

XXXVII OLIMPIADA FIZYCZNA (1987/1988). Stopień II, zadanie doświadczalne – D

Źródło: Komitet Główny Olimpiady Fizycznej;
Waldemar Gorzkowski, Andrzej Kotlicki: Fizyka w Szkole nr 4, 1988 r.

Nazwa zadania: Wyznaczanie oporu wewnętrznego miernika elektrycznego.

Działy: Elektryczność

Słowa kluczowe: prąd elektryczny, stały, siła elektromotoryczna, napięcie, natężenie, opór, prawa Kirchhoffa. miernik elektryczny, woltomierz, amperomierz, oporniki, opór wewnętrzny miernika

Zadanie doświadczalne – D, zawody II stopnia, XXXVII OF.

Mając do dyspozycji:

- wielozakresowy miernik elektryczny o dokładności 1,5% danego zakresu pomiarowego,
- źródło prądu stałego o ustalonym określonym napięciu wynoszącym około 20 – 30 V,
- oporniki o różnych wartościach znanych z dokładnością do $\pm 10\%$,
- przewody do połączeń, krokodylki,
- papier milimetrowy,

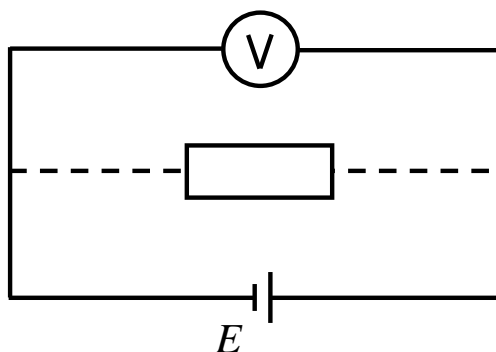
wyznacz opór wewnętrzny tego miernika na następujących zakresach dla prądu stałego:

1. Woltomierz – 30 V,
2. Amperomierz – 6 mA.

Oceń dokładność otrzymanych wyników.

Uwaga: Zwróć uwagę na możliwość uszkodzenia miernika przez jego niewłaściwe włączenie do źródła (szczególnie na zakresie prądowym); przed przystąpieniem do pomiarów konieczne jest zwrócenie się do asystenta o sprawdzenie obwodu.

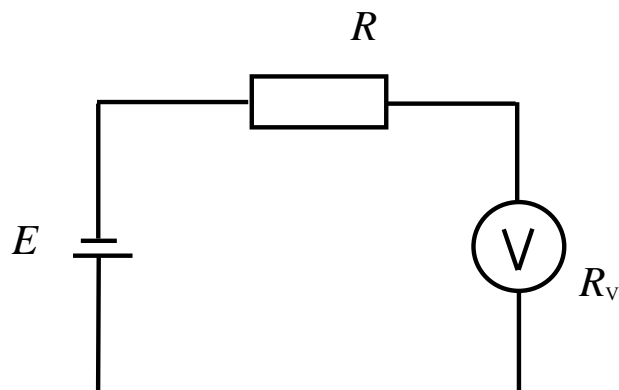
W miejscach wykropkowanych zawodnicy mieli wpisane wartości odpowiadające ich zestawom doświadczalnym. Używano zwykle źródła napięcia 20–30 V o zakresach 30 V dla woltomierza i 6 mA dla amperomierza. Należy zwrócić uwagę, że sformułowanie „źródła prądu stałego o ustalonym określonym napięciu” sugeruje pomijalny opór wewnętrzny zasilacza lub baterii. Opór wewnętrzny źródła napięcia można było zresztą łatwo oszacować dołączając do niego równoległe woltomierz, a następnie sprawdzając czy dołączenie równoległe niewielkiego oporu nie zmienia napięcia wskazywanego przez woltomierz (patrz rys. 1).



Rys. 1.

Rozwiązanie

Opór wewnętrzny woltomierza R_V wyznaczamy stosując obwód z rys. 2 z oporem R o różnych wartościach



Rys. 2.

Z drugiego prawa Kirchhoffa mamy

$$E = (R + R_V) \cdot I,$$

gdzie I jest natężeniem prądu w obwodzie. (Zakładamy, że opór wewnętrzny źródła $r \ll R + R_V$).

Ponadto napięcie na woltomierzu wynosi

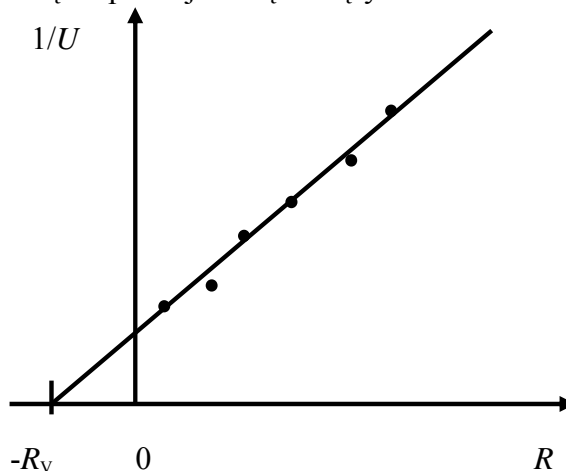
$$U = R_V \cdot I.$$

Z powyższych równań znajdujemy związek

$$\frac{1}{U} = \frac{1}{E \cdot R_V} \cdot (R + R_V),$$

który umożliwi nam wyznaczenie R_V na podstawie pomiarów U dla różnych wartości oporu R .

W tym celu sporządzamy wykres $\frac{1}{U}(R)$, prowadzimy prostą jak na rys. 3 i wyznaczamy R_V na podstawie punktu przecięcia prostej z osią odciętych.

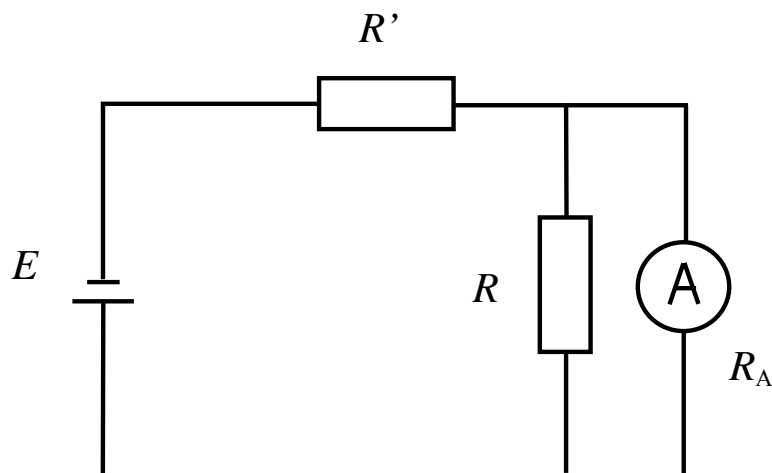


Rys. 3.

Opór wewnętrzny amperomierza R_A można w zasadzie wyznaczyć tą samą metodą, co R_V . Metoda ta jednak daje sensowne wyniki, jeśli wartość E jest zbliżona do wartości spadku napięcia na mierniku przy pełnym jego wychyleniu (odpowiadało to zakresowi woltomierza).

Spadek ten w przypadku amperomierza jest bardzo mały (tutaj rzędu 0,1 V) – wielokrotnie niższy od napięcia źródła E . Skorzystamy z tego, by uzyskać źródło w przybliżeniu stałego prądu: łączymy w tym celu szeregowo ze źródłem opornik R' o wartości takiej, aby prąd $I' = E/R'$ był równy lub nieco niższy od zakresu amperomierza.

Zestawiamy obwód wg rys. 4 stosując opór R o różnych wartościach.



Rys. 4.

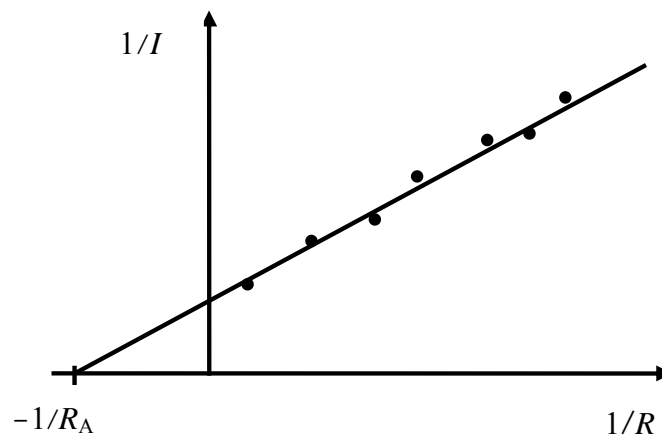
Jeśli prąd pobierany ze źródła oznaczymy I' , a prąd płynący przez amperomierz przez I , to z równań Kirchhoffa dla tego obwodu otrzymamy związek:

$$\frac{1}{I} = \frac{R_A}{I'} \cdot \left(\frac{1}{R} + \frac{1}{R_A} \right).$$

Widzimy, że doświadczalna zależność $\frac{1}{I} \left(\frac{1}{R} \right)$ umożliwi nam, podobnie jak w poprzednim przypadku, wyznaczenie wartości R_A na podstawie wykresu - rys. 5.

Punkt przecięcia prostej wykresu $\frac{1}{I} \left(\frac{1}{R} \right)$ z osią odciętych ma współrzędną $-\frac{1}{R_A}$.

Zadanie to dawało się rozwiązać równie poprawnie bez stosowania wykresu, tylko wyliczając R_V i R_A ze wzorów dla każdego R i biorąc wartość średnią. Należy tu jednak zwrócić uwagę, że zależnie od wartości R opory R_V i R_A wyznaczone są z różną dokładnością. Na przykład dla obwodu z rys. 2 pomiar R_V dla małych wartości $R \ll R_V$ obarczony jest bardzo dużym błędem. Należało, więc dokonać wyboru wyników na R_V i R_A pod kątem dokładności i do obliczenia średniej użyć jedynie wyniki obarczone niewielkim błędem (co zrobiła większość zawodników wykonujących poprawnie zadanie), lub też skorzystać ze średniej ważonej.



Rys. 5.

Uwagi

Niewielka część uczestników radziła sobie z poprawnym rachunkiem błędu. W tym zadaniu warto było zauważyć, że tolerancja oporników 10% nie oznacza 10% błędu uzyskanego wyniku na R_V czy R_A . Jeśli bowiem dokonano pomiarów dla różnych R to otrzymana na R_V czy R_A wartość średnia obciążona była błędem średnim kwadratowym średniej znacznie mniejszym od 10%. Wynika to z faktu, że jest rzeczą niesłychanie mało prawdopodobną, by wszystkie opory różniły się od swoich wartości nominalnych o 10% w górę lub wszystkie o 10% w dół. Natomiast, ponieważ mieliśmy do dyspozycji jeden miernik o klasie np. 1,5%, to błąd tego miernika jest dla wszystkich pomiarów taki sam. Poprawnie ocenili więc błąd ci zawodnicy, którzy wpływ tolerancji R uwzględnili na podstawie błędu średniego kwadratowego średniej lub z możliwego błędu współczynnika odczytanego z wykresu i dodali do tego wpływ klasy miernika.

Ogólnie zadanie wypadło dobrze. 54-rech zawodników uzyskało 15 i więcej punktów na 20 możliwych. Stosowanie metody wykresu okazało się mniej popularne od metody obliczeniowej.