

# Obwody elektryczne prądu stałego

---

## 1.1

### Ładunek elektryczny. Prąd i gęstość prądu

---

- 1.1. Przez przekrój poprzeczny przewodu w czasie  $t = 1$  s przepływa  $5 \cdot 10^{18}$  elektronów. Oblicz wartość prądu (natężenia prądu)\* w przewodzie, jeżeli ładunek elektronu  $e = -1,6 \cdot 10^{-19}$  C.
- 1.2. Oblicz wartość prądu i gęstość prądu w przewodzie o przekroju  $S = 6$  mm<sup>2</sup>, przez który przepływa  $4 \cdot 10^{20}$  elektronów w czasie  $t = 2$  s. Ładunek elektronu  $e = -1,6 \cdot 10^{-19}$  C.
- 1.3. Rozrusznik samochodowy pracował w czasie  $t = 2$  s, pobierając z akumulatora prąd  $I = 150$  A. Po uruchomieniu silnika prądnica zaczęła ładować akumulator prądem  $I' = 6$  A. Po jakim czasie akumulator zostanie naładowany do pierwotnego ładunku? Strat nie uwzględniaj.
- 1.4. Jaki ładunek przepłynie przez przekrój poprzeczny przewodu w czasie  $t = 30$  s, jeżeli wartość prądu w tym czasie zwiększa się równomiernie od 0 do 8 A?
- 1.5. Akumulator o pojemności  $Q = 30$  Ah ładowano w czasie  $t = 8$  h (osiem godzin), zmniejszając po każdym 2 h wartość prądu ładowania o połowę. Oblicz wartość prądu w każdym okresie ładowania.

## 1.2

### Prawo Ohma w zastosowaniu do odcinka obwodu

---

- 1.6. W żarówce latarki kieszonkowej prąd  $I = 0,2$  A, napięcie na żarówce  $U = 3,6$  V. Oblicz wartość rezystancji (oporu) żarówki oraz jej konduktancji (przewodności).

---

\* W kolejnych zadaniach będzie stosowane wyłącznie określenie „prąd”.

- 1.7. Woltomierz o rezystancji wewnętrznej  $R_v = 200 \text{ k}\Omega$  wskazuje napięcie  $U = 10 \text{ V}$ . Oblicz wartość prądu w woltomierzu.
- 1.8. Przez grzejnik o rezystancji  $R = 57,5 \text{ }\Omega$  przepływa prąd  $I = 4 \text{ A}$ . Oblicz wartość napięcia doprowadzonego do grzejnika.
- 1.9. Amperomierz o rezystancji wewnętrznej  $R_a = 0,12 \text{ }\Omega$  wskazuje wartość prądu  $I = 0,25 \text{ A}$ . Oblicz spadek napięcia na amperomierzu.
- 1.10. Rezystancja ciała ludzkiego w najbardziej niesprzyjających warunkach  $R = 1 \text{ k}\Omega$ . Prąd, który jeszcze nie powoduje porażenia zagrażającego życiu,  $I_{\text{dop}} = 24 \text{ mA}$ . Oblicz dopuszczalną wartość napięcia, przy której nie nastąpi porażenie zagrażające życiu ludzkiemu.
- 1.11. Rezystor nastawny suwakowy o rezystancji nastawianej w granicach od 5 do 100  $\Omega$  przyłączono do źródła o napięciu  $U = 24 \text{ V}$ . Wyznacz zakres nastawiania prądu.
- 1.12. Spirale grzejną o rezystancji  $R = 100 \text{ }\Omega$  i średnicy drutu  $d = 0,5 \text{ mm}$  włączono do źródła o napięciu  $U = 230 \text{ V}$ . Oblicz wartość prądu i gęstość prądu przepływającego przez spiralę.
- 1.13. Przez odcinek przewodu  $AB$  przepływa prąd  $I_{AB} = 1,5 \text{ A}$ . Rezystancja odcinka przewodu  $R_{AB} = 0,8 \text{ }\Omega$ . Oblicz potencjał w punkcie  $B$ , jeżeli potencjał w punkcie  $A$ :  $V_A = 3,8 \text{ V}$ , a kierunek prądu jest od punktu  $A$  do punktu  $B$ . Oblicz potencjał  $V_B$ , gdy kierunek prądu zmienimy na przeciwny\*.
- 1.14. W linii przesyłowej o rezystancji  $R = 2 \text{ }\Omega$  wartość prądu  $I$  zmienia się w granicach od 0 do 8 A. Sporządź wykres zależności spadku napięcia w linii od prądu [ $\Delta U = f(I)$ ].
- 1.15. Podczas zwiększania napięcia doprowadzonego do obwodu liniowego ( $R = \text{const}$ ) od pewnej wartości do 30 V, wartość prądu przepływającego przez rezystor zwiększył się od 0,6 do 5 A. Oblicz wartość rezystancji rezystora i napięcia początkowego.

### 1.3

## Zależność rezystancji przewodu od jego wymiarów, rodzaju materiału i temperatury

---

- 1.16. Rezystywność (opór właściwy) miedzi  $\rho_{\text{Cu}} = 17,25 \cdot 10^{-9} \text{ }\Omega \cdot \text{m}$ . Oblicz wartość konduktywności (przewodności właściwej) miedzi. Wyraż rezystywność w  $\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$ , a konduktywność w  $\text{m}/\Omega \cdot \text{mm}^2$ .

---

\* Do oznaczenia potencjału można również stosować grecką literę  $\varphi$ .

- 1.17. Oblicz wartość rezystancji drutu miedzianego o długości  $l = 500$  m i przekroju poprzecznym  $S = 0,12$  mm<sup>2</sup>. Rezystywność miedzi  $\rho_{Cu} = 18,2 \cdot 10^{-9}$   $\Omega \cdot m$ .
- 1.18. Oblicz wartość rezystancji drutu aluminiowego o długości  $l = 150$  m i średnicy  $d = 1,6$  mm, jeżeli konduktywność aluminium  $\gamma_{Al} = 35 \cdot 10^6$  S/m.
- 1.19. Na korpus cylindryczny o średnicy  $D = 12$  mm nawinięto jedną warstwę drutu manganinowego o średnicy  $d = 0,05$  mm i konduktywności  $\gamma = 2,32 \cdot 10^6$  S/m. Ile zwojów drutu należy nawinąć, aby rezystancja  $R = 1,5$  k $\Omega$ ?

### Rozwiązanie

Przekrój drutu:

$$S = \frac{\pi d^2}{4} = \frac{\pi(0,05 \cdot 10^{-3} m)^2}{4} = 1,96 \cdot 10^{-9} m^2.$$

Długość drutu:

$$l = R\gamma S = 1500 \Omega \cdot 2,32 \cdot 10^6 \frac{S}{m} \cdot 1,96 \cdot 10^{-9} m^2 = 6,82 m.$$

Liczba zwojów:

$$N = \frac{l}{\pi(D+d)} = \frac{6,82 m}{\pi \cdot 0,01205 m} \approx 180.$$

- 1.20. Oblicz średnicę, rezystancję i masę przewodu miedzianego o długości 1 km i znormalizowanym przekroju  $S = 10$  mm<sup>2</sup>, jeżeli gęstość miedzi  $\delta_{Cu} = 8,9 \cdot 10^3$  kg/m<sup>3</sup>, a jej konduktywność  $\gamma_{Cu} = 55 \cdot 10^6$  S/m.
- 1.21. Oblicz przekrój przewodu aluminiowego, który przy takiej samej długości i temperaturze miałby taką samą wartość rezystancji, jak przewód miedziany o przekroju  $S = 6$  mm<sup>2</sup>. Konduktywność aluminium  $\gamma_{Al} = 35 \cdot 10^6$  S/m, a konduktywność miedzi  $\gamma_{Cu} = 55 \cdot 10^6$  S/m.
- 1.22. Przewód miedziany o średnicy  $d = 2$  mm należy zastąpić przewodem aluminiowym o takiej samej rezystancji. Wyznacz średnicę przewodu aluminiowego oraz oblicz, ile razy przewód aluminiowy będzie lżejszy od przewodu miedzianego, jeżeli konduktywność miedzi  $\gamma_{Cu} = 55 \cdot 10^6$  S/m, konduktywność aluminium  $\gamma_{Al} = 35 \cdot 10^6$  S/m, gęstość miedzi  $\delta_{Cu} = 8,9 \cdot 10^3$  kg/m<sup>3</sup>, gęstość aluminium  $\delta_{Al} = 2,7 \cdot 10^3$  kg/m<sup>3</sup>.

- 1.23. Oblicz spadek napięcia na 1 km przewodu trakcyjnego o przekroju poprzecznym  $S = 100 \text{ mm}^2$ , gdy prąd płynący w przewodzie  $I = 400 \text{ A}$ . Konduktywność materiału  $\gamma = 50 \cdot 10^6 \text{ S/m}$ .
- 1.24. Podczas pomiaru rezystywności drutu oporowego uzyskano następujące wyniki: rezystancja  $R = 17 \text{ } \Omega$ , długość drutu  $l = 2,4 \text{ m}$ , średnica drutu  $d = 0,3 \text{ mm}$ . Oblicz wartość rezystywności  $\rho$ .
- 1.25. W celu określenia miejsca zwarcia dwużyłowego kabla miedzianego o przekroju żyły  $S = 25 \text{ mm}^2$ , do jego żył przyłączono akumulator. W jakiej odległości nastąpiło zwarcie żył kabla, jeżeli woltomierz wskazywał napięcie  $U = 12 \text{ V}$ , a amperomierz prąd  $I = 2,5 \text{ A}$ ? Konduktywność miedzi  $\gamma_{\text{Cu}} = 55 \cdot 10^6 \text{ S/m}$ .
- 1.26. W przewodzie szynowym o wymiarach:  $S = 1 \times 6 \text{ cm}$  oraz  $l = 30 \text{ m}$  spadek napięcia  $U = 0,3 \text{ V}$ . Oblicz wartość prądu płynącego w przewodzie oraz gęstość tego prądu, jeżeli szyny są wykonane z aluminium (konduktywność aluminium  $\gamma_{\text{Al}} = 35 \cdot 10^6 \text{ S/m}$ ).
- 1.27. Jaka powinna być wartość napięcia doprowadzonego do cewki nawiniętej drutem miedzianym o długości  $l = 200 \text{ m}$ , aby gęstość prądu płynącego w przewodzie cewki  $J = 2 \cdot 10^6 \text{ A/m}^2 = 2 \text{ A/mm}^2$ ? Konduktywność miedzi  $\gamma_{\text{Cu}} = 55 \cdot 10^6 \text{ S/m}$ .
- 1.28. W temperaturze  $\vartheta_1 = 20^\circ \text{ C}$  rezystancja cewki nawiniętej drutem miedzianym  $R_1 = 45 \text{ } \Omega$ . Oblicz wartość rezystancji tej cewki w temperaturze  $\vartheta_2 = 70^\circ \text{ C}$ , jeżeli współczynnik temperaturowy rezystancji miedzi  $\alpha_{\text{Cu}} = 0,004 \frac{1}{^\circ \text{C}}$ .
- 1.29. Uzwojenie twornika maszyny prądu stałego w temperaturze otoczenia  $\vartheta_1 = 18^\circ \text{ C}$  ma rezystancję  $R_1 = 0,8 \text{ } \Omega$ . Oblicz temperaturę pracy twornika, jeżeli jego rezystancja zwiększy się do wartości  $R_2 = 0,9 \text{ } \Omega$ . Współczynnik temperaturowy rezystancji miedzi  $\alpha_{\text{Cu}} = 0,004 \frac{1}{^\circ \text{C}}$ .
- 1.30. Cewkę elektromagnesu wykonaną z drutu miedzianego przyłączono do źródła o napięciu  $U = 14 \text{ V}$ . Po pewnym czasie ustalił się prąd o wartości  $I = 0,25 \text{ A}$ . Oblicz temperaturę cewki, jeżeli długość drutu  $l = 550 \text{ m}$ , średnica drutu  $d = 0,5 \text{ mm}$ , konduktywność miedzi  $\gamma_{\text{Cu}} = 55 \cdot 10^6 \text{ S/m}$ . Współczynnik temperaturowy rezystancji miedzi  $\alpha_{\text{Cu}} = 0,004 \frac{1}{^\circ \text{C}}$ .

### Rozwiązanie

Przekrój drutu:

$$S = \frac{\pi d^2}{4} = \frac{\pi(0,5 \cdot 10^{-3})^2}{4} = 0,196 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2.$$

Rezystancja cewki w temperaturze 20°C:

$$R_1 = \frac{l}{\gamma_{\text{Cu}} S} = \frac{550}{55 \cdot 10^6 \cdot 0,196 \cdot 10^{-6}} = 51 \Omega.$$

Rezystancja cewki po nagrzaniu:

$$R_2 = \frac{U}{I} = \frac{14}{0,25} = 56 \Omega.$$

W celu obliczenia temperatury cewki przekształcamy wzór  $R_2 = R_1[1 + \alpha_{\text{Cu}}(\vartheta - 20)]$  i otrzymujemy:

$$\vartheta = \frac{R_2 - R_1}{R_1 \alpha_{\text{Cu}}} + 20 = \frac{56 - 51}{51 \cdot 0,004} + 20 = 44,5^\circ\text{C}.$$

- 1.31.** Podczas pomiaru współczynnika temperaturowego rezystancji otrzymano następujące wyniki:  $R_1 = 100 \Omega$ ,  $\vartheta_1 = 20^\circ\text{C}$ ,  $R_2 = 116 \Omega$ ,  $\vartheta_2 = 60^\circ\text{C}$ . Oblicz wartość współczynnika  $\alpha$ .
- 1.32.** Wartość prądu cewki zapłonowej samochodu podczas rozruchu w temperaturze  $\vartheta_1 = 10^\circ\text{C}$  wynosi 3,5 A. Jaka będzie wartość prądu w cewce w temperaturze pracy ustalonej  $\vartheta_2 = 60^\circ\text{C}$ , jeżeli współczynnik temperaturowy rezystancji miedzi  $\alpha_{\text{Cu}} = 0,004 \frac{1}{^\circ\text{C}}$ ? Przyjmij, że napięcie akumulatora  $U = \text{const}$ .
- 1.33.** Po podgrzaniu termistora NTC od temperatury  $\vartheta_1 = 20^\circ\text{C}$  do  $\vartheta_2 = 30^\circ\text{C}$  rezystancja termistora zmniejszyła się z  $R_1 = 100 \Omega$  do  $R_2 = 85 \Omega$ . Oblicz wartość średnią współczynnika  $\alpha$ .
- 1.34.** O ile stopni Celsjusza należy podgrzać przewód miedziany, żeby wartość jego rezystancji zwiększyła się o 1%? Współczynnik temperaturowy rezystancji miedzi  $\alpha_{\text{Cu}} = 0,004 \frac{1}{^\circ\text{C}}$ .
- 1.35.** W celu kompensacji temperaturowej obwodu cewki miernika magneto-elektrycznego, szeregowo z cewką o rezystancji  $R_{\text{Cu}}$  łączymy rezystor manganinowy  $R_{\text{Mn}}$  o czterokrotnie większej rezystancji. Wyznacz wartość współczynnika temperaturowego rezystancji  $\alpha$  powstałego układu, jeżeli współczynnik temperaturowy rezystancji miedzi  $\alpha_{\text{Cu}} = 0,004 \frac{1}{^\circ\text{C}}$ , a manganinu  $\alpha_{\text{Mn}} \approx 0$ . O ile procent zwiększy się wartość rezystancji w obu przypadkach, gdy temperatura wzrośnie o  $1^\circ\text{C}$ ?
- 1.36.** Rezystor wolframowy, którego rezystancja w temperaturze  $0^\circ\text{C}$  wynosi  $40 \Omega$ , umieszczono w komorze niskich temperatur. Oblicz temperaturę w tej komorze, jeżeli wartość rezystancji zmniejszyła się do  $32 \Omega$ , a współczynnik temperaturowy rezystancji wolframu  $\alpha_w = 0,0046 \frac{1}{^\circ\text{C}}$ .

## 1.4

### Łączenie szeregowe i równoległe rezystorów

---

- 1.37. Dwa rezystory o rezystancjach  $R_1 = 20 \Omega$  i  $R_2 = 40 \Omega$  połączono szeregowo i przyłączono do źródła o napięciu  $U = 12 \text{ V}$ . Oblicz wartość rezystancji zastępczej obwodu oraz spadki napięcia na poszczególnych rezystorach.
- 1.38. Do obwodu składającego się z czterech rezystorów połączonych szeregowo doprowadzono napięcie  $U = 200 \text{ V}$ . Oblicz wartość rezystancji zastępczej obwodu, prądu przepływającego w obwodzie i spadki napięcia na poszczególnych rezystorach, jeżeli  $R_1 = 8 \Omega$ ,  $R_2 = 11 \Omega$ ,  $R_3 = 10 \Omega$ ,  $R_4 = 21 \Omega$ .

#### Rozwiązanie

Rezystancja zastępcza obwodu:

$$R_z = R_1 + R_2 + R_3 + R_4 = 8 + 11 + 10 + 21 = 50 \Omega.$$

Prąd w obwodzie:

$$I = \frac{U}{R_z} = \frac{200}{50} = 4 \text{ A}.$$

Spadki napięcia na poszczególnych rezystorach:

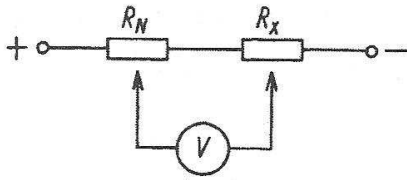
$$U_1 = IR_1 = 4 \cdot 8 = 32 \text{ V},$$

$$U_2 = IR_2 = 4 \cdot 11 = 44 \text{ V},$$

$$U_3 = IR_3 = 4 \cdot 10 = 40 \text{ V},$$

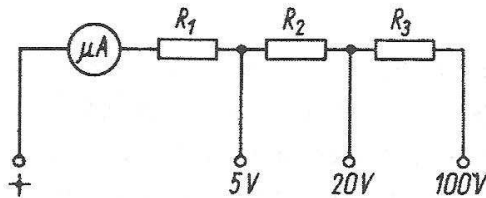
$$U_4 = IR_4 = 4 \cdot 21 = 84 \text{ V}.$$

- 1.39. Szeregowo z odbiornikiem o rezystancji  $R = 20 \Omega$  połączono rezystor nastawny suwakowy o zakresie regulacji od 0 do  $100 \Omega$ . W jakich granicach będzie można nastawiać wartość prądu i napięcia odbiornika, jeżeli do układu doprowadzono napięcie  $U = 120 \text{ V}$ ?
- 1.40. Żarówkę o napięciu znamionowym  $U_N = 6 \text{ V}$  i rezystancji „na gorąco”  $R = 20 \Omega$  włączamy przez rezystor do źródła o napięciu  $U = 15 \text{ V}$ . Jaką wartość rezystancji powinien mieć ten rezystor, by napięcie na żarówce było równe  $6 \text{ V}$ ?
- 1.41. Podczas pomiaru rezystancji metodą porównawczą napięciową (rys. 1.1) otrzymano następujące wyniki:  $U_x = 0,8 \text{ V}$ ,  $U_N = 0,32 \text{ V}$ . Rezystancja wzorcowa  $R_N = 1 \Omega$ . Oblicz wartość rezystancji  $R_x$ .



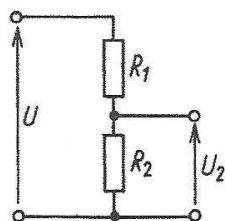
Rys. 1.1

- 1.42. Silnik o napięciu znamionowym  $U_N = 230 \text{ V}$  i prądzie znamionowym  $I_N = 20 \text{ A}$  znajduje się w odległości  $l = 200 \text{ m}$  od źródła o napięciu  $U = 240 \text{ V}$ . Jaki musi być przekrój przewodów aluminiowych linii (konduktywność aluminium  $\gamma_{\text{Al}} = 35 \cdot 10^6 \text{ S/m}$ ), aby zapewnić pracę znamionową silnika?
- 1.43. Odbiornik o rezystancji  $R = 46 \Omega$  jest zasilany ze źródła miedzianą linią dwuprzewodową o  $l = 275 \text{ m}$  i przekroju  $S = 10 \text{ mm}^2$ ; konduktywność miedzi  $\gamma_{\text{Cu}} = 55 \cdot 10^6 \text{ S/m}$ . Napięcie na początku linii  $U = 235 \text{ V}$ . Oblicz wartość prądu przepływającego w obwodzie, napięcie na odbiorniku i spadek napięcia w linii.
- 1.44. Woltomierz o zakresie  $U_v = 6 \text{ V}$  ma rezystancję wewnętrzną  $R_v = 30 \text{ k}\Omega$ . Oblicz wartość rezystancji rezystora dodatkowego, który należy połączyć szeregowo z woltomierzem, aby jego zakres zwiększyć do  $U = 60 \text{ V}$ .
- 1.45. Miernik magnetoelektryczny o zakresie  $I_a = 500 \mu\text{A}$  ma rezystancję wewnętrzną  $R_a = 100 \Omega$ . Dobierz wartości rezystancji  $R_1$ ,  $R_2$  i  $R_3$  rezystora dodatkowego (rys. 1.2) tak, aby otrzymać woltomierz o trzech zakresach:  $U_1 = 5 \text{ V}$ ,  $U_2 = 20 \text{ V}$  i  $U_3 = 100 \text{ V}$ .



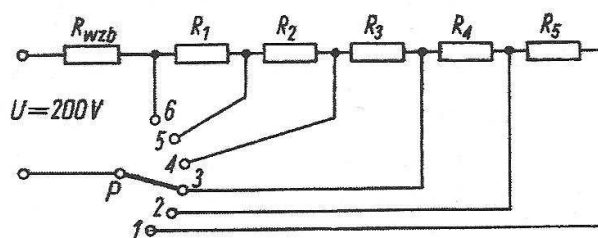
Rys. 1.2

- 1.46. Stosunek rezystancji trzech rezystorów połączonych szeregowo  $R_1 : R_2 : R_3 = 2 : 3 : 5$ . Napięcie doprowadzone do obwodu  $U = 70 \text{ V}$ . Prąd przepływający w obwodzie  $I = 2 \text{ A}$ . Oblicz wartości rezystancji  $R_1$ ,  $R_2$  i  $R_3$ .
- 1.47. Do dzielnika napięcia (rys. 1.3) doprowadzono napięcie  $U = 200 \text{ V}$ . Oblicz wartość napięcia  $U_2$ , jeżeli rezystancje:  $R_1 = 360 \Omega$  i  $R_2 = 40 \Omega$ .



Rys. 1.3

- 1.48. W dzielniku napięcia (rys. 1.3) rezystancja  $R_1 = 750 \Omega$ . Jaka musi być wartość rezystancji  $R_2$ , aby napięcie  $U_2$  było czterokrotnie mniejsze od napięcia zasilającego  $U$ ?
- 1.49. Do dzielnika napięcia składającego się z trzech rezystorów ( $R_1 = 10 \Omega$ ,  $R_2 = 30 \Omega$ ,  $R_3 = 60 \Omega$ ) doprowadzono napięcie  $U = 300 \text{ V}$ . Ile napięć i o jakich wartościach uzyskano na wyjściu dzielnika?
- 1.50. Jaka powinna być wartość rezystancji platformy służącej do napraw przewodu jezdnego sieci tramwajowej (o napięciu  $U = 600 \text{ V}$  względem ziemi), aby prąd przepływający przez ciało człowieka naprawiającego sieć nie przekroczył wartości  $I = 1 \text{ mA}$ ? Rezystancja ciała ludzkiego o wilgotnym naskórku  $R = 5 \text{ k}\Omega$ .
- 1.51. W celu regulacji prędkości kątowej silnika bocznikowego szeregowo z uzwojeniem wzbudzenia silnika o rezystancji  $R_{wzb} = 400 \Omega$  połączono rezystor stopniowy z przełącznikiem (rys. 1.4). Dobierz wartość rezystancji stopni  $R_1 \div R_5$  tak, aby przy napięciu zasilającym  $U = 200 \text{ V}$  wartość prądu wzbudzenia zmieniała się skokowo co  $0,05 \text{ A}$  w zakresie  $0,25 \div 0,5 \text{ A}$ .



Rys. 1.4

- 1.52. Trzy rezystory o rezystancjach  $R_1 = 9 \Omega$ ,  $R_2 = 18 \Omega$  i  $R_3 = 12 \Omega$  połączono równolegle. Przez pierwszy rezystor przepływa prąd  $I_1 = 2 \text{ A}$ . Oblicz wartości prądów płynących przez pozostałe rezystory, wartość rezystancji i konduktancji zastępczej układu oraz prądu całkowitego.

### Rozwiązanie

Mając dane  $I_1$  i  $R_1$ , można obliczyć wartość napięcia  $U_1$ , która jest równa wartości napięcia na pozostałych rezystorach ( $U_1 = U$ ):

$$U = I_1 R_1 = 2 \cdot 9 = 18 \text{ V.}$$

Prądy płynące przez pozostałe rezystory:

$$I_2 = \frac{U}{R_2} = \frac{18}{18} = 1 \text{ A;}$$

$$I_3 = \frac{U}{R_3} = \frac{18}{12} = 1,5 \text{ A.}$$



Prąd całkowity:

$$I = I_1 + I_2 + I_3 = 2 + 1 + 1,5 = 4,5 \text{ A.}$$

Konduktancja zastępcza:

$$G_z = \frac{1}{R_z} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} = \frac{1}{9} + \frac{1}{18} + \frac{1}{12} = \frac{4+2+3}{36} = 0,25 \text{ S}$$

lub

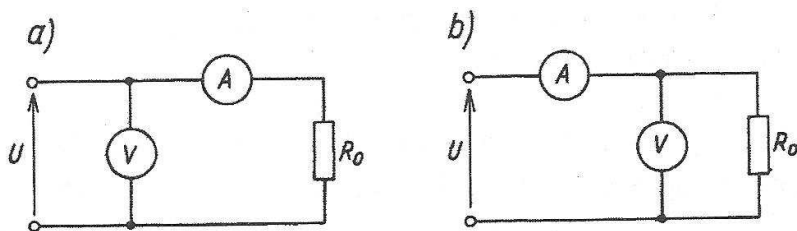
$$G_z = \frac{I}{U} = \frac{4,5}{18} = \frac{1}{4} = 0,25 \text{ S.}$$

Rezystancja zastępcza układu:

$$R_z = \frac{U}{I} = \frac{18}{4,5} = 4, \Omega.$$

- 1.53.** Jaka musi być wartość rezystancji rezystora połączonego równolegle z rezystorem o rezystancji  $250 \Omega$ , aby wartość rezystancji zastępczej układu była równa  $200 \Omega$ ?
- 1.54.** Trzy odbiorniki o rezystancjach  $R_1 = 4 \Omega$ ,  $R_2 = 6 \Omega$ ,  $R_3 = 8 \Omega$ , połączone równolegle, włączono do źródła o napięciu  $U = 12 \text{ V}$ . Oblicz wartości prądów płynących przez poszczególne odbiorniki oraz wartość rezystancji i konduktancji zastępczej obwodu.
- 1.55.** Całkowity prąd płynący w obwodzie złożonym z dwóch gałęzi równoległych  $I = 1 \text{ A}$ . Oblicz wartości prądów w poszczególnych gałęziach, jeżeli rezystancje  $R_1 = 60 \Omega$ ,  $R_2 = 90 \Omega$ .
- 1.56.** Całkowity prąd płynący w obwodzie złożonym z czterech odbiorników połączonych równolegle  $I = 41 \text{ A}$ . Rezystancje odbiorników:  $R_1 = 8 \Omega$ ,  $R_2 = 10 \Omega$ ,  $R_3 = 20 \Omega$ ,  $R_4 = 15 \Omega$ . Oblicz wartości prądów płynących przez poszczególne odbiorniki.
- 1.57.** Jaką wartość rezystancji powinien mieć bocznik przyłączony równolegle do amperomierza o zakresie  $I_a = 0,5 \text{ A}$  i rezystancji wewnętrznej  $R_a = 0,18 \Omega$ , aby zakres amperomierza zwiększył się do  $I = 5 \text{ A}$ ?
- 1.58.** Po dołączeniu bocznika o rezystancji  $R_b = 0,5 \Omega$  do amperomierza o zakresie  $I_a = 2 \text{ mA}$ , zakres amperomierza zwiększył się do  $I'_a = 0,04 \text{ A}$ . Jaką wartość rezystancji powinien mieć posobnik przyłączony do amperomierza, aby otrzymać woltomierz o zakresie  $U = 20 \text{ V}$ ?

- 1.59. Do zacisków amperomierza magnetoelektrycznego o rezystancji  $R_a = 0,02 \Omega$  dołączono równolegle kawałek drutu miedzianego o średnicy  $d = 2 \text{ mm}$  i długości  $l = 20 \text{ cm}$ . Konduktywność miedzi  $\gamma_{\text{Cu}} = 50 \cdot 10^6 \text{ S/m}$ . Powstały w ten sposób amperomierz (z bocznikiem) połączono szeregowo z odbiornikiem. Amperomierz wskazał wartość prądu  $0,8 \text{ A}$ . Oblicz wartość prądu płynącego przez odbiornik.
- 1.60. Na każdy kilometr jednego przewodu linii napowietrznej przypada 20 izolatorów; rezystancja każdego izolatora  $R = 1000 \text{ M}\Omega$ . Oblicz wartość rezystancji izolacji przewodu względem ziemi, jeżeli długość przewodu  $l = 5 \text{ km}$ .
- 1.61. Rezystancja zastępcza dwóch odbiorników połączonych szeregowo  $R_s = 50 \Omega$ , a połączonych równolegle  $R_r = 12 \Omega$ . Oblicz wartości rezystancji  $R_1$  i  $R_2$ .
- 1.62. Do źródła o napięciu  $U = 240 \text{ V}$  włączono dwa odbiorniki. Przy połączeniu szeregowym odbiorników wartość prądu płynącego w obwodzie wynosi  $3 \text{ A}$ , przy równoległym –  $16 \text{ A}$ . Oblicz wartości rezystancji  $R_1$  i  $R_2$  odbiorników.
- 1.63. Podczas pomiaru rezystancji metodą techniczną (rys. 1.5b) wskazania mierników były następujące:  $I = 0,4 \text{ A}$ ,  $U = 8 \text{ V}$ . Oblicz błąd procentowy pomiaru, jeżeli nie uwzględniono prądu woltomierza. Rezystancja wewnętrzna woltomierza  $R_v = 1000 \Omega$ .
- 1.64. Podczas pomiaru rezystancji metodą techniczną skorzystano z dwóch układów pomiarowych (rys. 1.5a i b) i uzyskano następujące wyniki:



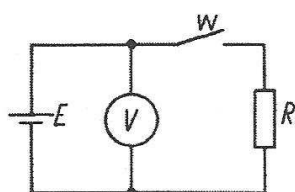
Rys. 1.5

$U_a = 100,5 \text{ V}$ ,  $I_a = 0,5 \text{ A}$  oraz  $U_b = 100 \text{ V}$ ,  $I_b = 0,505 \text{ A}$ . Rezystancje mierników:  $R_a = 1 \Omega$ ,  $R_v = 20 \text{ k}\Omega$ . Oblicz wartość rezystancji przybliżoną i rzeczywistą (z uwzględnieniem błędów wynikających z rezystancji mierników) w obu układach. Oblicz błąd względny pomiaru w obu układach.

## Prawo Ohma w zastosowaniu do obwodu całkowitego

1.65. Do źródła o sile elektromotorycznej (napięciu źródłowym)  $E = 60 \text{ V}$  i rezystancji wewnętrznej  $R_w = 4 \text{ } \Omega$  włączono odbiornik o rezystancji  $R = 26 \text{ } \Omega$ . Oblicz wartość prądu płynącego w obwodzie i napięcia na odbiorniku oraz prądu zwarcia źródła.

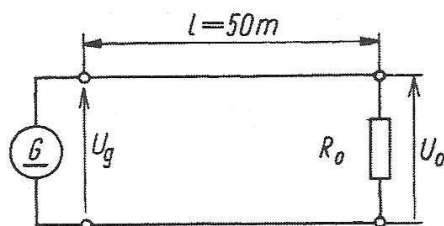
1.66. Wskazanie woltomierza w obwodzie z rysunku 1.6 przy otwartym wyłączniku  $w$  wynosi  $2,05 \text{ V}$ , a przy zamkniętym –  $2 \text{ V}$ . Oblicz wartość rezystancji wewnętrznej  $R_w$  źródła, wiedząc że rezystancja  $R = 10 \text{ } \Omega$ .



Rys. 1.6

1.67. Źródło napięcia o parametrach:  $E = 6 \text{ V}$ ,  $R_w = 4 \text{ } \Omega$  zastąp równoważnym źródłem prądu. Oblicz wartość prądu źródłowego  $I_z$  i wartość konduktancji wewnętrznej źródła  $G_w$ .

1.68. Prądnica, której siła elektromotoryczna  $E = 225 \text{ V}$  i rezystancja wewnętrzna  $R_w = 0,821 \text{ } \Omega$ , zasila odbiornik oddalony o  $l = 50 \text{ m}$  (rys. 1. 7). Rezystancja odbiornika  $R_o = 24 \text{ } \Omega$ . Przewody są aluminiowe o przekroju  $S = 16 \text{ mm}^2$ . Oblicz wartość prądu płynącego w obwodzie, napięcia na odbiorniku, napięcia na początku linii oraz spadek napięcia w linii. Konduktywność aluminium  $\gamma_{Al} = 35 \cdot 10^6 \text{ S/m}$ .



Rys. 1.7

### Rozwiązanie

Rezystancja linii dwuprzewodowej:

$$R_1 = \frac{2l}{\gamma S} = \frac{2 \cdot 50 \text{ m}}{35 \cdot 10^6 \frac{\text{S}}{\text{m}} \cdot 16 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2} = 0,179 \text{ } \Omega.$$

Prąd w obwodzie:

$$I = \frac{E}{R_o + R_w + R_1} = \frac{225 \text{ V}}{24 \Omega + 0,821 \Omega + 0,179 \Omega} = \frac{225 \text{ V}}{25 \Omega} = 9 \text{ A.}$$

Napięcie na odbiorniku:

$$U_o = IR_o = 9 \text{ A} \cdot 24 \Omega = 216 \text{ V.}$$

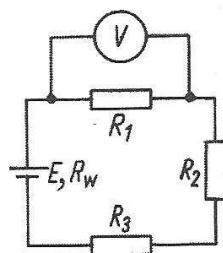
Napięcie na początku linii:

$$U_g = E - IR_w = 225 \text{ V} - 9 \text{ A} \cdot 0,821 \Omega \approx 217,6 \text{ V.}$$

Spadek napięcia w linii:

$$\Delta U_1 = IR_1 = 9 \text{ A} \cdot 0,179 \Omega \approx 1,6 \text{ V.}$$

- 1.69.** Źródło o sile elektromotorycznej  $E = 240 \text{ V}$  i rezystancji wewnętrznej  $R_w = 4 \Omega$  zasila odbiornik o rezystancji nastawnej  $R$ . Sporządź wykres zależności napięcia na odbiorniku i spadku napięcia na rezystancji wewnętrznej źródła w funkcji prądu w odbiorniku, gdy wartość prądu zmienia się w granicach  $0 \div 12 \text{ A}$ . Odczytaj z wykresu wartość prądu i oblicz wartość rezystancji  $R$  przy napięciu  $U = 220 \text{ V}$ .
- 1.70.** Odbiornik o rezystancji  $R = 10 \Omega$  jest zasilany ze źródła o sile elektromotorycznej  $E = 240 \text{ V}$  i rezystancji wewnętrznej  $R_w = 0,5 \Omega$  za pomocą miedzianej linii dwuprzewodowej o przekroju  $S = 6 \text{ mm}^2$  i długości  $l = 248 \text{ m}$ . Oblicz wartość prądu płynącego w obwodzie, napięcia na zaciskach źródła i odbiornika oraz spadek napięcia w linii. W jakiej odległości od źródła wartość napięcia między przewodami linii będzie równa  $220 \text{ V}$ ? Konduktywność miedzi  $\gamma_{\text{Cu}} = 55 \cdot 10^6 \text{ S/m}$ .
- 1.71.** Woltomierz w obwodzie z rysunku 1.8 wskazuje wartość napięcia  $U = 8 \text{ V}$ . Wartości rezystancji obwodu:  $R_1 = 4 \Omega$ ,  $R_2 = 7 \Omega$ ,  $R_3 = 5 \Omega$ ,  $R_w = 1 \Omega$ . Jakie będzie wskazanie woltomierza po zwarciu rezystora  $R_2$ ?



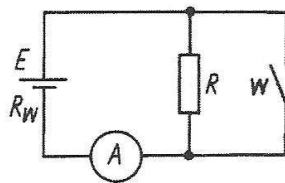
Rys. 1.8

- 1.72.** W tranzystorowym odbiorniku radiowym zasilanym z baterii, której siła elektromotoryczna  $E = 9 \text{ V}$  i rezystancja wewnętrzna  $R_w = 20 \Omega$ , wartość

prądu waha się w granicach od 5 mA – przy braku sygnału, do 30 mA – przy pełnej głośności. Oblicz wahania wartości napięcia podczas pracy odbiornika.

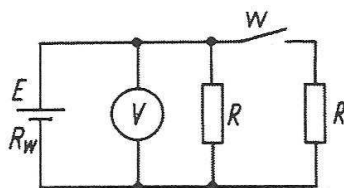
- 1.73. Prąd zwarcia akumulatora zasadowego o sile elektromotorycznej  $E = 1,25 \text{ V}$  ma wartość 5 A. Do akumulatora włączono odbiornik. Jaka jest wartość rezystancji odbiornika, jeżeli napięcie na nim wynosi 1, 2 V?
- 1.74. Amperomierz w obwodzie przedstawionym na rysunku 1.9 wskazuje:  
a) 5 A przy otwartym wyłączniku, b) 50 A przy zamkniętym wyłączniku.

Oblicz stosunek rezystancji  $\frac{R}{R_w}$ .



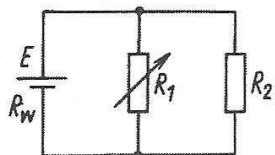
Rys. 1.9

- 1.75. Siła elektromotoryczna źródła  $E = 6 \text{ V}$ . Gdy rezystancja zewnętrzna obwodu  $R = 1 \Omega$ , wówczas prąd płynący w obwodzie  $I = 3 \text{ A}$ . Oblicz wartość prądu zwarcia źródła.
- 1.76. Do pomiaru siły elektromotorycznej źródła użyto woltomierza o rezystancji wewnętrznej  $R_v = 1,5 \text{ k}\Omega$ . Rezystancja wewnętrzna źródła  $R_w = 1,2 \Omega$ . Oblicz błąd pomiaru (w %), przyjmując że woltomierz wskazuje siłę elektromotoryczną źródła.
- 1.77. Układ składający się z trzech odbiorników połączonych równolegle jest zasilany ze źródła o rezystancji wewnętrznej  $R_w = 0,1 \Omega$ . Oblicz wartość siły elektromotorycznej źródła oraz prądów płynących w poszczególnych odbiornikach, wiedząc że rezystancje:  $R_1 = 6 \Omega$ ,  $R_2 = 12 \Omega$ ,  $R_3 = 4 \Omega$ , a prąd źródła  $I = 0,6 \text{ A}$ .
- 1.78. Woltomierz w obwodzie z rysunku 1.10 wskazuje 2 V przy otwartym wyłączniku  $w$  oraz 1,8 V – przy zamkniętym. Rezystancja  $R = 2 \Omega$ . Oblicz wartość siły elektromotorycznej  $E$  i rezystancji wewnętrznej  $R_w$  źródła.



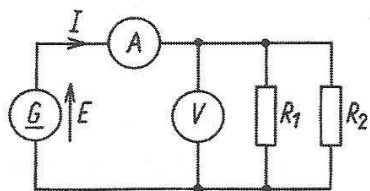
Rys. 1.10

- 1.79. W obwodzie rozgałęzionym (rys. 1.11) siła elektromotoryczna źródła  $E = 6,3 \text{ V}$ , rezystancja wewnętrzna  $R_w = 0,2 \text{ } \Omega$  i rezystancja  $R_2 = 12 \text{ } \Omega$ . Dobierz wartość rezystancji nastawnej  $R_1$  tak, żeby wartość napięcia na rezystorach  $R_1$  i  $R_2$  była równa  $6 \text{ V}$ .



Rys. 1.11

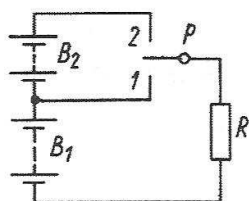
- 1.80. Odbiornik o rezystancji  $R = 20 \text{ } \Omega$  jest zasilany ze źródła o sile elektromotorycznej  $E = 120 \text{ V}$  i rezystancji wewnętrznej  $R_w = 4 \text{ } \Omega$ . Jakie będą wahania wartości napięcia na odbiorniku podczas włączania i wyłączenia odbiornika dodatkowego o rezystancji  $R = 20 \text{ } \Omega$  (podczas zamykania i otwierania wyłącznika  $w$  – rys. 1.10)?
- 1.81. Do źródła o sile elektromotorycznej  $E = 9 \text{ V}$  i rezystancji wewnętrznej  $R_w = 10 \text{ } \Omega$  włączono żarówkę. Przez żarówkę przepływa prąd  $I = 0,15 \text{ A}$ . Oblicz wartość napięcia na zaciskach źródła. Sprawdź, jak zmieni się wartość napięcia na zaciskach źródła, gdy równolegle przyłączymy jeszcze jedną, a także dwie takie same żarówki. (W obliczeniach nie uwzględniaj zmian rezystancji żarówek.)
- 1.82. Przy połączeniu równoległym rezystorów  $R_1$  i  $R_2$  włączonych do źródła (rys. 1.12) wskazania mierników są następujące:  $120 \text{ V}$  i  $10 \text{ A}$ . Przy połączeniu szeregowym tych rezystorów mierniki wskazują odpowiednio:  $160 \text{ V}$  i  $3,2 \text{ A}$ . Oblicz wartości: rezystancji  $R_1$  i  $R_2$ , siły elektromotorycznej źródła i rezystancji wewnętrznej źródła.



Rys. 1.12

## Obwody nierozgałęzione z kilkoma źródłami

- 1.83. Trzy jednakowe ogniwa Leclanchégo o siłach elektromotorycznych  $E_0 = 1,5 \text{ V}$  i rezystancjach wewnętrznych  $R_w = 0,6 \Omega$ , połączone szeregowo zgodnie, zasilają odbiornik o rezystancji  $R = 16,2 \Omega$ . Oblicz wartość prądu przepływającego przez odbiornik, napięcia na odbiorniku i napięcie na zaciskach poszczególnych ogniw.
- 1.84. Bateria złożona z 8 ogniw połączonych szeregowo zasila odbiornik o rezystancji  $R = 500 \Omega$ . Siła elektromotoryczna każdego ogniwa  $E_0 = 1,5 \text{ V}$ . Oblicz wartość napięcia na odbiorniku, gdy rezystancja wewnętrzna ogniwa: a)  $R_w = 1 \Omega$ , b)  $R_w = 5 \Omega$ .
- 1.85. Czy wartość napięcia źródła może być większa od wartości jego siły elektromotorycznej?
- 1.86. Prądnica samochodowa, której siła elektromotoryczna  $E_1 = 8 \text{ V}$  i rezystancja wewnętrzna  $R_{w1} = 0,35 \Omega$ , ładuje akumulator o sile elektromotorycznej  $E_2 = 6,15 \text{ V}$  i rezystancji wewnętrznej  $R_{w2} = 0,02 \Omega$ . Oblicz wartości: prądu ładowania oraz napięcia na zaciskach akumulatora.
- 1.87. Prądnica o rezystancji wewnętrznej  $R_g = 0,06 \Omega$  zasila silnik elektryczny o rezystancji  $R_m = 0,1 \Omega$ . Rezystancja przewodów łączących silnik z prądnicą,  $R_p = 0,04 \Omega$ . Prąd silnika  $I = 400 \text{ A}$ , a napięcie na jego zaciskach  $U = 220 \text{ V}$ . Oblicz wartości: sił elektromotorycznych  $E_g$  prądnicy i  $E_m$  silnika oraz napięcia  $U_g$  na zaciskach prądnicy.
- 1.88. Do zasilania odbiornika o rezystancji  $R = 110 \Omega$  służyła bateria  $B_1$  składająca się z 20 ogniw o sile elektromotorycznej  $E_0 = 1,5 \text{ V}$  i rezystancji wewnętrznej każdego ogniwa  $R_{w1} = 0,5 \Omega$ . Szeregowo z baterią  $B_1$  połączono baterię  $B_2$  (rys. 1.13) złożoną z trzech ogniw o sile elektromotorycznej  $E_0 = 1,5 \text{ V}$  i rezystancji wewnętrznej każdego ogniwa  $R_{w2} = 10 \Omega$ . Do otrzymanej w ten sposób baterii włączono wymieniony wyżej odbiornik. Oblicz wartość napięcia na odbiorniku przy obu położeniach przełącznika  $p$ .



Rys. 1.13

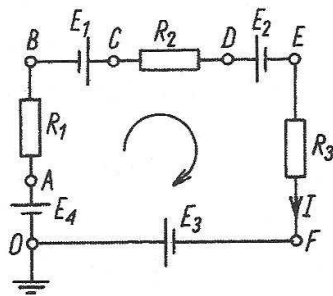
**1.89.** Obwód nierozgałęziony składa się z czterech źródeł i trzech odbiorników (rys. 1.14). Dane obwodu:  $E_1 = 1,2 \text{ V}$ ,  $E_2 = 2 \text{ V}$ ,  $E_3 = 1,5 \text{ V}$ ,  $E_4 = 1,3 \text{ V}$ ,  $R_1 = 5 \Omega$ ,  $R_2 = 6 \Omega$ ,  $R_3 = 8 \Omega$ ,  $R_{w1} = R_{w2} = R_{w3} = 0,2 \Omega$ ,  $R_{w4} = 0,4 \Omega$ . Oblicz wartości: prądu płynącego w obwodzie, napięć na poszczególnych odbiornikach, potencjałów w poszczególnych punktach obwodu po uziemieniu punktu 0 oraz sporządź wykres potencjałów w funkcji rezystancji obwodu.

### Rozwiązanie

Prąd w obwodzie wyznaczamy, dzieląc algebraiczną sumę sił elektromotorycznych przez rezystancję całkowitą obwodu:

$$I = \frac{E_1 - E_2 + E_3 + E_4}{R_1 + R_2 + R_3 + R_{w1} + R_{w2} + R_{w3} + R_{w4}} =$$

$$= \frac{1,2 - 2 + 1,5 + 1,3}{5 + 6 + 8 + 0,2 + 0,2 + 0,2 + 0,4} = \frac{2}{20} = 0,1 \text{ A.}$$



Rys. 1.14

Napięcia na odbiornikach:

$$U_1 = IR_1 = 0,1 \cdot 5 = 0,5 \text{ V,}$$

$$U_2 = IR_2 = 0,1 \cdot 6 = 0,6 \text{ V,}$$

$$U_3 = IR_3 = 0,1 \cdot 8 = 0,8 \text{ V.}$$

Z kolei przystępujemy do wyznaczenia potencjałów poszczególnych punktów, rozpatrując kolejne odcinki obwodu: na drodze 0A potencjał zwiększa się o wartość  $E_4$  i jednocześnie zmniejsza się o spadek napięcia na rezystancji wewnętrznej źródła  $IR_{w4}$ :

$$V_A = 0 + E_4 - IR_{w4} = 1,3 - 0,1 \cdot 0,4 = 1,26 \text{ V.}$$



Potencjały kolejnych punktów:

$$V_B = V_A - U_1 = 1,26 - 0,5 = 0,76 \text{ V},$$

$$V_C = V_B + E_1 - IR_{w1} = 0,76 + 1,2 - 0,1 \cdot 0,2 = 1,94 \text{ V},$$

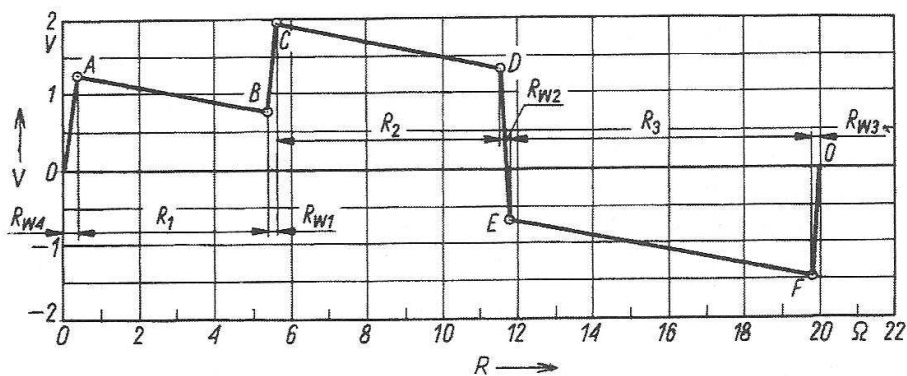
$$V_D = V_C - U_2 = 1,94 - 0,6 = 1,34 \text{ V},$$

$$V_E = V_D - E_2 - IR_{w2} = 1,34 - 2 - 0,1 \cdot 0,2 = -0,68 \text{ V},$$

$$V_F = V_E - U_3 = -0,68 - 0,8 = -1,48 \text{ V},$$

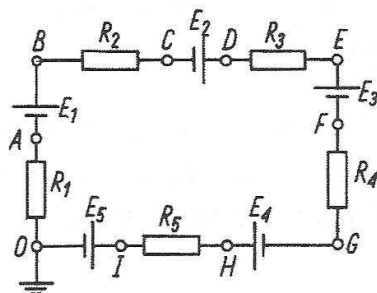
$$V_0 = V_F + E_3 - IR_{w3} = -1,48 + 1,5 - 0,1 \cdot 0,2 = 0.$$

Teraz można przystąpić do wykonania wykresu potencjałów (rys. 1.15).



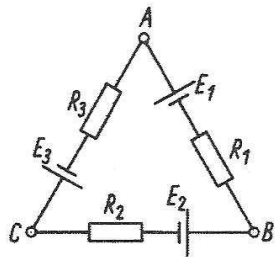
Rys. 1.15

- 1.90.** Oblicz wartość prądu płynącego w obwodzie nierozgałęzionym (rys. 1.16), spadki napięcia na poszczególnych rezystorach i źródłach oraz potencjały w poszczególnych punktach obwodu. Sporządź wykres potencjałów po uziemieniu punktu 0. Dane obwodu:  $E_1 = E_2 = 10 \text{ V}$ ,  $E_3 = 8 \text{ V}$ ,  $E_4 = 4 \text{ V}$ ,  $E_5 = 6 \text{ V}$ ,  $R_1 = R_4 = 15 \Omega$ ,  $R_2 = R_3 = 4 \Omega$ ,  $R_5 = 7 \Omega$ ,  $R_{w1-5} = 1 \Omega$ .



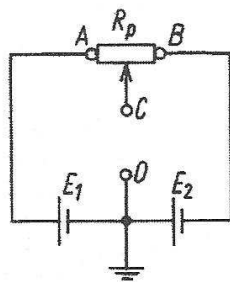
Rys. 1.16

- 1.91.** W obwodzie przedstawionym na rysunku 1.17 siły elektromotoryczne źródeł:  $E_1 = E_2 = E_3 = 2 \text{ V}$ , rezystancje:  $R_1 = R_2 = R_3 = 10 \Omega$ , rezystancje wewnętrzne źródeł:  $R_{w1} = R_{w2} = R_{w3} = 2 \Omega$ . Oblicz wartości napięć  $U_{AB}$ ,  $U_{BC}$  i  $U_{CA}$ . Sporządź wykres potencjałów, przyjmując  $V_A = 0$ .



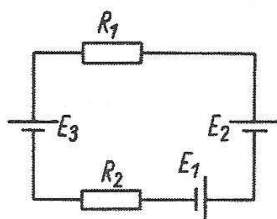
Rys. 1.17

- 1.92. W obwodzie z rysunku 1.18 uziemiono przewód łączący źródła. Siły elektromotoryczne źródeł:  $E_1 = E_2 = 4,5 \text{ V}$ , rezystancje wewnętrzne źródeł:  $R_{w1} = 0,4 \text{ } \Omega$ ,  $R_{w2} = 0,6 \text{ } \Omega$ , rezystancja potencjometru  $R_p = 26 \text{ } \Omega$ . Wyznacz potencjały punktów A i B oraz oblicz, w jakich granicach będzie się zmieniała wartość napięcia  $U_{C0}$  podczas ruchu suwaka potencjometru z punktu B do punktu A.



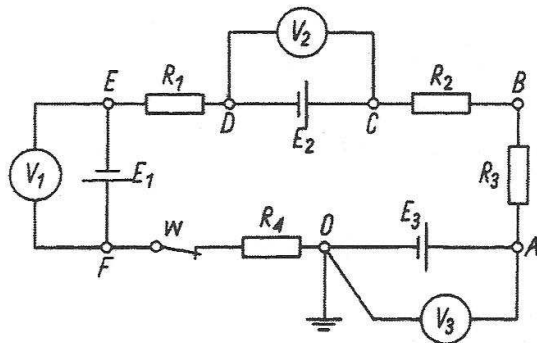
Rys. 1.18

- 1.93. Dwa źródła o siłach elektromotorycznych  $E_1 = E_2$  i rezystancjach wewnętrznych  $R_{w1} = 0,5 \text{ } \Omega$  i  $R_{w2} = 0,7 \text{ } \Omega$ , połączone szeregowo zgodnie, zasilają odbiornik o rezystancji  $R$ . Jaka musi być wartość rezystancji  $R$ , aby różnica potencjałów na zaciskach drugiego źródła była równa 0?
- 1.94. Bateria złożona z 60 ogniw akumulatora zasadowego jest ładowana ze źródła o napięciu  $U = 115 \text{ V}$ . Siła elektromotoryczna każdego ogniwa  $E_0 = 1,2 \text{ V}$ , a jego rezystancja wewnętrzna  $R_w = 0,02 \text{ } \Omega$ . Jaką wartość rezystancji powinien mieć rezystor przyłączony szeregowo do baterii, żeby wartość prądu ładowania była równa  $2,5 \text{ A}$ ?
- 1.95. Jaką wartość ma siła elektromotoryczna źródła  $E_1$  w obwodzie (rys. 1.19), jeżeli zmiana biegunowości źródła na przeciwną spowoduje dwukrotne zwiększenie wartości prądu w obwodzie? Siły elektromotoryczne pozostałych źródeł:  $E_2 = 9 \text{ V}$ ,  $E_3 = 24 \text{ V}$ .



Rys. 1.19

- 1.96. Oblicz wartość prądu i wskazania woltomierzy oraz określ rodzaj pracy źródeł dołączonych do obwodu przedstawionego na rysunku 1.20. Dane obwodu:  $E_1 = 24 \text{ V}$ ,  $E_2 = 60 \text{ V}$ ,  $E_3 = 12 \text{ V}$ ,  $R_1 = 9 \Omega$ ,  $R_3 = R_4 = 20 \Omega$ ,  $R_{w1} = 1 \Omega$ ,  $R_{w2} = R_{w3} = 0,5 \Omega$ .



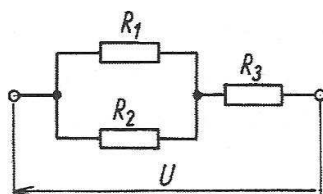
Rys. 1.20

- 1.97. Sporządź wykres potencjałów dla obwodu z zadania 1.96 (rys. 1.20), w którym uziemiono punkt 0.
- 1.98. Jak się zmieniają (zwiększą czy zmniejszą) wskazania woltomierzy w układzie z zadania 1.96 (rys. 1.20) po otwarciu wyłącznika  $w$ ?

## 1.7

### Obwody rozgałęzione z jednym źródłem. Mieszane łączenie rezystorów

- 1.99. Układ o mieszanym połączeniu rezystorów (rys. 1.21) przyłączono do źródła o napięciu  $U = 12 \text{ V}$ . Oblicz wartości rezystancji zastępczej obwodu,



Rys. 1.21

prądów płynących we wszystkich gałęziach oraz napięć na rezystorach, jeżeli  $R_1 = 24 \Omega$ ,  $R_2 = 12 \Omega$ ,  $R_3 = 16 \Omega$ .

## Rozwiązanie

Rezystancja zastępcza rezystorów  $R_1$  i  $R_2$  połączonych równolegle:

$$R_{12} = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} = \frac{24 \cdot 12}{24 + 12} = 8 \Omega.$$

Rezystancja zastępcza całego obwodu:

$$R_z = R_{12} + R_3 = 8 + 16 = 24 \Omega.$$

Prąd całkowity w obwodzie równy prądowi w gałęzi trzeciej:

$$I = I_3 = \frac{U}{R_z} = \frac{12}{24} = 0,5 \text{ A}.$$

Napięcie na rezystorze  $R_3$ :

$$U_3 = I_3 R_3 = 0,5 \cdot 16 = 8 \text{ V}.$$

Napięcie na rezystorach  $R_1$  i  $R_2$ :

$$U_{12} = I_3 R_{12} = 0,5 \cdot 8 = 4 \text{ V}.$$

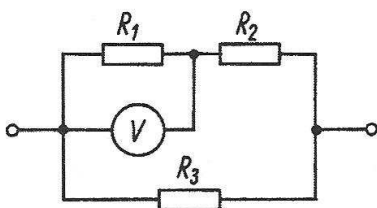
Prądy w gałęziach pierwszej i drugiej:

$$I_1 = \frac{U_{12}}{R_1} = \frac{4}{24} = \frac{1}{6} \text{ A},$$

$$I_2 = \frac{U_{12}}{R_2} = \frac{4}{12} = \frac{1}{3} \text{ A}.$$

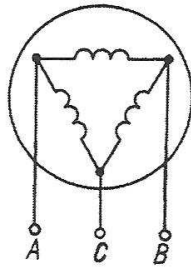
**1.100.** Jak należy połączyć trzy rezystory o rezystancji  $R = 2 \Omega$  każdy, aby otrzymać rezystancję zastępczą  $R_z = 3 \Omega$ ?

**1.101.** Woltomierz dołączony do obwodu przedstawionego na rysunku 1.22 wskazuje napięcie o wartości 4,4 V. Oblicz wartości: prądów płynących przez poszczególne rezystory, prądu całkowitego i napięcia zasilającego, jeżeli  $R_1 = 22 \Omega$ ,  $R_2 = 15 \Omega$  i  $R_3 = 14,8 \Omega$  ( $R_4 \approx \infty$ ).



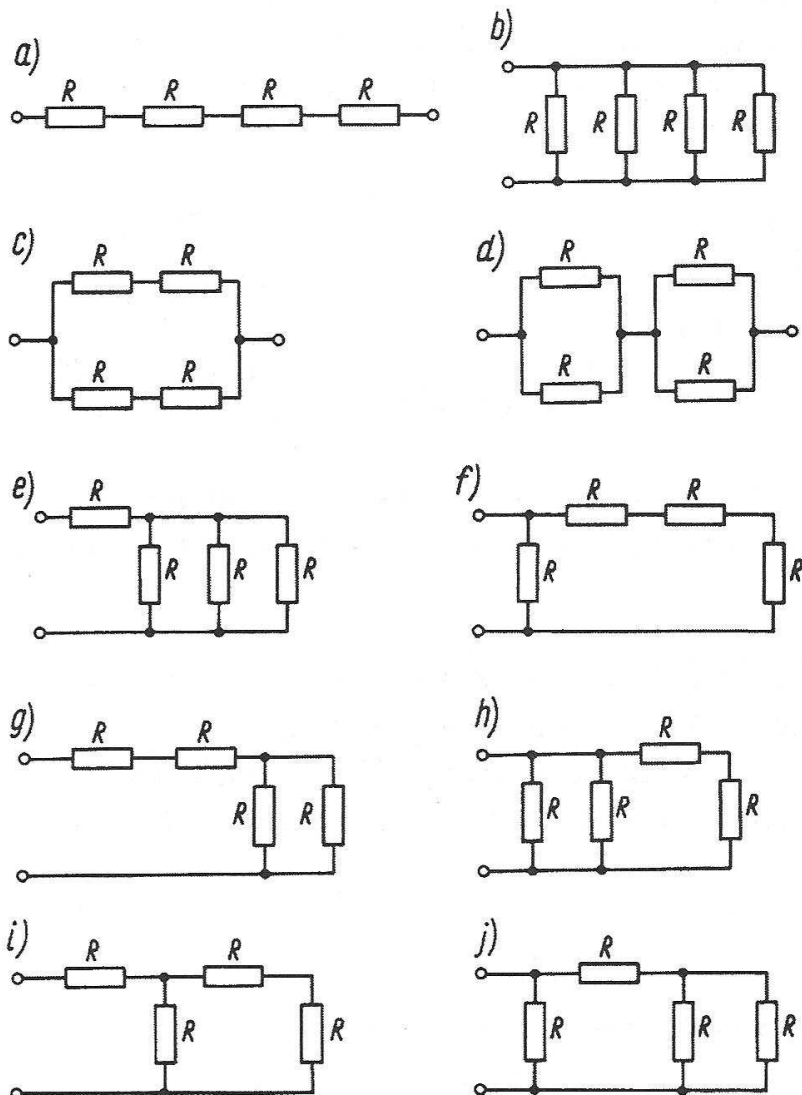
Rys. 1.22

- 1.102. Trzy jednakowe uzwojenia stojana silnika trójfazowego połączone w trójkąt (rys. 1.23). Rezystancja zmierzona między zaciskami  $A$  i  $B$  wynosi  $44 \Omega$ . Oblicz wartość rezystancji jednego uzwojenia.



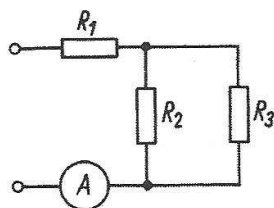
Rys. 1.23

- 1.103. Rezystory  $R_x$  i  $R_1$  połączone szeregowo. Do powstałego układu dołączono równolegle rezystor  $R_2$ , uzyskując rezystancję zastępczą  $R_z = 40 \Omega$ . Oblicz wartość rezystancji  $R_x$ , jeżeli rezystancja  $R_1 = 15 \Omega$ , a  $R_2 = 60 \Omega$ .
- 1.104. Cztery jednakowe rezystory, każdy o rezystancji  $R$ , połączone w sposób pokazany na rysunku 1.24. Oblicz wartość rezystancji zastępczej w poszczególnych wariantach połączeń.



Rys. 1.24

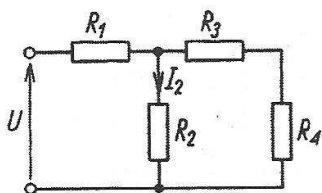
- 1.105. Oblicz spadki napięcia na poszczególnych gałęziach obwodu (rys. 1.25), jeżeli amperomierz wskazuje prąd o wartości 3 A. Wartości rezystancji  $R_1 = 3 \Omega$ ,  $R_2 = 2 \Omega$ ,  $R_3 = 4 \Omega$ .



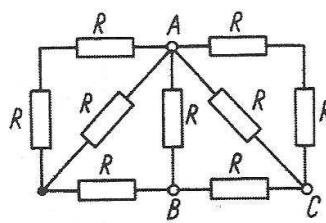
Rys. 1.25

- 1.106. Szeregowo z miliamperomierzem o zakresie  $I_a = 2 \text{ mA}$  i rezystancji wewnętrznej  $R_a = 18 \Omega$  połączono rezystor manganinowy (współczynnik temperaturowy rezystancji  $\alpha \approx 0$ ) o rezystancji  $R = 82 \Omega$ . Do powstałego układu szeregowego dołączono równolegle bocznik. Oblicz wartość rezystancji bocznika  $R_b$ , jeżeli zakres miliamperomierza z bocznikiem ma wynosić  $I = 20 \text{ mA}$ . Oblicz spadek napięcia na miliamperomierzu o zakresie  $I = 20 \text{ mA}$  przy maksymalnym odchyleniu jego wskazówki.

- 1.107. Prąd płynący w rezystorze  $R_2$  obwodu z rys. 1.26,  $I_2 = 2 \text{ A}$ . Wartości rezystancji:  $R_1 = 3 \Omega$ ,  $R_2 = 18 \Omega$ ,  $R_3 = 3 \Omega$ ,  $R_4 = 6 \Omega$ . Oblicz wartość rezystancji zastępczej obwodu i napięcia zasilającego.



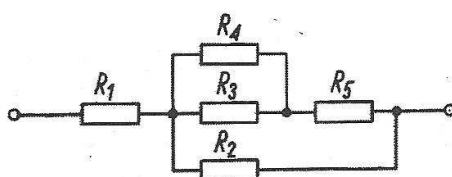
Rys. 1.26



Rys. 1.27

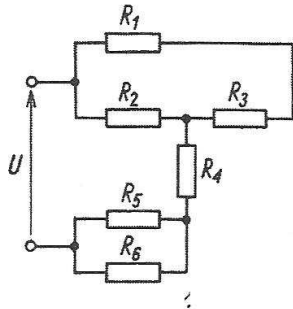
- 1.108. Dziewięć jednakowych rezystorów o rezystancji  $R$  każdy, połączono w sposób pokazany na rysunku 1.27. Oblicz wartości rezystancji zastępczych  $R_{AB}$  i  $R_{AC}$ .

- 1.109. Na rysunku 1.28 przedstawiono obwód o następujących danych:  $R_1 = 5 \Omega$ ,  $R_2 = 12 \Omega$ ,  $R_3 = 6 \Omega$ ,  $R_4 = 3 \Omega$ ,  $R_5 = 4 \Omega$ ;  $I = 15 \text{ A}$ . Oblicz wartości: prądów płynących we wszystkich gałęziach, napięcia doprowadzonego do układu oraz rezystancji zastępczej układu.

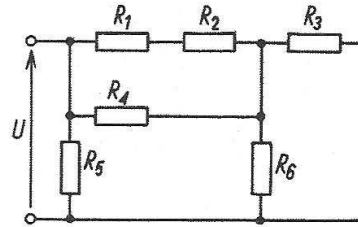


Rys. 1.28

- 1.110. Napięcie na rezystorze  $R_5$  (obwód z rys. 1.29) jest równe 120 V. Oblicz wartości: prądów płynących we wszystkich gałęziach oraz doprowadzonego napięcia zasilającego, jeżeli  $R_1 = R_4 = 2 \Omega$ ,  $R_2 = R_3 = R_6 = 4 \Omega$ ,  $R_5 = 12 \Omega$ .

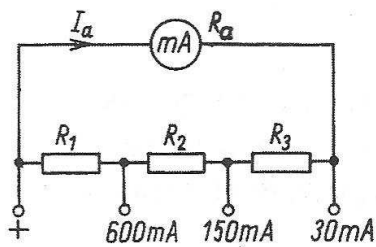


Rys. 1.29



Rys. 1.30

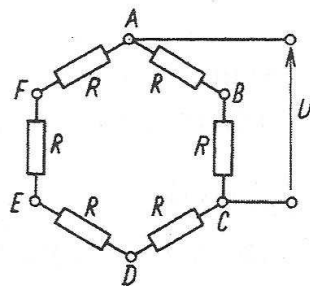
- 1.111. Oblicz wartości: prądu całkowitego i napięcia doprowadzonego do obwodu z rysunku 1.30, jeżeli spadek napięcia  $U_6 = 36 \text{ V}$ , a rezystancje:  $R_1 = 1 \Omega$ ,  $R_2 = 5 \Omega$ ,  $R_3 = R_4 = 12 \Omega$ ,  $R_5 = 21 \Omega$ ,  $R_6 = 4 \Omega$ .
- 1.112. Miliamperomierz o zakresie  $I_a = 15 \text{ mA}$  ma rezystancję wewnętrzną  $R_a = 12 \Omega$ . Dobierz tak wartości rezystancji  $R_1$ ,  $R_2$  i  $R_3$  bocznika uniwersalnego (rys. 1.31), aby zakresy miliamperomierza wynosiły:  $I_1 = 30 \text{ mA}$ ,  $I_2 = 150 \text{ mA}$ ,  $I_3 = 600 \text{ mA}$ .



Rys. 1.31

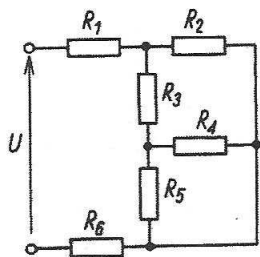
**Wskazówka:** obliczenia przeprowadź przy maksymalnym odchyleniu wskazówki miernika, równym jego zakresowi.

- 1.113. Sześciobok zestawiono z jednakowych rezystorów o rezystancji  $R = 30 \Omega$  każdy (rys. 1.32). Do jego wierzchołków  $A$  i  $C$  doprowadzono napięcie  $U = 120 \text{ V}$ . Oblicz wartości: prądów płynących w gałęziach, rezystancji zastępczej obwodu  $R_{AC}$  oraz spadki napięcia  $U_{FB}$  i  $U_{EB}$ .



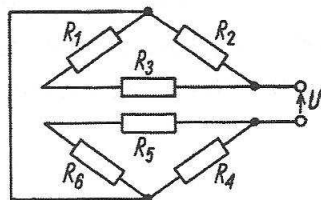
Rys. 1.32

- 1.114. Wyznacz wartości prądów w gałęziach obwodu (rys. 1.33), jeżeli  $U = 120 \text{ V}$ ,  $R_1 = R_6 = 45 \ \Omega$ ,  $R_2 = 220 \ \Omega$ ,  $R_3 = 76 \ \Omega$ ,  $R_4 = 240 \ \Omega$ ,  $R_5 = 360 \ \Omega$ .



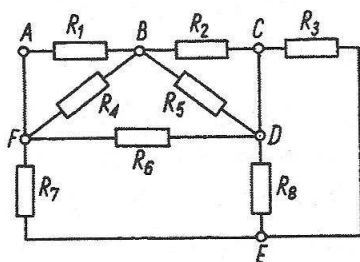
Rys. 1.33

- 1.115. Obwód pokazany na rysunku 1.34 ma następujące dane:  $U = 44 \text{ V}$ ,  $R_1 = 40 \ \Omega$ ,  $R_2 = R_4 = 120 \ \Omega$ ,  $R_3 = 20 \ \Omega$ ,  $R_5 = 35 \ \Omega$ ,  $R_6 = 45 \ \Omega$ . Oblicz wartości prądów płynących w gałęziach i prądu całkowitego obwodu.



Rys. 1.34

- 1.116. Rezystancje obwodu przedstawionego na rysunku 1.35 są następujące:  $R_1 = 3 \ \Omega$ ,  $R_2 = R_5 = R_7 = R_8 = 4 \ \Omega$ ,  $R_3 = 12 \ \Omega$ ,  $R_4 = 6 \ \Omega$ ,  $R_6 = 12 \ \Omega$ . Oblicz wartość rezystancji zastępczej między punktami A i E oraz C i F.

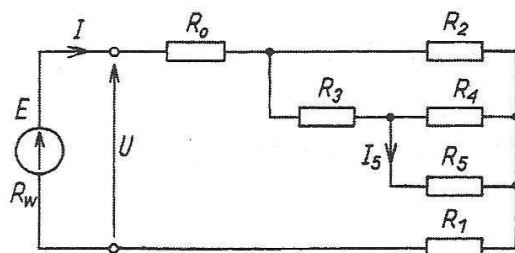


Rys. 1.35

- 1.117. W obwodzie z zadania 1.116 (rys. 1.35) napięcie  $U_{AE} = 24 \text{ V}$ . Oblicz wartości prądów przepływających przez rezystory  $R_5$  i  $R_8$ .
- 1.118. Do punktów C i E obwodu z zadania 1.116 (rys. 1.35) doprowadzono napięcie zasilające. Oblicz wartość tego napięcia, jeżeli wartość prądu  $I_5 = 1 \text{ A}$ .



- 1.119. W obwodzie, jak na rysunku 1.36, prąd  $I_5 = 2$  A. Oblicz wartości: prądu źródła  $I$ , napięcia  $U$ , siły elektromotorycznej źródła  $E$  oraz rezystancji zastępczej obwodu zewnętrznego. Dane obwodu:  $R_o = 2 \Omega$ ,  $R_1 = 3 \Omega$ ,  $R_2 = 14 \Omega$ ,  $R_3 = 30 \Omega$ ,  $R_4 = 25 \Omega$ ,  $R_5 = 50 \Omega$ ,  $R_w = 1 \Omega$ .



Rys. 1.36

### Rozwiązanie

Rezystory  $R_4$  i  $R_5$  są połączone równolegle, a napięcie na nich:

$$U_{45} = I_5 R_5 = 2 \cdot 50 = 100 \text{ V.}$$

Prąd w gałęzi 4:

$$I_4 = \frac{U_{45}}{R_4} = \frac{100}{25} = 4 \text{ A.}$$

Z pierwszego prawa Kirchhoffa prąd w gałęzi 3:

$$I_3 = I_4 + I_5 = 4 + 2 = 6 \text{ A.}$$

Z kolei obliczamy:

$$U_3 = I_3 R_3 = 6 \cdot 30 = 180 \text{ V,}$$

$$U_2 = U_3 + U_{45} = 180 + 100 = 280 \text{ V,}$$

$$I_2 = \frac{U_2}{R_2} = \frac{280}{14} = 20 \text{ A.}$$

Prąd źródła:

$$I = I_2 + I_3 = 20 + 6 = 26 \text{ A.}$$

Napięcia na rezystorach  $R_o$  i  $R_1$ :

$$U_o = I R_o = 26 \cdot 2 = 52 \text{ V,}$$

$$U_1 = I R_1 = 26 \cdot 3 = 78 \text{ V.}$$

Napięcie źródła:

$$U = U_o + U_2 + U_1 = 52 + 280 + 78 = 410 \text{ V.}$$

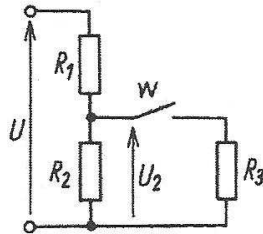
Siła elektromotoryczna źródła:

$$E = U + IR_w = 410 + 26 \cdot 1 = 436 \text{ V.}$$

Rezystancja zastępcza obwodu zewnętrznego:

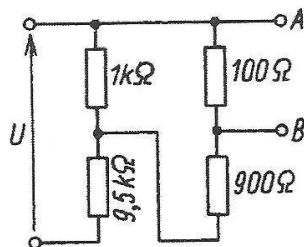
$$R_z = \frac{U}{I} = \frac{410}{26} = 15,77 \ \Omega.$$

- 1.120.** Do dzielnika napięcia składającego się z rezystorów  $R_1$  i  $R_2$  doprowadzono napięcie  $U = 200 \text{ V}$  (rys. 1.37). Oblicz wartość napięcia  $U_2$  na wyjściu dzielnika przy otwartym i zamkniętym wyłączniku  $w$ . Wartości rezystancji  $R_1 = 100 \ \Omega$ ,  $R_2 = R_3 = 300 \ \Omega$ .



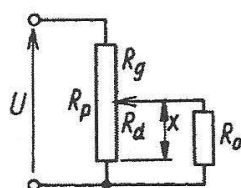
Rys. 1.37

- 1.121.** Oblicz wartość napięcia  $U$  doprowadzonego do zacisków obwodu przedstawionego na rysunku 1.38, jeżeli napięcie  $U_{AB} = 2 \text{ V}$ . Wartości rezystancji podano na rysunku.



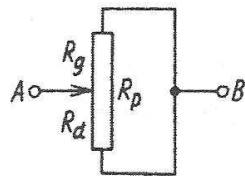
Rys. 1.38

- 1.122.** Odbiornik o rezystancji  $R_o = 40 \ \Omega$  jest zasilany za pośrednictwem potencjometru ( $R_p = 80 \ \Omega$ ), do którego końcówek doprowadzono napięcie  $U = 120 \text{ V}$  (rys. 1.39). Oblicz wartości prądu i napięcia odbiornika, jeżeli suwak potencjometru znajduje się w położeniu środkowym ( $R_g = R_d$ ).



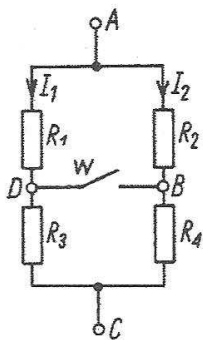
Rys. 1.39

- 1.123. Układ z zadania 1.122 (rys. 1.39) jest zasilany ze źródła o napięciu  $U = 200 \text{ V}$ . Rezystancja potencjometru  $R_p = 80 \ \Omega$ . Sporządź wykres zależności napięcia na odbiorniku w funkcji położenia suwaka potencjometru, gdy: a)  $R_o = 40 \ \Omega$ , b) jest przerwa w odbiorniku. ( $\frac{R_d}{x} = \text{const}$ , tzn. potencjometr jest liniowy.)
- 1.124. Odbiornik jest zasilany za pośrednictwem potencjometru (rys. 1.39). Rezystancja potencjometru  $R_p = 200 \ \Omega$ , napięcie zasilające  $U = 300 \text{ V}$ . Jaka jest wartość rezystancji odbiornika, jeżeli przy położeniu środkowym suwaka potencjometru napięcie na odbiorniku  $U_o = 120 \text{ V}$ ?
- 1.125. W jakim położeniu należy ustawić suwak potencjometru (oblicz wartość  $R_g$  i  $R_d$ ), aby wartość rezystancji  $R_{AB}$  (rys. 1.40) była równa  $24 \ \Omega$ ? Rezystancja potencjometru  $R_p = 100 \ \Omega$ .



Rys. 1.40

- 1.126. Potencjometr liniowy o rezystancji  $R_p$  i długości  $l$  jest połączony według rysunku 1.40. Wyznacz zależność matematyczną między rezystancją  $R_{AB}$  a współrzędną  $y$  położenia suwaka potencjometru  $R_{AB} = f(y)$ . Jaka to jest funkcja?
- 1.127. Do obwodu (rys. 1.41) doprowadzono napięcie  $U_{AC} = 6 \text{ V}$ . Dane obwodu:  $R_1 = 1 \ \Omega$ ,  $R_3 = 3 \ \Omega$ ,  $R_2 = R_4 = 6 \ \Omega$ . Oblicz wartość napięcia  $U_{BD}$  przy otwartym wyłączniku  $w$ .



Rys. 1.41

### Rozwiązanie

Najpierw obliczamy wartości prądów w gałęziach:

$$I_1 = \frac{U_{AC}}{R_1 + R_3} = \frac{6}{1 + 3} = \frac{6}{4} = 1,5 \text{ A},$$

$$I_2 = \frac{U_{AC}}{R_2 + R_4} = \frac{6}{6+6} = \frac{6}{12} = 0,5 \text{ A.}$$

Następnie obliczamy wartości napięć:

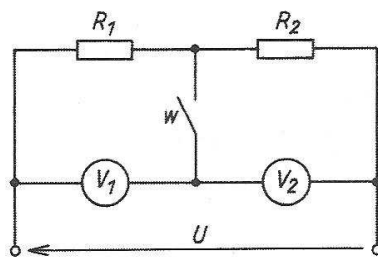
$$U_{AD} = I_1 R_1 = 1,5 \cdot 1 = 1,5 \text{ V,}$$

$$U_{AB} = I_2 R_2 = 0,5 \cdot 6 = 3 \text{ V.}$$

W celu obliczenia wartości napięcia  $U_{BD}$  można np. uziemić punkt  $D$ . Wówczas  $V_D = 0$ , a  $U_{BD} = V_B$ . Aby obliczyć potencjał  $V_B$ , należy posuwać się wzdłuż drogi  $DAB$ ; najpierw potencjał zwiększa się o wartość napięcia  $U_{AD}$ , a potem zmniejsza się o wartość napięcia  $U_{AB}$ , zatem:

$$U_{BD} = V_B = U_{AD} - U_{AB} = 1,5 - 3 = -1,5 \text{ V.}$$

- 1.128.** W obwodzie z zadania 1.127 (rys. 1.41), napięcie między biegunami otwartego wyłącznika wynosi 3 V. Oblicz wartość napięcia zasilającego  $U$ .
- 1.129.** Oblicz, czy większa będzie wartość prądu w obwodzie z zadania 1.127 (rys. 1.41) przy zamkniętym, czy przy otwartym wyłączniku  $w$ .
- 1.130.** Oblicz wartość prądu płynącego w gałęzi  $BD$  obwodu z rysunku 1.41 przy zamkniętym wyłączniku  $w$ . Dane obwodu:  $U = 36 \text{ V}$ ,  $R_1 = 2 \Omega$ ,  $R_2 = 3 \Omega$ ,  $R_3 = 6 \Omega$ ,  $R_4 = 4 \Omega$ .
- 1.131.** Po zamknięciu wyłącznika  $w$  w obwodzie z rysunku 1.41, płynący między punktami  $D$  i  $B$  prąd  $I_{DB} = 3 \text{ A}$ . Oblicz wartość napięcia zasilającego  $U$ , jeżeli  $R_1 = R_4 = 2 \Omega$ ,  $R_2 = R_3 = 8 \Omega$ .
- 1.132.** Mamy obwód jak na rysunku 1.42. Oblicz wskazania woltomierzy, gdy: a) wyłącznik  $w$  jest otwarty, b) wyłącznik  $w$  jest zamknięty. Dane obwodu:  $R_{V1} = 30 \text{ k}\Omega$ ,  $R_{V2} = 20 \text{ k}\Omega$ ,  $R_1 = 20 \text{ k}\Omega$ ,  $R_2 = 30 \text{ k}\Omega$ . Napięcie zasilające  $U = 15 \text{ V}$ .

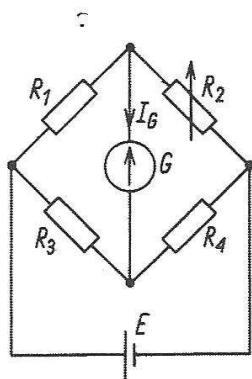


Rys. 1.42

- 1.133.** W obwodzie z rysunku 1.42 napięcie zasilające  $U = 30 \text{ V}$ . Oblicz wartości: a) napięcia na stykach otwartego wyłącznika  $w$ , b) prądu płynącego

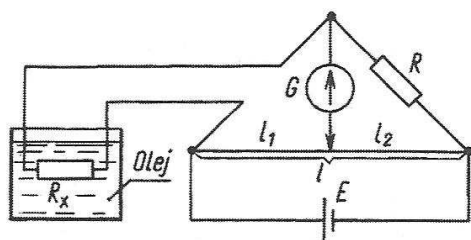
w gałęzi z wyłącznikiem  $w$  po jego zamknięciu. Wartości rezystancji, jak w zadaniu 1.132.

- 1.134.** Trzy spirale grzejnika są połączone w trójkąt, z którego wierzchołków wyprowadzono trzy przewody (rys. 1.23). Podczas pomiaru rezystancji między poszczególnymi przewodami, otrzymano następujące wyniki:  $R_{AB} = 16 \Omega$ ,  $R_{BC} = 25 \Omega$  i  $R_{CA} = 21 \Omega$ . Oblicz wartości rezystancji poszczególnych spirali grzejnika.
- 1.135.** Oblicz, jaka musi być wartość rezystancji  $R_1$ , aby mostek Wheatstone'a (rys. 1.43) był w równowadze ( $I_G = 0$ ). Rezystancje gałęzi mostka:  $R_2 = 175 \Omega$ ,  $R_3 = 100 \Omega$ ,  $R_4 = 20 \Omega$ .



Rys. 1.43

- 1.136.** Oblicz wartości prądów płynących w poszczególnych gałęziach mostka Wheatstone'a (z zadania 1.135) będącego w stanie równowagi ( $I_G = 0$ ), jeżeli siła elektromotoryczna  $E = 6 \text{ V}$ .
- 1.137.** Temperaturę oleju transformatorowego mierzono mostkiem Wheatstone'a z drutem ślizgowym (rys. 1.44). Elementy mostka były następujące: rezystor o stałej rezystancji  $R = 100 \Omega$ , rezystor miedziany



Rys. 1.44

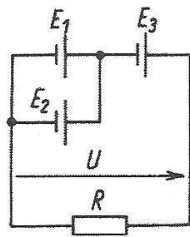
o zmiennej rezystancji  $R_x$ , drut ślizgowy o długości  $l = l_1 + l_2 = 100 \text{ mm}$ . Gdy temperatura oleju  $\vartheta = 20^\circ\text{C}$ , równowagę mostka uzyskano przy  $l_1 = l_2 = 50 \text{ mm}$ . Podczas pracy transformatora, równowagę mostka uzyskano przy  $l_1 = 52 \text{ mm}$ . Oblicz temperaturę oleju, jeżeli temperatura otoczenia  $\vartheta = 20^\circ\text{C}$ . Współczynnik temperaturowy rezystancji miedzi  $\alpha_{\text{Cu}} = 0,004 \frac{1}{^\circ\text{C}}$ .

## 1.8

# Rozwiązywanie obwodów rozgałęzionych metodą równań Kirchhoffa

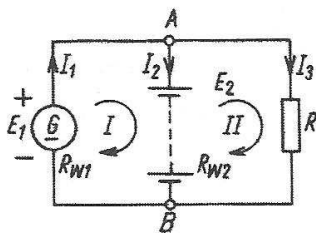
---

- 1.138. Dwa źródła połączone równolegle zasilają odbiornik. Stosunek prądów źródeł jest odwrotnie proporcjonalny do ich rezystancji wewnętrznych. Jaki jest stosunek sił elektromotorycznych źródeł?
- 1.139. Trzy źródła o siłach elektromotorycznych  $E_1 = E_2 = E_3 = 6,24 \text{ V}$  i rezystancjach wewnętrznych  $R_{w1} = 0,2 \text{ } \Omega$ ,  $R_{w2} = 0,3 \text{ } \Omega$ ,  $R_{w3} = 0,6 \text{ } \Omega$ , połączone równolegle, zasilają odbiornik o rezystancji  $R = 2,5 \text{ } \Omega$ . Oblicz wartości prądu płynącego przez odbiornik oraz prądów poszczególnych źródeł.
- 1.140. Oblicz wartość napięcia  $U$  oraz prądów  $I$ ,  $I_1$ ,  $I_2$  w obwodzie przedstawionym na rysunku 1.45, jeżeli siły elektromotoryczne:  $E_1 = E_2 = 6,3 \text{ V}$ ,  $E_3 = 6,2 \text{ V}$ , a rezystancje wewnętrzne:  $R_{w1} = 0,4 \text{ } \Omega$ ,  $R_{w2} = 0,6 \text{ } \Omega$ ,  $R_{w3} = 0,26 \text{ } \Omega$ ,  $R = 2 \text{ } \Omega$ .



Rys. 1.45

- 1.141. Sześć ogniw Leclanchégo ( $E_0 = 1,51 \text{ V}$ ,  $R_w = 3 \text{ } \Omega$ ) należy połączyć w baterię służącą do zasilania odbiornika o rezystancji  $R = 2 \text{ } \Omega$ . W jaki sposób należy połączyć ogniwa, żeby uzyskać największą wartość prądu płynącego przez odbiornik?
- 1.142. Prądnica samochodowa, której siła elektromotoryczna  $E_1 = 14 \text{ V}$  i rezystancja wewnętrzna  $R_{w1} = 0,2 \text{ } \Omega$ , ładuje akumulator o sile elektromotorycznej  $E_2 = 12 \text{ V}$  i rezystancji wewnętrznej  $R_{w2} = 0,1 \text{ } \Omega$  oraz zasila odbiorniki o rezystancji zastępczej  $R = 5 \text{ } \Omega$  (rys. 1.46). Oblicz wartość prądu prądnicy  $I_1$ , prądu ładowania akumulatora  $I_2$  oraz prądu odbiorników  $I_3$ .



Rys. 1.46

## Rozwiązanie

Po oznaczeniu (dowolnym) zwrotu prądów, dla węzła A piszemy równanie wg pierwszego prawa Kirchhoffa. Następnie dla dwóch oczek I i II piszemy równania według drugiego prawa Kirchhoffa:

$$I_1 = I_2 + I_3 \quad (1)$$

$$E_1 - E_2 = I_1 R_{w1} + I_2 R_{w2} \quad (2)$$

$$E_2 = I_3 R - I_2 R_{w2} \quad (3)$$

Po podstawieniu danych rozwiązujemy układ równań z trzema niewiadomymi:

$$I_1 = I_2 + I_3 \quad (1)$$

$$14 - 12 = 0,2I_1 + 0,1I_2 \quad (2)$$

$$12 = 5I_3 - 0,1I_2 \quad (3)$$

Z równania drugiego wyznaczamy  $I_1$ , a z trzeciego  $I_3$  i podstawiamy do równania pierwszego:

$$I_1 = \frac{2 - 0,1I_2}{0,2}; \quad I_3 = \frac{12 + 0,1I_2}{5};$$

$$\frac{2 - 0,1I_2}{0,2} = I_2 + \frac{12 + 0,1I_2}{5}$$

Po rozwiązaniu powyższego równania otrzymamy:

$$I_2 = 5 \text{ A.}$$

Z kolei obliczamy wartości prądów:

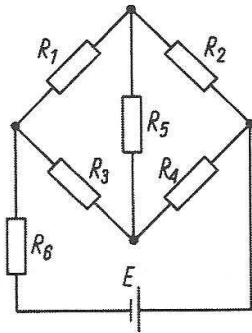
$$I_1 = \frac{2 - 0,1I_2}{0,2} = \frac{2 - 0,1 \cdot 5}{0,2} = \frac{1,5}{0,2} = 7,5 \text{ A,}$$

$$I_3 = \frac{12 + 0,1I_2}{5} = \frac{12 + 0,1 \cdot 5}{5} = \frac{12,5}{5} = 2,5 \text{ A.}$$

**1.143.** Oblicz, przy jakiej wartości rezystancji  $R$  w obwodzie z zadania 1.142 (pozostałe dane niezmiennione) akumulator nie będzie ładowany.

**1.144.** W obwodzie z zadania 1.142 zmieniono dane na następujące:  $E_1 = 8 \text{ V}$ ,  $E_2 = 6 \text{ V}$ ,  $R = 3,4 \text{ } \Omega$ ,  $I_1 = 3 \text{ A}$ ,  $I_3 = 2 \text{ A}$ . Oblicz wartości rezystancji wewnętrznych prądnicy i akumulatora.

- 1.145. Dla układu mostkowego (rys. 1.47) napisz równania Kirchhoffa oraz oblicz wartość prądu płynącego w gałęzi 5, jeżeli  $E = 16 \text{ V}$ ,  $R_1 = 6 \text{ } \Omega$ ,  $R_2 = 2 \text{ } \Omega$ ,  $R_3 = 2 \text{ } \Omega$ ,  $R_4 = 6 \text{ } \Omega$ ,  $R_5 = 2 \text{ } \Omega$ ,  $R_6 = 2 \text{ } \Omega$ .



Rys. 1.47

## 1.9

### Praca i moc prądu elektrycznego

- 1.146. Odbiornik o mocy  $P = 600 \text{ W}$  pracuje w czasie  $t = 18 \text{ h}$ . Oblicz wartość energii pobranej przez ten odbiornik.
- 1.147. Oblicz straty mocy w uzwojeniu prądnicy, jeżeli prąd prądnicy  $I = 20 \text{ A}$ , siła elektromotoryczna  $E = 236 \text{ V}$ , a napięcie na zaciskach  $U = 230 \text{ V}$ . Oblicz sprawność układu.
- 1.148. Rezystancja uzwojenia silnika elektrycznego  $R_m = 0,6 \text{ } \Omega$ , prąd silnika  $I = 30 \text{ A}$ . Oblicz straty mocy w silniku oraz straty energii w czasie  $8 \text{ h}$  pracy silnika.
- 1.149. Oblicz wartości rezystancji nagranych żarówek o mocy  $P_1 = 40 \text{ W}$ ,  $P_2 = 60 \text{ W}$ ,  $P_3 = 100 \text{ W}$  i napięciu znamionowym  $U_N = 230 \text{ V}^*$ .
- 1.150. Rezystor ma następujące parametry:  $R = 75 \text{ k}\Omega$ ,  $P_{\text{max}} = 2 \text{ W}$ . Oblicz, przy jakich maksymalnych wartościach prądu  $I_{\text{max}}$  i napięcia  $U_{\text{max}}$  nie nastąpi jeszcze uszkodzenie rezystora.
- 1.151. Akumulator samochodowy o pojemności  $45 \text{ Ah}$ , sile elektromotorycznej  $E = 12 \text{ V}$  i rezystancji wewnętrznej  $R_w = 0,02 \text{ } \Omega$  uległ zwarceniu. Oblicz wartość energii cieplnej, która spowoduje podgrzanie akumulatora przy całkowitym jego rozładowaniu. Czy energia ta zależy od rezystancji wewnętrznej akumulatora?

\* Patrz norma PN-88/E-02000.



- 1.152. Bateria akumulatorowa samochodu elektrycznego o napięciu  $U = 80 \text{ V}$  i pojemności  $Q = 200 \text{ Ah}$  jest ładowana w ciągu 10 h prądem  $I$  liczbowo równym 0,1 wartości pojemności akumulatora. Oblicz koszt energii pobranej podczas ładowania, jeżeli średnia wartość napięcia podczas ładowania  $U_z = 100 \text{ V}$ , a cena 1 kWh = 0,38 zł.
- 1.153. Ile kosztuje energia pobrana w ciągu 30 dni przez chłodziarkę sprężarkową o mocy  $P = 100 \text{ W}$ , jeżeli stosunek czasu pracy chłodziarki do czasu jej przestoju wynosi 1/4, a cena energii elektrycznej wynosi 0,38 zł/kWh?
- 1.154. Oblicz długość drutu oporowego chromonikielinowego o średnicy  $d = 0,5 \text{ mm}$ , potrzebnego do nawinięcia spirali kuchenki elektrycznej o poborze mocy  $P = 1000 \text{ W}$  przy napięciu  $U = 230 \text{ V}$ . Rezystywność  $\rho = 1,08 \cdot 10^{-6} \Omega \cdot \text{m}$ .
- 1.155. Amperomierz i woltomierz, wmontowane na tablicy rozdzielczej, wskazują odpowiednio prąd  $I = 50 \text{ A}$  i napięcie  $U = 200 \text{ V}$ . Oblicz wartość mocy pobieranej przez te przyrządy, jeżeli rezystancja wewnętrzna amperomierza  $R_a = 0,003 \Omega$  i woltomierza  $R_v = 5 \text{ k}\Omega$ .
- 1.156. Podczas naprawy grzejnika elektrycznego o mocy  $P = 600 \text{ W}$  skrócono drut spirali o 2%. Oblicz wartość mocy pobieranej przez naprawiony grzejnik ( $U = \text{const}$ ). O ile procent wzrośnie moc grzejnika?
- 1.157. Do odbiornika o mocy  $P = 20 \text{ kW}$  jest doprowadzana energia elektryczna za pomocą linii przesyłowej o rezystancji  $R_1 = 0,2 \Omega$ . Oblicz straty mocy w linii oraz sprawność przesyłu energii, gdy napięcie wynosi: 100 V, 200 V i 400 V.
- 1.158. Źródło o sile elektromotorycznej  $E = 245 \text{ V}$  i rezystancji wewnętrznej  $R_w = 5 \Omega$  zasila odbiornik. Oblicz wartości prądu i mocy odbiornika, mocy źródła, straty mocy w źródle oraz jego sprawność, jeżeli napięcie na zaciskach źródła  $U = 200 \text{ V}$ . Przedstaw na wykresie bilans mocy.

### Rozwiązanie

Prąd w obwodzie:

$$I = \frac{E - U}{R_w} = \frac{245 - 200}{5} = 9 \text{ A.}$$

Moc odbiornika:

$$P_o = UI = 200 \cdot 9 = 1800 \text{ W.}$$

Moc źródła:

$$P_z = EI = 245 \cdot 9 = 2205 \text{ W.}$$

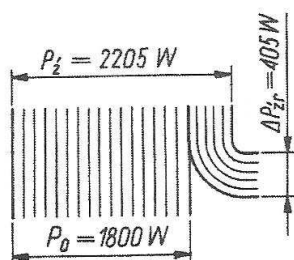
Straty mocy w źródle:

$$\Delta P_z = I^2 R_w = 9^2 \cdot 5 = 405 \text{ W.}$$

Sprawność źródła w %:

$$\eta = \frac{P_o}{P_z} 100\% = \frac{1800}{2205} 100\% = 81,6\%.$$

Na podstawie powyższych danych rysujemy bilans mocy (rys. 1.48).



Rys. 1.48

- 1.159.** Źródło napięcia o rezystancji wewnętrznej  $R_w = 2 \Omega$  zasila odbiornik o rezystancji  $R = 40 \Omega$ . Rezystancja przewodów linii łączącej źródło z odbiornikiem  $R_1 = 3 \Omega$ . Napięcie na odbiorniku  $U = 220 \text{ V}$ . Oblicz wartości siły elektromotorycznej  $E$ , napięcia źródła  $U_z$ , mocy odbiornika  $P_o$  i źródła  $P_z$  oraz straty mocy w źródle i przewodach linii. Przedstaw na wykresie bilans mocy.
- 1.160.** Moc grzejnika przy napięciu  $U = 110 \text{ V}$  wynosi  $40 \text{ W}$ . Jaką moc będzie pobierał grzejnik po przyłączeniu go do źródła o napięciu dwukrotnie większym?
- 1.161.** Dwie żarówki o napięciu znamionowym  $U_N = 230 \text{ V}$ , mocy  $P_1 = 40 \text{ W}$  i  $P_2 = 100 \text{ W}$ , połączone szeregowo, włączono do sieci o napięciu  $U = 230 \text{ V}$ . Która żarówka będzie świeciła jaśniej?
- 1.162.** Jaką wartość rezystancji powinien mieć rezystor połączony szeregowo z grzejnikiem z zadania 1.160, aby po doprowadzeniu do powstałego układu napięcia  $U = 110 \text{ V}$ , wartość mocy grzejnika zmniejszyła się do  $20 \text{ W}$ ?
- 1.163.** Obwód złożony z trzech rezystorów połączonych według rysunku 1.21 jest zasilany ze źródła o napięciu regulowanym. Przy jakiej wartości napięcia zasilającego będzie przekroczona dopuszczalna wartość mocy „najsłabszego” rezystora? Dane rezystorów:  $R_1 = 2 \text{ k}\Omega$  ( $1 \text{ W}$ ),  $R_2 = 8 \text{ k}\Omega$  ( $1 \text{ W}$ ),  $R_3 = 1 \text{ k}\Omega$  ( $2 \text{ W}$ ).

## Przemiana energii elektrycznej w ciepło

- 1.164. Wiedząc, że  $1 \text{ J} = 0,239 \text{ cal}$ , oblicz ile kalorii energii cieplnej otrzymuje się z  $1 \text{ kWh}$  energii elektrycznej.
- 1.165. Prąd przepływający przez grzejnik lutownicy elektrycznej  $I = 0,2 \text{ A}$ , a rezystancja grzejnika  $R = 1,1 \text{ k}\Omega$ . Oblicz ilość energii cieplnej wydzielonej w grzejniku w ciągu  $1 \text{ h}$ .
- 1.166. Jaka powinna być długość drutu oporowego grzejnika pieca elektrycznego wykonanego z chromonikieliny o przekroju  $S = 0,5 \text{ mm}^2$ , aby piec ten wytwarzał ciepło  $Q_c = 360\,000 \text{ J}$  w czasie  $t = 5 \text{ min}$ ? Napięcie zasilające  $U = 230 \text{ V}$ . Konduktywności materiałów podano w tablicy 4.
- 1.167. Ile wody o temperaturze  $10^\circ\text{C}$  można zagotować, zużywając  $3 \text{ kWh}$  energii elektrycznej? Sprawność  $\eta = 1$ . Ciepło właściwe wody  $c_w = 4180 \text{ J}/(\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}) = 1 \text{ kcal}/(\text{kg} \cdot ^\circ\text{C})$ .
- 1.168. Prąd przepływający przez grzejnik włączony do źródła o napięciu  $U = 230 \text{ V}$  ma wartość  $3 \text{ A}$ . Oblicz sprawność grzejnika, jeżeli do podgrzania  $1,5 \text{ l}$  wody od  $20$  do  $60^\circ\text{C}$  potrzeba  $12 \text{ min}$ . Ciepło właściwe wody  $c_w = 4180 \text{ J}/(\text{kg} \cdot ^\circ\text{C})$ .
- 1.169. Jaka musi być wartość mocy grzałki nurkowej mogącej w ciągu  $5 \text{ min}$  zagotować  $0,4 \text{ l}$  wody o temperaturze  $10^\circ\text{C}$ ? Sprawność grzałki  $\eta = 0,8$ . Ciepło właściwe wody  $c_w = 4180 \text{ J}/(\text{kg} \cdot ^\circ\text{C})$ .
- 1.170. Imbryk elektryczny zagotuje  $0,8 \text{ l}$  wody o temperaturze początkowej  $16^\circ\text{C}$  w ciągu  $10 \text{ min}$ . Sprawność imbryka  $\eta = 75\%$ . Oblicz wartości: mocy, rezystancji i prądu grzejnika oraz energii elektrycznej zużytej do zagotowania  $0,8 \text{ l}$  wody, jeżeli  $U = 230 \text{ V}$ . Ciepło właściwe wody  $c_w = 4180 \text{ J}/(\text{kg} \cdot ^\circ\text{C})$ .

### Rozwiązanie

Energia potrzebna do zagotowania  $0,8 \text{ l}$  wody:

$$W_u = Q_u = c_w m (\vartheta_2 - \vartheta_1) = 4180 \cdot 0,8 (100 - 16) = 280\,896 \text{ J.}$$

Energia pobrana ze źródła:

$$W = \frac{W_u}{\eta} = \frac{280\,896}{0,75} = 374\,528 \text{ J.}$$

Moc grzejnika:

$$P = \frac{W}{t} = \frac{374\,528}{10 \cdot 60} \approx 624 \text{ W.}$$

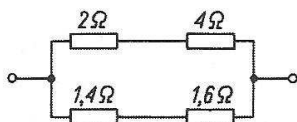
Prąd grzejnika:

$$I = \frac{P}{U} = \frac{624}{230} \approx 2,71 \text{ A.}$$

Rezystancja grzejnika:

$$R = \frac{U}{I} = \frac{230}{2,71} \approx 84,9 \, \Omega.$$

- 1.171. W którym z czterech rezystorów połączonych jak na rysunku 1.49 wydzieli się w określonym czasie największa ilość energii cieplnej po doprowadzeniu napięcia do układu?

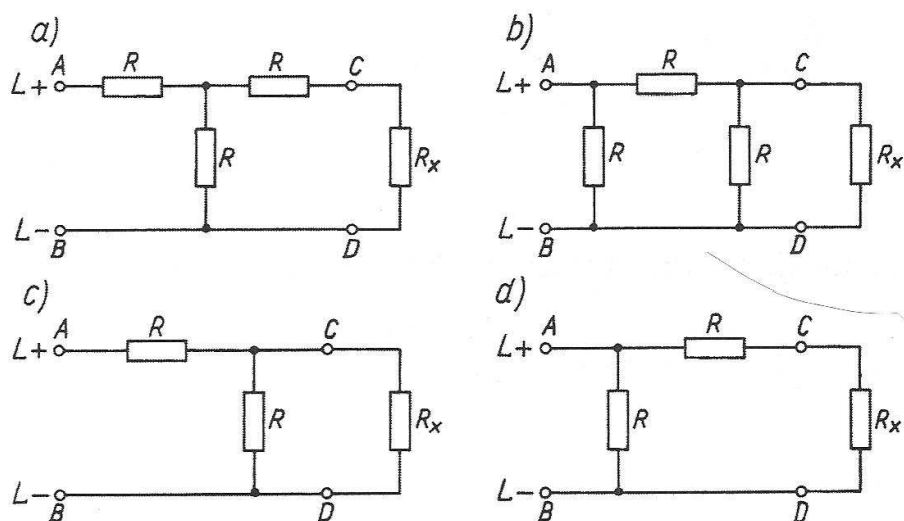


Rys. 1.49

- 1.172. Oblicz wartość mocy grzałki suszarki elektrycznej, która w ciągu 1 min ogrzałaby 300 l powietrza od 20 do 70°C. Gęstość powietrza  $\delta = 1,29 \text{ kg/m}^3$ , a ciepło właściwe powietrza  $c_w = 1004 \text{ J/(kg} \cdot \text{°C)}$ .
- 1.173. Komora suszarki przemysłowej ma wymiary  $2 \times 2 \times 4 \text{ m}$ . Po 15 min pracy, nagrzane do temperatury  $\vartheta_2 = 60^\circ\text{C}$  powietrze zastępuje się świeżym o temperaturze  $\vartheta_1 = 10^\circ\text{C}$ . Oblicz koszt energii elektrycznej pobranej do ogrzewania powietrza w ciągu 8 h, jeżeli ciepło właściwe powietrza  $c_w = 1004 \text{ J/(kg} \cdot \text{°C)}$ , a gęstość powietrza  $\delta = 1,29 \text{ kg/m}^3$ . Cena energii elektrycznej wynosi 0,38 zł/kWh. Sprawność  $\eta = 1$ .
- 1.174. Urządzenie do grzania wody ma dwa grzejniki. Po włączeniu pierwszego grzejnika woda zaczyna wrzeć po 15 min, po włączeniu drugiego – po 30 min. Ile czasu potrzeba do zagotowania wody, gdy są włączone oba grzejniki: a) przy połączeniu szeregowym uzwojeń, b) przy połączeniu równoległym? Napięcie  $U = \text{const}$ .

## 1.11 Zadania różne

- 1.175.** Oblicz spadek napięcia w przewodzie miedzianym o długości  $l = 500$  m i średnicy  $d = 2$  mm, jeżeli prąd płynący w przewodzie  $I = 2$  A. Konduktywność miedzi  $\gamma_{\text{Cu}} = 55 \cdot 10^6$  S/m.
- 1.176.** Grzejnik kuchenki elektrycznej składa się z dwóch spiral o rezystancjach  $R_1 = 40 \Omega$  i  $R_2 = 60 \Omega$ . Oblicz wartość mocy kuchenki przy czterech możliwych sposobach połączenia spirali (połączenie szeregowe, włączona tylko druga spirala, włączona tylko pierwsza, połączenie równoległe spirali). Napięcie zasilające  $U = 230$  V.
- 1.177.** Mamy izolator w kształcie walca o wymiarach:  $r = 10$  mm,  $h = 30$  mm. Rezystywność materiału  $\rho = 200\,000 \Omega \cdot \text{m}$ . Obie podstawy izolatora są pokryte materiałem przewodzącym. Rezystancja powstałego układu po zawilgoceniu powierzchni bocznej wynosi  $5 \text{ M}\Omega$ . Wyznacz wartość rezystywności powierzchniowej.
- 1.178.** Podczas pomiaru mocy za pomocą amperomierza i woltomierza w układzie z rysunku 1.5a i b uzyskano następujące wyniki:  $U_a = 100,5$  V,  $I_a = 0,5$  A,  $U_b = 100$  V,  $I_b = 0,505$  A. Oblicz wartość przybliżoną oraz rzeczywistą mocy (po uwzględnieniu błędów metody) w układzie  $a$  i  $b$ . Rezystancje mierników:  $R_a = 1 \Omega$ ,  $R_v = 20 \text{ k}\Omega$ .
- 1.179.** Dwa połączone szeregowo źródła o siłach elektromotorycznych  $E_1$  i  $E_2$ , gdzie  $E_1 > E_2$ , zasilają odbiornik. Oblicz stosunek  $E_1$  do  $E_2$ , wiedząc że po zmianie biegunowości siły elektromotorycznej  $E_2$  wartość prądu płynącego w obwodzie zmniejszy się dwukrotnie.
- 1.180.** Na rysunku 1.50 przedstawiono cztery obwody:  $a$ ,  $b$ ,  $c$ ,  $d$ . Jaka wartość rezystancji musi mieć rezystor  $R_x$  dołączony do punktów  $C$ ,  $D$  każdego



Rys. 1.50

z tych obwodów, aby rezystancja „widziana” z punktów  $A, B$  była jej równa. Dana jest rezystancja  $R$ .

- 1.181.** Dwa źródła napięcia połączono równolegle (rys. 1.51a). Dane źródeł:  $E_1 = 12 \text{ V}$ ,  $R_{w1} = 2 \Omega$ ,  $E_2 = 15 \text{ V}$ ,  $R_{w2} = 3 \Omega$ . Oblicz wartość siły elektromotorycznej  $E$  i rezystancji wewnętrznej  $R_w$  równoważnego źródła napięcia, korzystając z zamiany źródeł napięcia na źródła prądu i odwrotnie.

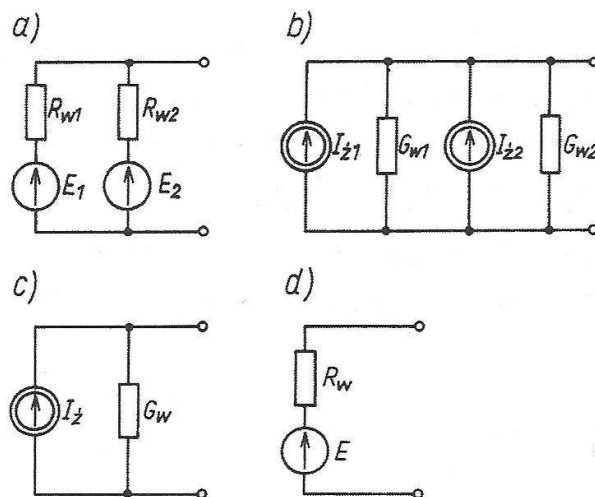
### Rozwiązanie

Na wstępie zamieniamy źródła napięcia (rys. 1.51a) na równoważne źródła prądu (rys. 1.51b).

Prądy źródłowe (rys. 1.51b):

$$I_{z1} = \frac{E_1}{R_{w1}} = \frac{12}{2} = 6 \text{ A},$$

$$I_{z2} = \frac{E_2}{R_{w2}} = \frac{15}{3} = 5 \text{ A}.$$



Rys. 1.51

Konduktancje wewnętrzne źródeł prądu (rys. 1.51b):

$$G_{w1} = \frac{1}{R_{w1}} = \frac{1}{2} = 0,5 \text{ S},$$

$$G_{w2} = \frac{1}{R_{w2}} = \frac{1}{3} = 0,333 \text{ S}.$$

Prądy źródłowe źródeł prądu połączonych równolegle dodajemy, konduktancje wewnętrzne źródeł również. Zatem:

$$I_z = I_{z1} + I_{z2} = 6 + 5 = 11 \text{ A},$$

$$G_w = G_{w1} + G_{w2} = \frac{1}{2} + \frac{1}{3} = \frac{5}{6} \text{ S}.$$

Dwa źródła prądu zastępujemy jednym (rys. 1.51c) o wartości prądu źródłowego  $I_z = 11 \text{ A}$  i konduktancji wewnętrznej  $G_w = \frac{5}{6} \text{ S}$ .

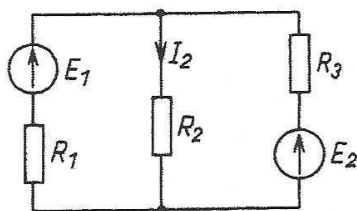
Z kolei źródło prądu zamieniamy na równoważne źródło napięcia (rys. 1.51d), którego rezystancja wewnętrzna:

$$R_w = \frac{1}{G_w} = \frac{6}{5} = 1,2 \text{ } \Omega,$$

a siła elektromotoryczna:

$$E = \frac{I_z}{G_w} = 11 \cdot \frac{6}{5} = 13,2 \text{ V}.$$

- 1.182.** Oblicz wartość prądu  $I_2$  płynącego w gałęzi środkowej obwodu przedstawionego na rysunku 1.52, korzystając z zamiany źródeł napięcia na źródła prądu. Dane są siły elektromotoryczne:  $E_1 = 12 \text{ V}$ ,  $E_2 = 6 \text{ V}$  i rezystancje:  $R_1 = 6 \text{ } \Omega$ ,  $R_2 = 12 \text{ } \Omega$ ,  $R_3 = 4 \text{ } \Omega$ .

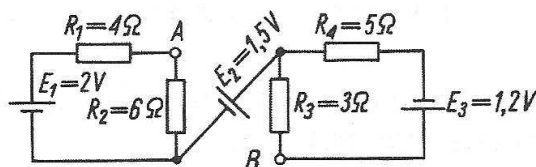


Rys. 1.52

- 1.183.** Oblicz wartość prądu  $I_z$  i konduktancji wewnętrznej  $G_w$  źródła prądu równoważnego źródła napięcia o sile elektromotorycznej  $E = 12 \text{ V}$  i rezystancji wewnętrznej  $R_w = 4 \text{ } \Omega$ . Wymienione wyżej źródło zasila odbiornik o rezystancji  $R = 2 \text{ } \Omega$ . Oblicz wartość mocy pobieranej przez odbiornik oraz sprawność: a) źródła napięcia, b) źródła prądu.
- 1.184.** Temperatura cewki nawiniętej drutem miedzianym, przy jej pracy znamionowej, wynosi  $30^\circ\text{C}$ . Oblicz temperaturę tej cewki, gdy napięcie

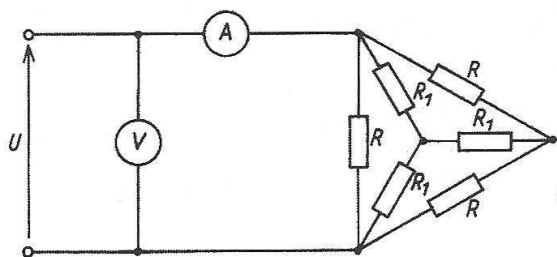
zasilające  $U = 1,1U_N$ , jeżeli wiadomo, że wartość prądu jest wówczas taka sama jak przy napięciu znamionowym. Współczynnik temperaturowy rezystancji miedzi  $\alpha_{Cu} = 0,004 \frac{1}{^\circ C}$ .

- 1.185. Jaka jest różnica potencjałów między punktami A i B układu przedstawionego na rysunku 1.53? Rezystancje wewnętrzne źródeł pominiń; pozostałe dane podano na rysunku 1.53.



Rys. 1.53

- 1.186. Źródło o rezystancji wewnętrznej  $R_w$  zasila odbiornik o rezystancji  $R$ . Oblicz stosunek rezystancji  $\frac{R_w}{R}$ , jeżeli wiadomo, że przy 2,25-krotnym zwiększeniu wartości rezystancji odbiornika moc odbiornika się nie zmienia.
- 1.187. Trzy rezystory o jednakowej rezystancji  $R = 24 \Omega$  połączono w trójkąt. Oblicz wartości rezystancji równoważnego układu gwiazdy.
- 1.188. Amperomierz dołączony do obwodu przedstawionego na rysunku 1.54 wskazuje prąd  $I = 15 \text{ A}$ . Rezystancja wewnętrzna amperomierza  $R_a \approx 0$ . Wartości rezystancji:  $R = 12 \Omega$ ,  $R_1 = 4 \Omega$ . Oblicz wskazanie woltomierza.



Rys. 1.54

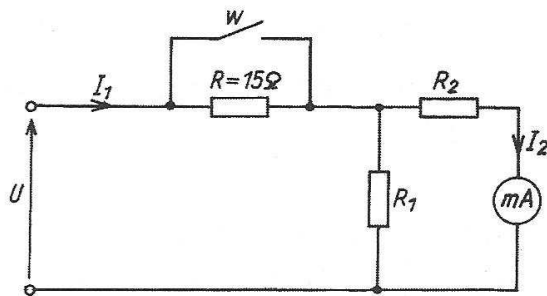
- 1.189. Źródło o sile elektromotorycznej  $E = 12 \text{ V}$  i rezystancji wewnętrznej  $R_w = 2 \Omega$  zasila odbiornik o rezystancji nastawnej  $R$ . Wykreśl zależność  $P = f(R)$  oraz  $P = f(I)$  i z wykresu wyznacz wartość rezystancji odbiornika, przy której moc odbiornika ma największą wartość.
- 1.190. Odbiornik o rezystancji nastawnej  $R$  jest zasilany ze źródła o sile elektromotorycznej  $E$  i rezystancji wewnętrznej  $R_w$ . Moc maksymalną



pobieraną przez odbiornik  $P_{\max} = 9 \text{ W}$  uzyskuje się, gdy prąd  $I = 3 \text{ A}$ . Oblicz wartość siły elektromotorycznej  $E$  i rezystancji wewnętrznej  $R_w$  źródła.

**1.191.** Oblicz wartość siły elektromotorycznej i rezystancji wewnętrznej źródła, wiedząc że moc odbiornika zasilanego z tego źródła jest równa  $8 \text{ W}$  przy dwóch różnych wartościach rezystancji odbiornika  $R' = 2 \Omega$  i  $R'' = 0,5 \Omega$ .

**1.192.** W obwodzie przedstawionym na rysunku 1.55 po zamknięciu wyłącznika w przepływa prąd  $I_1$  o wartości  $10 \text{ A}$ . Napięcie zasilające  $U = 100 \text{ V}$ . Ile razy zmniejszy się wskazanie miliamperomierza po otwarciu wyłącznika w?



Rys. 1.55

**1.193.** W obwodzie przedstawionym na rysunku 1.55 po zamknięciu wyłącznika w wartość prądu  $I_1$  przepływającego w obwodzie przedstawionym na rysunku 1.55 wynosi  $10 \text{ A}$ , a miliamperomierz wskazuje prąd  $I_2 = 200 \text{ mA}$ . Jakie będzie wskazanie miliamperomierza po otwarciu wyłącznika w, jeżeli napięcie zasilające  $U = 50 \text{ V}$ ? Oblicz wartości rezystancji  $R_1$  i  $R_2$ , wiedząc że rezystancja wewnętrzna miliamperomierza  $R_a = 0,5 \Omega$ .

**1.194.** Odbiornik jest zasilany z odległego o  $l = 0,4 \text{ km}$  źródła za pomocą miedzianej linii napowietrznej. Napięcie źródła  $U = 400 \text{ V}$ , moc pobierana ze źródła  $P = 10 \text{ kW}$ . Oblicz, jaki musi być przekrój linii zasilającej, by straty mocy w linii nie przekroczyły  $1\%$  mocy pobieranej ze źródła. Konduktywność miedzi  $\gamma_{\text{Cu}} = 55 \cdot 10^6 \text{ S/m}$ .

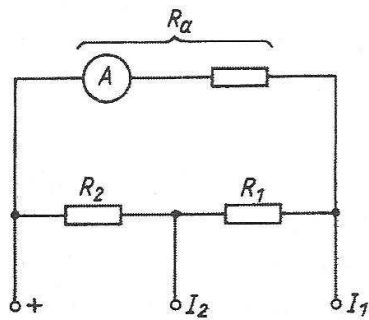
**1.195.** Piec elektryczny połączono z siecią o napięciu  $U = 240 \text{ V}$  przewodami o rezystancji  $R_p = 1 \Omega$ . Oblicz wartość rezystancji pieca, jeżeli jego moc  $P = 4,4 \text{ kW}$ .

\* **1.196.** Dwie połączone równolegle prądnice, o siłach elektromotorycznych  $E_1 = 229 \text{ V}$ ,  $E_2 = 232 \text{ V}$  oraz rezystancjach wewnętrznych  $R_{w1} = 0,03 \Omega$ ,

\* Zadania trudne.

$R_{w2} = 0,06 \Omega$ , zasilają odbiornik. Moc pobierana przez odbiornik  $P = 110 \text{ kW}$ . Oblicz wartości: mocy oddawanej przez poszczególne prądnice i napięcie na zaciskach odbiornika.

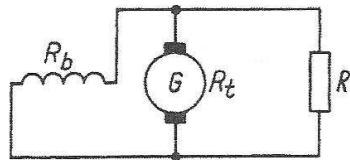
- 1.197.** Jak zmieniają się wartości (zwiększą się czy zmniejszą) prądów przepływających przez rezystory  $R_1$ ,  $R_2$  i  $R_3$  oraz napięć na tych rezystorach po zwiększeniu wartości rezystancji  $R_1$  w obwodzie z rysunku 1.21? ( $U = \text{const}$ ,  $R_2 = \text{const}$ ,  $R_3 = \text{const}$ )
- 1.198.** Mamy amperomierz z bocznikiem. Zakres amperomierza  $I_a = 0,5 \text{ A}$ , rezystancja bocznika  $R_b = 0,1 \Omega$ , rezystancja cewki  $R_c = 0,4 \Omega$ . Cewkę miernika wykonano z miedzi (współczynnik temperaturowy rezystancji miedzi  $\alpha_{Cu} = 0,004 \frac{1}{^\circ\text{C}}$ ), a bocznik z manganinu ( $\alpha \approx 0$ ). W temperaturze  $20^\circ\text{C}$  amperomierz wskazuje bezbłędnie. Oblicz błąd względny amperomierza w temperaturze  $30^\circ\text{C}$ .
- 1.199.** Amperomierz (rys. 1.56) ma dwa zakresy:  $I_1 = 0,15 \text{ A}$ ,  $I_2 = 0,6 \text{ A}$ . Rezystancje bocznika:  $R_1 = 6 \Omega$ ,  $R_2 = 2 \Omega$ . Rezystancja ustroju pomiarowego wraz z rezystorem „temperaturowym”  $R_a = 8 \Omega$ . Oblicz błąd względny wskazań amperomierza na obu zakresach, gdy zwiększymy wartość rezystancji  $R_1$  od 6 do  $6,5 \Omega$ .



Rys. 1.56

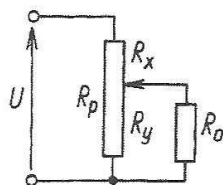
- 1.200.** Mamy obwód z rysunku 1.21. Moc wydzielana w rezystorze  $R_1 = 100 \Omega$  wynosi  $16 \text{ W}$ . Napięcie na rezystorze  $R_3 = 20 \Omega$  wynosi  $40 \text{ V}$ . Oblicz wartość rezystancji  $R_2$  i siły elektromotorycznej źródła zasilającego obwód, jeżeli sprawność źródła  $\eta = 80\%$ .
- 1.201.** Rezystor nastawny włączono do źródła napięcia stałego. Przy pewnym położeniu suwaka, napięcie  $U = 8 \text{ V}$ , prąd  $I = 2 \text{ A}$ . Przy innym położeniu suwaka, napięcie  $U = 6 \text{ V}$ , prąd  $I = 4 \text{ A}$ . Oblicz wartość siły elektromotorycznej  $E$  i rezystancji wewnętrznej  $R_w$  źródła.

- 1.202. Prądnicą bocznikową prądu stałego (rys. 1.57) o sile elektromotorycznej  $E = 294 \text{ V}$ , rezystancji uzwojenia twornika  $R_t = 0,5 \Omega$  i rezystancji uzwojenia wzbudzenia  $R_b = 120 \Omega$  zasilana odbiornik o rezystancji  $R = 30 \Omega$ . Oblicz wartości: prądu przepływającego przez odbiornik, prądu wzbudzenia i napięcia na zaciskach prądnicy.

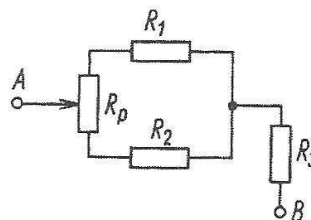


Rys. 1.57

- 1.203. Prądnicą bocznikową o sile elektromotorycznej  $E = 130,5 \text{ V}$ , rezystancji twornika  $R_t = 0,4 \Omega$  i rezystancji uzwojenia wzbudzenia  $R_b = 100 \Omega$  zasilana odbiornik. Prąd przepływający przez odbiornik  $I = 25 \text{ A}$ . Oblicz wartość napięcia prądnicy oraz jej prądu wzbudzenia.
- 1.204. Do dwóch cewek połączonych równolegle doprowadzono napięcie  $U = 210 \text{ V}$ . Prąd sumaryczny przepływający przez cewki  $I = 25 \text{ A}$ , a moc pobierana przez jedną z nich  $P_1 = 3,15 \text{ kW}$ . Oblicz wartości rezystancji cewek.
- 1.205. Szeregowo z rezystorem o rezystancji  $R$  połączono układ złożony z dwóch rezystorów połączonych równolegle ( $R_1 = 12 \Omega$ ,  $R_2 = 6 \Omega$ ). Cały układ pobiera moc  $P = 96 \text{ W}$ , a napięcie źródła  $U = 24 \text{ V}$ . Oblicz wartość rezystancji  $R$ .
- 1.206. Dobierz tak wartości rezystancji  $R_x$  i  $R_y$  potencjometru w układzie (rys. 1.58), aby napięcie na odbiorniku było równe  $50 \text{ V}$ . Napięcie zasilające  $U = 100 \text{ V}$ , rezystancja potencjometru  $R_p = 200 \Omega$ , rezystancja odbiornika  $R_o = 240 \Omega$ .



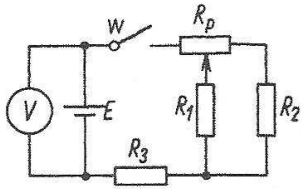
Rys. 1.58



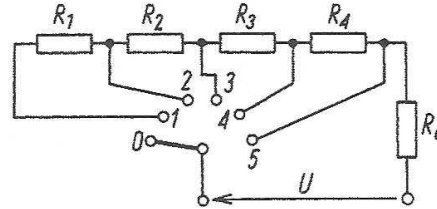
Rys. 1.59

- 1.207. W jakim położeniu należy ustawić suwak potencjometru włączonego w obwód (rys. 1.59), aby wartość rezystancji zastępczej obwodu  $R_{AB}$  była równa  $50 \Omega$ ? Dane obwodu:  $R_1 = 15 \Omega$ ,  $R_2 = 10 \Omega$ ,  $R_3 = 35 \Omega$ ,  $R_p = 35 \Omega$ .

- 1.208. Wskazanie woltomierza dołączonego do obwodu z rysunku 1.60 wynosi:  
 a) 81 V – przy otwartym wyłączniku  $w$ , b) 80 V – przy zamkniętym wyłączniku  $w$ . Rezystancja wewnętrzna źródła  $R_w = 2 \Omega$ . Wyznacz położenie suwaka potencjometru, jeżeli rezystancje:  $R_1 = 30 \Omega$ ,  $R_2 = 40 \Omega$ ,  $R_3 = 60 \Omega$  i  $R_p = 100 \Omega$ .



Rys. 1.60

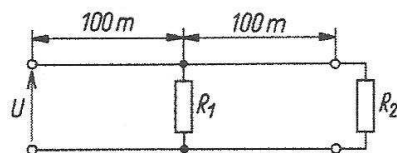


Rys. 1.61

- 1.209. W celu regulacji mocy odbiornika o rezystancji  $R_o = 20 \Omega$  przyłączono do niego szeregowo rezystor stopniowy z przełącznikiem (rys. 1.61). Oblicz wartości rezystancji  $R_1$ ,  $R_2$ ,  $R_3$  i  $R_4$  stopni rezystora, jeżeli w poszczególnych położeniach przełącznika od 1 do 5 moc odbiornika ma wynosić odpowiednio:  $0,2P$ ;  $0,4P$ ;  $0,6P$ ;  $0,8P$ ;  $P$ .

**Wskazówka:** dla ułatwienia przyjmij napięcie  $U = 100 \text{ V}$ .

- 1.210. Grupa odbiorników o mocy  $P = 2,3 \text{ kW}$  i napięciu  $U = 230 \text{ V}$  ma być zasilana ze źródła za pomocą linii dwuprzewodowej o długości  $l = 40 \text{ m}$ . Dobierz przekrój przewodów aluminiowych tak, aby spadek napięcia w linii nie przekroczył 2%. Znormalizowane przekroje przewodów są następujące:  $1, 5 \text{ mm}^2$ ,  $2,5 \text{ mm}^2$ ,  $4 \text{ mm}^2$ ,  $6 \text{ mm}^2$ ,  $10 \text{ mm}^2$ . Konduktywność aluminium  $\gamma_{\text{Al}} = 35 \cdot 10^6 \text{ S/m}$ . Po dobraniu przekroju przewodów, oblicz spadek napięcia w linii – w woltach i procentach.
- 1.211. Dwa odbiorniki o mocy  $P_1 = 10 \text{ kW}$  i  $P_2 = 5 \text{ kW}$  połączono ze źródłem o napięciu  $U = 400 \text{ V}$  dwuprzewodową linią aluminiową. Odległości między

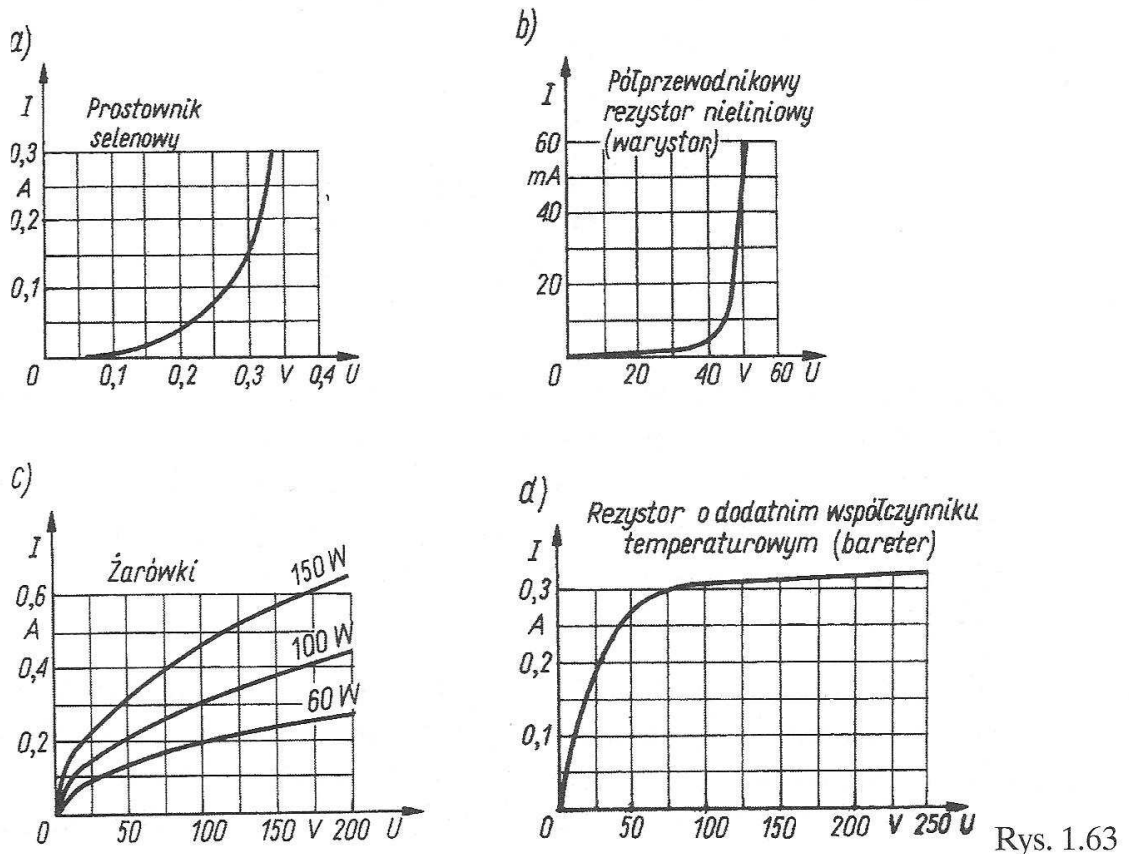


Rys. 1.62

źródłem i odbiornikami podano na rysunku 1.62. Linia na całej długości ma ten sam przekrój. Oblicz przekrój przewodów aluminiowych (konduktywność aluminium  $\gamma_{\text{Al}} = 35 \cdot 10^6 \text{ S/m}$ ), jeżeli procentowy spadek napięcia wzdłuż całej linii nie może przekroczyć 2%.

**Wskazówka:** przyjmij, że napięcie  $U_o \approx U$ .

1.212. Korzystając z wykresów  $I = f(U)$  na rysunkach 1.63a, b, c, wykreśl charakterystyki  $R = f(U)$  półprzewodnikowego rezystora nieliniowego (warystora), żarówki 100 W o włóknie wolframowym i prostownika selenowego (dla kierunku przepustowego).



Rys. 1.63

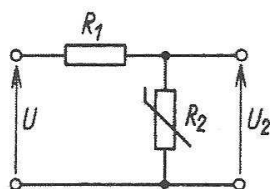
1.213. Do obwodu szeregowego, złożonego z rezystora liniowego o rezystancji  $R = 150 \Omega$  i żarówki o mocy  $P = 150 \text{ W}$ , której charakterystykę prądowo-napięciową pokazano na rysunku 1.63c, doprowadzono napięcie  $U = 300 \text{ V}$ . Wyznacz prąd płynący w obwodzie oraz napięcia na żarówce i rezystorze  $R$ , stosując metodę wykreślną. Jaka powinna być wartość rezystancji  $R$ , aby napięcie na żarówce miało wartość równą  $200 \text{ V}$ ?

### Rozwiązanie

Na wstępie rysujemy na jednym wykresie (rys. 1.64) dwie charakterystyki prądowo-napięciowe: żarówki o mocy  $P = 150 \text{ W}$  (krzywa 1) i rezystora liniowego  $R$  (prosta 2). Rezystor liniowy  $R$  i żarówka są połączone szeregowo, wobec tego w celu wykreślenia charakterystyki prądowo-napięciowej całego obwodu należy dla danych wartości prądu dodać odcięte odpowiadające napięciu na żarówce i rezystorze  $R$ . Otrzymamy w ten sposób krzywą 3, która jest zależnością  $I = f(U)$  dla całego

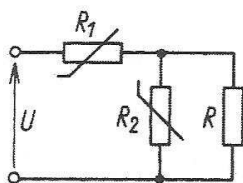


- 1.214.** W celu stabilizacji prądu przepływającego przez odbiornik o rezystancji liniowej  $R = 200 \Omega$  przyłączono do niego szeregowo rezystor drutowy o dodatnim współczynniku temperaturowym (bareter), którego charakterystykę pokazano na rysunku 1.63d. Wyznacz wartość prądu i napięcia na odbiorniku, gdy napięcie doprowadzone do układu: a)  $U = 220 \text{ V}$ , b)  $U = 250 \text{ V}$ .
- 1.215.** Żarówkę o mocy  $P = 100 \text{ W}$ , której charakterystykę  $I = f(U)$  pokazano na rysunku 1.63c, połączono równolegle z rezystorem liniowym o rezystancji  $R = 300 \Omega$ . Wyznacz wartość prądu całkowitego obwodu, gdy napięcie zasilające  $U = 200 \text{ V}$ .
- 1.216.** Warystor  $R_2$ , którego charakterystykę prądowo-napięciową pokazano na rysunku 1.63b, połączono szeregowo z rezystorem liniowym  $R_1 = 4 \text{ k}\Omega$  (rys. 1.66). Wyznacz wartość napięcia na warystorze, gdy napięcie doprowadzone do układu: a)  $U = 240 \text{ V}$ , b)  $U = 160 \text{ V}$ .



Rys. 1.66

- 1.217.** Określ procentowy zakres zmian napięcia na warystorze w układzie z zadania 1.216, jeżeli napięcie źródła  $U = 200 \text{ V}$  i zmienia się w przedziale  $\pm 10\%$ .
- 1.218.** Do stabilizacji napięcia na odbiorniku o rezystancji liniowej  $R = 175 \Omega$  zastosowano układ przedstawiony na rysunku 1.67.



Rys. 1.67

W układzie tym  $R_1$  jest bareterem, którego charakterystykę pokazano na rysunku 1.63d, a  $R_2$  warystorem o charakterystyce z rysunku 1.63b. Oblicz, jaka musi być wartość napięcia zasilającego  $U$ , aby napięcie na odbiorniku miało wartość  $8 \text{ V}$ .

- 1.1. 0,8 A
- 1.2. 32 A;  $\sim 5,33 \cdot 10^{-6} \text{ A/m}^2 \approx 5,33 \text{ A/mm}^2$
- 1.3. 50 s
- 1.4. 120 C
- 1.5. 8 A; 4 A; 2 A; 1 A
- 1.6. 18  $\Omega$ ; 0,0556 S
- 1.7. 50  $\mu\text{A}$
- 1.8. 230 V
- 1.9. 0,03 V
- 1.10. 24 V
- 1.11. (0,24  $\div$  4,8) A
- 1.12. 2,3 A;  $\sim 11,73 \cdot 10^{-6} \text{ A/m}^2 \approx 11,73 \text{ A/mm}^2$
- 1.13. 2,6 V; 5V
- 1.14. 0  $\div$  16 V
- 1.15. 6  $\Omega$ ; 3,6 V
- 1.16.  $\sim 57,8 \cdot 10^6 \text{ S/m}$ ; 0,01725  $\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$ ; 57,8 m/ ( $\Omega \cdot \text{mm}^2$ )
- 1.17.  $\sim 75,8 \text{ O}$
- 1.18.  $\sim 2,13 \text{ } \Omega$
- 1.20.  $\sim 3,57 \text{ mm}$ ; 1,82  $\Omega/\text{km}$ ; 89 kg/km
- 1.21.  $\sim 9,43 \text{ mm}^2$
- 1.22.  $\sim 2,51 \text{ mm}$ ;  $\sim 2,1$  razy większy
- 1.23. 80 V
- 1.24.  $0,5 \cdot 10^{-6} \text{ } \Omega \cdot \text{mm} = 0,5 \text{ } \Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$
- 1.25. 3300 m
- 1.26. 210 A;  $0,35 \cdot 10^6 \text{ A/m}^2 = 0,35 \text{ A/mm}^2$
- 1.27.  $\sim 7,27 \text{ V}$
- 1.28. 54  $\Omega$
- 1.29. 49,3°C
- 1.31.  $0,004 \frac{1}{^\circ\text{C}}$
- 1.32. 2,92 A
- 1.33.  $-0,015 \frac{1}{^\circ\text{C}}$
- 1.34. 2,5°C
- 1.35.  $0,0008 \frac{1}{^\circ\text{C}}$ ; 0,4%; 0,08%
- 1.36. -43,5°C
- 1.37. 60  $\Omega$ ; 4V; 8V
- 1.39. 1  $\div$  6 A; 20  $\div$  120 V
- 1.40. 30  $\Omega$
- 1.41. 2,5  $\Omega$



- 1.42.  $\sim 22,9 \text{ mm}^2$   
 1.43.  $5 \text{ A}; U_o = 230 \text{ V}; \Delta U_l = 5 \text{ V}$   
 1.44.  $270 \Omega$   
 1.45.  $9,9 \text{ k} \Omega; 30 \text{ k}\Omega; 160 \text{ k}\Omega$   
 1.46.  $7 \Omega; 10,5 \Omega; 17,5 \Omega$   
 1.47.  $20 \text{ V}$   
 1.48.  $250 \Omega$   
 1.49. 6 wartości napięć:  $30; 90; 120; 180; 270; 300 \text{ V}$   
 1.50.  $R \geq 595 \text{ k}\Omega$   
 1.51.  $0; 44,4 \Omega, 55,6 \Omega, 71,4 \Omega, 95,3 \Omega, 133,3 \Omega$   
 1.53.  $1000 \Omega$   
 1.54.  $3 \text{ A}; 2 \text{ A}; 1,5 \text{ A}; 1,846 \Omega; 0,542 \text{ S}$   
 1.55.  $0,6 \text{ A}; 0,4 \text{ A}$   
 1.56.  $15 \text{ A}; 12 \text{ A}; 6 \text{ A}; 8 \text{ A}$   
 1.57.  $0,02 \Omega$   
 1.58.  $9990,5 \Omega$   
 1.59.  $14,6 \text{ A}$   
 1.60.  $10 \text{ M}\Omega$   
 1.61.  $20 \Omega; 30 \Omega$   
 1.62.  $60 \Omega; 20 \Omega$   
 1.63.  $\sim 2\%$   
 1.64.  $201 \Omega; 198 \Omega; 200 \Omega; 0,5\%; 0,99\%$   
 1.65.  $2 \text{ A}; 52 \text{ V}; 15 \text{ A}$   
 1.66.  $0,25 \Omega$   
 1.67.  $1,5 \text{ A}; 0,25 \text{ S}$   
 1.69.  $5 \text{ A}; 44 \Omega$   
 1.70.  $20 \text{ A}; 230 \text{ V}; 200 \text{ V}; 30 \text{ V}; \sim 82,7 \text{ m}$   
 1.71.  $13,6 \text{ V}$   
 1.72.  $8,9 \div 8,4 \text{ V}$   
 1.73.  $6 \Omega$   
 1.74.  $9$   
 1.75.  $6 \text{ A}$   
 1.76.  $0,08\%$   
 1.77.  $1,26 \text{ V}; 0,2 \text{ A}; 0,1 \text{ A}; 0,3 \text{ A}$   
 1.78.  $2,25 \text{ V}; 0,25 \Omega$   
 1.79.  $6 \Omega$   
 1.80.  $85,7 \div 100 \text{ V}$   
 1.81.  $7,5 \text{ V}; \sim 6,43 \text{ V}; \sim 5,63 \text{ V}$   
 1.82.  $20 \Omega; 30 \Omega; 178,8 \text{ V}; 5,88 \Omega$   
 1.83.  $0,25 \text{ A}; 4,05 \text{ V}; 1,35 \text{ V}$   
 1.84.  $11,81 \text{ V}; 11,11 \text{ V}$   
 1.85. Tak, gdy źródło jest odbiornikiem  
 1.86.  $5 \text{ A}; 6,25 \text{ V}$

- 1.87.  $E_g = 260 \text{ V}; E_m = 180 \text{ V}; U_g = 236 \text{ V}$
- 1.88.  $U_1 = 27,5 \text{ V}; U_2 = 25,3 \text{ V}$
- 1.90.  $I = 0,2 \text{ A}; V_A = -3 \text{ V}; V_B = 6,8 \text{ V}; V_C = 6 \text{ V}; V_D = 15,8 \text{ V}$   
 $V_E = 15 \text{ V}; V_F = 6,8 \text{ V}; V_G = 3,8 \text{ V}; V_H = 7,6 \text{ V}; V_I = 6,2 \text{ V}$
- 1.91. 0; 0; 0
- 1.92.  $V_A = 4,37 \text{ V}; V_B = -4,3 \text{ V}; U_{CO} = -4,3 \div 4,37 \text{ V}$
- 1.93.  $0,2 \Omega$
- 1.94.  $16 \Omega$
- 1.95.  $5 \text{ V}$
- 1.96.  $0,4 \text{ A}; 24,4 \text{ V}; 59,8 \text{ V}; 12,2 \text{ V}$ .  $E_2$  pracuje jako źródło,  $E_1$  oraz  $E_3$  jako odbiorniki
- 1.98. Wskazanie woltomierza  $V_2$  zwiększy się, woltomierzy  $V_1$  oraz  $V_3$  zmniejszy się
- 1.101.  $I_{12} = 0,2 \text{ A}; I_3 = 0,5 \text{ A}; I = 0,7 \text{ A}; U = 7,4 \text{ V}$
- 1.102.  $66 \Omega$
- 1.103.  $105 \Omega$
- 1.104.  $4R; 0,25R; R; R; \frac{4}{3}R; 0,75R; 2,5R; 0,4R; \frac{5}{3}R; 0,6R$
- 1.105.  $9 \text{ V}; 4 \text{ V}; 4 \text{ V}$
- 1.106.  $11,1 \Omega; 0,2 \text{ V}$
- 1.107.  $9 \Omega; 54 \text{ V}$
- 1.108.  $\frac{5}{11}R; \frac{26}{55}R$
- 1.109.  $15 \text{ A}; 5 \text{ A}; 3,33 \text{ A}; 6,67 \text{ A}; 10 \text{ A}; 135 \text{ V}; 9 \Omega$
- 1.110.  $16 \text{ A}; 24 \text{ A}; 40 \text{ A}; 30 \text{ A}; 10 \text{ A}; 296 \text{ V}$
- 1.111.  $16 \text{ A}; 84 \text{ V}$
- 1.112.  $0,6 \Omega; 1,8 \Omega; 9,6 \Omega$
- 1.113.  $2 \text{ A}; 1 \text{ A}; 40 \Omega; 30 \text{ V}; 0$
- 1.114.  $0,6 \text{ A}; 0,3 \text{ A}; 0,3 \text{ A}; 0,18 \text{ A}; 0,12 \text{ A}$
- 1.115.  $0,5 \text{ A}; \frac{1}{6} \text{ A}; \frac{1}{3} \text{ A}; 0,2 \text{ A}; 0,3 \text{ A}$
- 1.116.  $2,4 \Omega; 2,1 \Omega$
- 1.117.  $1,5 \text{ A}; 3 \text{ A}$
- 1.118.  $18\frac{2}{3} \text{ V}$
- 1.120.  $150 \text{ V}; 120 \text{ V}$
- 1.121.  $400 \text{ V}$
- 1.122.  $40 \text{ V}; 1 \text{ A}$
- 1.124.  $200 \Omega$
- 1.125.  $40 \Omega; 60 \Omega$
- 1.126.  $\frac{R_p}{l} \left( y - \frac{y^2}{l} \right)$ ; parabola
- 1.128.  $12 \text{ V}$
- 1.129. Przy zamkniętym
- 1.130.  $2 \text{ A}$

- 1.131. 16 V  
 1.132. a) 6 V; 9 V; b) 7,5 V; 7,5 V  
 1.133. a) 6 V; b) 0,25 mA  
 1.134. 20  $\Omega$ ; 30  $\Omega$ ; 50  $\Omega$   
 1.135. 875  $\Omega$   
 1.136. 5,71 mA; 50 mA  
 1.137. 40,8°C  
 1.138.  $E_1 = E_2$   
 1.139. 2,4 A; 1,2 A; 0,8 A; 0,4 A  
 1.140. 10 V; 5 A; 3 A; 2 A  
 1.141. Trzy gałęzie równoległe po dwa ogniwa szeregowo  
 1.143. 1,2  $\Omega$   
 1.144. 0,4  $\Omega$ ; 0,8  $\Omega$   
 1.145. 1 A  
 1.146.  $38,88 \cdot 10^6 \text{ J} = 10,8 \text{ kWh}$   
 1.147. 120 W; 97,5%  
 1.148. 540 W; 4,32 kWh  
 1.149. 1322,5  $\Omega$ ;  $\sim 882 \Omega$ ; 529  $\Omega$   
 1.150.  $\sim 387 \text{ V}$ ;  $\sim 5,16 \text{ mA}$   
 1.151.  $W = 0,54 \text{ kWh}$ . Energia nie zależy od  $R_w$   
 1.152. 7,6 zł  
 1.153. 6,84 zł  
 1.154. 9,6 m  
 1.155. 7,5 W; 8 W  
 1.156. 612 W; 2%  
 1.157. 8 kW; 2 kW; 0,5 kW;  $\sim 71,4\%$ ;  $\sim 91\%$ ;  $\sim 97,6\%$   
 1.159. 247,5 V; 236,5 V; 1210 W;  $\sim 1361 \text{ W}$ ; 60,5 W; 90,75 W  
 1.160. 160 W  
 1.161. Żarówka 40 W  
 1.162.  $\sim 125,5 \Omega$   
 1.163.  $\sim 72,7 \text{ V}$ ; „najsłabszy” rezystor  $R_1$   
 1.164.  $\sim 860 \text{ kcal}$   
 1.165.  $158\,400 \text{ J} \approx 37,9 \text{ kcal}$   
 1.166. 20,5 m  
 1.167. 28,7 l wody  
 1.168.  $\sim 50,5\%$   
 1.169. 628 W  
 1.171. W rezystorze o rezystancji 1,6  $\Omega$   
 1.172. 324 W  
 1.173. 3,48 zł  
 1.174. 45 min; 10 min  
 1.175. 5,79 V  
 1.176. 484 W;  $\sim 807 \text{ W}$ ; 1210 W;  $\sim 2017 \text{ W}$

- 1.177.  $3,6 \cdot 10^9 \frac{\Omega}{\text{m}^2}$
- 1.178. 50,25 W; 50,5 W; 50 W
- 1.179. 3
- 1.180. a)  $R\sqrt{3}$ ; b)  $\frac{R}{\sqrt{3}}$ ; c)  $\frac{1+\sqrt{5}}{2}R$ ; d)  $\frac{\sqrt{5}-1}{2}R$
- 1.182.  $\sim 0,583 \text{ A}$
- 1.183.  $I_z = 3 \text{ A}$ ;  $G_w = 0,25 \text{ S}$ ;  $P = 8 \text{ W}$ ;  $\eta_u = 33,3\%$ ;  $\eta_i = 66,7\%$
- 1.184.  $55^\circ\text{C}$
- 1.185.  $0,75 \text{ V}$  ( $U_{AB} = -0,75 \text{ V}$ )
- 1.186. 1,5
- 1.187.  $8 \Omega$
- 1.188.  $60 \text{ V}$
- 1.189.  $P = P_{\text{max}}$ , przy  $R = R_w = 2 \Omega$
- 1.190.  $6 \text{ V}$ ;  $1 \Omega$
- 1.191.  $6 \text{ V}$ ;  $1 \Omega$
- 1.192. Wskazanie miliamperomierza zmniejszy się 2,5-krotnie
- 1.193.  $50 \text{ mA}$ ;  $249,5 \Omega$ ;  $5,1 \Omega$
- 1.194.  $91 \text{ mm}^2$
- 1.195.  $11 \Omega$ ;  $\frac{1}{11} \Omega$
- 1.196.  $66 \text{ kW}$ ;  $44 \text{ kW}$ ;  $U = 220 \text{ V}$
- 1.197.  $U_1, U_2, I_2$  zwiększą się;  $I_1, I_3, U_3$  zmniejszą się
- 1.198.  $\sim 3,1\%$
- 1.199.  $3,03\%$ ;  $-3,03\%$
- 1.200.  $25 \Omega$ ;  $100 \text{ V}$
- 1.201.  $10 \text{ V}$ ;  $1 \Omega$
- 1.202.  $9,6 \text{ A}$ ;  $2,4 \text{ A}$ ;  $288 \text{ V}$
- 1.203.  $120 \text{ V}$ ;  $1,2 \text{ A}$
- 1.204.  $14 \Omega$ ;  $21 \Omega$
- 1.205.  $2 \Omega$
- 1.206.  $80 \Omega$  i  $120 \Omega$
- 1.207.  $20 \Omega$  i  $15 \Omega$
- 1.208.  $80 \Omega$  i  $20 \Omega$
- 1.209.  $13,1 \Omega$ ;  $5,81 \Omega$ ;  $3,45 \Omega$ ;  $2,36 \Omega$
- 1.210.  $6 \text{ mm}^2$ ;  $3,81 \text{ V}$ ;  $1,66\%$
- 1.211.  $35,7 \text{ mm}^2$
- 1.214. a)  $0,31 \text{ A}$ ;  $62 \text{ V}$ , b)  $0,315 \text{ A}$ ;  $63 \text{ V}$
- 1.215.  $\sim 1,1 \text{ A}$
- 1.216.  $49 \text{ V}$ ;  $47 \text{ V}$
- 1.217.  $\sim 1,04\%$
- 1.218.  $\sim 250 \text{ V}$