedy hodnota určená na základě měření ampérmetrem a voltmetrem) závisí na vnitřním odporu ampérmetru  $R_A$ . A přitom by tato hodnota měla být stejná, jako je hodnota měřeného odporu  $R$  rezistoru zapojeného do obvodu. Uvědomíme-li si, že kvalitní ampérmetry mají hodnoty vnitřních odporů velmi malé, je zřejmé, že pro velké hodnoty odporů  $R$  rezistoru zapojeného do obvodu nebude měření odporu  $R_{M4}$  vnitřním odporem ampérmetru ovlivněno.

Na základě provedených výpočtů můžeme tedy formulovat závěr:

1. pro hodnoty odporů zapojeného rezistoru, které jsou výrazně menší než hodnota vnitřního odporu voltmetru (tj. pro  $R \ll R_V$ ), lze měřit hodnotu odporu  $R$  (resp.  $R_M$ ) pomocí obvodu, jehož schéma je na obr. 72;
2. pro hodnoty odporů zapojeného rezistoru, které jsou výrazně větší než hodnota vnitřního odporu ampérmetru (tj. pro  $R \gg R_A$ ), lze měřit hodnotu odporu  $R$  (resp.  $R_M$ ) pomocí obvodu, jehož schéma je na obr. 73.