

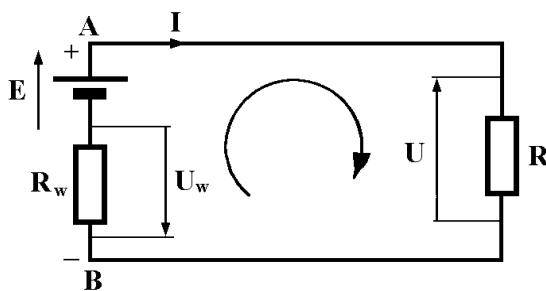
Ćwiczenie 1

POMIARY W OBWODACH PRĄDU STAŁEGO

1. Wiadomości ogólne

1.1. Obwód elektryczny

Obwód elektryczny jest to układ odpowiednio połączonych elementów przewodzących prąd i źródeł energii elektrycznej. Najprostszy obwód elektryczny nierozgałęziony składający się z jednego źródła i jednego odbiornika przedstawiono na rys. 1.1.



Rys. 1.1. Obwód elektryczny nierozgałęziony

Część obwodu pomiędzy zaciskami AB źródła z odbiornikiem R i przewodami łączącymi jest obwodem zewnętrznym. Prąd w obwodzie zewnętrznym płynie od zacisku „+” przez odbiornik R do zacisku „-” źródła i ma zwrot zgodny ze zwrotem siły elektromotorycznej E źródła.

Napięcie U na odbiorniku R i napięcie U_w na oporze wewnętrznym R_w źródła mają zwroty przeciwne do zwrotu prądu.

1.2. Źródła i odbiorniki

Źródła są to maszyny i urządzenia w których następuje zamiana różnego rodzaju energii na energię elektryczną, np. prądnice - energii mechanicznej na elektryczną, fotoogniwa - energii świetlnej na elektryczną, termoogniwa - energii cieplnej na elektryczną itp.

Podstawowymi wielkościami charakteryzującymi źródła prądu stałego są:

E - siła elektromotoryczna,

I_n - prąd znamionowy,

R_w - rezystancja wewnętrzna.

Odbiorniki są to maszyny, urządzenia i aparaty w których następuje zamiana energii elektrycznej na inny rodzaj energii, np.: silnik - energii elektrycznej na mechaniczną, grzejnik - energii elektrycznej na ciepłą, akumulator w procesie ładowania - energii elektrycznej na chemiczną itp. Podstawowymi wielkościami charakteryzującymi odbiorniki są:

U_n - napięcie znamionowe,

I_n - prąd znamionowy,

P_n - moc znamionowa.

1.3. Podstawowe prawa dotyczące obwodów elektrycznych

Prawo Ohma: prąd I płynący w obwodzie jest wprost proporcjonalny do napięcia zasilającego U i odwrotnie proporcjonalny do rezystancji R obwodu:

$$I = \frac{U}{R} \quad \text{lub} \quad U = I \cdot R, \quad R = \frac{U}{I}. \quad (1.1.)$$

Prawa Kirchhoffa.

Pierwsze prawo Kirchhoffa: suma algebraiczna prądów w węźle (węzeł - punkt w obwodzie w którym zbiegają się co najmniej trzy prądy) jest równa zero, tzn. suma prądów wpływających do węzła równa jest sumie prądów wypływających

$$\sum_k I_k = 0. \quad (1.2)$$

W zależności (1.2), prądy wpływające do węzła uwzględnia się ze znakiem „+” a wypływające z węzła ze znakiem „-”.

Drugie prawo Kirchhoffa: algebraiczna suma sił elektromotorycznych i napięć (na elementach pasywnych) w każdym obwodzie zamkniętym - oczku - jest równa zero

$$\sum_k (E_k + U_k) = 0. \quad (1.3)$$

W celu poprawnego zapisu drugiego prawa Kirchhoffa dla konkretnego obwodu zamkniętego z zastrzałkowanymi napięciami i siłami elektromotorycznymi, należy przyjąć za dodatni dowolny obieg obwodu, np. zgodny z obiegiem wskazówek zegara.

Napięcia i siły elektromotoryczne mające zwroty zgodne z przyjętym obiegiem w obwodzie, w zależności (1.3) uwzględnia się ze znakiem „+” a niezgodne ze znakiem „-”.

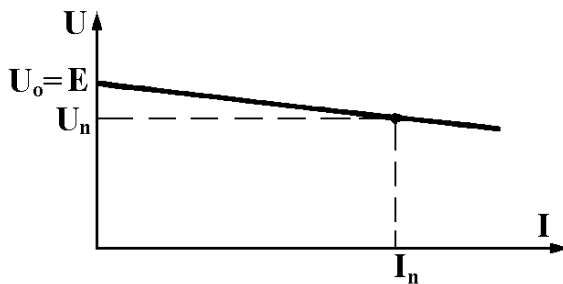
Dla obwodu elektrycznego z rys. 1.1, równanie (1.3) miałyby postać:

$$+ E - U - U_w = 0. \quad (1.4)$$

Równanie (1.4) przedstawione w postaci:

$$U = E - U_w = E - I \cdot R_w \quad (1.5)$$

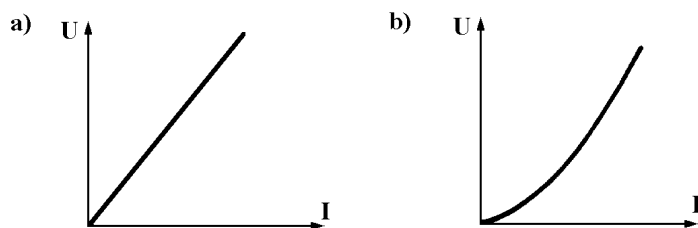
jest równaniem charakterystyki zewnętrznej źródła, ujmującej zależność napięcia U na zaciskach źródła w funkcji prądu obciążenia I (rys. 1.2).



Rys. 1.2. Charakterystyka zewnętrzna $U = f(I)$ źródła prądu stałego

1.4. Obwody liniowe i nieliniowe

Obwód jest liniowy jeżeli jego rezystancja jest stała (rys. 1.3a) a nieliniowy, jeżeli jego rezystancja zmienia się, np. przy zmianach temperatury, wskutek przepływu prądu elektrycznego (rys. 1.3b).



Rys. 1.3. Charakterystyki napięciowo - prądowe $U = f(I)$:
 a) odbiornika liniowego; b) odbiornika nieliniowego

Przykładem odbiornika nieliniowego jest żarówka elektryczna.

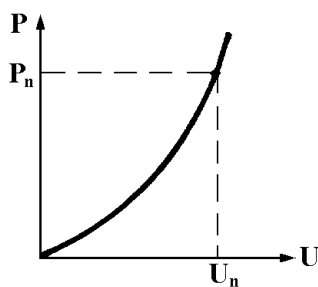
1.5. Moc prądu elektrycznego

Moc prądu elektrycznego jest to zdolność maszyny, urządzenia czy aparatu do wykonania pracy.

Dla odbiornika rezystancyjnego, moc może być opisana zależnościami:

$$P = U \cdot I, \quad P = I^2 \cdot R, \quad P = \frac{U^2}{R}. \quad (1.6)$$

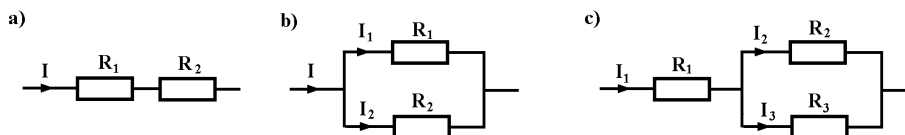
Dla odbiornika o stałej rezystancji, moc jest proporcjonalna do kwadratu napięcia.



Rys. 1.4. Zależność mocy odbiornika liniowego od napięcia zasilającego

1.6. Łączenie oporów

Połączeniem szeregowym elementów obwodu elektrycznego nazywamy takie połączenie, w którym przez wszystkie połączone elementy płynie ten sam prąd (rys. 1.5a).



Rys. 1.5. Połączenie rezystancji: a) szeregowe, b) równoległe, c) szeregowo-równoległe

Rezystancję zastępczą wyznacza się z zależności:

$$R_z = R_1 + R_2 . \quad (1.7)$$

Przy połączeniu równoległym, wszystkie elementy znajdują się pod działaniem tego samego napięcia (rys. 1.5b).

Rezystancję zastępczą wyznacza się z zależności:

$$\frac{1}{R_z} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \text{ lub } R_z = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2} . \quad (1.8)$$

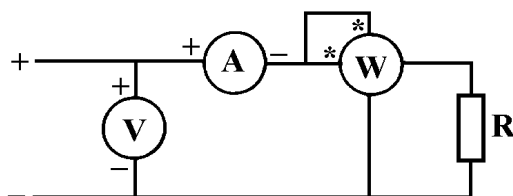
W połączeniu szeregowo-równoległym (nazywane jest również połączeniem mieszanym) występują elementy połączone szeregowo i elementy równoległe.

Dla układu oporów z rys. 1.5c, rezystancję zastępczą określa zależność:

$$R_z = R_1 + \frac{R_2 \cdot R_3}{R_2 + R_3} . \quad (1.9)$$

1.7. Pomiary napięcia, prądu i mocy

Do pomiarów napięcia i prądu w obwodach prądu stałego stosuje się przyrządy magnetoelektryczne, natomiast do pomiaru mocy - watomierze ferrodynamiczne. Sposób włączenia w obwód elektryczny poszczególnych przyrządów przedstawiono na rys. 1.6.



Rys. 1.6. Włączenie woltomierza, amperomierza i watomierza w obwód elektryczny

Moc odbiornika można również określić z zależności (1.6) na podstawie pomiarów napięcia i prądu.

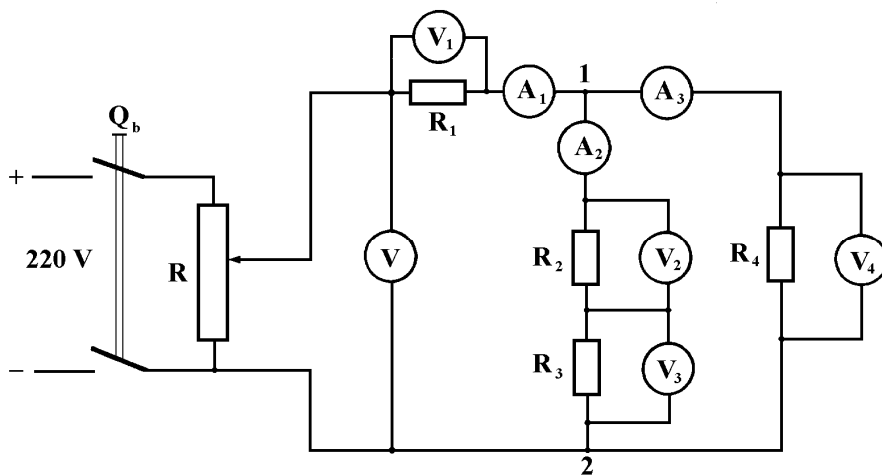
2. Wykonanie ćwiczenia

Część praktyczna ćwiczenia obejmuje:

- sprawdzenie I i II prawa Kirchhoffa,
- łączenie oporów,
- badanie odbiorników liniowych i nieliniowych.

2.1. Sprawdzenie I i II prawa Kirchhoffa

Zestawić układ pomiarowy przedstawiony na rys. 1.7.



Rys. 1.7. Układ pomiarowy do badania rozgałęzionego obwodu elektrycznego

Zapisać wartości rezystancji oporników włączonych w obwód.

$R_1 = \dots\dots \Omega$, $R_2 = \dots\dots \Omega$, $R_3 = \dots\dots \Omega$, $R_4 = \dots\dots \Omega$.

Dla jednej wartości napięcia U zasilającego obwód (wartość napięcia U ustalić z prowadzącym zajęcia) dokonać odczytów napięć i prądów.

Wyniki pomiarów zestawić w tabeli 1.1.

Tabela 1.1

	U	I ₁	I ₂	I ₃	U ₁	U ₂	U ₃	U ₄
	V	A	A	A	V	V	V	V
Pomiar								
Obliczenia	----							

Dla tej samej zadanej wartości napięcia zasilającego U i danych rezystancji oporników, obliczyć rozptyw prądów i napięcia na poszczególnych opornikach, zgodnie z p. 2.1.1.

Wyniki obliczeń zestawień również w tabeli 1.1.

Porównać wartości prądów i napięć uzyskane z obliczeń z wartościami uzyskanymi z pomiarów, uzasadnić ewentualne różnice.

Na podstawie wyników uzyskanych z pomiarów, dla badanego obwodu, sprawdzić słuszność I i II prawa Kirchhoffa.

2.1.1. Obliczanie obwodów rozgałęzionych

Dla obwodu przedstawionego na rys. 1.7, dla zadanych wartości rezystancji oporników R₁, R₂, R₃, R₄ i zadanej wartości napięcia zasilającego U, w obliczeniach rozptywu prądów i rozkładu napięć, postępować następująco:

$$I_1 = I_2 + I_3$$

$$I_1 R_1 + I_2 (R_2 + R_3) = U$$

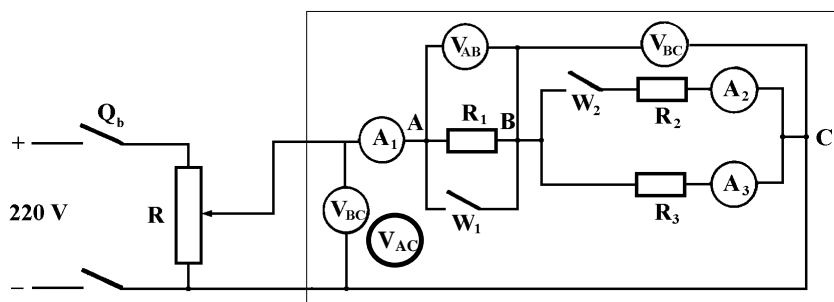
$$I_2 (R_2 + R_3) - I_3 R_4 = 0$$

Moc tracona w całym rozpatrywanym obwodzie:

$$P = U \cdot I_1.$$

2.2. Łączenie oporów

Zestawić układ pomiarowy przedstawiony na rys. 1.8.



Rys. 1.8. Schemat układu pomiarowego

Dla jednej wartości napięcia U_{AC} zasilającego układ (wartość napięcia U_{AC} uzgodnić z prowadzącym zajęcia), dokonać odczytów napięć i prądów dla następujących przypadków:

- połączenie szeregowe rezystancji R_1 i R_3 , wyłączniki W_1 i W_2 otwarte,
- połączenie równoległe rezystancji R_2 i R_3 , wyłączniki W_1 i W_2 zamknięte,
- połączenie szeregowe rezystancji R_1 z układem równoległym rezystancji R_2 i R_3 , wyłącznik W_1 - otwarty, W_2 - zamknięty.

Wyniki pomiarów i obliczeń zestawień w tabeli 1.2.

Tabela 1.2.

Układ	Wyniki pomiarów						Wyniki obliczeń				
	U_{AC} V	U_{AB} V	U_{BC} V	I_1 mA	I_2 mA	I_3 mA	R_1 Ω	R_2 Ω	R_3 Ω	R_z Ω	R_{zobl} Ω
a											
b											
c											

Rezystancje oporników R_1 , R_2 , R_3 oraz rezystancję zastępczą R_z obliczać z zależności:

$$R_1 = \frac{U_{AB}}{I_1}, \quad R_2 = \frac{U_{BC}}{I_2}, \quad R_3 = \frac{U_{BC}}{I_3}, \quad R_z = \frac{U_{AC}}{I_1}.$$

Na podstawie wyników obliczeń zestawionych w tabeli 1.2, obliczyć dla każdego z układów a, b, c rezystancje zastępcze R_{zobl} z zależności:

$$R_{za} = R_1 + R_3$$

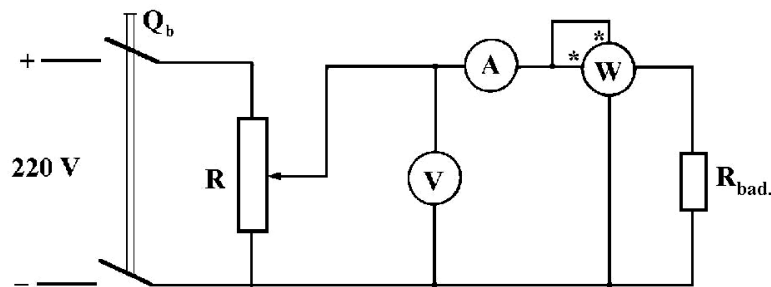
$$R_{zb} = \frac{R_2 \cdot R_3}{R_2 + R_3}$$

$$R_{zc} = R_1 + \frac{R_2 \cdot R_3}{R_2 + R_3}$$

i porównać je z rezystancjami R_z obliczonymi z napięcia U_{AC} zasilającego układ i prądu I_1 pobieranego przez układ.

2.3. Badania odbiornika liniowego

Zestawić układ pomiarowy przedstawiony na rys. 1.9.



Rys. 1.9. Schemat układu pomiarowego

Do badań zastosować opornik laboratoryjny drutowy R_{bad} .

Dane rezystora badanego (R ; I_n) zamieścić w sprawozdaniu.

Zmieniając napięcie zasilające w granicach od U_{min} (możliwości odczytu przyrządów) do U_{max} , przy którym prąd w obwodzie osiągnie wartość $I \approx 1,1 I_n$ (I_n - prąd znamionowy opornika) dokonać około 8 punktów pomiarowych.

Wyniki pomiarów i obliczeń zestawić w tabeli 1.3.

Tabela 1.3.

Lp.	Pomiary			Obliczenia	
	U	I	P	R	U · I
	V	A	W	Ω	W
1					
...					
8					

Na jednym wykresie narysować charakterystyki:

$$I, P, R = f(U).$$

Na podstawie otrzymanych charakterystyk, dla prądu $I = I_n$ ustalić wartości U i R badanego rezystora.

Dla dwóch dowolnie wybranych punktów pomiarowych sprawdzić zależność (1.10) wynikającą ze związków (1.6);

$$\frac{P_1}{P_2} = \left(\frac{U_1}{U_2} \right)^2, \quad (1.10)$$

gdzie: 1 i 2 - wybrane punkty pomiarowe.

Na podstawie przeprowadzonych badań ustalić, czy badany odbiornik jest odbiornikiem liniowym.

2.4. Badania odbiornika nieliniowego

Układ pomiarowy jak w p. 2.3.

Jako odbiornik nieliniowy zastosować żarówkę z żarnikiem wolframowym o napięciu znamionowym $U_n = 220 \text{ V}$.

Zmieniając napięcie zasilające w granicach od $0 \div 1,1U_n$ dokonać około 8 punktów pomiarowych.

Wyniki pomiarów i obliczeń zestawić w tabeli 1.4.

Tabela 1.4.

Lp.	Pomiary			Obliczenia
	U V	I A	P W	R Ω
1				
....				
8				

Na jednym wykresie narysować charakterystyki:

$$I, P, R = f(U).$$

Zaznaczyć wartości I, P, R odpowiadające znamionowemu napięciu zasilającemu. Przedyskutować przebiegi otrzymanych charakterystyk.

2.5. Wykaz przyrządów i aparatów

Należy, zgodnie z wytycznymi podanymi w części ogólnej skryptu podać wszystkie przyrządy pomiarowe, urządzenia i aparaty wykorzystywane w ćwiczeniu.

Zagadnienia do samodzielnego opracowania

1. Obwód elektryczny: elementy składowe oraz zasady strzałkowania sił elektromotorycznych, prądów i napięć.
2. Zasada działania miernika magnetoelektrycznego i elektrodynamicznego.
3. Prawo Ohma i prawa Kirchhoffa.
4. Charakterystyka zewnętrzna źródła: równanie i wykres $U = f(I)$.
5. Pomiary: napięcia, prądu i mocy w obwodach prądu stałego.
6. Połączenia: szeregowo, równoległe i mieszane oporów.
7. Obwody liniowe i nieliniowe.
8. Metoda klasyczna rozwiązywania obwodów elektrycznych.
9. Wpływ napięcia zasilającego na moc odbiornika o stałej rezystancji.
10. Zasada doboru zakresu mierników. Wpływ zakresu na uchyb względny pomiaru.

Literatura:

- [1] Opolski A., Przeździecki F.: Elektrotechnika i elektronika. PWRiL, W-wa 1986.
- [2] Wawszczak J., Walusiak S., Rutka Z.: Laboratorium elektrotechniki i elektroniki. Skrypt Politechniki Lubelskiej. Lublin 1989.
- [3] Wawszczak J., Adamkiewicz J.: Elektrotechnika w zadaniach. Skrypt Politechniki Lubelskiej. Lublin 1989.
- [4] Miedziński B.: Elektrotechnika. Podstawy i instalacje elektryczne. Wydawnictwo Naukowe PWN. Warszawa 1997.
- [5] Hempowicz P., Kiełsznia R., Piłatowicz A. i inni: Elektrotechnika i elektronika dla nieelektryków. Wydawnictwo Naukowo-Techniczne. Warszawa 1999.