



**Katedra
Nanometrologii**

ĆWICZENIA:
PODSTAWY METROLOGII

**3. METODY POMIARU
PRĄDU I NAPIĘCIA**

W12IEA-SI0003C

[wzn.pwr.edu.pl/materialy-
dydaktyczne/podstawy-metrologii](http://wzn.pwr.edu.pl/materialy-dydaktyczne/podstawy-metrologii)

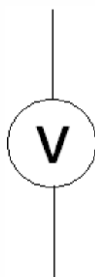
1. Wstęp

Wydana przez Międzynarodową Organizację Normalizacyjną (ISO) pozycja *Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement* (polski tytuł: *Wyrażanie niepewności pomiaru. Przewodnik.*) definiuje pomiar jako **zbiór operacji mających na celu wyznaczenie wartości wielkości**. Dokładniejszą definicję możemy znaleźć w Polskiej Normie PN-71/N-02050 („Metrologia – nazwy i określenia”). Według tej normy **pomiarem nazywa się czynności doświadczalne, mające na celu wyznaczenie wartości wielkości mierzonej, wyrażającej się iloczynem liczby i jednostki miary**.

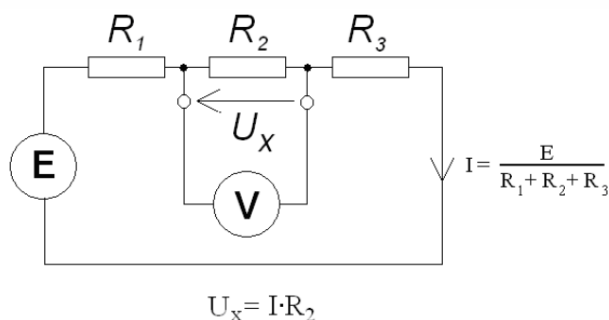
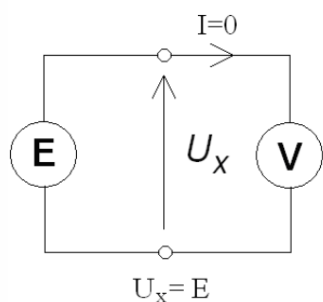
Pomiar jest jedynym sposobem otrzymania **ilościowej** informacji o rzeczywistości i na tym polega jego znaczenie dla nauki i techniki. Bez pomiaru żadna hipoteza naukowa nie może stać się uznaną teorią. Dzisiejszy poziom cywilizacji zawdzięczamy przede wszystkim opanowaniu przez człowieka metoda masowej produkcji, która byłaby z oczywistych względów niemożliwa bez odpowiednio zorganizowanego systemu jej kontroli, a więc operacji pomiarowych. Automatyzacja, jedna z głównych tendencji rozwojowych współczesności, nie może również odbyć się bez pomiaru. Aby jakkolwiek wielkość można było regulować w sposób automatyczny, należy przede wszystkim określić jej stan aktualny, czyli jej wartość – a zatem dokonać pomiaru.

Metrologia elektryczna zajmuje się pomiarami wielkości elektrycznych oraz nieelektrycznych metodami elektrycznymi. Na przestrzeni lat rozwój elektroniki w tak znaczący sposób wpłynął na metrologię, że współcześnie większość pomiarów wszystkich wielkości występujących w przyrodzie dokonywana jest przez przekształcenie tych wielkości za pomocą różnego rodzaju czujników lub przetworników w wielkość elektryczną. Taka operacja pozwala nam na realizację dowolnych operacji matematycznych na mierzonych wielkościach oraz wprowadzenie automatycznych układów sterowania procesem pomiarowym (automatyczny dobór zakresu, pobudzenia itp.). Dzięki przekształceniu wielkości mierzonej na sygnał elektryczny możliwa jest także digitalizacja tejsze wielkości w celu automatycznej rejestracji i archiwizacji danych.

Jak wspomniano wcześniej, większość współczesnych pomiarów polega na pomiarze uzyskanego różnymi sposobami sygnału elektrycznego. Do podstawowych wielkości elektrycznych należą natężenie prądu i napięcie. Przyrząd służący do pomiaru napięcia pomiędzy dwoma punktami to **woltomierz** i oznaczamy go symbolem:



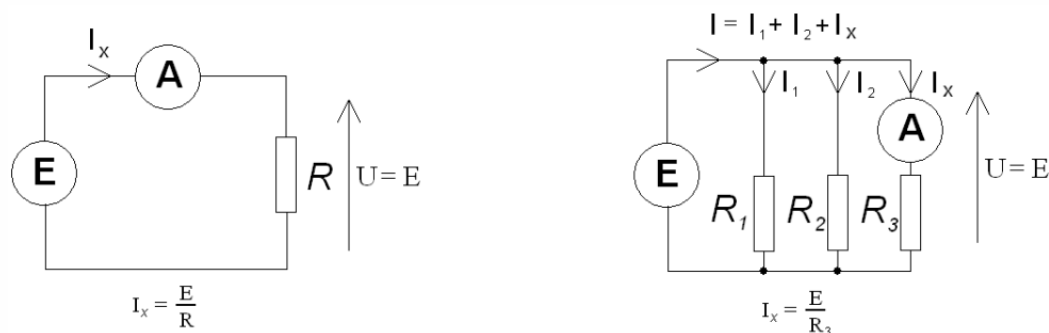
Idealny woltomierz jest przyrządem o nieskończenie dużej rezystancji i nie płynie przez niego żaden prąd. Woltomierz włączamy do układu równolegle, podłączając jego dwa zaciski wejściowe do punktów, pomiędzy którymi chcemy zmierzyć napięcie:



Przyrząd do pomiaru natężenia prądu to **amperomierz**. Oznaczamy go symbolem:



Idealny amperomierz jest przyrządem o rezystancji równej 0. Wskazuje on natężenie prądu, jaki przepływa pomiędzy jego zaciskami. Amperomierz włączamy do układu szeregowo tak, aby prąd, którego natężenie chcemy zmierzyć, przepłynął przez przyrząd pomiarowy:



Ze względu na ogólną zasadę działania, przyrządy pomiarowe możemy podzielić na analogowe i cyfrowe.

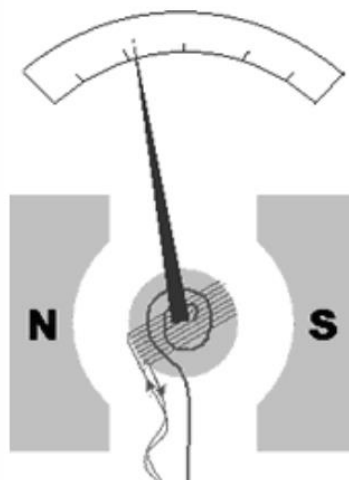
Przyrząd do pomiaru rezystancji to **omomierz**. Zasada jego działania polega na wymuszeniu w badanym obiekcie przepływu bardzo małego prądu, zmierzenie spadku napięcia na badanym obiekcie i wskazaniu jako wynik pomiaru rezystancji uzyskanej z prawa Ohma. Ze względu na to, że omomierz jest przyrządem aktywnym (dostarcza energii do mierzonego obiektu), nigdy nie można dokonywać pomiaru rezystancji wewnątrz obwodu znajdującego się pod napięciem. Dodatkowo, pomiar rezystancji elementu znajdującego się w aktywnym obwodzie spowoduje, że napięcie na zaciskach badanego obiektu będzie zależne nie tylko od prądu pomiarowego omomierza, ale również od innych czynników. Wskazany wynik będzie niepoprawny.

Pamiętać również należy, że pomiaru rezystancji elementu znajdującego się w obwodzie dokonujemy, wyjąwszy ten element z obwodu – w innym przypadku mierzyć będziemy rezystancję wypadkową całego obwodu, a nie interesującego nas elementu.

2. Boczni i posobniki

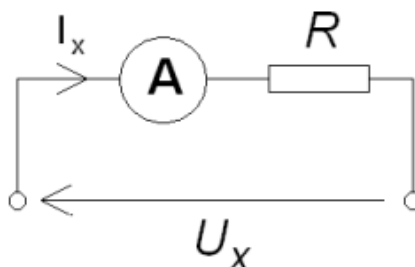
Zasada działania tych mierników analogowych oparta jest na podstawowych prawach fizycznych związanych z przepływem prądu, polem magnetycznym i polem elektrycznym. Napędem wskazówki jest siła jaka występuje przy tych oddziaływaniach, a od użytego przetwornika elektromechanicznego (magnetoelektrycznego, elektromagnetycznego, elektrodynamicznego czy elektrostatycznego), jego konstrukcji mechanicznej, precyzji skali i rodzaju odczytu zależą właściwości i dokładność wskazań przyrządu.

Najczęściej stosowanym przetwornikiem jest przetwornik **magnetoelektryczny** (tzw. *ustrój magnetoelektryczny*). Wskazuje on wartość średnią mierzonej wielkości. Składa się z trzech elementów: magnesu stałego będącego źródłem stałego pola magnetycznego, cewki, której oś trwale umocowana jest w polu magnesu, oraz sprężyny utrzymującej cewkę w punkcie równowagi.



Pod wpływem prądu przepływającego przez cewkę powstaje pole magnetyczne wzdłuż osi tej cewki, które przeciwdziała polu magnetycznemu pochodzącemu od magnesu trwałego i powoduje obrót cewki do której przymocowana jest wskazówka.

W związku z zasadą działania przyrząd magnetoelektryczny jest w rzeczywistości amperomierzem. Aby dokonać pomiaru napięcia takim przyrządem musimy zastosować wewnątrz przyrządu następujący układ:



Przyjmując w takim układzie, że amperomierz jest przyrządem idealnym i ma zerową rezystancję (w rzeczywistości jest to kilka omów) otrzymujemy wskazanie:

$$I_x = \frac{U_x}{R}.$$

Rezystor **R** nazywany jest **rezystorem zakresowym** lub **posobnikiem**. Można zauważyć, że zmieniając wartość tego rezystora, zmieniamy zakres możliwych do mierzenia napięć.

Przykład. Mierzmy napięcie o wartości 10 V woltomierzem magnetoelektrycznym. Zastosowany wskaźnik pokazuje maksymalną wartość, jeśli przez cewkę przetwornika płynie prąd o natężeniu 10 μA . Włączając rezystory zakresowe o wartościach 1 $\text{M}\Omega$, 3 $\text{M}\Omega$ oraz 10 $\text{M}\Omega$, otrzymamy następujące wskazania:

- dla rezystora 1 $\text{M}\Omega$:

$$I = \frac{U}{R} = \frac{10}{1000000} = 0,00001 = 10 \mu\text{A} = 100\% \text{ skali},$$

maksymalne możliwe do zmierzenia z tym posobnikiem napięcie to 10 V.

- dla rezystora 3 $\text{M}\Omega$:

$$I = \frac{U}{R} = \frac{10}{3000000} = 0,0000033 = 3,3 \mu\text{A} = 33\% \text{ skali},$$

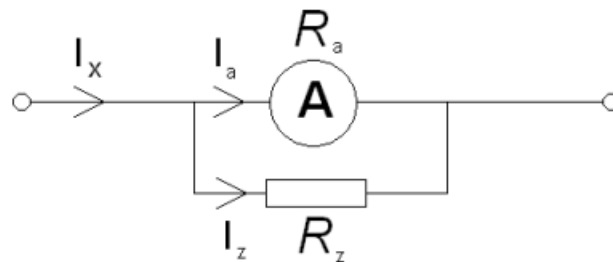
maksymalne możliwe do zmierzenia z tym posobnikiem napięcie to 30 V.

- dla rezystora 10 $\text{M}\Omega$:

$$I = \frac{U}{R} = \frac{10}{10000000} = 0,000001 = 1 \mu\text{A} = 10\% \text{ skali},$$

maksymalne możliwe do zmierzenia z tym posobnikiem napięcie to 100 V.

Podobne zasady stosujemy przy ustalaniu zakresu pomiarowego amperomierza. Schemat połączeń wewnętrznych amperomierza wygląda następująco:



Rezystor zakresowy R_z w amperomierzu zwany jest często **bocznikiem**. Natężenie prądu płynącego przez amperomierz zgodnie z I prawem Kirchhoffa oraz zgodnie z zasadą równoległego łączenia rezystorów jest równy:

$$I_a = I_x - I_z = I_x - \frac{U}{R_z} = I_x - \frac{I_x}{\frac{1}{R_a} + \frac{1}{R_z}} \cdot \frac{1}{R_z} = I_x \cdot \left(1 - \frac{R_a}{R_a + R_z}\right).$$

Przykład. Mierzmy prąd o natężeniu 1 mA amperomierzem magnetoelektrycznym. Zastosowany wskaźnik pokazuje maksymalną wartość, jeśli przez cewkę przetwornika płynie prąd o natężeniu 100 μA . Rezystancji cewki przetwornika wynosi 0,9 Ω . Włączając rezystory zakresowe o wartościach 0,1 Ω i 0,03 Ω , otrzymamy następujące wskazania:

- dla rezystora 0,1 Ω :

$$I_a = I_x \cdot \left(1 - \frac{R_a}{R_a + R_z}\right) = 0,001 \left(1 - \frac{0,9}{1}\right) = 0,0001 = 100 \mu\text{A} = 100\% \text{ skali},$$

maksymalne mierzone z tym bocznikiem natężenie prądu to 1 mA.

- dla rezystora 0,03 Ω :

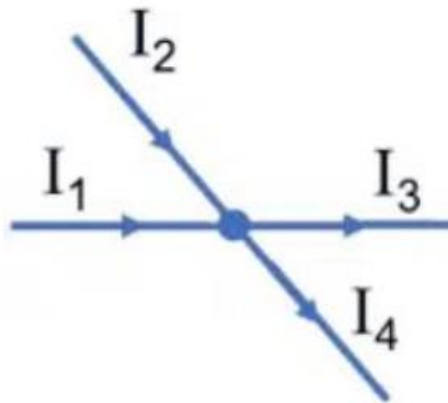
$$I_a = I_x \cdot \left(1 - \frac{R_a}{R_a + R_z}\right) = 0,001 \left(1 - \frac{0,9}{0,93}\right) = 0,000032 = 32 \mu\text{A} = 32\% \text{ skali},$$

maksymalne mierzone z tym bocznikiem natężenie prądu to około 3,1 mA.

3. Prawa Kirchoffa

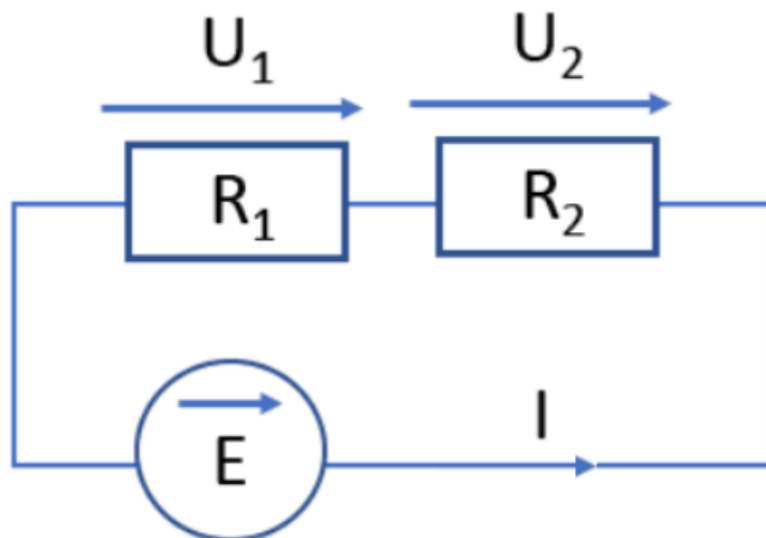
I prawo Kirchoffa - suma algebraiczna natężeń prądów w węźle obwodu elektrycznego jest równa zero; tj. suma natężenia prądów wpływających do węzła jest równa sumie natężenia prądów wypływających z tego węzła:

$$I_1 + I_2 + (-I_3) + -I_4 = 0,$$
$$I_1 + I_2 = I_3 + I_4.$$



II prawo Kirchoffa – suma algebraiczna wszystkich napięć (źródłowych i odbiornikowych) występujących w zamkniętym oczku obwodu elektrycznego jest równa zero:

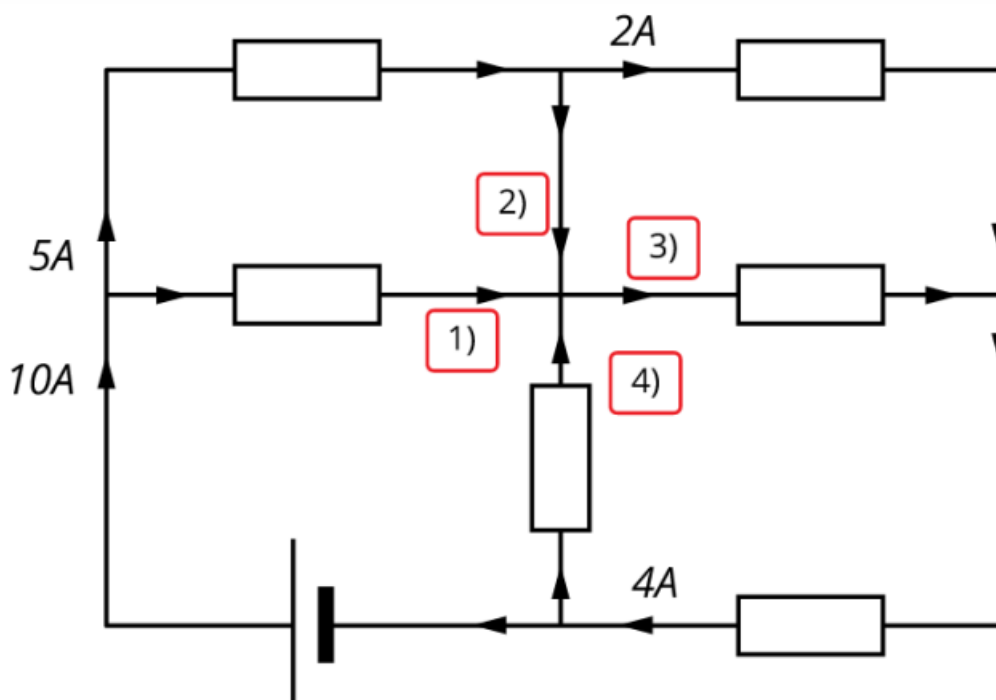
$$E + (-U_1) + (-U_2) = 0,$$
$$E = U_1 + U_2.$$



4. Przykładowe zadania

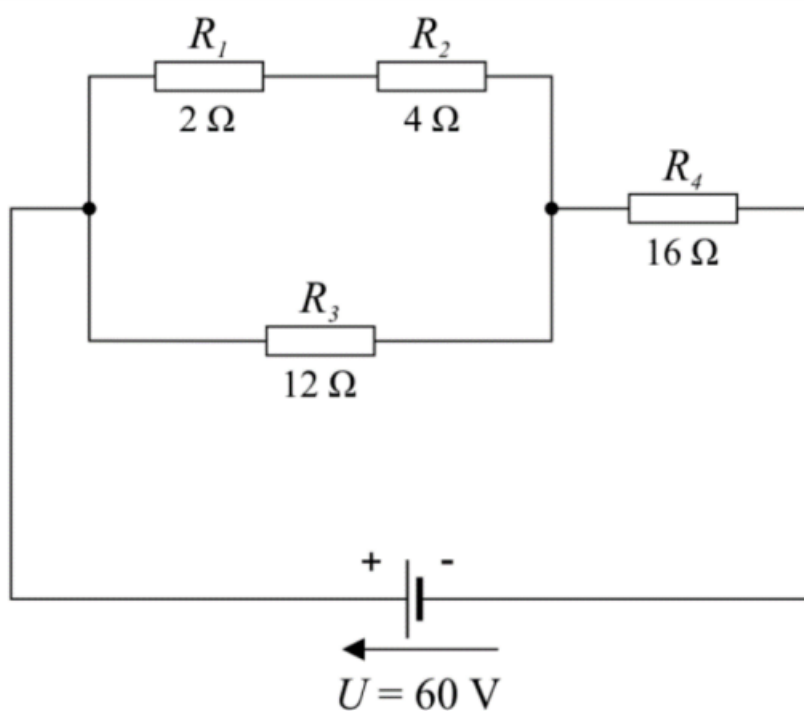
Zadanie 1

Określ wartości natężeń prądów w poszczególnych gałęziach.



Zadanie 2

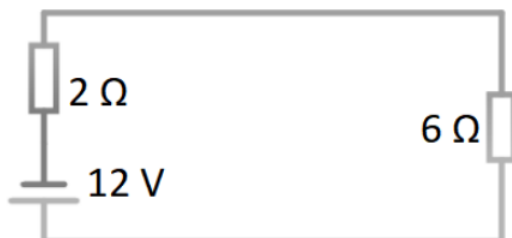
Oblicz natężenia prądów płynących w każdej gałęzi układu.



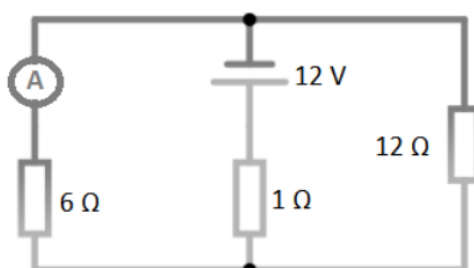
Zadanie 3

Oblicz natężenie prądu przepływającego przez obwód. Wykorzystaj II prawo Kirchoffa.

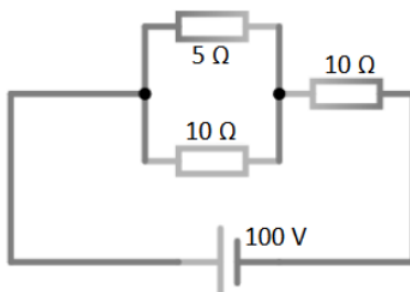
a)



b)



c)



Zadanie 4

Mierzmy prąd o natężeniu 5 mA amperomierzem magnetoelektrycznym. Jaki prąd płynie przez cewkę amperomierza? Rezystancja cewki przetwornika wynosi $0,9 \Omega$, a rezystancja włączonego rezystora zakresowego wynosi $0,10 \Omega$.

Zadanie 5

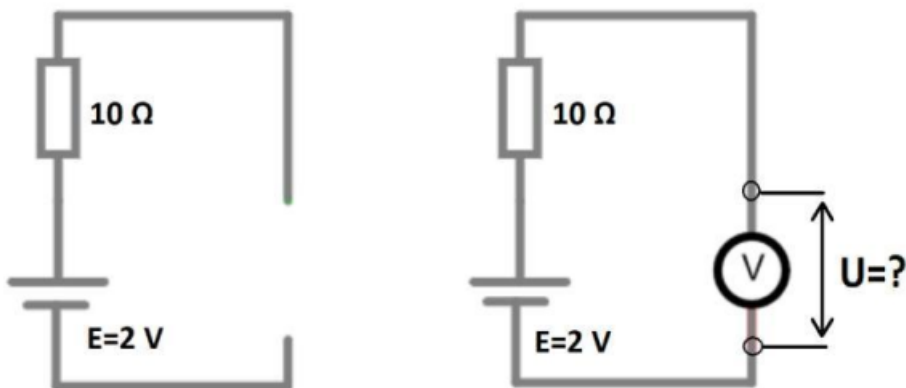
Obliczyć rezystancje boczników do miernika magnetoelektrycznego o rezystancji wewnętrznej $R_0 = 10 \Omega$ i prądzie znamionowym $I_A = 10 \text{ mA}$, tak by pełne odchylenie wskazówki następowało przy prądach 10, 20, 50 i 100 A.

Zadanie 6

Mierzmy napięcie o wartości 5 V woltomierzem magnetoelektrycznym. Zastosowany wskaźnik pokazuje maksymalną wartość, jeśli przez cewkę przetwornika płynie prąd o natężeniu $20 \mu\text{A}$. Jaki należy włączyć posobnik, aby wskazówka zatrzymała się na 90 % skali?

Zadanie 7

W oparciu o zamieszczony poniżej schemat obliczyć jaki będzie spadek napięcia na zaciskach gdy podłączony zostanie woltomierz o rezystancji wewnętrznej 1000Ω .



Zadanie 8

Jak zmieni się zakres pomiarowy amperomierza o rezystancji wewnętrznej $0,05 \Omega$, jeśli dołączony zostanie bocznic o rezystancji $0,05 \Omega$?