

# POMIAR RÓŻNICY POTENCJAŁÓW METODĄ KOMPENSACJI (POMIAR SEM I OPORU WEWNĘTRZNEGO OGNIWA ). POTENCJOMETR.

- I. Cel ćwiczenia:** pomiar siły elektromotorycznej ogniwi suchych (1,5V, 4,5V), pomiar oporu wewnętrznego  $r$  tych ogniwi, zapoznanie z metodą kompensacji pomiaru napięcia.
- II. Przyrządy:** zasilacz stabilizowany, ogniwo wzorcowe Westona, ogniwa suche (1,5V, 4,5V), opornik dekadowy, 3 wyłączniki przyciskowe, w tym jeden z oporem zabezpieczającym ogniwo Westona, galwanoskop lub inny przyrząd będący wskaźnikiem przepływu prądu, opornik suwakowy o  $R = 5 \text{ k}\Omega$  i o drucie nawiniętym jednolicie na wałku o długości co najmniej 0,5 m (można użyć również dzielnika napięcia DNa18).
- III. Literatura:** H. Hofmokl, A. Zawadzki    Laboratorium Fizyczne

## IV. Wstęp

Jeżeli wartość natężenia prądu, płynącego przez jakiś odcinek obwodu jest uzależniona wyłącznie od wartości jego oporu, można zmierzyć napięcie na końcach odcinka używając do tego celu woltomierza.

Jest to przypadek, gdy dany odcinek obwodu jest bezpośrednio połączony ze źródłem prądu ( tzn., że między końcami przewodnika i źródłem prądu nie ma żadnych innych oporników, albo że ich opór jest mały w porównaniu z oporem rozpatrywanego odcinka obwodu ) i gdy źródło prądu ma znikomy opór wewnętrzny.

Można również mierzyć napięcie woltomierzem między dowolnymi dwoma punktami obwodu zawierającego większą liczbę oporników pod warunkiem, że natężenie prądu płynącego przez każdy z tych oporników jest znacznie większe od natężenia prądu płynącego przez woltomierz.

Gdy warunki powyższe nie są spełnione, pomiar napięcia za pomocą woltomierza obarczony jest błędem, ponieważ włączenie woltomierza do obwodu powoduje spadek napięcia między punktami, do których przyłączono woltomierz.

Z tego powodu do pomiaru napięć w obwodach zawierających oporniki o dużych oporach lub zasilanych przez źródła o dużym oporze wewnętrznym używa się woltomierzy o dużym oporze. Konstruowanie woltomierzy o oporności wejściowej większej niż  $10 \text{ M}\Omega$  nie stanowi żadnego problemu technicznego.

Jeżeli zamierza się wyznaczyć dokładnie napięcie w obwodzie o bardzo dużym oporze lub napięcie w układzie, w którym prąd nie płynie, używa się do tego celu w zasadzie elektrometru lub woltomierza elektrostatycznego.

W celu przeprowadzenia pomiaru napięcia w obwodzie, w którym nie płynie prąd, stosować można również tzw. *metodę kompensacji*. Pomiaru takie stosuje się wtedy ( podobnie jak pomiary elektrometryczne), gdy nie należy np. obciążać źródła napięcia poborem prądu.

Napięcie na biegunach źródła prądu, którego obwód zewnętrzny jest otwarty nazywamy *siłą elektromotoryczną* danego źródła prądu, np. ogniwa galwanicznego.

Pomiar siły elektromotorycznej ogniwa umożliwia wyznaczenie oporu wewnętrznego ogniwa przez dodatkowy pomiar napięcia na biegunach ogniwa podczas przepływu prądu przez znany opór zewnętrzny.

Włączanie ogniwa do obwodu, w którym nie płynie prąd, jest szczególnie ważne wtedy, gdy dane ogniwo ma służyć jako wzorzec różnicy potencjałów.

W przypadku tym nie chodzi tylko o to, aby napięcie na biegunach ogniwa było równe ściśle jego sile elektromotorycznej (która jest np. znana z dużą dokładnością), ale również o to, aby nie wyczerpywać ogniwa przez pobór prądu.

W ćwiczeniu niniejszym posłużymy się ogniwem wzorcowym (np. ogniwem Westona) w celu wyznaczenia napięcia jakiegoś źródła napięcia (np. baterii suchej) przy obciążeniu znanym oporem. Następnie wyznaczmy opór wewnętrzny tego źródła (baterii suchej) przez pomiar jego siły elektromotorycznej.

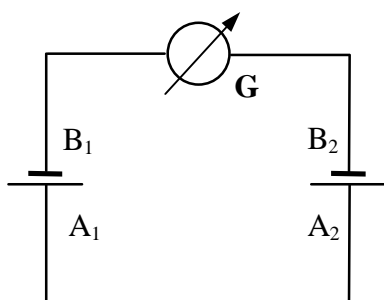
## V. Zasada pomiaru.

Stosunek sił elektromotorycznych (SEM) dwóch ogniw można zmierzyć metodą zerową z dużą dokładnością.

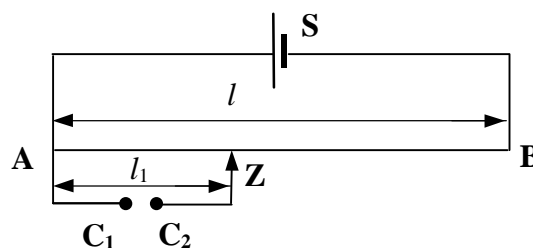
W celu sprawdzenia identyczności dwóch ogniw można połączyć je biegunami jedynymi i w obwód włączyć galwanoskop (G) (rys.1). Jeżeli galwanoskop nie wykazuje przepływu prądu oznacza to, że potencjał w punkcie  $A_1$  ( $V_{A1}$ ) równy jest potencjałowi w punkcie  $A_2$  ( $V_{A2}$ ) i potencjał w punkcie  $B_1$  ( $V_{B1}$ ) równy jest potencjałowi w punkcie  $B_2$  ( $V_{B2}$ ). Różnica potencjałów  $V_{A1} - V_{B1}$  równa się różnicy potencjałów  $V_{A2} - V_{B2}$ . Są to SEM  $\mathcal{E}_1$  i  $\mathcal{E}_2$  obu ogniw.

Używa się tej metody również do porównywania SEM dwóch jakichkolwiek ogniw posługując się *układem potencjometrycznym*.

W najprostszym przypadku układ potencjometryczny zawiera opornik suwakowy (zwany w tym przypadku potencjometrem). Jeżeli jest on cały włączony szeregowo w obwód jakiegoś



Rys.1



Rys.2

źródła prądu, to na suwaku potencjometru można wydzielić część napięcia panującego na biegunach źródła. Wydzielonym w ten sposób napięciem można posłużyć się w jakimkolwiek innym obwodzie pod warunkiem, że opór tego obwodu jest znacznie większy od oporu potencjometru.

Rozpatrzmy obwód przedstawiony na rys.2. Prąd stały dostarczany przez źródło S (np. akumulator, zasilacz stabilizowany) płynie przez naciągnięty drut oporowy AB. Wzdłuż tego drutu można przesuwając styk Z. Potencjał punktu  $C_1$  równy jest potencjałowi punktu A, potencjał punktu  $C_2$  natomiast równy jest potencjałowi punktu Z. Przesuwając styk Z od punktu A do punktu B zmieniamy różnicę potencjałów między punktami  $C_1$  i  $C_2$  od zera do  $V = V_A - V_B$ . Różnica potencjałów  $V_{C1} - V_{C2}$  wyraża się dla każdego położenia styku Z następującą zależnością:

$$\frac{V_{C_1} - V_{C_2}}{V_A - V_B} = \frac{l_1}{l}, \quad (1)$$

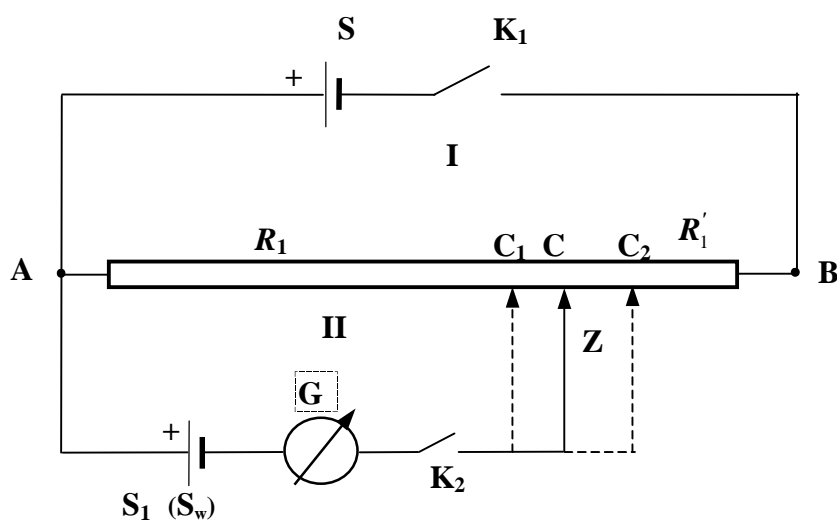
pod warunkiem, że drut oporowy ma jednakowy przekrój wzdłuż całej swej długości.

Ogólnie mówiąc, układem potencjometrycznym nazywa się obwód elektryczny, który może spełniać opisaną poprzednio rolę. Potencjometrem nie musi być opornik suwakowy, może nim być np. zestaw oporników dekadowych.

**Uwaga.** *Nazwa potencjometru zapożyczona z układów potencjometrycznych znalazła szerokie zastosowanie, zwłaszcza w radiotechnice, do wszelkich oporników suwakowych mających 3 zakończenia ( 2 dla opornika i 1 dla suwaka ). Oporniki takie są używane jako zwykle dzielniki napięcia w różnych obwodach elektrycznych, nie mających nic wspólnego z właściwymi układami potencjometrycznymi (czyli kompensacyjnymi albo wyrównawczymi). Dlatego lepiej unikać pomieszania pojęć używając w tych przypadkach nazwy dzielnika napięcia.*

### VI.1 Pomiar porównawczy SEM dwóch ogniw.

Przejdźmy obecnie do opisu metody porównywania SEM dwóch ogniw. Sposób pomiaru przedstawiony jest na rys.3. Prąd, dostarczany przez ogniwo S, płynie przez opornik AB; ogniwo  $S_1$  włączone jest w ten sposób, że jego SEM przeciwstawiona jest różnicy potencjałów panujących w punktach A i C opornika AB. Za pomocą galwanoskopu można stwierdzić, że dla pewnego położenia C, np.  $C_1$ , styku Z prąd nie płynie przez tę część obwodu, która zawiera ogniwo  $S_1$ . Oznacza to, że SEM tego ogniwa równa jest różnicy potencjałów  $V_A - V_{C_1}$ .



**Rys. 3** Układ pomiarowy do wyznaczania siły elektromotorycznej ogniwa metodą kompensacji

Natężenie prądu w obu częściach  $AC_1$  i  $C_1B$  opornika AB ma jednakową wartość. Jeżeli przez  $R_1$  i  $R'_1$  oznaczymy wartość oporów tych dwóch części, przez  $R$  opór całkowity  $R = R_1 + R'_1$ , otrzymujemy na SEM ogniwa  $S_1$  następującą wartość:

$$\mathcal{E}_1 = \frac{R_1}{R} (V_A - V_B). \quad (2)$$

Z tego powodu, że przez odgałęzienie  $AS_1C_1$  nie płynie prąd, odgałęzienie to nie wpływa na stan obwodu SABS i różnica potencjałów  $V_A - V_B$  zależy wyłącznie od ogniwa S i oporu AB.

Jeżeli zastępuje się ogniwo  $S_1$  przez ogniwo  $S_2$ , otrzymuje się położenie zerowe galwanoskopu dla jakiegoś innego położenia  $C_2$  styku Z na oporniku AB, odpowiadającego wartości  $R_2$  (część  $AC_2$  opornika AB):

$$\mathcal{E}_1 = \frac{R_2}{R}(V_A - V_B), \quad \text{więc} \quad \frac{\mathcal{E}_2}{\mathcal{E}_1} = \frac{R_2}{R_1}. \quad (3)$$

W przypadku szczególnym, gdy opór wewnętrzny ogniwa S jest tak mały w stosunku do oporu  $R$ , że można go pominąć (np. gdy S jest akumulatorem), różnica potencjałów  $V_A - V_B$  jest równa SEM ogniwa S pod warunkiem, że opór przewodników łączących bieguny akumulatora z zaciskami A i B oraz opór wyłącznika  $K_1$  są bardzo małe i można je pominąć. Pierwszy pomiar daje bezpośrednio stosunek SEM ogniwa  $S_1$  do SEM ogniwa S:

$$\frac{\mathcal{E}_1}{\mathcal{E}} = \frac{R_1}{R} = \frac{AC_1}{AB} = \frac{l_1}{l}. \quad (4)$$

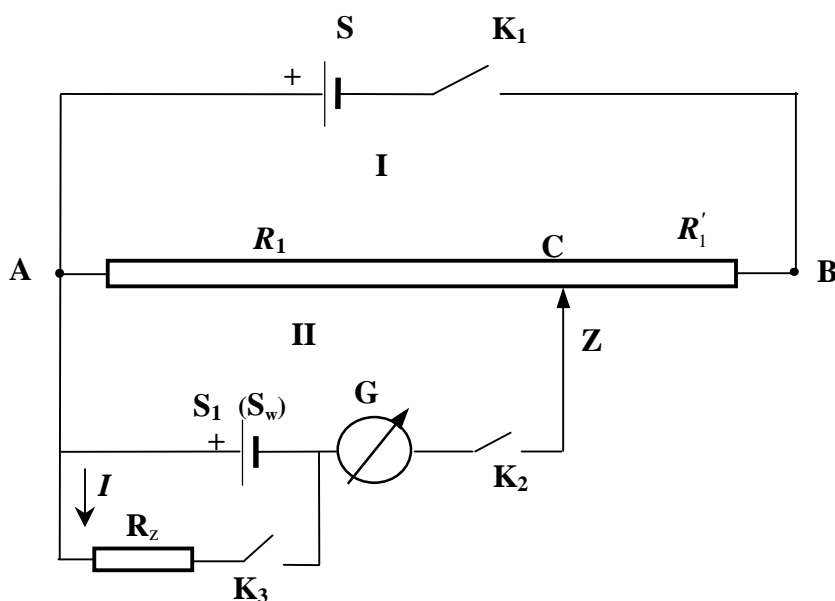
## VI.2 Pomiar oporu wewnętrznego ogniwa.

Oznaczmy przez  $\mathcal{E}_I$  SEM jakiegoś ogniwa, przez  $U_1$  - napięcie biegunowe tego ogniwa, kiedy bieguny jego są połączone zewnętrznym opornikiem o oporze  $R_z$ ; przez opornik ten płynie prąd o natężeniu I:

$$U_1 = R_z \cdot I \quad (5)$$

$$\mathcal{E}_I = (R_z + r) \cdot I = U_1 + r \cdot I \quad (6)$$

Należy wyznaczyć wartość  $r$ . Wartość  $\mathcal{E}_I$  znana jest z pomiaru. Zakładamy, że wartość oporu  $R_z$  opornika włączonego równolegle do biegunów ogniwa jest znana. Jednakże w ćwiczeniu niniejszym nie rozporządzamy amperomierzem, którym moglibyśmy wyznaczyć natężenie prądu I.



**Rys. 4** Schemat układu do wyznaczania oporu wewnętrznego ogniwa (modyfikacja układu z rys.3).

Powinno się więc wyeliminować wartość  $I$  z równania (6):

$$I = \frac{U_1}{R_z}, \quad \mathcal{E}_1 = U_1 + r \frac{U_1}{R_z}, \quad \Rightarrow \quad r = \frac{\mathcal{E}_1 - U_1}{U_1} \cdot R_z. \quad (7)$$

Wartość  $U_1$  wyznacza się również metodą kompensacyjną. W tym celu przeprowadza się pomiar podobny do poprzedniego po włączeniu opornika  $R_z$  między bieguny ogniwa. Pokazuje to rys. 4, który jest niewielką modyfikacją rysunku 3.

## VII. Przeprowadzenie pomiarów.

### ◆ Wariant z opornikiem suwakowym

1. Połączyć przyrządy według rys.3.

Obwód I składa się z zasilacza stabilizowanego o ustawianym napięciu biegunowym  $U_b$ , opornika suwakowego i wyłącznika  $K_1$ .

Obwód II składa się z ogniwa Westona  $S_w$  o SEM  $\mathcal{E}_w$ , galwanoskopu, części wymienionego opornika suwakowego i wyłącznika  $K_2$  (z oporem zabezpieczającym ogniwo Westona); jednoimienne bieguny obu źródeł prądu łączą się ze sobą.

2. Zamykając na krótki czas wyłącznik  $K_1$  i uderzając w wyłącznik  $K_2$  znaleźć takie położenie styku, w którym wskazówka galwanometru nie wychyla się z położenia zerowego. Pomiar rozpocząć przy oporze zabezpieczającym ogniwo Westona i przejść następnie do zwarcia tego zabezpieczenia (wciśnięty czerwony przycisk izostatu). Zmierzyć odległość  $AC = l_w$  styku  $Z$  od właściwego końca opornika suwakowego (punktu  $A$ ). Znając całkowitą długość  $AB = l$  obliczyć napięcie biegunowe  $U_b$  ustawione na zasilaczu (patrz zależność (4), gdzie  $\mathcal{E} = U_b$ ):

$$\frac{\mathcal{E}_w}{U_b} = \frac{AC}{AB} = \frac{l_w}{l} \Rightarrow U_b = \mathcal{E}_w \frac{l}{l_w} \quad (8)$$

3. Wymienić ogniwo Westona na ogniwo „suche”. Znaleźć nowe położenie zerowe styku  $Z$  i zmierzyć odległość  $AC_1$ . Wyznaczyć SEM  $\mathcal{E}_1$  tego ogniwa:

$$\frac{\mathcal{E}_1}{U_b} = \frac{l_1}{l} \Rightarrow \mathcal{E}_1 = \mathcal{E}_w \cdot \frac{l_1}{l_w} \quad (8a)$$

Zależność (8a) otrzymano uwzględniając wzór (8). Do wyznaczenia SEM i napięć nie musimy wykorzystywać napięcia źródła pomocniczego  $U_b$ . Pamiętać jednak trzeba, by dla wszystkich pomiarów napięcie  $U_b$  nie zmieniało się.

Pomiar ten przeprowadzić identycznie do poprzedniego. Wykonać pomiar SEM  $\mathcal{E}_2$  dla innego ogniwa np. dla baterii 3 ogniw „suchych” (4,5V).

4. Zmierzyć napięcie biegunowe ogniw multimetrem cyfrowym. Wobec dużego oporu wejściowego przyrządu zmierzone napięcia są zbliżone do wartości rzeczywistych SEM ogniw.

5. Połączyć bieguny ogniwa „suchego” opornikiem o znanym oporze ( $R_z = 20\Omega$ ) i powtórzyć pomiar jak w punkcie 3.

Wskazówka galwanoskopu pozostaje na zerze dla położenia styku  $Z$  w jakimś punkcie  $C'$ . Jeżeli  $U_1$  jest napięciem biegunowym ogniwa suchego, to:

$$\frac{U_1}{U_b} = \frac{AC'}{AB} = \frac{l'_1}{l} \Rightarrow U_1 = U_b \cdot \frac{l'_1}{l} = \mathcal{E}_w \cdot \frac{l'_1}{l_1}. \quad (9)$$

Obliczyć wartość  $U_1$ .

6. Obliczyć opór wewnętrzny ogniwa  $r$  wg wzoru (7).

**Uwaga:** *Należy pamiętać o zabezpieczeniu ogniwa Westona, zwierając opornik zabezpieczający dopiero po otrzymaniu stanu równowagi i zamykając wyłącznik  $K_2$  krótkimi uderzeniami.*

SEM ogniwa WESTONA wynosi  $\mathcal{E}_w = 1,019 \text{ V}$ .

7. Przeprowadzić rachunek błędów. Obliczyć niepewności pomiarowe  $\Delta U_b$ ,  $\Delta \mathcal{E}_i$ ,  $\Delta U_i$ ,  $\Delta r$  (indeks „i” oznacza  $i$  – te ogniwo).

Niepewności pomiarowe SEM (i napięcie biegunowych) oraz oporu wewnętrznego  $\Delta r$  obliczyć ze wzorów:

$$\Delta \mathcal{E}_i = \pm \mathcal{E}_i \left( \frac{\Delta l_i}{l_i} + \frac{\Delta l_w}{l_w} \right) \quad \Delta r_i = \pm R_z \left( \frac{\Delta \mathcal{E}_i}{U_i} + \frac{\mathcal{E}_i \Delta U_i}{U_i^2} + \frac{\mathcal{E}_i - U_i}{U_i} \frac{\Delta R_z}{R_z} \right)$$

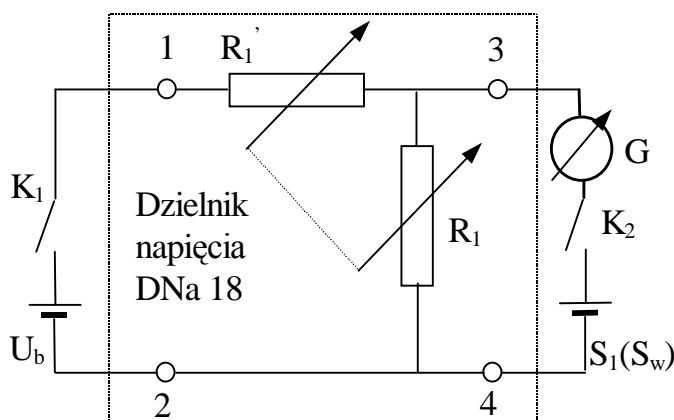
Wartość  $\Delta l_i$  (także  $\Delta l_w$ ) zależy od czułości galwanoskopu i dokładności odczytywania położenia styku Z. Wartość  $\Delta l_i$  ocenić przesuwając styk Z w pobliżu położenia zerowego wskazówki galwanoskopu i obserwując, jakie minimalne przesunięcie styku powoduje dostrzegalną zmianę położenia wskazówki. Najmniejsza wartość  $\Delta l_i$  jest równa dokładności odczytu, czyli wynosi 1 mm. Może mieć jednak wartość większą, jeśli czułość galwanoskopu jest mała.

Błąd względny wartości opornika włączonego równolegle do ogniwa (patrz punkt VII. 5) powinien być podany na oporniku dekadowym,  $\Delta \mathcal{E}_w = 0$ . Ostateczne wyniki podać w postaci  $X \pm \Delta X$

Porównać otrzymane wartości SEM zmierzone metodą kompensacyjną z wartościami SEM zmierzonymi multimetrem wg punktu 4.

#### ◆◆ Wariant z wykorzystaniem dzielnika napięcia DNa 18

1. Zastąpić na schemacie z rys 3 opornik suwakowy dzielnikiem napięcia DNa 18 (patrz rysunek 5). Oporność dzielnika mierzona między zaciskami 1 i 2 (tzw. oporność wejściowa dzielnika) wynosi  $R = 10 \text{ k}\Omega$  i jest stała niezależnie od ustawienia pokręteł dekadowych dzielnika. Pokrętłami dekad ustalamy opór  $R_1$  tzw. opór wyjściowy dzielnika mierzony między zaciskami 3 i 4.



**Rys.5** Układ do pomiaru SEM ogniwa metodą kompensacyjną przy wykorzystaniu dzielnika napięcia DNa 18.

2. Zanotować układ cyfr w okienkach dzielnika, odpowiadający stanowi zerowego prądu galwanoskopu dla każdego z pomiarów. Po zakończeniu pomiarów i **rozmontowaniu** układu zmierzyć oporność  $R_1$  wyjściową dzielnika odpowiadającą zanotowanym układom cyfr. Ustawienie cyfr **5 6 8** oznacza, że opór  $R_1$  powinien wynosić  $5680 \Omega$  (jeśli opory dekad mają nominalne wartości).

*Pomiar oporu miernikiem - wyłącznie po odłączeniu źródeł zasilających obwód. Nie przestrzeganie tej zasady grozi uszkodzeniem przyrządu.*

3. Wyznaczyć tak jak w poprzednim wariancie:  $U_b$ ,  $\mathcal{E}_i$ ,  $U_i$ ,  $r$ .
4. Zmierzyć napięcie biegunowe ogniów multimetrem cyfrowym. Wobec dużego oporu wejściowego przyrządu zmierzone napięcia są zbliżone do wartości rzeczywistych SEM ogniów.
5. Przeprowadzić rachunek błędów. Błąd pomiaru oporu (dokonywany najczęściej multimetrem) powinien być dla danego typu przyrządu podany (przez prowadzącego zajęcia lub laboranta). W przypadku odczytania oporów z okienek dekad błąd względny w procentach jest podany na dzielniku napięcia.