

WYZNACZANIE SEM I OPORU WEWNĘTRZNEGO OGNIWA Z ZALEŻNOŚCI $U = E - r \cdot I$

- I. Cel ćwiczenia :** Wyznaczanie siły elektromotorycznej i oporu wewnętrznego ogniwa na podstawie pomiaru zależności $U = E - I \cdot r$
- II. Przyrządy:** ogniwo (bateria 4,5V i 1,5V) lub zasilacz stabilizowany wraz z opornikiem włączonym w szereg, dwa multimetry cyfrowe, opornik dekadowy jako zmienny opór obciążenia
- III. Literatura:** A. Piekara Elektryczność i magnetyzm
H. Szydłowski Teoria pomiarów

IV. Wprowadzenie

W przypadku prostego obwodu zamkniętego składającego się z ogniwa (o SEM E i oporze wewnętrznym r) oraz opornika o oporze R , na podstawie II prawa Kirchhoffa

$$\sum_{k=1}^n E_k = \sum_{k=1}^l R_k \cdot I_k$$

mamy

$$E = R \cdot I + r \cdot I = U + r \cdot I \quad (1)$$

gdzie U jest różnicą potencjałów między biegunami ogniwa.

Z równania (1) otrzymujemy

$$U = E - r \cdot I \quad (2)$$

co oznacza, że napięcie na biegunach ogniwa U jest liniową funkcją czerpanego prądu I . Zawsze gdy pobieramy prąd I z ogniwa (gdy jest zamknięte oporem R) zachodzi nierówność $U < E$.

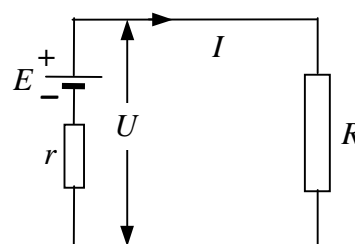
Siły elektromotorycznej ogniwa nie możemy zatem zmierzyć dokładnie woltomierzem zwłaszcza woltomierzem analogowym. Ma on stosunkowo mały opór wewnętrzny, i dołączenie go do ogniwa spowoduje przepływ prądu w obwodzie zamkniętym. Z dużą dokładnością możemy natomiast wyznaczyć E za pomocą woltomierza cyfrowego posiadającego bardzo duży opór rzędu $1 \text{ G}\Omega$ ($10^9 \Omega$). Na dokładny pomiar SEM ogniwa pozwala metoda kompensacji (ćwiczenia E-14, E-36).

Wykorzystując zależność liniową $U = E - r \cdot I$ możemy jednocześnie wyznaczyć E i r . Wykresem funkcji $U = U(I)$ jest prosta

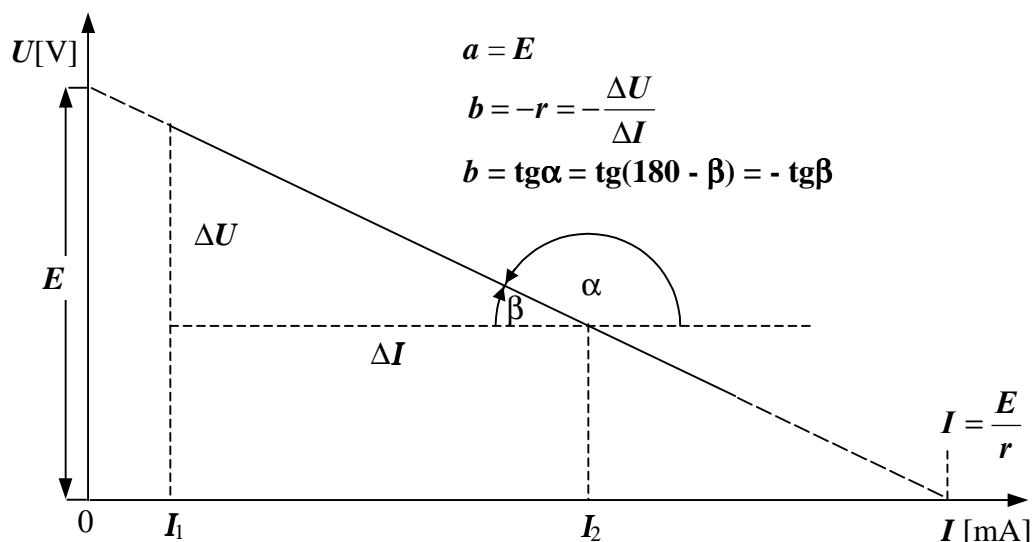
$$y = a + b \cdot x$$

o ujemnym współczynniku nachylenia $b = -r$ (patrz wykres na rysunku 2).

Przedłużenie prostej w kierunku osi napięcia przecina oś Oy w punkcie $y_0 = a = E$ dla $I = 0$, co odpowiada obwodowi otwartemu i wówczas $U = E$. Metoda ta, jak widzimy, pozwala na jednoczesne dokładne wyznaczenie siły elektromotorycznej E źródła i jego oporu wewnętrznego r (oczywiście w granicach błędów pomiarowych), czego nie zapewnia bezpośredni pomiar woltomierzem cyfrowym.



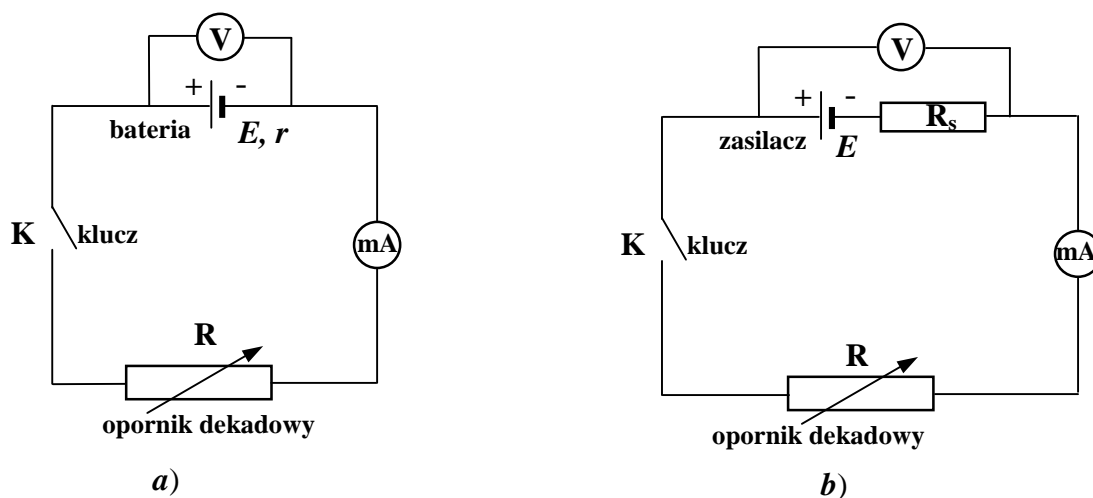
Rys.1 Obwód złożony ze źródła o sile elektromotorycznej E i oporze wewnętrznym r oraz oporu zewnętrznego R .



Rys.2 Wykres różnicy potencjałów U między biegunami źródła w funkcji natężenia prądu I pobieranego ze źródła prądu.

V. Przeprowadzenie pomiarów

Przyrządy łączymy wg schematów zamieszczonych na rysunkach **3a** lub **3b** (zależnie od tego, czy używamy baterii, czy zasilacza stabilizowanego).



Rys. 3 Schemat układu pomiarowego do wyznaczenia SEM i oporu wewnętrznego r źródła napięcia. Rysunek **a)** dotyczy układu z baterią, rysunek **b)** dla przypadku zasilacza stabilizowanego z szeregowo włączonym oporem R_s .

Dokonać pomiaru napięcia U na biegunach źródła w funkcji natężenia prądu I płynącego w obwodzie. Pomiar natężenia prądu I najlepiej wykonać na jednym zakresie w kierunku wzrostu prądu obciążenia (zmniejszając wartości oporu R). Maksymalne prądy obciążenia ogniwa nie powinny przekraczać: dla baterii 4,5 V - 45 mA, dla baterii 1,5 V - 15 mA, ponieważ SEM i r są zależne od stopnia obciążenia i zużycia ogniwa. Używając zasilacza stabilizowanego tych ograniczeń nie ma, jednak należy zwrócić uwagę, by nie przekraczać prądów dopuszczalnych dla danych dekad oporników dekadowych (dopuszczalny maksymalny prąd dla danej dekady jest na niej zaznaczony). Klucz **K** powinien być włączony jedynie na czas ustalenia określonej wartości natężenia prądu i odczytu wartości z mierników.

Uwaga: Opornik R_s na rys. 3b włączony szeregowo z zasilaczem stabilizowanym spełnia rolę oporu wewnętrznego źródła. Napięcie U jest wówczas mierzone między zaciskiem zasilacza a końcem oporu R_s *nie dołączonym* do drugiego zacisku zasilacza.

VI. Opracowanie

1. Sporządzić wykres zależności napięcia U na biegunach źródła w funkcji natężenia prądu I płynącego w obwodzie dobierając odpowiednią skalę. Zaznaczyć na wykresie niepewności pomiarowe napięcia ΔU i natężenia ΔI (informacje dotyczące niepewności mierników cyfrowych są umieszczone w sali laboratoryjnej, dla mierników analogowych trzeba je obliczyć ze znajomości klasy miernika).
2. Wyznaczyć parametry a i b prostej $y = a + bx$ metodą najmniejszych kwadratów (patrz skrypt L. Kacperski, K. Niedźwiedziuk "I Pracownia Fizyczna"). Obliczyć niepewność wyznaczenia parametrów Δa i Δb w metodzie najmniejszych kwadratów (wzory w skrypcie cytowanym powyżej). Prosta należy narysować na wykresie.

Parametry a , b oraz ich niepewności Δa , Δb możemy również znaleźć wykorzystując **komputerowy arkusz kalkulacyjny** np. Excel (można skorzystać z funkcji statystycznej REGLINP).

Uwaga: Zwrócić uwagę, że b jest tutaj współczynnikiem kierunkowym prostej, natomiast a wyrazem wolnym. Przy zapisie równania prostej w postaci $y = ax + b$ będzie odwrotnie!

3. Pamiętając, że $E = a$ oraz $r = -b$ podać wartość SEM i oporu wewnętrznego źródła w postaci

$$(E \pm \Delta E) \quad \text{i} \quad (r \pm \Delta r)$$

Zarówno a jak i b są liczbami mianowanymi!

4. Skomentować wynik pomiarów.