

MĚŘENÍ ELEKTRICKÉHO ODPORU rezistorů s lineární charakteristikou

K měření elektrického odporu užíváme vždy zdroje stejnosměrného napětí.

a) Ohmova metoda

- metoda vychází z Ohmova zákona:

$$R_x = \frac{U_x}{I_x}$$

kde: U_x – úbytek napětí na měřeném odporu,
 I_x – proud procházející měřeným odporem.

Měření je zatíženo vlastní spotřebou přístrojů – systematickou chybou metody – tu je možné za určitých podmínek zanedbat. V praxi se proto metoda dělí na měření malých a velkých odporů.

1) Zapojení pro malé odpory

- ampérmetrem měřený proud:

$$I = I_x + I_v$$

- pro měřený odpor platí:

$$R_x = \frac{U_x}{I - I_v} \quad [\Omega; V, A]$$

$$I_v = \frac{U_x}{R_v} \quad [A; V, \Omega]$$

- vnitřní odpor voltmetru:

$$R_v = X_v \cdot r_i, \quad [\Omega; V, \Omega/V]$$

kde: R_v - vnitřní odpor voltmetru [Ω]
 X_v - rozsah voltmetru [V]
 r_i - vnitřní odpor voltmetru na volt [Ω / V]

- relativní chyba metody je dána poměrem proudu tekoucím voltmetrem k proudu protékající měřenou zátěží:

$$\delta_R = \frac{I_v}{I_x} 100 = \frac{\frac{U_x}{R_v}}{\frac{U_x}{R_x}} 100 = \frac{R_x}{R_v} 100$$

Při poměru $R_x : R_v = 1 : 1\,000$ bude chyba metody 0,1 %. S běžnými magnetoelektrickými měřicími přístroji ($r_i = 5$ až $10\text{ K}\Omega/V$) lze pro odpory do $100\ \Omega$ zanedbat chybu metody. Při použití digitálních voltmetrů, které mají vstupní odpor velký cca $10\text{ M}\Omega$, můžeme chybu metody zanedbat pro odpory do desítek $\text{k}\Omega$.

2) Zapojení pro velké odpory

- voltmetrem měřené napětí:

$$U = U_A + U_x$$

$$R_x = \frac{U - U_A}{I_x} \quad [\Omega; V, V, A]$$

- úbytek napětí na ampérmetru:

$$U_A = R_A I_x \quad [V; \Omega, A]$$

$$R_x = \frac{U}{I_x} - R_A \quad [\Omega; V, A, \Omega]$$

- vnitřní odpor ampérmetrů se obvykle neudává, ale v některých ampérmetrů a bočníků se udává úbytek napětí při plné výchylce, např. 60 nebo 200 mV (lze ho také zjistit měřením),

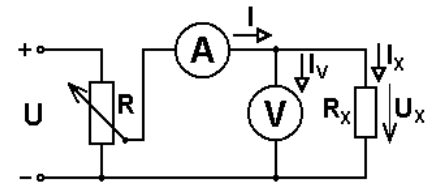
$$R_A = \frac{\Delta U_A}{X_A} \quad [\Omega; V, A]$$

kde: ΔU_A – je úbytek napětí na ampérmetru při plné výchylce,
 X_A – použitý rozsah měření proudu,

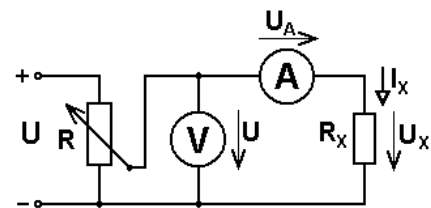
- velká teplotní závislosti mědi vinutí cívek je příčinou změn hodnoty odporu ampérmetru a tím i úbytku napětí,
- relativní chyba metody je dána poměrem proudu tekoucím voltmetrem k proudu protékající měřenou zátěží:

$$\delta_R = \frac{U_A}{U_x} 100 = \frac{R_A \cdot I_A}{R_x \cdot I_A} 100 = \frac{R_A}{R_x} 100$$

Při poměru $R_x : R_v = 1 : 1\,000$ bude chyba metody 0,1 %. Pro zanedbání chyby měření je rozhodující použité měřicí napětí, běžné ampérmetry mají maximální úbytek napětí při plné výchylce 60 až 200 mV, potom při měřicím napětí vyšším 20 V nepřekročí chyba metody 1%. Chybu metody lze zanedbat při měření odporů větších jak $1\,000\ \Omega$.



Zapojení měřicího obvodu pro měření malých odporů



Zapojení měřicího obvodu pro měření velkých odporů

b) Porovnávací metody (komparační)

Při měření srovnáváme neznámý odpor s hodnotou známého odporu, nejčastěji odporovým normálem.

1) Zapojení pro malé odpory

- podmínkou správnosti měření je konstantní proud po celou dobu měření
- pro konstantní proud platí:

$$\frac{U_X}{R_X} = \frac{U_N}{R_N} \Rightarrow R_X = R_N \frac{U_X}{U_N}$$

- pro stejný rozsah měření platí:

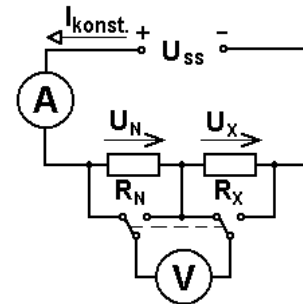
$$R_X = R_N \frac{k_V \cdot \alpha_X}{k_V \cdot \alpha_N} = R_N \frac{\alpha_X}{\alpha_N}$$

- chyba metody:

$$\delta_m = \frac{R_N - R_X}{R_N + R_V} \cdot 100 \quad [%; \Omega]$$

- chyba metody bude:
 - nulová pro $R_X = R_N$,
 - velmi malá pro přibližně stejné odpory R_X a R_N ,
 - pro $R_V \gg R_N$ zanedbatelná.

Poznámka: Přepínač může být nahrazen připojováním voltmetru pomocí měřících hrotů.



Zapojení měřícího obvodu pro měření malých odporů

2) Zapojení pro velké odpory

- podmínkou správnosti měření je konstantní napětí po celou dobu měření,
- pro konstantní proud platí:

$$R_X \cdot I_X = R_N \cdot I_N \Rightarrow R_X = R_N \frac{I_N}{I_X}$$

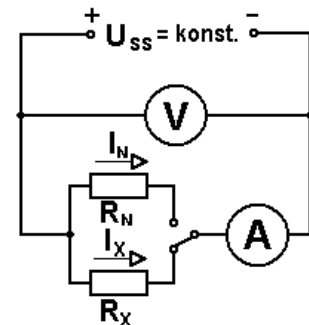
- při měření na stejném rozsahu:

$$R_X = R_N \frac{\alpha_N}{\alpha_X}$$

- chyba metody:

$$\delta_m = \frac{\frac{1}{R_X} - \frac{1}{R_N}}{\frac{1}{R_A} + \frac{1}{R_N}} \cdot 100 \quad [%; \Omega]$$

- chyba metody bude:
 - nulová pro $R_X = R_N$,
 - velmi malá pro přibližně stejné odpory R_X a R_N ,
 - pro $R_A \ll R_N$ zanedbatelná,
- **metoda je vhodná pro měření velkých odporů 1 kΩ až 1MΩ.**

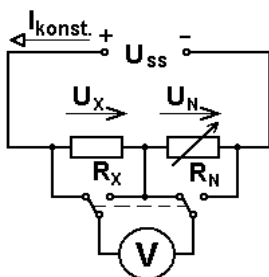


Zapojení měřícího obvodu pro měření velkých odporů

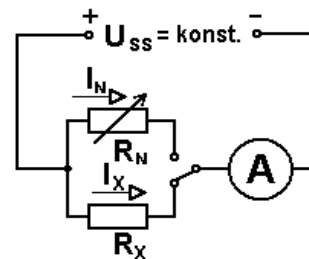
c) Náhradní metody (substituční)

Vychází ze porovnávacích metod, kdy jsou odporové normály nahrazeny dekádami, na kterých se nastavují stejné výchylky měřících přístrojů, pak $R_N = R_X$.

Metoda není zatížena spotřebou měřícího přístroje, protože výchylka se nemění. Přesnost metody ovlivněna délkou a počtem díků stupnice (rozsahem displeje) \Rightarrow schopností rozeznat rozdíl ve výchylce přístroje.



Zapojení měřícího obvodu pro měření malých odporů



Zapojení měřícího obvodu pro měření velkých odporů

Měření odporu voltmetrem

- nejprve se v poloze přepínače 2 změní napětí zdroje,
- po přepnutí do polohy 1 se napětí zdroje se rozdělí na měřeném odporu a vnitřním odporu voltmetru v poměru jejich odporů,
- velikost odporu se určí z proudu protékajícího voltmetrem a neznámým odporem:

$$I = \frac{U_x}{R_x} = \frac{U_v}{R_v} \Rightarrow R_x = R_v \frac{U_x}{U_v} = R_v \frac{U - U_v}{U_v} = R_v \left(\frac{U}{U_v} - 1 \right)$$

- pro měření na stejném rozsahu platí:

$$R_x = R_v \left(\frac{\alpha_1}{\alpha_2} - 1 \right)$$

kde: α_1 – výchylka při měření napětí zdroje,
 α_2 – výchylka při měření s zapojeným neznámým odporem R_x .

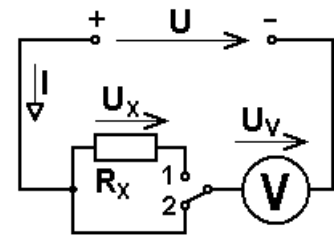
- chyba metody pro $x < 0, 1 >$:

$$\delta_{R_x} = \delta_m \frac{1+x}{x(1-x)} \quad [%; \%]$$

kde: δ_m – přesnost použitého voltmetru,

$$x = \frac{\alpha_2}{\alpha_1} \text{ poměr výchylek}$$

- **metoda je vhodná pro měření velkých odporů srovnatelných s vnitřním odporem voltmetru, při nesplnění této podmínky výrazně vzrůstá chyba metody**
- podmínkou správného měření je malý vnitřní odpor zdroje napětí – malá změna napětí zdroje při zatížení.



Zapojení pro měření odporu voltmetrem

Měření odporu stejnosměrných měřicích analogových přístrojů

Předpokladem dále uvedených metod je správná činnost přístroje (splnění třídy přesnosti) jehož vnitřní odpor určujeme.

a) Ohmova metoda:

- vychází z Ohmova zákona,
- kromě přístroje jehož vnitřní odpor určujeme (měří jednu veličinu) je nutný druhý (pomocný) přístroj pro určení druhé veličiny:

$$R_m = \frac{U}{I}$$

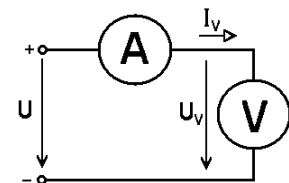
kde: U je napětí na přístroji (měřené ověřovaným voltmetrem nebo pomocným voltmetrem),
 I je proud procházející přístrojem (měřené ověřovaným ampérmetrem nebo pomocným ampérmetrem),

b) Metoda poloviční výchylky

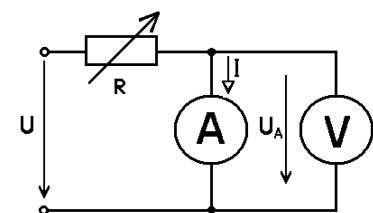
- lze ji použít pouze pro voltmetry,
- k měření je nutná v sérii zapojená odporová dekáda,
- měření se začíná s nulovou hodnotou odporu, tomu odpovídá určitá výchylka voltmetru (napětí U),
- následně se zvyšuje odpor dekády, klesá napětí na voltmetru
- při dosažení poloviční hodnoty původní výchylky je odpor odporové dekády shodný s vnitřním odporem voltmetru,

$$U_V = \frac{1}{2}U \quad \Rightarrow \quad R_V = R_N$$

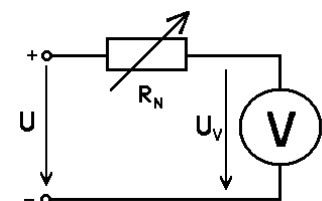
- metoda vyžaduje tvrdý zdroj napětí (v průběhu měření se napětí nemění výstupní napětí zdroje).



Zapojení pro měření odporu voltmetru



Zapojení pro měření odporu ampérmetru



Zapojení pro měření odporu voltmetru metodou poloviční výchylky