



MINISTERSTWO EDUKACJI
NARODOWEJ



Tomasz Suwalski

Piotr Ziembicki

Obliczanie i pomiary parametrów obwodów prądu stałego 724[02].O1.09

Poradnik dla ucznia

Wydawca

**Instytut Technologii Eksploatacji – Państwowy Instytut Badawczy
Radom 2007**

Recenzenci:

mgr inż. Marcin Łukasiewicz

mgr inż. Marek Zasada

Opracowanie redakcyjne:

mgr inż. Tomasz Suwalski

mgr inż. Piotr Ziembicki

Konsultacja:

mgr inż. Jolanta Skoczylas

Poradnik stanowi obudowę dydaktyczną programu jednostki modułowej 724[02].O1.09. „Obliczanie i pomiary parametrów obwodów prądu stałego” zawartego w modułowym programie nauczania dla zawodu elektromechanik pojazdów samochodowych.

Wydawca

Instytut Technologii Eksploatacji – Państwowy Instytut Badawczy, Radom 2007

SPIS TREŚCI

1. Wprowadzenie	4
2. Wymagania wstępne	6
3. Cele kształcenia	7
4. Materiał nauczania	8
4.1. Przepisy bezpieczeństwa i higieny pracy, ochrony od porażień prądem elektrycznym oraz ochrony przeciwpożarowej. Regulamin w pracowni pomiarów elektrycznych	8
4.1.1. Materiał nauczania	8
4.1.2. Pytania sprawdzające	10
4.1.3. Ćwiczenia	10
4.1.4. Sprawdzian postępów	10
4.2. Elementy składowe obwodu elektrycznego. Podstawowe wielkości obwodów prądu stałego. Obwód nierozgałęziony prądu stałego. Prawo Ohma	11
4.2.1. Materiał nauczania	11
4.2.2. Pytania sprawdzające	16
4.2.3. Ćwiczenia	16
4.2.4. Sprawdzian postępów	18
4.3. Obwód rozgałęziony prądu stałego. Prawa Kirchhoffa. Połączenia szeregowe, równoległe i mieszane rezystorów	19
4.3.1. Materiał nauczania	19
4.3.2. Pytania sprawdzające	22
4.3.3. Ćwiczenia	22
4.3.4. Sprawdzian postępów	24
4.4. Praca i moc prądu elektrycznego. Przemiany energii elektrycznej w inne rodzaje energii	25
4.4.1. Materiał nauczania	25
4.4.2. Pytania sprawdzające	27
4.4.3. Ćwiczenia	27
4.4.4. Sprawdzian postępów	29
4.5. Pole elektryczne. Pojemność elektryczna. Łączenie kondensatorów	30
4.5.1. Materiał nauczania	30
4.5.2. Pytania sprawdzające	35
4.5.3. Ćwiczenia	36
4.5.4. Sprawdzian postępów	37
4.6. Obwody magnetyczne	38
4.6.1. Materiał nauczania	38
4.6.2. Pytania sprawdzające	44
4.6.3. Ćwiczenia	44
4.6.4. Sprawdzian postępów	46
4.7. Przyrządy pomiarowe i błędy pomiarowe. Pomiary i regulacja napięcia, natężenia prądu i rezystancji	47
4.7.1. Materiał nauczania	47
4.7.2. Pytania sprawdzające	56
4.7.3. Ćwiczenia	56
4.7.4. Sprawdzian postępów	58

4.8. Badanie obwodów prądu stałego	59
4.8.1. Materiał nauczania	59
4.8.2. Pytania sprawdzające	61
4.8.3. Ćwiczenia	61
4.8.4. Sprawdzian postępów	63
5. Sprawdzian osiągnięć	64
6. Literatura	71

1. WPROWADZENIE

Poradnik ten będzie Ci pomocny w ukształtowaniu umiejętności z zakresu elektrotechniki. Zawarto w nim podstawowe pojęcia oraz informacje o elementach obwodów i prawach obowiązujących w obwodach prądu stałego. Ułatwi Ci to ukształtowanie umiejętności rozpoznawania elementów obwodów elektrycznych, analizowania zjawisk, wykonywania pomiarów oraz interpretowania wyników pomiarów przeprowadzanych w obwodach elektrycznych.

W poradniku znajdziesz:

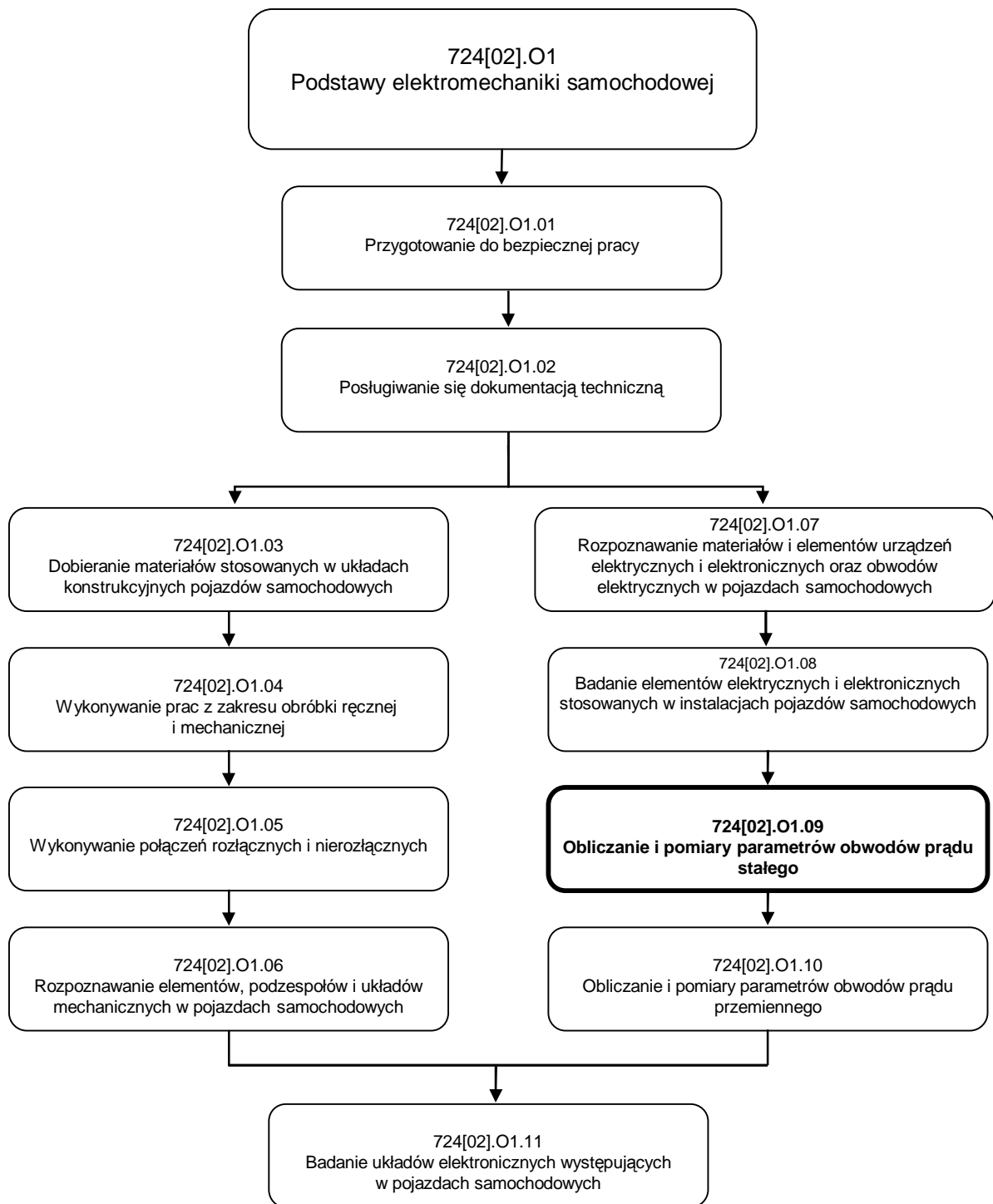
- wymagania wstępne – wykaz umiejętności, jakie powinieneś mieć już ukształtowane, abyś bez problemów mógł korzystać z poradnika,
- cele kształcenia – wykaz umiejętności, jakie ukształtujesz podczas pracy z poradnikiem,
- materiał nauczania – wiadomości teoretyczne niezbędne do osiągnięcia założonych celów kształcenia i opanowania umiejętności zawartych w jednostce modułowej,
- zestaw pytań, abyś mógł sprawdzić, czy jesteś już przygotowany do wykonywania ćwiczeń,
- ćwiczenia, które pomogą Ci zweryfikować wiadomości teoretyczne oraz ukształtować umiejętności praktyczne; w przypadku pytań i ćwiczeń, których rozwiązanie sprawia Ci trudności, zwracaj się o pomoc do nauczyciela,
- sprawdziany postępów, czyli zestawy pytań, na które należy odpowiedzieć dla samooceny,
- test osiągnięć, przykładowy zestaw zadań: pozytywny wynik testu potwierdzi, że dobrze pracowałeś podczas zajęć i ukształtowałeś umiejętności z tej jednostki modułowej,
- literaturę uzupełniającą, do której należy sięgać dla pogłębienia wiedzy i przygotowania się do zajęć.

Pracując z poradnikiem powinieneś zwrócić uwagę na szczególnie istotne i trudne treści, a mianowicie:

- wielkości charakteryzujące pole magnetyczne,
- zjawisko indukcji elektromagnetycznej i jej zastosowanie,
- prawa i reguły stosowane w maszynach prądu stałego - prądnicy i silniku.

Bezpieczeństwo i higiena pracy

W czasie realizacji zajęć w pracowni pomiarów elektrycznych musisz przestrzegać regulaminu, stosować się do przepisów bezpieczeństwa i higieny pracy oraz instrukcji wynikających z rodzaju wykonywanych prac. Regulamin i przepisy poznasz się na pierwszych zajęciach.



Schemat układu jednostek modułowych.

2. WYMAGANIA WSTĘPNE

Przystępując do realizacji programu nauczania jednostki modułowej powinieneś umieć:

- stosować jednostki układu SI,
- przeliczać wielkości wielokrotne i podwielokrotne podstawowych wielkości elektrycznych,
- korzystać z różnych źródeł informacji,
- użytkować komputer na poziomie podstawowym,
- współpracować w grupie,
- posługiwać się podstawowymi pojęciami z chemii i fizyki z zakresu budowy materii i zjawisk związanych z elektrycznością,
- odczytywać i wykonywać wykresy funkcji,
- rozwiązywać równania matematyczne, przekształcać wzory,
- odczytywać rysunki techniczne.

3. CELE KSZTAŁCENIA

W wyniku realizacji programu jednostki modułowej powinieneś umieć:

- rozróżnić podstawowe pojęcia i wielkości charakteryzujące obwody elektryczne,
- zinterpretować prawa i zjawiska występujące w obwodach elektrycznych nierozgałęzionych i rozgałęzionych,
- objaśnić zjawiska fizyczne zachodzące w polu elektrycznym i magnetycznym,
- rozróżnić elementy obwodu magnetycznego,
- zastosować prawo Ohma i prawa Kirchhoffa do obliczania obwodów rozgałęzionych,
- obliczyć rezystancję zastępczą prostego obwodu,
- obliczyć moc odbiorników prądu stałego,
- obliczyć prąd i napięcie w prostych obwodach prądu stałego,
- obliczyć pojemność zastępczą układu kondensatorów,
- dobrać metodę i przyrządy do pomiaru,
- połączyć układy na podstawie schematów ideowych i montażowych,
- zmierzyć podstawowe wielkości elektryczne,
- oszacować wartości wielkości mierzonych przed wykonaniem pomiarów,
- wyznaczyć parametry elementów i układów elektrycznych na podstawie wyników pomiarów,
- zlokalizować i usunąć usterki w układach elektrycznych,
- opracować wyniki pomiarów z wykorzystaniem techniki komputerowej,
- dokonać analizy pracy prostych układów elektrycznych na podstawie schematów ideowych, zastosować zasady bezpieczeństwa i higieny pracy i ochrony od porażen prądem elektrycznym oraz ochrony przeciwpożarowej podczas wykonywania pomiarów.

4. MATERIAŁ NAUCZANIA

4.1. Przepisy bezpieczeństwa i higieny pracy, ochrony od porażień prądem elektrycznym oraz ochrony przeciwpożarowej. Regulamin w pracowni pomiarów elektrycznych

4.1.1. Materiał nauczania

Podstawowym czynnikiem decydującym o bezpieczeństwie w pracowni jest właściwa organizacja zajęć. W celu zagwarantowania bezpieczeństwa pracy w pracowni elektronicznej należy przestrzegać przedstawionych poniżej zasad postępowania.

1. Uczniowie mogą przebywać w pracowni tylko pod opieką nauczyciela.
2. Przed przystąpieniem do pracy należy sprawdzić, czy używane przyrządy nie są uszkodzone mechanicznie (luźno zamocowane zaciski, pokrętła regulacyjne, uszkodzona izolacja przewodów itp.). W przypadku stwierdzenia takich uszkodzeń należy niezwłocznie powiadomić nauczyciela prowadzącego zajęcia.
3. W trakcie zajęć należy ostrożnie obchodzić się z przyrządami, zwłaszcza przy ich przenoszeniu lub ustawianiu. Nie należy stawiać przyrządu na przewodzie zasilającym.
4. Przyrządy pomiarowe należy ustawić na stole pomiarowym tak, aby połączenia występujące pomiędzy nimi a badanym układem były jak najkrótsze. Przejrzyste, zgodne ze schematem pomiarowym, rozmieszczenie przyrządów ułatwi sprawdzenie prawidłowości połączeń i obserwację wskazań.
5. Stoły pomiarowe powinny być oczyszczone ze zbędnych przedmiotów (torby, nie używane książki, nie wykorzystywane przewody itp.).
6. Przy badaniu układów zasilanych napięciami niebezpiecznymi należy postępować ściśle według wskazówek nauczyciela.
7. Połączony układ pomiarowy, w którym występują napięcia niebezpieczne, trzeba zgłosić do sprawdzenia nauczycielowi. Włączenia napięcia dokonuje nauczyciel.
8. Przed podłączeniem napięcia sprawdzić czy układ pomiarowy jest wykonany tak, aby w każdej chwili było możliwe jego odłączenie od napięcia.
9. Wszelkie zmiany w układzie pomiarowym, w którym występują napięcia niebezpieczne, wolno przeprowadzać tylko po uprzednim wyłączeniu napięcia zasilającego. Sprawdzenia prawidłowości zmian dokonanych w układzie pomiarowym i ponownego włączenia napięcia dokonuje nauczyciel.
10. W celu przeprowadzenia zmian w układzie pomiarowym zasilanym napięciami bezpiecznymi nie trzeba wyłączać napięć zasilających badany układ. Nie jest również konieczne w takiej sytuacji wyłączenie z sieci przyrządów pomiarowych. Odłączanie przyrządów pomiarowych od układu badanego należy dokonywać od strony źródeł.
11. Podczas wykonywania pomiarów należy postępować zgodnie z zasadą, że przyrządy pomiarowe obsługuje się jedną ręką, siedząc przy stole pomiarowym.
12. W przypadku zauważenia zmian w układzie, które mogą spowodować uszkodzenie urządzeń lub stworzyć niebezpieczeństwo porażenia, należy natychmiast wyłączyć napięcie zasilające i wezwać nauczyciela prowadzącego zajęcia.
13. Demontaż układu należy wykonać jedynie po uprzednim wyłączeniu napięcia zasilającego.
14. Każda pracownia powinna być wyposażona w łatwo dostępne przyciski, służące do wyłączenia napięcia zasilającego stoły pomiarowe. W przypadku niebezpieczeństwa,

np. porażenia osób, pożaru itp., należy w pierwszej kolejności wyłączyć napięcie zasilające.

Przed przystąpieniem do naprawy, konserwacji lub innych prac montażowych należy odłączyć urządzenie od sieci zasilającej i skutecznie zabezpieczyć, postępując według reguł bezpieczeństwa w ustalonej kolejności.

Reguła 1: Wyłączyć napięcie

Przed rozpoczęciem pracy należy wyłączyć wszystkie obwody doprowadzające napięcie do miejsca pracy. Samo naciśnięcie wyłącznika w tym przypadku nie wystarcza. W obwodach zawierających kondensatory trzeba się upewnić, czy po wyłączeniu zostały one rozładowane przez odpowiednie urządzenia, np. przez wbudowane rezystory. Napięcie na kondensatorach musi obniżyć się w ciągu minuty do wartości poniżej 50 V.

Reguła 2: Zabezpieczyć przed powtórny załączeniem

Urządzenia, za pomocą których instalację wyłączono spod napięcia, np. bezpieczniki i wyłączniki, należy natychmiast po wyłączeniu zabezpieczyć w sposób pewny przed ponownym załączeniem. Odłączniki główne, które można unieruchomić w stanie otwartym, należy zablokować za pomocą kłódek. Jeżeli na przykład przy urządzeniu grzewczym pracują jednocześnie elektrycy i hydraulicy, każda grupa powinna niezależnie zablokować wyłącznik własną kłódką. W ten sposób zabezpieczą się przed mimowolnym załączeniem urządzenia. Urządzenie może być ponownie uruchomione dopiero po usunięciu wszystkich kłódek. Oprócz blokady napędu można również usunąć płytkę izolacyjną pomiędzy otwarte styki odłącznika. Miejsca załączania, nawet te, które znajdują się w bezpośrednim sąsiedztwie miejsca, gdzie prowadzi się prace, należy zaopatrzyć w tablicę **Nie włączać - pracują ludzie**.

Reguła 3: Sprawdzić brak napięcia

Po wyłączeniu należy potwierdzić przez pomiar w miejscu wykonywania prac, że rzeczywiście napięcie nie występuje. Tylko w ten sposób można sprawdzić, czy przez pomylenie bezpieczników lub wyłączników nie wyłączono innego obwodu.

Reguła 4: Uziemić i zewrzeć

Urządzenia uziemiające i zwierające należy zawsze łączyć najpierw z uziemieniem a dopiero później z częścią urządzenia, która ma być uziemiona i zwarta na krótko. Urządzenie do uziemiania i zwierania musi być widoczne z miejsca, w którym wykonuje się pracę. W sytuacji, gdy jest to technicznie niemożliwe, wolno uziemić i zewrzeć także poza miejscem pracy, najbliżej tego miejsca. Należy zwracać uwagę na pewny kontakt urządzeń uziemiających i zwierających z uziomem, ponieważ urządzenia te w różnych warunkach muszą przewodzić prądy zwarciovowe o dużym natężeniu

Reguła 5: Osłonić i oddzielić sąsiadujące elementy znajdujące się pod napięciem.

W pobliżu wyłączonego miejsca pracy mogą się znajdować elementy instalacji, których nie można wyłączyć z uwagi na pewność ruchu albo przewidywane straty materialne. W tym przypadku elementy znajdujące się pod napięciem należy w taki sposób osłonić i zabezpieczyć, żeby nie można było ich dotknąć ciałem lub narzędziem. Miejsce pracy musi być oznaczone tablicą ostrzegawczą z napisem **Miejsce pracy**.

4.1.2. Pytania sprawdzające

Odpowiadając na pytania, sprawdzisz, czy jesteś przygotowany do wykonania ćwiczeń.

1. Jak zorganizować stanowisko pomiarowe?
2. Jaka zasada obowiązuje podczas wykonywania pomiarów elektrycznych?
3. Jakie czynności należy wykonać przed demontażem układu pomiarowego?
4. Jak postąpić w przypadku niebezpieczeństwa porażenia osoby lub osób?
5. Jakie należy zastosować reguły bezpieczeństwa przed przystąpieniem do naprawy, konserwacji lub innych prac montażowych?

4.1.3. Ćwiczenia

Ćwiczenie 1

Sformułuj czynniki stanowiące zagrożenia podczas wykonywania ćwiczeń w pracowni pomiarów oraz przedstaw sposoby zapobiegania im.

Sposób wykonania ćwiczenia

Aby wykonać ćwiczenie, powinieneś:

- 1) zaplanować tok postępowania,
- 2) przygotować tabelę przedstawiającą czynniki stanowiące zagrożenie oraz sposoby zapobiegania wypadkom podczas wykonywania następujących czynności:
 - organizowania stanowiska pomiarowego,
 - przed przystąpieniem do wykonywania pomiarów,
 - w trakcie wykonywania pomiarów,
 - przed przeprowadzeniem zmian w układzie,
 - w przypadku niebezpieczeństwa porażenia osób, pożaru i innych przypadków,
- 3) opisz wykonanie ćwiczenia,
- 4) zaprezentować pracę.

Wyposażenie stanowiska pracy:

- regulamin zajęć w pracowni pomiarów elektrycznych,
- instrukcja bezpieczeństwa w pracowni pomiarów elektrycznych,
- arkusz papieru, przybory do pisania.

4.1.4. Sprawdzian postępów

Czy potrafisz:

	Tak	Nie
1) zorganizować stanowisko pomiarowe zgodnie z przepisami bezpieczeństwa i higieny pracy?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2) zastosować reguły bezpieczeństwa przed przystąpieniem do napraw, konserwacji lub innych prac montażowych?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3) zareagować w przypadku niebezpieczeństwa porażenia osób?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4) postępować zgodnie z regulaminem zajęć w pracowni pomiarów elektrycznych?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

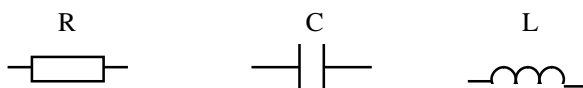
4.2. Elementy składowe obwodu elektrycznego. Podstawowe wielkości obwodów prądu stałego. Obwód nierozgałęziony prądu stałego. Prawo Ohma

4.2.1. Materiał nauczania

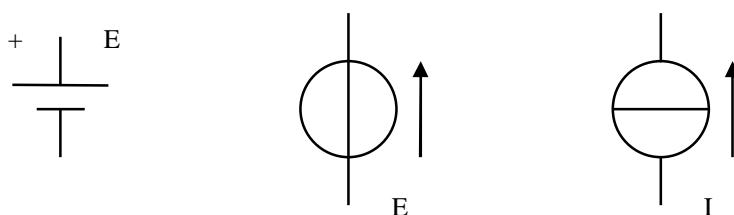
Prąd elektryczny jest to zjawisko uporządkowanego ruchu elektronów swobodnych lub jonów. W przewodnikach, w których znajduje się dostateczna liczba elektronów swobodnych, uporządkowany ruch elektronów - prąd elektryczny, następuje pod wpływem pola elektrycznego, wytworzonego przez różnicę potencjałów na końcach przewodnika. W roztworach wodnych kwasów, zasad i soli następuje dysocjacja cząsteczek, a prąd elektryczny tworzą jony przepływające przez ten roztwór. Podczas analizy obwodów elektrycznych przyjmuje się zwrot dodatni prądu w obwodzie zewnętrznym jako zgodny z kierunkiem ruchu ładunków dodatnich, tzn. od zacisku źródła o wyższym potencjale (+) do zacisku o niższym (-) potencjale.

Napięcie elektryczne jest różnica potencjałów pomiędzy punktami obwodu elektrycznego.

Obwód elektryczny jest to zespół elementów tworzących przynajmniej jedną zamkniętą drogę dla przepływu prądu elektrycznego. Elementami obwodu elektrycznego są: źródło energii elektrycznej (źródło napięcia), odbiorniki - jako elementy pobierające energię elektryczną, przewody łączące i wyłączniki służące do zamykania (zwierania) lub przerywania (rozwierania) obwodu elektrycznego.



Rys.1. Symbole elementów biernych [3, s. 68]



Rys. 2. Symbole idealnych źródeł napięcia i prądu [3, s. 69]

Obwody elektryczne przedstawia się na rysunkach za pomocą odpowiednich symboli elementów obwodu z zaznaczeniem ich połączeń ze sobą. Końcówki elementów obwodu, służące do połączenia z innymi elementami bezpośrednio lub za pomocą przewodów, nazywa się zaciskami.

Gałąź obwodu tworzy jeden lub kilka elementów połączonych szeregowo, przez które przepływa ten sam prąd elektryczny.

Oczkiem obwodu elektrycznego nazywa się zbiór połączonych ze sobą gałęzi, tworzących nieprzerwaną drogę dla przepływu prądu. Usunięcie dowolnej gałęzi powoduje przerwanie ciągłości obwodu elektrycznego.

Węzeł obwodu elektrycznego nazywamy zacisk lub końcówkę gałęzi, do której jest przyłączona inna gałąź lub kilka gałęzi. Węzły obwodu elektrycznego oznaczane są zaczerpniętymi punktami.

Rezystancja przewodnika zależy od rodzaju materiału, z jakiego jest wykonany przewodnik, od jego długości, przekroju i temperatury. Jednostką rezystancji jest jeden om (1Ω). Rezystancja o wartości jednego oma (1Ω) istnieje między dwoma punktami prostoliniowego przewodu, jeżeli doprowadzone do tych punktów napięcie równe jednemu woltowi (1 V) wywołuje przepływ prądu o wartości jednego ampera (1 A).

W stałej temperaturze rezystancja R przewodu jest proporcjonalna do jego długości i odwrotnie proporcjonalna do przekroju poprzecznego

$$R = r \frac{l}{S}$$

ρ - rezystywność (opór właściwy) [$\Omega \text{ m}$]

l - długość przewodu [m]

S - pole przekroju poprzecznego [m^2]

Odwrotnością rezystancji jest **konduktancja** (przewodność)

$$G = \frac{1}{R}, \left[\frac{1}{\Omega} \right]$$

Jednostką konduktancji jest jeden siemens (1 S), który określa przewodność (konduktancję) elektryczną przewodu o rezystancji 1Ω .

Rezystancja ciał przewodzących zależy nie tylko od ich wymiarów i rodzaju materiału, lecz także od czynników zewnętrznych, takich jak temperatura, wilgotność, ciśnienie, pole magnetyczne. Największy wpływ na wartość rezystancji ma temperatura. Stwierdzono, że rezystancja metali zwiększa się a rezystancja elektrolitów i półprzewodników maleje przy podwyższaniu temperatury. Zbadano doświadczalnie, że w zakresie temperatur od około 173 K do 423 K (tj. od 100°C do $+150^\circ\text{C}$) przyrost rezystancji metali jest proporcjonalny do przyrostu temperatury.

$$R_2 = R_1[1 + a(T_2 - T_1)]$$

$\Delta T = T_2 - T_1$ oznacza przyrost temperatury,

R_1 rezystancja przewodnika w temperaturze T_1 , analogicznie R_2 w temperaturze T_2 .

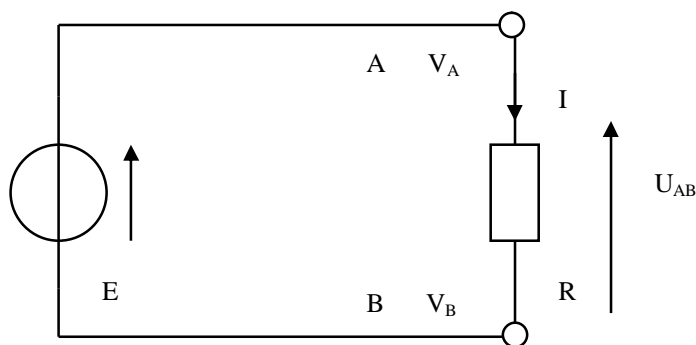
a współczynnik temperaturowy rezystancji dla danego przewodnika.

Stopy metali odznaczają się małym współczynnikiem temperaturowym rezystancji, tzn. że ich rezystancja ulega pomijalnie małym zmianom przy zmianach temperatury. Dlatego niektóre z nich, jak manganin i konstantan są używane do wyrobu oporników laboratoryjnych.

Elektrolity i węgiel odznaczają się ujemnym współczynnikiem temperaturowym rezystancji; ich rezystancja zmniejsza się z podwyższaniem temperatury.

Przewodniki charakteryzują się małą rezystywnością rzędu $\rho = (10^{-8} \div 10^{-7}) \Omega \cdot \text{m}$. Przewodzą one dobrze prąd. Do przewodników zalicza się materiały, w których przepływ prądu polega na ruchu elektronów swobodnych (przewodnictwo elektronowe); należą do nich metale. Do przewodników zalicza się również materiały, w których przepływ prądu polega na ruchu jonów naładowanych dodatnio lub ujemnie (przewodnictwo jonowe) należą do nich wodne roztwory kwasów, zasad i soli, w których współczynnik temperaturowy rezystancji jest ujemny.

Izolatory charakteryzują się bardzo dużą rezystywnością, rzędu $\rho = (10^8 \div 10^{18}) \Omega \cdot m$. Są to materiały mające tylko nieznaczną liczbę elektronów swobodnych, wskutek czego praktycznie prądu nie przewodzą. Dlatego używa się ich jako materiałów izolacyjnych. Należą do nich gazy, oleje oraz ciała stałe z wyjątkiem przewodników. W elektrotechnice jako materiały izolacyjne są najczęściej stosowane: tkaniny bawełniane, jedwabne, szklane, porcelana, olej, guma, różne gatunki papierów, mika, igelit itp. W izolatorach na ogół przy wzroście temperatury wraz z nasileniem ruchu drgającego cząsteczek zwiększa się liczba elektronów swobodnych, co zwiększa konduktancję materiału. Na skutek tego rezystancja izolatorów maleje, współczynnik temperaturowy rezystancji jest ujemny.



Rys. 3. Schemat najprostszego obwodu elektrycznego nierozgałęzionego [3, s. 69]

Rozpatrując schemat obwodu z rys. 3 stwierdzamy, że w obwodzie płynie prąd. Jeżeli do dalszych rozważań weźmiemy pod uwagę część obwodu zawartą między punktami A i B, to prąd elektryczny płynie od punktu A do B. W punkcie A potencjał jest wyższy niż w punkcie B. Jeżeli potencjał w punkcie A oznaczymy przez V_A , potencjał w punkcie B przez V_B , różnicą zaś potencjałów między punktami A i B przez U_{AB} , to otrzymamy napięcie między punktami A i B

$$U_{AB} = V_A - V_B$$

Jednostką napięcia i potencjału jest jeden volt (1 V).

Doświadczenia wykazały, że napięcie na odcinku AB jest proporcjonalne do prądu I przepływającego przez ten odcinek oraz do rezystancji R_{AB} , a zatem

$$U_{AB} = R_{AB} I$$

Zależność między napięciem, prądem i rezystancją określa **prawo Ohma**:

Natężenie prądu I płynącego w przewodniku o rezystancji R jest wprost proporcjonalne do wartości napięcia U a odwrotnie proporcjonalne do rezystancji R.

Rozpatrując obwód elektryczny (rys. 3), w którym uwzględniono również źródło napięcia (energii elektrycznej) z jego rezystancją wewnętrzną, otrzymamy prawo Ohma w następującej postaci

$$I = \frac{U}{\sum R}$$

$\sum R$ – rezystancja całego obwodu elektrycznego przez który płynie prąd I

Oporniki, grzejniki, żarówki stawiają przepływowi prądu elektrycznego pewien opór. Do jego pokonania potrzebne jest napięcie, które musi być dostarczone przez źródło napięcia.

Źródłami napięcia stałego nazywać będziemy układ urządzeń, które dają nam energię elektryczną w postaci napięcia stałego. W zależności od tego, z jakiej postaci energii otrzymano energię elektryczną, źródła napięcia stałego dzielimy na: źródła

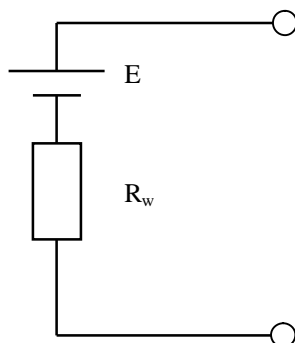
elektromechaniczne, źródła chemiczne, źródła ciepłe, źródła świetlne i źródła piezoelektryczne.

W każdym z powyższych źródeł zachodzi zamiana odpowiedniej postaci energii na energię elektryczną, objawiającą się napięciem

Rezystory, grzejniki, żarówki stawiają przepływowi prądu elektrycznego pewien opór. Do jego pokonania potrzebne jest napięcie, które musi być dostarczone przez źródło napięcia. Wielkością charakteryzującą każde źródło napięcia jest jego siła elektromotoryczna, czyli napięcie źródłowe, oznaczane literą E . Należy jednak pamiętać, że w źródłach elektromaszynowych prąd musi przepływać przez ich uzwojenia, a w źródłach elektrochemicznych przez elektrolit. Zarówno uzwojenia jak i elektrolit stawiają przepływowi prądu też pewien opór zwany **oporem wewnętrznym** albo **rezystancją wewnętrzną** źródła, którą oznaczamy literą R z dodaniem wskaźnika w , a więc R_w . W związku z tym zachodzi, wewnątrz źródła podczas przepływu prądu I strata mocy $P = R_w I^2$, powodująca wydzielanie się w czasie t ciepła $W = R_w I^2 t$.

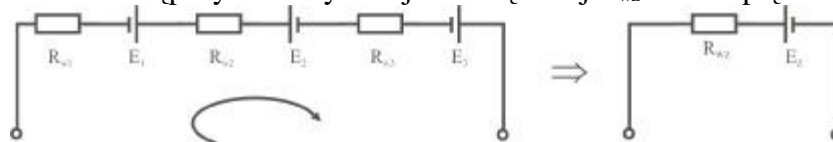
Idealnym źródłem napięcia można by nazwać takie źródło napięcia, wewnątrz którego nie występuje strata mocy, co jest możliwe przy $R_w = 0$. Wówczas cała energia wytworzona w źródle zostaje przekazana odbiornikowi lub układowi odbiorczemu. Do opisu idealnego źródła napięcia potrzebna jest tylko znajomość jego siły elektromotorycznej.

Rzeczywiste źródło napięcia jest to źródło, do którego opisu potrzebne są dwie wielkości: siła elektromotoryczna i rezystancja wewnętrzna. W schematach elektrycznych umieszczamy obok symbolu źródła napięcia oznaczenie E dla źródła idealnego, a E, R_w dla źródła rzeczywistego. Jeszcze wyraźniej można przedstawić w schematach rzeczywiste źródło napięcia za pomocą źródła idealnego E i połączonego w szereg z nim opornika o rezystancji R_w , co nazywamy schematem zastępczym rzeczywistego źródła napięcia.



Rys. 4. Rzeczywiste źródło napięcia [3, s. 70]

Jeżeli mamy kilka źródeł napięciowych połączonych szeregowo, to można je zastąpić jednym, tzw. źródłem zastępczym o rezystancji wewnętrznej R_{wz} oraz napięciu źródłowym E_z .



Rys. 5. Połączenie szeregowe źródeł napięcia oraz ich źródło zastępcze [3, s. 72]

Wartość napięcia źródłowego źródła zastępczego E_z jest równa sumie algebraicznej napięć źródłowych E_1, E_2, E_3 . Algebraiczna oznacza to, że należy obrać jeden kierunek i te napięcia źródłowe, które są zgodne z obranym kierunkiem mają znak plus, natomiast te, które są przeciwne znak minus

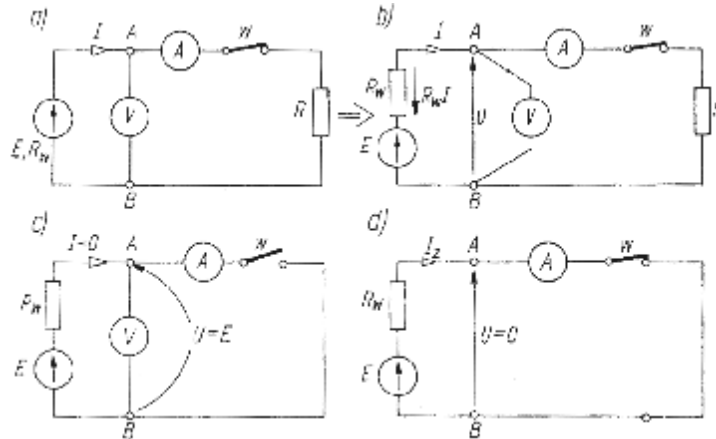
$$E_z = E_1 - E_2 + E_3$$

Rezystancja wewnętrzna R_{wz} jest równa sumie rezystancji wewnętrznych poszczególnych źródeł.

$$R_{wz} = R_{w1} + R_{w2} + R_{w3}$$

Prąd w obwodzie złożonym z jednego źródła napięcia o danych E , R_w i jednego opornika R wyraża się wzorem i ma zwrot zgodny ze zwrotem siły elektromotorycznej E :

$$I = \frac{E}{R_w + R}$$



Rys. 6. Rzeczywiste źródło napięcia: a), b) obciążone, c) w stanie jałowym, d) w stanie zwarcia [3, s.79]

Celem określenia wartości napięcia U mierzonego na zaciskach (źródła napięcia zasilającego odbiornik prądem I) A , B wykonujemy schemat zastępczy źródła napięcia. Między zaciskami A - B mamy dwa elementy: idealne źródło napięcia E i opornik R_w . Na tym oporniku występuje spadek napięcia $R_w I$ o zwrocie skierowanym przeciwnie do zwrotu prądu. Napięcie U między zaciskami A , B , obliczamy odejmując od siły elektromotorycznej E spadek napięcia $R_w I$ na rezystancji wewnętrznej źródła

$$U = E - R_w I$$

Stan, w którym źródło napięcia zasila odbiorniki, nazywamy **stanem obciążenia źródła napięcia**. Napięcie mierzone na zaciskach źródła obciążonego prądem I jest mniejsze od jego siły elektromotorycznej o spadek napięcia na jego rezystancji wewnętrznej.

Prąd obciążenia źródła zależy od rezystancji R odbiornika, którą możemy zmieniać w dużych granicach ($R = 0$ do $R = \infty$) zmieniając odbiornik lub stosując opornik nastawny.

Nieskończenie wielką wartość rezystancji R osiągamy praktycznie otwierając wyłącznik w wtedy prąd $I = 0$, wobec czego nie ma spadku napięcia wewnątrz źródła ($R_w I = 0$), a napięcie na zaciskach źródła $U = E$. Stan taki nazywamy stanem jałowym. Napięcie stanu jałowego oznaczamy zwykle przez U_0 . **Stan jałowy** źródła napięcia jest to taki stan, w którym przez źródło prąd nie płynie: $I = 0$. Napięcie stanu jałowego U_0 na zaciskach źródła napięcia jest równe jego sile elektromotorycznej E :

$$E = U_0$$

Siłę elektromotoryczną źródła napięcia mierzymy praktycznie woltmierzem o bardzo dużej rezystancji R_v (teoretycznie $R_v = \infty$) przyłączonym do zacisków źródła nie obciążonego.

Drugi skrajny przypadek, gdy $R = 0$, odpowiada połączeniu zacisków źródła tak grubym i krótkim przewodem, żeby jego rezystancja była znikomo mała. Określamy to jako zwarcie zacisków źródła napięcia. Wtedy w obwodzie pozostaje tylko rezystancja wewnętrzna źródła,

a prąd osiąga wartość $I = I_z$ nazywaną prądem zwarcia. Napięcie na zaciskach źródła jest wtedy równe zero. **Stan zwarcia źródła napięcia** jest to taki stan, w którym napięcie na zaciskach źródła jest równe zero. W stanie zwarcia płynie przez źródło prąd ograniczony tylko rezystancją wewnętrzną źródła. Niektóre źródła napięcia, np. akumulatory, mają bardzo małą rezystancję wewnętrzną, tak że prąd zwarcia grozi zniszczeniem źródła napięcia.

4.2.2. Pytania sprawdzające

Odpowiadając na pytania, sprawdzisz, czy jesteś przygotowany do wykonania ćwiczeń.

1. Jaka jest definicja następujących pojęć: prąd elektryczny, napięcie, źródło napięcia, odbiornik, obwód elektryczny?
2. Jakie elementy wchodzi w skład podstawowego obwodu elektrycznego?
3. Jakie warunki muszą być spełnione, aby prąd płynął w obwodzie?
4. W jakich środowiskach może występować przepływ prądu?
5. Jaka jest definicja prawa Ohma?
6. Jak zastosować prawo Ohma do wykonywania prostych obliczeń – spadków napięcia, wartości prądu w obwodzie?
7. Jakie jest zastosowanie różnych rodzajów źródeł napięcia?
8. Jak dzielą się materiały w elektrotechnice pod względem przenoszenia nośników ładunków elektrycznych?
9. Jak obliczyć rezystancję przewodu znając jego parametry?
10. Jak można opisać stan jałowy, obciążenia i zwarcia źródła napięcia?
11. Jak obliczyć rezystancję zastępczą obwodu nierozgałęzionego z kilkoma rezystorami?

4.2.3. Ćwiczenia

Ćwiczenie 1

Oblicz rezystancję łączna linii napowietrznej, jeżeli jest ona wykonana z dwóch przewodów miedzianych o średnicy 2,5 mm i długości łącznej 600 m.

Sposób wykonania ćwiczenia

Aby wykonać ćwiczenie, powinieneś:

- 1) obliczyć przekrój przewodu,
- 2) odczytać z tablic rezystywność miedzi,
- 3) obliczyć rezystancję linii,
- 4) zaprezentować efekty swojej pracy.

Wyposażenie stanowiska pracy:

- kalkulator,
- tablica rezystywności przewodników,
- literatura wskazana przez nauczyciela lub dotycząca materiału jednostki modułowej,
- zeszyt, przybory do pisania.

Ćwiczenie 2

Oblicz rezystancję linii napowietrznej w temperaturach $+50^{\circ}\text{C}$ oraz -20°C o łącznej długości 1 km, która jest wykonana z drutu miedzianego o przekroju $4,15\text{ mm}^2$.

Sposób wykonania ćwiczenia

Aby wykonać ćwiczenie, powinieneś:

- 1) odczytać z tablic rezystywność miedzi,
- 2) obliczyć rezystancję linii w temperaturze 200C,
- 3) odczytać z tablic temperaturowy współczynnik zmian oporności alfa,
- 4) obliczyć rezystancję linii w temperaturze +500°C i –200°C,
- 5) porównać otrzymane wyniki,
- 6) zaprezentować efekty swojej pracy.

Wyposażenie stanowiska pracy:

- kalkulator,
- tablice rezystywności przewodników i temperaturowych współczynników zmian oporności,
- literatura wskazana przez nauczyciela lub dotycząca materiału jednostki modułowej,
- zeszyt, przybory do pisania.

Ćwiczenie 3

Obliczyć prąd zwarcia oraz napięcie na zaciskach akumulatora, jeżeli siła elektromotoryczna akumulatora samochodowego, złożonego z 6 ogniw, ma wartość $E = 12 \text{ V}$, a rezystancja wewnętrzna $R_w = 0,02 \Omega$,

- a) przy obciążeniu prądem $I = 5 \text{ A}$,
- b) przy zasilaniu rozrusznika (startera) pobierającego prąd $I = 100 \text{ A}$.

Sposób wykonania ćwiczenia

Aby wykonać ćwiczenie, powinieneś:

- 1) obliczyć prąd zwarcia,
- 2) obliczyć napięcie na zaciskach akumulatora przy obciążeniu prądem 5 A i przy zasilaniu rozrusznika,
- 3) zaprezentować efekty swojej pracy,

Wyposażenie stanowiska pracy:

- kalkulator,
- przybory do pisania, zeszyt do ćwiczeń,
- literatura wskazana przez nauczyciela lub dotycząca materiału jednostki modułowej,

Ćwiczenie 4

Zapoznaj się z budową i parametrami źródeł napięcia stałego. Opisz zastosowanie tych źródeł w samochodzie.

Sposób wykonania ćwiczenia

Aby wykonać ćwiczenie, powinieneś:

- 1) zapisać nazwy i wartości parametrów znamionowych tych elementów,
- 2) opisać budowę i zastosowanie tych źródeł w samochodzie,
- 3) zaprezentować efekty swojej pracy,

Wyposażenie stanowiska pracy:

- okazy naturalne źródeł napięcia,
- informacje katalogowe badanych źródeł,
- Internet,
- zeszyt, przybory do pisania.

Ćwiczenie 5

Wykonaj pomiary podstawowych wielkości elektrycznych w obwodzie nierozgałęzionym.
Sprawdzenie prawa Ohma.

Sposób wykonania ćwiczenia

Aby wykonać ćwiczenie, powinieneś:

- 1) dobrać i przygotować mierniki uniwersalne takie jak: woltomierz, amperomierz i omomierz,
- 2) narysować schematy do pomiaru napięcia i prądu, przygotować tabelę do wpisywania wyników pomiarów,
- 3) podłączyć woltomierz do źródła i ustawić napięcie $U = 10 \text{ V}$ na zasilaczu, następnie wykonać pomiar spadku napięcia na każdym rezystorze (nauczyciel sprawdza podłączenie amperomierza i woltomierza),
- 4) wykonać pomiary prądu płynącego w obwodzie przy różnych napięciach $U = 2 \div 10 \text{ V}$, co 2 V ,
- 5) wpisać pomiary do tabeli,
- 6) narysować charakterystykę prądowo- napięciową dla każdego rezystora,
- 7) rozłączyć obwód i dokonać pomiaru wartości rezystancji dla każdego rezystora przy $U = 0 \text{ V}$,
- 8) obliczyć wartość rezystancji każdego rezystora oraz rezystancję zastępczą obwodu,
- 9) zaprezentować efekty swojej pracy,

Wyposażenie stanowiska pracy:

- zestaw laboratoryjny z wyposażeniem do sprawdzenia prawa Ohma,
- kalkulator,
- instrukcja do wykonania ćwiczenia,
- przybory do pisania, zeszyt do ćwiczeń.

4.2.4. Sprawdzian postępów

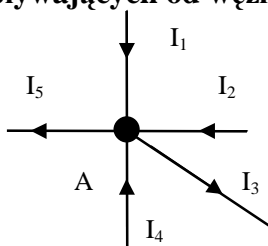
Czy potrafisz:

	Tak	Nie
1) zdefiniować pojęcia: napięcie, prąd elektryczny, źródło napięcia, obwód elektryczny, odbiornik?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2) wymienić elementy, które występują w obwodzie elektrycznym?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3) określić warunki, jakie muszą być spełnione, aby prąd płynął w obwodzie?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4) opisać środowiska, w których może przepływać prąd elektryczny?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
5) zastosować prawo Ohma do wykonywania obliczeń wielkości: napięcia, prądu i rezystancji?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
6) obliczyć rezystancję przewodu znając jego parametry?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
7) opisać zastosowanie różnych źródeł napięcia?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
8) wymienić rodzaje materiałów, które przewodzą prąd elektryczny?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
9) scharakteryzować różne stany źródła napięcia przy pomocy schematów i równań matematycznych?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
10) obliczyć rezystancję zastępczą obwodu z kilkoma rezystorami?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

4.3. Obwód rozgałęziony prądu stałego. Prawa Kirchhoffa. Połączenie szeregowe, równoległe i mieszane rezystorów

4.3.1. Materiał nauczania

Pierwsze prawo Kirchhoffa dla węzła obwodu prądu stałego można sformułować następująco: „Dla każdego węzła obwodu elektrycznego suma prądów dopływających do węzła jest równa sumie prądów odpływających od węzła”



Rys. 7. Węzeł obwodu elektrycznego [3, s. 91]

Dla węzła przedstawionego na rys. 7 pierwsze prawo Kirchhoffa można wyrazić równaniem:

$$I_1 + I_2 + I_4 = I_3 + I_5$$

Jeżeli wyrazy prawej strony równania przeniesiemy na lewą stronę, otrzymamy równanie:

$$I_1 + I_2 + I_4 - I_3 - I_5 = 0$$

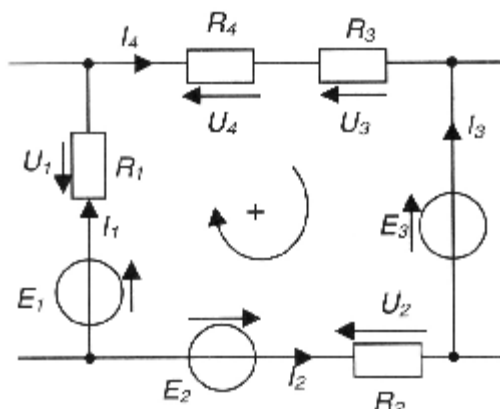
Równanie to wyraża sumę algebraiczną prądów w węźle obwodu elektrycznego, co stanowi alternatywną treść I prawa Kirchhoffa, mówiącą, że:

„Dla każdego węzła obwodu elektrycznego, algebraiczna suma prądów jest równa zero”.

Drugie prawo Kirchhoffa dotyczące bilansu napięć w oczku obwodu elektrycznego prądu stałego można sformułować następująco:

„W dowolnym oczku obwodu elektrycznego prądu stałego suma algebraiczna napięć źródłowych oraz suma algebraiczna napięć odbiornikowych występujących na rezystancjach rozpatrywanego oczka jest równa zero”.

Dla zrozumienia sposobu zapisywania II prawa Kirchhoffa w postaci równania rozpatrzmy dowolne wyodrębnione oczko obwodu elektrycznego (rys. 8).



Rys. 8. Wyodrębnione oczko obwodu elektrycznego [2, s.26]

W oczku tym oznaczone są zwroty prądów w poszczególnych gałęziach oraz zwroty napięć na poszczególnych rezystorach (odbiornikach). Napięcia odbiornikowe zgodnie z prawem Ohma można zapisać jako:

$$U_1 = I_1 \cdot R_1 \quad ; \quad U_2 = I_2 \cdot R_2 \quad ; \quad U_3 = I_3 \cdot R_3 \quad ; \quad U_4 = I_4 \cdot R_4$$

Dla zapisania II prawa Kirchhoffa w postaci równania przyjmujemy pewien (dowolny) zwrot obiegu oczka oznaczony strzałką wewnątrz oczka. Ten zwrot przyjmujemy za dodatni. Jeśli zwrot napięcia źródła lub odbiornika jest zgodny z tą strzałką, to te napięcia źródłowe i odbiornikowe przyjmujemy jako dodatnie. Jeśli zaś zwroty napięć są przeciwne, to znaki napięcia źródła lub odbiornika przyjmujemy jako ujemne. W rezultacie takich założeń otrzymujemy równanie:

$$E_1 - E_2 - E_3 - U_1 + U_2 - U_3 - U_4 = 0$$

Po przeniesieniu napięć odbiornikowych na prawą stronę równania otrzymamy:

$$E_1 - E_2 - E_3 = U_1 - U_2 + U_3 + U_4$$

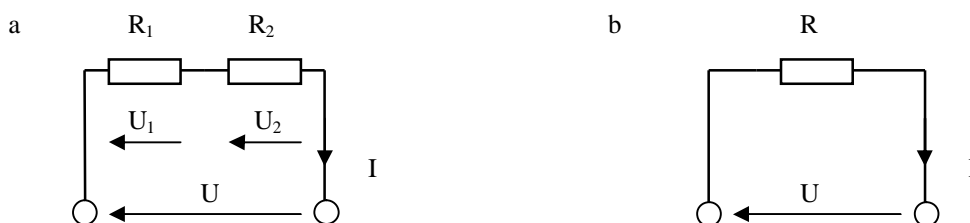
Oznacza to, że II prawo Kirchhoffa możemy sformułować w postaci odpowiadającej powyższemu równaniu:

„W dowolnym oczku obwodu elektrycznego prądu stałego suma algebraiczna napięć źródłowych jest równa sumie algebraicznej napięć odbiornikowych”.

Szeregowe łączenie rezystorów

Układ dwóch szeregowo połączonych rezystorów R_1 i R_2 (rys. 9a) chcemy zastąpić jednym równoważnym rezystorem R (rys. 9b), takim, który nie zmieni wartości prądu I .

Zgodnie z II prawem Kirchhoffa możemy zapisać: $U = U_1 + U_2$



Rys. 9. Szeregowe połączenie rezystorów [źródło własne]

Po uwzględnieniu Prawa Ohma: $U = I \cdot R_1 + I \cdot R_2$ i po podzieleniu stron równania przez I otrzymamy: $U/I = R_1 + R_2$. Po zapisaniu prawa Ohma dla rys. 9b: $U/I = R$ nietrudno zauważyć, że rezystancja zastępcza dwóch rezystorów połączonych szeregowo wynosi:

$$R = R_1 + R_2.$$

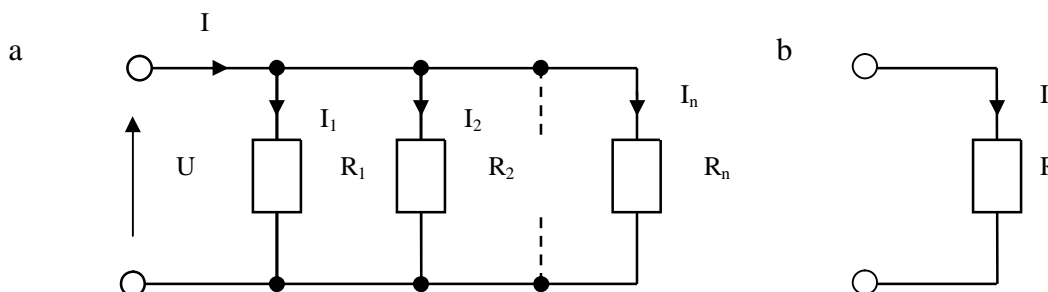
Analogiczna zależność obowiązuje dla dowolnej liczby rezystorów połączonych szeregowo i by uzyskać rezystancję zastępczą układu, należy zsumować rezystancję poszczególnych rezystorów obwodu.

Napięcie na zaciskach układu szeregowego kilku rezystorów jest równe sumie napięć na poszczególnych rezystorach.

Równoległe łączenie rezystorów

Połączeniem równoległym kilku gałęzi w obwodzie elektrycznym nazywamy takie połączenie, przy którym na końcach tych gałęzi istnieje wspólne napięcie.

Przykład takiego połączenia pokazano na rys. 10a.



Rys. 10. Równoległe połączenie rezystorów i jego schemat zastępczy [źródło własne]

Prądy płynące poprzez poszczególne rezystory obliczamy dzieląc napięcie przez ich rezystancje albo mnożąc przez konduktancję:

$$I_1 = \frac{U}{R_1} = G_1 \cdot U$$

Prąd wypadkowy I , dopływający do rozpatrywanego układu równoległego, jest równy sumie prądów w poszczególnych rezystorach.

$$I = I_1 + I_2 + \dots + I_n$$

Gdybyśmy chcieli badany układ równoległy rezystorów zastąpić jednym opornikiem, który by przy tym samym napięciu U pobierał taki sam prąd I , to:

$$I = G \cdot U$$

$$G = G_1 + G_2 + \dots + G_n$$

Wobec powyższego możemy stwierdzić, że konduktancja (przewodność) zastępcza układu równoległego kilku rezystorów jest równa sumie ich konduktancji.

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} = \frac{1}{R_2} + \dots + \frac{1}{R_n}$$

Odwrotność rezystancji zastępczej układu równoległego kilku rezystorów jest równa sumie odwrotności ich rezystancji.

Przy połączeniu równoległym n jednakowych rezystorów, każdy o rezystancji R_1 ich rezystancja zastępcza jest n razy mniejsza niż rezystancja jednego rezystora.

$$R = \frac{R_1}{n}$$

Niekiedy stosuje się szeregowo-równoległe połączenia rezystorów, zwane też połączeniami mieszanymi. Ze względu na możliwości takich połączeń nie istnieją wzory ogólne na obliczenie rezystancji zastępczej. Wyznacza się ją zwykle po kolei etapami obliczając rezystancję poszczególnych układów szeregowych i równoległych.

4.3.2. Pytania sprawdzające

Odpowiadając na pytania, sprawdzisz, czy jesteś przygotowany do wykonania ćwiczeń.

1. Jakie znasz własności połączenia szeregowego rezystorów?
2. Jakie znasz własności połączenia równoległego rezystorów?
3. Jakie obwody nazywamy rozgałęzionymi?
4. Jak brzmi I i II prawo Kirchhoffa?
5. Jak zapisujemy równania wyrażające I i II prawo Kirchhoffa?
6. Jak wyznacza się rezystancję zastępczą połączenia szeregowego i równoległego rezystorów?
7. Jakie zasady obowiązują podczas określania kierunków strzałkami prądów i napięć?
8. Jak obliczać wartości prądów i spadków napięć w układach mieszanych rezystorów?

4.3.3. Ćwiczenia

Ćwiczenie 1

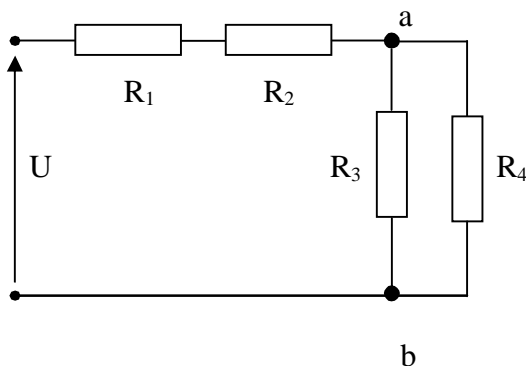
Oblicz wartości prądów w poszczególnych gałęziach układu przedstawionego na rysunku oraz wartości spadków napięć na wszystkich rezystorach. Obliczenia wykonaj z dokładnością do 0,01.

DANE:

$$U = 10 \text{ V};$$

$$R_1 = 1 \ \Omega; R_3 = 3 \ \Omega;$$

$$R_2 = 2 \ \Omega; R_4 = 4 \ \Omega;$$



Sposób wykonania ćwiczenia

Aby wykonać ćwiczenie, powinieneś:

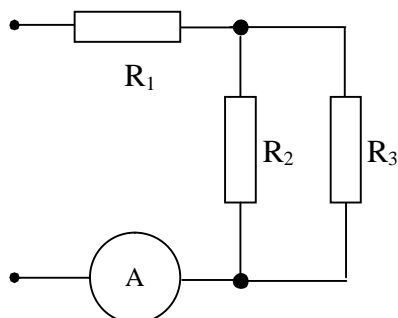
- 1) obliczyć rezystancję zastępczą układu,
- 2) obliczyć prąd zasilania w układzie,
- 3) obliczyć spadki napięć na rezystorach R_1 i R_2 ,
- 4) obliczyć napięcie na zaciskach ab oraz prądy w gałęziach R_3 i R_4 ,
- 5) zaprezentować efekty swojej pracy.

Wyposażenie stanowiska pracy:

- literatura wskazana przez nauczyciela lub dotycząca materiału jednostki modułowej,
- kalkulator,
- film dydaktyczny przedstawiający łączenie rezystorów,
- przybory do pisania, zeszyt do ćwiczeń.

Ćwiczenie 2

Obliczyć spadki napięcia na poszczególnych rezystorach w układzie pokazanym na rysunku, jeżeli amperomierz wskazuje 3A, a rezystancje wynoszą $R_1 = 3 \Omega$; $R_2 = 2 \Omega$; $R_3 = 4 \Omega$.



Sposób wykonania ćwiczenia

Aby wykonać ćwiczenie, powinieneś:

- 1) obliczyć rezystancję zastępczą układu,
- 2) obliczyć napięcie zasilania,
- 3) obliczyć spadki napięcia na poszczególnych rezystorach,
- 4) zaprezentować efekty swojej pracy.

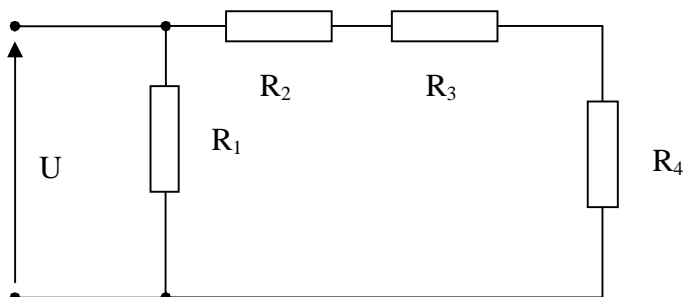
Wyposażenie stanowiska pracy:

- literatura wskazana przez nauczyciela lub dotycząca materiału jednostki modułowej,
- kalkulator,
- film dydaktyczny przedstawiający łączenie rezystorów,
- przybory do pisania, zeszyt do ćwiczeń,

Ćwiczenie 3

Oblicz w układzie przedstawionym na rysunku wszystkie spadki napięć oraz prądy w gałęziach. Obliczenia wykonać z dokładnością do 0,01.

$$U = 10 \text{ V}; R_1 = 1 \Omega; R_2 = 2 \Omega; R_3 = 3 \Omega; R_4 = 4 \Omega$$



Sposób wykonania ćwiczenia

Aby wykonać ćwiczenie, powinieneś:

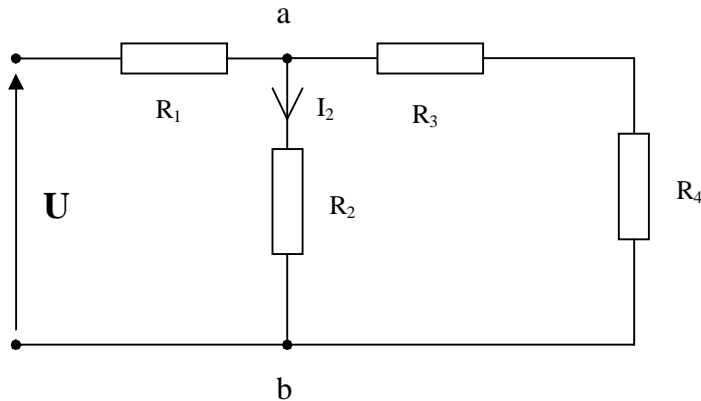
- 1) obliczyć rezystancję zastępczą układu,
- 2) obliczyć prąd zasilania,
- 3) obliczyć prądy w gałęziach,
- 4) obliczyć spadki napięć na rezystorach R_2 , R_3 , R_4 ,
- 5) zaprezentować efekty swojej pracy.

Wyposażenie stanowiska pracy:

- literatura wskazana przez nauczyciela lub dotycząca materiału jednostki modułowej,
- kalkulator,
- film dydaktyczny przedstawiający łączenie rezystorów w układzie mieszanym,
- przybory do pisania, zeszyt do ćwiczeń,

Ćwiczenie 4

Oblicz napięcie zasilające oraz prądy w pozostałych gałęziach: $I_2 = 2 \text{ A}$; $R_1 = 3 \text{ } \Omega$; $R_2 = 18 \text{ } \Omega$; $R_3 = 3 \text{ } \Omega$; $R_4 = 6 \text{ } \Omega$



Sposób wykonania ćwiczenia

Aby wykonać ćwiczenie, powinieneś:

- 1) obliczyć rezystancję zastępczą układu,
- 2) obliczyć prąd zasilania układu,
- 3) obliczyć napięcie zasilania układu,
- 4) obliczyć prąd w trzeciej gałęzi,
- 5) zaprezentować efekty swojej pracy.

Wyposażenie stanowiska pracy:

- literatura wskazana przez nauczyciela lub dotycząca materiału jednostki modułowej,
- kalkulator,
- przybory do pisania, zeszyt do ćwiczeń.

4.3.4. Sprawdzian postępów

Czy potrafisz:

- | | Tak | Nie |
|--|--------------------------|--------------------------|
| 1) zinterpretować I i II prawo Kirchhoffa? | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 2) obliczać rezystancję zastępczą układów mieszanych rezystorów? | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 3) obliczać prądy w gałęziach? | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 4) obliczać spadki napięć na poszczególnych rezystorach? | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |

4.4. Praca i moc prądu elektrycznego. Przemiany energii elektrycznej w inne rodzaje energii

4.4.1. Materiał nauczania

Moc prądu elektrycznego

Z obserwacji wielu urządzeń elektrycznych wynika, że prąd elektryczny może wykonywać pracę. Może to być praca mechaniczna - jak w przypadku silników elektrycznych, może to być wytwarzanie ciepła lub światła, jak w grzałce pieca, lub żarówce. Zgodnie z zasadą zachowania energii oznacza to, że z poborem prądu elektrycznego przez urządzenia wiąże się dostarczanie energii elektrycznej, która może być zamieniana na inne rodzaje energii (cieplną, mechaniczną).

$$W = U \cdot I \cdot t$$

Jednostką energii elektrycznej jest 1 dżul (1 J)

$$[E] = [U] \cdot [I] \cdot [t] = V \cdot A \cdot s = W \cdot s = J$$

gdzie: W - jednostka mocy elektrycznej (wat) 1 W = 1 V · 1 A.

Mocą prądu elektrycznego nazywamy stosunek energii prądu elektrycznego do czasu przepływu tego prądu i oznaczamy ją przez P.

$$P = \frac{W}{t} = U \cdot I$$

Wynika stąd, że moc elektryczna równa jest iloczynowi napięcia i prądu: ($P = U \cdot I$). Analogicznie korzystając z prawa Ohma możemy wyrazić moc prądu wzorami.

$$P = U \cdot I = (I \cdot R) \cdot I = I^2 \cdot R$$

$$P = U \cdot I = U \cdot \left(\frac{U}{R} \right) = \frac{U^2}{R} = U^2 \cdot G$$

Jednostką mocy elektrycznej jest 1 Wat (1 W = 1 J/s).

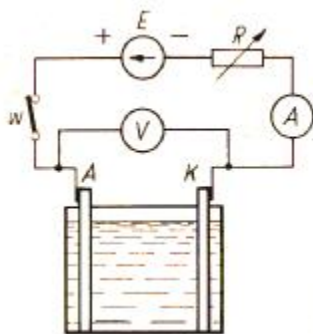
Moc elektryczną można zmierzyć bezpośrednio za pomocą miernika mocy (rys. 2). Moc odbiorników rezystancyjnych można wyznaczyć pośrednio z iloczynu zmierzonego napięcia i natężenia prądu. Mierniki mocy mają najczęściej elektrodynamiczny ustrój pomiarowy o zamkniętym rdzeniu, z cewką prądową i cewką napięciową. Obwodu prądowego i napięciowego nie należy przeciążać. Trzeba zwracać uwagę, aby rzeczywiste wartości skuteczne napięcia i prądu nie były większe niż 1,2 wartości ustawionych zakresów pomiarowych napięcia i prądu (zależnie od danych producenta). Mierniki mocy z elektrodynamicznym ustrojem pomiarowym nadają się do pomiarów mocy przy prądzie stałym i przemiennym.

Pomiar mocy wielozakresowym miernikiem mocy:

- Przyłączyć miernik mocy do urządzenia odłączonego od zasilania. Należy przy tym zwracać szczególną uwagę na pewność styków w obwodzie prądowym.
- Ustawić przełączniki zakresów prądu i napięcia na potrzebne zakresy.
- Nastawić przełącznik rodzaju pomiaru na właściwy rodzaj prądu (AC albo DC).
- Włączyć urządzenie i przeprowadzić pomiar.
- Po wykonaniu pomiaru wyłączyć urządzenie i rozłączyć układ pomiarowy.

Roztwory wodne kwasów, zasad i soli zaliczamy do przewodników elektrycznych kategorii II, tj. takich, w których prąd elektryczny wywołuje zmiany chemiczne. Proces przepływu prądu elektrycznego w cieczach wraz z towarzyszącymi mu zmianami chemicznymi nazywamy **elektrolizą**. W roztworach wodnych soli, kwasów i zasad następuje dysocjacja, czyli rozpad pewnej liczby ich cząsteczek pod wpływem wody na jony dodatnie i ujemne. Stopień dysocjacji zależy od stężenia roztworu i od temperatury. Prąd elektryczny w elektrolitach polega na ruchu jonów dodatnich zgodnie ze zwrotem prądu, a jonów ujemnych w stronę przeciwną. Przewodnictwo elektrolitów jest przewodnictwem jonowym, odznaczają się nim również roztopione sole, co jest wykorzystywane np. w produkcji aluminium.

Urządzeniem którym można dokonać badania zjawiska elektrolizy składa się z naczynia z materiału izolacyjnego (np. szkło) napełnionego do pewnej wysokości dowolnym elektrolitem i z dwóch zanurzonych w nim, ale nie stykających się ze sobą elektrod. Elektrody łączymy w szereg z opornikiem suwakowym i ze źródłem napięcia stałego. Elektrode połączoną z dodatnim zaciskiem źródła, a więc elektrodę o wyższym potencjale nazywamy **anodą**, a elektrodę o niższym potencjale nazywamy **katodą**. Na rysunku oznaczono je przez *A* i *K*.



Rys. 11. Schemat urządzenia do badania elektrolizy [3, s109]

Pod wpływem napięcia między elektrodami jony dodatnie dążą do katody i dlatego nazywamy je kationami, jony ujemne dążą do anody i dlatego nazywamy je anionami. Jony są nieaktywne chemicznie, tak że podczas przemieszczania się w elektrolicie nie wchodzi w reakcje chemiczne. Dopiero w zetknięciu z elektrodami zostają zubożnione elektrycznie. Jony dodatnie metali lub wodoru stają się po zubożeniu atomami metali lub cząsteczkami wodoru H_2 i osiadają na katodzie. Jony ujemne reszt kwasowych i zasadowych po oddaniu anodzie nadwyżki elektronów wchodzi w reakcje chemiczne z anodą lub elektrolitem. Oddane anodzie elektrony płyną dalej przez opornik i źródło napięcia do katody. W ten sposób zamyka się obwód prądu elektrycznego.

Prawa Faradaya: masa substancji wydzielonej na elektrodzie podczas elektrolizy jest przy prądzie stałym proporcjonalna do iloczynu prądu i czasu przepływu prądu; ściślej mówiąc jest proporcjonalna do przenieszonego ładunku elektrycznego:

$$m = kIt$$

m – masa wydzielonej substancji pod wpływem płynącego prądu *I* w czasie *t*

Elektroliza ma wielostronne zastosowania przemysłowe w elektrolitycznym oczyszczaniu metali, w nakładaniu powłok metalowych ozdobnych i rdzoochronnych i w wielu gałęziach przemysłu chemicznego. Stosowaną powszechnie w elektrotechnice tzw. miedź elektrolityczną otrzymuje się przez oczyszczanie miedzi w wannach elektrolitycznych. Jako anody są używane grube płyty miedzi zawierającej sporo zanieczyszczeń po wytopie hutniczym, a jako katody cienkie blachy z czystej miedzi. Podczas elektrolizy tylko jony miedzi osiadają na katodzie, a zanieczyszczenia opadają na dno wanny.

4.4.2. Pytania sprawdzające

Odpowiadając na pytania, sprawdzisz, czy jesteś przygotowany do wykonania ćwiczeń.

1. Jak obliczamy moc prądu?
2. Na jakie rodzaje energii zamieniana jest energia elektryczna?
3. Jak zmierzyć moc prądu elektrycznego?
4. W jakich jednostkach mierzymy moc prądu?
5. Czy potrafisz opisać zjawisko elektrolizy?
6. Jak brzmi prawo Faradaya 'a'?
7. Jakie zastosowanie ma elektroliza w przemyśle?

4.4.3. Ćwiczenia

Ćwiczenie 1

Jaka jest moc całkowita, natężenie prądu i rezystancja piecyka, piecyk elektryczny ma trzy grzejniki o danych 500 W/220 V, połączone równolegle?

Sposób wykonania ćwiczenia

Aby wykonać ćwiczenie, powinieneś:

- 1) obliczyć moc całkowitą,
- 2) obliczyć natężenie prądu pobieranego przez grzejnik,
- 3) obliczyć rezystancję zastępczą grzejnika,
- 4) zaprezentować efekty swojej pracy.

Wyposażenie stanowiska pracy:

- literatura wskazana przez nauczyciela lub dotycząca materiału jednostki modułowej,
- kalkulator,
- przybory do pisania, zeszyt do ćwiczeń.

Ćwiczenie 2

Jaka moc wydziela się w postaci energii cieplnej w rezystorze R, przez który przepływa prąd o natężeniu 2 A, a spadek napięcia na rezystorze wynosi $U = 115$ V? Jaką rezystancję ma rezystor?

Sposób wykonania ćwiczenia

Aby wykonać ćwiczenie, powinieneś:

- 1) narysować schemat układu z miernikami,
- 2) obliczyć moc elektryczną,
- 3) obliczyć rezystancję rezystora,
- 4) zaprezentować efekty swojej pracy.

Wyposażenie stanowiska pracy:

- kalkulator,
- literatura wskazana przez nauczyciela lub dotycząca materiału jednostki modułowej,
- przybory do pisania, zeszyt do ćwiczeń.

Ćwiczenie 3

Żarówka o mocy 40 W została przyłączona na 3 h do sieci 220 V. Jaki prąd pobiera żarówka, jaka jest jej oporność oraz ile energii zużyła?

Sposób wykonania ćwiczenia

Aby wykonać ćwiczenie, powinieneś:

- 1) obliczyć natężenie prądu jaki pobiera żarówka,
- 2) obliczyć rezystancję żarówki,
- 3) energię zużytą obliczyć 2 sposobami (z jej danych znamionowych, oraz ze wzoru na pracę prądu),
- 4) wyniki obliczeń sprawdź matematycznie,
- 5) zaprezentować efekty swojej pracy.

Wyposażenie stanowiska pracy:

- literatura wskazana przez nauczyciela lub dotycząca materiału jednostki modułowej,
- kalkulator.
- przybory do pisania, zeszyt do ćwiczeń.

Ćwiczenie 4

Jakie natężenie powinien mieć prąd wanny elektrolitycznej, aby chromowanie zostało zakończone w czasie $t = 10\text{h}$? Należy pokryć chromem 200 sztuk zwierciadeł do reflektorów: warstwa chromu na każdym z nich powinna wynosić 3 g. Równoważnik elektrochemiczny chromu $k = 0,18 \text{ mg/As}$.

Sposób wykonania ćwiczenia

Aby wykonać ćwiczenie, powinieneś:

- 1) obliczyć masę chromu do pokrycia 200 sztuk zwierciadeł w mg,
- 2) obliczyć natężenie prądu wanny elektrolitycznej,
- 3) zaprezentować efekty swojej pracy.

Wyposażenie stanowiska pracy:

- literatura wskazana przez nauczyciela lub dotycząca materiału jednostki modułowej,
- kalkulator,
- przybory do pisania, zeszyt do ćwiczeń.

Ćwiczenie 5

Obserwowanie działania elektrochemicznego prądu – sprawdzenie prawa Faradaya.

Sposób wykonania ćwiczenia

Aby wykonać ćwiczenie, powinieneś:

- 1) narysować schemat obwodu elektrycznego do przeprowadzenia procesu elektrolizy,
- 2) połączyć elementy obwodu zgodnie ze schematem ideowym,
- 3) przygotować tabelę do zapisania wyników pomiarów zawierającą: czas przepływu prądu, natężenie prądu, przyrost masy katody, ubytek masy anody,
- 4) wykonać doświadczenie przy użyciu elektrod: miedzianych, węglowych lub węglowej i metalowej,
- 5) zapisać wyniki pomiarów i opracować wnioski,
- 6) zaprezentować efekty swojej pracy.

Wyposażenie stanowiska pracy:

- zasilacz prądu stałego od 0 do 25 V,
- zestaw dydaktyczny do przeprowadzania ćwiczeń z elektrolizy,
- instrukcja do ćwiczeń,
- zeszyt, przybory do pisania.

4.4.4. Sprawdzian postępów

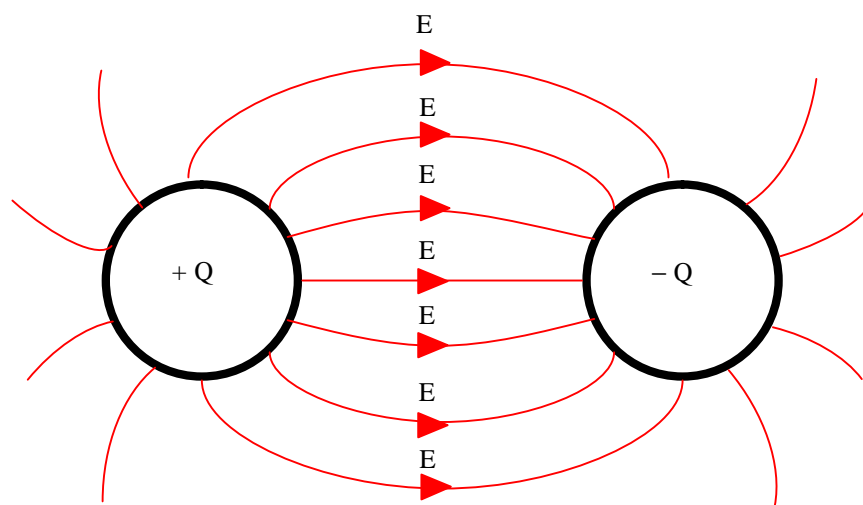
Czy potrafisz:

	Tak	Nie
1) obliczyć moc prądu elektrycznego w odpowiednich jednostkach?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2) opisać zjawisko elektrolizy i jej zastosowanie w przemyśle?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3) zinterpretować prawo Faraday'a?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4) opisać charakter jonowy prądu elektrycznego?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

4.5. Pole elektryczne. Pojemność elektryczna. Łączenie kondensatorów

4.5.1. Materiał nauczania

W przyrodzie istnieje równowaga ładunków elektrycznych w każdym atomie. Powstawanie ładunku elektrycznego jednego znaku na jakimkolwiek ciele może nastąpić przez przeniesienie części elektronów z jednego ciała na drugie, wobec czego musi powstać na innych ciałach ładunek elektryczny przeciwnego znaku o tej samej wartości bezwzględnej.



Rys. 12. Pole elektryczne między dwiema elektrodami kulistymi [źródło własne]

Ładunki elektryczne przewodników w stanie statycznym gromadzą się na ich powierzchni. Jeżeli dwa przewodniki 1 i 2 oddzielone od siebie dielektrykiem połączonym ze źródłem napięcia o różnicy potencjałów $(V_1 - V_2) = U$, czyli napięciu na jego zaciskach, to na przewodnikach tych pojawią się ładunki $+ Q$ i $- Q$ równe co do wartości bezwzględnej. Ładunki te utrzymują się również po odłączeniu od źródła napięcia (rys. 12). Wspomniane przewodniki nazwiemy elektrodami. Na elektrodzie o potencjale wyższym pojawi się ładunek dodatni, na elektrodzie drugiej ujemny.

Stwierdzono, że przy danym układzie i kształcie elektrod oraz danym dielektryku, powstający ładunek Q jest proporcjonalny do różnicy potencjałów elektrod, czyli do napięcia między elektrodami. Zapiszemy to za pomocą wzoru:

$$Q = C \cdot (V_1 - V_2) \quad \text{albo} \quad Q = C \cdot U$$

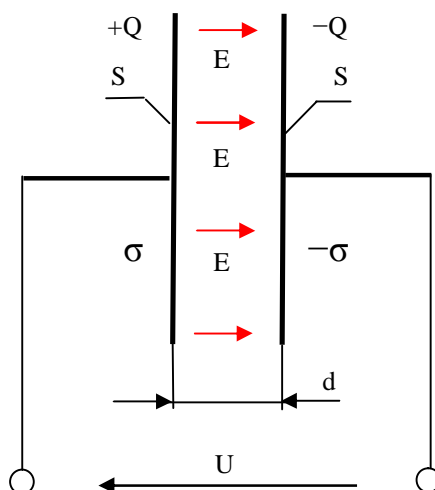
Stosunek ładunku Q na dwóch elektrodach oddzielonych dielektrykiem do napięcia U między tymi elektrodami nazywamy **pojemnością** elektrostatyczną danego układu elektrod. Jednostką pojemności jest farad [F].

$$1[C] = 1 \frac{[Q]}{[V]} = 1 \frac{C}{V} = 1 \frac{A \cdot s}{V} = 1F$$

Pojemność układu dwóch elektrod jest równa jednemu faradowi, jeżeli przy napięciu jednego wolta między nimi ładunek na każdej z elektrod jest równy jednemu kolombowi. Farad

jest jednostką bardzo dużą. W praktyce używamy jednostek mniejszych, a mianowicie: milifaradów ($1 \text{ mF} = 10^{-3} \text{ F}$), mikrofaradów ($1 \mu\text{F} = 10^{-6} \text{ F}$), nanofaradów ($1 \text{ nF} = 10^{-9} \text{ F}$), i pikofaradów ($1 \text{ pF} = 10^{-12} \text{ F}$).

Dielektrykami nazywamy próżnię i wszystkie ciała nieprzewodzące. Wiemy, że dielektryków idealnych nie ma. Za taki dielektryk można uważać próżnię doskonałą. Ciała naładowane utrzymują w próżni swój ładunek bardzo długo po zerwaniu ich połączenia ze źródłem napięcia.



Rys. 13. Układ dwóch elektrod płasko-równoległych [3, s. 125]

Natężenie pola elektrycznego E w przestrzeni międzyelektrodowej obliczymy dzieląc napięcie przez odległość d :

$$E = \frac{U}{d}$$

Z drugiej strony indukcja elektrostatyczna D , a więc i gęstość ładunku σ (sigma), jest równa ilorazowi ładunku Q na elektrodzie i pola powierzchni S

$$D = \frac{Q}{S}$$

Przenikalność elektryczną ϵ obliczymy ze stosunku D do E

$$\epsilon = \frac{D}{E} = \frac{Q}{S} \cdot \frac{U}{d} = \frac{QU}{SU}$$

Do wyznaczenia wartości przenikalności próżni, musimy znać pole powierzchni elektrod, odległość między elektrodami, zmierzyć napięcie U między elektrodami, a następnie zmierzyć ładunek Q przy rozładowaniu elektrod przez galwanometr. Jednostką przenikalności elektrycznej jest farad na metr

$$1 [e] = 1 \frac{[D]}{[E]} = 1 \frac{\frac{C}{m^2}}{\frac{V}{m}} = 1 \frac{C}{V \cdot m} = 1 \frac{F}{m}$$

Opisaną metodą stwierdzono, że przenikalność elektryczna próżni, oznaczona przez ϵ_0 , ma wartość

$$\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12} \frac{F}{m}$$

Przypuśćmy teraz, że te same dwie elektrody (rys. 13) zostały oddzielone od siebie jednolitą warstwą dielektryku materialnego (np.: szkła) i poddane napięciu U . Natężenie pola elektrycznego w dielektryku pozostaje takie jak poprzednio: $E = U/d$. Stwierdzamy pomiarowo, że ładunek Q na elektrodach zwiększył się, a więc zwiększyła się też gęstość powierzchniowa ładunku $\sigma = D$. Obliczając przenikalność elektryczną ϵ otrzymamy wartość większą niż dla próżni. **Przenikalność elektryczna dielektryków materialnych jest większa niż przenikalność próżni.**

$$\epsilon \geq \epsilon_0$$

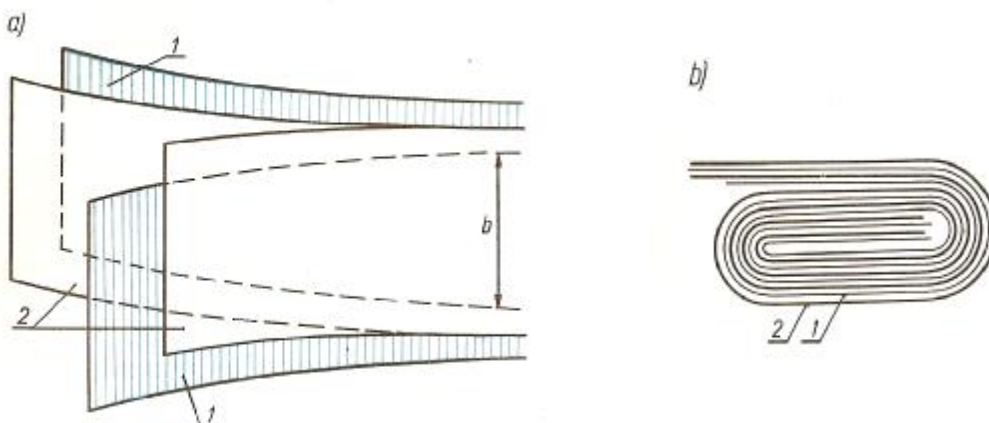
Przy czym równość zachodzi tylko dla próżni. Jako właściwość materiałów podaje się na ogół przenikalność elektryczną względną ϵ_r w stosunku do przenikalności próżni:

$$\epsilon_r = \frac{\epsilon}{\epsilon_0}$$

ϵ_r jest wielkością bezwymiarową. Przenikalność elektryczna względna wskazuje, ile razy jest większa przenikalność ϵ danego dielektryku od przenikalności próżni, ϵ_0 . Przenikalność bezwzględna wyrażana natomiast jest jako następujący iloczyn:

$$\epsilon = \epsilon_r \cdot \epsilon_0$$

Kondensatorem nazywamy układ dwóch elektrod przedzielonych dielektrykiem, wykonanych celowo dla uzyskania potrzebnej pojemności.



Rys. 14. Kondensator płaski z izolacją papierową; a) rozwinięty; b) zwijka, 1 - folia aluminiowa, 2 - izolacja papierowa [3, s.133]

Pierwsze kondensatory były wykonane w postaci płytki szklanej wyłożonej z obu stron folią cynową. Stąd też elektrody kondensatora często nazywa się okładzinami. W elektroenergetyce są rozpowszechnione kondensatory płaskie z izolacją papierową. Ich okładziny mają kształt pasków folii aluminiowej przedzielonych cienkim papierem nasyconym olejem kondensatorowym. Grubość izolacji zależy od napięcia pracy i nie przekracza na ogół 0,1 mm. Pojemność kondensatora płaskiego obliczamy ze wzoru:

$$C = \frac{Q}{U} = \frac{D \cdot S}{E \cdot d} = \frac{\varepsilon \cdot S}{d}$$

a przy posługiwaniu się przenikalnością względną ε_r :

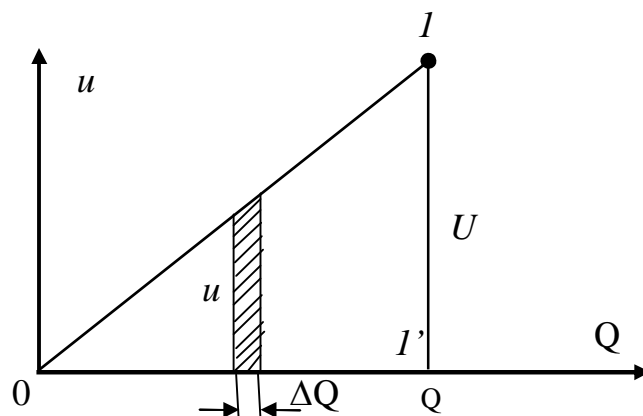
$$C = \frac{\varepsilon_r \cdot \varepsilon_0 \cdot S}{d}$$

W przypadku zwijek kondensatorowych S oznacza obustronną powierzchnię jednej okładziny.

Najczęściej spotykanymi kondensatorami używanymi w układach elektronicznych są kondensatory nazywane w zależności od materiału z jakiego jest w nich wykonany dielektryk: ceramiczne (materiału ceramicznego o dużej przenikalności elektrycznej), foliowe (folia izolacyjna) i kondensator elektrolityczne, w którym dielektrykiem jest cieniutka warstwa wodorotlenku glinu, uformowana na folii aluminiowej stanowiącej biegun dodatni; osłona aluminiowa stanowi biegun ujemny. Przestrzeń między osłoną a folią jest wypełniona specjalnie dobranym elektrolitem. Przy włączeniu takiego kondensatora w obwód elektryczny należy zwracać uwagę na właściwą biegunowość napięcia.

Energia pola elektrycznego kondensatora

Przypuśćmy, że ładujemy kondensator powoli. Napięcie wzrasta stopniowo, proporcjonalnie do ładunku. Jeżeli napięcie ma w danej chwili wartość u i chcemy doprowadzić małą porcję ładunku ΔQ , to potrzebna do tego energia $\Delta W = u \cdot \Delta Q$ jest tym większa, im większa jest wartość napięcia.



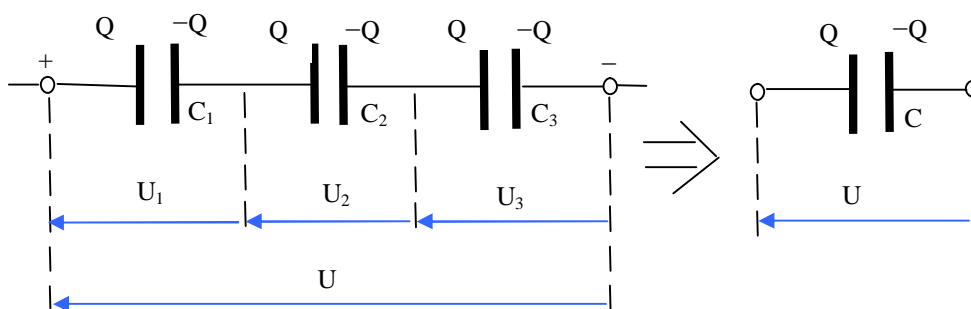
Rys. 15. Rysunek objaśniający pojęcie energii kondensatora [3, s. 131]

Na rys. 15 przedstawiającym liniową zależność napięcia U od ładunku Q energia ΔW jest proporcjonalna od pola prostokąta o podstawie ΔQ i wysokości u . Całkowita energia zużyta na naładowanie kondensatora jest proporcjonalna do pola trójkąta $011'$, a więc wyraża się wzorem

$$W = \frac{1}{2} Q \cdot U ; \quad \text{albo przy} \quad Q = C \mathcal{U} \quad ; \quad W = \frac{1}{2} C \cdot U^2$$

Energia ta zostaje zmagazynowana w polu elektrycznym kondensatora. Faktycznie jest to więc energia pola elektrycznego między okładzinami kondensatora.

Napięcia na kondensatorze nie można dowolnie zwiększać ze względu na niebezpieczeństwo przebicia warstwy dielektryku. Ze wzrostem napięcia zwiększa się natężenie pola elektrycznego $E = U/d$. W każdym dielektryku istnieje pewna liczba elektronów swobodnych. Jest ona niewielka w porównaniu z liczbą elektronów swobodnych w metalu. W odpowiednio silnym polu elektrycznym elektrony te uzyskują tak dużą energię kinetyczną, że w zderzeniach z cząsteczkami dielektryku wytrącają z nich następne elektrony, co nazywamy **jonizacją dielektryku**. W dielektryku powstają najpierw wyładowania niezupełne, które przy dalszym powiększaniu natężenia pola prowadzą do przebicia warstwy dielektryku. Największą wartość natężenia pola E_{\max} , która nie wywołuje jeszcze przebicia, nazywamy **wytrzymałością elektryczną dielektryku**. Jednostką wytrzymałości elektrycznej w układzie SI jest 1 V/m. W praktyce jest stosowana jednostka 1 kV/cm = 10^5 V/m. Na obudowie kondensatora zaznacza się na ogół jego pojemność i napięcie znamionowe, tj. dopuszczalne napięcie pracy (stałe lub przemienne), którego nie należy przekraczać ze względu na możliwość przebicia. Jeżeli napięcie znamionowe kondensatora jest niższe niż napięcie sieci, do której kondensator ma być włączony, stosuje się **łączenie szeregowe kondensatorów** (rys. 16). Przy połączeniu szeregowym na wszystkich kondensatorach jest taki sam ładunek, a napięcie rozkłada się na poszczególne kondensatory.



Rys. 16. Połączenie szeregowe kondensatorów [3, s. 133]

W pokazanym na rys. 16 układzie szeregowym trzech kondensatorów napięcie U na zaciskach końcowych całego układu jest sumą napięć U_1 , U_2 , U_3 na poszczególnych kondensatorach:

$$U = U_1 + U_2 + U_3$$

Każde z tych napięć jest równe ilorazowi ładunku Q i pojemności C_1 , C_2 lub C_3 , a więc

$$U = \frac{Q}{C_1} + \frac{Q}{C_2} + \frac{Q}{C_3} = Q \left(\frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3} \right)$$

Pojemność zastępcza całego układu:

$$C = \frac{Q}{U} \quad ; \quad \frac{1}{C} = \frac{U}{Q}$$

Po obustronnym podzieleniu równania na napięcie przez Q uzyskujemy:

$$\frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3}$$

Wzór ten może być rozszerzony do dowolnej liczby połączonych w szereg kondensatorów. **Przy łączeniu szeregowym kondensatorów dodajemy odwrotności ich pojemności.** Przy połączeniu szeregowym kondensatorów odwrotność pojemności zastępczej jest równa sumie odwrotności pojemności poszczególnych kondensatorów. Przy połączeniu w szereg n jednakowych kondensatorów, każdy o pojemności C_1 , pojemność zastępcza C układu jest n razy mniejsza od C_1

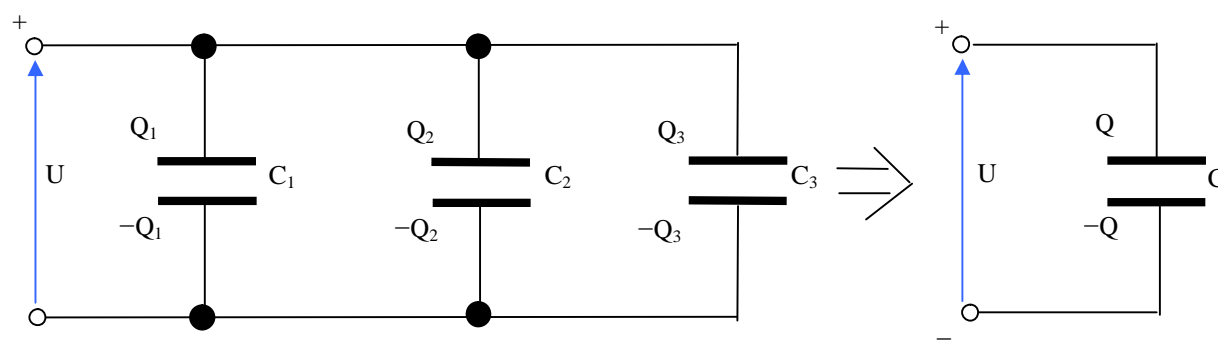
$$C = \frac{1}{n} \cdot C_1$$

Jeżeli pojemność jednego kondensatora jest mniejsza od potrzebnej pojemności, stosujemy **równoległe łączenie kondensatorów** (rys. 17). Wtedy wszystkie kondensatory podłączone są wówczas pod takie samo napięcie, a ich ładunki są proporcjonalne do ich pojemności

$$Q_1 = C_1 \mathcal{U}; \quad Q_2 = C_2 \mathcal{U}; \quad Q_3 = C_3 \mathcal{U}$$

Całkowity ładunek, jaki musi być dostarczony ze źródła

$$Q = Q_1 + Q_2 + Q_3 = (C_1 + C_2 + C_3) \mathcal{U}$$



Rys. 17. Połączenie równoległe kondensatorów [3, s. 135]

Pojemność zastępcza $C = Q/U$. Z powyższego równania po obustronnym podzieleniu przez U otrzymujemy:

$$C = C_1 + C_2 + C_3$$

Przy równoległym połączeniu dowolnej liczby kondensatorów pojemność zastępcza jest równa sumie pojemności poszczególnych kondensatorów.

Pojemność układu równoległego m jednakowych kondensatorów, każdy o pojemności C_1 , jest równa $m \cdot C_1$.

4.5.2. Pytania sprawdzające

Odpowiadając na pytania, sprawdzisz, czy jesteś przygotowany do wykonania ćwiczeń.

1. W jakich jednostkach mierzymy pojemność elektryczną?
2. Co to jest pojemność elektryczna?
3. Co to jest natężenie pola elektrycznego i przenikalność elektryczna?

4. Jak magazynowana jest energia w polu elektrycznym kondensatora?
5. Jak obliczamy pojemność zastępczą układu szeregowego i równoległego kondensatorów?
6. Co nazywamy wytrzymałością elektryczną dielektryka?

4.5.3. Ćwiczenia

Ćwiczenie 1

Oblicz pojemność kondensatora złożonego z dwóch płytek o powierzchni po 120 cm^2 . Płytki są oddzielone od siebie warstwą powietrza o grubości $d = 0,5 \text{ cm}$. W kondensatorze tym zastosowano jako dielektryk kolejno: papier parafinowany ($\epsilon_r = 4$), szkło ($\epsilon_r = 7$), papier kablowy ($\epsilon_r = 2$) oraz mikę ($\epsilon_r = 8$). Oblicz pojemności kondensatora z poszczególnymi dielektrykami.

Sposób wykonania ćwiczenia

Aby wykonać ćwiczenie, powinieneś:

- 1) obliczyć pojemność kondensatora powietrznego,
- 2) obliczyć pojemności kondensatorów kolejno z różnymi dielektrykami,
- 3) zaprezentować efekty swojej pracy.

Wyposażenie stanowiska pracy:

- literatura wskazana przez nauczyciela lub dotycząca materiału jednostki modułowej,
- kalkulator,
- okazy naturalne kondensatorów z różnymi dielektrykami,
- przybory do pisania, zeszyt do ćwiczeń.

Ćwiczenie 2

Jaką pojemność ma radiotechniczny kondensator obrotowy powietrzny, złożony z 20 płytek o powierzchni 29 cm^2 ? Odległość pomiędzy pytkami wynosi $0,6 \text{ mm}$.

Sposób wykonania ćwiczenia

Aby wykonać ćwiczenie, powinieneś:

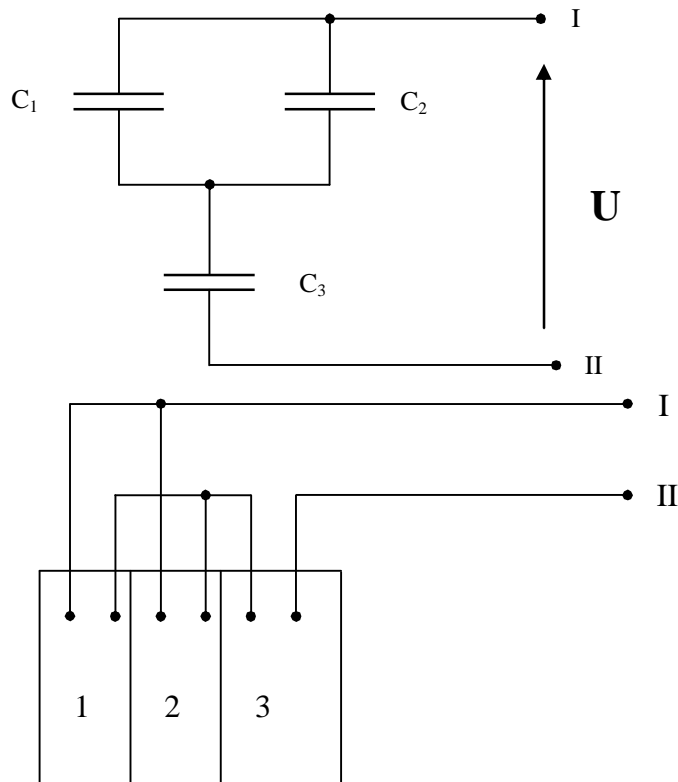
- 1) obliczyć powierzchnię płyt kondensatora,
- 2) obliczyć pojemność kondensatora,
- 3) zaprezentować efekty swojej pracy.

Wyposażenie stanowiska pracy:

- literatura wskazana przez nauczyciela lub dotycząca materiału jednostki modułowej,
- kalkulator,
- okaz naturalny kondensatora radiotechnicznego,
- przybory do pisania, zeszyt do ćwiczeń.

Ćwiczenie 3

Oblicz pojemność zastępczą układu kondensatorów przedstawionych na schemacie, jeżeli $C_1 = 2 \mu\text{F}$, $C_2 = 1 \mu\text{F}$, oraz $C_3 = 4 \mu\text{F}$ połączonych w układ szeregowo-równoległy. Połącz kondensatory zgodnie ze schematem.



Sposób wykonania ćwiczenia

Aby wykonać ćwiczenie, powinieneś:

- 1) obliczyć pojemność zastępczą układu równoległego kondensatorów,
- 2) obliczyć pojemność zastępczą całego układu,
- 3) połączyć fizycznie kondensatory zgodnie ze schematem,
- 4) zaprezentować efekty swojej pracy.

Wypożyczenie stanowiska pracy:

- literatura wskazana przez nauczyciela lub dotycząca materiału jednostki modułowej,
- kalkulator,
- okazy naturalne kondensatorów o odpowiedniej pojemności,
- instrukcją do ćwiczenia,
- przybory do pisania, zeszyt do ćwiczeń.

4.5.4. Sprawdzian postępów

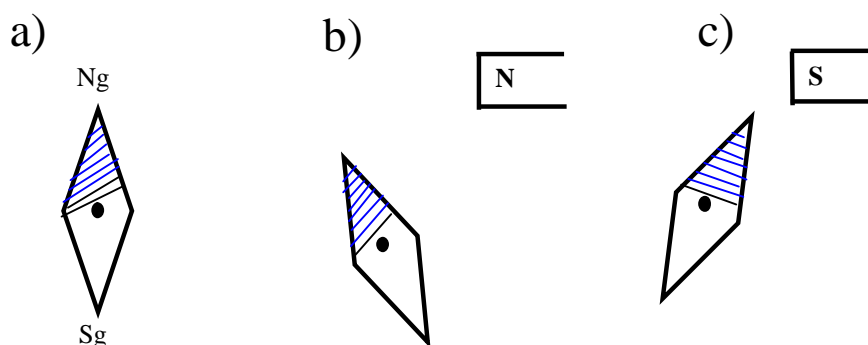
Czy potrafisz:

	Tak	Nie
1) zdefiniować pojęcia: pojemność elektryczna, pole elektryczne, przenikalność?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2) określić wytrzymałość elektryczną dielektryka?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3) opisać zasadę działania kondensatora?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4) obliczyć pojemność zastępczą układu szeregowego i równoległego kondensatorów?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

4.6. Obwody magnetyczne

4.6.1. Materiał nauczania

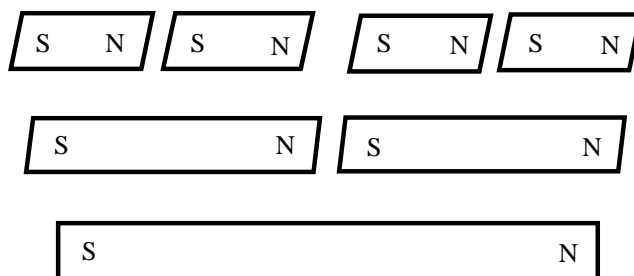
600 lat przed naszą erą odkryto, że ruda żelaza, nazwana później **magnetytem**, ma właściwości przyciągania małych przedmiotów stalowych. Stwierdzono, że taką samą właściwość można nadać prętom z twardej stali przez zetknięcie ich z magnetytem. Tak powstały pierwsze sztuczne magnesy trwałe, w odróżnieniu od magnesów naturalnych, jakimi są kawałki magnetytu. Dalsze badania wykazały, że dowolny magnes prętowy zawieszony swobodnie nad ziemią przyjmuje w każdym miejscu na kuli ziemskiej ściśle określoną pozycję, zależną od położenia geograficznego danego miejsca. Zjawisko to zostało wykorzystane w budowie kompasów. Istotną część kompasu stanowi igła magnetyczna osadzona na pionowym ostrzu tak, że może się poruszać w płaszczyźnie poziomej. Jeden koniec igły magnetycznej zwraca się na północ, nazwano go więc biegunem magnetycznym północnym N, a drugi biegunem magnetycznym południowym S. W celu ich odróżnienia nadaje się zwykle biegunowi północnemu barwę ciemnoniebieską, południowemu – szarą.



Rys. 18. Położenie igły magnetycznej w polu ziemskim a) nie poddanej wpływom zewnętrznym; b) przy zbliżeniu bieguna N magnesu; c) przy zbliżeniu bieguna S magnesu [3, s. 137]

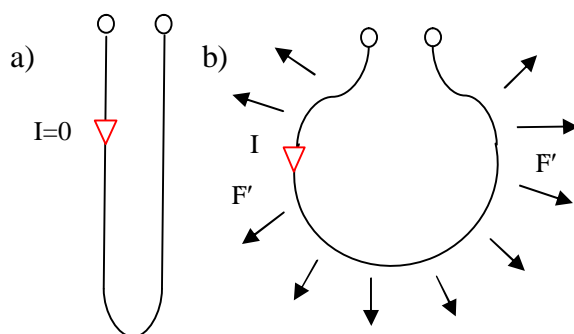
Dwa bieguny jednoimienne (oba N lub oba S) odpychają się, a bieguny różnoimienne N i S przyciągają się. Na rys. 18a pokazano położenie igły magnetycznej nie poddanej wpływowi innych magnesów, na rys. 18b położenie tej samej igły przy zbliżeniu do jej bieguna N takiego samego bieguna N magnesu trwałego, a na rys. 18c – bieguna S magnesu. Stąd wniosek, że **kulę ziemską można traktować jak olbrzymich rozmiarów magnes**, którego biegun magnetyczny południowy S_m znajduje się blisko bieguna geograficznego północnego N_g i na odwrót: biegun magnetyczny N_m w pobliżu S_g .

Dalsze badania nad magnesami wykazały, że **bieguny magnetyczne występują zawsze parami**, że nie jest możliwe oddzielenie bieguna magnetycznego N lub tylko S.



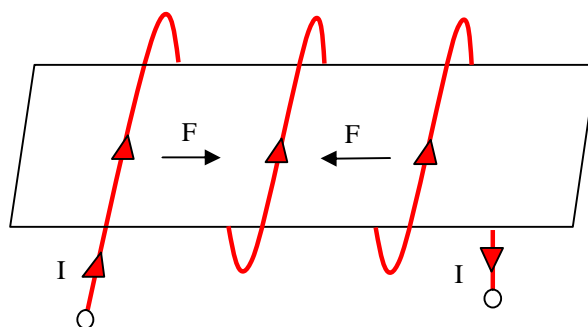
Rys. 19. Magnes po przełamaniu dzieli się na nowe magnesy [3, s. 137]

Najsilniejsze własności przyciągania przedmiotów żelaznych (stalowych) obserwujemy na końcach magnesu, tj. na biegunach. Obrazy takie można uzyskać za pomocą opilek stalowych na kartonie. Im bliżej środka magnesu, tym działanie to jest słabsze, a w samym środku długości magnesu w ogóle nie występuje. Dlatego środkową część magnesu nazywamy **strefą obojętną**. Przez przełamanie magnesu otrzymujemy dwa nowe, krótsze magnesy, każdy o parze biegunów N, S. W 1819 r. H. Oersted odkrył oddziaływanie prądu elektrycznego na igły magnetyczne, a szczegółowe badania w tym kierunku przeprowadził Ampère w latach 1820-1823. Stwierdził on, że obwody elektryczne wywołują w otaczającej je przestrzeni działania podobne do działań magnesów, a nawet doszedł do wniosku, że istnienie magnesów trwałych i magnesów naturalnych można wyjaśnić przypuszczalnymi mikroprądami wewnątrz materii. Między ładunkami elektrycznymi będącymi w ruchu, a więc także między prądami elektrycznymi istnieją oprócz sił elektrostatycznych, podlegających prawu Coulomba, wielokrotnie większe siły elektrokinetyczne przypisywane dawniej siłom elektromagnetycznym.



Rys. 20. Pętla z bardzo giętkiej linki miedzianej:

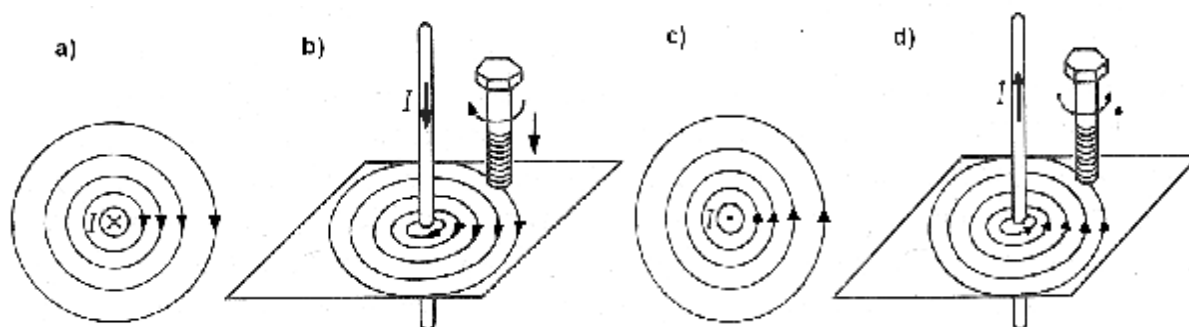
a) zwisająca swobodnie w stanie bezprądowym; b) podczas przepływu prądu o dużym natężeniu [3, s. 138]



Rys. 21. Siły między zwojami cewki przy dużych prądach [3, s. 138]

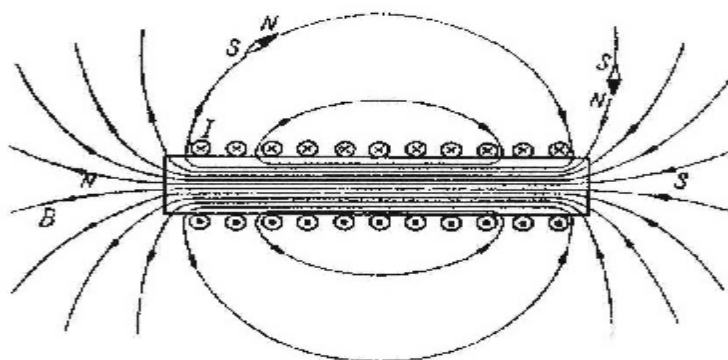
Pętla z bardzo giętkiej linki miedzianej, zwisająca swobodnie w stanie bezprądowym, stara się przyjąć kształt okręgu podczas przepływu prądu (rys. 20 a i b). Poszczególne zwoje drutu nawiniętego luźno na rurze izolacyjnej przyciągają się podczas przepływu prądu (rys. 21). Opisane zjawiska tłumaczymy istnieniem pola elektrokinetycznego. Prąd w dowolnym obwodzie elektrycznym wywołuje w otaczającej przestrzeni pole elektrokinetyczne, które nazywamy tradycyjnie polem magnetycznym. Zachowanie dawnej nazwy „pole magnetyczne” jest uzasadnione tym, że jest to pole tej samej natury co pole magnesu. W dalszym ciągu przedstawimy znane zjawiska magnetyczne jako zjawiska elektrokinetyczne, wywołane prądami elektrycznymi, jak też ruchami ładunków elementarnych w cząsteczkach materii.

Linie pola magnetycznego wytworzonego przez obwody elektryczne umieszczone w powietrzu są liniami zamkniętymi, tzn. nie mają nigdzie ani początku, ani końca. Linie pola magnetycznego na zewnątrz magnesu trwałego wychodzą z okolicy bieguna N, a kończą się w okolicy bieguna S.



Rys. 22. Pole magnetyczne w otoczeniu przewodu prostoliniowego o prądzie I : a), b) widok perspektywiczny; c), d) w przekroju prostopadłym do osi przewodu [3, s.145]

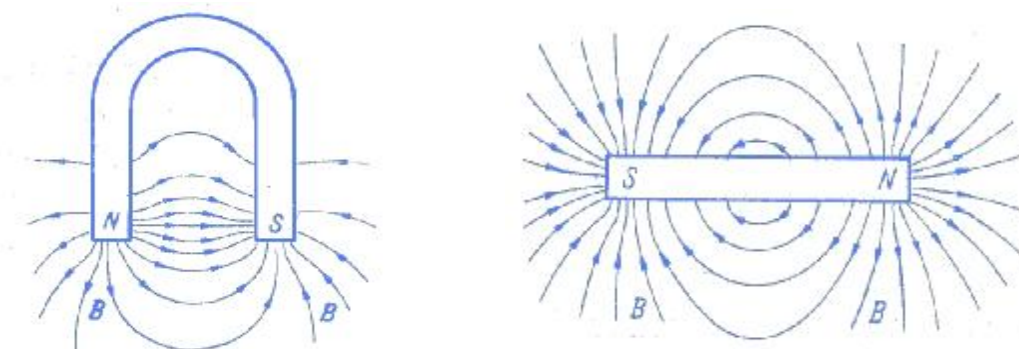
Linie pola magnetycznego wytworzonego przez prąd I płynący w przewodzie prostoliniowym są okręgami leżącymi w płaszczyznach prostopadłych do osi przewodu. Na rys. 22 a i b pokazano je w widoku perspektywicznym, a na rys. 22 c i d w rzucie poziomym (rzucie z góry). Strzałki prądu, które wchodzi z góry do płaszczyzny rysunku, oznaczono ukośnie krzyżykiem, a strzałki, które wchodzi ostrzem z płaszczyzny rysunku do patrzącego, oznaczono kropką. Na rys. 23 przedstawiono cewkę nawiniętą jednowarstwowo na rurze (w przekroju podłużnym) wraz z obrazem jej pola magnetycznego.



Rys. 23. Solenoid [3, s. 145]

Cewkę nawiniętą równomiernie na rurze nazywamy solenoidem. Jak widać, linie pola magnetycznego solenoidu są najbardziej zagęszczone wewnątrz samego solenoidu. Pole magnetyczne na zewnątrz solenoidu jest bardzo podobne do pola magnesu trwałego

prętowego. Ten koniec solenoidu, z którego linie pola wychodzą, jest biegunem magnetycznym N solenoidu, a koniec, do którego linie pola wchodzi, jest biegunem S solenoidu.

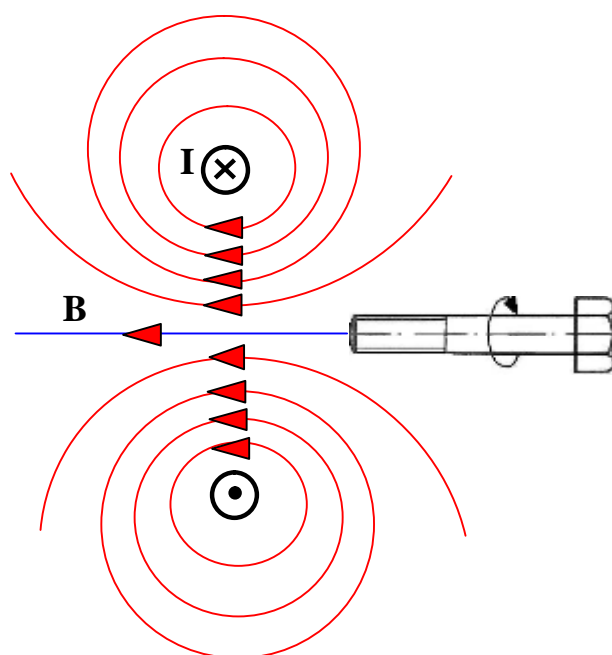


Rys. 24. Pole magnetyczne magnesu podkowiastego i pole magnetyczne magnesu prętowego [3, s. 146]

Linie pola magnetycznego odtwarzają tylko w poglądowy sposób obraz pola. Przyjmujemy że ich gęstość, tj. liczba przypadająca na jednostkę powierzchni, jest proporcjonalna do pewnej wielkości B , charakteryzującej pole magnetyczne, którą nazywamy indukcją magnetyczną. Linie pola są więc liniami indukcji magnetycznej. Faktycznie pole magnetyczne wypełnia w sposób ciągły całą przestrzeń między liniami.

W każdym punkcie pola magnetycznego igła magnetyczna przyjmuje ściśle określony kierunek. Kierunek ten przyjmujemy za kierunek wektora indukcji magnetycznej B , opisującej dane pole. Wektor B jest w każdym punkcie pola magnetycznego styczny do przechodzącej przez ten punkt linii pola. Jego zwrot jest od bieguna S do bieguna N próbnej igły magnetycznej, umieszczonej w tym punkcie, tj. zgodnie ze zwrotem strzałki linii pola.

Przy wyznaczaniu kierunku wektora indukcji B w polu wytworzonym przez prąd elektryczny posługujemy się najczęściej **regułą śruby prawoskrętnej**. Chcąc wyznaczyć kierunek i zwrot wektora B w otoczeniu długiego przewodu prostoliniowego, układamy śrubę prawoskrętną w osi przewodu i obracamy ją tak, aby posuw śruby był zgodny ze zwrotem prądu I (rys. 25).



Rys. 25. Stosowanie reguły śruby prawoskrętnej do zwoju kołowego [3, s. 142]

Linie pola magnetycznego są okręgami leżącymi w płaszczyznach prostopadłych od osi przewodu. Obrót śruby prawoskrętnej wyznacza zwrot obiegu linii pola magnetycznego, a wektor B jest styczny do przechodzącego przez dany punkt okręgu, którego środek leży w osi przewodu. W polu magnetycznym pojedynczego zwoju kołowego lub solenoidu należy śrubę prawoskrętną umieścić w środku zwoju, prostopadłe do jego płaszczyzny lub w osi solenoidu i obracać ją zgodnie z obiegiem prądu. Posuw śruby wyznacza zwrot linii pola wewnątrz zwoju kołowego, lub wewnątrz solenoidu (rys. 25).

Zespół elementów służących do wytworzenia strumienia magnetycznego i skierowania go wzdłuż żądanej drogi nazywamy **obwodem magnetycznym**. Rozróżniamy obwody magnetyczne: rdzeniowe i bezrdzeniowe. Zespół elementów, wzdłuż których strumień magnetyczny się zamyka, nazywamy **magnetowodem**. Przykładem obwodu magnetycznego bezrdzeniowego może być „powietrzna” cewka pierścieniowa.

Prądowi I w obwodzie elektrycznym odpowiada strumień magnetyczny Φ w obwodzie magnetycznym. Siłę elektromotoryczną E odpowiada wyrażenie Iz zwane **siłą magnetomotoryczną**. Wzór na prawo Ohma dla **obwodu magnetycznego**:

$$E = I \frac{l}{g \cdot S}$$

Rezystancji elektrycznej odpowiada opór magnetyczny zwany **reluktancją**, oznaczany literą R_μ .

$$R = \frac{l}{g \cdot S}$$

Jednostką strumienia magnetycznego jest weber (Wb), a siły magnetomotorycznej amper (A), gdyż liczba zwojów jest wielkością bezwymiarową. Jednostką reluktancji jest amper na weber:

$$1[R_m] = 1 \frac{[Iz]}{[\Phi]} = 1 \frac{A}{Wb}$$

Właściwości magnetyczne materii zależą od ruchów elektronów w atomach. Oprócz ruchu orbitalnego dookoła jądra każdy elektron wykonuje jeszcze ruch obrotowy dookoła własnej osi, tzw. spin elektronu. Elektron w ruchu spinowym zachowuje się jak mikroskopijny magnes. Część elektronów w atomie ma spiny dodatnie, a część ujemne ze względu na wirowanie w przeciwne strony, tak że te mikromagnes wewnątrzatomowe kompensują się, czyli równoważą się całkowicie albo w przeważającej liczbie. Z uwagi na bezładne ułożenie owych mikromagnesów ciało nie wykazuje stanu magnetycznego, mimo ich nieskompensowania w obrębie atomu. Wyjątek stanowią ciała ferromagnetyczne.

Jeżeli dowolne ciało materialne umieścimy w tzw. zewnętrznym polu magnetycznym, np. w solenoidzie zasilanym prądem elektrycznym, to następuje oddziaływanie pola magnetycznego solenoidu na poruszające się elektrony i wytwarza się wypadkowe pole magnetyczne wewnątrz danego ciała. W zależności od stanu skompensowania mikromagnesów wewnątrzkomórkowych może wystąpić jedna z dwóch cech magnetycznych materii: diamagnetyzm lub paramagnetyzm.

Diamagnetyzm objawia się nieznacznym osłabieniem zewnętrznego pola magnetycznego przez ruchy orbitalne elektronów, przy całkowitym skompensowaniu mikromagnesów wewnątrzatomowych. Wypadkowa indukcja magnetyczna B w ciałach diamagnetycznych jest mniejsza niż w próżni i przy danym natężeniu pola:

$$B < \mu_0 H$$

Stosunek B do H nazywamy **przenikalnością magnetyczną** danego ciała. W ciałach diamagnetycznych

$$\frac{B}{H} = m < m_0$$

Przenikalność magnetyczna ciał diamagnetycznych jest mniejsza niż przenikalność próżni.

Paramagnetyzm objawia się nieznacznym wzmacnianiem pola magnetycznego zewnętrznego w ciałach, w których każdy atom ma jeden lub więcej nie skompensowanych spinów elektronowych. Dążą one do ustawiania swych osi obrotu zgodnie z natężeniem pola magnetycznego, co utrudniają ruchy termiczne, tak że ustawianie to odbywa się tylko w małym zakresie. Wypadkowa indukcja magnetyczna B w ciałach paramagnetycznych jest większa niż w próżni, przy danym natężeniu pola magnetycznego:

$$B > \mu_0 \cdot H$$

Przenikalność magnetyczna ciał paramagnetycznych jest większa niż przenikalność próżni

$$\mu > \mu_0$$

Wyrażona stosunkiem B do H przenikalność jest **przenikalnością magnetyczną bezwzględną**, mierzona w henrach na metr (H/m). W praktyce posługujemy się często pojęciem przenikalności magnetycznej względnej μ_r

$$m_r = \frac{m}{m_0} \quad \text{albo} \quad \mu = \mu_r \mu_0$$

Przenikalność magnetyczna względna dowolnego środowiska jest to stosunek jego przenikalności bezwzględnej do przenikalności próżni. Przenikalność magnetyczna względna jest wielkością bezwymiarową. Dla ciał diamagnetycznych $\mu_r < 1$, a dla ciał paramagnetycznych $\mu_r > 1$. Należy zaznaczyć, że przenikalność paramagnetyków i diamagnetyków jest dla danych ciał wielkością stałą niezależną od natężenia pola magnetycznego. Wykresy zależności $B = f(H)$ dla tych ciał, jak też dla próżni są liniami prostymi.

Oddzielną grupę stanowią **ciała ferromagnetyczne**. Należą do nich żelazo, kobalt, nikiel i gadolin. Ciała te mają, tak jak paramagnetyki, nie skompensowane mikromagnesy wewnątrzatomowe, ale dzięki odpowiedniej odległości między sąsiednimi atomami układają się one równoległe do siebie. Są to widoczne ziarenka nazwane domenami czyli obszarami. W polu magnetycznym zewnętrznym całe domeny dążą do zajęcia kierunku zgodnego z kierunkiem natężenia pola magnetycznego, co określamy jako polaryzację ciała ferromagnetycznego. Ferromagnetyki odznaczają się dużą przenikalnością magnetyczną. W ciałach ferromagnetycznych indukcja magnetyczna B nie jest proporcjonalna do natężenia pola magnetycznego. W obliczeniach obwodów ferromagnetycznych nie posługujemy się przenikalnością magnetyczną, lecz korzystamy z charakterystyk magnesowania, przedstawiających zależność $B = f(H)$ wyznaczoną doświadczalnie.

Proces magnesowania ferromagnetyków jest procesem nieodwracalnym. Zmniejszając natężenie pola magnetycznego począwszy od stanu nasycenia, otrzymujemy wartości B większe niż poprzednio przy procesie magnesowania pierwotnego. Przy $H = 0$ indukcja ma wartość zwaną **indukcją szczałkową**. Aby sprowadzić indukcję B do zera, należy zmienić zwrot natężenia pola magnetycznego ($H < 0$), przez zmianę zwrotu prądu magnesującego. Wartość H , przy której indukcja B maleje do zera, nazywamy natężeniem koercji albo natężeniem powściągającym. Do wyrobu magnesów trwałych są używane **materiały magnetycznie twarde**, odznaczające się dużą wartością natężenia koercji. Takie materiały zachowują trwale stan namagnesowania.

4.6.2. Pytania sprawdzające

Odpowiadając na pytania, sprawdzisz, czy jesteś przygotowany do wykonania ćwiczeń.

1. Jak zbudowane są magnesy naturalne i sztuczne?
2. Co to jest strefa obojętna magnesu?
3. Czy potrafisz narysować obraz graficzny pola magnetycznego magnesu prętowego i podkowiastego?
4. Wymień wielkości charakteryzujące pole magnetyczne i ich jednostki?
5. Jak zapisać prawo Ohma dla obwodu magnetycznego?
6. Jakie są rodzaje ciał ze względu na przenikalność magnetyczną?
7. Co to jest magnetowód i z jakich elementów się składa?

4.6.3. Ćwiczenia

Ćwiczenie 1

Zaobserwuj i narysuj kształtu linii sił pola magnetycznego i elektrycznego (obraz graficzny pola).

Sposób wykonania ćwiczenia

Aby wykonać ćwiczenie, powinieneś

- 1) połączyć elementy zestawu zgodnie ze schematem,
- 2) wykonać doświadczenie polegające na obserwacji obrazu graficznego pola magnetycznego: wokół przewodu prostoliniowego, wokół dwóch przewodów prostoliniowych równoległych, wokół zwojnicy (solenoidu), wokół dwóch zwojnic,
- 3) wykonać doświadczenie polegające na obserwacji obrazu graficznego pola elektrostatycznego: między elektrodami płaskimi, między elektrodami okrągłymi,
- 4) narysować kształt linii sił pola magnetycznego i elektrycznego oraz opracować wnioski,
- 5) zaprezentować efekty swojej pracy.

Wyposażenie stanowiska pracy:

- zestaw dydaktyczny do pokazu pola magnetycznego i elektrycznego,
- film dydaktyczny,
- instrukcja do ćwiczeń,
- przybory do pisania, zeszyt do ćwiczeń.

Ćwiczenie 2

Jakie natężenie pola magnetycznego powstanie w cewce, jeżeli zasilimy ją ze źródła o napięciu 4,5 V? Cewka ma długość $l = 10$ cm i średnicę $d = 2$ cm. Uzwojenie cewki wykonano z drutu miedzianego o średnicy $d_1 = 0,4$ mm.

Sposób wykonania ćwiczenia

Aby wykonać ćwiczenie, powinieneś:

- 1) obliczyć liczbę zwojów cewki (nie uwzględniając grubości izolacji),
- 2) obliczyć długość całkowitą drutu uzwojenia,
- 3) obliczyć rezystancję uzwojenia,
- 4) obliczyć natężenie prądu płynącego przez uzwojenie cewki,
- 5) obliczyć natężenie pola magnetycznego wewnątrz cewki.
- 6) zaprezentować efekty swojej pracy.

Wyposażenie stanowiska pracy:

- kalkulator,
- przybory do pisania, zeszyt do ćwiczeń.

Ćwiczenie 3

Opisz właściwości magnetyczne materii (ciał fizycznych) oraz proces magnesowania ferromagnetyków. Podaj przykłady zastosowania niektórych ferromagnetyków (elementów magnetowodów) w urządzeniach elektrycznych w samochodzie.

Sposób wykonania ćwiczenia

Aby wykonać ćwiczenie, powinieneś:

- 1) zapoznać się z literaturą w poradniku dla ucznia oraz z innych źródeł informacji,
- 2) opisać właściwości magnetyczne ciał oraz dokonać podziału materii ze względu na przenikalność magnetyczną,
- 3) opisać proces magnesowania ferromagnetyków,
- 4) wypisać przykłady zastosowania niektórych ferromagnetyków,
- 5) zaprezentować efekty swojej pracy.

Wyposażenie stanowiska pracy:

- literatura wskazana przez nauczyciela lub dotycząca materiału jednostki modułowej,
- komputer z dostępem do Internetu,
- przybory do pisania, zeszyt do ćwiczeń.

Ćwiczenie 4

Określ analogie między obwodami magnetycznymi, a elektrycznymi.

Sposób wykonania ćwiczenia

Aby wykonać ćwiczenie, powinieneś:

- 1) zaplanować tok postępowania,
- 2) wypisać wielkości charakteryzujące oba obwody przez podanie: nazw tych wielkości, symbolu, jednostki miary,
- 3) narysować podstawowe schematy obu obwodów z oznaczeniami elementów,
- 4) dokonać porównania obu rodzajów obwodów pod względem zastosowania,
- 5) zaprezentować efekty swojej pracy.

Wyposażenie stanowiska pracy:

- literatura wskazana przez nauczyciela lub dotycząca materiału jednostki modułowej,
- komputer z dostępem do Internetu,
- przybory do pisania, zeszyt do ćwiczeń.

4.6.4. Sprawdzian postępów

Czy potrafisz:

	Tak	Nie
1) zdefiniować pojęcia: pole magnetyczne, pole elektryczne, strumień magnetyczny, natężenie pola magnetycznego?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2) zapisać treść reguły śruby prawoskrętnej, reguły prawej dłoni, reguły lewej dłoni?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3) opisać proces magnesowania ferromagnetyków?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4) zapisać prawo Ohma dla obwodu magnetycznego?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

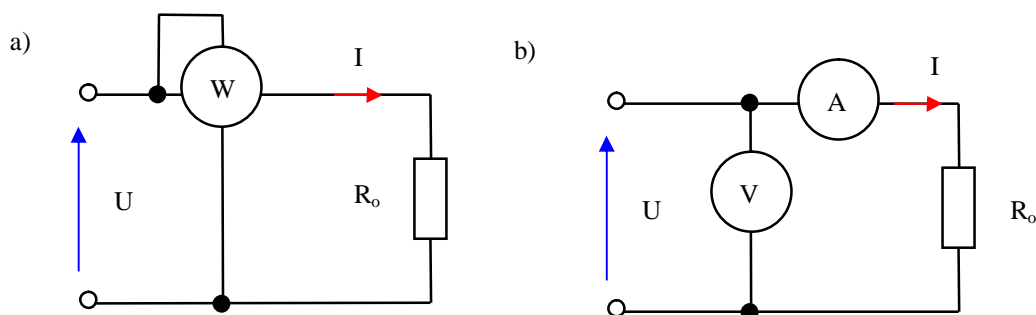
4.7. Przyrządy pomiarowe i błędy pomiarowe. Pomiary i regulacja napięcia, natężenia prądu i rezystancji

4.7.1. Materiał nauczania

Wzorzec miary jest to narzędzie pomiarowe odtwarzające z określoną dokładnością jedną wartość wielkości, kilka, lub ściśle określone wartości ciągłe w pewnym zakresie.

Metoda pomiarowa określa sposób porównania wielkości mierzonej z wzorcem tej wielkości zastosowanym w pomiarach, celem wyznaczenia wyniku pomiaru. Stosuje się różne metody w zależności od: rodzaju wielkości mierzonej, wymaganej dokładności, sposobu opracowania wyników, warunków pomiaru (laboratoryjne, przemysłowe, terenowe). Tę samą wielkość (np. rezystancję) można mierzyć różnymi metodami.

W **metodzie pomiarowej bezpośredniej** wartość wielkości mierzonej otrzymuje się bezpośrednio bez dodatkowych obliczeń, np.: pomiar prądu elektrycznego – amperomierzem, mocy elektrycznej – watomierzem, rezystancji elektrycznej – omomierzem.



Rys. 26. Metody pomiaru mocy: a) bezpośrednia; b) pośrednia [3, s. 207]

W metodzie pomiarowej pośredniej mierzy się bezpośrednio nie wielkość badaną Y, lecz wielkości A, B, C, ... związane z wielkością Y zależnością funkcyjną: $Y = f(A, B, C, \dots)$, ustaloną teoretycznie lub doświadczalnie. Przykładem jest pomiar mocy P lub pomiar rezystancji R za pomocą woltomierza (napięcie U) i amperomierza (prąd I), a następnie obliczenie $P = U \cdot I$ (rys. b) lub $R = U/I$.

Narzędzia pomiarowe są to środki techniczne służące do bezpośredniego porównania mierzonych wielkości z jednostkami miary tych wielkości. Są to wzorce, przyrządy pomiarowe, przetworniki pomiarowe.

Przyrząd pomiarowy jest to narzędzie pomiarowe służące do przetwarzania wielkości mierzonej na wskazania lub równoważną informację. Nazwa przyrządu pochodzi od wielkości mierzonej (np.: częstotściomierz, fazomierz), jednostki miary (np.: amperomierz, omomierz), zasady działania (np. kompensator, komparator) lub od nazwiska wynalazcy (np.: mostek Wheatstone' a, mostek Wiena).

Przyrządy pomiarowe klasyfikuje się wg różnych kryteriów. Na przykład wg spełnianych funkcji przyrządy pomiarowe dzieli się na: mierniki, rejestratory, liczniki i detektory zera. Mierniki są to przyrządy pomiarowe wyskalowane w jednostkach miary wielkości mierzonej. Rejestratory są to przyrządy pomiarowe umożliwiające zapis mierzonych wielkości w funkcji czasu (rejestratory X-t) lub w funkcji innej wielkości (rejestratory X-Y). Detektory zera są to

przyrządy umożliwiające stwierdzenie zaniku wielkości (np.: prądu, strumienia magnetycznego).

Przetwornik pomiarowy służy do przetwarzania wartości wielkości mierzonej na proporcjonalną wartość innej wielkości (np.: termoelement) lub inną wartość tej samej wielkości (np.: przekładnik prądowy, dzielnik napięcia).

Ważniejsze pojęcia techniki pomiarowej		
Pojęcie	Objaśnienie	Przykłady
Wielkość pomiarowa	Mierzona wielkość fizyczna.	Napięcie, natężenie prądu, czas.
Wartość zmierzona	Wartość odczytana ze wskaźnika przyrządu pomiarowego pomnożona przez jednostkę przyjętą za jednostkę miary	$U = (230 \cdot 1) \text{ V} = 230 \text{ V}$ $I = (10 \cdot 1) \mu\text{A} = 10 \mu\text{A}$
Wynik pomiaru	Wartość zmierzona otrzymana z jednego lub więcej pomiarów. Wyniki pomiarów mogą być także obliczane w sposób pośredni.	$U = 230\text{V}; I = 2,5 \text{ A};$ $P = U \cdot I = 575 \text{ W}$
Ustrój pomiarowy	Elementy, które wytwarzają moment obrotowy i powodują ruch wskazówki.	Ustrój magnetoelektryczny, ustrój elektrodynamiczny
Miernik	Ustrój pomiarowy wraz z obudową, skalą i wbudowanymi elementami, np. rezystorami połączonymi szeregowo i lub równolegle.	Multimetr, częstotliwościomierz
Przyrząd pomiarowy	Miernik wraz z całym wyposażeniem, również odłączanym, jak np. przewody pomiarowe, głowice i przekładniki. Przyrząd pomiarowy jest kompletnym urządzeniem.	Miernik z oddzielnym dzielnikiem, przekładnikiem prądowym, przekładnikiem napięciowym lub czujnikiem temperatury.
Metoda pomiaru	Sposób przeprowadzenia pomiaru.	Pomiar bezpośredni lub pośredni. Metoda techniczna, metoda mostkowa.
Pomiar bezpośredni	Szukana wartość jest określana (bezpośrednio) przez pomiar.	Pomiar prądu amperomierzem, pomiar napięcia woltomierzem.
Pomiar pośredni	Szukana wartość wielkości mierzonej jest określana na podstawie kilku wartości ustalonych bezpośrednio.	Obliczanie wartości rezystancji lub mocy na podstawie wartości otrzymanych z pomiarów napięcia i prądu.

Dla przyrządów i przetworników sprecyzowano warunki pracy (temperatura, wilgotność, i inne). Błąd przetwarzania narzędzia pomiarowego wyznaczony w warunkach odniesienia (znamionowych) nazywa się **błędem podstawowym**.

Błędy powstające w samym przyrządzie zależą od konstrukcji przyrządu, np.: od rodzaju łożyskowania ustroju pomiarowego i zależnego od niego tarcia w łożyskach. W przypadku mierników wskazówkowych błąd wskazań przyrządu jest podany na skali jako wartość liczbowa wyrażonego w procentach stosunku maksymalnego błędu bezwzględnego do największego wskazania. Wartość tę nazywa się klasą dokładności przyrządu. Błąd bezwzględny to różnica między wynikiem pomiaru a przyjętą za wzorcową

Na uchyby pomiaru składają się: błąd odczytu, błędne posługiwanie się miernikiem, błędne przyłączenie miernika, błędy wynikające z klasy miernika i wpływy zewnętrzne.

Jeżeli narzędzie będzie stosowane w warunkach różnych od warunków znamionowych, to wynik pomiaru będzie ponadto obciążony **błędami dodatkowymi spowodowanymi**

wielkościami wpływowymi (np.: temperaturą – błąd temperaturowy, częstotliwością – błąd częstotliwościowy).

Ograniczona dokładność narzędzia pomiarowego powoduje, że wskazanie narzędzia różni się od wartości prawdziwej wielkości mierzonej. Różnicę między tymi wartościami nazywa się **błędem pomiaru**. Rozróżnia się wiele składowych błędów np.: błędy przyrządowe (podstawowy i dodatkowe), błąd metody – spowodowany zastosowaniem nieodpowiedniej metody pomiaru z uwagi na właściwości użytych narzędzi pomiarowych. Inne podziały, błędy bezwzględni i względne, błędy systematyczne, przypadkowe i nadmierne.

Błędy powstające w samym przyrządzie zależą od konstrukcji przyrządu, np.: od rodzaju ułożyskowania ustroju pomiarowego i zależnego od niego tarcia w łożyskach. W przypadku mierników wskazówkowych błąd wskazań przyrządu jest podany na skali jako wartość liczbowa wyrażonego w procentach stosunku maksymalnego błędu bezwzględnego do największego wskazania. Wartość tę nazywa się klasą dokładności przyrządu. Błąd bezwzględny to różnica między wynikiem pomiaru a przyjętą za wzorcową wartością mierzonej wielkości.

Błąd bezwzględny Δ jest różnicą między wynikiem pomiaru x a wartością prawdziwą (rzeczywistą) wielkości mierzonej v czyli:

$$\Delta = x - v$$

Błąd bezwzględny Δ , zawsze wyrażony w jednostkach wielkości mierzonej, konkretny znak: plus (+) lub minus (-).

Wskazanie narzędzia pomiarowego x jest nazywane niekiedy surowym wynikiem pomiaru. Wartość prawdziwa v jest w praktyce nieznana. W pomiarach można zastąpić względnie dokładnym przybliżeniem, tzw. **wartością poprawną** x_p , otrzymaną za pomocą wzorcowego narzędzia pomiarowego. Błąd bezwzględny Δ , lecz ze znakiem przeciwnym, nazywa się **poprawką**

$$p = -\Delta$$

Dodając algebraicznie poprawkę p do wartości x uzyskanej z pomiarów, otrzymuje się wynik poprawiony, równy wartości poprawnej

$$x_p = x + p$$

Wprowadza się też pojęcie błędu względnego δ . Jest to stosunek błędu bezwzględnego Δ do wielkości mierzonej v , czyli:

$$d = \frac{\Delta}{n} = \frac{x - n}{n}$$

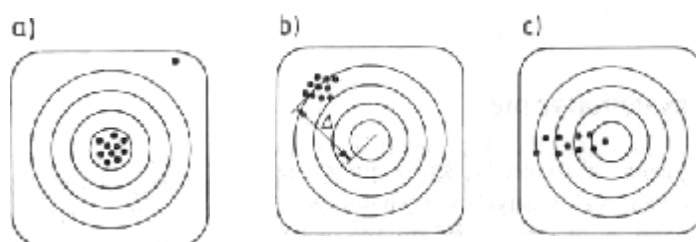
Lub wyrażonego w procentach:

$$d = \frac{\Delta}{n} \cdot 100 [\%]$$

Błędy systematyczne są to błędy, które przy wielu pomiarach tej samej wartości określonej wielkości, wykonanych w tych samych warunkach, są stałe lub zmieniają się wg określonego prawa wraz ze zmianą warunków. Błędy systematyczne stałe mają tę samą wartość i znak przy każdym pomiarze. Powstają np.: przy użyciu narzędzi pomiarowych w warunkach różnych od warunków odniesienia, przy użyciu miernika z przesuniętym położeniem zerowym lub błędnie wykonaną działką. Błędy systematyczne zmienne mają różne wartości w funkcji czasu, lub w funkcji innej wielkości (np.: mierzonej). Na przykład mierzony prąd nagrzewa sprężyny wytwarzające moment zwrotny miernika, a to powoduje wzrost wychylenia wskazówki tego

miernika. Wykrycie błędów systematycznych jest trudne. Wielokrotne powtarzanie pomiarów nie umożliwia ich wykrycia ani wyeliminowania. Istnienie błędów systematycznych można stwierdzić w wyniku zastosowania innej metody pomiarowej lub zastosowania innego narzędzia pomiarowego.

Błędy przypadkowe są to błędy zmieniające się w sposób nieprzewidywany (przypadkowy, losowy), zarówno co do znaku, jak i wartości bezwzględnej, przy powtarzaniu pomiarów tej samej wielkości mierzonej w warunkach praktycznie niezmiennych. Błędów przypadkowych nie można usunąć z wyników pomiarów przez dodanie poprawek, ponieważ wartości tych poprawek są nieznanne. Na podstawie serii pomiarów i rachunku prawdopodobieństwa ustala się granice, w których znajdują się błędy przypadkowe (przedział niepewności końcowego wyniku pomiaru). Podział błędów na systematyczne, przypadkowe i nadmierne ilustruje np. wynik strzelania do trzech tarcz (rys.). Odległość od przestrzeliny do środka tarczy jest błędem bezwzględnym. Na tarczy przedstawionej na rys. a przestrzeliny są rozproszone wokół środka tarczy. Jest to ilustracja błędów przypadkowych. Przestrzelina w prawym górnym rogu tarczy ilustruje błąd nadmierny. Na rysunku b przedstawiono przesunięcie środka rozrzutu przestrzelin względem środka tarczy (spowodowane np.: źle nastawionym urządzeniem celowniczym). Przesunięcie Δ przedstawia błąd systematyczny stały. Na rysunku c przedstawiono błąd systematyczny zmienny (spowodowany np.: przez nasilający się proporcjonalnie do czasu strzelania wiatr wiejący z prawej strony). Analogicznie w pomiarach elektrycznych podobny wpływ na uzyskany wynik może mieć: uszkodzenie miernika (zawyża bądź zaniża wskazanie), niewłaściwa temperatura, wilgotność, metoda pomiaru.



Rys. 27. Wyniki strzelania do trzech tarcz; a) ilustracja błędów przypadkowych i błędu nadmiernego; b) ilustracja błędu systematycznego stałego i błędów przypadkowych; c) ilustracja błędu systematycznego zmiennego i błędów przypadkowych [5, s.52]

Błędy odczytu powstają, gdy wynik pomiaru z miernika wskazówkowego odczytuje się patrząc na skalę nieco z boku. **Błąd paralaksy** można uniknąć stosując skalę z lusterkiem. Przed każdym pomiarem należy sprawdzić prawidłowość zerowego położenia wskazówki.



Rys. 28. Błąd paralaksy [1, s. 161]

Błędy związane z niewłaściwym posługiwaniem się przyrządem polegają m.in. na nieodpowiednim ustawieniu zakresu pomiarowego albo rodzaju prądu. Inną przyczyną może być niewłaściwe położenie miernika. Prawidłowe położenie przyrządu jest oznaczone na skali. Przyrządy tablicowe pracują w położeniu pionowym (oznaczenie: \perp), przyrządy wielozakresowe w położeniu poziomym (oznaczenie: \sqcap).

Przyrządem pomiarowym jest narzędzie pomiarowe, które przetwarza mierzoną wielkość (np.: prąd, napięcie) na wskazanie proporcjonalne do wartości wielkości mierzonej.

Rozróżnia się przyrządy o działaniu bezpośrednim i pośrednim. W przyrządach o działaniu bezpośrednim (o strukturze otwartej) energia zużywana na wychylenie ruchomego elementu przyrządu jest pobierana bezpośrednio z obiektu badanego. W przyrządach o działaniu pośrednim (o strukturze zamkniętej) energia potrzebna do przemieszczenia ruchomego elementu przyrządu jest dostarczana ze źródła pomocniczego (są to przyrządy elektroniczne). Przyrząd pomiarowy określający wartość wielkości mierzonej tylko za pomocą jednego wskazania nazywa się miernikiem. Mierniki, w których wskazania są ciągłą funkcją wartości wielkości mierzonej, nazywa się miernikami analogowymi (np.: amperomierz wskazówkowy).

Błędy w układzie pomiarowym powstają wskutek niewłaściwego przyłączenia przyrządu, np.: gdy miernik napięcia włączono tak jak miernik prądu, tzn. szeregowo z odbiornikiem. Także wskutek niewłaściwej metody pomiaru. Błędy w układzie pomiarowym mogą prowadzić nie tylko do błędnych wyników, ale także do uszkodzenia przyrządu pomiarowego.

Przyrządy pomiarowe są wykonywane jako: laboratoryjne (w klasach dokładności: 0,1; 0,2; 0,5) i warsztatowe (w klasach dokładności: 1; 1,5; 2,5; 5).

Multimetrami lub miernikami uniwersalnymi nazywa się mierniki wielofunkcyjne (np.: umożliwiające pomiary prądu i napięcia stałego oraz przemiennego, pomiar rezystancji). W celu zabezpieczenia przed przeciążeniem przyrządy wielozakresowe mają najczęściej wbudowany bezpiecznik aparaturowy albo elektroniczny wyłącznik ochronny. Nowoczesne multimetry są z reguły wyposażone w testery przejścia. Funkcja ta jest często łączona z funkcją testera diod, stan przejścia można ocenić na podstawie wskazania spadku napięcia lub jest sygnalizowane tonowo.

Przyrządy wielozakresowe wskazówkowe mają ustrój pomiarowy z ruchomą cewką, który przy pomiarze wielkości prądu przemiennego włączany jest przez prostownik. Do rozszerzania zakresów pomiarowych służą wbudowane rezystory połączone szeregowo, lub równolegle. Przełącznik zakresów pozwala na nastawianie potrzebnego zakresu pomiarowego, np. 100 V. Do omomierza i do zasilania wzmacniacza pomiarowego w przyrządzie jest zainstalowane wewnętrzne źródło prądu, np. bateria 9 V.

Przyrządy wielozakresowe cyfrowe mają zamiast ustroju pomiarowego przetwornik analogowo-cyfrowy. Wynik pomiaru jest wyświetlany w postaci cyfrowej z uwzględnieniem miejsc dziesiętnych i znaku. Nowoczesne multimetry zapewniają znaczny komfort obsługi. Układ automatycznego wybierania zakresu wybiera np. zakres pomiarowy o najlepszej rozdzielczości, zależnie od wartości doprowadzonej wielkości mierzonej. Pamięć wartości zmierzonej pozwala na odczytywanie wyniku również po zakończeniu pomiarów. Dzięki dodatkowemu wskaźnikowi analogowemu łatwiej jest obserwować zmiany wartości mierzonej, np. przy zdejmowaniu charakterystyk.

Wyświetlacz LCD (ciekłokrystaliczny) najczęściej stosowany w multimetrach pobiera mały prąd, ale jest czuły na niskie temperatury. Dlatego należy unikać wykonywania pomiarów w temperaturach poniżej 0°C.

Przyrządy analogowe to wszystkie przyrządy wskazówkowe, w których wskazówka poruszana jest przez mechaniczny ustrój pomiarowy. Wskaźnik analogowy przedstawia wynik pomiaru w postaci długości, jak np.: w przypadku termometru, albo w postaci kąta, jak np. w przyrządach ze skalą i wskazówką.



Rys. 29. Skala analogowego przyrządu pomiarowego [1, s. 160]

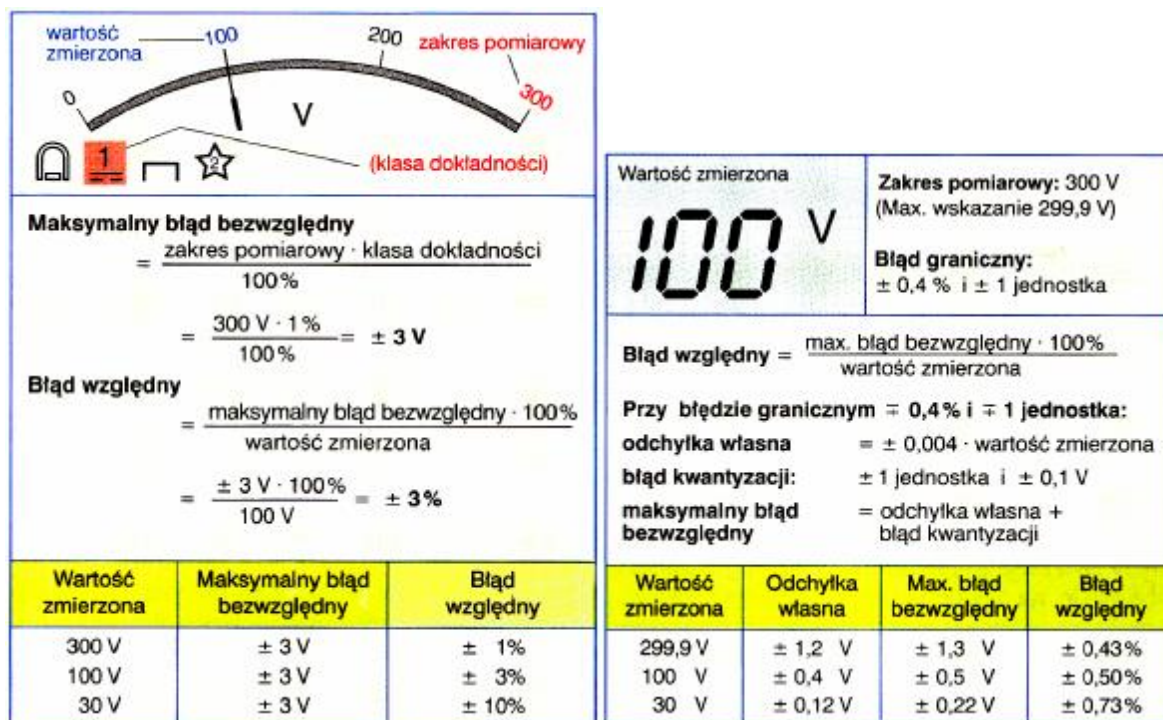
Przyrządy cyfrowe służące do pomiaru wielkości fizycznych analogowych mają zamiast ustroju pomiarowego przetwornik analogowo cyfrowy (przetwornik A/C). Wartość zmierzona pokazywana jest w postaci cyfrowej, np.: na wyświetlaczach 7-segmentowych. Wyświetlacz pełny może wyświetlać wszystkie cyfry od 0 do 9. Jeśli na pierwszej pozycji (miejscu) wyświetlacza mogą się wyświetlić tylko cyfry 0 lub 1, mówi się, że jest wyświetlane 1/2 cyfry. Cyfrowe przyrządy pomiarowe pozwalają na uniknięcie błędów odczytu, które popełnia się odczytując wskazanie ze skali analogowej. Cyfrowe przyrządy pomiarowe mają często oprócz wskaźnika cyfrowego dodatkowo wskaźnik analogowy, np.: w postaci linii. Dzięki temu łatwiej jest obserwować zmiany wartości wielkości mierzonej, np.: przy strojeniu obwodów. Cyfrowe przyrządy pomiarowe nie mają mechanizmów ruchomych tylko przetwornik analogowo cyfrowy, który przetwarza analogowe wielkości fizyczne na sygnały cyfrowe. Często mają także wbudowany wzmacniacz pomiarowy. Przetwornik A/C przetwarza tylko napięcia naprzemienne. Z tego powodu napięcia i prądy przemiennym muszą być najpierw wyprostowane. Dokładność pomiarów przy prądzie przemiennym jest mniejsza niż przy prądzie stałym.



Rys. 30. Wyświetlacz siedmiosegmentowy 3 1/2 cyfry (po lewo) i cyfrowy wyświetlacz przyrządu wielozakresowego (po prawo) [1, s. 160]

Mierniki cyfrowe mają uchyb składający się z odchyłki własnej i błędu kwantyzacji. **Odchyłka własna** (dokładność) w odniesieniu do wskazywanej wartości mierzonej zawiera się w przedziale od $\pm 0,1 \%$ do $\pm 1,5 \%$. **Błąd kwantyzacji** (niedokładność wskazania na

ostatniej pozycji) wynika z rozdzielczości przetwornika A/C i jest podawany w jednostkach wyświetlanej liczby. Wynosi on, co najmniej ± 1 jednostkę. Błąd wskazań miernika cyfrowego składa się z odchyłki własnej i błędu kwantyzacji.



Rys. 31. Obliczanie błędów przyrządu wskazówkowego (po lewo), oraz przyrządu cyfrowego [1, s. 162]

Ustrój pomiarowy	Symbol	Zasada pomiaru	Własności	Pobór energii	Zastosowanie
Ustrój magnetoelektryczny magnes trwały cewka		Działanie siły na przewodzący prąd umieszczony w polu magnesu trwałego.	Duża czułość (zakres μA), duża dokładność. Tylko do prądu stałego. Skala ma podziałkę liniową (równomierną).	nieznaczny ($< 3 \text{ mW}$)	Do pomiarów natężenia i napięcia prądu stałego i przemiennego (z prostownikiem) oraz do pomiarów wielkości nieelektrycznych (z przetwornikami) np. natężenia oświetlenia lub temperatury.
Ustrój elektromagnetyczny cewka		Działanie siły pomiędzy elementami żelaznymi umieszczonymi w polu magnetycznym cewki przewodzącej prąd.	Mala czułość (od ok. 20 mA). Do prądu stałego i przemiennego. Przy prądzie przemiennym wskazuje wartość skuteczną niezależnie od kształtu krzywej prądu. Skala ma podziałkę nieliniową (nie równomierną).	znaczny (ok. 0,5 do 1 W)	Do pomiarów natężenia i napięcia prądu stałego i przemiennego, głównie jako przyrządy tablicowe.
Ustrój elektrodynamiczny cewka prądowa (stała) cewka ruchoma		Działanie siły na przewodzący prąd umieszczony w polu elektromagnetycznym.	Przy ekranowaniu blachą żelazną nieczuły na obecność pola magnetycznego.	znaczny (ok. 3 W)	Mierniki mocy prądu stałego i przemiennego. Mierniki mocy biemej, współczynnika mocy oraz mierniki częstotliwości.

Rys. 32. Podstawowe ustroje pomiarowe [1, s. 161]

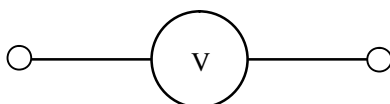
Dwubiegunowe próbniki napięcia mogą być stosowane do napięć stałych i przemiennych. Przy prądzie stałym wskazują również biegunowość. Próbki dwubiegunowe mają najczęściej wskaźnik z diodami LED. Diody te wskazują zakres występującego napięcia, np.: 12 V, 50 V, albo 500 V. Nowoczesne próbki napięć nadają się również do sprawdzania

ciągłości obwodu. Ciągłość sygnalizowana jest przez diodę świecącą oraz dźwięk. Jasność świecenia i wysokość tonu zależy przy tym od oporności obwodu.

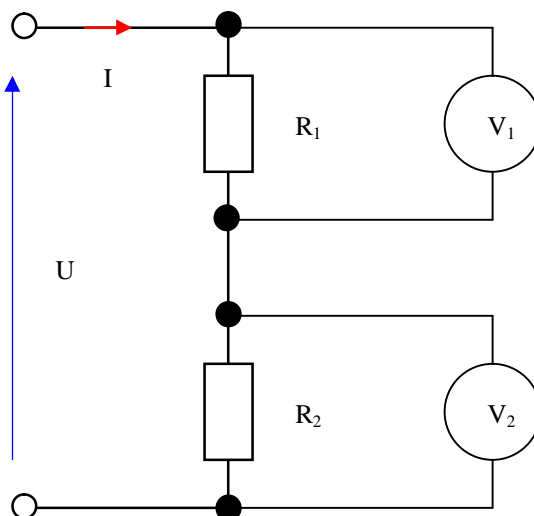
Tester przejścia ma własne, wewnętrzne źródło prądu. Tester przejścia ze wskaźnikiem akustycznym ma brzęczyk. Zaletą tego testera jest to, że podczas pomiaru nie trzeba odczytywać wskazań przyrządu. W elektronicznych testerach przejścia wysokość emitowanego dźwięku zależy od rezystancji mierzonego obwodu. Można je stosować do obwodów nisko i wysokoomowych. Testery przejścia ze wskaźnikami optycznymi są często niskoomowe, tzn. generują sygnał wyjściowy tylko wtedy, gdy kontrolowany przewód ma małą rezystancję.

Przyrządy wielozakresowe nie wymagają specjalnej konserwacji. Zaleca się jednak sprawdzenie stanu naładowania baterii przed każdą serią pomiarów. Baterii rozładowanej albo cieknącej nie wolno pozostawiać w przyrządzie. Baterii i bezpiecznika ochronnego, wskazanych przez producenta, nie wolno zastępować elementami o innych danych znamionowych.

Do pomiaru napięcia (różnicy potencjałów) służy miernik elektryczny zwany woltomierzem. Woltomierz za pomocą przewodów podłączamy do obwodu równoległe, czyli między zaciski elementu lub grupy elementów, na których mierzymy napięcie.

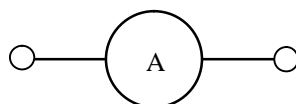


Rys. 33. Symbol graficzny woltomierza [3, s. 206]

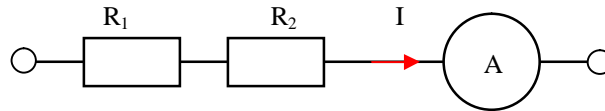


Rys. 34. Przykład schematu obwodu z woltomierzem. Woltomierz V_1 mierzy spadek napięcia na rezystorze R_1 , zaś woltomierz V_2 spadek napięcia na rezystorze R_2 [3, s. 205]

Pomiar prądu w obwodzie wykonujemy amperomierzem. Pomiar ten możemy porównać z pomiarem przepływającej wody w rurociągu. Aby zmierzyć ilość przepływającej wody, należy przeciąć rurociąg i w miejscu przecięcia zainstalować wodomierz. Podobnie, aby zmierzyć prąd, należy przerwać obwód elektryczny i podłączyć końce przewodów w miejscu przerwy z amperomierzem. W taki sposób zostanie stworzona dla elektronów droga przejścia przez amperomierz.

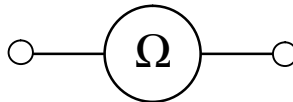


Rys. 35. Symbol graficzny amperomierza [3, s. 204]



Rys. 36. Przykład podłączenia amperomierza [3, s. 203]

Pomiar rezystancji wykonujemy omomierzem. Omomierz podłączamy za pomocą przewodów do obwodu szeregowo lub równoległe.

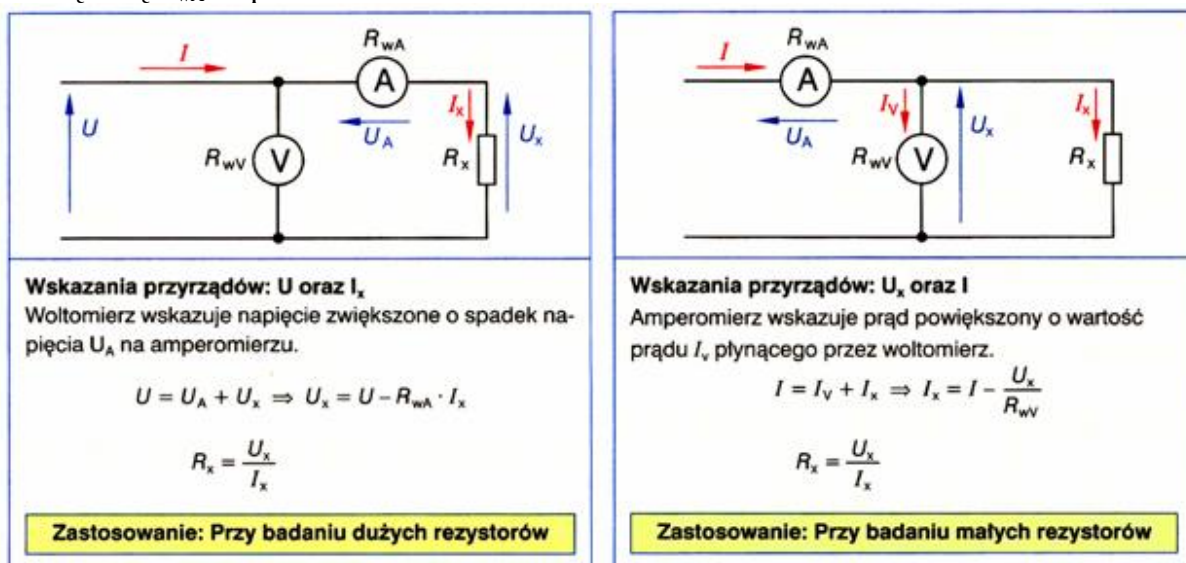


Rys. 37. Symbol graficzny omomierza [3, s. 202]

Jeżeli biegniemy szybko ulicą, napotykamy opór powietrza hamującego nasz bieg. Jeśli natomiast biegniemy w wodzie, napotykamy jeszcze większy opór. Widzimy, więc, że przy poruszaniu się różne środowiska stawiają różny opór. Podobnie dzieje się z ruchem elektronów w przewodnikach. Tę własność przewodników nazywamy opornością (rezystancją) elektryczną. Jednostką oporności (rezystancji) nazywamy omem [Ω]. Rezystancję 1 oma ma przewód, w którym przepływa prąd o natężeniu jednego ampera, pod wpływem napięcia jednego wolta.

Rezystancję rezystora można też obliczyć korzystając z prawa Ohma na podstawie jednocześnie zmierzonych wartości napięcia i natężenia prądu. Zależnie od sposobu połączenia amperomierza i woltomierza w obwodzie pomiarowym powstają błędy zniekształcające wynik pomiaru. Uchyb metody zależy od sposobu połączenia mierników jest mały, gdy przy dużych rezystancjach rezystorów mierzonych stosuje się układ z dokładnym pomiarem prądu odbiornika, a przy małych układ z dokładnym pomiarem napięcia odbiornika. Na wybór właściwego układu należy zwracać uwagę szczególnie przy zdejmowaniu charakterystyk elementów, np. rezystorów nieliniowych lub elementów półprzewodnikowych.

Układ z dokładnym pomiarem prądu odbiornika. W tym układzie prąd I_x płynący przez badany rezystor jest mierzony dokładnie. Woltomierz wskazuje napięcie większe, gdyż uwzględnia spadek napięcia U_A na rezystancji wewnętrznej amperomierza. Tak wyznaczona wartość rezystancji jest większa od wartości rzeczywistej, bo jest powiększona o rezystancję wewnętrzną R_{wA} amperomierza.



Rys. 38. Układ z dokładnym pomiarem napięcia (po lewo) i prądu (po prawo) [1, s. 167]

Amperomierze mają małą oporność wewnętrzną, więc duże wartości rezystancji można mierzyć bez uwzględniania poprawki.

Układ z dokładnym pomiarem napięcia odbiornika. W tym układzie napięcie U_x na zaciskach rezystora R_x jest mierzone dokładnie. Zmierzony prąd I jest większy od prądu w rezystorze R_x o wartość prądu I_v , płynącego przez woltomierz. Obliczona wartość rezystancji jest w tym wypadku mniejsza od wartości rzeczywistej.

Woltomierze mają duże rezystancje wewnętrzne, więc przy mierzeniu małych rezystancji błąd może być pominięty.

Pomiar multimetrem:

- Nastawić rodzaj prądu i wielkość mierzoną.
- Przy przyrządach wskazówkowych wybierać zawsze największy zakres pomiarowy.
- Przewody pomiarowe przyłączać najpierw do przyrządu, a potem do punktu pomiaru.
- Przy pomiarach prądu i rezystancji najpierw wyłączyć zasilanie.
- Przy pomiarze prądu ponownie włączyć zasilanie.
- Pomiar rezystancji przeprowadzać zawsze w stanie bezprądowym.
- Wykonać pomiar i odczytać wartość zmierzoną.
- Przy przyrządach wskazówkowych wybierać taki zakres pomiarowy, żeby wskazanie pomiarowe znajdowało się powyżej połowy skali.

Po zakończeniu pomiaru:

- Wyłączyć zasilanie (przy pomiarze prądu) i rozłączyć układ pomiarowy.
- Przy przyrządach wskazówkowych przestawić przełącznik zakresów ponownie na największy zakres.

4.7.2. Pytania sprawdzające

Odpowiadając na pytania, sprawdzisz, czy jesteś przygotowany do wykonania ćwiczeń.

1. Czym różni się wskaźnik analogowy od cyfrowego?
2. W której części skali przyrząd wskazówkowy ma największą dokładność?
3. Wskutek czego mogą powstać błędy?
4. Co się stanie gdy przez pomyłkę użyje się do pomiaru prądu woltomierza?
5. Jaka jest różnica pomiędzy układem z dokładnym pomiarem prądu odbiornika, a dokładnym pomiarem napięcia?

4.7.3. Ćwiczenia

Ćwiczenie 1

Dokonaj pomiarów napięcia i prądu dokonując regulacji napięcia potencjometrem suwakowym włączoną do obwodu potencjometrycznie z obciążeniem R_0 .

Sposób wykonania ćwiczenia

Aby wykonać ćwiczenie, powinieneś:

- 1) połączyć układ według schematu,
- 2) ustawić suwak w skrajne położenie,
- 3) załączyć napięcie do układu,

- 4) przesuwając suwak w równych odstępach i odczytywać wskazania mierników dla 10 położeń,
- 5) wyniki pomiarów zapisać w tabeli,
- 6) na podstawie wyników pomiarów sporządzić charakterystykę $U = f(x)$, oraz $I = f(x)$, gdzie x przesunięciem suwaka (charakterystykę utworzyć za pomocą arkusza kalkulacyjnego),
- 7) przeanalizować uzyskane charakterystyki,
- 8) zaprezentować efekty swojej pracy.

Wyposażenie stanowiska pracy:

- zestaw laboratoryjny do wykonywania ćwiczeń,
- komputer z arkuszem kalkulacyjnym,
- instrukcja do ćwiczenia,
- przybory do pisania, zeszyt do ćwiczeń.

Ćwiczenie 2

Dokonaj pomiarów napięcia i prądu dokonując regulacji potencjometrami połączonymi szeregowo z obciążeniem R_0 .

Sposób wykonania ćwiczenia

Aby wykonać ćwiczenie, powinieneś:

- 1) połączyć układ według schematu,
- 2) ustawić suwaki w położenie zgodnie z instrukcją,
- 3) załączyć napięcie do układu,
- 4) przesuwając suwak w równych odstępach i odczytywać wskazania mierników dla 10 położeń,
- 5) wyniki pomiarów zapisać w tabeli,
- 6) na podstawie wyników pomiarów sporządzić charakterystykę $U = f(x)$, oraz $I = f(x)$, gdzie x przesunięciem suwaka (charakterystykę utworzyć za pomocą arkusza kalkulacyjnego),
- 7) przeanalizować uzyskane charakterystyki,
- 8) zaprezentować efekty swojej pracy.

Wyposażenie stanowiska pracy:

- zestaw laboratoryjny do wykonywania ćwiczeń,
- komputer z arkuszem kalkulacyjnym,
- instrukcja do ćwiczenia,
- przybory do pisania, zeszyt do ćwiczeń.

Ćwiczenie 3

Dokonaj pomiarów napięcia dokonując regulacji napięcia za pomocą dzielnika napięcia.

Sposób wykonania ćwiczenia

Aby wykonać ćwiczenie, powinieneś:

- 1) połączyć układ według schematu,
- 2) ustawić suwak w skrajne położenie,
- 3) załączyć napięcie do układu,
- 4) przesuwając suwak w równych odstępach i odczytywać wskazania miernika dla 10 położeń,
- 5) wyniki pomiarów zapisać w tabeli,

- 6) na podstawie wyników pomiarów sporządzić charakterystykę $U = f(x)$, gdzie x przesunięciem suwaka (charakterystykę utworzyć za pomocą arkusza kalkulacyjnego),
- 7) przeanalizować uzyskaną charakterystykę,
- 8) zaprezentować efekty swojej pracy.

Wyposażenie stanowiska pracy:

- zestaw laboratoryjny do wykonywania ćwiczeń,
- komputer z arkuszem kalkulacyjnym,
- instrukcja do ćwiczenia,
- przybory do pisania, zeszyt do ćwiczeń.

4.7.4. Sprawdzian postępów

Czy potrafisz:

	Tak	Nie
1) zinterpretować otrzymane wyniki pomiarów?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2) wykorzystać komputer do opracowywania wyników?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3) dobrać odpowiednią metodę pomiaru?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4) wykonać pomiar napięcia?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
5) wykonać pomiar natężenia prądu?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

4.8. Badanie obwodów prądu stałego. Lokalizacja uszkodzeń w urządzeniach

4.8.1. Materiał nauczania

Rodzaje uszkodzeń w przyrządach elektrycznych i ich lokalizacja

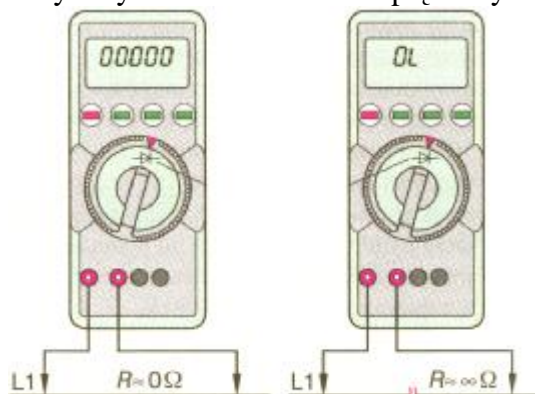
Oprócz uszkodzeń mechanicznych, jak np. złamany suwak, zniszczony styk, w przyrządach elektrycznych występują uszkodzenia, których przyczyna tkwi w obwodach wewnętrznych lub w obwodach zasilania. Jeżeli rezystancja obwodu jest zbyt mała, to prąd w obwodzie jest większy niż wartość znamionowa, a w przypadku granicznym, kiedy $R \approx 0 \Omega$, popłynie prąd zwarcia. Zbyt duży prąd w obwodzie może być wywołany przez działanie bocznikujące, lub przez zwarcie. W przypadku działania bocznikującego w niektórych częściach obwodu, np. w rezystorach, występuje częściowe zwarcie, lub mostkowanie elementu, co powoduje, że rezystancja tego obwodu zmniejsza się. Zwarcia są najczęściej skutkiem uszkodzenia izolacji lub zwarcia do obudowy, zalania, czy też zabrudzenia. Jeżeli rezystancja obwodu jest zbyt duża, to prąd w tym obwodzie praktycznie nie płynie. W granicznym przypadku, kiedy $R = \infty$ jego wartość jest bliska 0 A. Przyczyną zbyt dużej rezystancji jest trwały lub chwilowy brak połączeń w przewodach. Uszkodzenia źródła zasilania to np. błędnie wybrany rodzaj prądu lub napięcia, oraz zbyt duża rezystancja wewnętrzna źródła. Zbyt duża wartość napięcia dotykowego na obudowie przyrządu może być spowodowane uszkodzeniem układu, izolacji, kondensatorów przeciwwakłóceniowych, może też być skutkiem wnikania wilgoci do elementów.

Przed rozpoczęciem szukania uszkodzenia należy skontrolować łącze zasilające, mechaniczne zabezpieczenia, lub przepust, muszą być dokładnie skontrolowane. Jednym z podstawowych badań, jakie należy wykonać z punktu widzenia uszkodzeń mechanicznych są oględziny przyłącza. Wszelkie uszkodzenia przyłącza w urządzeniach elektrycznych muszą być bezwzględnie usunięte. Po skontrolovaniu przytacza do sieci zasilającej w dalszej kolejności przeprowadza się pomiary napięć w poszczególnych punktach obwodu

Dzięki dodatkowym pomiarom kontrolnym można dokładnie określić, czy w w obwodzie urządzenia wystąpiła przerwa, krótkie zwarcie czy zwarcie do obudowy. Za pomocą pomiarów kontrolnych można także zbadać przyłącze. Do kontroli połączeń można wykorzystać np. tester połączeń lub omomierz. Pomiar omomierzem ma tę zaletę, że zmierzone wartości rezystancji badanych elementów można porównać z wartościami prawidłowymi (katalogowymi), podczas gdy pomiar testerem połączeń daje tylko informację, czy dane połączenie istnieje. Jeżeli z braku danych nie można porównać pomiarów omomierzem z wartościami rzeczywistymi, można skorzystać z prawa Ohma, obliczając odpowiednie rezystancje z wartości znamionowych napięć i prądów, jeżeli znane są napięcie znamionowe i moc znamionowa danego urządzenia lub jego elementu. We wszystkich testach przejścia należy zwracać uwagę na to, że każda, dołączona do obwodu pomiarowego lub aparatu elektrycznego, równoległa gałąź, np. przewód, łącznik, odbiornik, może zafałszować pomiar. Błędny pomiar uniemożliwia prawidłowe określenie trasy przewodu.

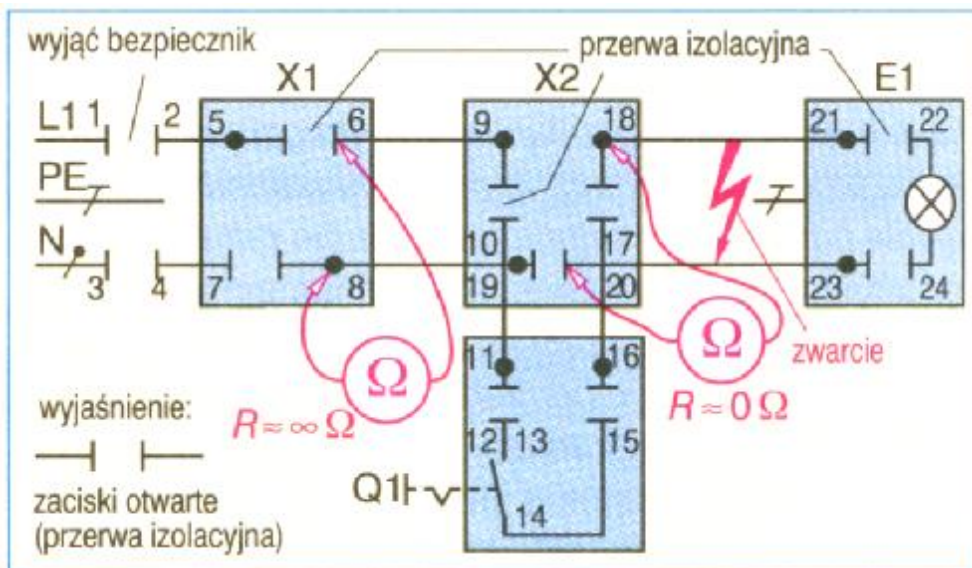
Chwilowe przerwy w przewodach. Przyczyną są często niewłaściwie dokręcone styki zacisków śrubowych lub przerwane żyły przewodów. Chwilowe przerwy w przewodach występują najczęściej w przyłączy odbiorników ruchomych. Oględziny przewodu, szczególnie na odcinku przyłącza do odbiornika i sieci zasilającej, pozwalają zlokalizować uszkodzenie. Do pomiarów dodatkowych wykorzystuje się m. in. omomierz o małych zakresach pomiarowych.

Mierzy się rezystancję odpowiednich odcinków przewodów. Jeżeli zmierzona rezystancja jest duża więcej niż kilka – kilkanaście omów, to na danym odcinku przewód jest uszkodzony. Jeżeli rezystancja jest bardzo mała, np. 1Ω , to znaczy, że ten odcinek jest sprawny. Jeżeli trzeba skontrolować oba przewody dołączone do odbiornika, to zwiera się obie końcówki od strony odbiornika za pomocą mostka z drutu i mierzy rezystancję od strony zasilania. Pomiar przejścia muszą być zawsze wykonywane w stanie beznapięciowym.



Rys. 39. Kontrola przejścia za pomocą multimetru [1, s. 244]

Szukanie zwarcia musi być prowadzone w stanie beznapięciowym. W tym wypadku oddziela się galwanicznie urządzenie od obwodów zasilających (wyjmuje się bezpieczniki) i wyłącza wszystkie odbiorniki, tzn. wszystkie łączniki otwarte. Wszystkie odbiorniki dołączone do gniazd są w tym wypadku oddzielone od zasilania tak, aby ograniczyć poszukiwanie uszkodzenia tylko do okablowania danego urządzenia. Do szukania uszkodzenia potrzebny jest omomierz albo tester przejścia. Urządzenie badane mierzy się odcinkami. W przypadku testera przejścia mierzy się rezystancję pomiędzy dwoma pojedynczymi odcinkami przewodu. Jeżeli omomierz pokazuje bardzo małą wartość, R, np. pomiędzy zaciskami 18 i 20 na rysunku, to zwarcie znajduje się pomiędzy tymi zaciskami albo w przewodzie za zaciskami 18 i 20.



Rys. 40. Szukanie uszkodzenia w przypadku zwarcia [1, s. 244]

Jeżeli rezystancja jest duża, np. pomiędzy zaciskami 6 i 8 lub 9 i 19, to na tym odcinku nie ma zwarcia. Jeżeli w danym obwodzie prądu przewidziano więcej zacisków, to omomierz przyłącza się najpierw na wejście obwodu pomiarowego i przełącza kolejno na następne zaciski.

4.8.2. Pytania sprawdzające

Odpowiadając na pytania, sprawdzisz, czy jesteś przygotowany do wykonania ćwiczeń.

1. Jak obliczyć stałą miernika analogowego?
2. Jak charakteryzuje się połączenie szeregowe rezystorów?
3. Jak charakteryzuje się połączenie równoległe rezystorów?
4. Jak zmierzyć natężenie prądu w danej gałęzi?
5. Jak zmierzyć spadek napięcia na rezystorze i na zaciskach źródła napięcia?
6. Jak obliczyć rezystancję zastępczą układu mieszanego rezystorów?
7. Jakie najczęściej powtarzają się usterki i uszkodzenia w obwodach prądu stałego?
8. Jaka metodę postępowania przyjmujemy podczas lokalizacji uszkodzeń na podstawie oględzin i pomiarów?
9. Jakie są typowe objawy zwarcia obwodu lub jego fragmentu?
10. Jakie są typowe objawy przerwy w obwodzie (lub w jednej gałęzi obwodu)?

4.9.3. Ćwiczenia

Ćwiczenie 1

Wykonaj pomiary w układzie z szeregowym połączeniem rezystorów, oraz sprawdzenie prawa Ohma i II prawa Kirchhoffa.

Sposób wykonania ćwiczenia

Aby wykonać ćwiczenie, powinieneś:

- 1) połączyć układ według schematu,
- 2) przeliczyć obwód dla zadanych parametrów,
- 3) odczytać wartość prądu i napięcie dla 5 różnych położeń suwaka,
- 4) zmierzyć wartości rezystancji rezystorów i wyniki pomiarów zapisać w tabeli,
- 5) sprawdzić na podstawie wyników pomiarów słuszność prawa Ohma i II prawa Kirchhoffa,
- 6) przeanalizować przypadki stanów awaryjnych w układzie wg polecenia nauczyciela i sprawdzić je doświadczalnie,
- 7) zaprezentować efekty swojej pracy.

Wyposażenie stanowiska pracy:

- zestaw laboratoryjny do wykonywania ćwiczeń,
- instrukcja do wykonania ćwiczenia,
- kalkulator,
- przybory do pisania, zeszyt do ćwiczeń.

Ćwiczenie 2

Wykonaj pomiary w układzie z równoległym połączeniem rezystorów, oraz sprawdzenie I prawa Kirchhoffa.

Sposób wykonania ćwiczenia

Aby wykonać ćwiczenie, powinieneś:

- 1) połączyć układ według schematu,

- 2) odczytać wartość napięć i prądów dla 5 różnych położenia suwaka na rezystorze suwakowym,
- 3) zanotować wyniki pomiarów w tabeli,
- 4) sprawdzić na podstawie wyników pomiarów i obliczyć: czy prąd źródła zasilania jest równy sumie prądów w poszczególnych gałęziach oraz czy prądy w poszczególnych gałęziach są odwrotnie proporcjonalne do rezystancji tych gałęzi (wyjaśnij ewentualne różnice),
- 5) przeliczyć i zbadać awaryjny stan pracy obwodu (zwarcia, rozwarcia rezystorów) na podstawie wskazań nauczyciela (przed załączeniem upewnij się, że stan pracy obwodu nie spowoduje uszkodzeń,
- 6) zaprezentować efekty swojej pracy.

Wyposażenie stanowiska pracy:

- zestaw laboratoryjny do wykonywania ćwiczeń,
- instrukcja do ćwiczenia,
- kalkulator,
- przybory do pisania, zeszyt do ćwiczeń.

Ćwiczenie 3

Wykonaj pomiary w układzie z mieszanym połączeniem rezystorów – obwód rozgałęziony.

Sposób wykonania ćwiczenia

Aby wykonać ćwiczenie, powinieneś:

- 1) połączyć układ według schematu,
- 2) postępować tak jak w ćwiczeniach 1 i 2 i wyniki pomiarów zanotować w tabeli,
- 3) dla stanu awaryjnego postępować tak jak w ćwiczeniu 2,
- 4) sprawdzić na podstawie wyników pomiarów i obliczeń słuszność prawa Ohma i praw Kirchhoffa,
- 5) zaprezentować efekty swojej pracy.

Wyposażenie stanowiska pracy:

- zestaw laboratoryjny do wykonywania ćwiczeń,
- instrukcja do ćwiczenia,
- kalkulator,
- przybory do pisania, zeszyt do ćwiczeń.

Ćwiczenie 4

Wykonaj pomiary źródła napięcia i określ znaczenie dopasowania energetycznego.

Sposób wykonania ćwiczenia

Aby wykonać ćwiczenie, powinieneś:

- 1) wyznaczyć wartość siły elektromotorycznej i rezystancji źródła ze wzorów,
- 2) połączyć układ według schematu,
- 3) wykonać 2 pomiary prądu dla 2 różnych wartości rezystancji obciążenia,
- 4) zanotować wyniki pomiarów w tabeli,
- 5) zbadać dopasowanie energetyczne odbiornika do źródła,
- 6) wykreślić w jednym układzie współrzędnych funkcje: $U_0 = f(R_0)$, $P_0 = f(R_0)$, $P_w = f(R_0)$,
- 7) opracować sprawozdanie i wnioski z przeprowadzonych badań.

Wyposażenie stanowiska pracy:

- zestaw laboratoryjny do wykonywania ćwiczeń,
- instrukcja do ćwiczenia,
- kalkulator,
- przybory do pisania, zeszyt do ćwiczeń.

Ćwiczenie 5

Zlokalizuj uszkodzenie (przerwę) w niesprawnym zestawie lamp choinkowych.

Sposób wykonania ćwiczenia

Aby wykonać ćwiczenie, powinieneś:

- 1) zapoznać się z treścią rozdziału 4.9,
- 2) odłączyć od zasilania badany zestaw choinkowy,
- 3) zmierzyć wartość rezystancji „przesuwając” się wzdłuż obwodu elektrycznego aż do uzyskania wartości $R = \infty$,
- 4) wymienić ten element obwodu (przewód lub żarówkę),
- 5) zaprezentować efekty swojej pracy.

Wyposażenie stanowiska pracy:

- zasilacz,
- omomierz lub miernik uniwersalny,
- badany zestaw choinkowy,
- zestaw narzędzi serwisowych, lutownica, spoiwo,
- zestaw zapasowych przewodów i żarówek do wymiany (usunięcia uszkodzenia).

4.8.4. Sprawdzian postępów

Czy potrafisz:

	Tak	Nie
1) zbadać słuszność prawa Ohma?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2) zbadać słuszność obu praw Kirchhoffa?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3) zbadać źródło napięcia – wyznaczyć wartość E i rezystancji wewnętrznej źródła?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4) zbadać dopasowanie energetyczne odbiornika do źródła?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
5) zauważyć nieprawidłowości w działaniu badanego obwodu elektrycznego w porównaniu z oczekiwanym prawidłowym działaniem?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
6) postawić diagnozę uszkodzenia obwodu elektrycznego?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
7) przeprowadzić pomiary lokalizujące uszkodzenie?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
8) usunąć uszkodzenie w obwodzie?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

5. SPRAWDZIAN OSIĄGNIĘĆ

INSTRUKCJA DLA UCZNIĄ

1. Przeczytaj uważnie instrukcję.
2. Zapoznaj się z zestawem zadań testowych.
3. Udzielaj odpowiedzi na załączonej karcie odpowiedzi.
4. Test składa się z 20 zadań.
5. Za każde poprawnie rozwiązane zadanie uzyskasz 1 punkt.
6. Dla każdego zadania podane są cztery możliwe odpowiedzi: a, b, c, d.
7. Tylko jedna odpowiedź jest poprawna.
8. Wybraną odpowiedź zaznacz X.
9. Staraj się wyraźnie zaznaczać odpowiedzi. Jeżeli się pomylisz i błędnie zaznaczysz odpowiedź, otocz ją kółkiem i zaznacz odpowiedź, którą uważasz za prawdziwą.
10. Przed wykonaniem każdego zadania przeczytaj bardzo uważnie polecenie.
11. Czas na rozwiązanie testu - 60 minut.

Powodzenia!

ZESTAW ZADAŃ TESTOWYCH

1. Jeżeli zastosujemy jeden z dwóch przewodów elektrycznych z tego samego materiału, o takiej samej długości, ale o większym przekroju, to droga po której przesuują się elektrony swobodne rozszerza się stawiając tym samym
 - a) mniejszy opór przepływowi prądu elektrycznego.
 - b) taki sam opór w obu przewodnikach.
 - c) większy opór przepływowi prądu elektrycznego.
 - d) opór odwrotnie proporcjonalny do przekroju przewodu.
2. Rezystancję przewodu obliczamy znając jego wymiary i rezystywność. Rezystancja ta zależy od długości przewodu
 - a) odwrotnie proporcjonalnie.
 - b) wprost proporcjonalnie.
 - c) nie zależy od długości przewodu.
 - d) im krótszy, tym większa rezystancja.
3. Jednostką rezystywności w układzie SI jest
 - a) $\Omega \text{ m}^2$.
 - b) VA.
 - c) $\Omega \text{ m}$.
 - d) S m/mm^2 .
4. Stan zwarcia źródła napięcia jest to taki stan, w którym
 - a) $U = E - R_w I$ i $I > 0$.
 - b) $U_o = E$ i $I = 0$.
 - c) $U > E$ i $I < 0$.
 - d) $I_z = E/R_w$ i $U = 0$.

5. Natężenie prądu w obwodzie nierozgałęzionym zasilanym z jednego źródła napięcia stałego, w którym występuje 3 rezystory połączone szeregowo jest
 - a) różny (pod względem wartości) w każdym punkcie obwodu.
 - b) jednakowy (pod względem wartości) w każdym punkcie obwodu.
 - c) zależny od różnicy potencjałów na zaciskach każdego rezystora.
 - d) równy różnicy potencjałów na zaciskach każdego rezystora.

6. Napięcie na zaciskach każdego z 3 rezystorów połączonych równolegle, które są zasilane z jednego źródła jest
 - a) różne.
 - b) zależne od wartości rezystancji zastępczej układu.
 - c) jednakowe.
 - d) niezależne od wartości rezystancji każdego z tych rezystorów.


7. W obwodach elektrycznych rozgałęzionych oczkiem nazywamy
 - a) miejsce rozgałęzienia się przewodów w układzie.
 - b) drogę dla przepływu prądu, łączącą bezpośrednio dwa węzły.
 - c) sumę algebraiczną prądów schodzących się w dowolnym węźle.
 - d) zbiór gałęzi tworzących jedną zamkniętą drogę dla przepływu prądu.

8. Przy połączeniu równoległym dowolnej liczby kondensatorów, pojemność zastępcza tego układu jest równa
 - a) sumie odwrotności pojemności wszystkich kondensatorów.
 - b) sumie pojemności wszystkich kondensatorów.
 - c) ilorazowi ładunków poszczególnych kondensatorów do ich pojemności.
 - d) sumie napięć na zaciskach każdego kondensatora.

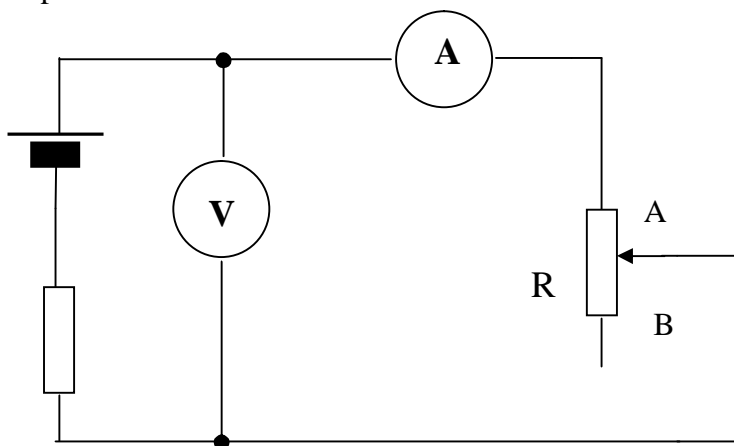
9. Silnik elektryczny prądu stałego działa na zasadzie oddziaływania pola magnetycznego na przewodnik z prądem umieszczony w tym polu. Posługując się „regułą lewej dłoni” możemy wyznaczyć
 - a) kierunek pola magnetycznego w solenoidzie.
 - b) kierunek wektora indukcji B w polu wytworzonym przez prąd elektryczny.
 - c) kierunek siły oddziaływania pola magnetycznego na prąd płynący w przewodniku umieszczony w tym polu.
 - d) kierunek prądu w przewodniku umieszczonym w tym polu.

10. Cewka zapłonowa w układzie zapłonowym klasycznym silnika spalinowego służy do
 - a) zapobiegania iskrzeniu (tworzeniu się łuku) na stykach przerywacza w obwodzie niskiego napięcia.
 - b) wytworzenia wysokiego napięcia, które powoduje przeskok iskry w świecy zapłonowej.
 - c) przerywania prądu w uzwojeniu pierwotnym cewki.
 - d) wytworzenia indukcji własnej w urządzeniach zapłonowych silników spalinowych.

11. Błąd (uchyby) bezwzględny pomiaru to
 - a) uchyb miernika wyrażony w % wartości zmierzonej.
 - b) różnica między wartością zmierzona (wskazana), a rzeczywistą.
 - c) różnica między wartością rzeczywistą, a zmierzona.
 - d) wartość, którą należy dodać do wyniku pomiaru, aby uzyskać wartość rzeczywistą.

12. Symbol graficzny  na tablicy podziałowej miernika analogowego oznacza
- ustrój elektrodynamiczny.
 - ustrój magnetyczny.
 - ustrój elektromagnetyczny.
 - ustrój magnetoelektryczny.
13. Jaki ładunek zostanie dostarczony do akumulatora w czasie 10 godzin, jeżeli jest on ładowany wyprostowanym dwupołówkowo prądem sinusoidalnym o amplitudzie 5,5 A
- 35 Ah.
 - 55 Ah.
 - 17,5 Ah.
 - 27,5 Ah.

14. Jak zmienią się wskazania mierników, jeżeli przesuniemy suwak rezystora w kierunku punktu A



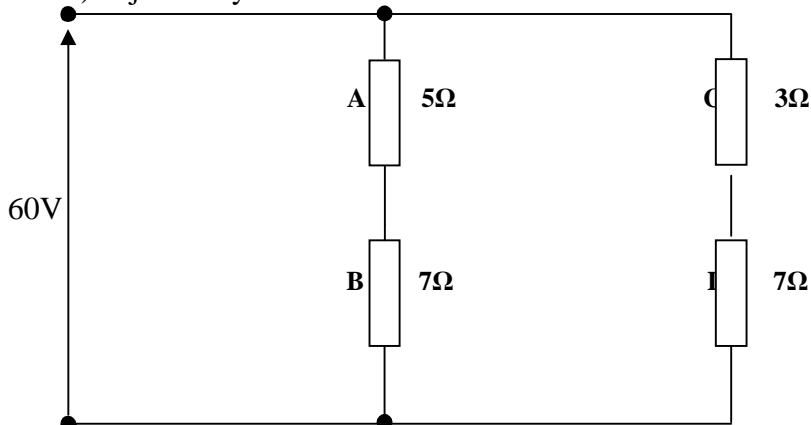
Wskazania woltomierza

- nie zmieni się,
- zmaleje,
- zmaleje,
- wzrośnie.

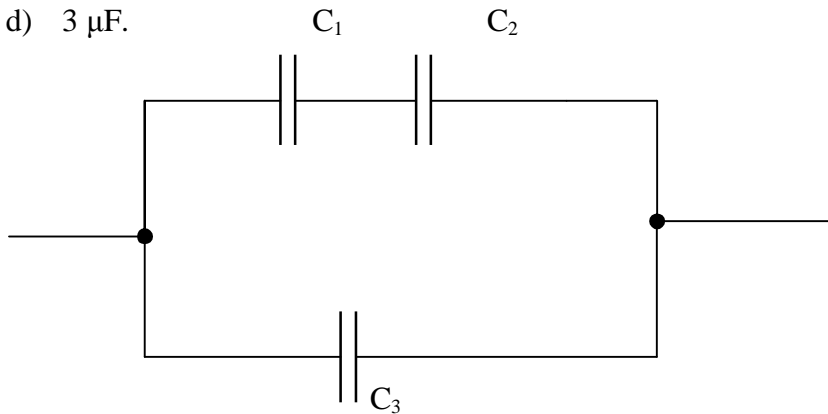
Wskazanie amperomierza

- wzrośnie,
- zmaleje,
- wzrośnie,
- wzrośnie.

15. Na którym rezystorze wystąpi najmniejszy spadek napięcia
- tj. na rezystorze A.
 - tj. na rezystorze B.
 - tj. na rezystorze C.
 - tj. na rezystorze D.

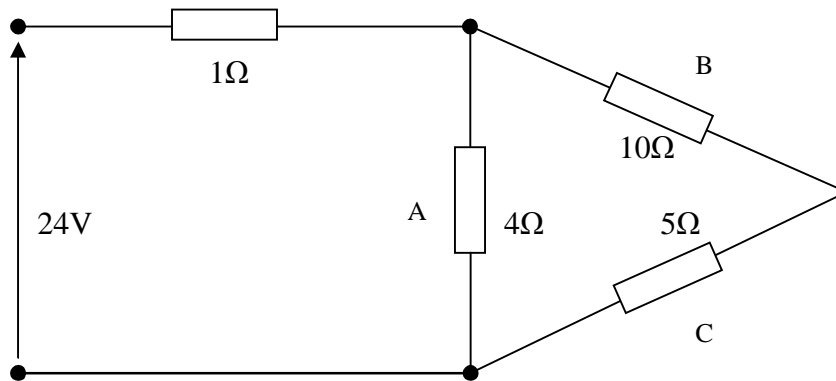


16. Jaka powinna być pojemność kondensatora C_1 , jeżeli $C_2 = 6 \mu\text{F}$; $C_3 = 3 \mu\text{F}$ zaś pojemność zastępcza całego układu $C = 5 \mu\text{F}$
- a) $15 \mu\text{F}$.
 - b) $5 \mu\text{F}$.
 - c) $4 \mu\text{F}$.
 - d) $3 \mu\text{F}$.



17. Siłę elektromotoryczną indukowaną w przewodach o danej długości obliczamy za pomocą wzoru
- a) $e = Blv$.
 - b) $e = Blv\sin\alpha$.
 - c) $e = \pm\Delta\Phi/t$.
 - d) $e = \pm\Delta B/\Delta t$.
18. W układzie SJ jednostką indukcji magnetycznej jest
- a) 1 Vs/m^2 .
 - b) 1 Vs/Am^2 .
 - c) 1 Vs .
 - d) 1 A/m .
19. Magnetowodem nazywamy
- a) zespół elementów służących do wytwarzania strumienia magnetycznego.
 - b) cewkę pierścieniową nawiniętą nierównomiernie z rdzeniem.
 - c) zespół elementów, wzdłuż których zamyka się strumień magnetyczny.
 - d) zespół elementów służących do wytwarzania indukcji magnetycznej.

20. W obwodzie pokazanym na rysunku określ
- przez który rezystor przepływa prąd o największym natężeniu.
 - który rezystor znajduje się pod największym napięciem.
 - który rezystor znajduje się pod najniższym napięciem.
 - rezystor, przez który przepływa prąd o największym natężeniu.



KARTA ODPOWIEDZI

Imię i nazwisko.....

Obliczanie i pomiary parametrów obwodów prądu stałego

Zakreśl poprawną odpowiedź.

Nr zadania	Odpowiedź				Punkty
1	a	b	c	d	
2	a	b	c	d	
3	a	b	c	d	
4	a	b	c	d	
5	a	b	c	d	
6	a	b	c	d	
7	a	b	c	d	
8	a	b	c	d	
9	a	b	c	d	
10	a	b	c	d	
11	a	b	c	d	
12	a	b	c	d	
13	a	b	c	d	
14	a	b	c	d	
15	a	b	c	d	
16	a	b	c	d	
17	a	b	c	d	
18	a	b	c	d	
19	a	b	c	d	
20	a	b	c	d	
Razem:					

6. LITERATURA

1. Bastion P., Schuberth G., Spievogel O., Steil H., Tkotz K., Ziegler K.: Praktyczna elektrotechnika ogólna. REA, Warszawa 2003
2. Figurski J., Kordowicz-Sot A., Symela K.: Elektrotechnika i elektronika. ITE, Radom 2003
3. Kurdziel R.: Podstawy elektrotechniki dla zasadniczej szkoły zawodowej. WSiP, Warszawa 1988
4. Markiewicz A.: Zbiór zadań z elektrotechniki. WSiP, Warszawa 1999
5. Parchański J.: Miernictwo elektryczne i elektroniczne. WSiP, Warszawa 1998
6. Pilawski M.: Pracownia elektryczna. WSiP, Warszawa 1996
7. Zachara Z.: Zadania z elektrotechniki nie tylko dla elektroników. WSiP, Warszawa 2000
8. www.centra.com.pl
9. www.daktik.rubikon.pl
10. www.elfa.se