

ĆWICZENIE 1A

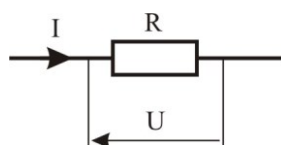
BADANIA OBWODÓW ELEKTRYCZNYCH PRĄDU STAŁEGO

Cel ćwiczenia: eksperymentalne sprawdzenie podstawowych praw obowiązujących w obwodach prądu stałego (prawa Ohma i praw Kirchhoffa), praktyczne zobrazowanie metody superpozycji oraz sprawdzenie bilansu mocy w obwodzie elektrycznym.

1. PODSTAWY TEORETYCZNE ĆWICZENIA

1.1. Prawo Ohma

Prawo Ohma jest definiowane dla elementu obwodu (rys. 1.1) i w postaci uogólnionej dla nierozgałęzionego obwodu elektrycznego.



Rys. 1.1. Element obwodu elektrycznego

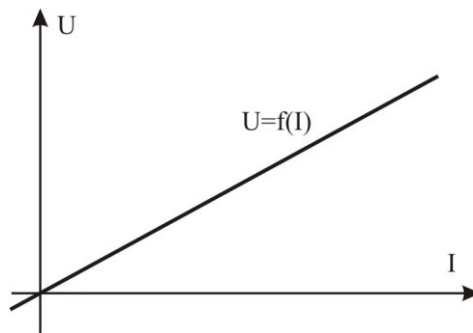
Wartość natężenia prądu I występującego w danym elemencie obwodu elektrycznego jest wprost proporcjonalna do napięcia U na zaciskach tego elementu i odwrotnie proporcjonalna do jego rezystancji R .

Prawo Ohma dla elementu obwodu elektrycznego można zapisać w postaci wzoru

$$I = \frac{U}{R}. \quad (1.1)$$

Rezystancja R elementu obwodu elektrycznego może być w większości przypadków traktowana jako niezależna od zwrotu i wartości występującego w nim prądu oraz przyłożonego do jego zacisków napięcia. Rezystancje o takich właściwościach nazywamy liniowymi, a obwód, który zawiera tylko rezystancje liniowe - obwodem liniowym. Graficzną ilustracją prawa Ohma dla elementu obwodu jest tzw. charakterystyka napięciowo-prądowa $U=f(I)$. Dla rezystancji liniowej ma ona postać prostej przechodzącej przez początek układu współrzędnych (rys. 1.2).

W obwodzie elektrycznym oprócz elementów liniowych mogą występować również elementy, których rezystancja R jest funkcją płynącego przez nie prądu lub napięcia. Są to elementy nieliniowe, a obwody, które zawierają chociaż jedną rezystancję nieliniową nazywamy obwodami nieliniowymi.

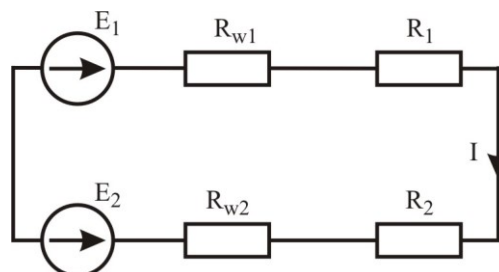


Rys. 1.2. Charakterystyka napięciowo - prądowa elementu liniowego

Zmiana rezystancji w funkcji prądu bądź napięcia może być związana z różnorodnymi zjawiskami fizycznymi, głównie jednak spowodowana jest zmianami temperatury wskutek nagrzewania rezystora podczas występowania w nim prądu. Zjawisko to jednak występuje wyraźnie tylko w niektórych specjalnych elementach rezystancyjnych (np. termistorach, bareterach itp.).

W ramach ćwiczenia będą badane wyłącznie obwody i elementy rezystancyjne, dla których można w przybliżeniu przyjąć założenie, że $R = \text{const}$.

Dla zilustrowania prawa Ohma w postaci uogólnionej zamieszczono przykład obwodu nierozgałęzionego przedstawionego na rys. 1.3. Składa się on z dwóch szeregowo połączonych idealnych źródeł napięcia (E_1 i E_2) o rezystancji wewnętrznej (odpowiednio R_{w1} i R_{w2}) i rezystorów R_1 i R_2 .

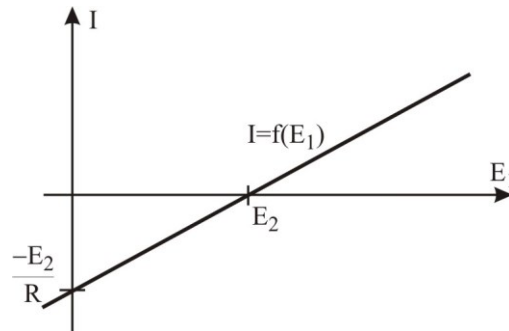


Rys. 1.3. Obwód elektryczny nierozgałęziony

Natężenie prądu I występujące w analizowanym obwodzie jest wprost proporcjonalna do sumy algebraicznej wszystkich źródeł napięcia i odwrotnie proporcjonalna do sumy rezystancji występujących w obwodzie. Wartości napięć źródeł, których zwrot jest zgodny z przyjętym zwrotem prądu przyjmuje się jako dodatnie, a jeżeli zwrot napięcia jest przeciwny względem zwrotu prądu jako ujemne. Zatem zależność opisująca prawo Ohma dla obwodu z rys. 1.3 przyjmie postać

$$I = \frac{E_1 - E_2}{R_{w1} + R_{w2} + R_1 + R_2} \quad (1.2)$$

Jeśli obliczona wartość prądu I jest ujemna, to oznacza, że rzeczywisty jego zwrot jest przeciwny do przyjętego.



Rys. 1.4. Przebieg natężenia prądu w funkcji napięcia źródłowego E_1 w obwodzie z dwoma źródłami

Na rys. 1.4. przedstawiono charakterystykę zmian prądu dla układu z rys. 1.3 w funkcji zmian napięcia źródłowego E_1 przy założeniu stałej wartości napięcia źródłowego E_2 . Prąd w obwodzie jest równy zeru, gdy wartości napięć źródłowych E_1 i E_2 są takie same, natomiast ich zwroty przeciwne. Ogólnie zwrot prądu I w obwodzie jest zgodny ze zwrotem napięć źródeł, których suma jest większa od sumy napięć źródeł działających przeciwnie.

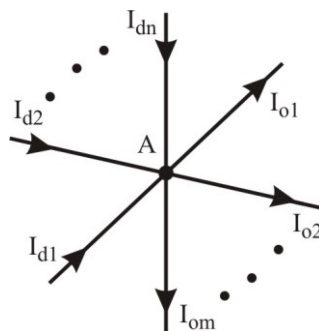
1.2. Pierwsze prawo Kirchhoffa

Pierwsze prawo Kirchhoffa dotyczy prądów w gałęziach zbiegających się w węzle obwodu elektrycznego (rys.1.5). Prawo to mówi, że suma prądów skierowanych do dowolnego punktu węzłowego równa się sumie prądów skierowanych od tego punktu. Można je opisać wzorem

$$\sum_{i=1}^n I_{di} = \sum_{i=1}^m I_{oi} \quad (1.3)$$

gdzie: I_{di} - prąd skierowany do punktu węzłowego,

I_{oi} - prąd skierowany od węzła.

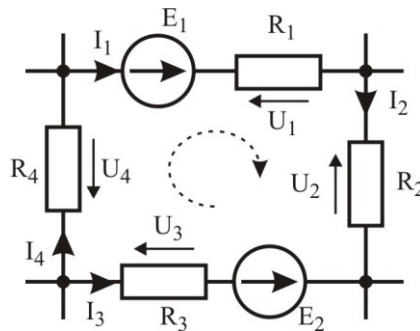


Rys. 1.5. Strzałkowanie prądów w węzle A

Jeżeli przyjmiemy, że wartości prądów skierowanych do węzła są dodatnie, natomiast skierowanych od węzła ujemne, to suma algebraiczna prądów w punkcie węzłowym obwodu elektrycznego jest równa zero.

1.3. Drugie prawo Kirchhoffa

Drugie prawo Kirchhoffa dotyczy napięć dowolnego zamkniętego obwodu elektrycznego. Mówi ono, że w dowolnym oczku obwodu elektrycznego suma algebraiczna wszystkich napięć źródłowych, działających w gałęziach oczka, jest równa sumie algebraicznej wszystkich spadków napięć na rezystancjach tego oczka. Napięcia źródłowe i spadki napięć na rezystancjach traktujemy jako dodatnie, jeżeli ich zwroty są zgodne z przyjętym kierunkiem rozpatrywania (obiegim) oczka (rys.1.6).



Rys. 1.6. Przykład oczka obwodu z oznaczeniami napięć gałęziowych

Prawo to można przedstawić w postaci wzoru

$$\sum_{i=1}^n E_i = \sum_{i=1}^m U_i \quad (1.4)$$

gdzie: E_i - napięcia źródłowe,

U_i - spadki napięć na rezystancjach obwodu, ($U_i = R_i \cdot I_i$)

I_i - prądy w gałęziach obwodu,

R_i - rezystancje w gałęziach obwodu.

Dla zilustrowania prądowego i napięciowego prawa Kirchhoffa zamieszczono przykład obwodu rozgałęzionego przedstawionego na rys. 1.7. Stosowanie równania (1.4) wymaga przyjęcia określonego kierunku rozpatrywania dla rozważanego oczka. Przyjmując, że źródła E_1 i E_2 są idealne, drugie prawo Kirchhoffa dla oczka I obwodu na rys.1.7 przyjmie postać

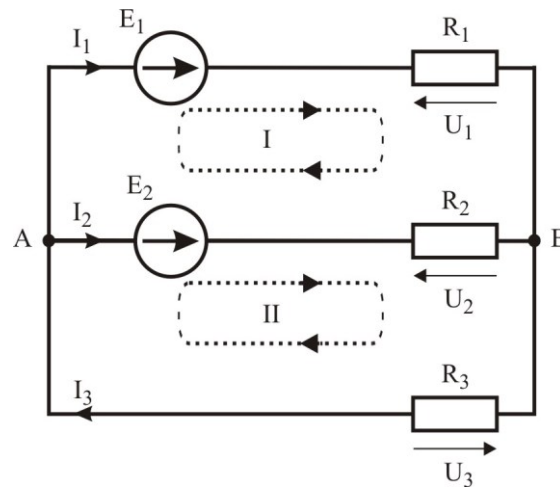
$$E_1 - E_2 = I_1 R_1 - I_2 R_2. \quad (1.5)$$

Dla oczka II analogicznie można napisać

$$E_2 = I_2 R_2 + I_3 R_3. \quad (1.6)$$

Korzystając z pierwszego prawa Kirchhoffa dla węzła A z rys. 1.7 otrzymamy zależność

$$I_3 = I_1 + I_2. \quad (1.7)$$



Rys.1.7. Obwód elektryczny rozgałęziony

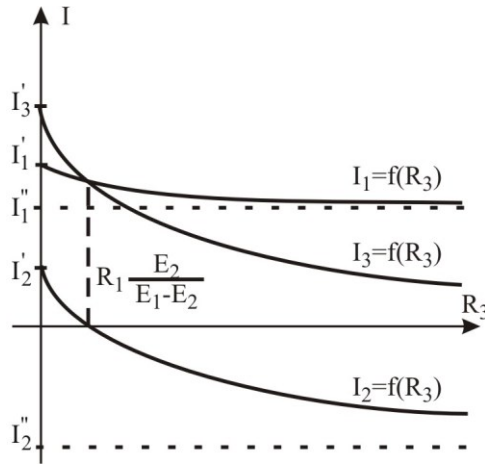
Uzyskany w ten sposób układ równań (1.5), (1.6) i (1.7) umożliwia wyznaczenie prądów I_1 , I_2 oraz I_3 . Zmienność tych prądów można rozpatrywać w funkcji dowolnych elementów obwodu, np. R_3 . Przebiegi prądów I_1 , I_2 , I_3 w funkcji rezystancji R_3 , w rozpatrywanym układzie możemy opisać następującymi zależnościami:

$$\begin{aligned} I_1 &= \frac{(E_1 - E_2)R_3 + E_1R_2}{(R_2 + R_1)R_3 + R_1R_2}, \\ I_2 &= \frac{(E_2 - E_1)R_3 + E_2R_1}{(R_2 + R_1)R_3 + R_1R_2}, \\ I_3 &= \frac{E_1R_2 + E_2R_1}{(R_2 + R_1)R_3 + R_1R_2}. \end{aligned} \quad (1.8)$$

Przebiegi prądów I_1 i I_2 w funkcji rezystancji R_3 można w postaci ogólnej zapisać jako wyrażenie $y = \frac{a \cdot x + b}{c \cdot x + d}$, zaś prądu I_3 w postaci wyrażenia $y = \frac{a}{c \cdot x + d}$. Ilustracją graficzną zależności (1.8) są wykresy przedstawione na rys. 1.8. Krzywe zostały narysowane przy założeniu $E_2 < E_1$. Punkt przecięcia krzywej prądu I_2 z osią rezystancji uzyskujemy przyrównując zależność na I_2 (1.8) do zera (licznik równy zero)

$$I_2 = 0 \quad \text{przy} \quad R_3 = R_1 \frac{E_2}{E_1 - E_2}. \quad (1.9)$$

Dla rezystancji R_3 mniejszej od obliczonej za pomocą (1.9) prąd I_2 ma wartość dodatnią, natomiast dla większej - ujemną (źródło E_2 staje się odbiornikiem). Pozostałe prądy nie zerują się, ponieważ ich liczniki są zawsze dodatnie.



Rys.1.8. Przebiegi prądów obwodu rozgałęzionego w funkcji rezystancji R_3

Przy $R_3 = 0$ prądy osiągają wartości maksymalne, równe:

$$\begin{aligned} \text{dla prądu } I_1 & \quad I_1' = \frac{E_1}{R_1}, \\ \text{dla prądu } I_2 & \quad I_2' = \frac{E_2}{R_2}, \\ \text{dla prądu } I_3 & \quad I_3' = \frac{E_1}{R_1} + \frac{E_2}{R_2}. \end{aligned} \quad (1.10)$$

Przy $R_3 \rightarrow \infty$ otrzymuje się asymptoty prądów;

$$\begin{aligned} \text{dla prądu } I_1 & \quad I_1'' = \frac{E_1 - E_2}{R_1 + R_2}, \\ \text{dla prądu } I_2 & \quad I_2'' = \frac{E_2 - E_1}{R_1 + R_2}, \\ \text{dla prądu } I_3 & \quad I_3'' = 0. \end{aligned} \quad (1.11)$$

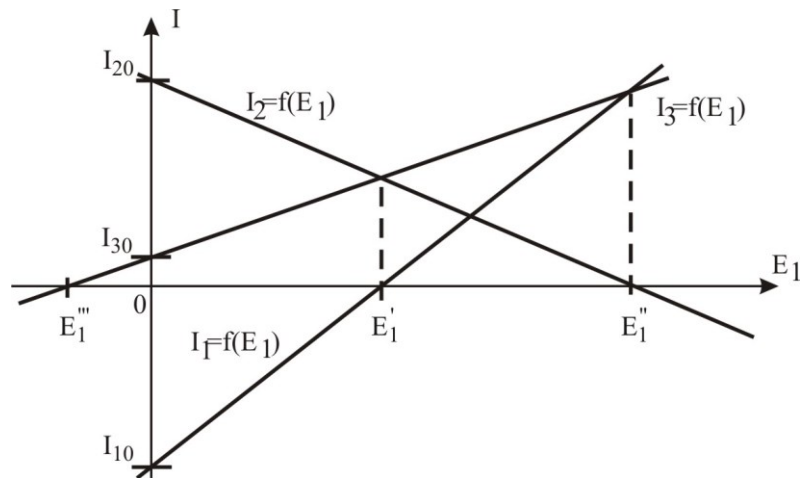
Należy zwrócić uwagę, że wzory (1.11) opisują prąd w obwodzie nierozgałęzionym.

Przeanalizujmy przypadek, gdy zmieniamy wartość jednego z napięć źródłowych (np. E_1 przy stałym E_2). Aby zbadać przebieg prądów gałęziowych obwodu z rysunku 1.7 w funkcji napięcia źródła E_1 , należy rozwiązać układ równań (1.5), (1.6), (1.7) i rozwiązanie przekształcić do takiej postaci w której E_1 będzie zmienną niezależną. Otrzymamy wtedy po przekształceniach następujące zależności:

$$I_1 = \frac{(R_2 + R_3)}{R_1 R_2 + R_2 R_3 + R_1 R_3} E_1 - \frac{R_3 E_2}{R_1 R_2 + R_2 R_3 + R_1 R_3}, \quad (1.12a)$$

$$I_2 = -\frac{R_3}{R_1 R_2 + R_2 R_3 + R_1 R_3} E_1 + \frac{(R_1 + R_3) E_2}{R_1 R_2 + R_2 R_3 + R_1 R_3}, \quad (1.12b)$$

$$I_3 = \frac{R_2}{R_1 R_2 + R_2 R_3 + R_1 R_3} E_1 + \frac{E_2 R_1}{R_1 R_2 + R_2 R_3 + R_1 R_3}. \quad (1.12c)$$



Rys.1.9. Przebiegi prądów obwodu rozgałęzionego w funkcji napięcia E_1

Są to funkcje liniowe względem zmiennej E_1 o postaci $y = a x + b$ (rys.1.9). Do ich wykreślenia wystarczy wyznaczyć punkty przecięcia z osiami współrzędnych:

- z osią E_1 ($I = 0$)

$$\text{dla prądu } I_1 = 0 \quad E_1' = E_2 \frac{R_3}{R_2 + R_3},$$

$$\text{dla prądu } I_2 = 0 \quad E_1'' = E_2 \frac{R_1 + R_3}{R_3}, \quad (1.13)$$

$$\text{dla prądu } I_3 = 0 \quad E_1''' = -E_2 \frac{R_1}{R_2},$$

- z osią I ($E_1 = 0$)

$$\text{dla prądu } I_1 \quad I_{10} = -\frac{R_3 E_2}{R_1 R_2 + R_2 R_3 + R_1 R_3},$$

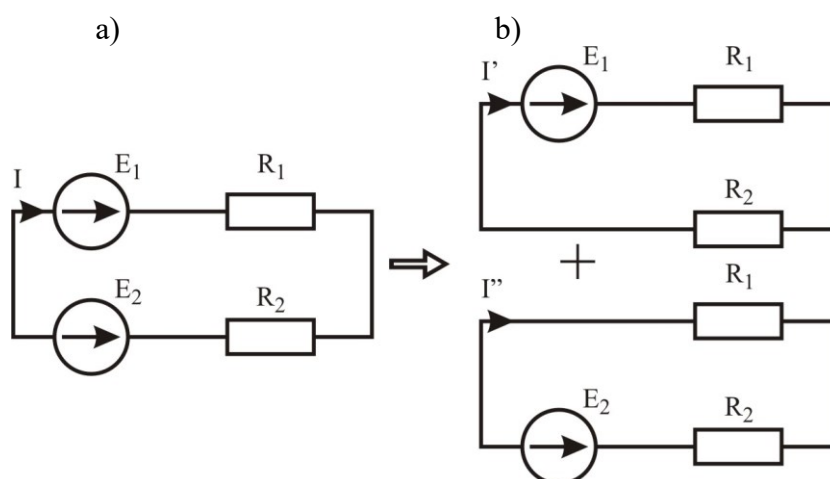
$$\text{dla prądu } I_2 \quad I_{20} = \frac{(R_1 + R_3) E_2}{R_1 R_2 + R_2 R_3 + R_1 R_3}, \quad (1.14)$$

$$\text{dla prądu } I_3 \quad I_{30} = \frac{E_2 R_1}{R_1 R_2 + R_2 R_3 + R_1 R_3}.$$

1.4. Zasada superpozycji

Zasadę superpozycji można stosować jedynie w obwodach liniowych. Zgodnie z tą zasadą dla rozpatrywanych obwodów prądu stałego w warunkach ustalonych odpowiedź czasowa układu na sumę wymuszeń czasowych jest sumą odpowiedzi na każde z wymuszeń działających osobno. Wymuszeniami w obwodach elektrycznych są źródła energii, natomiast

odpowiedziami prądy i spadki napięć. W przypadku, gdy w obwodzie działa jednocześnie kilka źródeł napięcia, wyznaczenie prądu płynącego przez rozpatrywaną gałąź metodą superpozycji sprowadza się do wyznaczenia dla tego odcinka obwodu tylu prądów, ile jest źródeł. Natężenie każdego z tych prądów oblicza się przy założeniu, że w obwodzie działa jedno ze źródeł, pozostałe zaś mają wówczas wartości równe zero, natomiast ich rezystancje wewnętrzne są włączone do obwodu.



Rys.1.10. Obwód elektryczny: a) nierozgałęziony, b) postać obwodu wynikająca z zasady superpozycji

Chcąc wyznaczyć metodą superpozycji wartość prądu I w obwodzie, jak na rys.1.10a, przyjmujemy najpierw $E_2 = 0$ (rys.1.10b), skąd mamy odpowiedź układu na wymuszenie ze źródła E_1

$$I' = \frac{E_1}{R_1 + R_2} \quad (1.15)$$

Przyjmując $E_1 = 0$ obliczamy odpowiedź układu na wymuszenie ze źródła E_2

$$I'' = -\frac{E_2}{R_1 + R_2}. \quad (1.16)$$

Znak minus informuje nas że zwrot prądu płynącego w analizowanym obwodzie jest przeciwny do założonego.

Sumując odpowiedzi układu na każde z wymuszeń, otrzymujemy wartość prądu

$$I = I' + I'' = \frac{E_1}{R_1 + R_2} - \frac{E_2}{R_1 + R_2} = \frac{E_1 - E_2}{R_1 + R_2} \quad (1.17)$$

Prawidłowość tej metody potwierdza końcowa postać zależności na prąd I , wynikająca bezpośrednio z prawa Ohma dla całego obwodu elektrycznego (1.2).

Zasada superpozycji dotyczy obwodów elektrycznych liniowych o dowolnej konfiguracji, także rozgałęzionych.

1.5. Bilans mocy w obwodzie elektrycznym

Obwód elektryczny składa się z szeregu źródeł energii elektrycznej oraz odbiorników. Podczas przepływu prądu przez rezystancje wewnętrzne źródeł napięcia i rezystancje odbiorników prąd ten wykonuje pracę, która jest zamieniana na ciepło. Źródło napięcia dostarcza energię do obwodu, gdy zwrot prądu źródła jest zgodny ze zwrotem jego napięcia.

W przypadku, gdy w obwodzie występuje kilka źródeł napięcia, może się zdarzyć, że prąd w gałęzi będzie skierowany przeciwnie do napięcia źródła w tej gałęzi. Oznacza to, że źródło napięcia odbiera energię elektryczną.

Dla każdego obwodu elektrycznego w określonym czasie można napisać bilans energii elektrycznej. Zgodnie z zasadą zachowania energii, ilość energii elektrycznej dostarczonej przez źródła napięcia, wydające energię elektryczną, musi być równa ilości energii elektrycznej pobranej przez odbiorniki. Ponieważ zależność opisująca energię w obwodach elektrycznych jest iloczynem mocy i czasu to zasadę zachowania energii można przekształcić w tzw. prawo bilansu mocy, które dla obwodów prądu stałego można opisać zależnością

$$\sum_{i=1}^n P_{E_i} = \sum_{i=1}^m P_{o_i} \quad (1.18)$$

gdzie: P_{E_i} - moc elektryczna i -tego źródła energii elektrycznej,

P_{o_i} - moc elektryczna pobierana przez i -ty odbiornik energii elektrycznej.

Bilans mocy dla obwodu z rys. 1.10a opisuje zależność

$$E_1 I - E_2 I = I^2 R_1 + I^2 R_2. \quad (1.19)$$

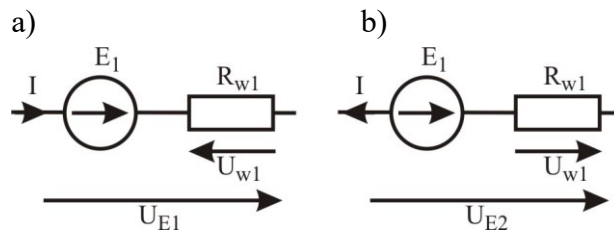
Po lewej stronie równania (1.19) występuje suma algebraiczna mocy źródeł E_1 i E_2 , natomiast po stronie prawej suma mocy pobieranych przez odbiorniki energii elektrycznej (rezystory). W obwodzie na rys.1.10a prąd I ma zwrot przeciwny do napięcia źródłowego E_2 . Uwzględniając zmianę znaku tego prądu w bilansie mocy (1.19) widać, w jaki sposób źródło napięcia może stać się odbiornikiem energii elektrycznej.

Dla źródła rzeczywistego, w którym zwrot prądu I jest taki sam jak zwrot napięcia źródła (rys.1.11a), napięcie na zaciskach jest mniejsze od jego napięcia źródłowego o spadek napięcia na jego rezystancji wewnętrznej

$$U_{E_1} = E_1 - U_{w1} = E_1 - IR_{w1} < E_1. \quad (1.20)$$

Dla źródła rzeczywistego, w którym zwrot prądu I jest przeciwny do zwrotu napięcia źródła (rys.1.11b), napięcie na zaciskach jest większe od jego napięcia źródłowego o spadek napięcia na jego rezystancji wewnętrznej

$$U_{E_2} = E_2 + U_{w2} = E_2 + IR_{w2} > E_2. \quad (1.21)$$



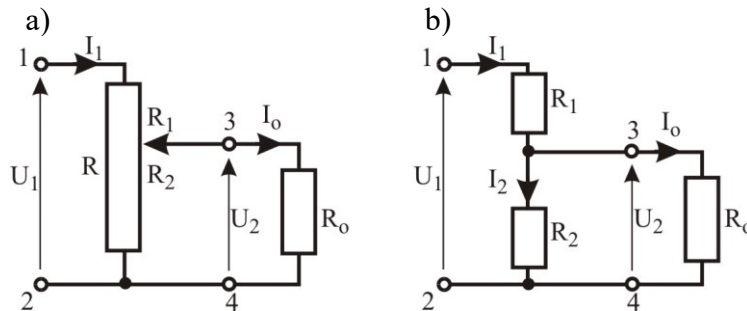
Rys.1.11. Źródło napięcia jako: a) źródło energii, b) odbiornik energii

Przykładem takiego zjawiska może być ładowanie akumulatora lub praca silnikowa maszyny prądu stałego.

1.6. Rezystor w układzie potencjometrycznym

Wykorzystanie rezystora w układzie potencjometrycznym jest najprostszym sposobem regulacji napięcia od zera do jego wartości maksymalnej (rys.1.12). Zaciski 1, 2 są nazywane zaciskami stałymi, natomiast zacisk 3 połączony z suwakiem – zaciskiem regulacyjnym. Suwak styka się z materiałem oporowym rezystora R w wybranym punkcie między zaciskami 1 i 2. W ten sposób dzieli rezystor R na dwa rezystory R_1 i R_2 , połączone jak na rys. 1.12b. Spełniona jest zawsze zależność

$$R = R_1 + R_2. \quad (1.22)$$



Rys. 1.12. Rezystor w potencjometrycznym układzie pracy: a) schemat rzeczywisty, b) model układu

Do wejścia układu potencjometrycznego (zaciski 1, 2) przykładamy napięcie U_1 . Na wyjściu układu otrzymujemy napięcie U_2 o wartości zależnej od rezystancji R_1 i R_2 oraz R_o , czyli od położenia suwaka względem zacisków 1, 2 zgodnie ze wzorem

$$U_2 = U_1 \frac{R_o \cdot R_2}{R_o \cdot R_1 + R_o \cdot R_2 + R_1 \cdot R_2}. \quad (1.23)$$

Zależność (1.23) uwzględnia wpływ rezystancji obciążenia R_o na napięcie wyjściowe potencjometru. Zakładając $R_o \gg R$ (ponieważ zawsze $R_1 \leq R$), można zależność tę uprościć do postaci

$$U_2 = U_1 \frac{R_2}{R_1 + R_2}. \quad (1.24)$$

Opisany układ regulacji napięcia charakteryzuje się dużymi stratami mocy w rezystorze regulacyjnym. Jest to spowodowane tym, że prąd odbiornika R_o płynie przez część R_1 rezystora regulacyjnego (rys.1.12b). Z tego względu potencjometryczna regulacja napięcia jest nieekonomiczna i stosowana praktycznie dla odbiorników o stosunkowo dużej rezystancji R_o .

2. POMIARY

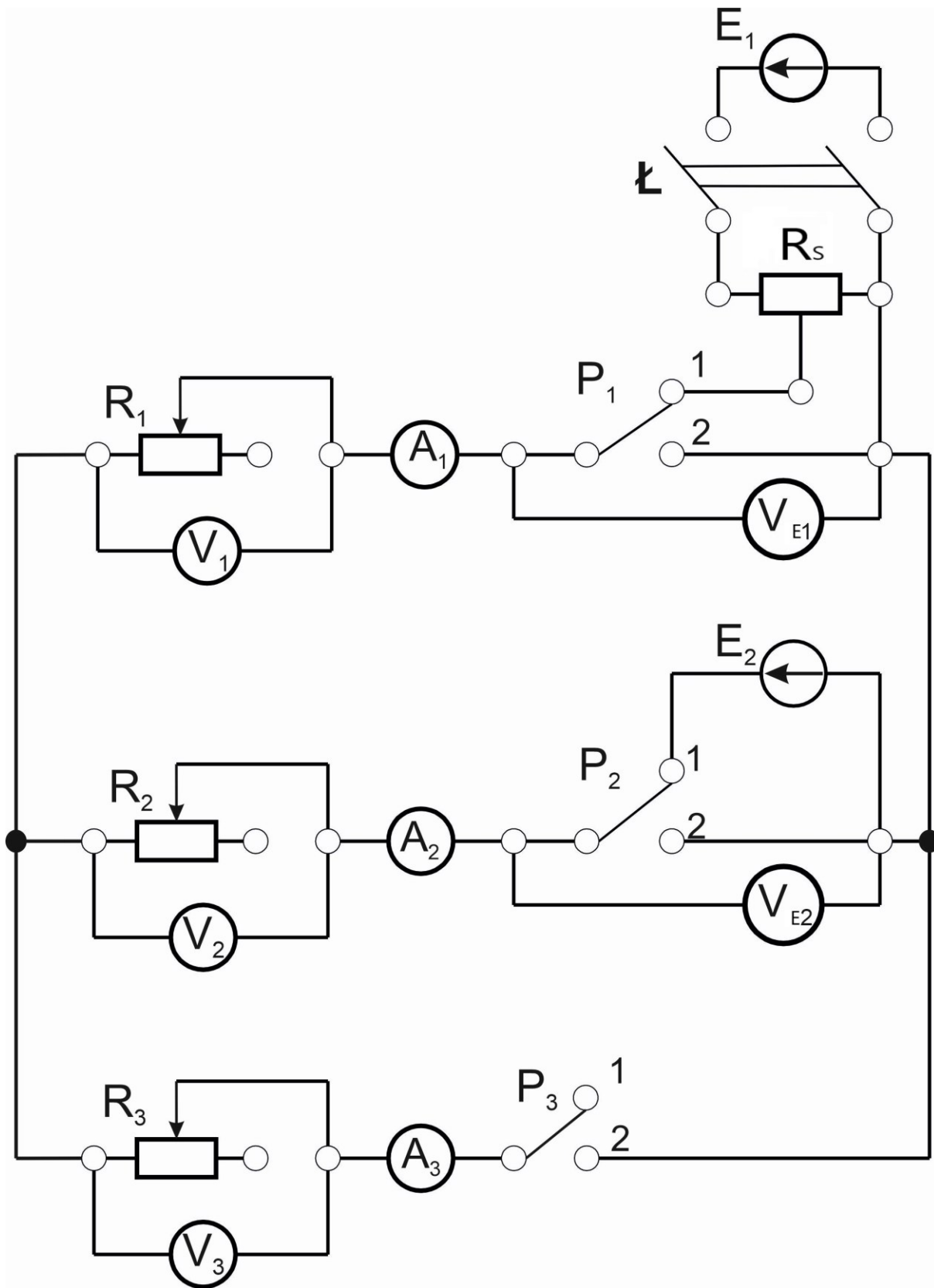
Przed przystąpieniem do pomiarów połączyć układ pomiarowy według schematu na rys. 2.1. Dla zabezpieczenia amperomierzy przed przypadkowym przeciążeniem źródła napięcia E_1 i E_2 muszą być odłączone od obwodu przełącznikami P_1 i P_2 . Przyrządy pomiarowe są umieszczone i połączone na tablicy, należy przyłączyć jedynie rezystory R_1 , R_2 , R_3 i R_S oraz źródła E_1 i E_2 .

Przed przystąpieniem do pomiarów należy zawsze ustawić:

- Rezystory R_1 , R_2 , R_3 na maksimum rezystancji;
- Suwak rezystora R_S w położeniu środkowym;
- Przełącznik P_1 i P_2 w położeniu 2, P_3 w położeniu 1;
- Łącznik L otwarty.

UWAGA!

Wskazania na lewo od zera przyrządów z zerem na środku skali zapisujemy ze znakiem minus.



Rys. 2.1. Schemat układu pomiarowego do badania obwodów liniowych prądu stałego.

2.1. Sprawdzenie prawa Ohma w obwodzie nierozgałęzionym przy regulowanej rezystancji R_2

Połączyć obwód nierozgałęziony złożony z rezystorów R_1 , R_2 oraz źródeł E_1 i E_2 zgodnie ze schematem z rys. 2.1. W trakcie pomiarów należy uzyskać maksymalne możliwe zmiany prądu I .

Zmieniając R_2 należy mierzyć wartość prądu I (amperomierz A_1) oraz spadki napięcia U_1 (woltomierz V_1) i U_2 (woltomierz V_2) przy stałych wartościach E_1 , E_2 i R_1 .

Tab. 2.1

| Wartości stałe: $U_{E1} =$, $U_{E2} =$ $R_1 = \text{const.}$ | | | | | | | |
|---|---------|-------|---------|------------|-------|-------|----------|
| Lp. | Pomiary | | | Obliczenia | | | |
| | I | U_1 | $ U_2 $ | R_2 | P_1 | P_2 | R_{1i} |
| | A | V | V | Ω | W | W | Ω |
| 1. | | | | | | | |
| 2. | | | | | | | |
| 3. | | | | | | | |
| . | | | | | | | |
| . | | | | | | | |
| | | | | | | | $R_1 =$ |

Opracowanie wyników:

- wyznaczyć wartość rezystancji R_1 jako średnią arytmetyczną z rezystancji R_{1i} , pozostałe obliczenia wykonać według zależności zawartych w części teoretycznej,
- we wspólnym układzie współrzędnych wykreślić zależności:
 $U_1 = f(I_1)$ i $U_2 = f(I_1)$ oraz $P_1 = f(I_1)$ i $P_2 = f(I_1)$.

2.2. Sprawdzenie prawa Ohma w obwodzie nierozgałęzionym przy regulowanym napięciu źródła U_{E1}

W obwodzie nierozgałęzionym połączonym jak w punkcie 2.1 mierzone będą: prąd I (amperomierz A_1) i spadki napięć U_1 (woltomierz V_1), U_2 (woltomierz V_2), U_{E2} (woltomierz V_{E2}) w funkcji U_{E1} przy stałych R_1 , R_2 i E_2 . Szczególnie dokładnie należy wykonać pomiar w którym $I=0$

Tab. 2.2

| Wartości stałe: $U_{E2} =$, $R_1 = \text{const.}$, $R_2 = \text{const.}$ | | | | | | |
|--|----------|---|-------|-------|------------|------------|
| Lp. | Pomiary | | | | Obliczenia | |
| | U_{E1} | I | U_1 | U_2 | R_{1i} | R_{2i} |
| | V | A | V | V | Ω | Ω |
| 1. | | | | | | |
| 2. | | | | | | |
| 3. | | | | | | |
| . | | | | | | |
| . | | | | | | |
| | | | | | $R_{1i} =$ | $R_{2i} =$ |

Opracowanie wyników:

- wyznaczyć wartość rezystancji R_1 i R_2 jako średnią arytmetyczną z rezystancji odpowiednio R_{1i} i R_{2i} , pozostałe obliczenia wykonać według zależności zawartych w części teoretycznej,
- wykreślić zależność $I_1 = f(U_{E1})$,
- z wykresu odczytać wartość U_{E1} dla której $I_1 = 0$ i porównać z teoretyczną.

2.3. Sprawdzenie zasady superpozycji

W obwodzie nierozgałęzionym połączonym jak w punkcie 2.1 należy sprawdzić zasadę superpozycji mierząc prąd I (amperomierz A_1) oraz spadki napięć U_1 (woltomierz V_1) i U_2 (woltomierz V_2) przy stałych wartościach E_1 , E_2 , R_1 i R_2 .

Tab. 2.3

| Wartości stałe: $U_{E1} =$, $U_{E2} =$, $R_1 = \text{const.}$, $R_2 = \text{const.}$ | | | | |
|---|------------|--------------|--------------|-----------------------------|
| Lp. | I | U_1 | U_2 | Uwagi |
| | A | V | V | |
| 1. | | | | E_1 załączone, $E_2 = 0$ |
| 2. | | | | $E_1 = 0$, E_2 załączone |
| 3. | $\sum I =$ | $\sum U_1 =$ | $\sum U_2 =$ | |
| 4. | | | | E_1, E_2 załączone |

2.4. Sprawdzenie praw Kirchhoffa w obwodzie przy regulowanej rezystancji R_3

Przyłączyć obwód rozgałęziony złożony z rezystorów R_1 , R_2 i R_3 oraz źródeł E_1 i E_2 zgodnie ze schematem z rys. 2.1.

Mierzone będą prądy w trzech gałęziach obwodu i spadki napięć na rezystancjach R_1 , R_2 i R_3 w funkcji R_3 przy stałych U_{E1} , U_{E2} , R_1 i R_2 .

Należy tak dobrać wartości R_1 i R_2 , aby regulując wartością R_3 uzyskać zmianę kierunku prądu I_2 oraz maksimum wskazań amperomierzy przy zmniejszaniu wartości R_3 . Jeden z pomiarów wykonać dla $I_2 = 0$.

Tab. 2.4

| Wartości stałe: $U_{E1} =$ $U_{E2} =$, $R_1 = \text{const.}$, $R_2 = \text{const.}$ | | | | | | | | | | | |
|---|---------|-------|-------|-------|-------|-------|------------|-------------|----------------------|----------|----------|
| Lp. | Pomiary | | | | | | Obliczenia | | | | |
| | I_1 | I_2 | I_3 | U_1 | U_2 | U_3 | R_3 | $I_1 + I_2$ | $U_1 - U_2 + U_{E2}$ | R_{1i} | R_{2i} |
| | A | A | A | V | V | V | Ω | A | V | Ω | Ω |
| 1. | | | | | | | | | | | |
| 2. | | | | | | | | | | | |
| 3. | | | | | | | | | | | |
| . | | | | | | | | | | | |
| . | | | | | | | | | | | |

Opracowanie wyników:

- wyznaczyć wartość rezystancji R_1 i R_2 analogicznie jak w punkcie 2.2, pozostałe obliczenia wykonać według zależności zawartych w części teoretycznej,
- obliczyć wartości napięcia $U_1 - U_2 + U_{E2}$ i porównać z wartością napięcia U_{E1} .
- we wspólnym układzie współrzędnych wykreślić przebiegi funkcji $I_1 = f(R_3)$, $I_2 = f(R_3)$ i $I_3 = f(R_3)$,
- obliczyć wartość R_3 przy której $I_2 = 0$,
- z wykresu funkcji $I_2 = f(R_3)$, odczytać wartość R_3 przy której $I_2 = 0$ i porównać z wartością R_3 wynikającą z obliczeń,
- uzasadnić charakter przebiegu prądów I_1 , I_2 i I_3 w gałęziach obwodu w funkcji rezystancji R_3 ,
- dokonać interpretacji przyczyn i skutków zmian zwrotu prądu I_2 przy zmianie rezystancji R_3 .

2.5. Sprawdzenie bilansu mocy przy regulowanym napięciu źródła U_{E1}

W obwodzie rozgałęzionym połączonym jak w punkcie 2.4 mierzone będą prądy w trzech gałęziach obwodu i spadki napięć na rezystancjach R_1 , R_2 , R_3 , w funkcji U_{E1} przy stałych wartościach U_{E2} , R_1 , R_2 i R_3 .

Należy tak dobrać wartości R_1 , R_2 , R_3 aby przy zmianie napięcia U_{E1} od 0 do 24V prądy I_1 i I_2 zmieniały zwroty.

Tab. 2.5

| Wartości stałe: $U_{E2} =$, $R_1 = \text{const.}$, $R_2 = \text{const.}$, $R_3 = \text{const.}$ | | | | | | | | | | | | | | | | |
|--|----------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------------|-------|-------|-------------------|-------------------|----------|----------|----------|--|
| Lp. | Pomiary | | | | | | | Obliczenia | | | | | | | | |
| | U_{E1} | I_1 | I_2 | I_3 | U_1 | U_2 | U_3 | P_1 | P_2 | P_3 | $P_1 + P_2 + P_3$ | $P_{E1} + P_{E2}$ | R_{1i} | R_{2i} | R_{3i} | |
| | V | A | A | A | V | V | V | W | W | W | W | W | Ω | Ω | Ω | |
| 1. | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 2. | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 3. | | | | | | | | | | | | | | | | |
| . | | | | | | | | | | | | | | | | |
| . | | | | | | | | | | | | | | | | |

Opracowanie wyników:

- wyznaczyć wartość rezystancji R_1 , R_2 , R_3 analogicznie jak w punkcie 2.2, pozostałe obliczenia wykonać według zależności zawartych w części teoretycznej,
- porównać sumy mocy źródeł i odbiorników obliczone w tabeli 2.5,
- wykreślić przebiegi funkcji: $I_1=f(U_{E1})$, $I_2=f(U_{E1})$, $I_3=f(U_{E1})$ we wspólnym układzie współrzędnych,
- obliczyć wartości U_{E1} , przy których $I_1 = 0$ i $I_2 = 0$,
- wartości te odczytać także z wykresów $I_1=f(U_{E1})$, $I_2=f(U_{E1})$ i porównać z obliczonymi.

Literatura:

[1] Z. Włodarczyk: Elektrotechnika cz. I, Skrypt WAT, Warszawa 1979.

[2] S. Bolkowski: Elektrotechnika teoretyczna, teoria obwodów elektrycznych, tom 1. WNT Warszawa 1998.