

XL OLIMPIADA FIZYCZNA ETAP I

Zadania doświadczalne

ZADANIE D1

Nazwa zadania: „Ładunek elektryczny-pomiar”

Masz do dyspozycji:

1. standardowe ogniwo typu R6,
2. amperomierz prądu stałego o zakresie do 2A,
3. woltomierz o zakresie do 2V,
4. oporniki o znanej oporności,
5. zegarek z sekundnikiem
6. kabelki połączeniowe, krokodylki.

A. Wyznacz całkowity ładunek elektryczny, który przepłynie przez dane ogniwo do momentu całkowitego jego rozładowania. Porównaj go z tak rozumianym całkowitym ładunkiem elektrycznym akumulatora samochodowego 12 V/45 Ah.

B. Zaplanuj i wykonaj dodatkowe pomiary związane z ogniwo typu R6 tak, aby przedyskutować możliwość zastosowania układu ogniw R6 (nowych) zamiast akumulatora w samochodzie osobowym. Ilu ogniw R6 należałoby użyć i jak je połączyć, aby otrzymać źródło prądu stałego równoważne akumulatorowi?

UWAGA 1! Jako oporników możesz użyć oporników drutowych lub ceramicznych o oporności w granicach $1 - 2\Omega$ i dopuszczalnej mocy strat co najmniej 1 W. Zamiast opornika możesz użyć opornicy drutowej ze szkolnej pracowni fizycznej.

UWAGA 2! Nie do pomiarów ogniwa alkalicznego.

ROZWIĄZANIE ZADANIA D1

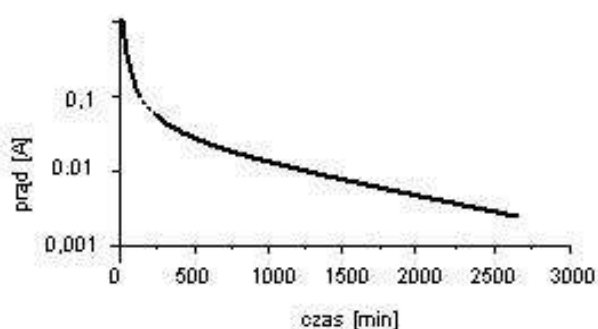
A. Całkowity ładunek elektryczny, o którym mowa w punkcie A, można wyznaczyć mierząc natężenie prądu płynącego przez zewnętrzny obwód jako funkcję czasu $I(t)$ podczas rozładowania ogniwa. Obliczając całkowite pole pod krzywą $I(t)$ dla czasów od $t_0 = 0$ (początek pomiarów) do $t_1 = \infty$ otrzymamy szukany ładunek elektryczny.

Proponuje się zestawić prosty obwód elektryczny złożony z ogniwa, opornika zewnętrznego i amperomierza połączonych szeregowo. Należy przy tym zadbać, żeby kabelki połączeniowe tworzyły trwałe i dobre kontakty, w szczególności z ogniwo. Można to osiągnąć poprzez przylutowanie kabelków (uwaga – nie jest to rzecz najłatwiejsza, ale wykonalna), wykorzystanie krokodylków lub też użycie innych połączeń, np. uchwytu na ogniwo R6 z latarki (musi być wyłączona) czy elektronicznego zegara ściennego itp. Przy zestawieniu obwodu powinno się unikać innego stosowania oporników zewnętrznych mniejszych niż 0,5 W, gdyż przypadku dobrej jakości ogniwa i dobrej jakości amperomierza może popłynąć w pierwszej chwili prąd większy niż 2 A.

Pomiary można prowadzić, aż do całkowitego rozładowania ogniwa. Ryc.1 przedstawia wynik takich pomiarów prowadzonych dla oporu zewnętrznego $R_{zew} \gg 1,0\text{ W}$.

Pomiary te były przeprowadzone przy użyciu amperomierza przesyłającego dane do komputera i trwały prawie dwie doby (rys. 1). Dla lepszej ilustracji skala pionowa

jest skalą logarytmiczną. Widać, że po bardzo długim czasie ogniwo jest nadal źródłem słabego prądu rzędu kilku mA. Pomiary takie są bardzo czasochłonne i nie należy oczekiwać tak wielu zebranych punktów pomiarowych w doświadczeniach przeprowadzonych w warunkach domowych.



Ryc. 1

Sposobem na pokonanie tej trudności jest zbieranie danych pomiarowych prowadzonych przez długi czas (np. kilkanaście godzin), ale w sposób selektywny. Dla początkowego okresu przeprowadzania doświadczenia, gdy zmiany prądu są znaczące odczyt może być przeprowadzony stosunkowo często. Dla późniejszego etapu, dla czasów dłuższych niż kilkadziesiąt minut od rozpoczęcia eksperymentu odczyt danych może być prowadzony stosunkowo rzadko. Wtedy możliwa jest interpolacja wykresu pomiędzy rzadko rozłożonymi punktami niezbędna do obliczenia pola pod krzywą $I(t)$.

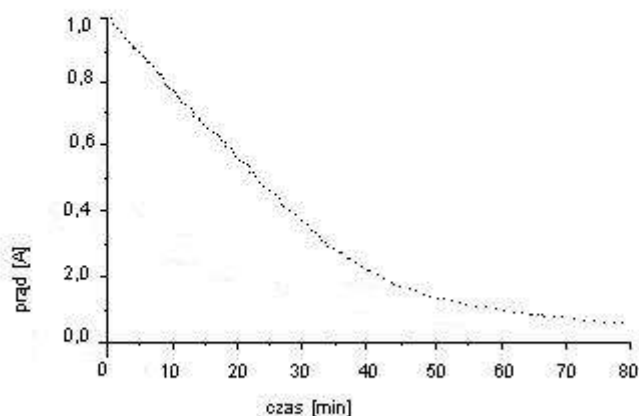
Drugim sposobem jest sporządzenie dokładnego wykresu $I(t)$ dla czasów rzędu do godziny lub nieco dłuższych (tak, aby mieściło się to w granicach „zdrowego rozsądku”). Wykres taki przedstawiony jest na rys. 2.

Analizując krzywa z ryc. 2 można zauważyć, że po początkowych zmianach płynącego prądu (spowodowanych zapewne różną intensywnością zachodzących w ogniwie reakcji chemicznych), od pewnego momentu zależność $I(t)$ ma charakter

funkcji wykładniczej $I(t) = I_0 e^{-\frac{t}{\tau_0}}$. Dla zależności z rys. 2 można przyjąć, że od około

60 -70 minuty zależności prądu płynącego przez ogniwo od czasu jest gładką krzywą o charakterze krzywej wykładniczej. Przedstawienie danych w półlogarytmicznym układzie współrzędnych (czas i $\log(\text{prądu})$, ryc. 3), pokazuje, że punkty doświadczalne w tym układzie współrzędnych układają się wzdłuż prostej. Można zatem dopasować krzywą wykładniczą do ostatnich kilkunastu punktów i poprzez jej

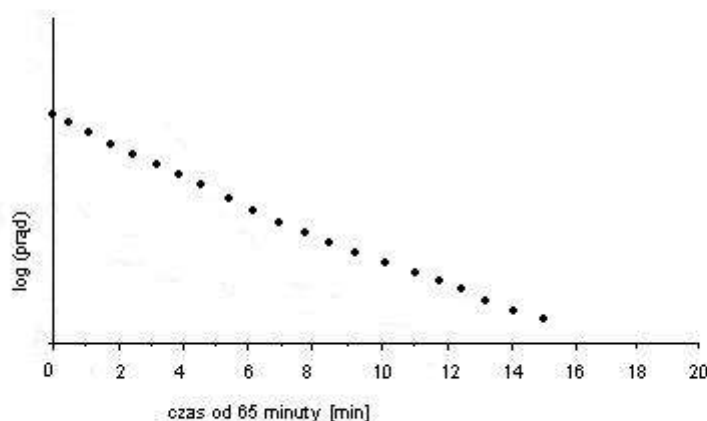
ekstrapolację oszacować wielkość ładunku elektrycznego, który przepłynąłby w układzie w czasie $t = 80$ min do nieskończoności.



Ryc. 2

Otrzymane wyniki wielkości ładunku, który przepłynął przez obwód, są następujące:

a) obliczając pole powierzchni pod krzywą z ryc. 1 (pole obliczamy stosując na osi pionowej skalę liniową, a nie logarymiczną otrzymujemy w wyniku ładunek $Q_i = 75$ Axmin = 4500 C. Ekstrapolacja tej krzywej do nieskończoności funkcją wykładniczą na podstawie punktów z zakresu czasów 1200-2200 min daje oszacowanie pozostałego ładunku na poziomie $Q_{\text{reszta}} = 3$ Axmin $\gg$ 200 C. W sumie zatem szukana wartość $Q_{\text{całkowite}} \gg$ 4700 C.



Ryc. 3

b) obliczając pole powierzchni pod krzywą z ryc. 2 otrzymujemy zamierzony w doświadczeniu ładunek $Q_2 = 29 \text{ Axmin} \gg 1700 \text{ C}$. Ekstrapolacja krzywej do nieskończoności funkcją wykładniczą (rys. 3) daje w wyniku ładunek

$Q_{2\text{reszta}} = 7 \text{ Axmin} \gg 400 \text{ C}$ co w sumie daje całkowity ładunek

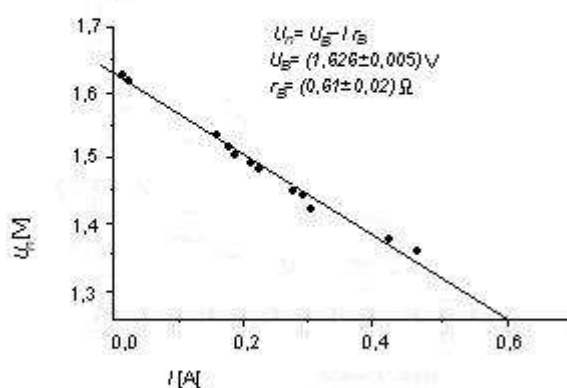
$Q_{2\text{całalkowi}} = 36 \text{ Axmin} \gg 2100 \text{ C}$.

Jak pokazuje doświadczenie z długo trwałym rozładowaniem ogniwa, rzeczywisty ładunek, który wypływa z ogniwa może być rzędu 4700 C. prowadząc doświadczenie jeszcze dłużej można byłoby pewnie dojść do jeszcze większej rzeczywistej wartości całkowitego ładunku zgromadzonego w ogniwie. Jednak zaledwie nieco mniej niż połowa ładunku (około 2100 C) przepływa przez układ w warunkach pracy ogniwa, które można wykorzystać w sposób użyteczny. Dawany przez ogniwo prąd jest wtedy rzędu co najmniej kilkuset mA. Większość wyznaczonej pojemności ogniwa ($Q_{1\text{całalkowi}} = 4700 \text{ C}$) bierze się z bardzo długotrwałego przepływu stosunkowo niewielkiego prądu. W normalnych warunkach ogniwo jest rozładowane do stanu z ok. 60-80 minuty (ryc. 2) a następnie wrzucane. Marnuje się zatem ponad połowa jego ładunku.

Przyjąć można zatem, że użyteczny ładunek ogniwa jest równy $Q_{2\text{całalkowi}} = 2100 \text{ C}$ co odpowiada $0,6 \text{ Axh}$. Ładunek akumulatora samochodowego $Q = 45 \text{ Axh}$ odpowiada ładunkowi użytecznemu $n = 75$ ogniw.

B. Aby z ogniw można było zbudować źródło równoważne akumulatorowi, należy zapewnić odpowiednie napięcie i co najważniejsze – oporność wewnętrzną. Prąd zwarcia akumulatora samochodowego (można go odczytać w danych technicznych akumulatora, umieszczony jest zazwyczaj na obudowie jako jeden z ważnych parametrów) jest rzędu 240 A, co przy napięciu 12 V daje oporność wewnętrzną $R_{\text{wew}} = 0,05 \Omega$. Należy zatem wyznaczyć oporność wewnętrzną jednego ogniwa, a następnie zaproponować taki układ ogniw R6, aby jego oporność wewnętrzną i napięcie odpowiadały odpowiednim wartościom dla akumulatora.

Korzystając z kilku oporników R_n należy wyznaczyć zależność napięcia U_n na końcówkach baterii jako funkcje płynącego prądu I . Do układu zestawionego w poprzednim punkcie należy dołączyć woltomierz, mierzący napięcie na zaciskach ogniwa oraz montować kolejno różne kombinacje połączeń oporników pozwalające na różne obciążenie ogniwa. Zależność otrzymana w rozwiązaniu wzorcowym przedstawiona jest na ryc. 4.



Ryc. 3

Z dopasowania prostej otrzymano opór wewnętrzny ogniwa, który równy jest $r_B = (0.61 \pm 0.02) \Omega$.

Równoważny akumulatorowi układ ogniw powinien składać się zatem z ok. 100 gałęzi połączonych ze sobą równolegle, a w każdej gałęzi powinno być 8 ogniw połączonych szeregowo, dających $8 \cdot 1.62 \text{ V} = 12.96 \text{ V}$, co odpowiada napięciu akumulatora. Wtedy opór wewnętrzny każdej gałęzi równy byłby $8 \cdot 0.61 \Omega = 4.88 \Omega$, zaś opór 100 gałęzi dawałby wewnętrzny opór układu równy $r_{\text{we w}} = 0.049 \Omega$, który równy jest z dobrym przybliżeniem oporowi wewnętrznemu akumulatora. Należy zatem użyć około 800 ogniw, aby mieć układ równoważny akumulatorowi pod względem oporności wewnętrznej. Liczbę tę w zasadzie należy porównać z liczbą ogniw w pierwszej części rozwiązania, sprawdzając czy układ wspomnianych 800 ogniw spełnia kryterium zapewnienia co najmniej takiej samej ilości ładunku elektrycznego mogące przepłynąć przez obwód zewnętrzny.

Z porównania z odpowiedzią a pierwszej części zadania, widać, że w zestawieniu układu równoważnemu akumulatorowi decydującym parametrem jest opór wewnętrzny ogniwa, a nie jego ładunek. Ładunek w 800 ogniwach w drugiej części zadania odpowiada całkowitemu ładunkowi $Q' = 480 \text{ A} \cdot \text{h}$, a więc znacznie przewyższa ładunek jednego akumulatora.

Punktacja:

Za każde zadanie można otrzymać maksimum 40 punktów.

Zadanie pochodzi z czasopisma „Fizyka w Szkole” marzec 01r.

Komitet Okręgowy Olimpiady Fizycznej w Szczecinie
www.of.szc.pl