


1. Cel ćwiczenia.

Celem ćwiczenia jest poznanie metod pomiaru podstawowych wielkości fizycznych w obwodach prądu stałego za pomocą przyrządów pomiarowych.

2. Wstęp teoretyczny.

Pomiary podstawowych wielkości fizycznych w obwodach prądu stałego tradycyjnie wykonywane były przy pomocy elektrycznych przyrządów pomiarowych działających na bazie ustroju magnetoelektrycznego . Symbol graficzny ustroju magnetoelektrycznego umieszczony jest zawsze na płycie czołowej konwencjonalnych mierników magnetoelektrycznych.

Dzisiaj najczęściej używamy mierników uniwersalnych z wyświetlaczami cyfrowymi.

W obwodach prądu stałego najczęściej mierzymy napięcie, natężenie prądu, rezystancję i czasami moc.

W przyrządach pomiarowych działających na bazie ustroju magnetoelektrycznego w wyniku oddziaływania pola magnetycznego magnesu trwałego z prądem płynącym przez cewkę następuje obrót cewki i wychylenie połączonej z nią wskazówki przyrządu proporcjonalnie do przepływu prądu:

$$\alpha = f(W)$$

przy czym:

α – oznacza wychylenie wskazówki przyrządu pomiarowego,

W – oznacza wielkość mierzoną.

Ze powyższego wzoru wynika, że wychylenie wskazówki przyrządu pomiarowego jest funkcją wartości mierzonej.

Czułością miernika nazywamy wychylenie odpowiadające jednostce wielkości mierzonej.

$$S = \frac{\Delta\alpha}{\Delta W}$$

Stałą miernika nazywamy wartość wielkości mierzonej przypadającą na jedną działkę:

$$c = \frac{1}{S} = \frac{\Delta W}{\Delta \alpha}$$

Błędem bezwzględnym pomiaru nazywamy różnicę pomiędzy wartością zmierzoną W_m i wartością poprawną W :

$$\Delta = W_m - W$$

Błąd względny najczęściej wyrażany jest w procentach i obliczany według następującego wzoru:

$$\delta_w = \frac{\Delta}{W} \cdot 100\% = \frac{W_m - W}{W} \cdot 100\% \cong \frac{\Delta}{W_m} \cdot 100\%$$

Przy obliczaniu wartości mierzonej wielkości elektrycznej najpierw należy obliczyć stałą miernika, na przykład dla woltomierza:

$$c = \frac{\text{zakres} \left[\frac{V}{dz} \right]}{\alpha_{max}}$$

przy czym:

zakres = zakres pomiarowy – odpowiada wartości wielkości mierzonej powodującej pełne wychylenie wskazówki miernika (podany jest przy przełączniku zakresów lub przy zaciskach miernika),

α_{max} – pełne wychylenie wskazówki miernika.

Wartość zmierzonej wielkości elektrycznej, na przykład napięcia obliczamy na podstawie wzoru:

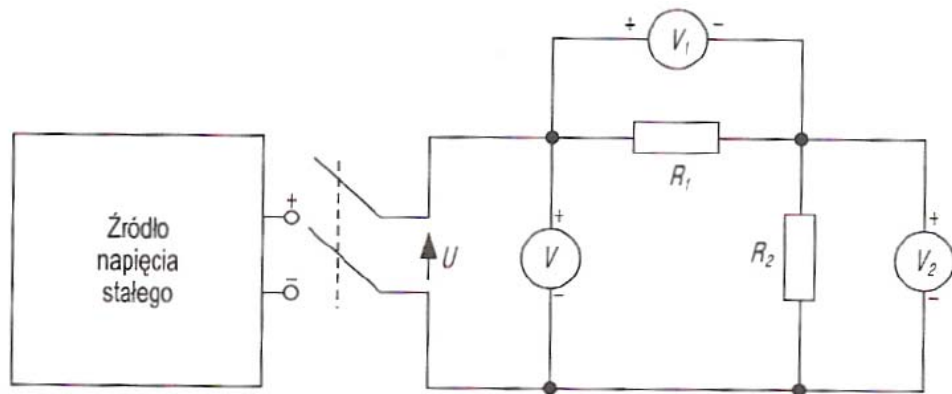
$$U = c \cdot \alpha$$

Dokładność pomiaru zależy od klasy dokładności przyrządu. Klasa dokładności przyrządu określa błąd względny wyrażony w procentach.

Istnieje 5 klas dokładności przyrządów wskazówkowych: 0,2; 0,5; 1; 1,5; 2,5. Tylko przy wychyleniu równym α_{\max} procentowy błąd pomiaru nie jest większy od klasy przyrządu. Przy mniejszym błąd procentowy pomiaru rośnie w stosunku α_{\max}/α .

2.1. Pomiar napięcia stałego.

Pomiar napięcia stałego na dowolnych zaciskach polega na równoległym dołączeniu **woltomierza** z uwzględnieniem biegunowości. Mierząc napięcie zawsze plus woltomierza podłączamy do zacisku o potencjale wyższym.



Rys.1. Podłączenie woltomierza prądu stałego

Zakres woltomierza powinien być większy od wartości mierzonego napięcia, a wychylenie wskazówki α powinno zawierać się pomiędzy $2/3$ pełnego wychylenia a pełnym jej wychyleniem.

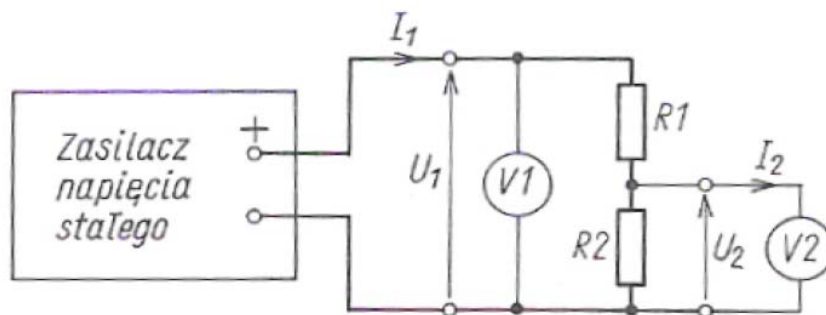
Istnieją różne metody pomiaru napięć stałych. Pomiar napięcia stałego może być wykonany przy pomocy:

- woltomierza magnetoelektrycznego,
- przyrządu uniwersalnego (pomiar U , I oraz R na wielu zakresach),
- multimetru analogowego (uniwersalny przyrząd elektroniczny z odczytem analogowym,

- stacjonarnego multimetru cyfrowego pozwalającego na uzyskanie bardzo dużej dokładności pomiarów (przykładowa rozdzielczość wynosi $1 \mu\text{V}$ i dokładność $0,001\%$),
- oscyloskopu, którego wykorzystanie wyłącznie do pomiaru składowej stałej napięcia jest sposobem nietypowym, mało dokładnym i w praktyce rzadko stosowanym.

2.2. Pomiary napięcia stałego z zastosowaniem dzielnika napięcia.

W wielu przypadkach zachodzi konieczność pomiaru napięcia o wartości większej niż największy zakres pomiarowy woltomierza. Stosuje się wtedy dzielnik napięcia.



Rys.2. Pomiar napięcia za pomocą dzielnika

Dzielnik napięcia (rys.2) jest złożony z dwóch rezystorów połączonych szeregowo.

Dołącza się go do zacisków źródła napięcia U_1 . Napięcie U_1 wymusza przepływ prądu:

$$I_1 = \frac{U_1}{R_1 + R_2}$$

Prąd ten wywołuje na rezystorze R_2 spadek napięcia:

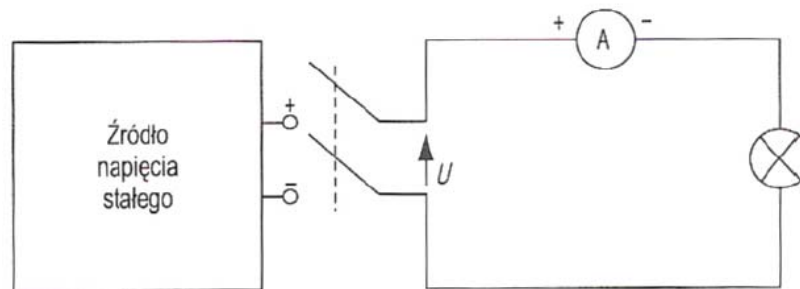
$$U_2 = I_1 \cdot R_2 = \frac{R_2}{R_1 + R_2} \cdot U_1$$

pod warunkiem, że pomiar napięcia U_2 odbywa się bez poboru prądu ($I_2 = 0$) lub gdy prąd jest pomijalnie mały.

Znając wartości rezystancji R_1 i R_2 oraz napięcia U_2 można określić wartość napięcia $U_1 > U_2$.

$$U_1 = \frac{R_1 + R_2}{R_2} \cdot U_2$$

2.3. Pomiar natężenia prądu stałego.



Rys.3. Sposób podłączenia amperomierza

Pomiar natężenia prądu stałego przebiega podobnie jak pomiar napięcia:

- wybieramy amperomierz o zakresie większym od przewidywanej lub obliczonej wartości natężenia prądu,
- amperomierz w obwodzie łączymy zawsze na drodze przepływu mierzonego prądu w szereg z elementami, przez który płynie mierzony prąd,
- plus amperomierza łączymy od strony plusa napięcia zasilającego,
- obliczamy stałą amperomierza

$$c = \frac{\text{zakres}}{\alpha_{max}} \left[\frac{A}{dz} \right]$$

- obliczamy wartość natężenia prądu

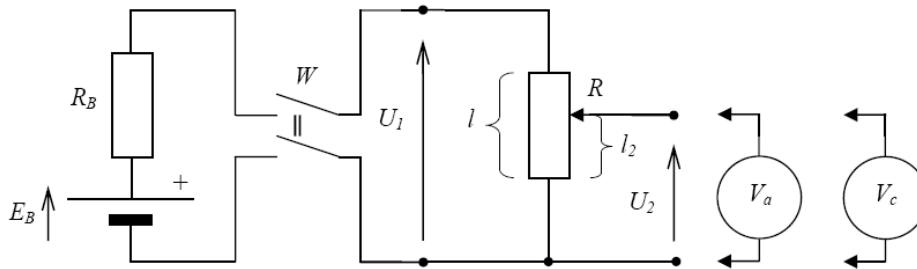
$$I = c \cdot \alpha$$

Przy pomiarze prądów o małych wartościach stałą wyrażamy w mA/dz lub $\mu\text{A}/\text{dz}$. Stacjonarny multimetr cyfrowy mierzy prąd stały z rozdzielczością 100 nA i dokładnością 0,005%.

2.4. Regulacja napięcia elektrycznego w obwodach prądu stałego.

2.4.1. Jednostopniowy układ nastawiania (regulacji) napięcia.

Często zachodzi konieczność budowania układów elektrycznych, w których można nastawiać żadaną wartość napięcia w zadanych granicach. Stosuje się wtedy źródło napięcia i rezystor nastawny w układzie dzielnika napięcia (rys.4).



Rys.4. Schemat jednostopniowego układu nastawiania napięcia

Układ taki nazywa się powszechnie układem potencjometrycznym. Końce rezystora R łączy się z biegunami ogniwa o sile elektromotorycznej E_B za pośrednictwem wyłącznika W .

Do jednego z końców rezystora i suwaka dołącza się woltmierz analogowy magnetoelektryczny V_a lub cyfrowy V_c . Na zaciskach woltomierza występuje napięcie U_2 , którego wartość zależy od położenia suwaka rezystora R .

Jeżeli wykorzystana się ruch postępowy suwaka, to:

$$U_2 = \frac{l_2}{l} \cdot U_1$$

Przy ruchu obrotowym zależność przyjmuje postać:

$$U_2 \approx \frac{\gamma_2}{\gamma} \cdot U_1$$

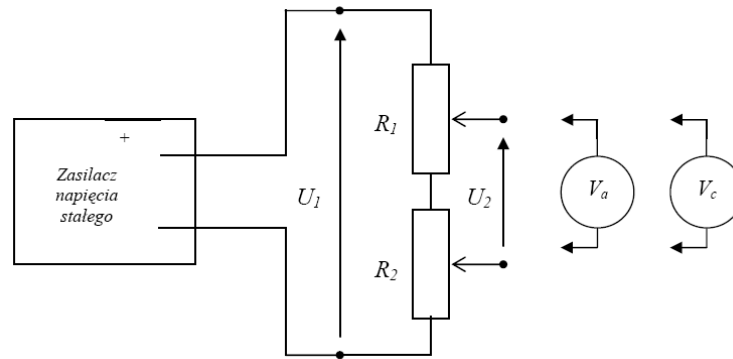
przy czym:

γ_2 - kąt obrotu suwaka,
 γ - całkowity kąt obrotu.

Potencjometr R umożliwia nastawianie napięcia w zakresie od 0 do U_{\max} . Napięcie U_{\max} jest zbliżone do napięcia U_1 .

2.4.2. Dwustopniowy układ nastawiania napięcia.

W celu dokładniejszego nastawiania napięcia, stosuje się dwa rezystory nastawne połączone szeregowo (rys.5).

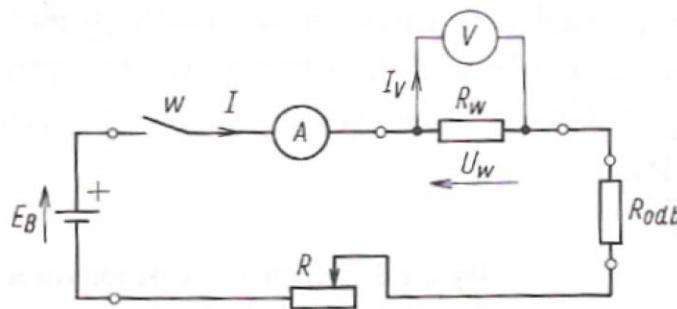


Rys.5. Schemat dwustopniowego układu nastawiania napięcia

Układ rezystorów połączonych szeregowo zasila się ze źródła napięcia stałego zasilacza napięcia stałego lub baterii akumulatorów. Woltomierz analogowy magnetoelektryczny V_a lub woltomierz cyfrowy V_c służą do pomiaru napięcia między suwakami ruchomymi tych rezystorów. Rezystor o większej rezystancji znamionowej służy do zgrubnego nastawiania napięcia, a rezystor o mniejszej rezystancji znamionowej - do precyzyjnego nastawiania napięcia.

2.5. Regulacja natężenia prądu.

Pomiary i regulację (nastawianie) natężenia prądu stałego można wykonać w układzie przedstawionym poniżej.

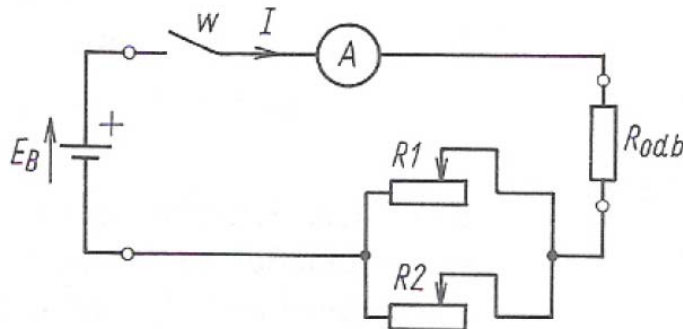


Rys.6. Schemat jednostopniowego układu nastawiania prądu i pośredniej metody jego pomiaru

Do pomiaru spadku napięcia U_w na rezystorze wzorcowym najlepiej zastosować woltomierz elektroniczny (analogowy lub cyfrowy). Rezystor R_{odb} będący odbiornikiem, powinien być tak dobrany, aby nie obciążał zbytnio źródła napięcia (prąd I nie powinien przekraczać dopuszczalnej wartości prądu obciążenia źródła). Wartość rezystora nastawnego R dobiera się zgodnie z zależnością $R \approx 10 R_{odb}$, natomiast rezystor R_w dobiera się do zakresu pomiarowego woltomierza $U_n \leq IR_w$, przy czym U_n - zakres woltomierza.

Wszystkie rezystory powinny mieć odpowiednią obciążalność prądową. Przed pomiarami należy sprawdzić, czy amperomierz umożliwia pomiar prądu w całym zakresie nastawiania $I_{min} < I < I_{max}$ i nastawić rezystor R na maksimum rezystancji tak, aby w chwili zamknięcia wyłącznika popłynął najmniejszy prąd.

Pomiaru i regulacji (nastawiania) natężenia prądu stałego można wykonać w układzie dwustopniowym (rys. 7).



Rys.7. Schemat dwustopniowego układu nastawiania prądu

Jednostopniowe układy nastawiania prądu umożliwiają ustawienie żądanej wartości prądu. Nie zezwalają jednak na precyzyjne nastawienie żądanej wartości prądu. Stosuje się wtedy układy przedstawione na rys.7. Układ zawiera dwa rezystory suwakowe R_1 i R_2 połączone równolegle – jeden o małej, a drugi o dużej rezystancji znamionowej (na przykład $R_1 \approx 10 R_{odb}$, $R_2 \approx 10 R_{odb}$).

Rezystor o małej rezystancji znamionowej służy do „zgrubnego” nastawiania, a rezystor o dużej rezystancji znamionowej – do „precyzyjnego” nastawiania prądu. Do pomiaru prądu płynącego przez rezystory nastawne i odbiornik służy amperomierz

magnetoelektryczny A. Coraz częściej stosowany jest dwustopniowy układ nastawiania prądu z szeregowo połączonymi rezystorami R_1 i R_2 .

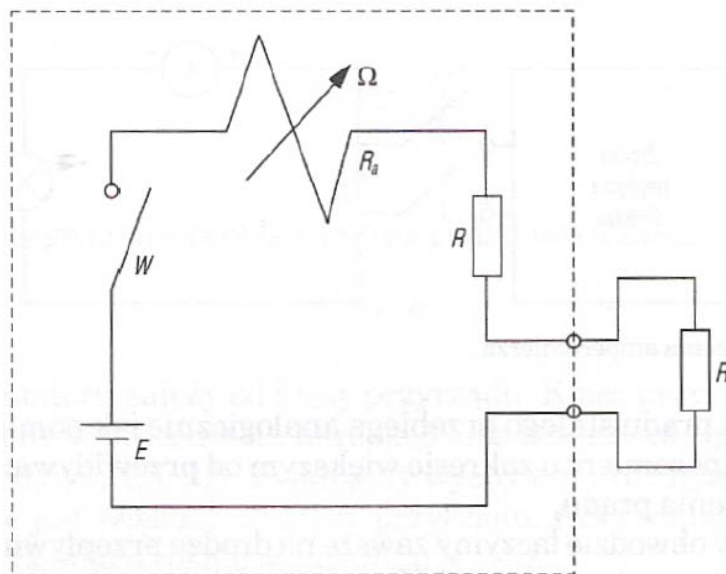
2.6. Pomiary rezystancji

Pomiar rezystancji możemy wykonać przy pomocy omomierza lub multimetru (są to metody bezpośrednie) lub przy pomocy metod pośrednich, do których należą metoda techniczna i mostki pomiarowe.

Mostek Wheatstone'a pozwala na uzyskanie dużej dokładności pomiaru, ale wymaga zastosowania galwanometru o bardzo dużej czułości prądowej.

Mostek Thomsona służy do pomiaru rezystancji małych z wyeliminowaniem wpływu rezystancji styków na wynik pomiaru. Wiele multimetrów cyfrowych posiada funkcję sprawdzania ciągłości obwodu.

Pomiar sprowadza się do stwierdzenia, że w obwodzie nie występuje przerwa dla przepływu prądu elektrycznego.



Rys.8. Układ połączeń omomierza szeregowego

Omierz szeregowy składa się z miliamperomierza o rezystancji R_a , rezystora manganinowego o rezystancji R oraz ogniwa suchego o sile elektromotorycznej E .

Podziałka omomierza szeregowego wyskalowana jest w omach. Maksymalne wychylenie wskazówki odpowiada zwarceniu w obwodzie zewnętrznym. Skala przyrządu jest nieliniowa, a podziałka posiada trzy charakterystyczne punkty:

- dla $R_x = 0$ wychylenie wskazówki $\alpha = \alpha_{\max}$,
- dla $R_x = \infty$ wychylenie wskazówki $\alpha = 0$,
- dla $R_x = R$ wychylenie wskazówki $\alpha = 0,5\alpha_{\max}$.

Ponieważ siła elektromotoryczna w funkcji czasu maleje, to przeprowadza się korekcję zera przy pomocy bocznika magnetycznego. W tym celu zwiera się zaciski omomierza i przesuwając bocznik tak długo, aż wskazówka przyrządu znajdzie się w położeniu odpowiadającym $R_x = 0$.



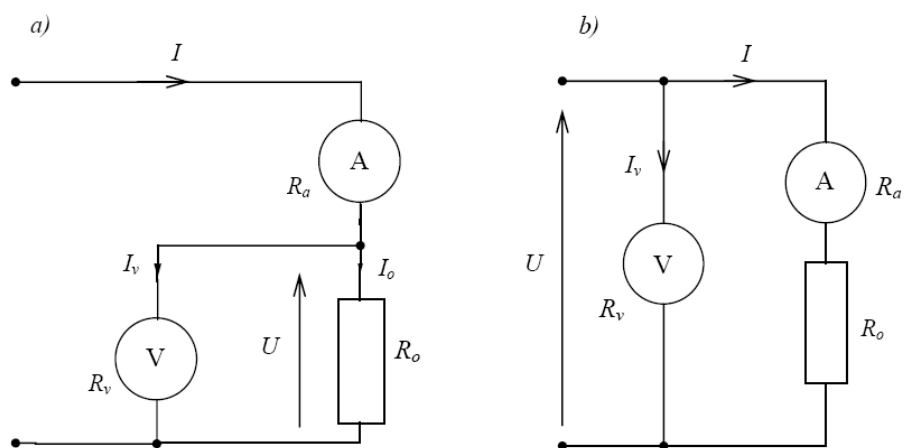
Rys.9. Podziałka omomierza szeregowego

2.6.1. Pomiar rezystancji metodą techniczną

Pomiar rezystancji metodą techniczną polega na pomiarze spadku napięcia na badanym rezystorze U oraz natężenia prądu I , a następnie wyliczeniu rezystancji na podstawie prawa Ohma. Przed przystąpieniem do pomiaru najpierw należy wybrać układ pomiarowy. W tym celu obliczamy średnią geometryczną rezystancji wewnętrznych amperomierza i woltomierza:

$$R_g = \sqrt{R_a \cdot R_v}$$

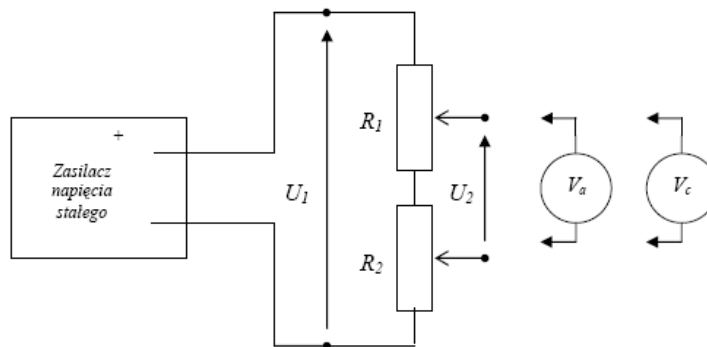
Jeżeli mierzona rezystancja jest większa od R_g , wówczas wybieramy układ do pomiaru rezystancji dużych. Właściwy wybór układu pozwala na zmniejszenie błędu pomiarowego – dla $R_x \gg R_g$ spadku napięcia na amperomierzu nie musimy uwzględniać.



Rys.10. Pomiar rezystancji metoda techniczną
a) układ do pomiaru rezystancji małych, b) układ do pomiaru rezystancji dużych.

3. Przebieg ćwiczenia.

3.1. Wykonywanie pomiarów i regulacji napięcia elektrycznego w obwodach prądu stałego o różnej konfiguracji



Rys.3.1. Schemat dwustopniowego nastawiania napięcia

Dla kilku wartości napięcia źródła i kilku zadanych położenia suwaków ruchomych rezystorów nastawnych, należy odczytać z woltomierza analogowego wartości napięcia U_2 , a wyniki odczytów zapisać w tabeli poniżej.

Należy również wyznaczyć zależność napięcia U_2 od położenia suwaka każdego z rezystorów:

$l_2/l = 0 \dots 1, l_2/l = 1/2$ - dla rezystora R_1

$l_2/l = 0 \dots l_2/l = 1/2$ - dla rezystora R_2 .

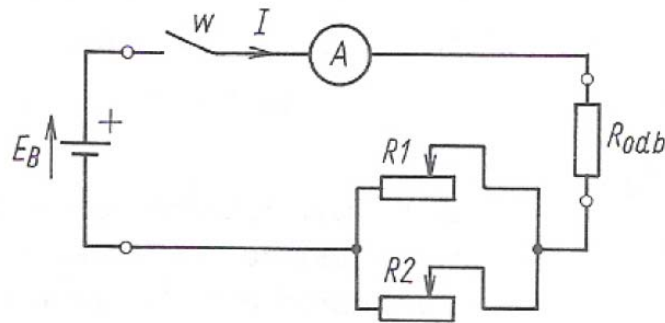
Porównaj zakres regulacji napięcia U_2 poszczególnymi rezystorami. Pomiarów powtórzyc używając przyrządu cyfrowego.

Wyniki pomiarów należy zanotować w tabeli 3.1

Tabela 3.1.

| R_1 | R_2 | l_2/l rezystor R_1 | l_2/l rezystor R_2 | U_1 | α_{\max} | U_n | C_U | α | U_2 (woltomierz analogowy) | U_2 (woltomierz cyfrowy) |
|----------|----------|------------------------------|------------------------------|-------|-----------------|-------|-------|----------|------------------------------------|----------------------------------|
| Ω | Ω | - | - | V | dz | V | V/dz | dz | V | V |
| | | | | | | | | | | |

3.2. Wykonywanie pomiarów i regulacji natężenia prądu elektrycznego w obwodach prądu stałego o różnej konfiguracji



Rys.3.2. Schemat dwustopniowego układu nastawiania prądu

W układzie, jak na rys.3.2, należy wyznaczyć zakres nastawiania prądu

$$\Delta I = I_{max} - I_{min}$$

Zakres ten należy wyznaczyć dwukrotnie: raz przy suwaku ruchomym rezystora R_1 ustawionym w położeniu środkowym, ustawiając suwak ruchomy rezystora R_2 w położeniach skrajnych, a drugi raz – przy suwaku ruchomym rezystora R_2 ustawionym w położeniu środkowym, ustawiając suwak ruchomy rezystora R_1 w położeniach skrajnych.

Wyniki pomiarów zapisać w tabeli 3.2.

Tabela 3.2.

| $R_1 = \dots\dots\Omega$ | | | $R_1 = \dots\dots\Omega$ | | |
|--------------------------|-----------|------------|--------------------------|-----------|------------|
| I_{min} | I_{max} | ΔI | I_{min} | I_{max} | ΔI |
| A | A | A | A | A | A |
| | | | | | |

3.3. Wykonywanie pomiarów rezystancji (metodą techniczną)

3.3.1. Metoda bezpośrednia

1. Za pomocą miernika cyfrowego dokonać pomiaru rezystancji dwóch rezystorów.
2. Nastawić wartość rezystancji na rezystorze suwakowym (dekadowym).
3. Nastawić odpowiedni zakres na przyrządzie pomiarowym.
4. Podłączyć przewody do przyrządu pomiarowego.
5. Dokonać pomiaru rezystancji metodą bezpośrednią.
- 5a. Odczytać wartość rezystancji nastawionej na rezystorze dekadowym

UWAGA!!!

NIE ZMIENIAJ POŁOŻENIA SUWAKA NA REZYSTORZE SUWAKOWYM (DEKADOWYM)

6. Wyniki pomiarów zanotuj w tabeli 3.3.

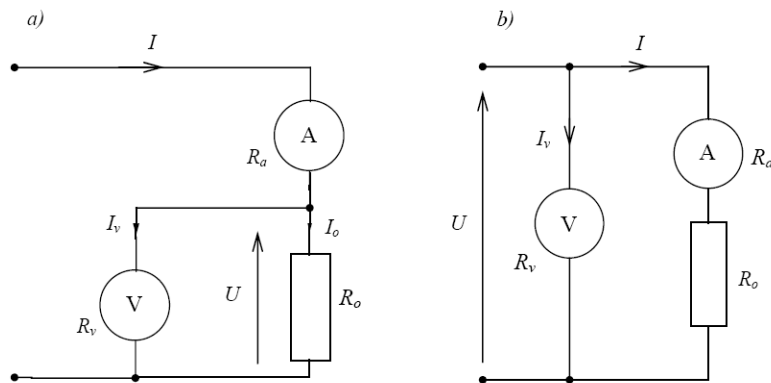
Tabela 3.3.

| | Rezystor suwakowy | | Rezystor dekadowy | | | |
|---------------------|-------------------|----------|-------------------|----------|----------|----------|
| | R_1 | R_2 | R_1 | R_2 | R_{11} | R_{21} |
| Metoda bezpośrednia | Ω | Ω | Ω | Ω | Ω | Ω |
| | | | | | | |

R_1, R_2 – wartości odczytane z mierników

R_{11}, R_{21} – wartości nastawione na rezystorze dekadowym

3.3.2. Metoda pośrednia



Rys.3.3. Pomiar rezystancji metodą techniczną:

- a) układ do pomiaru małych rezystancji (układ poprawnie mierzonego napięcia);
 b) układ do pomiaru dużych rezystancji (układ poprawnie mierzonego prądu);

1. Za pomocą miernika analogowego (cyfrowego) dokonać pomiaru rezystancji dwóch rezystorów.
2. Zestawić układ z rys. 3.3a (po dokonaniu wszystkich pomiarów zestawić układ z rys. 3.3b).
3. Nastawić odpowiedni zakres na przyrządach pomiarowych.
4. Włączenie obwodu pomiarowego może być dokonane po uprzednim sprawdzeniu układu przez prowadzącego.
5. Dokonać pomiarów prądu i napięcia uzupełniając tabelkę 3.4.
6. Na podstawie prawa Ohma obliczyć rezystancję badanych rezystorów korzystając z danych otrzymanych z pomiarów.
7. Pamiętaj, że należy spisać dane przyrządów pomiarowych (klasa dokładności, zakresy na których przeprowadzane były badania).
8. Zwrócić uwagę na jednostki mierzonych wielkości.

Tabela 3.4.

| Metoda pośrednia | Rezystor suwakowy | | | | Rezystor dekadowy | | | |
|---------------------|-------------------|----------------|-----------------|----------------|-------------------|----------------|-----------------|----------------|
| | Miernik analogowy | | Miernik cyfrowy | | Miernik analogowy | | Miernik cyfrowy | |
| | Dane miernika: | | Dane miernika: | | Dane miernika: | | Dane miernika: | |
| Schemat 3.3a | U [V] | I [A] | U [V] | I [A] | U [V] | I [A] | U [V] | I [A] |
| | | | | | | | | |
| | R [Ω] | R [Ω] | R [Ω] | R [Ω] | R [Ω] | R [Ω] | R [Ω] | R [Ω] |
| | | | | | | | | |
| Schemat 3.3b | U [V] | I [A] | U [V] | I [A] | U [V] | I [A] | U [V] | I [A] |
| | | | | | | | | |
| | R [Ω] | R [Ω] | R [Ω] | R [Ω] | R [Ω] | R [Ω] | R [Ω] | R [Ω] |
| | | | | | | | | |

3.3.3. Błędy pomiarowe

1. Korzystając z danych otrzymanych w pkt. 3.3.1 oraz 3.3.2 dokonać obliczeń błędów: względnego i bezwzględnego, zwracając uwagę na metody pomiarów.
2. Wyniki obliczeń zapisać w tabeli 3.5.
3. Za wartość wzorcową uważa się wyniki pomiarów zawarte w tabeli 3.3.
4. Za wartość mierzoną uważa się wyniki pomiarów i obliczeń zawartych w tabeli 3.4.

Tabela 3.5.

| Metoda | Rezystor suwakowy | | Rezystor dekadowy | |
|-----------------------------------|-------------------|------------|-------------------|------------|
| | Δ | $\delta\%$ | Δ | $\delta\%$ |
| Metoda bezpośrednia | | | | |
| | | | | |
| Metoda pośrednia: schemat 3.3a | | | | |
| | | | | |
| Metoda pośrednia: schemat 3.3a | | | | |
| | | | | |

4. Co powinno zawierać sprawozdanie.

Strona tytułowa

- 1) Cel przeprowadzonego ćwiczenia
- 2) Przebieg ćwiczenia
 - a) tabele i schematy pomiarowe z wszystkich zadań (tabele wypełnione)
 - b) przykładowe obliczenia
 - c) spis użytych przyrządów pomiarowych wykorzystanych do pomiarów (włącznie z obiektami badanymi)
 - d) wykresy i charakterystyki (jeżeli trzeba wykonać)
- 3) Wnioski (napisane własnoręcznie)

UWAGI KOŃCOWE

- 1) Sprawozdanie należy oddać prowadzącemu zajęcia **do 2 tyg od wykonania ćwiczenia**
- 2) Sprawozdanie oddaje się jedno na sekcję / grupę ćwiczeniową
- 3) Na stronie tytułowej sprawozdania mają być wypisane wszystkie osoby z danej grupy ćwiczeniowej, które wykonywały zadania ćwiczeniowe
- 4) Nazwisko i imię osoby wykonującej sprawozdanie należy podkreślić i pogrubić
- 5) Do sprawozdania należy dołączyć protokół z ćwiczeń podpisany przez prowadzącego zajęcia
- 6) **BEZ PROTOKOŁU LUB BRAKU PODPISU PROWADZĄCEGO W PROTOKOLE** zadania ćwiczeniowe, a także sprawozdanie **NIE JEST WAŻNE I NIE BĘDZIE OCENIANE**
- 7) Pełny wzór sprawozdania jest dostępny na stronie internetowej pracowni elektryczno-elektroniczno-mechatronicznej: www.zs1pracownia.ovh.org

5. Pytania sprawdzające.

Odpowiadając na pytania, sprawdzisz, czy jesteś przygotowany do zaplanowania przebiegu ćwiczeń i ich wykonania.

1. Co to jest błąd bezwzględny, a co błąd względny miernika?
2. Dlaczego powinniśmy dążyć do możliwie dużego odchylenia wskazówki miernika przy pomiarach?
3. Jakie znasz klasy dokładności mierników technicznych i co określa liczba oznaczająca klasę dokładności miernika?
4. Objasnij sposób wykonania pomiaru napięcia.
5. Opisz sposób włączenia amperomierza w obwód elektryczny.
6. Objasnij różnice między układami do pomiaru rezystancji metodą techniczną?
7. W jaki sposób można dokonać regulacji (nastawienia) napięcia elektrycznego?
8. W jaki sposób można dokonać regulacji (nastawienia) natężenia prądu elektrycznego?