

ĆWICZENIE 32

WYZNACZANIE OPORU WEWNĘTRZNEGO I SIŁY ELEKTROMOTORYCZNEJ ŹRÓDŁA NAPIĘCIA STAŁEGO

Kraków, 09.06.2016

SPIS TREŚCI

CZEŚĆ TEORETYCZNA

1. Ogniwa
2. Wybrane parametry ogniw
3. Model ogniwa
4. Prawa Kirchhoffa
5. Pomiar parametrów: E i R_w
6. Chemiczne wzorce napięcia

LITERATURA UZUPEŁNIAJĄCA

INSTRUKCJA DO WYKONANIA ĆWICZENIA

WYKAZ RYSUNKÓW

- Rys. 1. Model ogniwa.
Rys. 2. Model ogniwa obciążonego zewnętrzną rezystancją R_z .
Rys. 3. Eksperymentalnie otrzymana zależność $U(I)$ dla nowego ogniwa typu 6F22. Sposób graficznego wyznaczenia siły elektromotorycznej E i oporu wewnętrznego R_w ogniwa.
Rys. 4. Obwód pomiarowy do wyznaczenia siły elektromotorycznej i oporu wewnętrznego ogniwa.

ZAKRES WYMAGANYCH WIADOMOŚCI

Prąd elektryczny. Natężenie prądu, napięcie – definicje i jednostki. Źródła siły elektromotorycznej. Model ogniwa. Parametry ogniwa: siła elektromotoryczna, opór wewnętrzny, pojemność. Pierwsze prawo Kirchhoffa. Drugie prawo Kirchhoffa dla ogniwa obciążonego zewnętrzną rezystancją. Metody pomiaru parametrów ogniwa. Natężenie prądu przy zwarciu elektrod ogniwa. Chemiczne wzorce napięcia: ich zastosowanie i cechy.

CZĘŚĆ TEORETYCZNA

1. Ogniwa

Prąd elektryczny jest uporządkowanym ruchem ładunków elektrycznych. Warunkiem koniecznym jego przepływu w przewodniku jest pojawienie się różnicy potencjałów, czyli *napięcia*, na końcach tego przewodnika. Różnicę potencjałów pomiędzy dwoma punktami zdolne są wytwarzać urządzenia zwane *źródłami siły elektromotorycznej*. Należą do nich między innymi: ogniwa *galwaniczne*, *termoogniwa* i *fotoogniwa*, przetwarzające energię chemiczną, cieplną i energię światła na energię elektryczną. Ogniwa galwaniczne podzielić można na klasy: *ogniw chemicznych* i *stężeniowych*. Ogniwa chemiczne mogą być: *odwracalne* lub *nieodwracalne*.

2. Wybrane parametry ogniw



Ogniwo R10 (1,5V) i bateria 2R10 (3V). Symbol R10 oznacza, że jest to ogniwo w kształcie walca o promieniu podstawy równym w przybliżeniu 10mm. Cyfra 2 poprzedzająca symbol R oznacza, że w drugim przypadku mamy do czynienia z szeregowym połączeniem dwu ogniw R10 czyli, że jest to bateria. Na odwrocie podano datę produkcji 01 1972 oraz okres przechowywania – 6 miesięcy. Na współczesnych ogniwach data produkcji nie jest zwykle podawana.

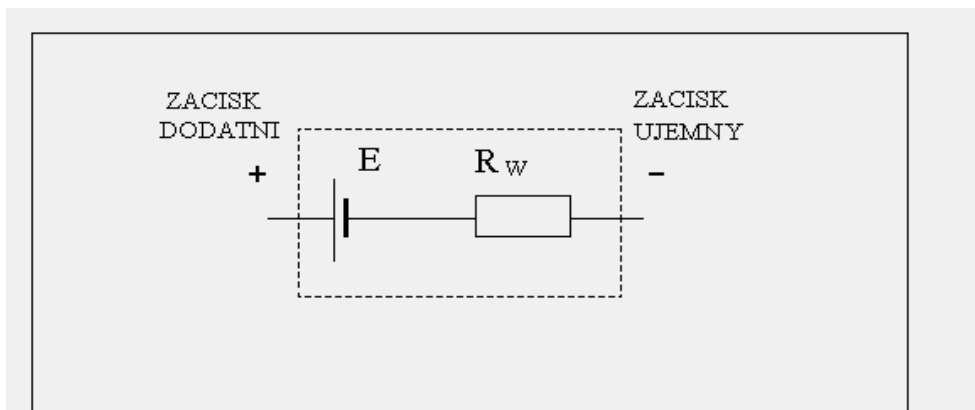
Wśród szerokiej gamy ogniw chemicznych rozróżniamy między innymi: Leclanchégo (1,5V) - ogniwami tego typu są powszechnie używane ogniwa R6 („paluszkowe” oznaczane także jako AA) i R20, ogniwa alkaliczne (1,5V), rtęciowe (1,35V), srebrowe (1,55V), powietrzno-cynkowe (1,4V) i litowe (3,6V). Napięcia podane przy nazwach poszczególnych typów informują nas o tym jakie napięcie istnieje pomiędzy elektrodami ogniwa nieobciążonego, tzn. gdy nie czerpiemy z niego prądu. Napięcie to nazywa się *siłą elektromotoryczną* ogniwa (SEM) i oznaczane jest przez E. Kupując ogniwo musimy zadbać o to by było odpowiedniego typu, to znaczy nie tylko dopasowane kształtem do urządzenia ale i wartością siły elektromotorycznej. Warto pamiętać, że powszechnie stosowane akumulatory Ni-MH typu AAA („cienki paluszek”) mają nominalną wartość siły elektromotorycznej 1,2V i nie zawsze można nimi zastąpić nieodwracalne ogniwo 1,5V.

Zegarki elektroniczne, aparaty fotograficzne, latarki i inne urządzenia wyposażone są w ogniwa o podobnych siłach elektromotorycznych ale o różnych rozmiarach i kształtach. Iloczyn $I \cdot t$ prądu o natężeniu I czerpanego z ogniwa poszczególnych typów i czasu t upływającego do ich wyładowania, zwany *pojemnością ogniwa*, jest różny. Pojemności ogniwa oznakowanych w ten sam sposób, lecz produkowanych przez różne firmy także nie są takie same. Dla przykładu, dla ogniwa typu R6 i LR6 pojemność waha się od 440 mAh do 2600 mAh (miliamperogodziny).

Ogniwa różnych typów posiadają nie tylko niejednakowe pojemności. Gdybyśmy spróbowali czerpać prąd o natężeniu 1A z ogniwa zegarka naręcznego okazałoby się to niemożliwe. Natomiast nowe ogniwo typu R20 jest zdolne do wytworzenia takiego prądu w obwodzie elektrycznym. By opisać tę różnicę pomiędzy ogniwami powinniśmy zatem podać maksymalny prąd, który może być z nich czerpany (I_{MAX}). Prąd I_{MAX} jest wielkością, którą wyznacza się w pomiarze pośrednim a nie bezpośrednim. Przyczyna jest następująca: w obwodzie zasilanym przez ogniwo płynie maksymalny prąd gdy zwieramy wyprowadzenia ogniwa drutem o znikomym oporze. Jednak nawet krótkotrwałe zwarcie elektrod ogniwa może je zniszczyć. Pomiarowi zwykle podlega zatem siła elektromotoryczna i pomocnicza wielkość zwana *oporem wewnętrznym* (R_w) ogniwa. Pomiar pozwala przewidzieć nie tylko wartość I_{MAX} , lecz także wartość natężenia prądu w przypadku dołączenia do ogniwa opornika lub innego obciążenia o dowolnej, niekoniecznie zerowej, wartości oporu elektrycznego.

3. Model ogniwa

Podstawowe własności ogniwa różnych typów można opisać posługując się prostym modelem. W myśl tego modelu ogniwu przypisujemy dwa parametry: wyrażone w voltach napięcie na zaciskach ogniwa nieobciążonego zwane *siłą elektromotoryczną* (SEM) oznaczane E i wyrażony w omach *opór wewnętrzny* (R_w). Na rys. 1. ogniwo zostało przedstawione w postaci źródła napięcia (SEM) o wartości E połączonego w szereg z pewną rezystancją (oporem) wewnętrzną R_w .



Rys. 1. Model ogniwa

Wartość siły elektromotorycznej ogniwa zależy od rodzaju elektrod, rodzaju elektrolitu i temperatury, natomiast nie zależy od rozmiarów ogniwa. Wartość oporu wewnętrznego zależy między innymi od stopnia zużycia ogniwa gwałtownie rosnąc w końcowej fazie jego eksploatacji. Opór wewnętrzny ogniwa tego samego typu ale o większych rozmiarach jest zwykle mniejszy. Jego wartość zależy także od temperatury.

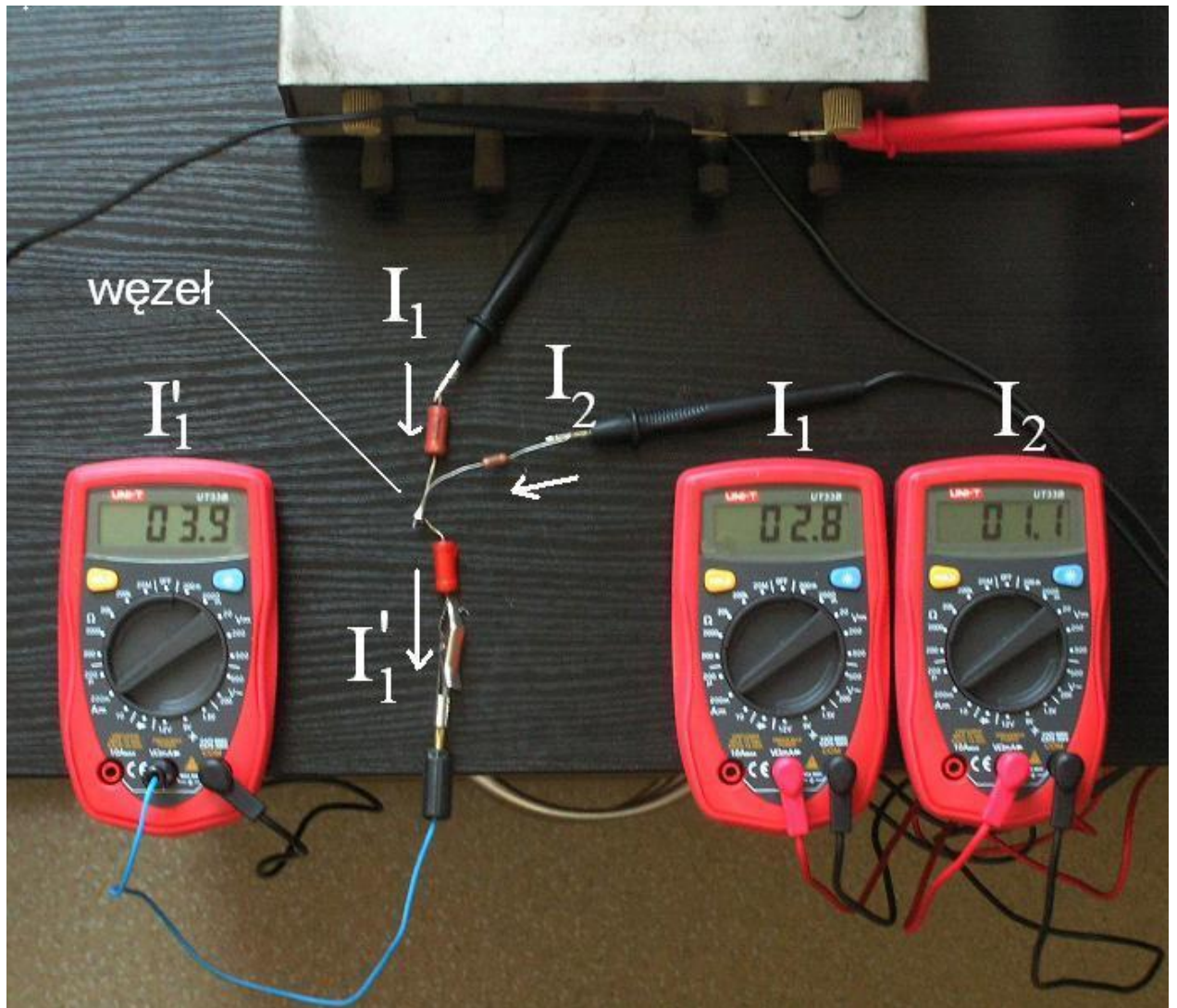
Opór wewnętrzny opisuje tę własność ogniwa, że czerpanie prądu z ogniwa powoduje spadek napięcia U na jego zaciskach w porównaniu z siłą elektromotoryczną (E). Oporze R_w , mimo że nie jest opornikiem w zwykłym tego słowa znaczeniu, zakładamy, że podlega tym samym prawom co zwykle oporniki a w szczególności zakładamy, że spełnia prawo Ohma. Zatem opór wewnętrzny dwu ogniw połączonych szeregowo sumuje się podobnie jak dla połączenia zwykłych oporników. Jeśli ogniwo elektryczne jest źródłem prądu o natężeniu I , wtedy napięcie U na jego elektrodach można także obliczyć posługując się prawem Ohma. To napięcie jest równe SEM pomniejszonej o "spadek napięcia" na oporze wewnętrznym równy $R_w I$. U jest zatem liniową funkcją natężenia prądu I w obwodzie:

$$U = E - R_w I \quad (1)$$

Zgodnie z tym równaniem zwarcie elektrod ogniwa (wówczas $U=0$) spowodowałoby krótkotrwały przepływ prądu o wartości natężenia równej:

$$I_{MAX} = \frac{E}{R_w} \quad (2)$$

4. Prawa Kirchhoffa

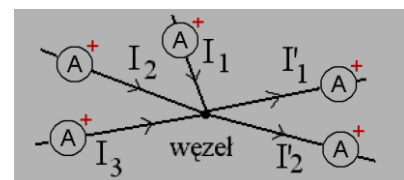


Ilustracja pierwszego prawa Kirchhoffa: $I_1 + I_2 = I'_1$

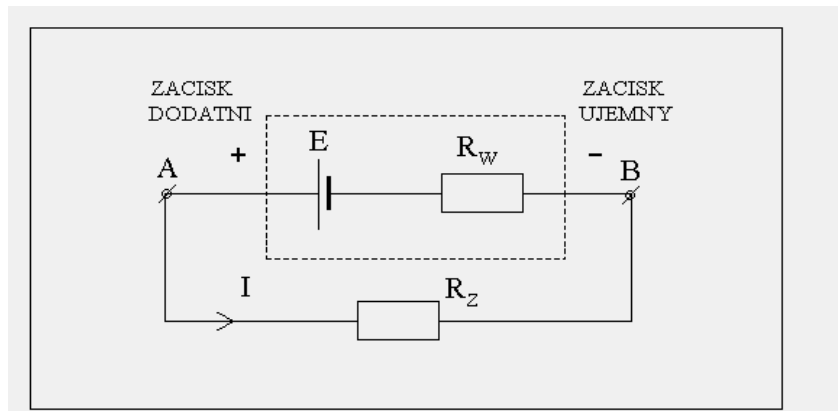
Pierwsze prawo Kirchhoffa dotyczy tzw, węzłów czyli miejsc w obwodach elektrycznych, w których zbiegają się przynajmniej trzy przewody.

Suma natężeń prądów I wpływających do węzła sieci jest równa sumie natężeń prądów I' z węzła

$$I_1 + I_2 + \dots + I_n = I'_1 + I'_2 + \dots + I'_m$$



Drugie prawo Kirchhoffa dotyczy tzw, *oczek* czyli zamkniętych obwodów elektrycznych (pętli) takich jak obwód przedstawiony na rysunku 2.



Rys. 2. Model ogniwa obciążonego zewnętrzną rezystancją R_Z .

Suma sił elektromotorycznych występujących w takim obwodzie jest równa sumie tzw. spadków napięć na opornikach, to znaczy sumie odpowiednich iloczynów natężeń prądów i wartości oporów:

$$E = R_W I + R_Z I \quad (3)$$

Równanie (1) jest szczególnym przypadkiem drugiego prawa Kirchhoffa (3), bowiem zgodnie z Rys. 2. napięcie U pomiędzy punktami A i B jest równe $R_Z I$.

5. Pomiar parametrów: E i R_w

Istnieje kilka metod pomiaru siły elektromotorycznej i oporu wewnętrznego ogniwa. Siłę elektromotoryczną można zmierzyć bezpośrednio *metodą kompensacyjną*. W tej metodzie wykorzystuje się kompensator napięcia stałego. Jest to przyrząd do pomiaru napięć stałych bez poboru prądu z obwodu mierzonego.

Obie wielkości, E i R_w , wyznaczyć można pośrednio dokonując pomiaru i wykreślając zależność napięcia U na zaciskach ogniwa w funkcji natężenia prądu I w obwodzie. Pomiar wystarczy wykonać dla kilku stosunkowo niewielkich natężeń prądu, by do wykresu zależności $U(I)$ dopasować prostą opisaną równaniem (1). Punkt przecięcia tej prostej z osią napięcia U , odpowiadający natężeniu prądu $I=0$, wyznacza wartość SEM, ponieważ z definicji $E=U$ dla $I=0$. Natomiast opór wewnętrzny ogniwa związany jest z wartością współczynnika kierunkowego tej prostej.

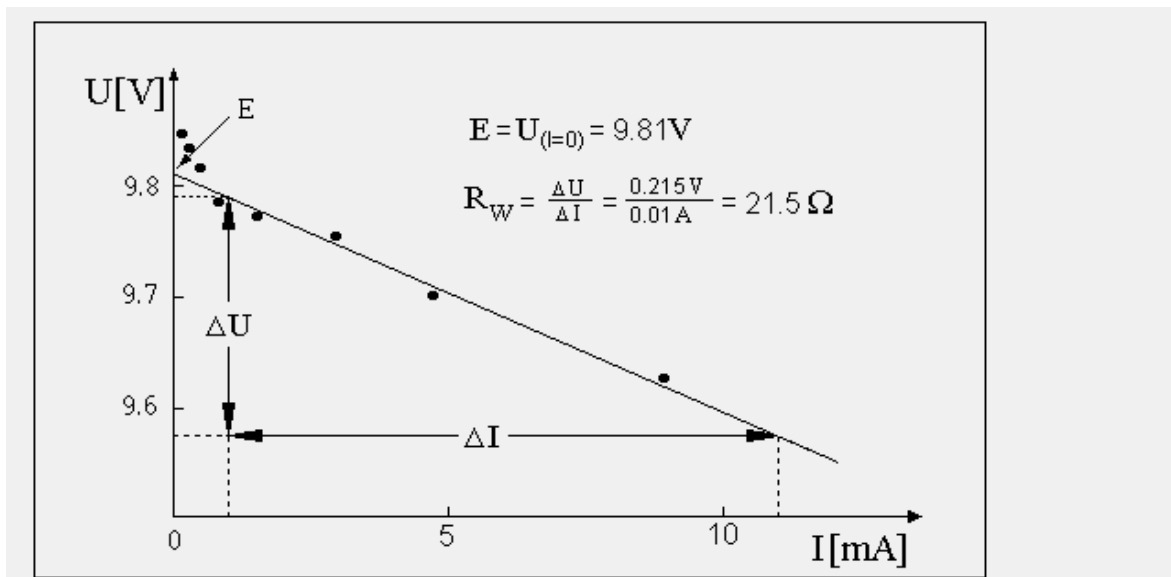
Przykład

Przykładową zależność $U(I)$ otrzymaną dla nowego egzemplarza baterii typu 6F22 (Maxell Super Power ACE) przedstawia Tabela 1. Jako miliamperomierza używano multimetru V561A (klasa (0.5) a woltomierzem był multimetr FINEST 285 (klasa 0.05).

Tabela 1. Wyniki pomiarów $U(I)$ baterii typu 6F22 (Maxell)

$I[\text{mA}]$	0.957	1.704	2.90	4.82	9.47
$U[\text{V}]$	9.788	9.770	9.751	9.696	9.612

Wykres, wraz z graficznie dopasowaną prostą i jej parametrami, sporządzony na podstawie Tabeli 1 przedstawiono na Rys. 3. Należy zwrócić uwagę na to, że trzy pierwsze punkty wykresu, odpowiadające niewielkim natężeniom prądu, nie układają się wzdłuż prostej. Świadczą one o ograniczonej stosowalności przyjętego modelu ogniwa i zostały pominięte zarówno w Tabeli 1 jak i w graficznym dopasowaniu prostej.



Rys. 3. Eksperymentalnie otrzymana zależność $U(I)$ dla nowego ogniwa typu 6F22. Sposób graficznego wyznaczenia siły elektromotorycznej E i oporu wewnętrznego R_w ogniwa.

Dopasowanie prostych można dokonać także numerycznie metodą najmniejszych kwadratów. $-R_w$ jest współczynnikiem kierunkowym tej prostej natomiast E jest wyrazem wolnym. Tą metodą otrzymano następujące wyniki:

$$R_w = (21 \pm 2)\ \Omega, \quad E = (9.81 \pm 0.01)\text{V}.$$

6. Chemiczne wzorce napięcia

Napięcie stałe jest jedną z podstawowych wielkości mierzonych w praktyce laboratoryjnej. Szereg innych mierzonych wielkości elektrycznych i nieelektrycznych jest często podczas pomiarów przetwarzanych na napięcie za pomocą specjalnych *przetworników pomiarowych*. Mówiąc w uproszczeniu wzorce napięcia służą do sprawdzania poprawności działania woltomierzy.

Powszechnie stosowane do zasilania urządzeń elektronicznych ogniwa chemiczne nie mogą być wzorcami napięcia. Do tego celu nadaje się tzw. *ogniwo Westona* (ogniwo normalne). Niech E^0 oznacza wartość SEM w temperaturze $+20^{\circ}\text{C}$. Poszczególne egzemplarze ogniw Westona wykazują bardzo mały rozrzut wartości E^0 . Dokładna wartość E^0 podawana jest zresztą przez producenta dla każdego egzemplarza ogniwa oddzielnie. Zaletą ogniw tego typu jest powolny proces ich starzenia się - wartość E^0 zmienia się w czasie o 0,01% a nawet jedynie o 0,0002% w przeciągu 1 roku (zależnie od klasy), przy zachowaniu odpowiednich zasad eksploatacji. Ogniwa Westona cechuje ponadto słaba zależność SEM od temperatury. Wpływ zmian temperatury na SEM wzorców napięcia minimalizuje się przechowując ogniwa w termostatach. Ponadto zależność $\text{SEM}(T)$, jest znana i możliwe jest obliczenie poprawki temperaturowej.



Ogniwo normalne Westona nasycone. Otwór w obudowie służy do umieszczenia termometru

Zespoły ogniw Westona używane były w Polsce jako wzorzec napięcia najwyższego rzędu. Ze względu na dokładność przewyższającą możliwości ogniw chemicznych wprowadzono nową definicję wzorca napięcia opartego na działaniu tzw. *złącza Josephsona*. Dokładność złącza Josephsona okupiona jest koniecznością chłodzenia go za pomocą ciekłego helu.

LITERATURA UZUPEŁNIAJĄCA

- Chwaleba A., Poniński M., Siedlecki A., Metrologia elektryczna, WNT, Warszawa 1994. s.76-84.
- Chyla K., Fizyka dla ZSZ, Wydanie trzecie, WSzIP, Warszawa 1991. s.144-159.
- Dyszyński J., Hagel, R., Miernictwo elektryczne, WSiP, Warszawa 1986. s.21-24.
- Encyklopedia Fizyki, Tom 3, PWN, Warszawa 1974, s.316.
- Gomółka J., Kowalczyk F., Franke A., Współczesne chemiczne źródła prądu, Wydawnictwo MON, Warszawa 1977.
- Glasstone S., Podstawy elektrochemii, PWN, Warszawa 1956.
- Górecki P., Test baterii, Elektronika Praktyczna 3/94. s.42-45.
- Halliday D., Resnick R., Fizyka Tom 2, PWN, Warszawa 1974, s.175-191.
- Hewlett Packard, Test & Measurement Catalog 1995. Products-Systems-Services.
- Jaworski B.M., Piński A.A., Elementy fizyki, T1. PWN, Warszawa 1977.
- Kulka Z., Libura A., Nadachowski M., Przetworniki analogowo-cyfrowe i cyfrowo-analogowe, WKiŁ, Warszawa 1987, s.45-59.
- Nadachowski M., Wzorce napięcia ze złączem Josephsona, Radioelektronik Audio-HiFi-Video 5/95. s.4-5.
- Pazdro K., Poniński M., Miernictwo elektryczne w pytaniach i odpowiedziach, WNT, Warszawa 1986.
- Piech T., Fizyka dla II klasy liceum ogólnokształcącego, technikum i liceum zawodowego. Wyd.V. PZWS, Warszawa 1973, s.175-190.
- Piekara A.H., Elektryczność, materia i promieniowanie, PWN, Warszawa 1986, s.72-86.
- Pigoń K., Ruziewicz Z., Chemia fizyczna, PWN, Warszawa 1980, s.245-260.
- Sawicki M., (red.). Nauczanie fizyki. Część II. Podręcznik dla nauczycieli fizyki klasy II liceum ogólnokształcącego i technikum. WSiP, Warszawa 1978, s.173-177.
- Sobczyk L., i inni, Eksperymentalna chemia fizyczna, PWN, Warszawa 1982, s.299-312.
- Szczeniowski S., Fizyka Doświadczalna, Tom III, PWN, Warszawa 1980, s.184-210.
- Szysko E., Instrumentalne metody analityczne, PZWL, Warszawa 1982, s.2-48.

WYZNACZANIE OPORU WEWNĘTRZNEGO I SIŁY ELEKTROMOTORYCZNEJ ŹRÓDŁA NAPIĘCIA STAŁEGO

Podstawowe własności ogniów różnych typów można opisać posługując się prostym modelem. W myśl tego modelu ogniwa przypisujemy dwa parametry: wyrażone w woltach napięcie zwane *siłą elektromotoryczną* (E) i wyrażony w omach *opór wewnętrzny* (R_w).

Jeśli do zacisków ogniwa elektrycznego dołączony zostanie zewnętrzny opór R to, zgodnie z II prawem Kirchhoffa, napięcie U na jego zaciskach jest równe sile elektromotorycznej E pomniejszonej o "spadek napięcia" na oporze wewnętrznym równy $R_w I$. U jest zatem liniową funkcją natężenia prądu I w obwodzie:

$$U(I) = E - R_w I \quad (1)$$

Obie wielkości, E i R_w , wyznaczyć można pośrednio dokonując pomiaru i wykreślając zależność napięcia U na zaciskach ogniwa w funkcji natężenia prądu I w obwodzie.

CEL ĆWICZENIA

Celem ćwiczenia jest wyznaczenie siły elektromotorycznej i oporu wewnętrznego ogniów różnych typów oraz połączeń szeregowych tych ogniów.

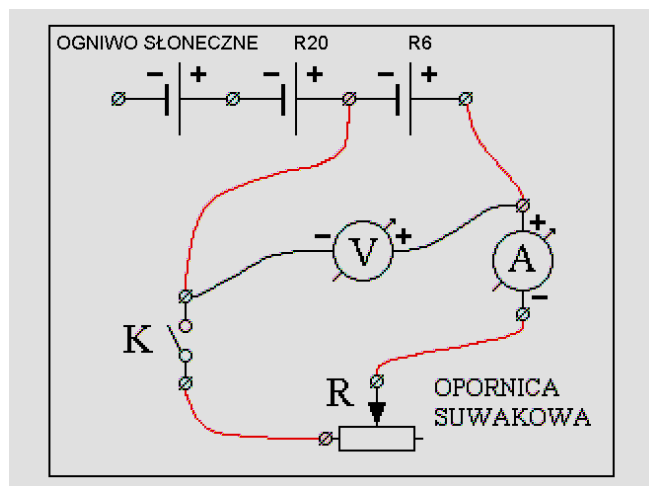
WYKONANIE ĆWICZENIA

1. Zmontować obwód pomiarowy według schematu przedstawionego na Rys.1 łącząc szeregowo amperomierz wskazówkowy A , opornicę R , wyłącznik K oraz wybrane ogniwo $R6$, $R20$ lub słoneczne. Do pomiaru napięcia używany jest woltomierz cyfrowy V .

Dla pojedynczego ogniwa wybieramy zakres woltomierza 2V. Pomiar dotyczy prądu stałego i na woltomierzu oznaczony jest jako „V-” lub DCV.

Przy pomiarach połączeń szeregowych ogniw $R6$ i $R20$ konieczne jest użycie zakresu 20V.

Zakres amperomierza odpowiedni dla ogniw $R6$ i $R20$ to 75mA. Dla ogniwa słonecznego używamy zakresu 30mA. Ogniwo słoneczne należy oświetlić z odległości około 15cm lampką, która podczas pomiarów nie powinna być przesuwana względem ogniwa



Rys.1. Obwód pomiarowy do wyznaczenia siły elektromotorycznej i oporu wewnętrznego ogniwa

- Wyznaczyć zależność $U(I)$. W tym celu należy zmieniać przy pomocy opornicy R natężenie prądu płynącego w obwodzie i przynajmniej dla sześciu wartości natężenia prądu I zanotować napięcie U . Czas pomiaru przy zwartym przycisku K powinien być krótki.
- Pomiary przeprowadzić dla dwu lub trzech dostępnych ogniw oraz dla połączenia szeregowego dwu wcześniej zbadanych ogniw. Wyniki pomiarów należy umieścić w tabelach:

Typ ogniwa:

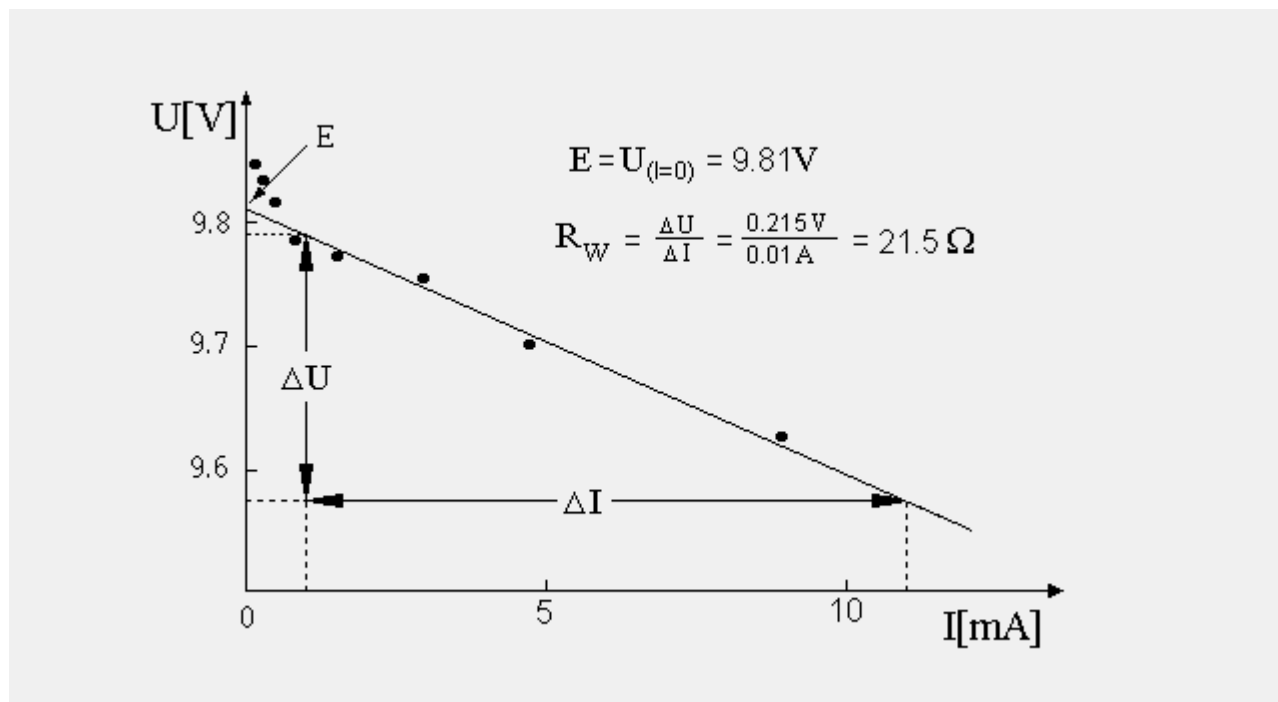
Włączony zakres amperomierza [mA]						
Wybrana skala amperomierza [30 lub 75]						
Wskazanie amperomierza [ilość działek]						
Obliczone natężenie prądu I [mA]						
Wskazanie woltomierza U [V]						

Jeśli posiadamy wprawę w odczycie natężeń prądów ze skali amperomierza, to wartość natężenia prądu wyrażoną w miliamperach można zapisywać od razu.

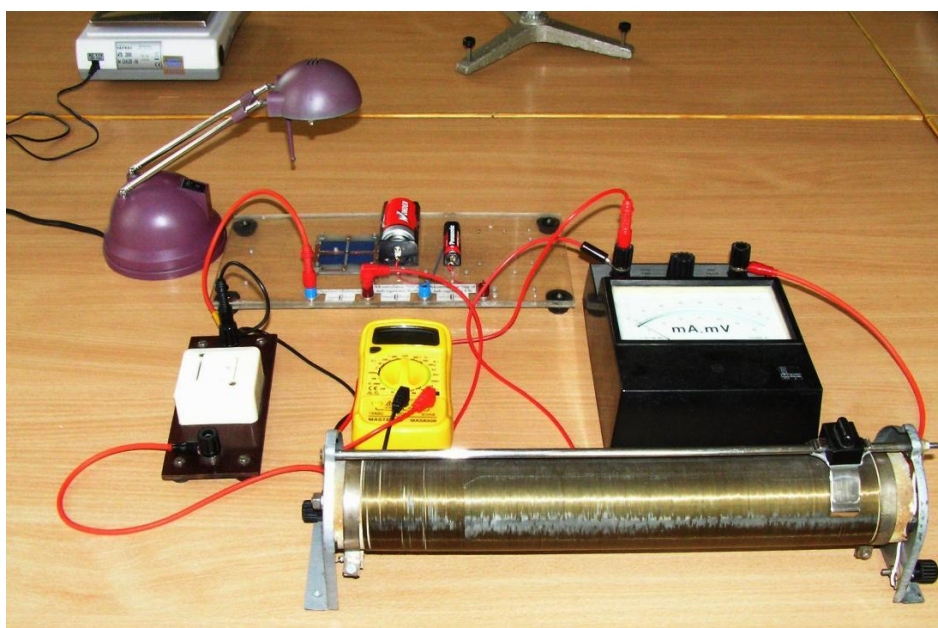
OPRACOWANIE WYNIKÓW

1. Wykreślić charakterystykę $U(I)$ dla każdego badanego źródła napięcia oraz ich szeregowych połączeń. W tym celu, na wykresie, sporządzonym dla każdego ogniwa i połączenia ogniw oddzielnie, nanieść punkty pomiarowe. Do punktów dopasować graficznie lub numerycznie prostą, tzn. określić wyraz wolny i współczynnik kierunkowy prostej.
2. Wyniki opracowania zamieścić w tabeli:

TYP OGNIWA				
E[V]				
$R_w[\Omega]$				



Rys.2. Eksperymentalnie otrzymana zależność $U(I)$ dla nowego ogniwa typu 6F22.
Sposób graficznego wyznaczenia siły elektromotorycznej E i oporu wewnętrznego R_w ogniwa.



Rys.3. Realizacja obwodu pomiarowego z rys.1.