

## V OLIMPIADA FIZYCZNA (1955/1956). Stopień wstępny, zadanie doświadczalne – D

**Źródło:** Komitet Główny Olimpiady Fizycznej;

Ostrowski Janusz: Olimpiady Fizyczne V i VI. PZWS, Warszawa 1963, str. 33 – 38.

**Nazwa zadania:** Badanie charakterystyki bateryjki

**Działy:** Elektryczność

**Słowa kluczowe:** SEM, siła elektromotoryczna, prawo Ohma, obwód, opór wewnętrzny, bateryjka, woltomierz, amperomierz, opornica zatyczkowa, mostek Wheatstone'a

### Zadanie doświadczalne – D, zawody stopnia wstępnego, V OF

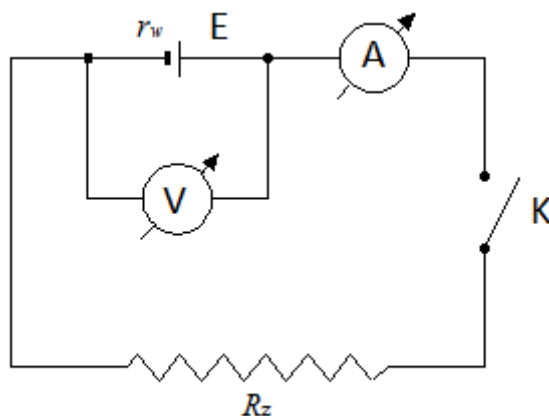
Wyznacz opór wewnętrzny i siłę elektromotoryczną świeżej bateryjki płaskiej. Zbadaj zmiany obu tych wielkości w miarę rozładowywania bateryjki. Porównaj te zmiany przy rozładowywaniu bateryjki prądami o różnych natężeniach.

Sprawdź, w jakich warunkach pomiary nie powodują trwałych zmian właściwości bateryjki.

Opisz, jak wykonałeś pomiary.

### Rozwiązanie

Istnieje szereg metod pomiaru. Najprostszym sposobem pomiaru SEM, w praktyce najzupełniej wystarczającym, jest pomiar różnicy potencjałów na zaciskach nie włączonej w obwód bateryjki dobrym woltomierzem o wysokim oporze. Prąd płynący przez woltomierz ma na tyle znikome natężenie, że spadek napięcia na oporze wewnętrznym bateryjki można pominąć.



Rys. 1.

Znając SEM, zmierzoną w powyższy sposób, można teraz równie prosto przeprowadzić pomiar oporu wewnętrznego  $r_w$ . W tym celu zestawiamy obwód jak wskazuje rysunek. Przy otwartym kluczu  $K$  woltomierz wskazuje SEM. Po zamknięciu obwodu amperomierz wskaże prąd płynący w obwodzie, natomiast woltomierz będzie wskazywał napięcie na biegunach baterii. Opór  $R$  (np. opornica zatyczkowa) tak dobieramy, by zbytnio nie obciążać bateryjki ( $i < 0,3$  A).

Na podstawie prawa Ohma napiszemy

$$i = \frac{E}{r_w + R_z}$$

gdzie  $i$  oznacza wskazanie amperomierza,  $E$  – siłę elektromotoryczną,  $r_w$  – opór wewnętrzny bateryjki, a  $R_z$  – całkowity opór zewnętrzny, będący sumą oporu obciążającego  $R$  i oporu amperomierza. Po przekształceniu mamy

$$E = i r_w + i R_z.$$

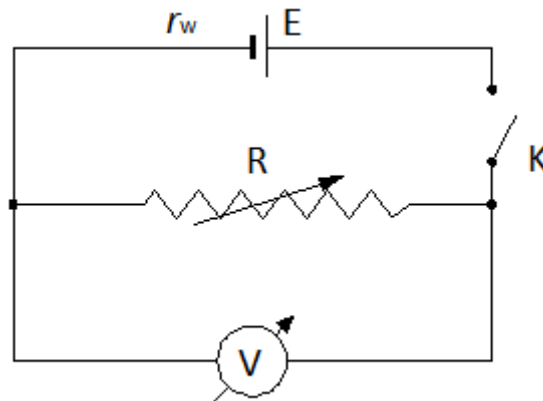
Iloczyn  $i \cdot R_z$  jest właśnie napięciem  $U$  bateryjki w czasie pracy, zatem

$$E = i r_w + U$$

i stąd

$$r_w = \frac{E - U}{i}. \quad (1)$$

Należy przeprowadzić przynajmniej kilka pomiarów przy rozmaitych wartościach oporu obciążającego  $R$ , a następnie wziąć średnią wyników.



Rys. 2.

Można się obyć i bez amperomierza, ograniczając się do woltomierza i dobrej opornicy zatyczkowej (patrz rys. 2). Natężenie prądu wyznaczamy tutaj pośrednio z prawa Ohma dla części obwodu

$$i = \frac{U}{R_z} \quad (2)$$

Łącząc (1) i (2) mamy

$$r_w = \frac{(E - U)}{U} R_z.$$

Podobnie jak poprzednio trzeba wziąć średnią szeregu pomiarów.

Posiłkując się tym samym układem i wykonując za każdym razem pomiar dwukrotnie przy dwóch niższych wartościach oporu obciążającego, możemy wyznaczyć  $r_w$  niezależnie od zmierzonej siły elektromotorycznej. Tak więc dla dwóch wartości oporu obciążającego  $R_1$  i  $R_2$  mamy dwie różne wartości napięcia podczas pracy  $U_1$  i  $U_2$ . Stosując prawo Ohma, napiszemy dla obu przypadków

$$\frac{U_1}{R_1} = \frac{E}{r_w + R_1}, \quad \frac{U_2}{R_2} = \frac{E}{r_w + R_2}. \quad (3)$$

Jest to układ dwóch równań z dwiema niewiadomymi  $r_w$  i  $E$ . Rugując  $E$ , mamy

$$r_w = \frac{(U_2 - U_1) R_1 R_2}{U_1 R_2 - U_2 R_1}. \quad (4)$$

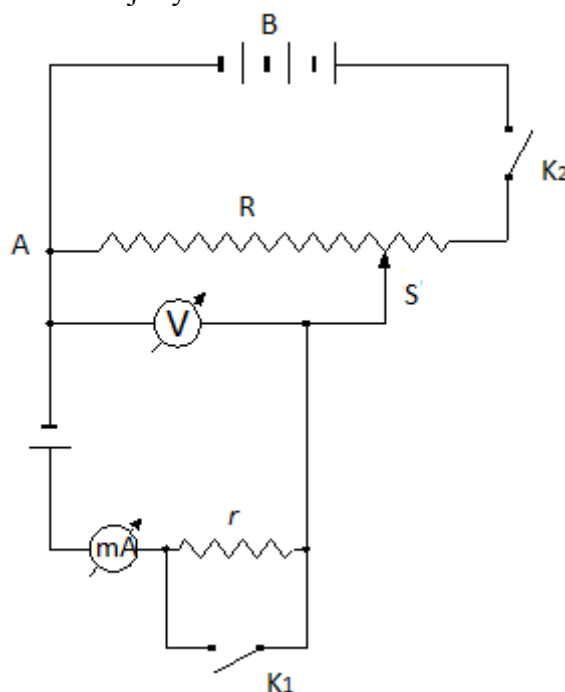
Podobnie, rugując  $r_w$  z równań (3), możemy wyznaczyć siłę elektromotoryczną

$$E = \frac{(R_1 - R_2) U_1 U_2}{R_1 U_2 - R_2 U_1} \quad (4')$$

Powyższa metoda pomiaru  $r_w$  i  $E$ , ze względu na niewielkie różnice wskazań przy obu oporach, nie jest zbyt dokładna.

Najdokładniej zmierzyć można siłę elektromotoryczną baterijki tzw. metodą kompensacyjną. Polega ona na porównywaniu badanego napięcia z napięciem wzorcowym.

Zestawiamy obwód jak wskazuje rysunek.



Rys. 3.

Bateria akumulatorów  $B$  jest źródłem napięcia nieco wyższego niż przewidywana siła elektromotoryczna badanej baterijki. Włączając klucz  $K_2$  zamykamy obwód baterii akumulatorów kilkusetomową opornicą suwakową  $R$ . Woltomierz  $V$  wskazuje napięcie między zaciskiem  $A$  opornicy a jej suwakiem  $S$ . Takie połączenie umożliwia ciągłą zmianę napięcia wzorcowego potrzebnego nam do pomiaru. Odcinek  $AS$  opornicy stanowi jednocześnie część właściwego obwodu pomiarowego złożonego z badanej baterijki, czułego miliamperomierza i oporu dodatkowego  $r$  (parę kiloomów), który można zwierać kluczem  $K_1$ . Układ połączony jest w taki sposób, by SEM baterijki oraz spadek napięcia na odcinku opornicy  $AS$  miały zwroty przeciwne. Prąd w obwodzie pomiarowym płynie tylko wtedy, gdy napięcie na odcinku  $AS$  i SEM baterijki różnią się wartościami bezwzględnyymi.

Rozpoczynając pomiar, zamykamy klucz  $K_2$ , a następnie przesuwamy suwak  $S$ . Zaobserwujemy wychylenia wskazówki miliamperomierza w lewo lub w prawo od położenia zerowego, zależnie od tego, czy SEM baterijki jest większa czy mniejsza od napięcia na odcinku  $AS$  opornicy  $R$ . Można znaleźć takie położenie suwaka, przy którym nastąpi całkowita kompensacja – miliamperomierz pokaże wówczas zero, a woltomierz da nam poszukiwaną wartość SEM baterijki.

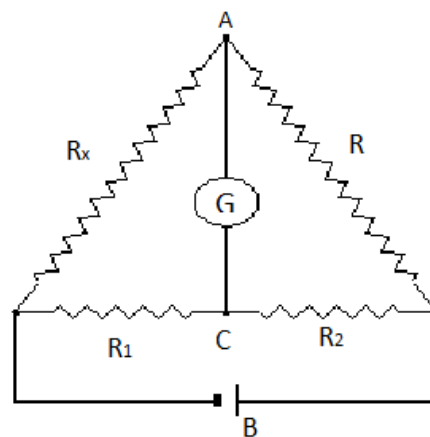
Pierwsze poszukiwanie odpowiedniego położenia suwaka przeprowadzamy przy otwartym kluczu  $K_1$ , czułość wtedy dzięki oporowi  $r$  będzie niższa, ale zabezpiecza to przed przeciążeniem miliamperomierza. Dokładniejsze ustawienie  $S$  przeprowadzamy po zamknięciu klucza  $K_1$ .

Ponieważ miliamperomierz może być niedokładnie wyzerowany, więc dla sprawdzenia, czy istotnie prąd nie płynie, otwieramy i zamykamy kilkakrotnie klucz  $K_2$ . Wskazówka powinna pozostać przy tym zupełnie nieruchoma.

Zamiast miliamperomierza lepiej użyć galwanometru, który ma punkt zerowy na środku skali.

Na zakończenie przytoczymy jeszcze krótko dokładny sposób wyznaczania oporu wewnętrznej baterijki metodą zmodyfikowanego mostka Wheatstone'a<sup>1</sup> (rys. 4).

<sup>1</sup> Zwykły mostek Wheatstone'a, używany najczęściej do mierzenia oporów tzw. Metodą zerową, przedstawiony jest na rys. 5.



Rys. 5.

Dobieramy tak wartości czterech oporów, aby przez galwanometr  $G$  nie płynął prąd. Wówczas punkty  $A$  i  $C$  mają ten sam potencjał, a zatem równe są odpowiednie spadki potencjałów

$$i_1 R_1 = i_z R_z$$

oraz

$$i_1 R_2 = i_z R$$

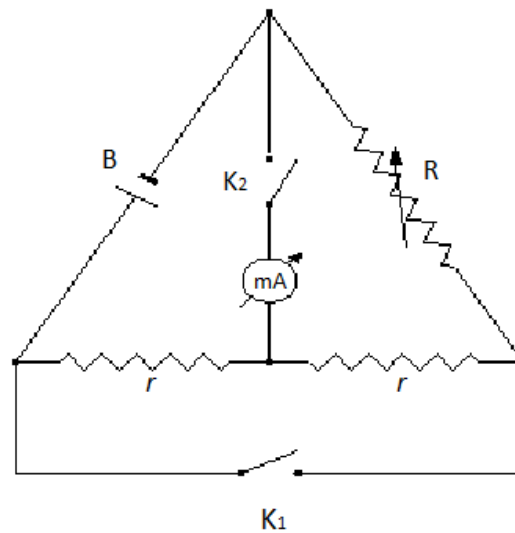
(gdzie  $i_1$  jest natężeniem prądu płynącego przez opory  $R_1$  i  $R_2$ , zaś  $i_z$  natężeniem prądu płynącego przez opory  $R_x$  i  $R$ ); stąd

$$\frac{i_1}{i_z} = \frac{R_z}{R_1} = \frac{R}{R_2}$$

zatem

$$R_z = R \cdot \frac{R_1}{R_2}$$

Znając opory  $R_1$ ,  $R_2$ ,  $R$  wyznaczmy tą drogą nieznaną opór  $R_x$ . W szczególnym przypadku możemy tak dobrać opory, aby  $R_1 = R_2 = r$ , wówczas  $R_x = R$ .



Rys. 4.

Po zamknięciu wyłącznika  $K_2$  dobieramy tak opór  $R$  (opornica zatyczkowa), by zamykanie i otwieranie klucza  $K_1$  nie zmieniało wychylenia miliamperomierza. (W czasie zmieniania oporu klucza  $K_2$  powinien być wyłączony.) W ten sposób dobrany opór  $R$  równy jest oporowi wewnętrznemu baterijki.

Jeżeli będziemy wyładowywać baterijkę czerpiąc z niej prąd, na przykład paląc żaróweczkę w ciągu kilku godzin, będziemy mogli zbadać, jak zmienia się siła elektromotoryczna baterijki i jej opór wewnętrzny w miarę rozładowywania. Wystarczy w jednakowych odcinkach czasu, na przykład co 20 minut, odłączać żaróweczkę, przeprowadzać odnośne pomiary i znowu włączać żaróweczkę. Seria takich pomiarów wykaże nam, że SEM stopniowo maleje, a opór wewnętrzny rośnie. Zmiany te występują najszybciej na samym początku rozładowywania, a więc gdy baterijka jest jeszcze nowa. Stąd płynie wniosek, że nasze pomiary, zwłaszcza pomiary nowej baterijki, należy przeprowadzać z małymi prądami obciążającymi i możliwie szybko. Ponieważ jednak przy małych prądach rosną błędy pomiaru wywołane przez małe wychylenia, optymalną wartość prądu najlepiej dobrać eksperymentalnie.

Otrzymane wyniki najwygodniej jest przedstawić na wykresach podających zależność SEM od czasu  $E = f(t)$  oraz oporu wewnętrznego od czasu  $r_w = f(t)$ ; obie zależności dla kilku różnych wartości prądu rozładowania.