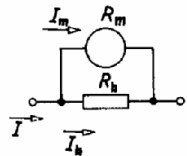


2.12. ZVĚTŠOVÁNÍ MĚŘICÍHO ROZSAHU AMPÉRMETRU A VOLTMETRU

Zvětšování měřicího rozsahu ampérmetru

Pro změnu měřicího rozsahu bočnicku platí vztah pro rozdělení proudu do dvou paralelních větví (obr. 54).

$$n = \frac{I}{I_m} = \frac{R_b + R_m}{R_b}$$



Obr. 54.

Odpor bočnicku

$$R_b = \frac{R_m}{n - 1}$$

kde I je proudový rozsah přístroje s bočnickem při plné výchylce,
 I_m proudový rozsah samotného měřicího přístroje při plné výchylce,
 n poměr bočnicku; udává, kolikrát se zvětšil měřicí rozsah,
 R_b odpor bočnicku,
 R_m odpor měřicího přístroje.

● Příklad 2.12.1

Určete odpor bočnicku pro miliampérmetr s odporem 3Ω a rozsahem do 3 mA , aby se jím mohlo měřit do 300 mA .

$$n = \frac{I}{I_m} = \frac{300}{3} = 100$$

$$R_b = \frac{R_m}{n - 1} = \frac{3}{100 - 1} \Omega = 0,03 \Omega$$

■ Úloha 2.12.11

Určete rozsah miliampérmetru po připojení bočnicku o odporu $0,612 \Omega$. Měřicí přístroj má rozsah 2 mA a odpor 30Ω .

■ Úloha 2.12.12

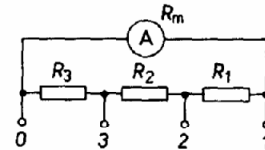
Určete odpor měřidla, kterým při plné výchylce procházel proud 6 mA . Po připojení bočnicku o odporu $0,0754 \Omega$ se zvětšil měřicí rozsah na $1,2 \text{ A}$.

■ Úloha 2.12.13

Určete, kolikrát se zvětšil proudový rozsah ampérmetru o rozsahu $2,5 \text{ mA}$ a odporu 50Ω a jaký bude měřicí rozsah, připojíme-li k němu bočnick o odporu $0,125 \Omega$.

● Příklad 2.12.2

Navrhněte bočník pro 3 rozsahy (Ayrtonův bočník). Určete jednotlivé odpory kombinovaného bočnicku. Odpor měřidla $R_m = 3500 \Omega$, proud měřidla $100 \mu\text{A}$. Měřicí rozsahy $I_1 = 6 \text{ mA}$, $I_2 = 60 \text{ mA}$, $I_3 = 600 \text{ mA}$. Schéma zapojení měřidla je na obr. 55.



Obr. 55.

Rozsah pro měření proudu I_1

$$R_m I_m = (R_1 + R_2 + R_3)(I_1 - I_m)$$

Rozsah pro měření proudu I_2

$$(R_m + R_1) I_m = (R_2 + R_3)(I_2 - I_m)$$

Rozsah pro měření proudu I_3

$$I_m(R_1 + R_2 + R_m) = R_3(I_3 - I_m)$$

Po úpravě rovnic dostáváme

$$\begin{aligned} R_1(I_1 - I_m) + R_2(I_1 - I_m) + R_3(I_1 - I_m) &= R_m I_m \\ -R_1 I_m + R_2(I_2 - I_m) + R_3(I_2 - I_m) &= R_m I_m \\ -R_1 I_m - R_2 I_m + R_3(I_3 - I_m) &= R_m I_m \end{aligned}$$

Po dosazení dostáváme soustavu rovnic pro něž číselně platí

$$\begin{aligned} 5,9R_1 + 5,9R_2 + 5,9R_3 &= 350 \\ -0,1R_1 + 59,9R_2 + 59,9R_3 &= 350 \\ -0,1R_1 - 0,1R_2 + 599,9R_3 &= 350 \end{aligned}$$

Řešením této soustavy rovnic dostaneme

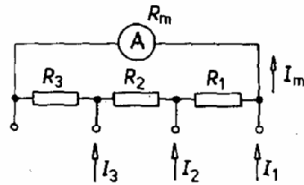
$$R_1 = 53,389 \Omega; \quad R_2 = 5,338 \Omega; \quad R_3 = 0,593 \Omega$$

■ Úloha 2.12.14

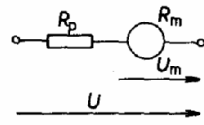
Určete odpory kombinovaného bočnicku pro rozsahy 5 mA, 20 mA, 100 mA, 500 mA, 2 A. Odpor měřidla je 100Ω , proud měřidla při plné výchylce je 1 mA.

■ Úloha 2.12.15

Stanovte měřicí rozsahy pro ampérmetr s kombinovaným bočnickem (obr. 56). Odpory bočnicku jsou $R_1 = 17,142 \Omega$; $R_2 = 3,571 \Omega$; $R_3 = 0,714 \Omega$. Odpor měřidla je 50Ω a proud měřidla při plné výchylce je 3 mA.



Obr. 56.



Obr. 57.

Zvětšování měřicího rozsahu voltmetru

Má-li voltmetr základní rozsah napětí U_m , zvětší se dalším předřadníkem o odporu R_p rozsah napětí v poměru

$$n = \frac{U}{U_m} = \frac{R_m + R_p}{R_m}$$

Pro určení odporu předřadníku (obr. 57) platí

$$R_p = (n - 1) R_m$$

kde U je napěťový rozsah s předřadníkem při plné výchylce,

U_m napěťový rozsah měřicího přístroje při plné výchylce,

n poměr předřadníku udává, kolikrát se zvětší měřicí rozsah,

R_p odpor předřadníku,

R_m odpor měřicího přístroje.

● Příklad 2.12.3

Určete odpor předřadníku k voltmetru, který má základní rozsah 2 mA a odpor 60Ω , tak, aby bylo možné měřit v rozsahu 0 až 24 V.

$$U_m = R_m I_m = 60 \cdot 0,002 \text{ V} = 0,12 \text{ V}$$

$$n = \frac{U}{U_m} = \frac{U}{R_m I_m} = \frac{24}{60 \cdot 0,002} = 200$$

$$R_p = R_m (n - 1) = 60 \cdot 199 \Omega = 11\,940 \Omega$$

■ Úloha 2.12.16

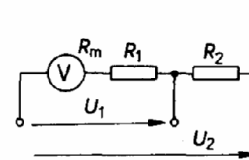
Stanovte, kolikrát se zvětší a jaký bude rozsah voltmetru, předřadíme-li mu rezistor o odporu $245\,000 \Omega$. Základní rozsah měřidla je $200 \mu\text{A}$ a odpor $5\,000 \Omega$.

■ Úloha 2.12.17

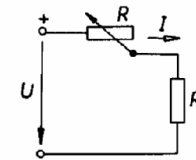
Určete odpor měřidla, změnil-li se rozsah zapojením předřadníku o odporu $477,6 \text{ k}\Omega$ z $0,6 \text{ V}$ na 120 V .

■ Úloha 2.12.18

Voltmetr je zhotoven z měřidla o odporu $4\,000 \Omega$ a proudu $250 \mu\text{A}$. Předřadník je tvořen sériovým spojením rezistorů o odporech $R_1 = 56\,000 \Omega$ a $R_2 = 140 \text{ k}\Omega$. Určete jednotlivé rozsahy (obr. 58).



Obr. 58.



Obr. 59.

■ Úloha 2.12.19

Navrhněte předřadníky k měřidlu pro měření napětí 6 V, 60 V, 600 V. Měřidlo má při plné výchylce proud $100 \mu\text{A}$ a odpor $4\,000 \Omega$. Předřadníky jsou spojeny do série.

2.13. ŘÍZENÍ PROUDU A NAPĚTÍ

Proud nebo napětí na spotřebiči se řídí pomocí rezistorů. Řídit můžeme *plynule* nebo *po skocích*.

Řízení proudu

Proud řídíme *reostatem*. Spotřebič s odporem R_z , jehož proud má být regulován, je zapojen v sérii s reostatem (obr. 59).

Proud spotřebiče je dán vztahem

$$I = \frac{U}{R_z + R}$$

Bude-li se odpor R zmenšovat, bude se proud procházející obvodem zvětšovat a naopak.

● Příklad 2.13.1

Určete maximální odpor reostatu k řízení proudu pro spotřebič. V okamžiku zapojení spotřebiče ke zdroji má procházet obvodem proud dvakrát menší než proud jmenovitý. Napětí zdroje je 220 V, příkon spotřebiče 1 100 W a vnitřní odpor $R_i = 20 \Omega$. Zapojení je na obr. 59.

Jmenovitý proud

$$I_N = \frac{P}{U} = \frac{1\,100}{220} \text{ A} = 5 \text{ A}$$

Proud v okamžiku zapojení je $I = 2,5 \text{ A}$

Pro obvod platí vztah

$$U = R_i I + RI$$

z toho

$$R = \frac{U - R_i I}{I} = \frac{220 - 20 \cdot 2,5}{2,5} \Omega = 68 \Omega$$

■ Úloha 2.13.11

Určete odpor předřadného rezistoru pro spotřebič, který je na napětí 100 V, proud 2 A, tak, abychom jej mohli připojit na napětí 220 V.

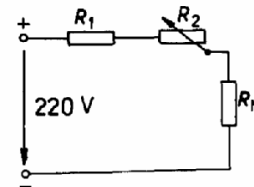
■ Úloha 2.13.12

Stanovte odpory rezistorů R_1 a R_2 (obr. 60) pro spouštění a provoz stejnosměrného motoru tak, abychom ho mohli připojit na napětí 220 V. Vnitřní

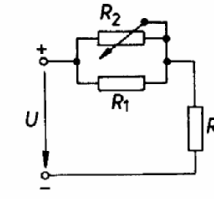
odpor motoru je 5Ω při jmenovitém proudu 20 A. V okamžiku zapnutí má obvodem procházet proud 2 A.

■ Úloha 2.13.13

Znáznorněte graficky průběh proudu a výsledného odporu paralelního spojení rezistorů s odpory R_1 a R_2 v závislosti na poloze běžce potenciometru R_2 . Odpor R_2 se bude měnit po 10Ω . Odpory rezistorů jsou $R_1 = 15 \Omega$, $R_2 = 30 \Omega$, $R_z = 10 \Omega$. Napětí zdroje je 100 V (obr. 61).



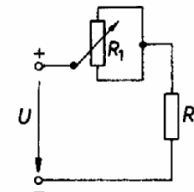
Obr. 60.



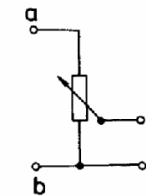
Obr. 61.

■ Úloha 2.13.14

Znáznorněte graficky průběh proudu v závislosti na poloze běžce proměnného odporu $R_1 = 4 \Omega$, $R_2 = 1 \Omega$, napětí zdroje je 6 V. Zobrazte pro pět poloh běžce (obr. 62).



Obr. 62.



Obr. 63.

Řízení napětí

K řízení napětí používáme potenciometr zapojený jako dělič napětí (obr. 63). Zdroj o napětí U je připojen na koncové svorky odporu a, b. Napětí mezi svorkou b a běžcem c lze měnit od nuly až do napětí U . Je-li dělič nezátížen, je mezi svorkami cb napětí

$$U_{cb} = \frac{R_{bc}}{R_{ab}} U$$

Je-li na svorky b, c připojen spotřebič s odporem R_z , je dělič tvořen odporem R_{ac} a odporem

$$R' = \frac{R_z R_{bc}}{R_z + R_{bc}}$$

na svorkách c, b je napětí

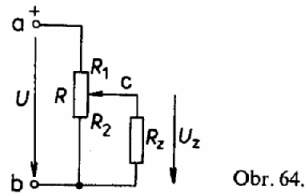
$$U_{cb} = \frac{R_z R_{cb}}{R_{cb} R_z + (R_{bc} + R_z) R_{ac}} U$$

Odporový dělič je výhodný pro řízení napětí nebo proudu spotřebiče od nulové hodnoty. Při všech způsobech řízení proudu a napětí reostaty se spotřebuje energie, která se mění v teplo. Používá se nejčastěji tam, kde jde o malé výkony nebo jen o krátkodobé působení reostatů. Reostaty dimenzujeme tak, aby bez poškození snesly zahřátí vyvíjeným teplem. Odpor děliče R_{ab} volíme tak, aby platilo

$$R_{ab} \leq R_z$$

Je-li úbytek napětí $p\%$ na odbočce, pak při daném zatížení vypočteme odpor děliče ze vztahu

$$R = 2 \frac{U}{I} \frac{p\%}{100}$$



Napětí na odbočce děliče zatížené odporem R_z (obr. 64) vypočteme ze vztahu

$$U_z = \frac{R_2 R_z}{R_z R + R_1 R_2} U$$

kde $R = R_1 + R_2$

Napětí na odbočce děliče zatížené proudem I_z (obr. 64) vypočteme ze vztahu

$$U_z = \frac{R_2 (U - I R_1)}{R}$$

Zatěžovací proud vypočteme ze vztahu

$$I_z = U \frac{R_2}{R_z R + R_1 R_2}$$

● Příklad 2.13.2

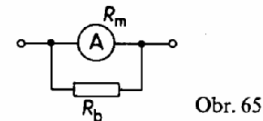
Určete velikost odporu děliče napětí připojeného ke zdroji o napětí 200 V, aby se při zatížení odbočky proudem 50 mA změnilo napětí na odbočce nejvíce o 10 %.

$$R = \frac{2p\%}{100} \frac{U}{I_z} = \frac{20 \cdot 200}{100 \cdot 0,05} \Omega = 800 \Omega$$

2.14. VYUŽITÍ REZISTORŮ V PRAXI

● Příklad 2.14.1

Navrhněte ampérmetr pro rozsah 40 mA. Použijte panelový přístroj MP 120, METRA Blansko, s rozsahem 4 mA a odporem 18Ω . Pro vyrobení bočnicku použijte manganin s rezistivitou $\rho = 0,43 \Omega \cdot \text{mm}^2 \cdot \text{m}^{-1}$. Proudovou hustotu volte $2,5 \text{ A} \cdot \text{mm}^{-2}$. Schéma zapojení je na obr. 65.



Výpočet bočnicku

$$R_b = \frac{R_m}{n - 1} = \frac{18}{10 - 1} \Omega = 2 \Omega$$

Výpočet průměru manganinového vodiče pro zhotovení bočnicku

$$J = \frac{I - I_m}{S} = \frac{I - I_m}{\frac{\pi d^2}{4}}$$

z toho

$$d = \sqrt{\frac{4(I - I_m)}{J\pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,036}{2,5 \cdot \pi}} \text{ mm} = 0,135 \text{ mm}$$

Výpočet délky manganinového vodiče

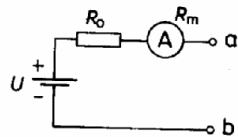
$$R = \rho \frac{l}{S}$$

z toho

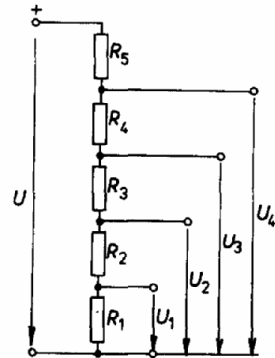
$$l = \frac{RS}{\rho} = \frac{2 \cdot 0,014}{0,43} \text{ m} = 0,065 \text{ m}$$

■ Úloha 2.14.11

Navrhněte rezistory pro kombinovaný bočník k ampérmetru s rozsahy 60 mA; 300 mA; 1,2 A. Použijte měřicí přístroj s odporem 3Ω a rozsahem 10 mA.



Obr. 66.



Obr. 67.

■ Úloha 2.14.12

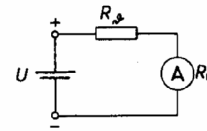
Navrhněte ohmmetr pro měření odporů v rozsahu 0 až 100 k Ω . Použijte měřicí přístroj MP o odporu 750Ω a proudu při plné výchylce $250 \mu\text{A}$. Napětí zdroje je 4,5 V. V zapojení na obr. 66 stanovte odpor R_0 tak, aby při zkratových výstupních svorkách procházel obvodem proud I_m . Určete jednotlivé proudy, jsou-li na výstupní svorky připojeny rezistory o odporech 10 k Ω , 20 k Ω , 30 k Ω , 40 k Ω , 50 k Ω , 60 k Ω , 70 k Ω , 80 k Ω , 90 k Ω , 100 k Ω .

■ Úloha 2.14.13

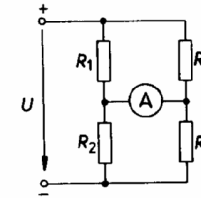
Určete členy nezátíženého děliče podle obr. 67 pro napětí $U_1 = 10 \text{ V}$, $U_2 = 50 \text{ V}$, $U_3 = 120 \text{ V}$, $U_4 = 180 \text{ V}$. Napětí zdroje $U = 200 \text{ V}$. Ztráty na všech členech děliče jsou 2 W.

■ Úloha 2.14.14

Určete proudy v obvodu na obr. 68 při změně teploty rezistoru R_θ v rozmezí 0 až 100 $^\circ\text{C}$ po 20 $^\circ\text{C}$. R_θ je teplotně závislý odporový článek z platiny, jehož teplotní součinitel odporu je $3,92 \cdot 10^{-3} \text{ K}^{-1}$. Při teplotě 0 $^\circ\text{C}$ má odpor 100 Ω . Odpor měřicího přístroje je 12 Ω , proud při plné výchylce 20 mA. Napětí zdroje 2 V.



Obr. 68.



Obr. 69.

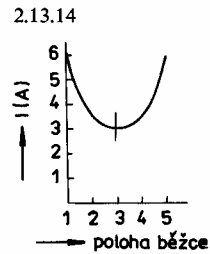
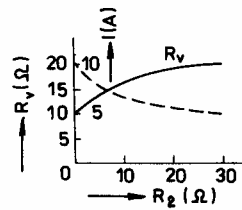
■ Úloha 2.14.15

Určete neznámý odpor rezistoru v zapojení podle obr. 69. Měřicím přístrojem neprochází proud. Odpory $R_1 = 2 \text{ k}\Omega$, $R_2 = 4 \text{ k}\Omega$, $R_3 = 6 \text{ k}\Omega$.

■ Úloha 2.14.16

V zapojení podle obr. 69 je R_x teplotně závislý odporový článek z platiny, jehož teplotní součinitel odporu je $3,92 \cdot 10^{-3} \text{ K}^{-1}$ a odpor při 0 $^\circ\text{C}$ je 100 Ω . Odpory rezistorů jsou $R_1 = 100 \Omega$, $R_2 = 100 \Omega$, $R_3 = 100 \Omega$. Odpor měřicího přístroje je 1000 Ω a proud při plné výchylce 1 mA. Napětí zdroje je 10 V. Stanovte proudy procházející měřicím přístrojem, bude-li teplota rezistoru R_x 50 $^\circ\text{C}$, 100 $^\circ\text{C}$ a 150 $^\circ\text{C}$. Úlohu řešte použitím Théveninovy poučky.

- 2.12.11 100 mA
 2.12.12 15 Ω
 2.12.13 $401 \times$, 1,002 5 A
 2.12.14 $R_1 = 18,75 \Omega$, $R_2 = 5 \Omega$, $R_3 = 1 \Omega$, $R_4 = 0,1875 \Omega$, $R_5 = 0,0625 \Omega$
 2.12.15 0–1 10 mA, 0–2 50 mA, 0–3 300 mA
 2.12.16 $50 \times$, 50 V
 2.12.17 2400 Ω
 2.12.18 15 V, 50 V
 2.12.19 56 k Ω , 540 k Ω , 5,4 M Ω
 2.13.11 60 Ω
 2.13.12 $R_1 = 6 \Omega$, $R_2 = 99 \Omega$
 2.13.13



- 2.14.11 0,03 Ω , 0,09 Ω , 0,48 Ω

- 2.14.12 $R_0 = 17,25 \text{ k}\Omega$

R_x (k Ω)	0	10	20	30	40	50
I_m (μ A)	250	160	118	94	77,5	66
R_x (k Ω)	60	70	80	90	100	
I_m (μ A)	57,5	51	46	41,5	38	

- 2.14.13 $R_1 = 1 \text{ k}\Omega$, $R_2 = 4 \text{ k}\Omega$, $R_3 = 7 \text{ k}\Omega$, $R_4 = 6 \text{ k}\Omega$, $R_5 = 2 \text{ k}\Omega$

- 2.14.14 $I_0 = 17,85 \text{ mA}$, $I_{20} = 16,7 \text{ mA}$, $I_{40} = 15,7 \text{ mA}$, $I_{60} = 14,8 \text{ mA}$, $I_{80} = 13,9 \text{ mA}$,
 $I_{100} = 13,2 \text{ mA}$

- 2.14.15 3 k Ω

- 2.14.16 0,4 mA; 0,739 mA; 1 mA