

Ćw. 34. Pomiar siły elektromotorycznej i oporu wewnętrznego źródła napięcia

Wprowadzenie

Prądem elektrycznym nazywamy uporządkowany ruch ładunków elektrycznych. W elektrotechnice prądy elektryczne to najczęściej ruch elektronów w metalowych przewodnikach, w elektronice półprzewodnikowej jest to ruch elektronów i dziur, a w elektrochemii ruch kationów i anionów w elektrolicie. Żeby prąd popłynął trzeba dysponować źródłem prądu – stałego lub zmiennego – i zbudować obwód elektryczny, do którego to źródło podłączymy. W źródłach prądu stałego energia elektryczna jest wytwarzana kosztem energii : a) mechanicznej w prądnicach prądu stałego, b) chemicznej w ogniwach galwanicznych, c) termicznej w ogniwach termoelektrycznych, d) świetlnej w fotoogniwach.

Historycznie pierwszym (XVII-XVIII w.) źródłem energii elektrycznej była maszyna elektrostatyczna, w której następowało rozdzielanie dodatniego i ujemnego ładunku elektrycznego poprzez wykorzystanie zjawiska elektryzowania się ciał przez pocieranie lub indukcji elektrostatycznej. Pod koniec XVIII w. Alessandro Volta skonstruował pierwsze ogniwo galwaniczne, które nadawało się do zastosowań technicznych, gdyż było w stanie dostarczać energię elektryczną przez długi czas. Niezbędnym składnikiem ogniwa galwanicznego jest elektrolit, w którym zanurzone są dwie elektrody wykonane z różnych przewodników. Jednym z najprostszych takich ogniw jest ogniwo Volty, w którym elektroda miedziana Cu i cynkowa Zn zanurzone są w wodnym roztworze kwasu siarkowego H_2SO_4 . Reakcje chemiczne elektrod z elektrolitem powodują naładowanie się ich do różnych potencjałów elektrycznych: $-0,76$ V dla Zn i $+0,34$ dla Cu. Dzięki tej różnicy potencjałów elektrodowych wynoszącej około 1,1 V, po połączeniu elektrod przewodnikiem popłynie w nim prąd. W celu podwyższenia napięcia na wyjściu źródła prądu łączy się szeregowo wiele ogniw tworząc w ten sposób baterie elektryczne.

Ogniwa galwaniczne dzielimy ze względu na możliwość wielokrotnego użytku na ogniwa pierwotne (jednorazowe) i ogniwa wtórne (wielorazowe) nazywane akumulatorami elektrycznymi. W tych pierwszych energia wytwarzana jest do momentu wyczerpania się energii chemicznej w nim zawartej, a w tych drugich po wyczerpaniu się energii chemicznej – rozładowaniu się akumulatora – możliwe jest jego naładowanie. Istotnym parametrem określającym zasoby energii chemicznej, a więc i czas pracy ogniwa, jest jego pojemność definiowana jako iloczyn natężenia prądu rozładowania I oraz czasu jego przepływu t . Pojemność ogniw lub akumulatorów podaje się najczęściej w amperogodzinach [Ah] lub miliamperogodzinach [mAh]. W trakcie ładowania akumulatora, dostarczana z zewnątrz energia elektryczna jest przetwarzana na energię chemiczną wewnątrz akumulatora. Przykładami ogniw pierwotnych są popularne ogniwa Leclanchego (1,5 V) znane pod nazwą R6 i dostępne w dwóch wielkościach/typach jako AA oraz AAA czy bateria „dziewięciowoltowa” 6F22 (9 V) zawierająca 6 połączonych ogniw AAAA. Popularne w użytku akumulatory to występujące w postaci AA lub AAA akumulatory nikielowo-metalowo-wodorkowe Ni-MH (1,2 V) lub akumulatory kwasowo-ołowiowe stosowane powszechnie w samochodach.

Każde źródło prądu charakteryzuje siła elektromotoryczna (SEM) oznaczana w literaturze symbolem E lub ε . Odpowiada ona energii elektrycznej W przekazanej przez źródło ładunkowi

jednostkowemu podczas jego pełnego obiegu po obwodzie zamkniętym w skład którego wchodzi to źródło. Dla dowolnego ładunku q , który wykonał taki obieg, SEM jest zdefiniowana następująco:

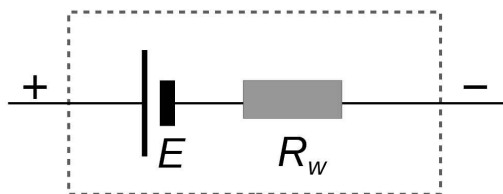
$$E = \frac{W}{q}. \quad (1)$$

Oznacza to, że SEM mierzymy w jednostkach J/C czyli w woltach. Siłę elektromotoryczną możemy określić w bardziej praktyczny sposób niż ten podany równaniem 1. Jest ona równa różnicy potencjałów, czyli napięciu U , między zaciskami ogniwa mierzonym woltomierzem o bardzo dużym oporze (teoretycznie nieskończenie dużym) tak, że podczas pomiaru przez ogniwo nie płynie prąd. Gdy przez ogniwo płynie prąd o natężeniu I , obserwujemy mniejsze napięcie między zaciskami ogniwa zgodnie z zależnością:

$$U = E - IR_w. \quad (2)$$

Powyższe równanie wynika z II prawem Kirchoffa jak pokazane jest to poniżej w punkcie *Metoda pomiaru*.

Jak pokazuje równanie 2, spadek napięcia na zaciskach źródła prądu wynika z występowania oporu wewnętrznego R_w źródła przez który płynie prąd I . Ilustruje to poniżej model/schemat ogniwa.



Rys. 1. Schemat ogniwa. Linia przerywana oznacza fizyczne granice ogniwa, a znaki + i - polaryzację napięcia na jego zaciskach.

Podczas gdy siła elektromotoryczna ogniwa galwanicznego zależy od rodzaju elektrod, stężenia elektrolitu i jego temperatury, opór zależy głównie od wielkości tego ogniwa, jego temperatury oraz stopnia jego rozładowania. Na początku eksploatacji jest on niewielki, np. rzędu kilku omów, by pod koniec wzrosnąć nawet do kilkudziesięciu omów. Zgodnie z równaniem 2, podczas przepływu takiego samego prądu rozładowania I obserwujemy duży spadek napięcia U na zaciskach wyczerpanych ogniw, gdyż na tak dużym oporze wewnętrznym spadek napięcia $U_{R_w} = IR_w$ jest teraz wielokrotnie większy.

Metoda pomiaru

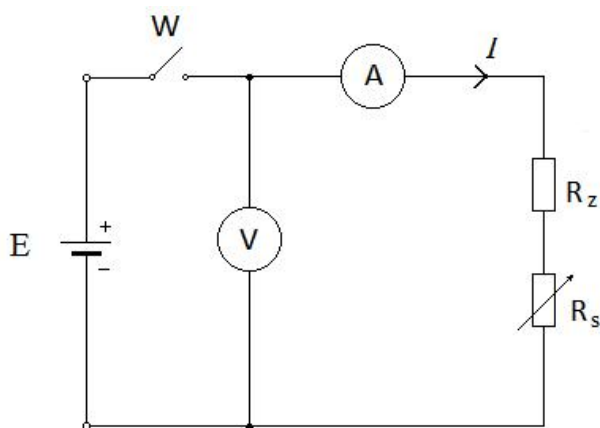
Pomiar siły elektromotorycznej E jest możliwy kilkoma sposobami. Ten zastosowany w ćwiczeniu umożliwia jednocześnie pomiar oporu wewnętrznego R_w . Zastosowana tu metoda polega na sporządzeniu charakterystyki źródła w postaci zależności napięcia U na zaciskach ogniwa w funkcji natężenia prądu I płynącego przez to źródło. Zgodnie z II prawem Kirchoffa dla obwodu pokazanego na Rys. 1 zachodzi równość

$$E = IR_w + IR_z + IR_s, \quad (3)$$

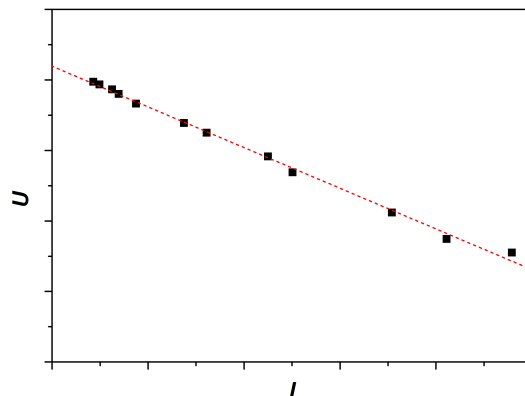
gdzie R_z jest oporem zabezpieczającym, R_s jest zmiennym oporem np. opornika suwakowego, a R_w wchodzi w skład źródła napięcia. Ponieważ z prawa Ohma wynika, że $U = I \cdot (R_z + R_s)$, zachodzi zależność:

$$U = -R_w I + E. \quad (4)$$

Przewidywana jest więc liniowa zależność między napięciem U a natężeniem prądu I .



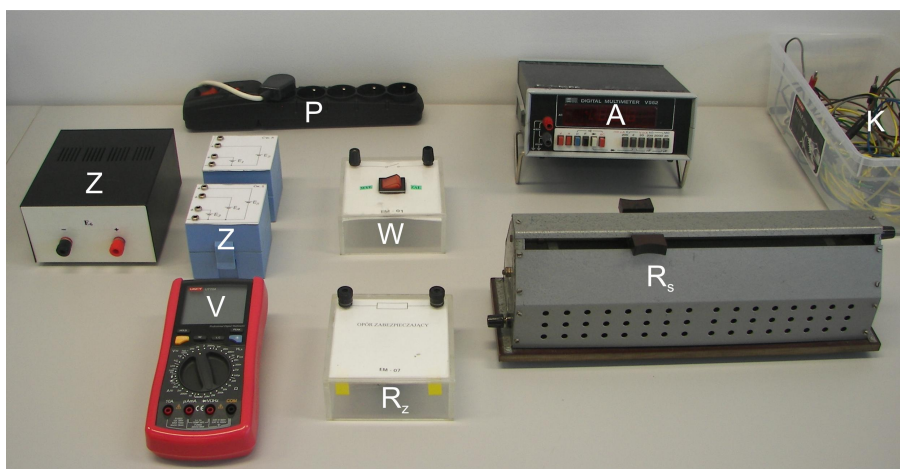
Rys. 2. Schemat układu pomiarowego do pomiaru siły elektromotorycznej i oporu wewnętrznego źródła napięcia.



Rys. 3. Punkty pomiarowe i ich liniowa aproksymacja tworzące wykres charakterystyki źródła napięcia.

W celu uzyskania wartości E i R_w należy sporządzić wykres $U(I)$ (patrz Rys. 3) dysponując wieloma pomiarami U i I . Dokonując dopasowania/interpolacji linii prostej do punktów pomiarowych metodą najmniejszych kwadratów uzyskujemy bezpośrednio wartości szukanych parametrów ogniwa, przy czym R_w jest wartością bezwzględną współczynnika kierunkowego prostej a E jest wyrazem wolnym.

Wykonanie ćwiczenia



Rys. 4. Zestaw przyrządów potrzebnych do pomiaru: Z – zestaw badanych źródeł napięcia, V – woltomierz, A – amperomierz, W – wyłącznik, R_s – opornik suwakowy, R_z – opornik zabezpieczający, K – kable połączeniowe, P – przedłużacz.

1. Skompletować zestaw przyrządów pokazany na Rys. 4. Numer ogniwa mierzonego podaje prowadzący.
2. Zestawić układ pomiarowy zgodnie ze schematem z Rys. 2 korzystając z przewodów połączeniowych. Użyć ich też do podłączenia woltomierza. W amperomierzu podłączyć przewody do zacisków i wcisnąć klawisz „A”. Przed rozpoczęciem pomiarów ustawić zakres pracy przyrządów – na woltomierzu 2 lub 20 V oraz na amperomierzu 200 mA.
3. Po sprawdzeniu obwodu przez prowadzącego, rozpocząć pomiary włączając: przedłużacz, woltomierz przyciskiem POWER, amperomierz przełącznikiem znajdującym się z tyłu urządzenia (pozycja ON) i zamykając wyłącznik W (pozycja ZAŁ).

4. Dokonać około 8-10 pomiarów napięcia na badanym ogniwie zmieniając natężenie prądu w obwodzie przez przesunięcie suwaka w opornicy suwakowej R_s , ale nie przekraczając wartości 200 mA, co objawia się zniknięciem wyświetlanych cyfr. Czas każdego z pomiarów, szczególnie przy wyższych natężeniach prądu, powinien być możliwie krótki, aby nie rozładowywać niepotrzebnie ogniwa.

5. Wyniki pomiarów zapisać do znajdującej się poniżej tabeli pomiarowej. Nanieść punkty pomiarowe na wykres $U = f(I)$. Stosując metodę najmniejszych kwadratów (MNK) uzyskać współczynniki aproksymującej linii prostej równe poszukiwanym wartościom E i R_w . W celu zautomatyzowania procesu obliczeń i wykonania wykresu zalecane jest zastosowanie arkusza kalkulacyjnego [2] zaprojektowanego specjalnie do obliczeń MNK.

6. Oszacować niepewności pomiarowe mierzonych wielkości ΔE i ΔR_w . Przyjąć, że są one równe odpowiednim wartościom niepewności współczynników aproksymującej linii prostej Δa i Δb .

Tabela pomiarowa

Nr ogniwa	Nr pomiaru	I [mA]	U [V]

Zagadnienia do kolokwium:

1. Prąd elektryczny i jego źródła.
2. Rodzaje ogniw galwanicznych.
3. Parametry ogniwa: siła elektromotoryczna, pojemność i opór wewnętrzny.
4. II prawo Kirchhoffa w zastosowaniu do szeregowego połączenia ogniwa/ogniw z opornikami.
5. Charakterystyka obciążeniowa źródła napięcia.
6. Aproksymacja liniowa metodą najmniejszych kwadratów.

Literatura:

1. S. J. Ling, J. Sanny, W. Moebs, *Fizyka dla szkół wyższych*, tom 2 (OpenStax Poland, 2018). Darmowy dostęp: <https://openstax.org/details/books/fizyka-dla-szkol-wyzszych-tom-2>.
2. D. Halliday, R. Resnick, J. Walker, *Podstawy fizyki*, tom 3 (Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa, 2003).
3. W. Polak, arkusz kalkulacyjny w Excelu do obliczania metodą najmniejszych kwadratów parametrów aproksymującej linii prostej i ich niepewności, http://www.kfs.pollub.pl/pracowniaelektr/naj_kwad.xls.
4. Sz. Szczeniowski, *Fizyka Doświadczalna*, Tom III (PWN, Warszawa).

Opiekun ćwiczenia: dr hab. Wiesław Polak