

Elektryczność

Pracownia Dydaktyki Fizyki

Semestr letni 2006

Wstęp teoretyczny

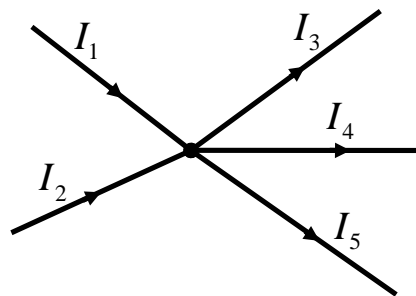
Zgodnie z prawem Ohma różnica potencjałów U (czyli napięcie elektryczne spadek napięcia) pomiędzy dwoma końcami przewodnika jest proporcjonalne do natężenia I prądu płynącego przez przewodnik, czyli

$$U = R \cdot I \quad (1)$$

Współczynnik proporcjonalności R zwany jest opornością przewodnika. Jednostką oporności jest 1 Ohm (1Ω). Opór przewodnika jest proporcjonalny do jego długości l i odwrotnie proporcjonalny do przekroju poprzecznego S

$$R = \frac{\rho \cdot l}{S} \quad (2)$$

I prawo Kirchhoffa dotyczy węzłów obwodu elektrycznego, tzn. punktów, w których zbiega się kilka przewodów. Suma natężeń prądów wpływających do węzła jest równa sumie natężeń prądów z niego wypływających, np. dla sytuacji przedstawionej na rysunku 1.



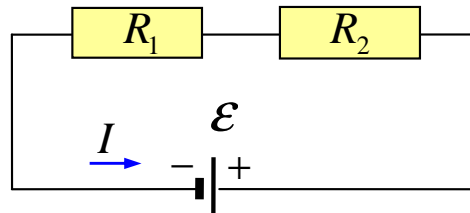
Rysunek 1: Węzeł obwodu elektrycznego

$$I_1 + I_2 = I_3 + I_4 + I_5 \quad (3)$$

Jest to prosta konsekwencja zasady zachowania ładunku elektrycznego: w węzłach sieci ładunek nie znika i nie gromadzi się w trakcie przepływu prądu.

II prawo Kirchhoffa dotyczy obwodów zamkniętych, czyli tzw. oczek (rysunek 2). Słownie treść tego prawa można wyrazić następująco: *W dowolnym obwodzie*

zamkniętym suma sił elektromotorycznych jest równa sumie spadków napięć na elementach obwodu. Dla złożonych obwodów, II prawo Kirchhoffa stosuje się dla dowolnego "oczka" obwodu. Siła elektromotoryczna jest to napięcie generowane np. przez znajdującą się w obwodzie baterię lub zasilacz prądu stałego.



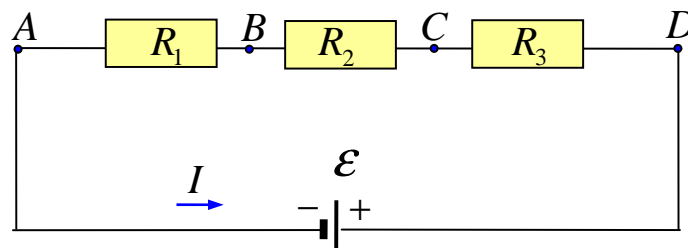
Rysunek 2: Obwód zamknięty - II prawo Kirchhoffa

Dla obwodu przedstawionego na rysunku 2, spełniona więc jest zależność:

$$E = I \cdot R_1 + I \cdot R_2 \quad (4)$$

Całkowita oporność przewodników połączonych szeregowo (rysunek 3) jest równy sumie oporności tych przewodników:

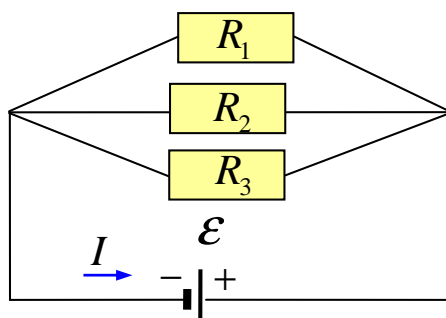
$$R = R_1 + R_2 + R_3 + \dots + R_n \quad (5)$$



Rysunek 3: Przewodniki połączone szeregowo

Całkowita oporność przewodników połączonych równolegle (rysunek 4) spełnia zależność:

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \dots + \frac{1}{R_n} \quad (6)$$



Rysunek 4: Przewodniki połączone równolegle

Wykonanie ćwiczenia

Przez cały czas trwania ćwiczeń z elektryczności dostępne są następujące przyrządy:

- Zasilacz niskiego napięcia
- Generator drgań sinusoidalnych
- Oscyloskop
- Miernik uniwersalny
- Woltomierz cyfrowy
- Opornica suwakowa
- Opornica dekadowa
- Kondensator dekadowy
- Tablica do montowania obwodów
- Elementy R, L, C
- Bateria

Przed przystąpieniem do pomiarów zaproponowanych w kolejnych częściach skryptu warto rozwiązać zadania domowe (umieszczone na końcu skryptu), a po zakończeniu pomiarów, opracować całość materiału zawartego w danej części skryptu oraz wykonać opis wykonanego zadania. W opisie powinny znaleźć się potrzebne wykresy, wyniki pomiarów wraz z dyskusją i rachunkiem błędu oraz wnioski. Schemat sprawozdania zwykle zawiera następujące punkty:

Streszczenie zawierające kilka zdań o tym, co zostało przedstawione w pracy;

Wstęp czyli teoretyczne spojrzenie na badane zjawisko;

Analiza, w której należy umieścić wyniki w postaci wykresów i tabel;

Wnioski zawierające przemyślenia autora na temat otrzymanych wyników, analizę niepewności związanych z dokonanymi pomiarami i propozycje ulepszenia ćwiczenia;

Podsumowanie czyli przedstawienie w skrócie tego, co zostało zrobione podczas ćwiczenia.

Sprawne wykonanie ćwiczenia oraz pozytywna ocena ze sprawozdania stanowią warunek zaliczenia danej części materiału.

1. Pomiar napięcia, natężenia i oporu

Celem tej części ćwiczeń jest:

- Zdobyć umiejętności posługiwania się miernikami do pomiaru prądu i napięcia.
- Uświadomienie sobie wpływu oporu wewnętrznego miernika na badany obwód.
- Poznanie metod wyznaczania oporu wewnętrznego i siły elektromotorycznej baterii.

A. Zapoznaj się z działaniem miernika uniwersalnego.

Pamiętaj, że wybranie mierzonej wielkości i zakresu pomiaru powinno nastąpić przed podłączeniem miernika. Podłączenie do obwodu miernika z nieodpowiednio wybranym zakresem może spowodować jego uszkodzenie, podobnie jak nieuważna zmiana zakresu w trakcie pomiaru - zwróć uwagę, że w tym typie miernika przekręcenie pokrętki do pozycji "wyłączony" wymaga przejścia pokrętką przez kilka różnych zakresów pomiarowych i w trakcie tej operacji miernik może ulec uszkodzeniu, jeżeli jest podłączony do obwodu.

B. Używając miernika uniwersalnego jako omomierza, zmierz opór:

- opornika suwakowego dla kilku różnych położeń suwaka w tym dla położenia odpowiadającego minimalnej i maksymalnej oporności;
- swojego ciała, mierzoną od jednej ręki do drugiej (sprawdź, czy wilgotność palców wpływa na wynik pomiaru);
- oporników znajdujących się w zestawie (czy zmierzone wartości są dokładnie zgodne z wartościami nominalnymi ?).

C. Zbuduj obwód przedstawiony na rysunku nr 3

Sprawdź czy całkowita oporność przewodników połączonych szeregowo jest równa sumie oporności tych przewodników (zgodnie ze wzorem 5).

Zmierz spadek napięcia na każdym z oporników (V_{AB} , V_{BC} , V_{CD}) oraz na wszystkich trzech opornikach łącznie (pomiar pomiędzy punktami AD). Jaki jest związek między V_{AD} a V_{AB} , V_{BC} , V_{CD} ?

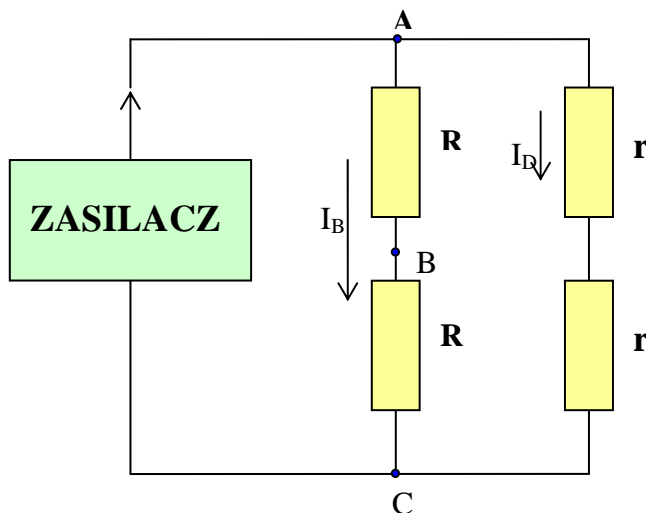
Sprawdź czy napięcie i natężenie prądu płynącego w obwodzie spełniają prawo Ohma. W tym celu musisz podłączyć do obwodu drugi miernik, który będzie pełnił rolę amperomierza - zastanów się jak to zrobić. Czy opory wewnętrzne amperomierza i woltomierza są podobne?

Dla różnych napięć zasilacza, wykonaj pomiary spadku napięcia na dowolnym z oporników oraz natężenie prądu płynącego w obwodzie. Sporządź wykres $U(I)$. Wyznacz oporność opornika i porównaj ją z opornością zmierzoną za pomocą omomierza.

D. Zbuduj obwód przedstawiony na rysunku nr 4

Za pomocą omomierza zmierz całkowitą oporność oporników i porównaj ją z opornością, którą możesz obliczyć wykorzystując wcześniej zmierzone oporności pojedynczych oporników. Wyznacz opór układu mierząc natężenie i napięcie w obwodzie.

E. Zbuduj obwód przedstawiony na poniższym rysunku



Mierząc napięcia i natężenia prądu sprawdź prawa Kirchhoffa dla jednego z węzłów obwodu i jednego z oczek. Pamiętaj o poprawnym podłączeniu amperomierza i woltomierza. Realizacja tego zadania wymaga podłączenia obu przyrządów w kilku różnych miejscach obwodu - przed rozpoczęciem pomiarów przemyśl i zaplanuj kolejne czynności.

F. Podłącz baterię do opornika suwakowego.

Suwak opornika ustaw w pozycji odpowiadającej maksymalnej oporności. Za pomocą miernika uniwersalnego używanego jako woltomierz, mierz napięcie na zaciskach baterii, zmieniając jednocześnie położenie suwaka opornika. Czy obserwujesz zmiany mierzonego napięcia? Wyjaśnij to zjawisko. Czy w tym doświadczeniu zmienia się siła elektromotoryczna baterii?

Uwaga: baterię podłączaj do obwodu tylko na czas samego wskazania miernika - nigdy nie trzymaj baterii podłączonej do obwodu dłużej niż przez kilka sekund. Powtórz pomiary stosując zasilacz prądu stałego zamiast baterii.

2. Sygnały elektryczne, oscyloskop i generator niskiej częstotliwości

Celem tej części ćwiczenia jest:

- nabycie umiejętności posługiwania się oscyloskopem i generatorem;
- poznanie zasady pomiaru prądów przemiennych przy pomocy oscyloskopu.

A. Obsługa oscyloskopu:

- Włącz oscyloskop, uzyskaj na ekranie świecący punkt i zbadaj funkcjonowanie regulatorów.
- Na małej częstotliwości podstawy czasu "podrażnij" oscyloskop na wejściach X i Y kawałkiem drutu. Podłącz na chwilę stałe napięcie ok. 2 V. Zbadaj funkcję przełącznika AC - DC.
- Włącz kawałek drutu (tzw. srebrzanki) na stałe do oscyloskopu (wejście Y) i zmierz częstotliwość i amplitudę otrzymanego sygnału. Od czego ona zależy?
- Czy rozumiesz powody posługiwania się kablem koncentrycznym? Eksperymentuj! (n.p. podłącz siebie i kolegę, jak wytłumaczysz ewentualną różnicę w amplitudzie sygnału?).

B. Zagadnienia wyzwalań

Podstawa czasu może być wyzwalana wewnętrznym generatorem w sposób ciągły lub rozpoczynać ruch plamki tylko w momencie pojawienia się na jednym z wejść sygnału o amplitudzie przewyższającej pewną amplitudę progową zwaną "poziomem wyzwalań".

Przy wyzwalań stacjonarnym obraz na ekranie możemy otrzymać tylko w przypadku idealnej synchronizacji częstotliwości sygnału wejściowego z częstotliwością podstawy czasu, co jest trudne do zrealizowania.

Podstawę czasu można być wyzwalana wewnętrznym generatorem także wyzwalać dodatkowym impulsem podanym na oddzielne wejście oscyloskopu (wzwalanie zewnętrzne).

Zbadaj różne metody wyzwalań i sprawdź czy rozumiesz wszystkie otrzymane efekty. Czy wiesz, kiedy obraz sinusoidy z generatora płynie w lewo lub w prawo, kiedy jest ona podwójna itp.

C. Generator drgań sinusoidalnych

Włącz generator i ustaw na nim częstotliwość 100 Hz oraz napięcie wyjściowe około 1 V. Zmierz napięcie miernikiem uniwersalnym.

Połącz generator z oscyloskopem. Przy pomocy oscyloskopu wyznacz amplitudę sygnału i porównaj ze zmierzonym napięciem. Zmieniaj amplitudę i częstotliwość.

D. Impedancja wyjściowa generatora i wejściowa oscyloskopu

Często zdarza się, że trzeba znać, chociażby w przybliżeniu impedancję wyjściową lub wejściową przyrządów, którymi się posługujemy.

a. Wyznaczanie impedancji wyjściowej generatora:

Założ, że składa się ona tylko z oporu rzeczywistego (pomijamy indukcyjność i pojemność).

Zastosuj metodę analogiczną do pomiaru oporu rzeczywistego baterii, używając oscyloskopu jako woltomierza (można pominąć jego opór wejściowy).

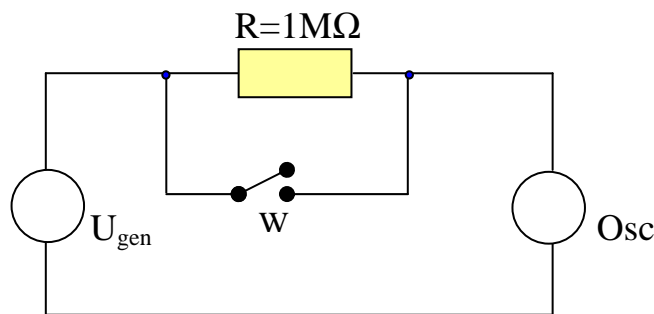
Opór zewnętrzny zmieniaj w granicach $200\ \Omega$ do $2000\ \Omega$ (dla generatora o $R_W=600\ \Omega$) lub $20\ \Omega$ do $200\ \Omega$ (dla generatora o $R_W=50\ \Omega$).

Porównaj otrzymaną wartość z oporem generatora podanym na jego płycie czołowej.

b. Wyznaczanie impedancji wejściowej oscyloskopu.

Założ, że jest ona oporem rzeczywistym. Ustaw przełącznik w położeniu "DC".

- Ustaw $U_{\text{gen}} = 2\ \text{V}$



W obwodzie, jak na rysunku, zmierz napięcie U_0 mierzone przez oscyloskop dla wyłącznika W zwartego i rozwartego. Wyprowadź wzór na opór oscyloskopu R_0 (opór generatora można pominąć).

Pomiar wykonaj dla częstotliwości $f=10\ \text{Hz}$, $100\ \text{Hz}$, $1\ \text{kHz}$ i $10\ \text{kHz}$.

Sprawdź czy zmiana położenia przełącznika z pozycji "DC" do pozycji "AC" powoduje zauważalne zmiany U_0 .

Powtórz pomiar dla prądu stałego, stosując zasilacz zamiast generatora.

- Zaobserwuj na oscyloskopie rozładowanie przez wejście Y kondensatora o pojemności $C=10\ \mu\text{F}$ lub $3.3\ \mu\text{F}$. Zmierz przebieg rozładowania i na tej podstawie określ R_0 . (Wykorzystaj wynik rozwiązania domowego zadania 7). Do pomiaru czasu można wykorzystać stoper.

Porównaj wyniki otrzymane pierwszą i drugą metodą.

UWAGA! Można wykonać pomiar pojemności "AC" ($R = 20\ \text{M}\Omega$)

E. Figury Lissajous

Jeżeli oscyloskop nie ma już dla Ciebie tajemnic, połącz generator z wejściem X, a z wejściem Y kawałek srebrzanki lub drugi generator.

Czy wszystko przebiega zgodnie z Twoimi oczekiwaniami?

Czy rozumiesz pozorne obroty krzywych w przestrzeni?

Narysuj i wyjaśnij kilka zaobserwowanych krzywych.

Zadania domowe

Zadanie 1.

Mikroamperomierz ma opór wewnętrzny $2.5 \text{ k}\Omega$, a pełne wychylenie wskazówki następuje przy przepływie prądu o natężeniu $50 \mu\text{A}$.

- a) Jak zamienić mikroamperomierz na woltomierz?
- b) Oblicz wartość oporu potrzebną na to, by pełne wychylenie wskazówki następowało przy napięciu 10 V .
- c) Jak zamienić mikroamperomierz na amperomierz?
- d) Oblicz wartość oporu potrzebną na to, by pełne wychylenie następowało przy przepływie prądu 1 mA .
- e) Pytanie dla dociekliwych: Czy potrafisz zamienić mikroamperomierz na omomierz? Potrzebna jest bateria i oporniki. Dobierz wartości parametrów odpowiednie do miernika oporności rzędu $1 \text{ k}\Omega$ (czyli takie, by opór $1 \text{ k}\Omega$ powodował wychylenie wskazówki o pół skali).

Zadanie 2.

Opornikiem jest cienka warstwa grubości 0.01 mm o rozmiarach $4 \text{ mm} \times 20 \text{ mm}$ i oporności właściwej $0.01 \Omega/\text{m}$. Oblicz opór warstwy, gdy styki elektryczne są wzdłuż krótkich krawędzi.

Zadanie 3.

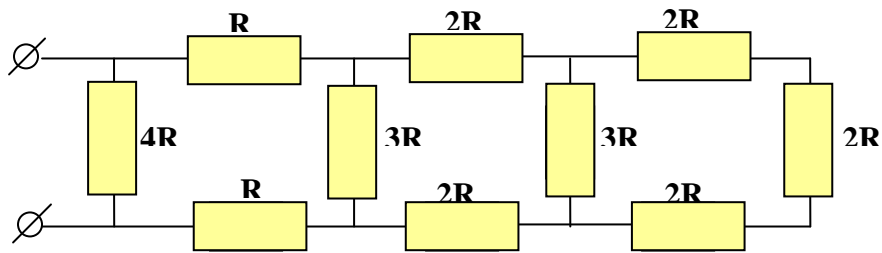
Jaki największy prąd można bezpiecznie przepuścić przez opornik $1/2$ - watomowy o oporności $5 \text{ k}\Omega$? Jakie jest dopuszczalne napięcie?

Zadanie 4.

Naszkiecuj dzielnik napięcia pozwalający uzyskać napięcia 1 , 2 i 3 V z baterii 10 -woltowej, przy poborze prądu z baterii 1 mA i zaniedbywanym poborze prądu przez odbiorniki.

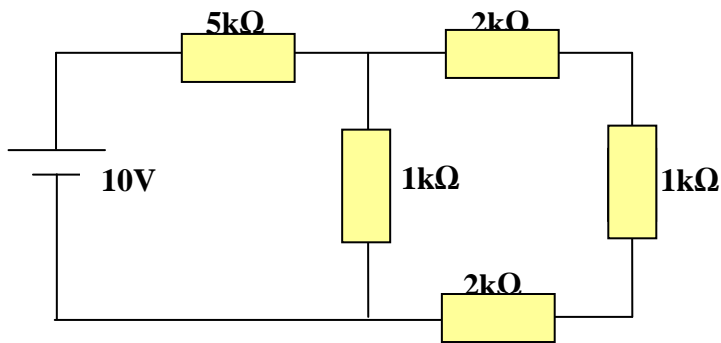
Zadanie 5.

Znajdź opór zastępczy sieci:



Zadanie 6.

Oblicz prądy płynące przez opory:



Zadanie 7.

Wyznacz czas rozładowania kondensatora od napięcia U_0 do napięcia $U < U_0$ o pojemności C przez opór R .