

**XXIX OLIMPIADA FIZYCZNA (1979/1980). Stopień III, zadanie doświadczalne – D**

**Źródło:** Komitet Główny Olimpiady Fizycznej;  
 Waldemar Gorzkowski, Andrzej Kotlicki:  
*Fizyka w Szkole* nr 6, 1980;  
*Olimpiada fizyczna. Wybrane zadania doświadczalne z rozwiązaniami.*  
 Stowarzyszenie *Symetria i Własności Strukturalne*, Poznań 1994, zad. 45, str. , 151 – 155.  
 Andrzej Nadolny, Krystyna Pniewska: *Olimpiady Fizyczne XXIX – XXXI*, WSiP, Warszawa  
 1986, str. 70 – 74.

**Nazwa zadania:** Wyznaczanie napięcia układu kondensator – opornik za pomocą układu z tranzystorem polowym

**Działy:** Elektryczność

**Słowa kluczowe:** napięcie, natężenie, opór prądu elektrycznego, miernik uniwersalny, opornik, kondensator, bateria, obwód, tranzystor polowy

**Zadanie 4 doświadczalne, zawody III stopnia, XXIX OF**

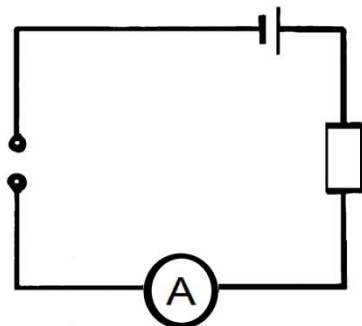
Mając do dyspozycji: trójnóżkowy element półprzewodnikowy, dwie baterie 4,5 V z opornikami zabezpieczającymi 560  $\Omega$ , potencjometr, 2 mierniki uniwersalne, kable połączeniowe i krokodylki, wyznacz napięcie do jakiego naładowano dostarczony przez asystenta układ składający się z połączonych szeregowo kondensatora i opornika.

*Uwaga*

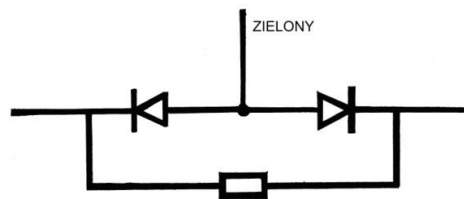
1. Jedna z końcówek powyższego elementu półprzewodnikowego ma tę własność, że od jej potencjału silnie zależy opór między pozostałymi końcówkami.
2. Baterii nie można podłączać do przyrządu półprzewodnikowego, bezpośrednio (bez oporu zabezpieczającego) gdyż grozi to jego uszkodzeniem.

**Rozwiązanie**

Uczestnicy przystępujący do rozwiązania zadania mogli od razu stwierdzić, że oporność dołączona szeregowo do kondensatora była zbyt duża, aby którykolwiek z mierników nadał się zastosować jako galwanometr balistyczny. Miernik po podłączeniu do układu kondensator + opornik wychylił się co najwyżej o jedną – dwie działki. Można było (co część uczestników wykorzystała) określić polaryzację (znak) napięcia do jakiego był naładowany kondensator. Trzeba było wobec tego zbadać własności układu półprzewodnikowego i spróbować wykorzystać go do pomiaru napięcia. Układ z rysunku 1 podłączony do kolejnych par końcówek przy obu polaryzacjach pozwalał stwierdzić, że w pierwszym przybliżeniu mamy do czynienia z układem przedstawionym na rysunku 2.



Rys. 1

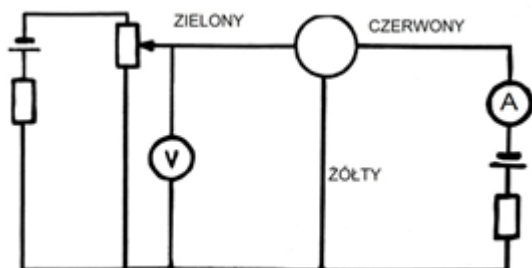


Rys. 2.

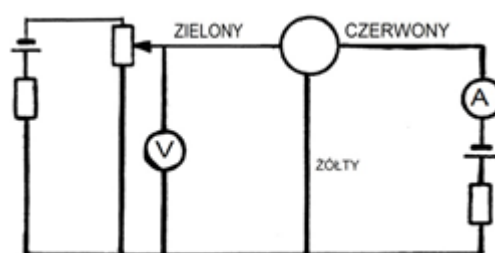
Widać od razu, że wyróżniona jest końcówka, która w zestawie była przyłutowana do zielonego przewodu. Opór  $R$  zależał silnie od potencjału końcówki zielonej - zmieniała go nawet zbliżenie ręki. W tym momencie badań - wielu uczniów doszło do wniosku, że ma do czynienia z tranzystorem npn. Wniosek ten był błędny, ale ponieważ określenie rodzaju elementu półprzewodnikowego nie było celem zadania nie wpływało to na punktację.

Inni uczniowie doszli do słusznego wniosku, że mają do czynienia z tranzystorem polowym (FET) z kanałem typu n.

Następnym krokiem było zmontowanie układu przedstawionego na rysunku 3.



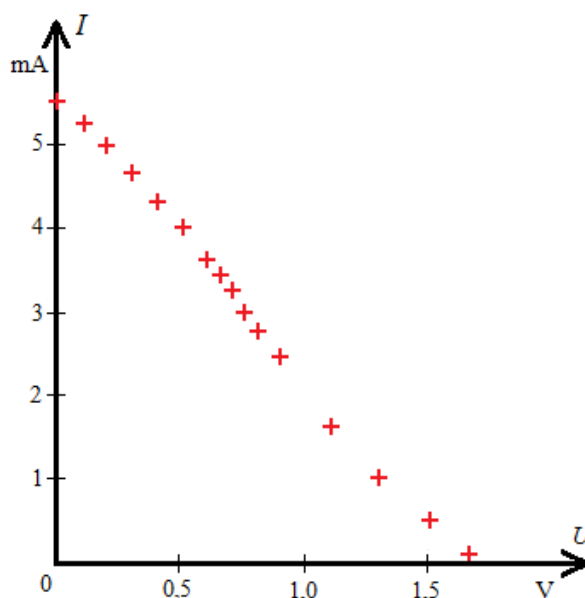
Rys. 3



Rys. 4.

Polaryzacja końcówek czerwonej i żółtej nie miała znaczenia. Zarówno przy dodatniej jak i ujemnej polaryzacji końcówki zielonej względem pozostałych wartość potencjału końcówki zielonej wpływała na oporność między pozostałymi. Natomiast jak się łatwo było przekonać w układzie przedstawionym na rysunku 4, przy dodatniej polaryzacji końcówki zielonej można było zaobserwować przepływ prądu przez amperomierz  $I$  a przy polaryzacji ujemnej tej końcówki prąd był mniejszy od czułości miernika.

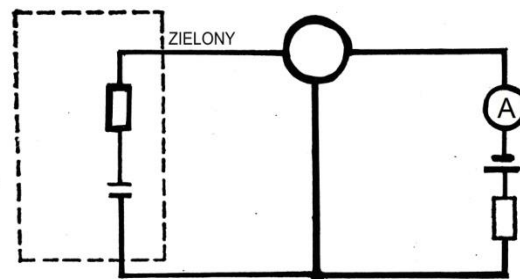
Ponieważ chodziło o to, żeby kondensator nie rozładowywał się w czasie pomiaru, należało polaryzować końcówkę zieloną ujemnie względem pozostałych.



Rys. 5

Po przeprowadzeniu takich badań i rozumowania, dalsze wykonanie zadania było już proste. Należało w układzie przedstawionym na rysunku 3 wyznaczyć zależność natężenia prądu w obwodzie końcówek czerwonej i żółtej od potencjału końcówki zielonej, wykreślić ją (rys. 5) a następnie dołączyć zamiast układu potencjometrycznego układ badany (rys. 6),

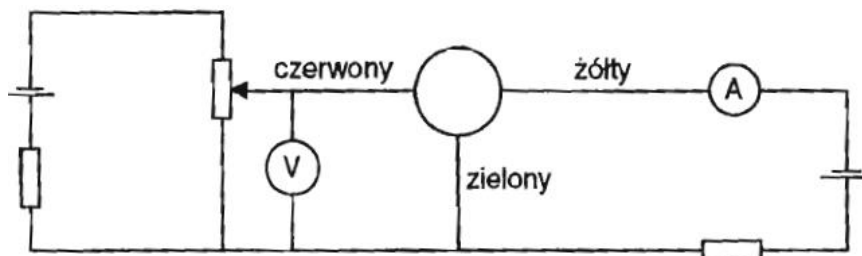
zmierzyć natężenie prądu i odczytać z wykresu szukaną wartość napięcia. W celu uniknięcia interpolacji można było po odczytaniu wartości prądu podłączyć powtórnie układ potencjometryczny i ustawić tak napięcie, żeby uzyskać ten sam prąd, jak przy połączeniu układu z kondensatorem. Niektórzy uczestnicy tak właśnie postępowali. Oszacowanie niepewności pomiaru należało przeprowadzić na podstawie dokładności mierników.



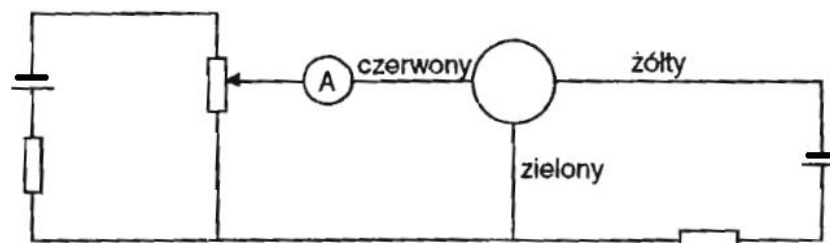
Rys. 6

Po włączeniu do obwodu naładowanego układu opornik + kondensator, natężenie prądu w obwodzie końcówek żółtej i czerwonej nie zmieniło się, co świadczyło o bardzo dużej oporności wejściowej zbudowanego „przyrządu”.

Wielu uczestników wykorzystało do pomiarów układ przedstawiony na rysunku 7. Wprawdzie i w tym układzie można było regulować prąd  $I$  przez zmianę napięcia  $U$ , ale jak się można było przekonać, w układzie z rysunku 8, opór wejściowy tak wykorzystanego układu półprzewodnikowego jest mały. Po włączeniu na miejsce układu potencjometrycznego badanego układu kondensator + opór napięcie na kondensatorze zmieniło się. Niektórzy uczestnicy próbowali prowadzić badania w układzie przedstawionym na rysunku 9. Oczywiście w tym układzie ze względu na bardzo małą pojemność użytych przyrządów potencjał obwodu potencjometrycznego jest zupełnie przypadkowy w stosunku do obwodu z amperomierzem i żadnych wyników nie można w takim układzie uzyskać.



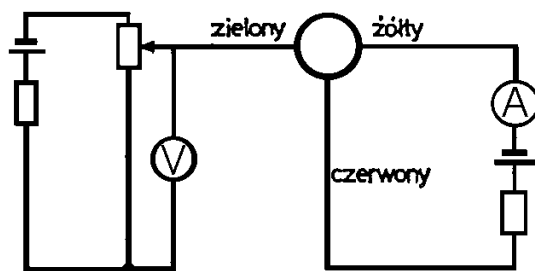
Rys. 7.



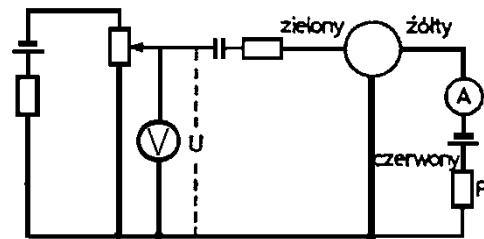
Rys. 8.

Niektórzy uczestnicy nie zachowywali należytej ostrożności przy przenoszeniu układu opór + kondensator i dotykali palcami jego końcówek. Ponieważ opór skóry jest rzędu 1 – 10 M $\Omega$  zależnie od wilgotności, a mieliśmy do czynienia z kondensatorem o pojemności

2,2 mF i opornikiem 1 M $\Omega$ , takie postępowanie prowadziło do częściowego rozładowania kondensatora i zafałszowania wyników.



Rys. 9



Rys. 10.

Podobnie włączenie układu, opór + kondensator, najpierw końcówką – do zielonej końcówki w układzie z rysunku 6 prowadziło ze względu na przyczyny omawiane powyżej do częściowego rozładowania kondensatora.

Kilku uczestników dołączało badany układ, kondensator + opornik, szeregowo do układu potencjometrycznego (rys. 10). Jeżeli polaryzacja końcówki zielonej była ujemna a bezwzględna wartość jej potencjału większa od napięcia do jakiego naładowano kondensator, takie postępowanie prowadziło do uzyskania prawidłowego wyniku.

Jak wspomniano nieznanym elementem półprzewodnikowym był tranzystor polowy z kanałem typu n, o symbolu BF 256. Łatwo się domyślić, że końcówka zielona była podłączona do bramki a czerwona i żółta odpowiednio do źródła i drenu tranzystora polowego. Dla zakresu napięć wykorzystywanych w ćwiczeniach źródło i dren były nierozróżnialne.

Czytelników zainteresowanych zasadą działania tranzystorów polowych odsyłamy do Encyklopedii Fizyki lub podręczników elektroniki (np. P. E. Gray, C. L. Searle, *Podstawy elektroniki*, PWN, Warszawa 1976).

Warto podkreślić, że ze względu na swoją dużą oporność pomiędzy bramką a kanałem (rzędu  $10^9 - 10^{14} \Omega$ ) tranzystory takie mają służyć do konstruowania, woltomierzy o bardzo dużym oporze wejściowym. Mając dc dyspozycji tranzystor polowy np. użyty w doświadczeniu można wykonać woltomierz, a przy użyciu wzmacniacza prądu stałego mili- lub mikro-woltomierz o oporze wejściowym rzędu  $10^{10} \Omega$ . Taki przyrząd pozwala bezpośrednio mierzyć siłę elektromotoryczną np. termopary, a jego oporność wejściowa nie wprowadza żadnego błędu przy pomiarach napięcia.

Spośród szesnastu uczniów, których prace doświadczalne ocenione zostały na 18-20 punktów (na 20 możliwych), siedmiu umiało powiedzieć z jakim przyrządem półprzewodnikowym ma do czynienia. Pozostali twierdzili, że używają tranzystora lub pozostali przy nazwie „przyrząd półprzewodnikowy”. Widać więc, że zadanie można było poprawnie rozwiązać prowadząc odpowiednie badania i nie korzystając z wiadomości z poza programu szkolnego.