

## Ćwiczenie nr 3. Podstawowe prawa elektrotechniki

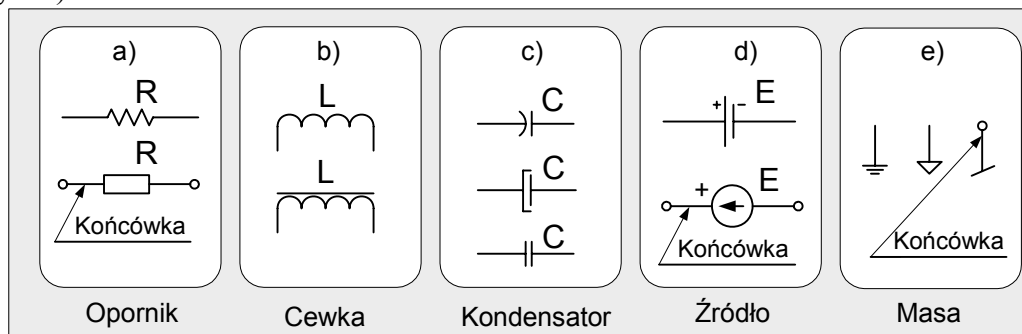
**Cel ćwiczenia:**

Celem ćwiczenia jest zapoznanie studentów z wybranymi podstawowymi prawami elektrotechniki oraz praktycznym zastosowaniem tych reguł do rozwiązywania zagadnień z zakresu obwodów elektrycznych o stałych skupionych pracujących w stanie ustalonym.

**1. Wprowadzenie w tematykę ćwiczenia**

Stan ustalony w obwodzie elektrycznym oznacza, że obwodzie tym nie płynie żaden prąd, płynie prąd stały lub płynie prąd okresowy. Obwód elektryczny o stałych skupionych oznacza, że wymiary geometryczne obwodu elektrycznego są znacznie mniejsze niż długość fali odpowiadająca sygnałowi o największej częstotliwości występującemu w tym obwodzie. Niniejsze ćwiczenie dotyczy podstawowych zagadnień związanych z rozplywem prądów i rozkładem napięć występujących w obwodzie elektrycznym zasilanym ze źródła prądu stałego. Nie będą omawiane zagadnienia polowe oraz stany przejściowe (nieustalone). Przewidziane do testowania obwody elektryczne zbudowane są z liniowych, biernych podzespołów (*elementów*).

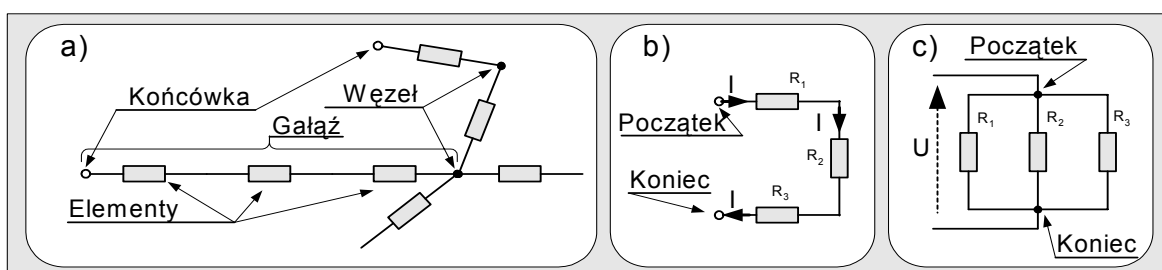
**Obwód elektryczny** jest utworzony przez połączone ze sobą *elementy* takie jak; oporniki cewki indukcyjne, kondensatory, źródła napięć (akumulatory, baterie itp.). Każdy z elementów ma wyprowadzone na zewnątrz dwie końcówki (zaciski) umożliwiające połączenie tego elementu z innym elementem obwodu elektrycznego. Przy rysowaniu schematu obwodu elektrycznego stosowane są symbole reprezentujące elementy występujące w rzeczywistym obwodzie (rys.1). W konfiguracji sieci, jaką tworzą połączone ze sobą elementy można wyróżnić tak zwane *gałęzie* i *węzły* (rys. 2).



Rys. 1. Symbole graficzne reprezentujące rzeczywiste podstawowe elementy obwodu elektrycznego; (a) symbole opornika liniowego; (b) symbole reprezentujące indukcyjność; (c) symbole reprezentujące kondensator- pojemność elektryczną; (d) symbole źródeł napięcia; (e) symbole reprezentujące masę obwodu.

**Gałęzią** nazywamy zbiór połączonych ze sobą elementów z których każdy ma co najmniej dwie końcówki, przy czym z całego zbioru elementów na zewnątrz tego zbioru wyprowadzone są jedynie dwie końcówki. Kończówka często oznaczana jest kropką (patrz rysunek 2a). W najprostszym przypadku gałąź może być utworzona przez pojedynczy element.

**Węzłem** nazywamy wyprowadzoną na zewnątrz końcówkę gałęzi do której dołączona jest co najmniej jedna końcówka innej gałęzi.



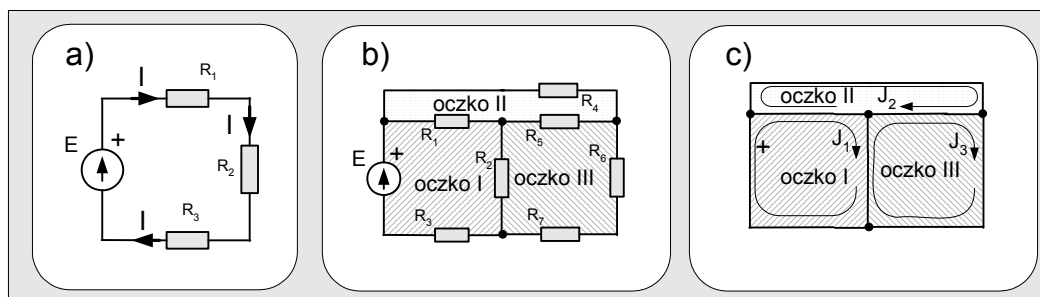
Rys. 2. Połączenia występujące w obwodzie elektrycznym; (a) fragment na którym zaznaczono: elementy, gałąź, węzły i końcówki; (b) połączenie szeregowe gałęzi obwodu; (c) połączenie równoległe gałęzi obwodu.

## Ćwiczenie nr 3. Podstawowe prawa elektrotechniki

Są dwa podstawowe sposoby łączenia gałęzi (elementów): połączenie szeregowe i połączenie równoległe. Połączenie gałęzi obwodu jest połączeniem szeregowym (rys. 2b), jeżeli przepływa przez nie ten sam prąd. Połączenie gałęzi obwodu jest połączeniem równoległym (rys. 2c) jeżeli na wszystkich połączonych gałęziach występuje to samo napięcie.

**Oczko obwodu** (kontur obwodu) jest zbiorem połączonych ze sobą gałęzi, tworzących zamkniętą drogę dla przepływu prądu (rys. 3a). Cechą charakterystyczną oczka jest to, że po usunięciu dowolnej jednej jego gałęzi pozostałe gałęzie nie tworzą drogi zamkniętej dla prądu.

**Obwodem** nazywamy oczko lub zbiór oczek, połączonych ze sobą i mających jedną lub więcej dróg dla przepływu prądu (rys. 3b). Obwód o jednym oczku nazywany jest obwodem elementarnym (nie rozgałęzionym). Obwód składający się z więcej niż jednego oczka (obwód rozgałęziony) nazywany jest układem elektrycznym.

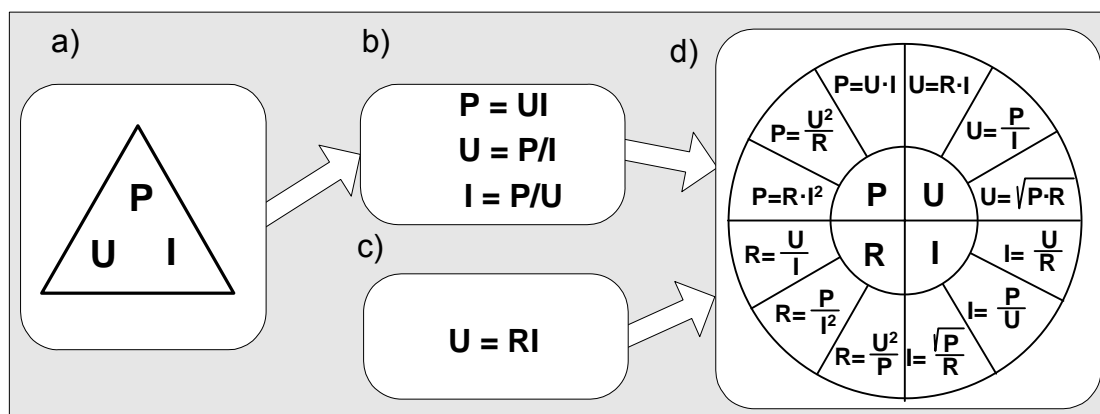


Rys. 3. Stosowane schematy; (a) schemat elektryczny pojedynczego oczka – obwód nie rozgałęziony; (b) schemat elektryczny obwodu elektrycznego – obwód rozgałęziony; (c) graf obwodu elektrycznego z rysunku 3b, zaznaczono przepływ prądów oczkowych

**Schemat elektryczny obwodu** – jest to schemat narysowany z zastosowaniem umownych symboli graficznych reprezentujących rzeczywiste podzespoły, z których jest zbudowany ten obwód. Zawiera gałęzie z występującymi w nich źródłami (źródła napięć i prądów) i odbiornikami (elementy bierne rozpraszające energię elektryczną) połączonymi odcinkami prostoliniowymi reprezentującymi połączenia przewodowe (galwaniczne).

**Schemat geometryczny obwodu (graf)** – jest to schemat narysowany liniami ciągłymi łączącymi węzły obwodu. Pojedyncza ciągła linia oznacza gałąź obwodu bez precyzowania, jakie podzespoły tą gałąź tworzą.

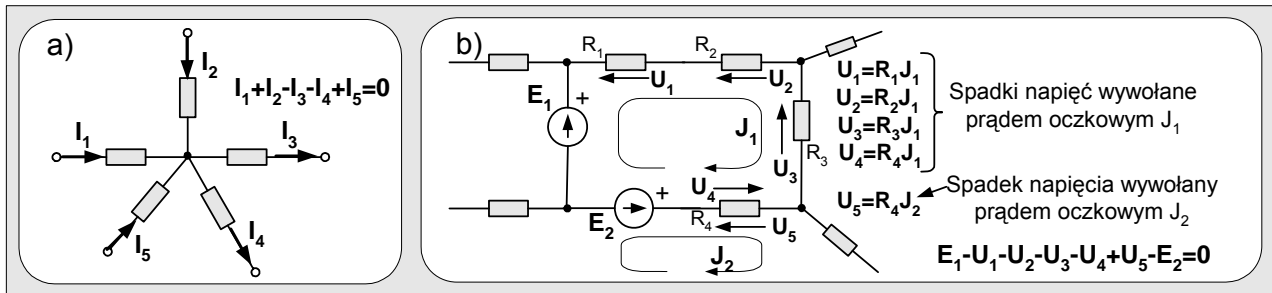
**Prawo Ohma.** Ogólny zapis prawa Ohma w postaci różniczkowej (wektorowej) upraszcza się do postaci skalarnej w przypadku obwodów prądu stałego. W takim przypadku możemy powiedzieć, że spadek napięcia jaki pojawi się na oporniku jest proporcjonalny do wartości oporności tego opornika i proporcjonalny do natężenia prądu który przez ten opornik przepływa.



Rys. 4. Podstawowe zależności zachodzące w liniowych obwodach prądu stałego między napięciem (U), prądem (I), mocą (P) i opornością (R); (a) „trójkąt” trzech podstawowych wielkości fizycznych w obwodzie elektrycznym prądu stałego; (b) związki między wielkościami z rysunku 4a; (c) prawo Ohma; (d) zestawienie związków między U, I, P, R.

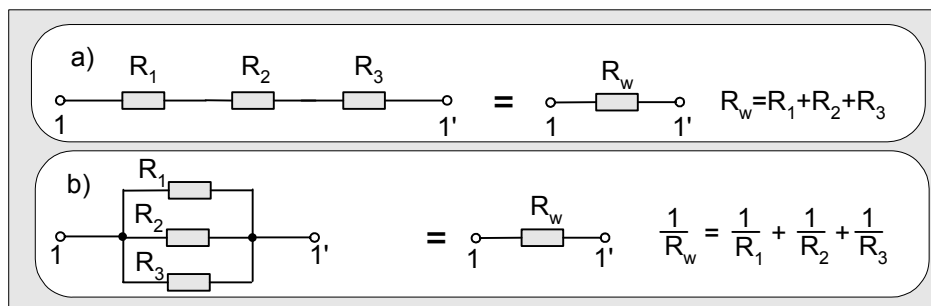
## Ćwiczenie nr 3. Podstawowe prawa elektrotechniki

**Prawa Kirchhoffa** dotyczą bilansu prądów w węźle układu i bilansu napięć w zamkniętym oczku. Prawo Kirchhoffa w postaci skalarnej i w odniesieniu do prądów (pierwsze prawo – rysunek 5a) jest następujące; *suma prądów wpływających do węzła jest równa sumie prądów odpływających od węzła*. Prawo Kirchhoffa w odniesieniu do napięć sformułowane w postaci skalarnej (drugie prawo – rysunek 5b) ma następującą postać; *suma spadków napięć w zamkniętym oczku jest równa zero* (dotyczy to spadków napięć na odbiornikach łącznie z napięciami na zaciskach źródeł występujących w gałęziach danego zamkniętego oczka).



Rys. 5. Ilustracja praw Kirchhoffa; (a) prawo Kirchhoffa w odniesieniu do prądów, prądy wpływające do węzła są zapisywane w równaniu ze znakiem plus (+) a prądy odpływające od węzła są zapisywane w równaniu ze znakiem minus (-); (b) prawo Kirchhoffa w odniesieniu do napięć, napięcia których zwrot jest zgodny z kierunkiem prądu oczkowego są zapisywane w równaniu ze znakiem plus (+) a napięcia których zwrot jest przeciwny do kierunku przepływu prądu oczkowego są zapisywane w równaniu ze znakiem minus (-), taka sama zasada obowiązuje przy źródłach które występują w danym oczku.

Bezpośrednio z prawa Ohma i dwóch praw Kirchhoffa wynikają zależności określające wartości wypadkowe łączonych ze sobą liniowych elementów biernych występujących w obwodach elektrycznych. Każdą konfigurację połączeń elementów obwodu elektrycznego daje się uprościć stosując zasady szeregowego i równoległego łączenia elementów (rys. 6).

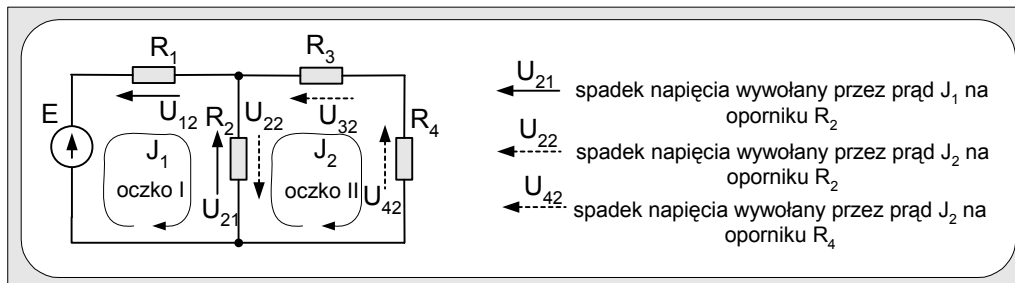


Rys. 6. Łączenie elementów obwodu elektrycznego; (a) połączenie szeregowe; (b) połączenie równoległe. Analogicznie łączy się elementy indukcyjne. Uwaga: w przypadku łączenia kondensatorów (pojemności elektrycznych) w przypadku równoległego połączenia kondensatorów, pojemność wypadkowa jest równa sumie pojemności łączonych równoległe. Szeregowe połączenie kondensatorów zachowuje analogicznie jak równoległe połączenie oporników.

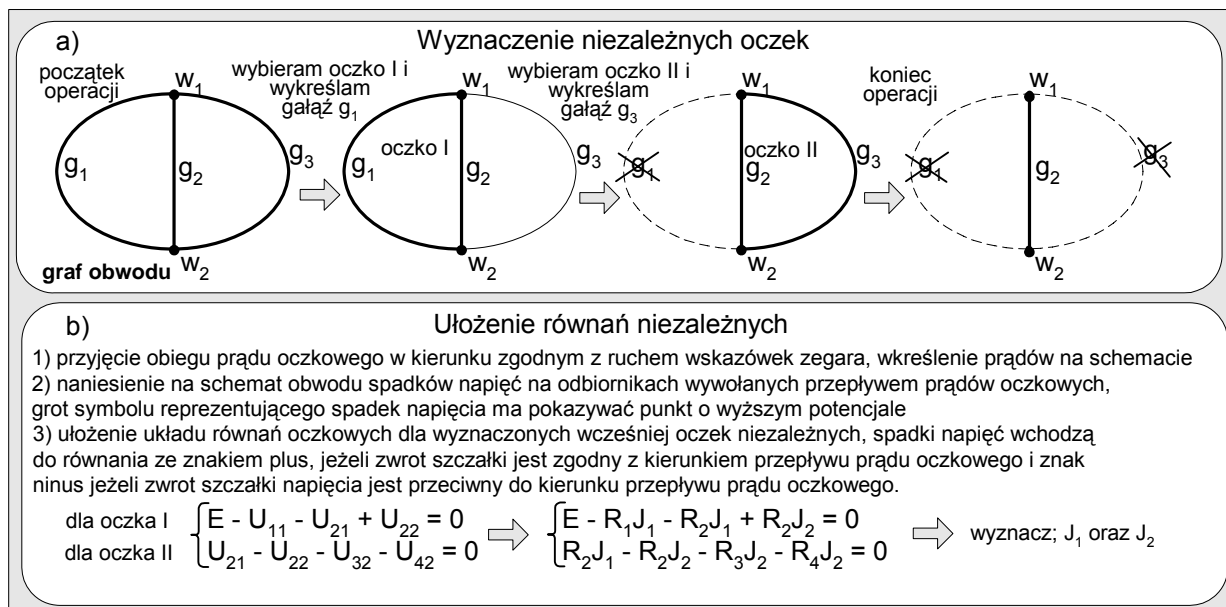
Jednym z podstawowych zagadnień dotyczących obwodów elektrycznych jest wyznaczenie wartości prądów płynących w poszczególnych gałęziach tego obwodu. Wymaga to napisania układu równań liniowych dla analizowanego obwodu elektrycznego i ich rozwiązania. Wśród metod rozwiązywania obwodów elektrycznych najczęściej stosowane są: metoda prądów oczkowych i metoda napięć węzłowych. W przypadku obwodu elektrycznego należy wyznaczyć oczka niezależne dla których układu się równania niezależne (liczba tych równań spełnia w większości przypadków zależność; liczba gałęzi – liczba węzłów +1 = liczba oczek niezależnych). Oczkiem niezależnym jest oczko mające co najmniej jedną gałąź nie wchodzącą w skład innego oczka dla którego wypisuje się niezależne równanie. Oczka niezależne można wyznaczyć posługując się grafem obwodu elektrycznego w następujący sposób; narysować graf obwodu, wybrać dowolne

## Ćwiczenie nr 3. Podstawowe prawa elektrotechniki

oczko w tym grafie, wykreślić (usunąć) jedną gałąź tego wybranego oczka. W pozostałej części grafu wybrać kolejne oczko, ponownie w tym wybranym oczku usunąć jedną z gałęzi. Postępować tak aż wyczerpie się możliwość znalezienia oczka w grafie analizowanego obwodu elektrycznego. Niech obwód elektryczny ma postać jak na rysunku 7. Obwód ma;  $3 \text{ <gałęzie>} - 2 \text{ <węzły>} + 1 = 2$  <równania niezależne>.



Rys. 7. Schemat obwodu elektrycznego analizowanego w ćwiczeniu;  $J_1, J_2$  – prądy oczkowe,  $U_{nm}$  – spadek napięcia na  $n$ -tym odbiorniku wywołany przepływem  $m$ -tego prądu oczkowego (w omawianym przykładzie  $U_{21}$  – spadek napięcia na oporniku  $R_2$  przez przepływający przez ten opornik prąd oczkowy  $J_1$ ).



Rys. 8. Podstawowe kroki przy wyznaczaniu oczek niezależnych obwodu elektrycznego (a) oraz wygenerowania dla tych oczek układu liniowych równań wyznaczonych metodą prądów oczkowych (b).

## 2. Wykonanie ćwiczenia

Złożyć układ pomiarowy składający się (rys. 9) z zasilacza i prostego obwodu elektrycznego (obwód elektryczny jest zmontowany w postaci pomocy dydaktycznej – dostępne są dwa różne obwody – rysunek 10a,b). Zwierając za pomocą specjalnych przewodów zwierających zaciski b-b', c-c', d-d' itd. utworzyć obwód, który należy dołączyć do zasilacza stabilizowanego (zaciski a-a').

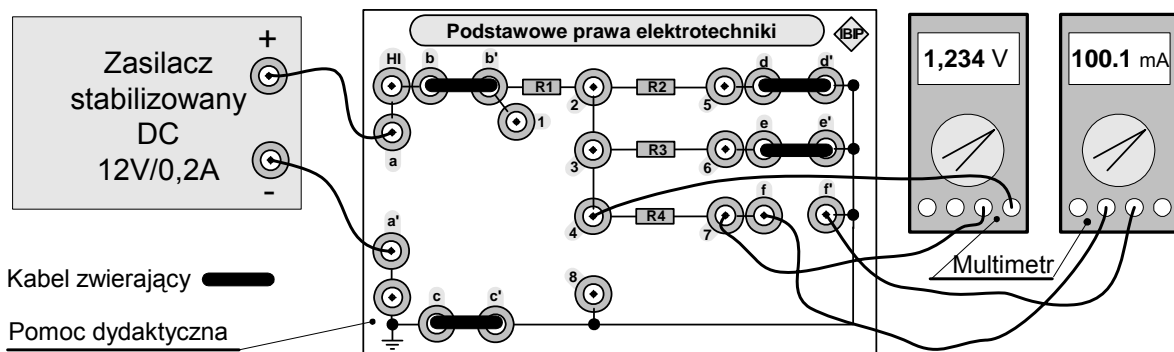
**Uwaga: maksymalne napięcie ustawione na zasilaczu nie może przekroczyć wartości  $U_{\max} = 12V$ .** W miejsce przewodów zwierających włączać kolejno amperomierz (np. multimetr cyfrowy) i mierzyć wartość prądu stałego płynącego w danej gałęzi obwodu elektrycznego. Wykorzystując zaciski opisane 1,2,3, itd. zmierzyć woltmierzem cyfrowym (multimetrem) wartości napięć występujących w poszczególnych punktach obwodu. Jako odniesienie można przyjąć punkt masy. Wyniki pomiarów zapisać w sposób czytelny i na ich podstawie w ramach opracowania wyników pomiarów wyznaczyć:

- Stosując prawo Ohma wyliczyć wartości oporności wszystkich oporników.
- Na podstawie wyników pomiarów wykazać słuszność prawa Kirchhoffa w odniesieniu do

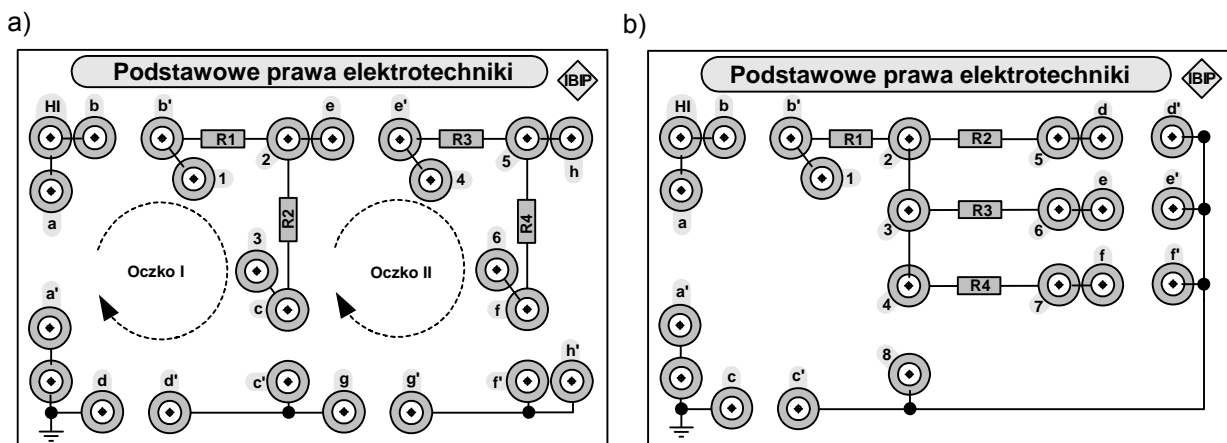
## Ćwiczenie nr 3. Podstawowe prawa elektrotechniki

prądów ja również w odniesieniu do napięć.

3. Dla badanej struktury obwodu elektrycznego ułożyć stosowny układ równań, rozwiązać go i wyznaczyć teoretyczne wartości prądów w poszczególnych gałęziach obwodu. Otrzymane wyniki obliczeń porównać z wynikami pomiarów (uwzględnić dokładności pomiarów).



Rys. 9. Schemat poglądowy układu pomiarowego



Rys. 10. Widok płyt czołowych pomocy dydaktycznych dostępnych na stanowisku laboratoryjnym

### 3. Pytania kontrolne

1. Narysuj symbole graficzne stosowane do rysowania schematu obwodu elektrycznego oraz grafu.
2. Podaj definicje charakterystycznych fragmentów obwodu elektrycznego.
3. Podaj zależności wiążące moc, prąd i napięcie w obwodach prądu stałego.
4. Krótko omów prawo Ohma oraz prawa Kirchhoffa w odniesieniu do napięć i prądów.
5. Wyjaśnij na prostym przykładzie jak wyliczane są wartości prądów w gałęziach obwodu elektrycznego.
6. W jaki sposób można oszacować niepewność pomiaru prądu i napięcia multimetrem cyfrowym. Wymień składowe niepewności granicznej pomiaru prądu i napięcia multimetrem cyfrowym.

### 4. Literatura

- [1] B. Konorski.: *Podstawy elektrotechniki*. PWN Warszawa 1967
- [2] T. Cholewicki.: *Elektrotechnika teoretyczna*. WNT Warszawa 1967
- [3] Praca zbiorowa pod kier. B. Konorskiego.: *Poradnik inżyniera elektryka*. WNT, Warszawa 1968
- [4] Praca zbiorowa pod redakcją A. Wojnara.: *Poradnik inżyniera radioelektryka*, WNT, Warszawa 1969
- [5] J. Parchański.: *Miernictwo elektryczne i elektroniczne*. WSiP Warszawa 1996

Opracował: dr inż. Piotr Ruszel

Instytut Inżynierii Biomedycznej i Pomiarowej Wydziału PPT Politechniki Wrocławskiej