

LI OLIMPIADA FIZYCZNA (2001/2002). Stopień II, zadanie doświadczalne – D.

Źródło: Komitet Główny Olimpiady Fizycznej;

Andrzej Wysmołek – sekretarz naukowy do zad. dośw. – KGOF, IFD UW;

Marek Trippenbach, Andrzej Wysmołek: *Fizyka w Szkole* nr 2, 2002.

Nazwa zadania: Badanie czarnej skrzynki dla układu czterech diod i trzech oporników.

Działy: Elektryczność

Słowa kluczowe: prąd elektryczny, napięcie, natężenie, woltomierz, amperomierz, obwód, opór, opornik, dioda, zasilacz.

Zadanie doświadczalne – D, zawody II stopnia, LI OF.

Cztery identyczne diody oraz trzy oporniki o oporach nie różniących się od siebie o więcej niż 2% połączono szeregowo w zamknięty obwód elektryczny. Elementy obwodu zostały umieszczone w rurkach izolacyjnych w taki sposób, że nie można ustalić ich rozmieszczenia. W trzech punktach obwodu utworzono kontakty oznaczone literami A, B oraz C, do których można podłączyć przewody elektryczne.

Masz do dyspozycji:

- woltomierz,
- amperomierz,
- zasilacz napięcia stałego, regulowanego w zakresie 0 – 4,5 V,
- przewody i zaciski umożliwiające zestawienie układu pomiarowego
- papier milimetrowy.

Wykonaj pomiary zależności natężenia prądu od przyłożonego napięcia dla każdej pary kontaktów.

Na podstawie uzyskanych wyników:

- znajdź schemat elektryczny obwodu;
- wyznacz opór każdego z oporników i oszacuj niepewność znalezionych wartości;
- wyznacz zależność natężenia prądu płynącego przez diodę od przyłożonego do niej napięcia w kierunku przewodzenia.

Wskazówka:

Przyjmij, że dla prądów o natężeniu I większym niż 15 mA przyrost napięcia na diodzie ΔU spowodowany wzrostem natężenia płynącego przez nią prądu o ΔI spełnia zależność:

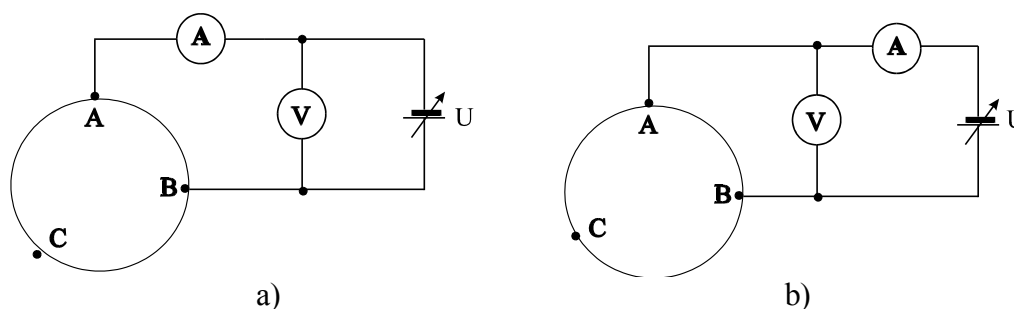
$$\frac{\Delta U}{\Delta I} \ll R,$$

gdzie R oznacza opór dowolnego z oporników występujących w obwodzie.

Rozwiązanie.**Część teoretyczna.**

Zgodnie z poleceniem zawartym w treści zadania należy wykonać pomiary zależności natężenia prądu od napięcia przyłożonego do kontaktów. Ze względu na to, że zarówno woltomierz jak i amperomierz nie są idealne to, w zależności od wartości natężenia prądu w obwodzie, należy zastosować odpowiednie ich połączenie. W przypadku gdy chcemy zmierzyć małe natężenia prądu, tzn. gdy opór w obwodzie jest zbliżony do oporu wewnętrznego woltomierza, należy użyć układu przedstawionego na Rys.1 a, zaś w sytuacji gdy mamy do czynienia z dużymi natężeniami prądu, tzn. gdy oporność wewnętrzna amperomierza zaczyna

być istotna, właściwe jest wykorzystanie układu przedstawionego na Rys. 1b. O tym jaki układ pomiarowy wybrać powinno rozstrzygnąć doświadczenie.



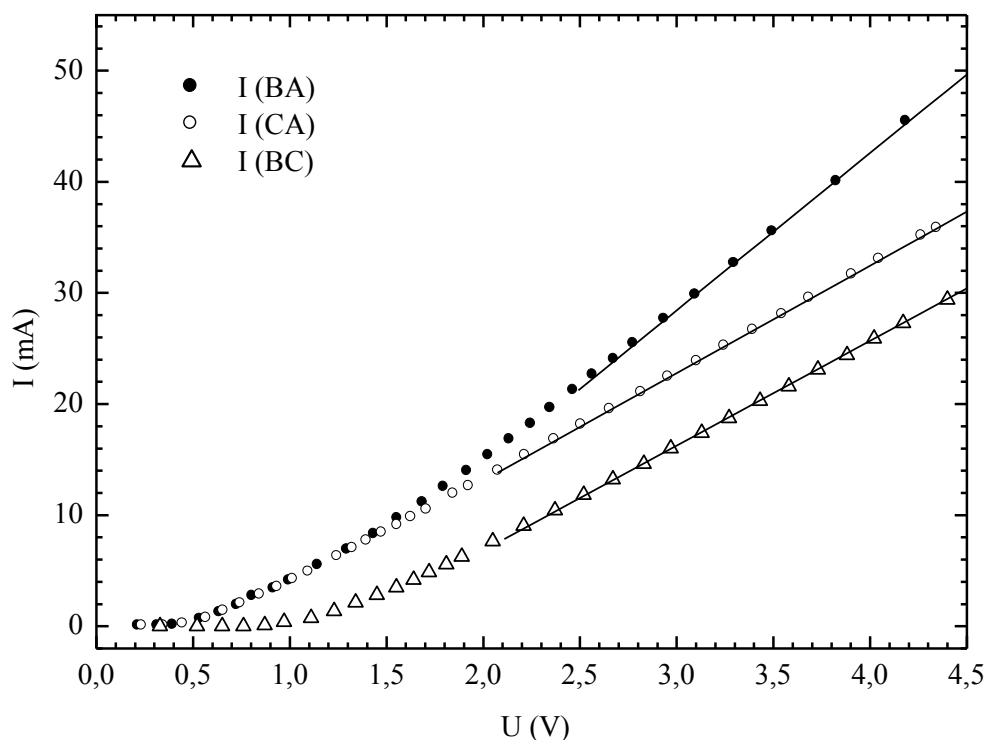
Rys. 1

Część doświadczalna.

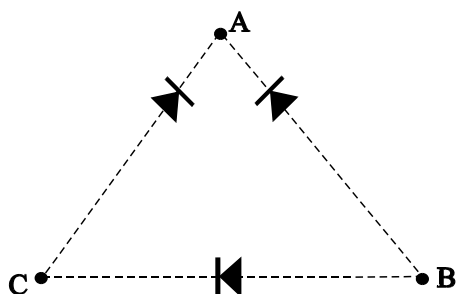
Trzy charakterystyki prądowo-napięciowe uzyskane dla par kontaktów CA, BA oraz BC przedstawiono na Rys. 2. W pomiarach tych biegun dodatni źródła napięcia połączony był odpowiednio z kontaktem C i dwukrotnie z kontaktem B. Ponieważ przy prądach o natężeniu kilkudziesięciu mA, spadek napięcia na amperomierzu wynosił ok. 0,1 V, to w pomiarach tych użyto konfiguracji z Rys. 1b. Dla odwrotnej polaryzacji (ujemny biegun źródła odpowiednio na C i B) przy maksymalnych wartościach napięcia zasilania, płynące w obwodzie prądy osiągały natężenia mniejsze niż $0,1 \mu\text{A}$. W tym wypadku, właściwsza jest konfiguracja pomiarowa przedstawiona na Rys. 1a. Dla typowych, cyfrowych mierników uniwersalnych, przy napięciu 4,5 V, natężenie prądu płynącego przez woltomierz wynosi około $0,5 \mu\text{A}$. Gdy używa się mało czułego amperomierza, nie ma znaczenia jaką konfigurację się wybierze - po prostu stwierdzi się brak przepływu prądu w obwodzie.

Z wykonanych pomiarów wynika, że dla każdej pary kontaktów istnieje polaryzacja dla której nie płynie prąd (lub jest on bardzo mały). Można zatem wnioskować, że na każdym odcinku obwodu umieszczona jest co najmniej jedna dioda o odpowiedniej polaryzacji, co schematycznie przedstawiono na Rys. 3a. Hipotezę taką można zweryfikować analizując charakterystyki prądowo-napięciowe w kierunku przewodzenia. Przy niskich natężeniach prądu dominującą rolę w pomiarach odgrywa nieliniowa charakterystyka diod. Przy wyższych natężeniach mierzone zależności są praktycznie liniowe, a więc takie jakich można się spodziewać dla oporników. W przypadku układu badanego przez recenzenta, z dopasowania prostych do liniowych zakresów charakterystyk, otrzymano: $R_1 = 106 \pm 0,5 \Omega$ dla pary CA, $R_2 = 103,5 \pm 0,5 \Omega$, dla pary CB oraz $R_3 = 70,4 \pm 0,5 \Omega$ dla pary BA. Wynik ten pozwala wyeliminować sytuację, w której między którąś z par kontaktów włączone byłyby diody ustawione w przeciwnych kierunkach, wtedy bowiem opór między jedną z par kontaktów musiałby być sumą oporów dwóch pozostałych par. Dodatkowo, ponieważ dwie z uzyskanych wartości oporów nie różnią się znacząco to można oczekiwać, że są to dwa z szukanych oporów (po jednym w gałęziach CA i BC), a trzeci zmierzony opór R_3 wynika z równoległego przepływu prądu przez gałęzie BA oraz BC i CA (Rys. 3a). Z porównania charakterystyk prądowo-napięciowych dla kontaktów BC i CA wynika, że natężenie prądu płynącego między kontaktami BC jest mniejsze od natężenia prądu w gałęzi CA. Mimo to, w zakresie dużych natężeń prądu, mierzone charakterystyki prądowo-napięciowe są praktycznie równoległe, a więc zdeterminowane przez zbliżoną wartość oporu. Sugeruje to, że między kontaktami C i B znajdują się dwie diody i opornik, natomiast między kontaktami C i A włączono jedną diodę i opornik. Trzeci opornik musi być więc między kontaktami A i B (Rys. 3b).

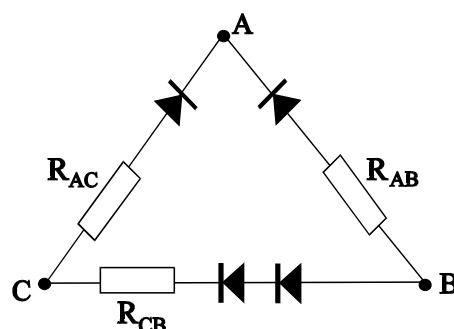
Znając układ połączeń w obwodzie (Rys. 3b) można wyznaczyć wartości oporów. Zgodnie ze wskazówką podaną w treści zadania, dla odpowiednio dużych natężeń prądu płynącego



Rys. 2



Rys. 3a



Rys. 3b

przez diodę spełniona jest zależność: $\frac{\Delta U}{\Delta I} \ll R$. Oznacza to, że nachylenia liniowych części

charakterystyk prądowo napięciowych dla par kontaktów CA oraz CB, z dobrym przybliżeniem, określone są bezpośrednio przez wartości oporności oporników

$R_{AC} = R_1 = 106,0 \pm 0,5 \Omega$ oraz $R_{CB} = R_2 = 103,5 \pm 0,5 \Omega$.

Ponieważ wypadkowy prąd mierzony po przyłożeniu napięcia do kontaktów AB, jest sumą prądów płynących przez opór R_{AB} oraz prądu płynącego przez opory R_{AC} i R_{CB} , to spełniony jest związek:

$$R_{AB} = \frac{(R_1 + R_2) R_3}{R_1 + R_2 - R_3} \quad (1)$$

Po podstawieniu do wzoru (1) za R_1 , R_2 , R_3 wartości wyznaczonych w doświadczeniu otrzymano $R_{AB} = 106 \pm 2 \Omega$.

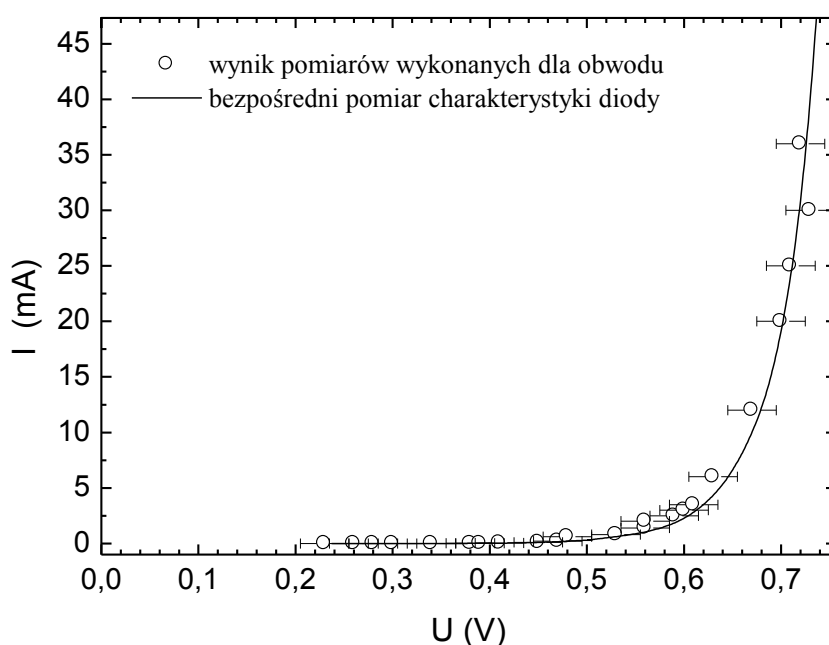
Charakterystykę diody można wyznaczyć, korzystając z tego, że wartość napięcia na

oporniku jest proporcjonalna do natężenia przepływającego przez niego prądu I . Zatem, znając wartość oporu w danej gałęzi obwodu, można odjąć od napięcia U , przyłożonego do szeregowo połączonych elementów, część napięcia przypadającą na opornik, otrzymując w ten sposób napięcie na diodzie:

$$U_d(I) = U - IR \quad (2)$$

Wyznaczoną zależność natężenia prądu płynącego przez diodę od przyłożonego do niej napięcia w kierunku przewodzenia przedstawiono na Rys. 4. Widać, że dobrze odwzorza ona charakterystykę diody zmierzoną bezpośrednio.

Jeśli wartości oporów występujących w układzie nie różnią się w granicach niepewności pomiarowych, to charakterystykę diody można wyznaczyć, korzystając z tego, że w gałęzi CA obwodu prąd płynie przez diodę i opornik, a w gałęzi BC przez dwie diody i opornik. Zatem, napięcie na jednej diodzie można wyznaczyć odejmując napięcie CA od napięcia BC, zmierzone przy tym samym natężeniu prądu przepływającego przez obie gałęzie.



Rys. 4

Uzyskany wynik zależy w dużej mierze od staranności wykonania pomiarów. Należy zadbować o to aby połączenia przewodów pomiarowych z obwodem były stabilne. Dla zwiększenia dokładności pomiarów należy zmierzyć odpowiednio dużo punktów charakterystyk prądowo napięciowych.

Proponowana punktacja

1. Pomiar zależności natężenia prądu od napięcia przyłożonego do kontaktów (wybór układu pomiarowego, poprawne wykonanie pomiarów, liczba zmierzonych punktów charakterystyk prądowo napięciowych, wykresy) do 6 pkt.
2. Znalezienie schematu elektrycznego obwodu (rozmieszczenie diod w obwodzie, rozmieszczenie oporników) do 6 pkt.
3. Wyznaczenie wartości oporów wraz z niepewnością pomiarową (dopasowanie prostych do właściwych zakresów charakterystyk prądowo-napięciowych, dyskusja oporu szeregowego diody) do 4 pkt.
4. Wyznaczenie charakterystyki diody (uzasadnienie metody, staranność wykonania wykresu) do 4 pkt.