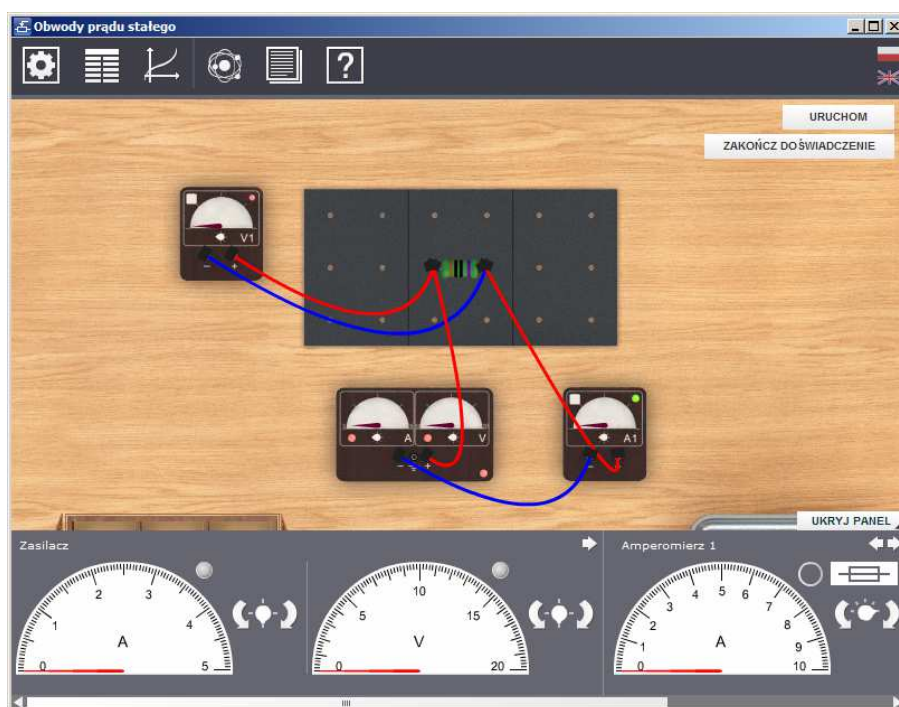




Podręcznik metodyczny dla nauczycieli

Obwody prądu stałego



1 Obwody prądu stałego

Podręcznik, który Państwu przedstawiamy, zawiera propozycje ćwiczeń, jakie można wykonać przy użyciu e-doświadczenia „Obwody prądu stałego”. Staraliśmy się tak dobrać ćwiczenia, aby jak najpełniej pokazywały możliwości narzędzia. Listę ćwiczeń należy zatem uważać za otwartą i możliwą do rozszerzania wedle potrzeb, być może zgodnie z sugestiami samych uczniów.

Niniejsze e-doświadczenie poświęcono obwodom prądu stałego. Przybliżone zostaną takie wielkości fizyczne jak: napięcie, natężenie prądu, opór elektryczny oraz podstawowe prawa związane z tymi wielkościami – prawo Ohma oraz prawa Kirchhoffa. Poznamy zasady obsługi współczesnego zasilacza laboratoryjnego oraz reguły dotyczące podłączania amperomierza i woltomierza w obwodzie. Przybliżona zostanie także idea działania mostka Wheatstone’a, a także zagadnienia związane z ogniwami.

Aby poszerzyć swoją wiedzę na temat zagadnień związanych z elektrycznością, zajrzyj do e-doświadczeń „Pole elektryczne”, „Cewki i indukcja” oraz „Układy RLC”.

Prąd elektryczny

Przepływ prądu elektrycznego jest wynikiem ruchu cząstek obdarzonych ładunkiem w przewodniku elektrycznym. Cząstki te zwane są nośnikami ładunku lub nośnikami prądu. W metalach, z których wykonane są druty i przewody, nośnikami ładunku są swobodne elektrony – cząstki naładowane ujemnie. W elektrolitach nośnikami prądu mogą być także jony dodatnie (kationy) oraz ujemne (aniony).

Aby nastąpił przepływ prądu wzdłuż przewodnika, musi występować różnica potencjałów, nazywana napięciem elektrycznym.

Warto sobie uświadomić, że ładunki elektryczne są dość powolne¹ i nie poruszają się wzdłuż całej długości przewodnika. Nośniki ładunku poruszają się na niewielkich odległościach, przekazując impuls elektryczny kolejnym nośnikom prądu, a te następnym. Takie zaburzenie elektryczne rozchodzi się bardzo szybko, z prędkością światła. Dla zrozumienia tego zjawiska przydatna jest analogia do przekazywania ciśnienia hydrostatycznego w rurze. Pojawienie się ciśnienia na drugim końcu rury nie oznacza, że cząsteczki wody fi-

¹Dla przykładu przebycie odległości 1 cm przez elektrony w drucie miedzianym o średnicy 1,6 mm zajmuje około 30 sekund.

zycznie przemieściły z jednego końca rury na drugi, a jedynie przejścia impulsu zaburzenia.

Obwód elektryczny Obwód elektryczny to układ połączonych ze sobą elementów elektrycznych, takich jak: oporniki, ogniwa, zasilacze, itp. Najprostszym przykładem obwodu elektrycznego może być żarówka podłączona do biegunów baterii.

Potencjał elektryczny Każdemu punktowi obwodu elektrycznego można przyporządkować liczbową wartość zwaną potencjałem elektrycznym². Aby w obwodzie płynął prąd elektryczny, musi istnieć wypadkowe natężenie pola elektrycznego, które powstaje dzięki istnieniu różnicy potencjałów elektrycznych między biegunami źródła zasilania.

Napięcie elektryczne Napięciem nazywa się różnicę potencjałów występującą między dwoma punktami obwodu elektrycznego, np. pomiędzy dwoma biegunami ogniwa lub pomiędzy dwoma końcami opornika. Jednostką napięcia elektrycznego podobnie jak i potencjału elektrycznego jest wolt³ [V].
Mówiąc o napięciu na zaciskach ogniwa często używa się szerszego pojęcia „siły elektromotorycznej”. Definicja siły elektromotorycznej podana została w rozdziale 7, zatytułowanym „Ogniwa galwaniczne”.

Kierunek przepływu prądu Chociaż nośnikami prądu mogą być zarówno ujemne elektrony jak i dodatnie jony, za kierunek przepływu prądu przyjęto kierunek przepływu ładunków dodatnich. Zgodnie z tą konwencją prąd płynie od potencjału dodatniego do potencjału ujemnego.

Natężenie prądu Natężenie prądu (I) to ilość ładunków (Q) przepływających w jednostce czasu (t) przez dany przekrój przewodnika. Jednostką natężenia prądu jest amper⁴, który jest równy kulombowi na sekundę. [A = C/s]

$$I = \frac{Q}{t}. \quad (1.1)$$

²Aby dowiedzieć się więcej na temat własności ładunków statycznych, a także potencjału elektrycznego oraz natężenia pola elektrycznego zajrzyj do e-doświadczenia „Pole elektryczne”.

³Nazwa jednostki pochodzi od nazwiska włoskiego fizyka, wynalazcy i konstruktora. Był nim Alessandro Giuseppe Antonio Anastasio Volta żyjący w latach 1745 – 1827. Jemu zawdzięcza się wynalezienie elektroforu – przyrządu do elektryzowania ciał, a także ogniwa elektrochemicznego.

⁴Jednostka pochodzi od nazwiska francuskiego matematyka i fizyka André Marie Ampère’a. Ampère żył w latach 1775 – 1836. Znany jest przede wszystkim z badań nad elektrycznością i magnetyzmem.

Wielkość natężenia prądu zależna jest od tzw. oporu elektrycznego.

Opór elektryczny Opór elektryczny określa zdolność przewodnika do przewodzenia prądu elektrycznego. Jednostką oporu elektrycznego jest om^5 [Ω]. Opór posiadają przewodniki elektryczne⁶, a także oporniki⁷ – elementy o określonej, zaprojektowanej wartości oporu.

Analogia do przepływu wody Dobrą analogią układu elektrycznego jest system hydrauliczny. Napięcie można rozumieć jako różnicę ciśnień wytwarzaną przez pompę (baterię). Natężenie prądu płynącego w przewodniku można wyobrazić sobie jako natężenie wody płynącej w rurze. Natężenie przepływu wody zależne jest od przekroju rury (oporu elektrycznego).

Prąd stały i prąd przemienny Prąd stały, rozważany w tym e-doświadczeniu to prąd, którego wartość jest stała w czasie⁸, zaś prąd przemienny⁹ to prąd, którego wartość i kierunek cyklicznie się zmieniają. Związane jest to ze sposobem wytwarzania prądu przez generatory. Jak powstaje prąd przemienny, dowiesz się w e-doświadczeniu „Cewki i indukcja”, natomiast własności obwodów, w których płynie prąd zmienny, poznasz w e-doświadczeniu „Układy RLC”.

Prąd stały wytwarzają ogniwa w reakcjach chemicznych oraz zasilacze prądu stałego, które zamieniają prąd przemienny na prąd jednokierunkowy, który jest w przybliżeniu stały. W formie prądu przemiennego elektryczność jest dostarczana z elektrowni do domów. Prądem stałym zasilane są wszystkie urządzenia przenośne.

⁵Nazwa jednostki pochodzi od nazwiska niemieckiego fizyka i matematyka Georga Simona Ohm'a żyjącego w latach 1789 — 1854. Ohm zajmował się teorią obwodów elektrycznych.

⁶Za wyjątkiem nadprzewodników, które charakteryzują się zerowym oporem elektrycznym.

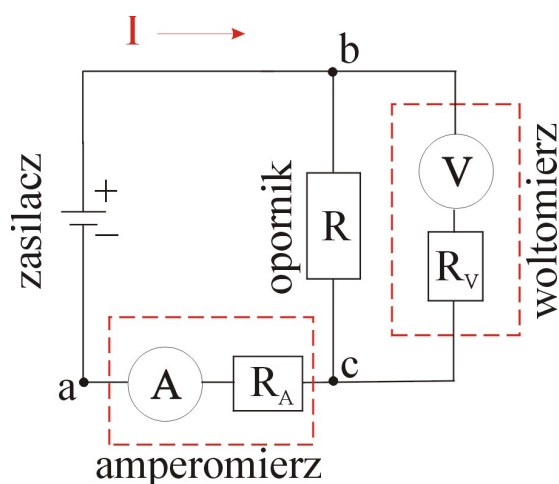
⁷Oporniki często określa się mianem „rezystorów”, zaś opór elektryczny nazywa się „rezystancją”.

⁸Często spotyka się skrót DC – z angielskiego Direct Current.

⁹Często spotyka się skrót AC – z angielskiego Alternating Current.

2 Pomiar napięcia i natężenia prądu. Prawo Ohma

Podstawowymi narzędziami diagnostycznymi używanymi do badania obwodów elektrycznych są mierniki: amperomierz i woltomierz. Poniższy rysunek pokazuje sposób ich podłączenia w obwodzie. Poniższy schemat został zrealizowany w e-doświadczeniu jako układ nr 1 w zakładce „Gotowe schematy”. Amperomierz symbolizuje literka „A” w kółku, zaś R_A to opór wewnętrzny amperomierza. Woltomierz symbolizuje literka „V” w kółku, zaś R_V to opór wewnętrzny woltomierza.



Amperomierz Amperomierz mierzy natężenie prądu. Aby zmierzyć natężenie prądu w przewodzie, należy zrobić w nim przerwę i włączyć amperomierz. Taki sposób łączenia nazywa się łączeniem szeregowym i gwarantuje przepływ całego prądu przez amperomierz. Amperomierz posiada pewien opór wewnętrzny. Aby pomiar natężenia prądu nie zaburzał wielkości natężenia prądu płynącego w układzie, opór wewnętrzny amperomierza powinien być bardzo mały. W typowych miernikach wynosi około $10^{-5} \Omega$.

Woltomierz Woltomierz mierzy różnicę potencjałów, czyli napięcie. Aby zmierzyć napięcie, należy podłączyć zaciski woltomierza pomiędzy dwoma punktami obwodu bez przerywania obwodu (połączenie równoległe). Idealny woltomierz powinien mieć nieskończony opór wewnętrzny, zaś w praktyce opór wewnętrzny powinien być dużo większy od

oporu w obwodzie, do którego jest podłączony woltomierz. W przeciwnym razie woltomierz stanie się częścią obwodu, zmieni natężenie prądu płynące przez badany opór oraz mierzone napięcie. Typowe wartości oporu wewnętrznego woltomierzy wynoszą $10^5 - 10^7 \Omega$, w zależności od klasy miernika.¹

Odczyt wskazań mierników i zakresy pomiarowe

Odczytując napięcie lub natężenie prądu na mierniku pamiętaj, aby dobrać zakres pomiarowy odpowiedni do wartości mierzonych wielkości. Aby pomiar był najdokładniejszy, powinien to być najmniejszy zakres, przy którym wskazówka ustawiona jest poniżej maksymalnej działki tej skali. Aby odczytać wartość napięcia lub natężenia ze skali, sprawdź jaka jest jednostka podana na skali oraz jaka jest dokładność skali tzn. jakiej zmianie napięcia lub natężenia prądu odpowiada zmiana wskazania o jedną najmniejszą działkę skali.

Kolorystyka biegunów napięcia

Chociaż płynący prąd nie rozróżnia kolorów, przyjęto następującą kolorystykę biegunów zasilania:

- Kolorem czerwonym oznacza się biegun dodatni zasilacza, a także gniazdo „+” miernika. Domyślnie do tych gniazd wtyka się przewód czerwony.
- Kolorem czarnym lub niebieskim oznacza się biegun ujemny zasilacza, a także gniazdo „-” miernika. Domyślnie do tych gniazd wtyka się przewód czarny lub niebieski.

Prawo Ohma

Natężenie prądu (I), napięcie (U) oraz opór elektryczny (R) powiązane ze sobą następującą zależnością, nazywaną prawem Ohma:

$$I = \frac{U}{R}. \quad (2.1)$$

Natężenie prądu płynącego przez dany opornik (posiadający pewien opór elektryczny) jest wprost proporcjonalne do napięcia przyłożonego do jego końców. Współczynnikiem proporcjonalności jest $1/R$. W prawie Ohma zakłada się, iż opór jest stały, jednak w praktyce zależy on od temperatury opornika.

Obwody elektryczne oraz wielkości elektryczne z nimi związane I , U oraz R można sobie wyobrazić przez analogie jako układy rur z

¹W praktyce działanie woltomierza również opiera się o pomiar natężenia prądu, jednak z powodu istnienia ogromnego oporu wewnętrznego w woltomierzu, natężenie prądu jest bardzo małe i jest proporcjonalne do napięcia panującego na zaciskach woltomierza. Miernik można odpowiednio wyskalować w woltach.

wodą. Natężenie prądu można wyobrazić sobie jak natężenie wody płynącej w rurze. Opór elektryczny jako wielkość przekroju poprzecznego rury, zaś napięcie jako wysokość, z której spada woda, uzyskując odpowiednią energię.

Ćwiczenie 1 Pomiar napięcia i natężenia prądu

Cel ćwiczenia: Zaleca się zrobić to ćwiczenie jako jedno z pierwszych. Uczeń zapozna się z obsługą e-doświadczenia oraz dowie się, w jaki sposób działa zasilacz oraz jak należy podłączyć amperomierz i woltomierz w celu wykonania prawidłowego pomiaru.

✓ Po włączeniu e-doświadczenia na pasku narzędziowym w oknie e-doświadczenia wybierz „Narzędzia”. W menu „Narzędzia” z zakładki „Gotowe schematy” wybierz układ nr 1 zatytułowany „Podłączanie mierników”.

✓ Zobacz jakie urządzenia są w układzie i jak są ze sobą połączone? Czy połączenie jest zgodne ze schematem? Jakich kolorów przewodów użyto w obwodzie? Jaka jest wartość opornika? Spróbuj odczytać wartość opornika na podstawie kodu barwnego opornika. Symbolikę kodu znajdziesz w „Tablicach fizycznych”.

Panel sterowania urządzeniami Aby sterować urządzeniami widocznymi na stole, kliknij „POKAŻ PANEL”. W panelu dolnym znajdują się tarcze pomiarowe urządzeń, które znajdują się na stole laboratoryjnym. W panelu dolnym znajduje się pasek przewijania służący do przesuwania tarcz urządzeń w polu widzenia. Dodatkowo za pomocą strzałek usytuowanych w prawym górnym rogu w pobliżu urządzenia, można zmieniać kolejność urządzeń w panelu dolnym. Aby uruchomić doświadczenie, należy nacisnąć przycisk „URUCHOM”. Domyślnie, począwszy od lewej strony, w panelu dolnym widoczne są dwie tarcze zasilacza, a dalej tarcze mierników znajdujących się na stole.

Obsługa zasilacza Zasilacz w e-doświadczeniu jest typowym, współczesnym laboratoryjnym zasilaczem napięcia stałego. Zasilacz posiada dwa pokręta: pokręta do sterowania natężeniem prądu (po lewej stronie) oraz pokręta do sterowania napięciem (po prawej stronie). Każde z pokręteł można maksymalnie obrócić o 360 stopni. Wartości natężenia prądu i napięcia ustawione za pomocą pokręteł są maksymalnymi wartościami, które mogą się pojawić na wyjściu zasilacza. Faktyczne wartości napięcia i natężenia prądu pojawiające się na wyjściu zasilacza wskazywane są na tarczach pomiarowych zasilacza i zależne

są od wielkości oporu (obciążenia) obwodu podłączonego do zasilacza, zgodnie z prawem Ohma.

Jeżeli chcesz sterować tylko napięciem na wyjściu zasilacza, obróć pokrętkę natężenia prądu do oporu o 360 stopni. Jeżeli chcesz sterować tylko natężeniem prądu na wyjściu zasilacza obróć pokrętkę napięcia do oporu o 360 stopni.

Zmiana zakresu pomiarowego i bezpiecznik amperomierza

Po prawej stronie tarcz pomiarowych znajdują się pokrętki do zmiany zakresów pomiarowych. Amperomierz dodatkowo wyposażony jest w bezpiecznik, który wyłącza miernik, gdy przez amperomierz przepływa zbyt duży prąd dla danego zakresu. Aby uruchomić ponownie amperomierz na danym zakresie, należy włączyć bezpiecznik poprzez kliknięcie bezpiecznika. Należy pamiętać o zmniejszeniu natężenia prądu płynącego z zasilacza przed ponownym włączeniem bezpiecznika.

PAMIĘTAJ! W RZECZYWISTYCH AMPEROMIERZACH ZBYT DUŻE NATĘŻENIE PRĄDU MOŻE SPOWODOWAĆ PRZEPALENIE BEZPIECZNIKA LUB TRWAŁE USZKODZENIE MIERNIKA.

Dokonując pierwszy raz pomiaru natężenia prądu, często nie wiesz, jaki prąd popłynie w obwodzie. W takiej sytuacji zawsze ustawiaj amperomierz na największym dostępnym zakresie pomiarowym.

Odczyt napięcia i natężenia prądu

W wybranym układzie do zasilacza podłączony jest opornik (często mówi się: „zasilacz jest obciążony opornikiem” lub po prostu „zasilacz jest obciążony”). Amperomierz mierzy natężenie prądu płynące przez opornik, natomiast woltomierz mierzy napięcie (często mówi się: „różnicę potencjałów” lub „spadek napięcia”) na oporniku.

✓ Uruchom doświadczenie. Ustaw na zasilaczu napięcie 1,2 V (to znaczy na tarczy zasilacza wskazówka powinna wskazywać 1,2 V). Odczytaj wartość natężenia z lewej skali zasilacza. Jaka jest dokładność skal zasilacza?

✓ Rozpoczynając od największego zakresu pomiarowego, odczytaj na woltomierzu wartość napięcia. Następnie zmniejszaj stopniowo zakres woltomierza i odczytuj napięcia. Czy woltomierz wskazuje tę samą wartość napięcia na wszystkich zakresach? Jeżeli nie, to jaka jest przyczyna? Z jaką dokładnością można odczytać mierzone wielkości na każdym zakresie? Na którym zakresie pomiarowym odczyt jest najdokładniejszy?

✓ Odczytaj natężenie prądu na kolejnych zakresach zaczynając od największego. Zmień zakres amperomierza. Odczytaj i zapisz wartość natężenia prądu na każdym z zakresów. Porównaj z wartością odczytaną z lewej skali zasilacza. Z jaką dokładnością można odczytać mierzone wielkości na każdym zakresie?

Czerwone diody zasilacza Zauważ, że w pobliżu pokręteł zapalają się czerwone diody. Kiedy zapalają się diody i co oznacza ich świecenie? Kiedy będą się świecić obydwie diody? Wskazówka: Obserwuj wskazania na tarczach zasilacza.

Zapalenie się czerwonej diody np. przy pokrętle napięcia wskazuje, iż wartość napięcia na wyjściu osiągnęła wartość napięcia ustawioną na pokrętle (wartość maksymalną). Wówczas dalsze zwiększanie natężenia prądu za pomocą drugiego pokrętła nie zmienia już wartości natężenia, gdyż ustaliło się już odpowiednie natężenie dla ustawionego napięcia, zgodnie z prawem Ohma. Analogiczna sytuacja występuje gdy dioda zapala się przy pokrętle sterowania natężeniem prądu. Oznacza to, iż faktyczny prąd na wyjściu zasilacza jest ograniczony i równy wartości ustawionej na pokrętle zasilacza.

Podłączenie woltomierza ✓ Zobacz, jak podłączony jest woltomierz. Ustaw na zasilaczu napięcie 10 V. Jakie natężenie prądu płynie w obwodzie?
✓ Odłącz przewody woltomierza od badanego obwodu. Pamiętaj, że modyfikowanie układu jest możliwe dopiero po naciśnięciu przycisku „ZATRZYMAJ”. Czy zmieniła się wielkość napięcia oraz natężenia prądu na wyjściu z zasilacza?

Podłączenie amperomierza ✓ Podłącz ponownie woltomierz. Odłącz tym razem przewody amperomierza od badanego obwodu. Czy zmieniła się wielkość napięcia oraz natężenia prądu na wyjściu z zasilacza?

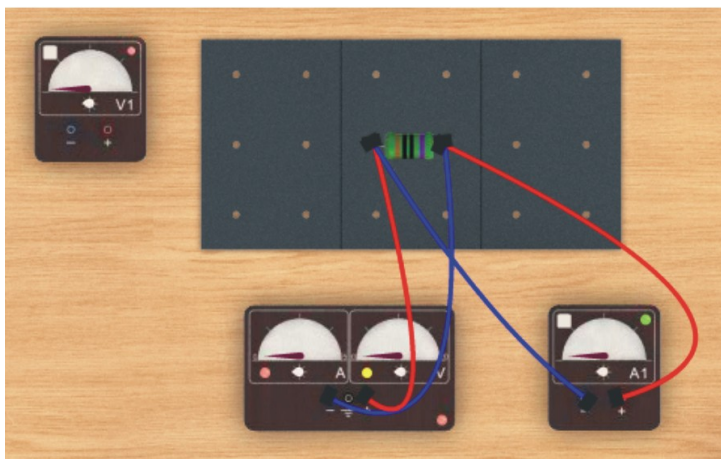
✓ Nie podłączaj z powrotem amperomierza. W to miejsce podłącz woltomierz w taki sposób, w jaki poprzednio był podłączony amperomierz, czyli szeregowo. Jakie są wskazania mierników przy takim połączeniu? Jak można to interpretować?

✓ Połącz amperomierz bezpośrednio do zasilacza, odłącz opornik.

PAMIĘTAJ! W rzeczywistym świecie NIE WYKONUJ TAKIEGO EKSPERYMENTU, gdyż może się on skończyć uszkodzeniem amperomierza, a często także zasilacza! Amperomierz oraz zasilacz w e-doświadczeniu jest odpowiednio zabezpieczony. Obróć pokrętkę natężenia prądu maksymalnie w prawo, bez regulowania napięcia. Jakie są wskazania mierników przy takim połączeniu? Zwróć uwagę na wielkość napięcia. Jak można to interpretować? Wskazówka: prawo Ohma.

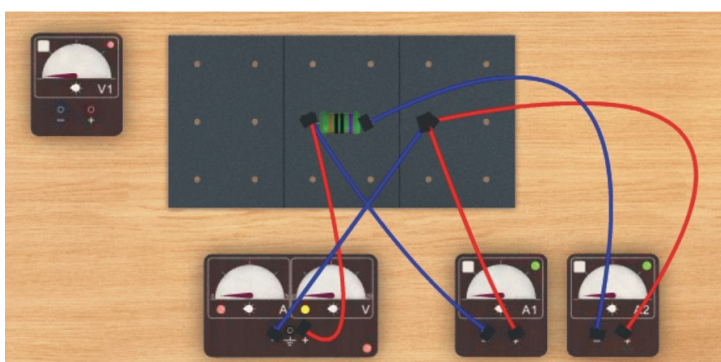
✓ Połącz opornik bezpośrednio z zasilaczem, zaś amperomierz równolegle, czyli w taki sposób jak pierwotnie podłączony był woltomierz.

tomierz (patrz poniższy rysunek). Obróć pokrętkę natężenia prądu maksymalnie w prawo, bez regulowania napięcia. Jakie są wskazania mierników przy takim połączeniu? Jak można to interpretować? Ten eksperyment lepiej zrozumiesz, gdy poznasz prawa Kirchhoffa w rozdziale 4.



Porównaj obecne wskazania amperomierza ze wskazaniem przy poprzednim połączeniu. Dlaczego to jest niewłaściwe połączenie amperomierza? Jaki prąd płynie w tej chwili przez opornik?

✓ Czy możesz to sprawdzić? W tym celu dobrać z „Narzędzi” drugi amperomierz i połączyć szeregowo z opornikiem zgodnie z poniższym rysunkiem.

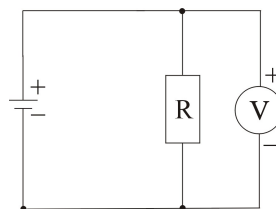


Narysuj schemat dla powyższego połączenia.

Ćwiczenie 2 Polaryzacja napięcia i kierunek przepływu prądu

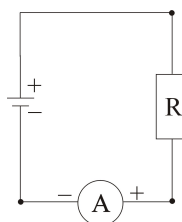
Cel ćwiczenia: Uczeń zbada zależność polaryzacji napięcia zasilacza od podłączenia przewodów. Określi bieguny baterii.

Polaryzacja napięcia ✓ Podłącz do zasilacza opornik $R = 10 \Omega$ i podłącz równoległe do opornika woltomierz. Podłącz miernik w ten sposób, że przewód podłączony do gniazda minus woltomierza łączymy z opornikiem po stronie gniazda minus zasilacza. Analogicznie przewód podłączony do gniazda plus woltomierza połącz z opornikiem po stronie gniazda plus zasilacza. Ze względów formalnych pamiętaj o odpowiedniej kolorystyce przewodów.



- ✓ Jaką polaryzację napięcia pokazuje miernik? Sprawdź w okienku.
- ✓ Zamień miejscami przewody połączone z woltomierzem. Jaką polaryzację napięcia tym razem pokazuje miernik? Sprawdź w okienku.
- ✓ Zamień miejscami w gniazdach zasilacza przewody prowadzące od zasilacza do opornika. Jaką polaryzację napięcia tym razem pokazuje miernik? Sprawdź w okienku.
- ✓ Zamiast zasilacza wybierz z narzędzi baterię paluszek oraz baterię płaską.
- ✓ Wykorzystując doświadczenie zdobyte przy badaniu polaryzacji napięcia w trakcie pracy z zasilaczem, określ bieguny baterii.

Kierunek przepływu prądu ✓ Podłącz do zasilacza opornik $R = 10 \Omega$ i szeregowo z opornikiem amperomierz. Podłącz miernik w ten sposób, że przewód podłączony do gniazda minus amperomierza łączymy z gniazdem minus zasilacza (bezpośrednio lub poprzez opornik). Przewód podłączony do gniazda plus amperomierza połącz z gniazdem plus zasilacza (bezpośrednio lub poprzez opornik).



- ✓ Jaki kierunek prądu pokazuje miernik? Sprawdź w okienku. Co oznacza plus w okienku amperomierza? Jaka jest konwencja kierunku przepływu prądu?
- ✓ Zamień miejscami przewody połączone z amperomierzem. Jaki kierunek prądu tym razem pokazuje miernik? Sprawdź w okienku.
- ✓ Zamień miejscami przewody w gniazdach zasilacza. Jaki kierunek prądu tym razem pokazuje miernik? Sprawdź w okienku.
- ✓ Zamiast zasilacza wybierz z narzędzi baterię paluszek oraz baterię płaską.
- ✓ Określ kierunek przepływu prądu między biegunami baterii. Na podstawie zmierzonego amperomierzem kierunku przepływu prądu określ znaki biegunów baterii.

Ćwiczenie 3 Badanie prawa Ohma

Cel ćwiczenia: Uczeń wyznaczy opór mierząc napięcie i natężenie prądu. Chociaż obwód, który trzeba złożyć jest gotowym układem nr 1, zalecane jest, aby uczeń sam zbudował układ pomiarowy.

- ✓ Z menu „Narzędzia” wybierz płytkę perforowaną (np. 30 cm x 60 cm), zasilacz, woltomierz, amperomierz, przewody regulowane (np. 3 niebieskie, 3 czerwone).
- ✓ Zamknij „Narzędzia”. Z pudełka na elementy wybierz opornik 100 Ω .
- ✓ Zbuduj obwód elektryczny składający się ze źródła napięcia (zasilacz) oraz opornika ($R = 100 \Omega$).
- ✓ Do obwodu podłącz szeregowo amperomierz do pomiaru natężenia prądu oraz równoległe woltomierz do pomiaru napięcia.
- ✓ Za pomocą zasilacza zmieniaj napięcie na oporniku co 1 V w zakresie od 0 V do 12 V i rejestruj natężenie prądu elektrycznego przepływającego przez opornik.
- ✓ Wartości napięć w voltach i natężeń prądu w amperach wpisz do tabeli. Zdefiniuj dwie kolumny: U [V] oraz I_E [A].

Używanie tabeli Na pasku menu wybierz „Tabela”. Następnie wybierz „DODAJ KOLUMNĘ”. Zdefiniuj kolumnę, klikając na „Wybierz tryb”. Następnie wybierz „Ręcznie” i w odpowiednie pola wpisz U oraz jednostkę V. Analogicznie utwórz kolejną kolumnę, gdzie zdefiniujesz natężenie prądu: I_E [A].

- ✓ Sporządź wykres zależności $I_E(U)$.

Tworzenie wykresu Na pasku menu wybierz „Wykres”. Następnie wybierz „DODAJ WYKRES”. Dla poszczególnych osi wykresu kliknij „Wybierz tryb”, następnie „Tabela”, dalej „Tabela1” oraz odpowiednią wielkość fizyczną, która ma być na tej osi zdefiniowana – w naszym przypadku dla osi pionowej natężenie prądu I_E [A], dla osi poziomej U [V].

- ✓ Jaki rodzaj zależności otrzymałeś?
- ✓ Ile wynosi współczynnik kierunkowy otrzymanej zależności i jaki jest sens fizyczny tego współczynnika?
- ✓ Zdefiniuj trzecią kolumnę w tabeli I_T [A] i policz przewidywaną wartość natężenia prądu dla poszczególnych napięć za pomocą prawa Ohma. W tym przypadku obliczenia łatwo zrobisz w pamięci.

Używanie wzoru Możesz jednak wykorzystać funkcjonalność „Wzór”. Zdefiniuj trzecią kolumnę klikając na „Wybierz tryb”. Następnie wybierz „Wzór”. W pierwszym polu po lewej stronie znaku „=” wpisz I_T . W odpowiednim polu wpisz jednostkę tej wielkości fizycznej. Do obszaru pola po prawej stronie znaku „=” przeciągnij myszką operację dzielenia. W liczniku operatora dzielenia wybierz „Tabela”, „Tabela1” oraz odpowiednią wielkość fizyczną. Zdefiniuj odpowiednio mianownik operatora dzielenia. Następnie kliknij „OK”.

- ✓ Czy policzone wielkości natężenia prądu I_T zgadzają się z wartościami zmierzonymi I_E ? Jeżeli nie, to z czego wynika różnica?
- ✓ Powtórz pomiar dla wielkości oporu $200\ \Omega$. W tym celu połącz szeregowo dwa oporniki $100\ \Omega$ lub wybierz opornik $220\ \Omega$. Otrzymany wykres nałóż na wykres otrzymany dla opornika $100\ \Omega$.
- ✓ Powtórz pomiar dla większego opornika $4,7\ k\Omega$.

Wnioski

- ✓ Czy wartości zmierzone zgadzają się z wartościami obliczonymi na podstawie prawa Ohma?
- ✓ Jaki prąd płynie przez opornik o dwukrotnie mniejszym oporze przy tym samym napięciu?

3 Wyznaczanie oporu właściwego

Oporność właściwa Wielkość oporu elektrycznego przewodników o takich samych wymiarach, lecz wykonanych z różnych materiałów będzie różna. Wartość oporu elektrycznego danego materiału określa wielkość zwana opornością właściwą ρ . Można zapisać opór przewodnika poprzez oporność właściwą materiału, z którego wykonany jest przewodnik w następujący sposób:

$$R = \rho \frac{l}{s}. \quad (3.1)$$

Jak widać, opór przewodnika zależy od rodzaju materiału (ρ), długości przewodnika (l) oraz pola przekroju poprzecznego przewodnika (s).

W ogólności materiały dzielimy na cztery grupy pod względem ich oporności właściwej:

- Nadprzewodniki ($\rho = 0 \Omega \cdot \text{m}$)
- Przewodniki ($\rho < 10^{-5} \Omega \cdot \text{m}$)
- Półprzewodniki ($10^{-5} < \rho < 10^8 \Omega \cdot \text{m}$)
- Izolatory ($\rho > 10^8 \Omega \cdot \text{m}$)

materiał	ρ ($\Omega \cdot \text{m}$)
miedź	10^{-8}
platyna	$1,06 \times 10^{-7}$
chromonikielina	$1,10 \times 10^{-6}$

Tablica 3.1: Przykładowe oporności właściwe różnych przewodników

Opornica suwakowa Do wyznaczania oporności właściwej drutów w tym e-doświadczeniu wykorzystuje się opornice suwakowe. Opornica zbudowana jest z cylindra wykonanego z izolatora, na którym nawinięty jest drut oporowy. Po powierzchni opornicy przesuwając suwak. Przesuwanie suwaka zmienia długość drutu pomiędzy jednym z końców

opornicy a suwakiem, a zatem zmienia także opór, który zależy od długości.

Ćwiczenie 4 Wyznaczanie oporności właściwej drutu

Cel ćwiczenia: Uczeń wyznaczy oporności właściwe trzech różnych materiałów: miedzi, platyny oraz chromonikieliny, wykorzystując do tego celu opornice suwakowe. Zbada także zależność oporu od długości dla poszczególnych materiałów.

✓ Z menu „Narzędzia” wybierz gotowy obwód 10. W trakcie przeprowadzania doświadczenia w każdej chwili z „Narzędzi” możesz pobrać dodatkowe elementy, zaś część elementów oddać do „Narzędzi”.

✓ Ustaw kursor myszki na opornicy. Korzystając z informacji podanej w chmurce oszacuj długość drutu chromonikieliny, która została nawinięta na zwojnicy.

Długość drutu wynosi: $\pi \cdot D \cdot n$. Całkowita długość drutu wynosi 62,8 m.

✓ Na zasilaczu obróć gałkę natężenia prądu o 180 stopni, natomiast gałkę napięcia obróć o 360 stopni.

✓ Znajdź w panelu dolnym „opornicę suwakową”. Zmiana położenia suwaka zmienia długość drutu opornicy. Zmieniaj położenie suwaka i obserwuj, w jakim położeniu suwaka opór jest zerowy, a w jakim położeniu maksymalny.

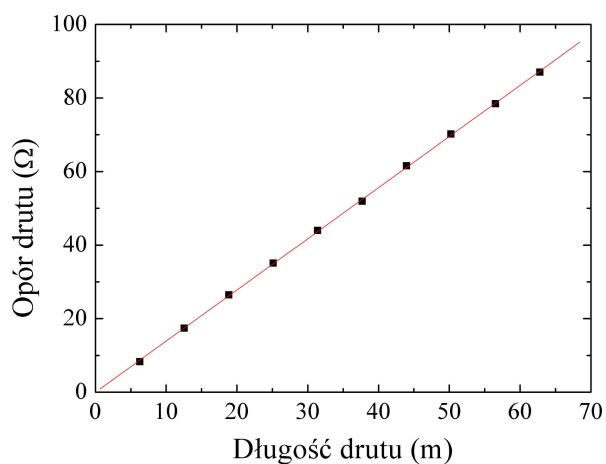
W położeniu początkowym suwaka z lewej strony opór zwojnicy jest zerowy. Maksymalny opór zwojnicy jest przy położeniu suwaka po prawej stronie.

✓ Zakres ruchu suwaka podzielony jest na 10 równych części. Ustaw suwak na pierwszej działce – w położeniu 0,1 całkowitej długości. Odczytaj napięcie oraz natężenie prądu.

✓ Wyniki zapisz w dwóch kolumnach tabeli.

Wyznaczanie oporu			
lp	U [V]	I [A]	R [Ω]
1	20	2,4	8,33
2	20	1,15	17,4
3	20	0,755	26,5
4	20	0,57	35,1
5	20	0,455	44,0
6	20	0,385	51,9
7	20	0,325	61,5
8	20	0,285	70,2
9	20	0,255	78,4
10	20	0,230	87,0

- ✓ Wyznacz opór kolejnych długości drutu opornicy.
- ✓ Zrób wykres zależności $R(l)$, czyli oporu drutu od jego długości.



- ✓ Zastanów się, jak można interpretować współczynnik kierunkowy otrzymanej zależności?
- ✓ Wyznacz opór właściwy drutu, przy pomocy wzoru (3.1). Porównaj z tablicami fizycznymi.
- ✓ Tą samą metodą wyznacz opór właściwy drutu wykonanego z miedzi oraz platyny.

Ćwiczenie 5 Badanie zależności oporu od grubości drutu

Cel ćwiczenia: Uczeń zbada zależność oporu drutu od grubości drutu. Do tego celu wykorzysta opornice wykonane z drutu miedzianego o trzech różnych średnicach przekroju.

- ✓ Z menu „Narzędzia” wybierz gotowy obwód 10. W trakcie przeprowadzania doświadczenia w każdej chwili z „Narzędzi” możesz pobrać dodatkowe elementy, zaś część elementów oddać do „Narzędzi”.
- ✓ Wymień zwojnicę wykonaną z chromonikieliny na zwojnicę miedzianą, może to być zwojnica o średnicy drutu $d = 1$ mm. Zwróć uwagę, jaka jest liczba zwojów zwojnicy oraz średnica zwoju. Oszacuj całkowitą długość nawiniętego drutu.
- ✓ Ustaw suwak tak, aby uzyskać maksymalny opór drutu.
- ✓ Ustaw napięcie i natężenie prądu na zasilaczu. Aby dokładnie odczytać wartości napięcia i natężenia prądu, które się ustaliły w obwodzie, użyj woltomierza i amperomierza.
- ✓ Korzystając z prawa Ohma wyznacz opór drutu opornicy.
- ✓ Utwórz tabelę. W pierwszej kolumnie wpisz średnicę drutu d , zaś w drugiej kolumnie wpisz opór R .
- ✓ Wymień opornicę miedzianą na nową wykonaną z tego samego materiału, ale o średnicy drutu 0,5 mm, a następnie na opornicę o średnicy drutu 0,25 mm. Wyznacz opór takiej samej długości drutu.

- ✓ Jak opór zależy od grubości drutu?
- ✓ Wykreśl zależność oporu od średnicy drutu.
- ✓ Czy przez otrzymane punkty da się przeprowadzić prostą?
- ✓ Wykreśl wykres zależności oporu od $\frac{1}{d^2}$. Jaką zależność otrzymałeś? Wyjaśnij.

Uczeń nie widzi tej tabelki. Nie zna całkowitej długości drutu ani całkowitego oporu.

Parametry opornic					
materiał	d [mm]	D [cm]	n	l [m]	R_c [Ω]
Cu	1	10	200	62,8	1,33
Cu	0,5	5	400	62,8	5,37
Cu	0,25	2,5	800	62,8	21,5
Pt	1	10	200	62,8	8,48
Ni-Fe-Cr	1	10	200	62,8	88,0

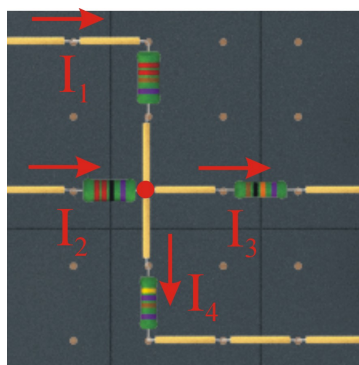
4 Prawa Kirchhoffa

W obliczeniach obwodów elektrycznych oprócz podanego wcześniej prawa Ohma, znaczenie mają także dwa prawa Kirchhoffa¹ sformułowane w roku 1845.

Pierwsze prawo Kirchhoffa dotyczące bilansu prądów w węźle można sformułować następująco:

Pierwsze prawo Kirchhoffa

Suma prądów wpływających do węzła jest równa sumie prądów wypływających z węzła. Strzałkami oznaczono kierunki przepływu prądu, zaś czerwoną kropką węzeł w przykładowym obwodzie. Węzłem sieci nazywamy połączenie co najmniej trzech przewodów elektrycznych.



Dla przykładu z rysunku można napisać:

$$I_1 + I_2 = I_3 + I_4. \quad (4.1)$$

Drugie prawo Kirchhoffa

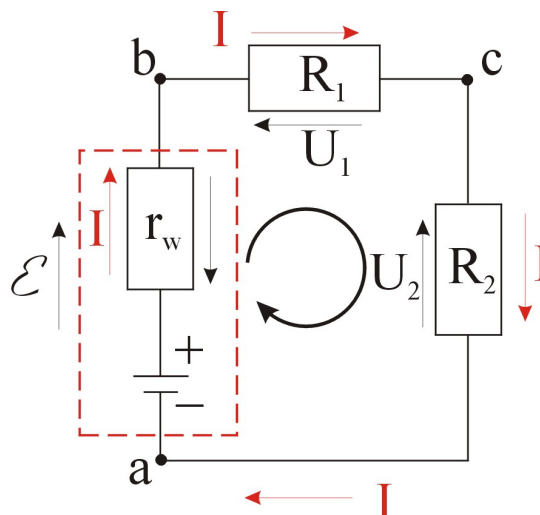
W obwodzie zamkniętym napięcie źródła (lub suma napięć na źródłach, gdy źródeł jest więcej) jest równe sumie spadków napięć na odbiornikach prądu.

Na poniższym rysunku przedstawiono schemat prostego obwodu składającego się ze źródła zasilania posiadającego pewien opór wewnętrzny r_w ², połączonego z dwoma opornikami R_1 i R_2 . Odbiornikami prądu, o których mowa jest w drugim prawie Kirchhoffa, są

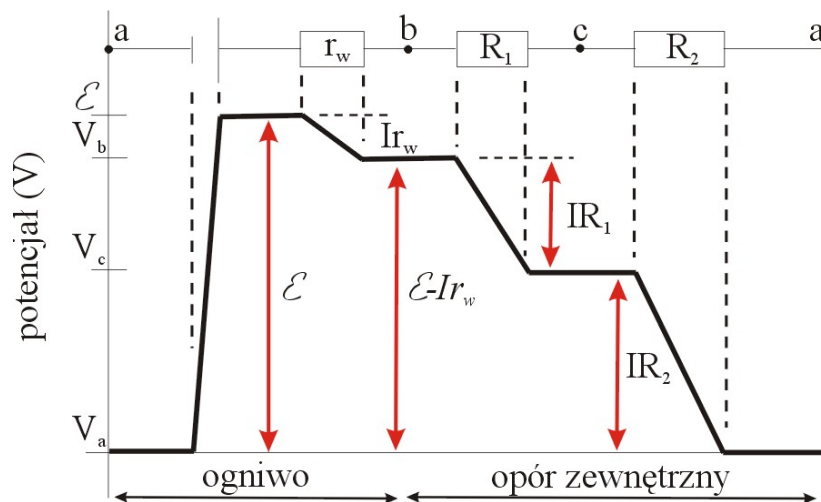
¹Gustav Robert Kirchhoff był niemieckim fizykiem żyjącym w latach 1824 – 1887. Kirchhoff znany jest głównie z badań w dziedzinie obwodów elektrycznych (Prawa Kirchhoffa). Zajmował się także spektroskopią rozgrzanych ciał i gazów (Prawa spektroskopii Kirchhoffa).

²Więcej na temat oporu wewnętrznego dowiesz się w rozdziale „Ogniwa galwaniczne”.

elementy posiadające opór elektryczny, w tym przypadku oporniki R_1 i R_2 .



Na poniższym wykresie schematycznie pokazano ideę drugiego prawa Kirchhoffa. Wartość siły elektromotorycznej SEM wytwarzanej przez źródło zasilania jest równa sumie spadków napięć na poszczególnych elementach tworzących ten obwód, w tym także na oporze wewnętrznym źródła (r_w).



Twierdzenie o oczkach sieci elektrycznej

Inne sformułowanie drugiego prawa Kirchhoffa nosi nazwę twierdzenia o oczkach sieci elektrycznej. Suma zmian potencjału napotkanych przy dokonywaniu obiegu wokół dowolnego zamkniętego obwodu zwanego oczkiem jest równa zero³.

$$\sum_m \mathcal{E}_m + \sum_n U_n = 0, \quad (4.2)$$

³Znak \sum w poniższym równaniu określa sumę. Np. $\sum \mathcal{E}_m = \mathcal{E}_1 + \mathcal{E}_2 + \dots + \mathcal{E}_m$.

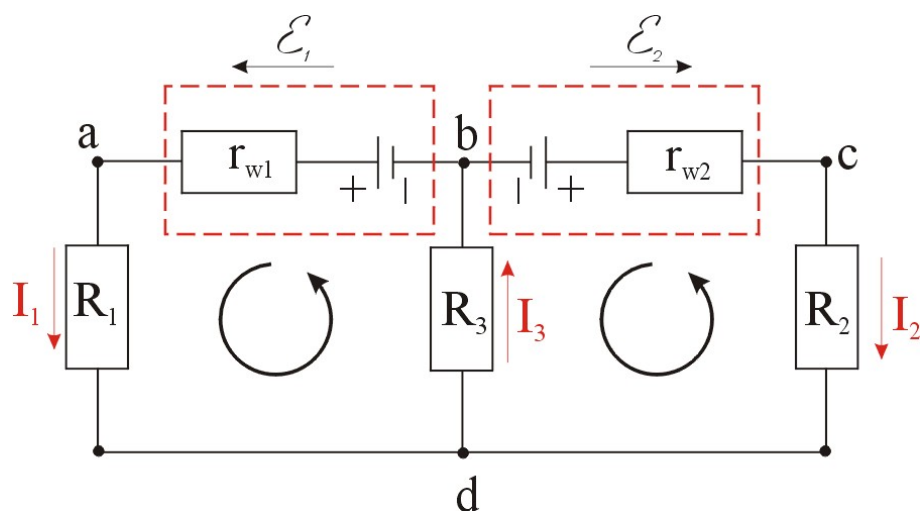
gdzie \mathcal{E} to napięcie źródłowe (napięcie zasilacza lub ogniwa), zaś $U_n = R_n I$ to spadki napięć na opornikach.

Reguły zapisu napięć w metodzie oczkowej

Przyjmujemy pewien zwrot obiegu oczka. Zwrot oznaczamy strzałką wygiętą w kształt okręgu. Idąc kolejno wewnątrz oczka zgodnie z przyjętym zwrotem obiegowym oczka, podstawiamy pod znak sumy w równaniu (4.2) napięcia źródłowe ze znakiem plus (+), jeżeli strzałka zwrotu napięcia jest zgodna ze zwrotem obiegowym oczka, jeżeli zaś przeciwna to ze znakiem minus (-). Zwrot strzałki napięć na źródłach ustala się od (-) do (+). Analogicznie zapisuje się znak spadków napięć na opornikach w oczku. Zwrot strzałki spadku napięcia na oporniku jest przeciwnie skierowany do kierunku przepływu prądu.

Obwody złożone o wielu oczkach

Przedstawione wyżej reguły obowiązują także w obwodach posiadających więcej oczek. W poniższym przykładzie przedstawiono obwód posiadający dwa oczka.



Używając praw Kirchhoffa wyznaczymy natężenia prądów I_1 , I_2 oraz I_3 , płynących w poszczególnych gałęziach obwodu. Z pierwszego prawa Kirchhoffa można zapisać zależność między prądami wpływającymi i wypływającymi z węzła d w następującej postaci:

$$I_1 + I_2 = I_3. \quad (4.3)$$

W przypadku, gdybyśmy przyjęli inny kierunek jednego z prądów, to ostatecznie obliczenia matematyczne i tak wykażą tę nieprawidłowość. Jeżeli w otrzymanym wzorze na natężenie prądu pojawi się znak minus, oznaczać to będzie, iż kierunek przepływu prądu ma być przeciwny niż założono.

Przyjmując kierunek obiegu oczka taki jak na rysunku za pomocą

strzałki wygiętej w kształt okręgu, dla lewego oczka możemy zapisać drugie prawo Kirchhoffa w następującej postaci:

$$\mathcal{E}_1 - I_1 r_{w1} - I_1 R_1 - I_3 R_3 = 0. \quad (4.4)$$

Dla prawego oczka otrzymujemy:

$$-\mathcal{E}_2 + I_2 r_{w2} + I_2 R_2 + I_3 R_3 = 0. \quad (4.5)$$

Rozwiązując układ trzech równań (4.3), (4.4) oraz (4.5) otrzymujemy wartości natężeń prądów I_1 , I_2 oraz I_3 :

$$I_1 = \frac{\mathcal{E}_1(r_{w2} + R_2 + R_3) - \mathcal{E}_2 R_3}{r_{w1}(r_{w2} + R_2) + R_1(r_{w2} + R_2) + R_3(r_{w1} + R_1) + R_3(r_{w2} + R_2)}, \quad (4.6)$$

$$I_2 = \frac{-\mathcal{E}_1 R_3 + \mathcal{E}_2(r_{w1} + R_1 + R_3)}{r_{w1}(r_{w2} + R_2) + R_1(r_{w2} + R_2) + R_3(r_{w1} + R_1) + R_3(r_{w2} + R_2)}, \quad (4.7)$$

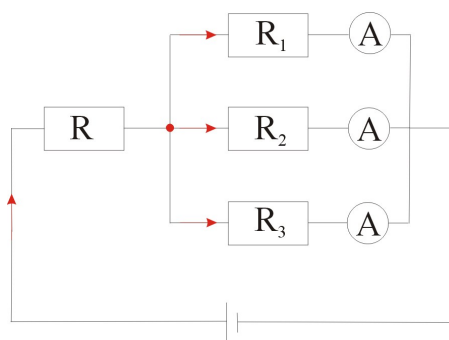
$$I_3 = \frac{\mathcal{E}_1(r_{w2} + R_2) + \mathcal{E}_2(r_{w1} + R_1)}{r_{w1}(r_{w2} + R_2) + R_1(r_{w2} + R_2) + R_3(r_{w1} + R_1) + R_3(r_{w2} + R_2)}. \quad (4.8)$$

Zakładamy, iż wartości oporów oraz sił elektromotorycznych źródeł są znane. Z powyższych równań widać, że I_3 jest zawsze dodatni, czyli skierowany zawsze w tę stronę, w którą założyliśmy. Prądy I_1 oraz I_2 mogą być różnie skierowane, zależnie od wartości parametrów R i \mathcal{E} .

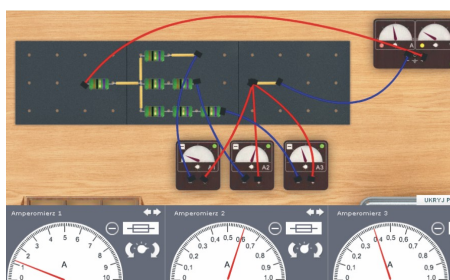
Ćwiczenie 6 Badanie pierwszego prawa Kirchhoffa

Cel ćwiczenia: Uczeń sprawdzi pierwsze prawo Kirchhoffa. Uczeń zmierzy natężenia prądów w poszczególnych gałęziach obwodu i porówna z natężeniem prądu pobieranym z zasilacza.

- ✓ Z menu „Narzędzia” wybierz kilka przewodów regulowanych, zasilacz, amperomierz (3 sztuki) oraz płytkę perforowaną rozmiar 30 cm x 120 cm.
- ✓ Zbuduj obwód według rysunku. Wartości oporników wynoszą odpowiednio: $R = 1 \Omega$, $R_1 = 1 \Omega$, $R_2 = 2 \Omega$, $R_3 = 3 \Omega$.



- ✓ Ustaw na zasilaczu napięcie 3,2 V. Odczytaj natężenia prądu w gałęziach obwodu. Natężenie prądu płynące z zasilacza możesz odczytać w okienku zasilacza, natomiast natężenia prądu w trzech gałęziach układu odczytasz na amperomierzach. Dobierz tak zakres pomiarowy mierników, aby najdokładniej odczytać wartość prądu. Jeżeli na zasilaczu ustawi się dokładnie 3,2 V, wówczas z zasilacza płynie prąd 2,2 A, a w poszczególnych gałęziach układu prądy odpowiednio 1,2 A, 0,6 A oraz 0,4 A.



- ✓ Sprawdź zależność między wielkością prądu wpływającego do węzła (na rysunku zaznaczonego w postaci czerwonej kropki) oraz wartościami prądów wypływających z węzła. Czy prawdziwe jest pierwsze prawo Kirchhoffa w tym układzie?
- ✓ Sprawdź zależność między prądami w poszczególnych gałęziach obwodu. Jak mają się wartości tych prądów do wartości oporników? Sprawdź, ile wynosi iloczyn natężenia prądu i wartości oporu dla każdego z oporników.

Ćwiczenie 7 Badanie drugiego prawa Kirchhoffa

Cel ćwiczenia: Uczeń sprawdzi drugie prawo Kirchhoffa. Uczeń zmierzy spadki napięcia na każdym z oporników w układzie szeregowym i porówna z napięciem zasilacza. W drugim pomiarze zamiast zasilacza w obwód włączy ogniwo i sprawdzi, czy spadek napięcia na opornikach jest równy SEM ogniwa (uczeń nie uwzględni w pomiarze oporu

wewnętrzny ogniw.).

- ✓ Z menu „Narzędzia” wybierz kilka przewodów regulowanych, zasilacz, woltomierz oraz płytkę perforowaną 30 cm x 120 cm.
- ✓ Z pudełka na części pobierz kolejno siedem oporników o wartościach od 0,1 Ω do 10 Ω . Połącz oporniki szeregowo⁴. Układ oporników podłącz do zasilacza.
- ✓ Ustaw na zasilaczu napięcie 10 V. Przy pomocy woltomierza zmierz spadki napięcia na kolejnych opornikach. Zapisz do tabeli w pierwszej kolumnie wartość oporu, zaś w drugiej spadek napięcia na nim:

Metoda tradycyjna		
lp	R [Ω]	U [V]
1	0,1	0,054
2	0,22	0,118
3	0,47	0,251
4	1	0,535
5	2,2	1,177
6	4,7	2,515
7	10	5,350

- ✓ Przy pomocy prawa Ohma oblicz natężenie prądu dla każdego z oporników z osobna. Policz na podstawie prawa Ohma, ile wynosi natężenie prądu płynące przez cały układ oporników. Sprawdź natężenie prądu używając amperomierza. (0,535 A)
- ✓ Zsumuj spadki napięcia na wszystkich opornikach. Jaką wartość otrzymałeś?
- ✓ Narysuj wykres zależności napięcia od wielkości oporu.
- ✓ Przeprowadź podobny eksperyment używając baterii zamiast zasilacza. Czy suma spadków napięć na każdym z oporników jest równa napięciu nominalnemu baterii?

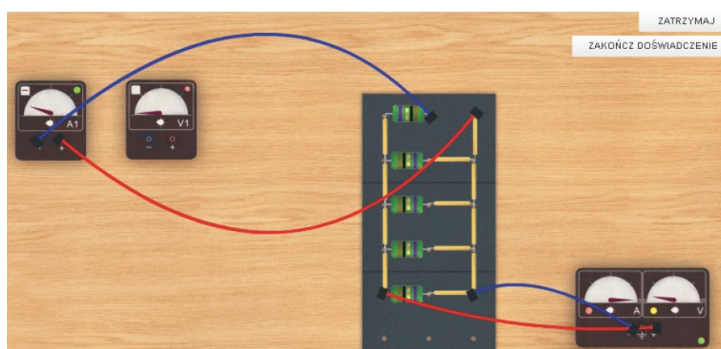
Ćwiczenie 8 Badanie praw Kirchhoffa

Cel ćwiczenia: Uczeń bada prawa Kirchhoffa.

- ✓ Z menu „Narzędzia” wybierz zasilacz, amperomierz, woltomierz, kilka przewodów regulowanych, płytkę perforowaną 30 cm x 120 cm.

⁴Szeregowo oznacza „jeden za drugim”. Więcej informacji na temat łączenia szeregowego i równoległego oporników znajdziesz w rozdziale 5.

- ✓ Połącz szeregowo pięć oporników o oporze $1\ \Omega$. Do jednego i drugiego końca układu oporników podłącz przewodami „+” i „-” zasilacza. Ustaw na zasilaczu napięcie $5\ \text{V}$.
- ✓ Podłącz woltomierz do jednego z oporników w badanym obwodzie i sprawdź spadek napięcia na oporniku.
- ✓ Podłącz woltomierz do innego opornika w badanym obwodzie i sprawdź spadek napięcia na tym oporniku.
- ✓ Podłącz woltomierz tak, aby mierzyć spadek napięcia na dwóch opornikach układu. Jakie napięcie mierzysz? Sprawdź spadek napięcia na większej ilości oporników.



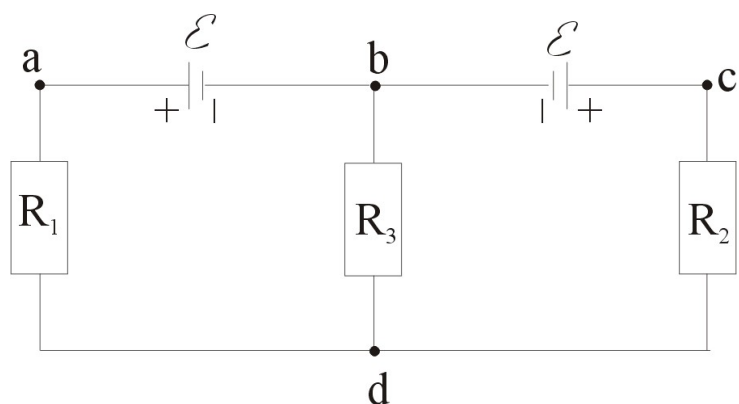
- ✓ Połącz teraz pięć oporników o oporze $1\ \Omega$ równolegle. Ustaw napięcie $1\ \text{V}$ na zasilaczu, gałkę natężenia prądu obróć o 360 stopni. Przy użyciu amperomierza sprawdź natężenie prądu płynące w każdej z gałęzi obwodu. Jakie jest sumaryczne natężenie prądu płynące z zasilacza? Jakie jest natężenie prądu płynące w danej gałęzi?

Ćwiczenie 9 Badanie obwodu o dwóch oczkach

Cel ćwiczenia: Uczeń wyznaczy doświadczalnie natężenia prądów w przedstawionym obwodzie i porówna otrzymane wartości z wartościami teoretycznymi policzonymi na podstawie wzorów. Uczeń sprawdzi, kiedy i w jakich warunkach możliwa jest zmiana kierunku przepływu prądów I_1 oraz I_2 .

- ✓ Z menu „Narzędzia” wybierz dwie baterie o $SEM = 1,5\ \text{V}$ oraz dwie o $SEM = 4,5\ \text{V}$, trzy amperomierze, woltomierz, kilka przewodów regulowanych, płytkę perforowaną $60\ \text{cm} \times 60\ \text{cm}$. Pamiętaj, iż później także możesz dobrać kolejne elementy z „Narzędzi”.
- ✓ Połącz układ według poniższego schematu. Na początek użyj dwóch baterii o tej samej SEM. Zwróć uwagę na odpowiednią polaryzację napięć przy łączeniu baterii. Do łączenia węzłów w obrębie płytki w e-doświadczeniu używaj wyłącznie krótkich przewodów z

pudełka.



- ✓ Na początek wstaw jednakowe oporniki R_1 , R_2 i R_3 np. 1Ω .
- ✓ Zmierz natężenia prądu w gałęziach obwodów między węzłami ad, bd i cd. Określ kierunki przepływu prądu za pomocą amperomierza. Czy wartości są zgodne z pierwszym prawem Kirchhoffa? Czy wielkość natężenia prądu płynącego przez oporniki R_1 i R_2 zależy od wartości oporu R_3 ?
- ✓ Zmierz spadki napięcia na opornikach R_1 , R_2 i R_3 . Czy spadki napięcia są takie same na jednakowych opornikach?
- ✓ Czy jesteś w stanie z tego pomiaru wyznaczyć opory wewnętrzne baterii?

- ✓ Zmień jedną z baterii na baterię o większej SEM. Określ kierunki przepływu prądu za pomocą amperomierza.
- ✓ Czy jesteś w stanie zmienić kierunki przepływu prądu w gałęziach obwodu bez zmiany polaryzacji baterii? Wskazówka: Spróbuj zmieniać wartości oporników.
- ✓ Czy można zmienić kierunek przepływu prądu I_3 bez zmiany polaryzacji baterii, manipulując wyłącznie wartościami oporów R_1 , R_2 i R_3 ? **Nie można.** Przyglądając się wzorom (4.6 – 4.8) można zauważyć, iż da się zmienić znak natężenia prądu tylko w przypadku prądów I_1 oraz I_2 .
- ✓ Sprawdź otrzymane wyniki korzystając ze wzorów (4.6–4.8). Dla baterii $1,5 \text{ V}$ $r_w = 0,5 \Omega$. Dla baterii $4,5 \text{ V}$ $r_w = 1,5 \Omega$.

5 Łączenie żarówek i oporników

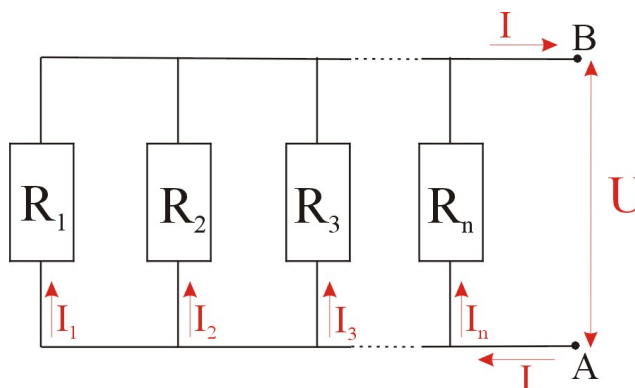
Dostępne na rynku (a także w e-doświadczeniu) oporniki mają pewne określone wartości oporności. Potrzebując do danego zastosowania oporniki o niestandardowych wartościach oporu, tworzy się układy oporników.

Opór zastępczy To wartość oporu jednego opornika, którym można zastąpić pewien układ oporników.

Oporniki można łączyć szeregowo, równoległe lub w sposób będący kombinacją tych dwóch.

Pamiętaj, że żarówki są też opornikami, więc obowiązują dla nich takie same prawa jak dla oporników.

Łączenie równoległe oporników Łączenie równoległe polega na tworzeniu „drabinki” z oporników. Połączenie równoległe n oporników przedstawiono na poniższym rysunku.



Zgodnie z pierwszym prawem Kirchhoffa można napisać, że prąd I płynący ze źródła napięcia jest sumą prądów płynących w poszczególnych gałęziach obwodu:

$$I = I_1 + I_2 + I_3 + \dots + I_n. \quad (5.1)$$

Stosując prawo Ohma, można zapisać równanie (5.1) w następującej postaci:

$$\frac{U}{R} = \frac{U_1}{R_1} + \frac{U_2}{R_2} + \frac{U_3}{R_3} + \dots + \frac{U_n}{R_n}. \quad (5.2)$$

Ze sposobu połączenia oporników wynika, że napięcie na każdym z oporników jest takie samo i jest równe napięciu między zaciskami

A i B:

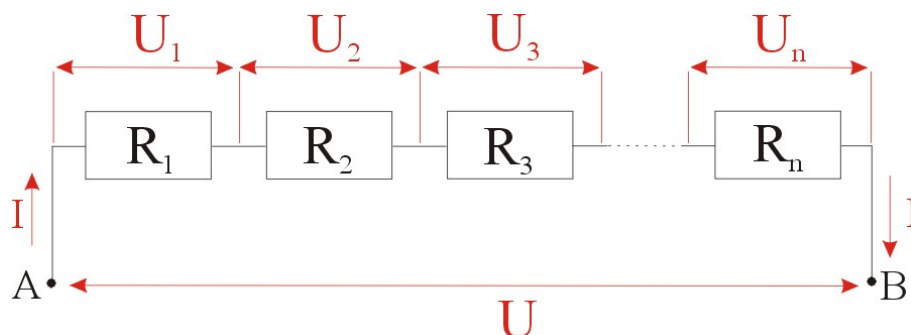
$$U_1 = U_2 = U_3 = \dots = U_n = U. \quad (5.3)$$

W ten sposób otrzymujemy wzór na opór zastępczy R układu n oporników połączonych równolegle:

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \dots + \frac{1}{R_n}. \quad (5.4)$$

Łączenie szeregowe oporników

W połączeniu szeregowym oporniki łączy się „jeden za drugim” tak jak pokazano na poniższym rysunku.



Zgodnie z drugim prawem Kirchhoffa napięcie między zaciskami A i B jest równe sumie spadków napięć na poszczególnych opornikach:

$$U = U_1 + U_2 + U_3 + \dots + U_n. \quad (5.5)$$

Stosując prawo Ohma można zapisać równanie (5.5) w następującej postaci:

$$IR = IR_1 + IR_2 + IR_3 + \dots + IR_n, \quad (5.6)$$

gdzie I jest natężeniem prądu płynącym przez układ oporników. Ostatecznie otrzymuje się wzór na opór zastępczy R układu oporników połączonych szeregowo w postaci:

$$R = R_1 + R_2 + R_3 + \dots + R_n. \quad (5.7)$$

Moc w obwodach elektrycznych

Podłączmy żarówkę do zasilacza. Moc wydzielona na żarówce jest równa mocy pobranej przez zasilacz z sieci elektroenergetycznej, przy założeniu braku strat energii elektrycznej:

$$P = IU, \quad (5.8)$$

gdzie I jest natężeniem prądu płynącego przez żarówkę, zaś U jest spadkiem napięcia na żarówce.

Stosując prawo Ohma, możemy przepisać wzór (5.8) w postaci:

$$P = \frac{U}{R}U = \frac{U^2}{R}, \quad (5.9)$$

gdzie R jest oporem włókna żarówki. Moc wydziela się nie tylko na żarówkach, ale także na opornikach oraz innych elementach posiadających opór elektryczny. Moc wydzielana jest w postaci ciepła, a w przypadku żarówki również i światła.

Uwaga! W e-doświadczeniu żarówki charakteryzują się stałym oporem. Pamiętaj, iż w rzeczywistym świecie opór włókna żarówki zmienia się z temperaturą.

Ćwiczenie 10 Badanie łączenia szeregowego i równoległego oporników

Cel ćwiczenia: Uczeń wyznaczy opór zastępczy układu oporników połączonych szeregowo i równoległe doświadczalnie oraz ze wzorów na opór zastępczy.

- ✓ Z menu „Narzędzia” wybierz gotowy zestaw numer 3.
- ✓ Sprawdź, jakie oporniki umieszczone są na płytce perforowanej. Sprawdź, w jaki sposób połączone są oporniki. Nazwij te połączenia.
- ✓ Na zasilaczu ustaw napięcie równe 5 V. Aby nie kręcić na przemian pokrętkami natężenia prądu i napięcia możesz obrócić pokrętko natężenia prądu o 360 stopni, a następnie ustawić żądane napięcie. Natężenie prądu możesz odczytać na skali zasilacza lub gdy wymaga to większej precyzji możesz dodatkowo pobrać z „Narzędzi” amperomierz.

Układ równoległy około 0,73 A, opór zastępczy około 6,87 Ω . Układ szeregowy około 0,15 A, opór zastępczy 32 Ω .

- ✓ Sprawdź, przez który z układów popłynie większe natężenie prądu. Korzystając z prawa Ohma, na podstawie pomiaru napięcia oraz natężenia prądu, wyznacz opór zastępczy układu oporników. Sprawdź wartość oporu korzystając ze wzorów (5.7) oraz (5.4).
- ✓ Czy opór zastępczy badanego układu oporników jest większy, czy mniejszy od wartości oporów poszczególnych oporników?

Połączenie równoległe

- ✓ Ustaw na zasilaczu napięcie 5 V. W połączeniu równoległym oporników za pomocą amperomierza zmierz natężenia prądów płynące przez poszczególne oporniki. Za pomocą woltomierza zmierz napięcie na każdym z oporników. Uzupełnij poniższą tabelkę:

$R_1 = 10 \Omega$		$R_2 = 22 \Omega$	
U_1 [V]	I_1 [A]	U_2 [V]	I_2 [A]

- ✓ Odpowiedz na pytania:
Przez który z oporników w połączeniu równoległym przepływa więk-

szy prąd?

W połączeniu równoległym każdy z oporników ma takie samo natężenie prądu czy napięcie?

Jaka jest zależność między natężeniem prądu płynącym przez dany opornik, a całkowitym natężeniem prądu płynącym z zasilacza?

Połączenie szeregowe

✓ Ustaw na zasilaczu napięcie 5 V. W połączeniu szeregowym oporników za pomocą amperomierza zmierz natężenia prądów płynące przez poszczególne oporniki. Za pomocą woltomierza zmierz napięcie na każdym z oporników. Uzupełnij poniższą tabelkę:

$R_1 = 10 \Omega$		$R_2 = 22 \Omega$	
U_1 [V]	I_1 [A]	U_2 [V]	I_2 [A]

✓ Odpowiedz na pytania:

Na którym z oporników w połączeniu szeregowym jest większe napięcie?

W połączeniu szeregowym każdy z oporników ma takie samo natężenie prądu czy napięcie?

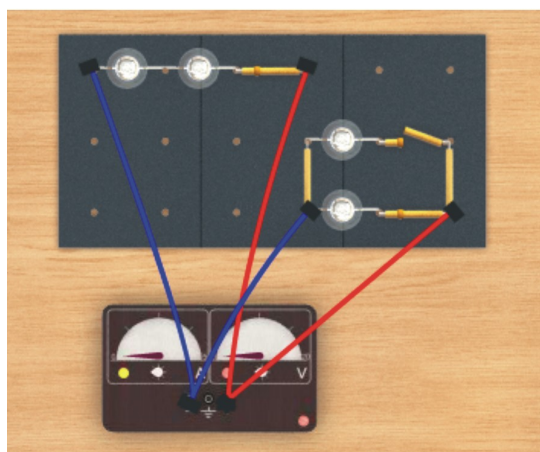
Jaka jest zależność między napięciem na danym oporniku, a całkowitym napięciem na wyjściu zasilacza?

Ćwiczenie 11 Badanie łączenia szeregowego i równoległego żarówek

Cel ćwiczenia: Uczeń sprawdzi jak świecą żarówki w połączeniu szeregowym i równoległym przy tym samym napięciu zasilania. Sprawdzi pobór prądu. Uczeń wybiera gotowy układ 2 i modyfikuje go podłączając dwa zestawy żarówek równolegle do jednego zasilacza. Sterując wyłącznikami może włączać odpowiednie układy żarówek.

✓ Z menu „Narzędzia” wybierz gotowy zestaw numer 2.

✓ Nazwij połączenia żarówek w zestawie 2.



- ✓ Pobierz z „Narzędzi” dwa przewody regulowane – niebieski i czerwony. Za pomocą przewodów połącz zasilacz z drugim układem żarówek połączonych równolegle zgodnie z powyższym rysunkiem.

Zastanów się Zanim włączysz zasilacz, sprawdź, jakie są parametry żarówek (podane w chmurce, gdy ustawisz kursor na żarówce)? Zastanów się, jakie można ustawić bezpieczne natężenia prądu oraz napięcia na zasilaczu, aby nie przepalić żarówek. Czy ustawiając napięcie na zasilaczu, powinniśmy brać pod uwagę sposób połączenia żarówek?

- ✓ Pokrętko natężenia prądu zasilacza obróć o około 180 stopni. Pokrętko napięcia ustaw na 6 V. Natężenie prądu możesz odczytać na skali zasilacza lub gdy wymaga to większej precyzji możesz dodatkowo pobrać z „Narzędzi” amperomierz.
- ✓ Ustaw wszystkie wyłączniki w pozycji włączonej. Sprawdź, czy jaśniej świeci zestaw żarówek połączonych szeregowo czy równolegle? Jaka jest tego przyczyna? Za pomocą woltomierza zmierz napięcie na każdej z żarówek osobno. Jakie jest napięcie na każdej z żarówek połączonych szeregowo?
- ✓ Sprawdź pobór prądu z zasilacza przez każdy z układów z osobna, wyłączając odpowiednie wyłączniki. Przez który obwód żarówek płynie większy prąd przy tym samym napięciu?
- ✓ Przy tych samych ustawieniach zasilacza sprawdź, czy na świecenie żarówek w prawym zestawie ma wpływ to, czy świecą się obydwie czy tylko jedna z żarówek? Przyjrzyj się wskazaniom zasilacza przy włączonej jednej lub dwóch żarówkach. Czy natężenie prądu płynące przez daną żarówkę zależy od tego czy włączona jest tylko jedna z nich czy obydwie?

W układzie równoległym pobór prądu z zasilacza maleje dwukrotnie po wyłączeniu jednej z żarówek. Niezależnie od tego, czy włączona jest tylko jedna z nich czy obydwie żarówki napięcie oraz natężenie prądu na każdej z żarówek jest stałe – żarówki świecą

jednakowo.

Ćwiczenie 12 Projektowanie oporu zastępczego

Cel ćwiczenia: Uczeń używając dostępnych oporników zaprojektuje opór o nie-standardowej wartości.

✓ Z menu „Narzędzia” wybierz płytkę perforowaną 30 cm x 120 cm, zasilacz, amperomierz, woltomierz, kilka przewodów regulowanych.

✓ Z dostępnych oporników złóż opór o wartości 11,3 Ω.

✓ Zbuduj układ dwóch oporników o wartości oporu zastępczego 0,05 Ω.

Dwa oporniki 0,1 Ω połączone równolegle.

✓ Zbuduj układ dwóch oporników o wartości oporu zastępczego 94 Ω.

Dwa oporniki 47 Ω połączone szeregowo.

✓ Zbuduj układ trzech oporników o wartości oporu zastępczego 0,092 Ω.

Dwa oporniki 1 Ω i 0,1 Ω połączone szeregowo. Układ tych dwóch oporników jest połączony równolegle z opornikiem 0,1 Ω.

✓ Zbuduj układ oporników o wartości oporu zastępczego 7,6 kΩ. Trzy oporniki 2,2 kΩ oraz jeden 1 kΩ, połączone szeregowo.

Ćwiczenie 13 Wyznaczanie mocy wydzielonej na opornikach i żarówkach

Cel ćwiczenia: Uczeń wyznaczy moc opornika i żarówki.

✓ Z menu „Narzędzia” wybierz zasilacz, amperomierz, woltomierz, kilka przewodów regulowanych, płytkę perforowaną 30 cm x 120 cm.

Zastanów się W pudełku znajdują się oporniki i żarówki. Ustaw kursor myszki na oporniku. Zobacz, jakie parametry opornika są podane w chmurce. Dlaczego na oporniku oprócz wartości oporu podana jest także moc opornika?

Po przekroczeniu mocy opornika, zaczyna się on grzać i może się przepalić.

- ✓ Wybierz dowolny opornik (np. 1Ω) z pudełka i podłącz go do zasilacza.
- ✓ Przekręć pokrętło natężenia prądu na zasilaczu o 360 stopni. Za pomocą pokrętła regulacji napięcia ustaw na zasilaczu napięcie 1 V. Odczytaj natężenie prądu.
- ✓ Otwórz tabelę i zdefiniuj kolumny: napięcia U [V], natężenia prądu I [A] oraz mocy P [W].
- ✓ Odczytaj natężenie prądu płynącego przez opornik dla tego napięcia, a następnie zwiększ napięcie do 2 V i ponownie odczytaj natężenie.
- ✓ Jaka moc wydzieliła się na oporniku dla kolejnych napięć? Policz moc używając wzoru (5.8). Sprawdź w chmurce opornika, jaka jest jego moc. Co się stanie z opornikiem, gdy moc ta zostanie przekroczona?
- ✓ Jakie powinno być napięcie na zasilaczu, aby na oporniku wydzieliła się moc podana na oporniku? Co się stanie, gdy ustawi się na zasilaczu jeszcze większe napięcie? Jakie jest maksymalne napięcie, które można ustawić?
- ✓ Wykreśl zależność mocy wydzielonej na oporniku od spadku napięcia na nim ($P(U)$). Jaki jest kształt otrzymanej zależności?

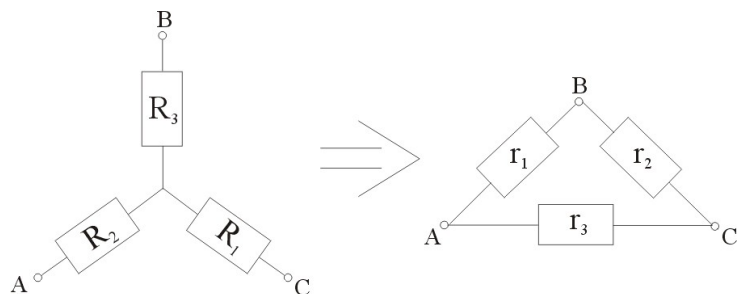
- ✓ Ustaw kursor myszki na wybranej żarówce. Zobacz, jakie parametry żarówki są podane w chmurce. Jaka jest nominalna moc żarówki?
- ✓ Podłącz żarówkę do zasilacza za pomocą przewodów regulowanych. Na zasilaczu ustaw napięcie nominalne podane na żarówce. Jak świeci żarówka? Sprawdź, czy można zwiększyć to napięcie?
- ✓ Przy jakim minimalnym napięciu żarówka zaczyna się żarzyć? Jaka jest wtedy moc wydzielona na żarówce? Przy jakim napięciu żarówka się przepala? Jaka jest wtedy moc wydzielona na żarówce? Ile razy moc w momencie przepalenia się żarówki jest większa od mocy nominalnej żarówki?
- ✓ Możesz sprawdzić to samo dla innych żarówek.
- ✓ Wyznacz opory włókien żarówek.

- ✓ Połącz dwa oporniki lub żarówki szeregowo i równoległe i policz, jaka moc się wydzieli na każdej z żarówek w danym układzie.
- ✓ Jaka całkowita moc wydzieli się na żarówkach w każdym połączeniu?

Ćwiczenie 14 Badanie własności układu gwiazdy

Cel ćwiczenia: Uczeń porówna równoważne układy gwiazdy i trójkąta. Wyznaczy doświadczalnie opór zastępczy układu gwiazdy.

- ✓ Z menu „Narzędzia” wybierz płytkę perforowaną 60 cm x 60 cm, zasilacz, amperomierz, woltomierz, kilka przewodów regulowanych.
- ✓ Zbuduj układ gwiazdy (układ trójkąta wykonasz później) według poniższego schematu. Dla uproszczenia, do zbudowania układu, możesz wykorzystać oporniki o wartości 1 Ω.

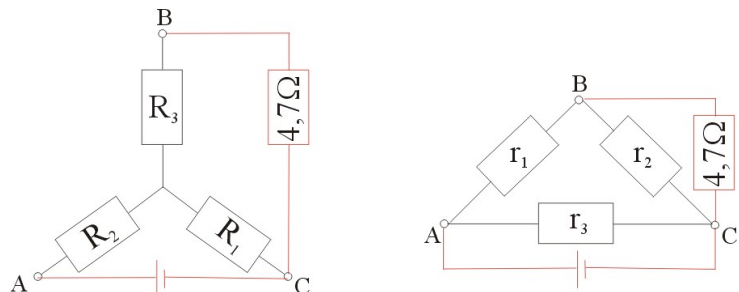


$$r_1 = \frac{R_1 R_2 + R_1 R_3 + R_2 R_3}{R_1}, \quad (5.10)$$

$$r_2 = \frac{R_1 R_2 + R_1 R_3 + R_2 R_3}{R_2}, \quad (5.11)$$

$$r_3 = \frac{R_1 R_2 + R_1 R_3 + R_2 R_3}{R_3}. \quad (5.12)$$

- ✓ Podłącz do układu gwiazdy zasilacz oraz dodatkowy opornik według poniższego schematu.



- ✓ Na zasilaczu ustaw napięcie około 4 V. Zapisz wartość napięcia oraz natężenia, które się ustaliły w tym obwodzie. Za pomocą woltomierza zmierz napięcia między węzłami AB, BC oraz AC. Zapisz

wszystkie wartości.

✓ Zbuduj teraz układ trójkąta. Wartości oporników wchodzących w skład układu trójkąta wyznacz ze wzorów (5.10–5.12). Jeżeli uczeń przyjął $R_1 = R_2 = R_3 = 1 \Omega$, to $r_1 = r_2 = r_3 = 3 \Omega$. Uczeń musi połączyć trzy oporniki 1Ω . Podłącz zasilacz oraz dodatkowy opornik zgodnie ze schematem.

✓ Na zasilaczu ustaw takie samo napięcie jak dla układu gwiazdy. Zapisz wartość napięcia oraz natężenia, które się ustaliły w tym obwodzie. Za pomocą woltomierza zmierz napięcia między węzłami AB, BC oraz AC. Zapisz wszystkie wartości.

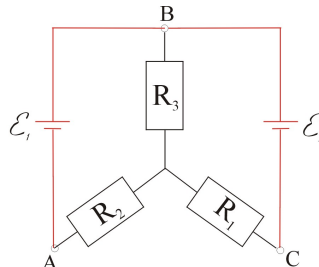
✓ Porównaj wartości napięć dla obydwu układów. Czy układy są równoważne?

✓ Wyznacz opór zastępczy układu gwiazdy. Opornik $4,7 \Omega$ możesz zastąpić przewodem o zerowym oporze. Jeżeli uczeń przyjął $R_1 = R_2 = R_3 = 1 \Omega$, wówczas opór zastępczy wynosi $1,5 \Omega$.

Zadanie dodatkowe

✓ Zaprojektuj układ równoważny do układu przedstawionego na poniższym schemacie.

✓ W tym celu oddaj zasilacz do „Narzędzi” i pobierz baterię R6 i 3R12 o różnych SEM.



✓ Aby zweryfikować poprawność układów, sprawdź natężenia prądu płynące z baterii w układzie gwiazdy oraz układzie równoważnym. Narysuj schemat zaprojektowanego obwodu i podaj wartości oporników.

Ćwiczenie 15 Badanie nieskończonej sieci oporników

Cel ćwiczenia: Uczeń wyznaczy opór zastępczy drabinki utworzonej z oporników. Dodatkowo w ćwiczeniu zaproponowano wyznaczenie nieskończonej drabinki oporników.

✓ Z menu „Narzędzia” wybierz gotowy układ numer 7. Dodatkowo możesz dobrać kilka przewodów regulowanych, amperomierz

i woltomierz.

- ✓ Sprawdź jakie oporniki są umieszczone na płycie perforowanej.
- ✓ Wyznacz opór zastępczy takiego układu, korzystając ze wzorów (5.4), (5.7).
- ✓ Z ilu kroków składały się twoje obliczenia?
- ✓ Możesz sprawdzić swój wynik doświadczalnie, korzystając z prawa Ohma na podstawie pomiaru napięcia i natężenia prądu.
- ✓ A teraz wyobraź sobie taką nieskończenie długą drabinkę oporników.
- ✓ Jak sądzisz, z ilu kroków będą się składały obliczenia oporu zastępczego takiej drabinki?
- ✓ Postaraj się rozwiązać problem oporu zastępczego nieskończonej drabinki oporników w sprytny sposób.

✓ Na początku rozważmy pojedynczy „szczebelek” drabinki, składający się z trzech oporników o oporze R każdy, połączonych szeregowo. Opór zastępczy takiego układu wynosi $R_{Z1} = 3R$.

✓ Teraz rozważmy układ dwóch szczebelków, składający się z sześciu oporników. Pierwszy szczebelek o oporze zastępczym R_{Z1} jest połączony równolegle z oporem R , co daje opór zastępczy $\frac{R_{Z1}R}{R_{Z1}+R}$. To z kolei jest połączone szeregowo z dwoma opornikami o oporze R każdy. Zatem opór zastępczy układu dwóch szczebelków wynosi $R_{Z2} = \frac{R_{Z1}R}{R_{Z1}+R} + 2R$.

✓ Analogicznie układ składający się z n szczebelków ma opór zastępczy $R_{Zn} = \frac{R_{Z(n-1)}R}{R_{Z(n-1)}+R} + 2R$.

✓ W ten sposób otrzymujemy ciąg rekurencyjny

$$\begin{cases} R_{Z1} &= 3R, \\ R_{Zn} &= \frac{R_{Z(n-1)}R}{R_{Z(n-1)}+R} + 2R. \end{cases}$$

✓ Z własności połączeń szeregowych i równoległych oporników wynika, że $2R < R_{Zn} < 3R$, a zatem ciąg jest ograniczony z góry i z dołu. Ponadto jest to ciąg malejący.

✓ Z tego wynika, że granica ciągu istnieje i jest równa

$$g = \lim_{n \rightarrow \infty} R_{Zn} = \lim_{n \rightarrow \infty} R_{Z(n-1)}.$$

Zatem aby wyznaczyć granicę takiego nieskończonego ciągu, wystarczy rozwiązać równanie

$$g = \frac{gR}{g+R} + 2R,$$

które można sprowadzić do równania kwadratowego

$$g^2 - 2Rg - 2R^2 = 0.$$

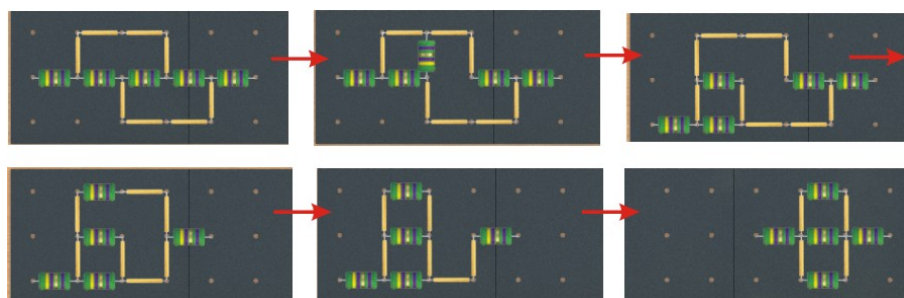
- ✓ W powyższym równaniu szukamy dodatniego rozwiązania. W ten sposób otrzymujemy opór zastępczy nieskończonego układu drabinki oporników równy. $(1 + \sqrt{3})R$.

Ćwiczenie 16 Czym się różnią układy oporników?

Cel ćwiczenia: Uczeń powinien tak dobrać wartości oporników w jednym z układów aby uzyskać jednakowy opór zastępczy w obydwu obwodach. Chociaż nie widać tego od razu oporniki w obydwu układach są identycznie połączone. Aby uzyskać jednakowy opór zastępczy w obydwu układach należy ustawić takie same oporniki.

- ✓ Z menu „Narzędzia” wybierz gotowy zestaw numer 11. Dodatkowo możesz dobrać kilka przewodów regulowanych, zasilacz, amperomierz i woltomierz.
- ✓ Sprawdź jaki jest opór zastępczy pierwszego i drugiego układu oporników.
- ✓ Spróbuj tak dobrać wartości oporników w utworzonych obwodach, aby uzyskać w obydwu przypadkach taki sam opór zastępczy. Nie należy zmieniać sposobu łączenia oporników.
- ✓ Wyjaśnij uzyskany wynik.

Połączenie obydwu układów jest takie samo. Aby uzyskać jednakowy opór zastępczy, należy użyć identycznych oporników w obydwu układach.



Na powyższym rysunku pokazano ewolucję układu.

6 Mostek Wheatstone'a

Schemat układu mostka Wheatstone'a przedstawiony jest na poniższym rysunku. Składa się on z galwanometru oraz czterech oporników, opory R_1 oraz R_2 można regulować poprzez zmianę położenia suwaka D listwy oporowej. Zamiast galwanometru można użyć zwykły amperomierz a nawet woltomierz.

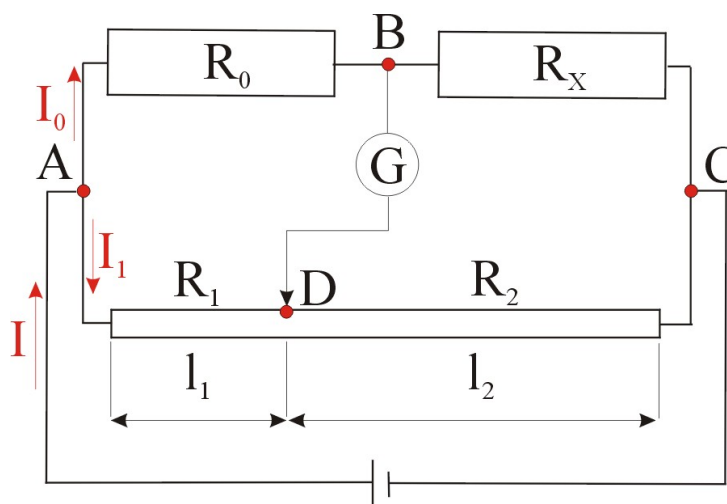
Listwa oporowa z suwakiem Listwa o długości 1 m zawierająca drut oporowy wyposażona w suwak, który dzieli cały drut na dwie części.

Mostek Wheatstone'a wykorzystuje się do wyznaczenia nieznanego oporu R_x . W tym celu przesuwa się suwak D, do momentu gdy przez galwanometr nie płynie prąd. Brak przepływu prądu oznacza, iż potencjały elektryczne w punkcie B i D są takie same. Stąd wynika, że różnica potencjałów (czyli napięcie) między punktami A i B (U_{AB}) jest taka sama jak między punktami A i D (U_{AD}):

$$U_{AB} = U_{AD}. \quad (6.1)$$

Analogicznie napięcia między punktami B i C (U_{BC}) oraz D i C (U_{DC}) są sobie równe:

$$U_{BC} = U_{DC}. \quad (6.2)$$



Zgodnie z prawem Ohma można zapisać:

$$U_{AB} = I_0 R_0, \quad (6.3)$$

$$U_{AD} = I_1 R_1, \quad (6.4)$$

$$U_{BC} = I_0 R_x, \quad (6.5)$$

$$U_{DC} = I_1 R_2, \quad (6.6)$$

gdzie I_0 oraz I_1 to natężenia prądów płynące odpowiednio w górnej (przez węzły ABC) i dolnej gałęzi (przez węzły ADC) obwodu mostka Wheatstone'a.

Podstawiając powyższe zależności do równań (6.1) oraz (6.2), otrzymamy układ równań:

$$I_0 R_0 = I_1 R_1, \quad (6.7)$$

$$I_0 R_x = I_1 R_2. \quad (6.8)$$

Dzieląc stronami powyższy układ równań, otrzymamy:

$$\frac{R_x}{R_0} = \frac{R_2}{R_1}. \quad (6.9)$$

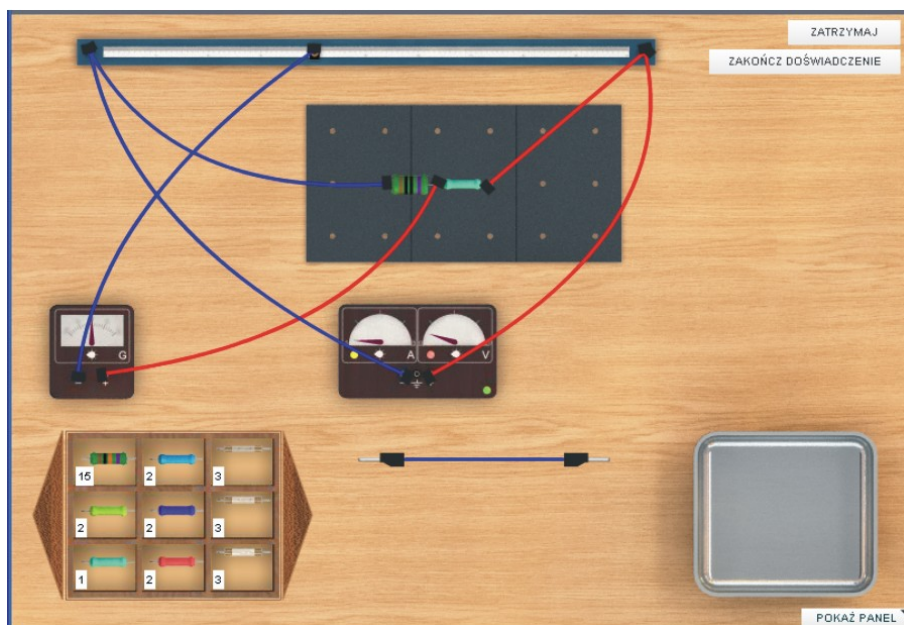
Opory R_1 oraz R_2 są wykonane z tego samego drutu, o takiej samej średnicy. Pamiętamy wzór na opór przewodnika:

$$R_2 = \rho \frac{l_2}{s}, \quad (6.10)$$

$$R_1 = \rho \frac{l_1}{s}. \quad (6.11)$$

Zatem ich opór zależy wyłącznie od ich długości l_1 i l_2 , które zmienia się poprzez zmianę położenia suwaka:

$$R_x = R_0 \frac{l_2}{l_1}. \quad (6.12)$$



Ćwiczenie 17 Mostek oporowy

Cel ćwiczenia: Uczeń musi dobrać wartość opornika lub oporników, tak aby przez amperomierz nie płynął prąd.

- ✓ Z menu „Narzędzia” wybierz gotowy schemat numer 8.
- ✓ Dobierz tak wartość jednego z oporników, aby przez amperomierz nie płynął prąd. Upewnij się, że nie płynie prąd zmniejszając zakres pomiarowy miernika. Po uruchomieniu zestawu 8 uczeń może odnieść mylne wrażenie, że przez amperomierz nie płynie prąd. Dla małych napięć ustawionych na zasilaczu natężenia prądu są na tyle małe, że amperomierz ustawiony na największym zakresie wskazuje wartość bliską zeru.
- ✓ Czy wybór odpowiedniego opornika jest jednoznacznie określony? Czy możliwe są różne kombinacje oporników, które zapewniają zerowy przepływ prądu przez amperomierz? Przypomnij sobie jaki jest warunek zerowego przepływu prądu. Najłatwiej jest zamienić opornik $10\ \Omega$ na $22\ \Omega$, lub odwrotnie. Uczeń powinien zauważyć, że spadek napięcia np. na „górnym lewym” oporniku powinien być taki sam jak na „dolnym lewym” oporniku.

Ćwiczenie 18 Analogia mostka oporowego

Cel ćwiczenia: Analogia mostka oporowego. Uczeń musi dobrać taką wartość opornika w każdym zestawie aby układ miał ten sam opór zastępczy niezależnie od wielkości jednego z oporników w środku.

- ✓ Z menu „Narzędzia” wybierz gotowy schemat numer 9.
- ✓ Czy widzisz podobieństwo między obwodem po lewej i po prawej stronie?
Sposób połączenia obydwu obwodów jest identyczny.
- ✓ W układzie po lewej stronie dobierz tak wartości oporników aby, po wymianie opornika $4,7\ \Omega$ na dowolny inny opornik opór zastępczy całego układu nie zmieniał się.
Jedną z możliwości jest wymiana opornika $10\ \Omega$ na $2,2\ \Omega$.
- ✓ W celu sprawdzenia obwodu możesz podłączyć badany obwód do zasilacza.
- ✓ W układzie po prawej stronie dobierz tak wartości oporników

aby, po wymianie opornika $22\ \Omega$ na dowolny inny opornik opór zastępczy całego układu nie zmieniał się.

Jedną z możliwości jest wymiana opornika $10\ \Omega$ na $4,7\ \Omega$.

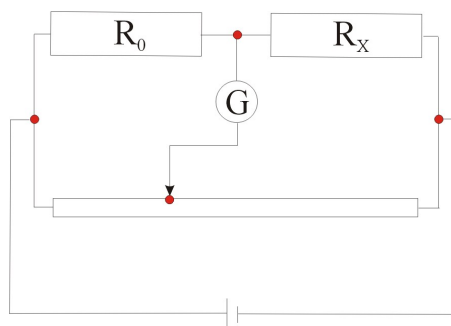
✓ W celu sprawdzenia obwodu możesz podłączyć badany obwód do zasilacza.

Ćwiczenie 19 Pomiar nieznanego opornika metodą mostka Wheatstone'a

Cel ćwiczenia: Uczeń wyznaczy opór nieznanego opornika metodą mostka Wheatstone'a. Następnie sprawdzi wartość oporu podłączając opornik do zasilacza i odczytując natężenie prądu oraz napięcie na oporniku.

✓ Z menu „Narzędzia” wybierz płytkę perforowaną $30\ \text{cm} \times 60\ \text{cm}$, co najmniej trzy przewody regulowane niebieskie oraz czerwone, zasilacz, galwanometr oraz listwę oporową z suwakiem.

✓ Złóż układ pomiarowy według poniższego schematu. Dodatkowo z pudełka na części wybierz jeden opornik znany R_0 oraz jeden nieznan R_x (są to oporniki jednokolorowe bez kodu kreskowego). Na przykład może to być opornik $10\ \Omega$ oraz nieznan opornik o symbolu R_2 .



✓ Czy widzisz podobieństwo złożonego układu do gotowego układu 8?

✓ Po złożeniu układu ustaw na zasilaczu napięcie $2\ \text{V}$. Napięcia tego nie należy zmieniać w trakcie pomiaru. Obserwuj wskazania galwanometru. Jeżeli wskazówka galwanometru wskazuje maksymalną wartość natężenia prądu, zwiększ odpowiednio zakres pomiarowy miernika.

✓ Twoim zadaniem jest ustawienie suwaka listwy oporowej w takim położeniu aby przez galwanometr nie płynął prąd.

✓ Po wyzerowaniu wskazania galwanometru. Zapisz odległości l_1 i l_2 . Zmniejsz zakres miernika i sprawdź czy pokazuje on cały czas zero. Jeżeli nie to zmień odpowiednio położenie suwaka. Tak pro-

cedura ma za zadanie zmniejszyć błąd pomiarowy.

✓ Odczytaj i zapisz wartości długości l_1 i l_2 . Pamiętaj że całkowita długość listwy wynosi 100 cm.

Dla zasugerowanych w doświadczeniu wartości oporników mamy: $l_1 = 40$ cm i $l_2 = 60$ cm.

✓ Na podstawie wzoru wyznacz wartość oporu nieznanego opornika. R_2 wynosi 15Ω .

✓ Zamień oporniki miejscami na płytce i sprawdź czy i tym razem przez galwanometr nie płynie prąd.

✓ Jeżeli nie, to spróbuj wyzerować wskazania galwanometru. Jakie wartości l_1 i l_2 otrzymałeś po zamianie?

✓ Używając tej samej procedury sprawdź wartości pozostałych oporników. Pamiętaj, że w przypadku gdy wskazania galwanometru zerują się po ustawieniu suwaka w pobliżu jednego z brzegów listwy, można popełnić większy błąd pomiarowy. Należy wówczas zmienić wartość opornika referencyjnego R_0 , tak aby zerowanie galwanometru nastąpiło dla położenia suwaka w pobliżu środka listwy oporowej.

✓ Dlaczego bierze się tylko długości l_1 i l_2 , a nie wartości oporów? Uczeń nie widzi tabelki. Oporniki nieznanne nie przepalają się.

Oporniki nieznanne	
symbol	R [Ω]
R_1	6
R_2	15
R_3	35
R_4	200
R_5	800

7 Ogniwa galwaniczne

W e-doświadczeniu nie da się połączyć jednocześnie w jednym obwodzie baterii oraz zasilacza.

Ogniwo galwaniczne

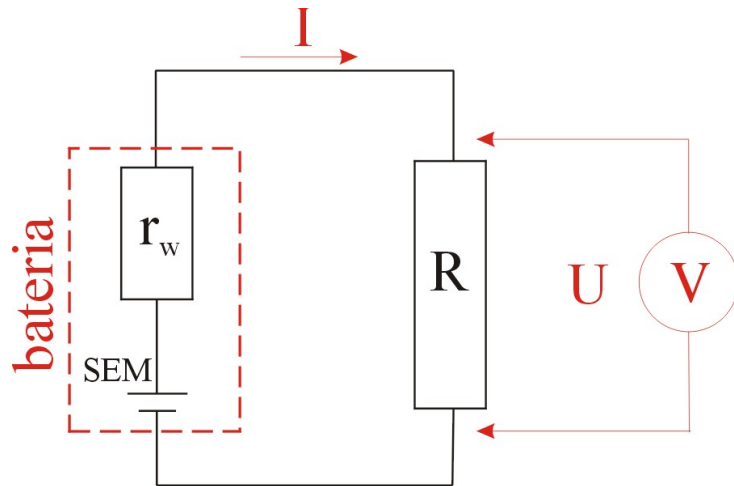
Ogniwo galwaniczne to układ dwóch elektrod zanurzonych w elektrolicie. Na ogół poszczególne elektrody, zwane półogniwami zbudowane są z różnych materiałów. Procesy chemiczne zachodzące pomiędzy elektrodami i elektrolitem powodują powstanie różnicy potencjałów. Pojedyncze ogniwa można łączyć w układy ogniw zwane bateriami. Potocznie baterią także nazywa się pojedyncze ogniwo. W poniższych ćwiczeniach słowa „ogniwo” i „bateria” będą używane zamiennie, często w sensie potocznym.

Siła elektromotoryczna

Siła elektromotoryczna \mathcal{E} (w skrócie SEM) jest równa różnicy potencjałów (napięciu elektrycznemu) między elektrodami nieobciążonego ogniwa, to znaczy wtedy, gdy przez ogniwo nie płynie prąd. Geneza pojęcia siły elektromotorycznej związana jest ze sposobem wytwarzania napięcia wewnątrz ogniwa, gdzie w reakcjach chemicznych wymuszany jest przepływ ładunku od bieguna „-” do „+”. Przepływ prądu w ogniwie wymaga wykonania pracy nad ładunkiem, dlatego wprowadzono pojęcie siły elektromotorycznej jako czynnika powodującego przepływ prądu.

Opór wewnętrzny

Rzeczywiste źródła energii elektrycznej nie są idealnymi źródłami i występują w nich straty energii z powodu istnienia pewnego oporu wewnętrznego. Istnienie tego oporu powoduje efektywne obniżenie napięcia na biegunach ogniwa (lub baterii), gdy po obciążeniu ogniwa zaczyna płynąć prąd. Wielkość tego obniżenia napięcia zależy od wielkości natężenia prądu płynącego w obwodzie ogniwa. Większe natężenie prądu oznacza większy spadek napięcia na oporze wewnętrznym.



$$\mathcal{E} - Ir_w = U, \quad (7.1)$$

gdzie \mathcal{E} to siła elektromotoryczna (SEM) czyli nominalne napięcie baterii mierzone woltomierzem bez obciążenia, Ir_w to spadek napięcia na oporze wewnętrznym baterii, zaś U to spadek napięcia na oporniku o oporności R .

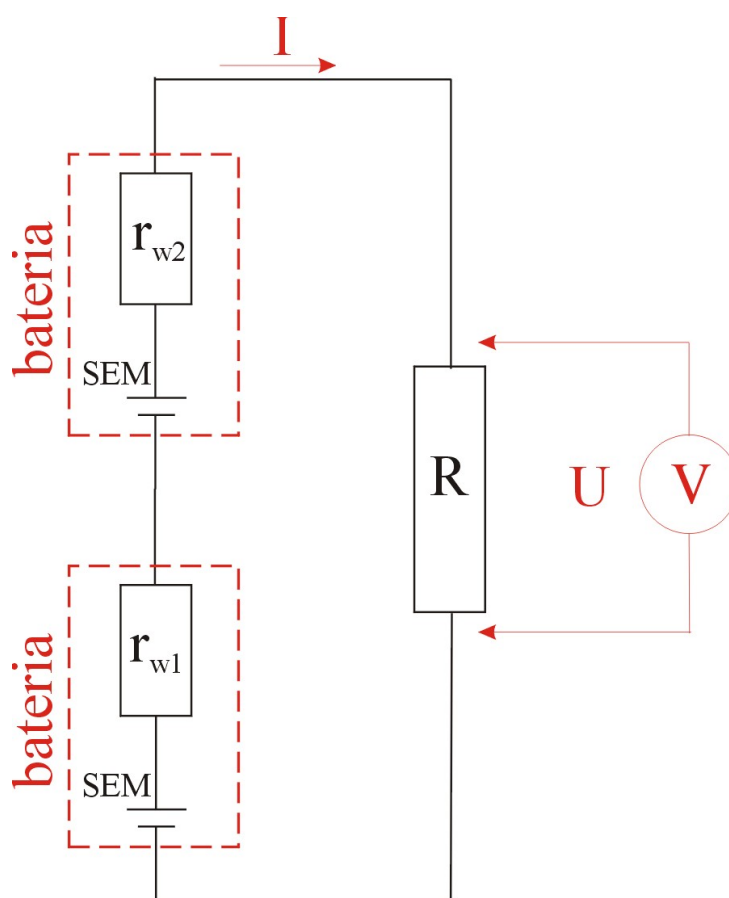
$$I = \frac{U}{R}. \quad (7.2)$$

Łącząc równania (7.1) oraz (7.2) można wyznaczyć wartość oporu wewnętrznego r_w :

$$r_w = R \left(\frac{\mathcal{E}}{U} - 1 \right). \quad (7.3)$$

Łączenie szeregowe ogniw

Rozważmy łączenie szeregowe na przykładzie łączenia dwóch ogniw o wartościach SEM: \mathcal{E}_1 i \mathcal{E}_2 i oporach wewnętrznych odpowiednio r_{w1} i r_{w2} .



Zgodnie z prawem Ohma można zapisać wzór na natężenie prądu płynącego w tym obwodzie:

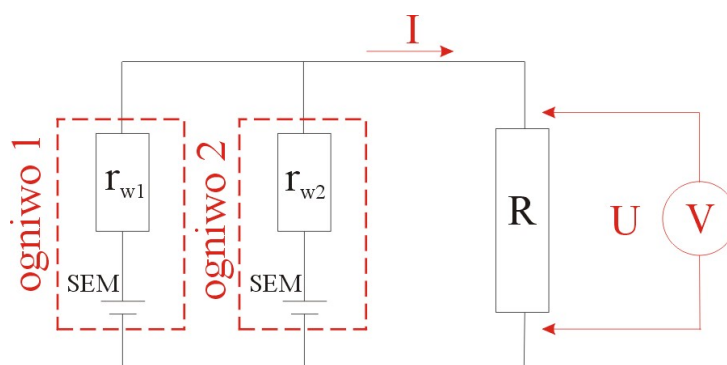
$$I = \frac{\mathcal{E}_1 + \mathcal{E}_2}{r_{w1} + r_{w2} + R}. \quad (7.4)$$

Z powyższego równania widać, że rozważane ogniwa można zastąpić baterią o SEM równej $\mathcal{E}_1 + \mathcal{E}_2$ oraz oporze wewnętrznym $r_{w1} + r_{w2}$. Spadek napięcia na oporniku R podaje następująca zależność:

$$U = IR. \quad (7.5)$$

Łączenie równoległe ogniw

Rozważmy łączenie równoległe na przykładzie łączenia dwóch ogniw o wartościach SEM \mathcal{E}_1 i \mathcal{E}_2 i oporach wewnętrznych odpowiednio r_{w1} i r_{w2} .



Jeżeli siły elektromotoryczne łączonych ogniw są sobie równe ($\mathcal{E}_1 = \mathcal{E}_2$), to po połączeniu równoległym, SEM układu ogniw wynosi $\mathcal{E}_z = \mathcal{E}_1 = \mathcal{E}_2$, natomiast opór wewnętrzny układu ogniw może zostać policzony ze wzoru na łączenie równoległe oporników:

$$r_{wz} = \frac{r_{w1}r_{w2}}{r_{w1} + r_{w2}}. \quad (7.6)$$

Dla przykładu jeżeli opory wewnętrzne dwóch ogniw są sobie równe ($r_{w1} = r_{w2} = r_w$), wówczas zastępczy opór wewnętrzny wynosi:

$$r_{wz} = \frac{r_w}{2}. \quad (7.7)$$

Natężenie prądu płynące w tak zbudowanym układzie ogniw wynosi:

$$I = \frac{\mathcal{E}_z}{r_{wz} + R}. \quad (7.8)$$

W przypadku równoległego łączenia dwóch ogniw o różnych SEM ustali się pewna średnia wartość SEM. Łączenie ogniw o różnych SEM w rzeczywistym świecie wymaga rozważenia, z uwagi na możliwość uszkodzenia ogniw.

Ćwiczenie 20 Badanie oporu wewnętrznego baterii

Cel ćwiczenia: Uczeń obserwuje zależność napięcia mierzonego na zaciskach baterii od wielkości obciążenia (opornika) podłączonego do baterii, które jest związane istnieniem oporu wewnętrznego baterii. Uczeń wyznaczy opór wewnętrzny baterii przy użyciu tylko woltomierza oraz drugą metodą przy użyciu amperomierza.

- ✓ Z menu „Narzędzia” wybierz gotowy obwód 4. W trakcie przeprowadzania doświadczenia w każdej chwili z „Narzędzi” możesz pobrać dodatkowe elementy.
- ✓ Odłącz jedną z baterii z obwodu, tak aby badany obwód składał

się z jednej baterii połączonej z opornikiem oraz równolegle z woltomierzem. Odczytaj wskazania woltomierza. Jakie jest napięcie na zaciskach baterii?

Woltomierz wskazuje 4,2 V.

✓ Podłącz woltomierz z ominięciem opornika bezpośrednio z baterią. Odczytaj wskazania woltomierza.

Woltomierz wskazuje 4,5 V.

✓ Z czego wynika ta różnica?

✓ Umieść opornik ponownie w obwodzie, ale tym razem wybierz z pudełka opornik np. o dwukrotnie mniejszym oporze. Odczytaj wskazania woltomierza. Zapisuj wartości oporów i napięć do kolumn tabeli.

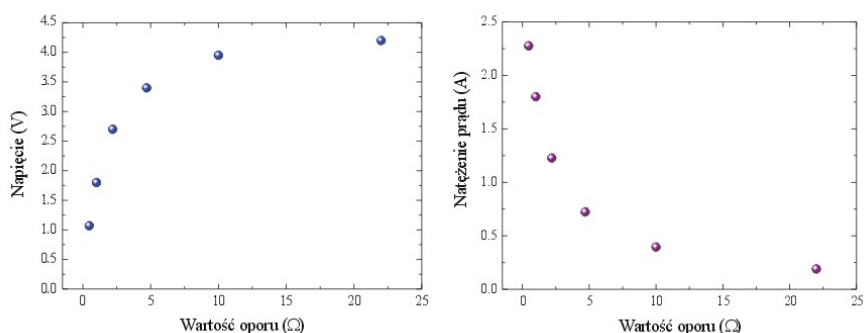
✓ Zmniejszaj stopniowo wartość opornika i przy użyciu woltomierza odczytuj spadek napięcia na oporniku.

Zastanów się

Wykreśl otrzymaną zależność napięcia na oporniku od wartości oporu opornika. Jaki kształt ma otrzymana zależność? Dlaczego napięcie na biegunach baterii nie jest stałe, a zależy od obciążenia obwodu?

✓ Jak zmienia się natężenie prądu płynące z baterii? Wykreśl zależność natężenia prądu od wartości oporu. Jakie natężenie prądu będzie płynąć między biegunami baterii po jej zwarciu? Co ogranicza to natężenie?

Na poniższym wykresie przedstawiono zależności napięcia oraz natężenia prądu od wartości oporu opornika.



Po zwarciu biegunów baterii zerowym oporem, istnieje pewne maksymalne natężenie prądu płynące w takim obwodzie z powodu istnienia oporu wewnętrznego R_w . Wynosi ono:

$$I = \frac{SEM}{r_w} = \frac{4,5 \text{ V}}{1,5 \Omega} = 3 \text{ A.} \quad (7.9)$$

Można to sprawdzić podłączając amperomierz bezpośrednio do ba-

terii. W ten sposób można wyznaczyć opór wewnętrzny baterii, pod warunkiem, że opór przewodów użytych do podłączenia jest równy zeru. Aby wyznaczyć doświadczalnie SEM, należy zmierzyć woltomierzem napięcie nieobciążonej baterii.

✓ Jaka jest graniczna wartość napięcia? Możesz to sprawdzić zwiększając odpowiednio wartość opornika w obwodzie.

Wyznacz opór wewnętrzny baterii

✓ Wyznacz opór wewnętrzny badanej baterii korzystając ze wzoru (7.3).

✓ Tą samą metodą możesz także wyznaczyć opór wewnętrzny baterii R6. Sprawdź także jaki jest opór wewnętrzny układu np. dwóch baterii połączonych szeregowo, a także dwóch baterii połączonych równolegle.

Opór wewnętrzny baterii płaskiej 3R12 wynosi $1,5 \Omega$. Opór wewnętrzny baterii R6 (popularny „paluszek”) wynosi $0,5 \Omega$. W połączeniu szeregowym baterii opory wewnętrzne poszczególnych baterii się dodają, natomiast w układzie baterii połączonych równolegle, dodają się odwrotności oporów wewnętrznych.

✓ Jak można inaczej wyznaczyć opór wewnętrzny baterii, wykorzystując pomiar amperomierzem?

Ćwiczenie 21 Łączenie szeregowe i równoległe baterii

Cel ćwiczenia: Uczeń sprawdzi jak się zmieniają napięcia i natężenia prądów w układzie baterii w zależności od sposobu ich łączenia.

✓ Z menu „Narzędzia” wybierz płytkę perforowaną $30 \text{ cm} \times 60 \text{ cm}$, kilka baterii R6 i 3R12, kilka przewodów regulowanych, woltomierz i amperomierz. W każdej chwili z „Narzędzi” możesz pobrać dodatkowe elementy.

✓ Używając przewodów regulowanych podłącz woltomierz do baterii np. baterii płaskiej. Odczytaj wskazanie woltomierza. Czy wartość podawana przez miernik zgadza się z wartością SEM baterii (wartość SEM wyświetlana jest w chmurce po ustawieniu kursora myszki na baterii)?

✓ Za pomocą przewodów połącz szeregowo dwie albo trzy baterie płaskie. Pamiętaj, że łączenie szeregowe polegało na łączeniu ze sobą przeciwnych biegunów baterii. Podłącz woltomierz tak, aby zmierzyć napięcie połączonego szeregowo układu baterii. Odczytaj napięcie na woltomierzu. Czy napięcie się zmieniło?

✓ Co się stanie gdy zamienisz biegunami jedną z baterii (tzn. za-

mienisz miejscami przewody)?

✓ Połącz identyczne baterie równolegle. Podłącz woltomierz tak aby zmierzyć napięcie całego układu. Czy takiego wyniku oczekiwałeś?

✓ W jaki sposób należy połączyć dwie identyczne baterie, aby uzyskać największe natężenie prądu? Aby zmierzyć natężenie prądu podłącz amperomierz. Dla porównania zmierz także natężenie prądu wytwarzane przez pojedynczą baterię. Możesz podłączyć amperomierz bezpośrednio do baterii. Dzięki istnieniu oporu wewnętrznego jest to bezpieczne.

Łącząc równolegle baterie można uzyskać większe natężenie prądu. Wynika to stąd, iż opór wewnętrzny układu połączonych równolegle baterii jest mniejszy od wartości oporów wewnętrznych poszczególnych baterii.

Ćwiczenie 22

Łączenie baterii z żarówką - badanie mocy

Cel ćwiczenia: Uczeń sprawdzi moc wydzieloną na żarówce numer 3 w zależności od sposobu łączenia baterii R6.

✓ Z menu „Narzędzia” wybierz płytkę perforowaną 30 cm x 60 cm, cztery baterie R6, kilka przewodów regulowanych, woltomierz i amperomierz. Pamiętaj, że w każdej chwili z „Narzędzi” możesz pobrać dodatkowe elementy.

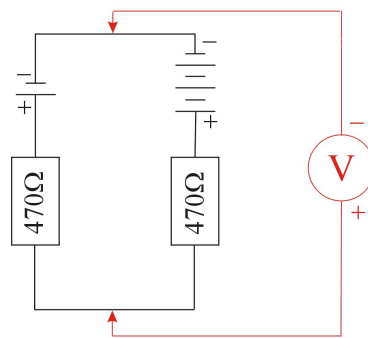
✓ Sprawdź jaka moc wydzieli się na żarówce przy połączeniu żarówki (o parametrach $U = 2,8 \text{ V}$; $I = 0,85 \text{ A}$) z:

1. pojedynczą baterią R6,
2. czterema bateriami R6 połączonymi równolegle i połączonymi z żarówką,
3. czterema bateriami R6 połączonymi szeregowo i połączonymi z żarówką,
4. z dwoma bateriami R6 połączonymi szeregowo i połączonymi z żarówką,
5. z dwoma bateriami R6 połączonymi równolegle i połączonymi z żarówką.

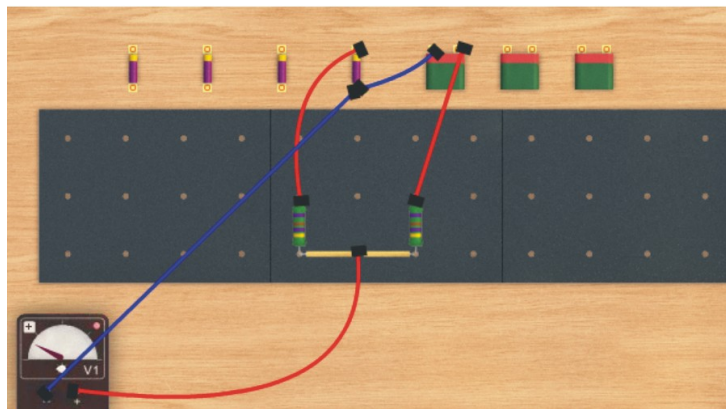
Ćwiczenie 23 Prosty komputer

Cel ćwiczenia: Uczeń zmierzy napięcie układu baterii o różnych SEM połączonych równolegle. Napięcie całego układu jest średnią arytmetyczną połączonych baterii.

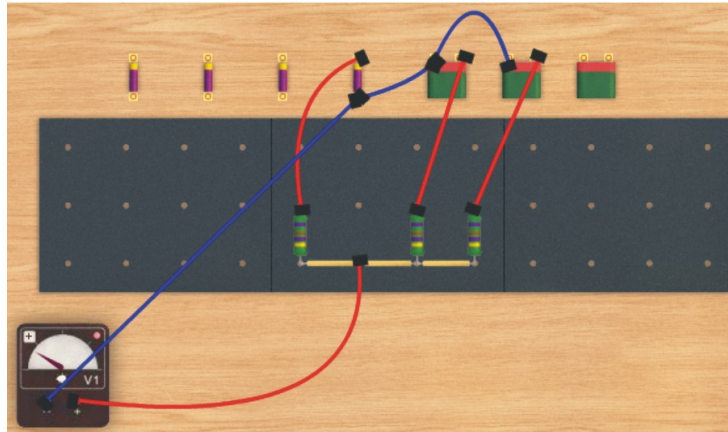
- ✓ Z menu „Narzędzia” wybierz płytkę perforowaną 30 cm x 120 cm, wszystkie dostępne baterie, kilka przewodów regulowanych oraz woltomierz.



- ✓ Połącz dwie baterie (baterię „paluszek” z baterią płaską) równolegle zgodnie z powyższym schematem. Przed połączeniem elementów obwodu sprawdź polaryzację napięć baterii (znajdź bieguny „+” i „-”) za pomocą woltomierza (W razie problemów patrz Ćwiczenie 2).
- ✓ Pamiętaj napięcie na każdej z baterii? Podłącz woltomierz według schematu i zmierz całkowite napięcie układu dwóch baterii. Jak się ma zmierzone napięcie układu baterii do napięć baterii osobno?



- ✓ Powtórz to samo doświadczenie dla trzech, a także czterech baterii. Spróbować możesz także połączyć ze sobą większą liczbę baterii. Pamiętaj, że każda z baterii powinna być połączona z resztą układu poprzez opornik (w tym przypadku $470\ \Omega$).



- ✓ Jaką rolę w tym układzie pełnią oporniki?
Umieszczenie w ten sposób oporników o dość dużym oporze powoduje, iż pomiędzy bateriami nie nastąpi przepływ ładunku. Gdyby baterie były połączone niewielkim oporem, przepływ prądu między bateriami mogły powodować ładowanie się jednych baterii, a rozładowywanie innych. Baterie mogłyby także ulec uszkodzeniu.

8 Dzielniki napięcia i prądu

Dzielnik napięcia to układ oporników połączonych szeregowo ze źródłem zasilania, który „dzieli” napięcie źródła proporcjonalnie do wielkości oporu elektrycznego. Bardziej zaawansowanym rodzajem dzielnika jest potencjometr, którego konstrukcja pozwala na płynną zmianę oporu.

Dzielnikiem prądu nazywamy układ oporników połączonych równolegle ze źródłem zasilania. Dzielnik prądu „dzieli” całkowite natężenie prądu wytwarzane przez źródło proporcjonalnie do wielkości oporu danej gałęzi obwodu.

Potencjometry są wszechobecne w praktycznych zastosowaniach. Znajdują się w urządzeniach elektrycznych, którymi reguluje się napięcie lub natężenie prądu (np. w zasilaczach, regulatorach oświetlenia, regulowanych grzejnikach elektrycznych, itp.).

Ćwiczenie 24 Dzielniki napięcia

Cel ćwiczenia: Uczeń zrozumie ideę regulacji napięcia wykonując ćwiczenia z układami dzielnika napięcia (układ nr 5) oraz potencjometrycznym (układ nr 6). Jest to kolejne spotkanie z drugim prawem Kirchhoffa.

- ✓ Z menu „Narzędzia” wybierz zestaw numer 5.
- ✓ Na zasilaczu ustaw napięcie. Może to być np. 10 V. Upewnij się na skali zasilacza, że ustawiłeś napięcie wychodzące równe 10 V.
- ✓ Zmierz spadek napięcia na każdym z oporników.
- ✓ Ile wynosi suma napięć na obydwu opornikach?
- ✓ Policz stosunek napięć. Policz stosunek oporów. Od czego zależy wielkość napięcia na każdym z oporników?
- ✓ Jakie oporniki trzeba by dobrać, aby na jednym z nich ustaliło się napięcie 5 V?
- ✓ Wyjaśnij nazwę tego układu „Dzielnik napięcia”.

- ✓ Zaprojektuj układ, który będzie dzielił napięcie zasilacza w stosunku 3:2:1.

Zastanów się Czy można regulować napięcie baterii?

- ✓ Z menu „Narzędzia” wybierz zestaw numer 6.
- ✓ Uruchom układ. Jakie napięcie wskazuje woltomierz?
- ✓ Zmieniaj położenie suwaka na potencjometrze. Dlaczego po ustawieniu suwaka potencjometru po lewej stronie napięcie jest maksymalne, zaś po ustawieniu suwaka po prawej stronie napięcie jest równe zero?
- ✓ Jak się zmienia opór potencjometru? Przy jakim położeniu suwaka opór jest maksymalny, a przy jakim jest zerowy?
- ✓ Odczytaj dokładnie maksymalne napięcie pokazywane na skali woltomierza. Jakie powinno być napięcie baterii przy takim ich łączeniu? Czy wszystko się zgadza? Podłącz woltomierz bezpośrednio do układu baterii odłączając potencjometr. Odczytaj dokładnie napięcie.
- ✓ Wyjaśnij różnicę napięć mierzonych bez potencjometru oraz z potencjometrem podłączonym i ustawionym na 100Ω .

Różnica ta jest efektem istnienia oporu wewnętrznego baterii. Bateria $4,5 \text{ V}$ ma opór wewnętrzny $1,5 \Omega$. Podłączając woltomierz bezpośrednio do układu baterii – mierzone napięcie jest równe sumie napięć nominalnych baterii ($4,5 \text{ V} + 4,5 \text{ V} + 4,5 \text{ V} = 13,5 \text{ V}$), ponieważ duży opór wewnętrzny woltomierza (100000Ω) powoduje, że przez układ baterii płynie bardzo mały prąd, zatem spadek napięcia na oporze wewnętrznym baterii jest pomijalnie mały. Podłączenie potencjometru (opór 100Ω) powoduje, że w układzie płynie większy prąd, a zatem i spadek napięcia na oporze wewnętrznym baterii jest znacznie większy, a więc spadek napięcia na samym potencjometrze jest mniejszy i wynosi około 13 V (dla 100Ω).

Ćwiczenie 25 Dzielniki prądu

Cel ćwiczenia: Uczeń powinien skojarzyć dzielnik prądu, z pierwszym prawa Kirchhoffa.

- ✓ Z menu „Narzędzia” wybierz zestaw numer 5.
- ✓ Zmodyfikuj układ tak, aby uzyskać dzielnik prądu płynącego ze źródła zasilania.
- ✓ Zaprojektuj taki układ, który będzie dzielił całkowity prąd w stosunku: 1:2:3.

Ćwiczenie 26 Dopasowanie żarówki do źródła zasilania

Cel ćwiczenia: Zadaniem ucznia jest dopasowanie żarówki do baterii w taki sposób aby nie przepalić żarówki. Uczeń powinien wykorzystać opornik do obniżenia napięcia na żarówce.

✓ Z menu „Narzędzia” wybierz baterię R6 i 3R12 oraz kilka przewodów regulowanych. W trakcie wykonywania ćwiczenia na bieżąco możesz dobierać kolejne elementy z „Narzędzi”.

✓ Połącz żarówkę 1,5 V z baterią 4,5 V tak, aby nie przepalić żarówki i aby paliła się ona ze swoją nominalną mocą. To samo zrób z żarówkami 2,5 V oraz 2,8 V.

Uczeń powinien obniżyć napięcie łącząc żarówkę szeregowo z odpowiednim opornikiem. Może także połączyć żarówkę równolegle z niezbyt dużym opornikiem. Uczeń może używać amperomierza i woltomierza, a także potencjometru do dobrania odpowiedniego opornika.

✓ Połącz żarówkę 6 V oraz 12 V z dowolną baterią lub bateriami tak, aby nie przepalić żarówki i aby paliła się ona ze swoją nominalną mocą. Nie używaj w tym ćwiczeniu zasilacza.

9 Czy urządzenie pomiarowe może zaburzać obwód elektryczny?

Woltomierz, aby zmierzyć napięcie na danym elemencie badanego układu, podłącza się równolegle. Idealny woltomierz powinien się charakteryzować nieskończonym oporem, tak aby nie płynął przez niego prąd. W rzeczywistych woltomierzach opór wewnętrzny miernika, w zależności od klasy przyrządu, ma pewien skończony opór wewnętrzny, przez co może zaburzać badany układ. Zaburzenie to jest tym większe, im wartość mierzonego opornika jest bliższa wartości oporu wewnętrznego woltomierza.

Idealny amperomierz powinien posiadać zerowy opór wewnętrzny. W praktyce jednak opór ten jest różny od zera. Wpływ zarówno woltomierza jak i amperomierza na obwód elektryczny zostanie zbadaany w tym rozdziale.

Ćwiczenie 27 Wpływ oporu wewnętrznego woltomierza na wartość mierzonego napięcia

Cel ćwiczenia: Uczeń zaobserwuje, iż pomiar napięcia woltomierzem zaburza wielkości napięć i natężeń prądu w badanym układzie. Określi wielkość oporu wewnętrznego miernika. Opór wewnętrzny woltomierza wynosi $100\text{ k}\Omega$.

✓ Z menu „Narzędzia” wybierz płytkę perforowaną $30\text{ cm} \times 120\text{ cm}$, zasilacz, woltomierz, a także dwa przewody regulowane w kolorze niebieskim oraz dwa przewody w kolorze czerwonym.

✓ Wybierz z pudełka z elementami dwa oporniki $100\ \Omega$ i połącz je szeregowo z zasilaczem. Następnie podłącz woltomierz równolegle do jednego z oporników.

✓ Ustaw na zasilaczu napięcie 20 V . Odczytaj napięcie na woltomierzu. Czy takiej wartości się spodziewałeś?

Woltomierz wskazuje napięcie 10 V , co jest zgodnie z ideą działania dzielnika napięcia. Oporniki są identyczne więc na każdym oporniku jest spadek 10 V .

✓ Zamiast oporników $100\ \Omega$ umieść oporniki $1\text{ k}\Omega$. Podłącz woltomierz i odczytaj spadek napięcia na oporniku.

Woltomierz wciąż wskazuje napięcie 10 V , co jest zgodnie z ideą działania dzielnika napięcia.

✓ Zamień oporniki $1\text{ k}\Omega$ na oporniki $10\text{ k}\Omega$. Odczytaj napięcie na woltomierzu. Czy takiej wartości się spodziewałeś? Z czego to wynika?

Woltomierz wskazuje napięcie $9,5\text{ V}$, podczas gdy zgodnie z ideą dzielnika napięcia, na każdym oporniku powinno być 10 V .

✓ Zamiast oporników $10\text{ k}\Omega$ umieść $20\text{ k}\Omega$. Aby uzyskać $20\text{ k}\Omega$ połącz szeregowo dwa oporniki $10\text{ k}\Omega$. Podłącz woltomierz i odczytaj spadek napięcia na dwóch opornikach. Zapisz otrzymaną wartość napięcia.

Woltomierz wskazuje tym razem napięcie 9 V .

✓ Zwiększ wartość oporników do $30\text{ k}\Omega$. Odczytaj spadek napięcia na woltomierzu dla połowy oporników. Zapisz otrzymaną wartość napięcia.

Woltomierz wskazuje tym razem napięcie $8,5\text{ V}$.

✓ Możesz przeprowadzić to samo doświadczenie dla większej ilości oporników.

Zastanów się Czy jesteś w stanie wyznaczyć opór wewnętrzny woltomierza?

✓ Wykorzystując wielkości napięć i oporników wyznacz wielkość oporu wewnętrznego woltomierza.

✓ Czy amperomierz także może zaburzać badany układ, w którym jest podłączony?

✓ Sprawdź także galwanometr.

10 Bezpieczniki i wyłączniki

Bezpiecznik Typowy bezpiecznik to kawałek drucika zamkniętego w szklanym cylinderku. Bezpiecznik jest rodzajem wyłącznika, który po przepływie zbyt dużego prądu przepala się przerywając w ten sposób obwód. Zadaniem bezpiecznika jest ochrona innych elementów obwodu przed skutkami przepływu zbyt dużego prądu. Jest najsłabszym punktem całego obwodu tak aby w razie awarii ochronić urządzenie przed poważnym uszkodzeniem, a jednocześnie łatwo było znaleźć usterkę.

Ćwiczenie 28 Ochrona żarówek

Cel ćwiczenia: Uczeń dopasuje optymalny bezpiecznik do żarówki lub układu żarówek.

- ✓ Z menu „Narzędzia” wybierz płytkę perforowaną 30 cm x 120 cm oraz kilka przewodów regulowanych. Możesz również wybrać układ 2 „Łączenie żarówek”, a następnie modyfikować go.
- ✓ Połącz żarówkę z zasilaczem. Do każdej z żarówek dobierz bezpiecznik, który będzie chronił żarówkę przed przepaleniem.
- ✓ Wybierz jedną z żarówek oraz dopasowany do niej bezpiecznik. Zamiast jednej żarówki, włącz trzy te same żarówki połączone szeregowo. Czy bezpiecznik nadal spełnia swoją rolę?
- ✓ Zamiast jednej żarówki, włącz trzy te same żarówki połączone równolegle. Czy bezpiecznik nadal spełnia swoją rolę?

Ćwiczenie 29 Bezpiecznik jako ochrona przed zwarcieniem

Cel ćwiczenia: Uczeń dowie się, że jedną z przyczyn przepalenia się bezpiecznika może być zwarcie w obwodzie elektrycznym.

- ✓ Z menu „Narzędzia” wybierz kilka przewodów regulowanych, zasilacz oraz płytkę perforowaną 60 cm x 60 cm.
- ✓ Połącz szeregowo zasilacz, bezpiecznik 2 A oraz żarówkę 12 V.

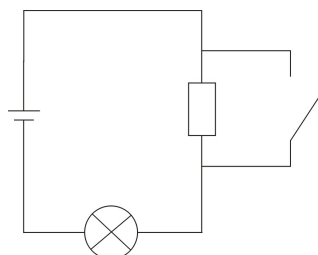
Ustaw na wyjściu zasilacza napięcie 12 V. Czy żarówka się świeci?
✓ Zatrzymaj doświadczenie. „Wykręć” żarówkę z układu i zasymuluj zwarcie elektryczne węzłów, do których podłączona była uprzednio żarówka. Uruchom doświadczenie. Jak się zachowuje układ po zwarciu?

Uczeń powinien wyciągnąć żarówkę i zasymulować zwarcie umieszczając zamiast żarówki krótki przewód z pudełka. Po uruchomieniu doświadczenia bezpiecznik się przepala.

Ćwiczenie 30 Układ z wyłącznikiem

Cel ćwiczenia: Aby wyjaśnić zachowanie układu z wyłącznikiem otwartym i zamkniętym, uczeń powinien znać prawo Ohma, prawa Kirchhoffa oraz powinien wiedzieć jak policzyć moc.

- ✓ Z menu „Narzędzia” wybierz kilka przewodów regulowanych, zasilacz oraz płytkę perforowaną 60 cm x 60 cm.
- ✓ Zbuduj obwód według poniższego schematu. Wybierz żarówkę 0,5 A na napięcie 6 V oraz opornik 22 Ω .



- ✓ Ustaw napięcie na wyjściu zasilacza 6 V. Uruchom doświadczenie. Wyjaśnij zachowanie żarówki. Żarówka świeci silnie gdy wyłącznik jest zamknięty. Po otwarciu wyłącznika żarówka świeci słabo, gdyż część mocy jest wydzielona na oporniku.
- ✓ Wyznacz moc wydzieloną na żarówce oraz oporniku w przypadku, gdy wyłącznik jest otwarty i zamknięty.



Gdańsk 2013