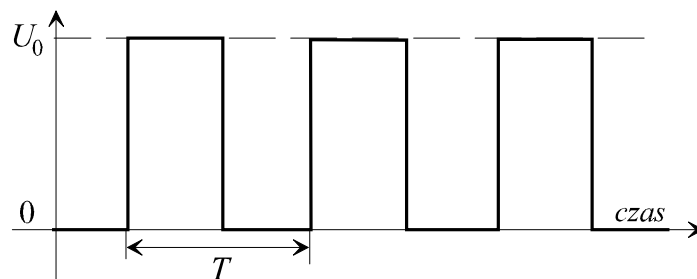


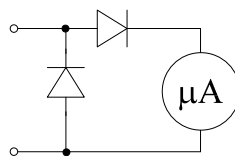
**XLVI OLIMPIADA FIZYCZNA (1996/1997). Stopień III, zadanie doświadczalne – D****Źródło:** Komitet Główny Olimpiady Fizycznej; Fizyka w Szkole Nr 1, 1998**Autor:** Andrzej Wysmołek, KGOF, IFD UW.**Nazwa zadania:** Wyznaczanie stałej dielektrycznej plastikowej folii**Działy:** Elektrodynamika**Słowa kluczowe:** stała dielektryczna, napięcie, dioda elektryczna, mikroamperomierz, kondensator, pojemność, potencjał, obwód elektryczny**Zadanie doświadczalne – D, zawody III stopnia, XLVI OF.**

Masz do dyspozycji:

- kawałki plastikowej folii o grubości  $d = 100 \mu\text{m}$ ,
- prostokątne płytki laminatu pokrytego jednostronnie warstwą miedzi,
- szklany obciążnik,
- generator drgań prostokątnych o okresie  $T = 20 \mu\text{s}$  i napięciu  $U_0 = 5 \text{ V}$  (Rys. 1),
- linijkę,
- mikroamperomierz połączony na stałe z układem dwóch diod (patrz Rys. 2),
- przewody elektryczne z końcówkami,
- podstawki ułatwiające zestawienie układu pomiarowego.

Wyznacz wartość stałej dielektrycznej  $\varepsilon$  plastikowej folii.

Rys. 1. Zależność napięcia na zaciskach generatora od czasu.



Rys. 2. Schemat połączeń elektrycznych diod z mikroamperomierzem.

Uwagi:

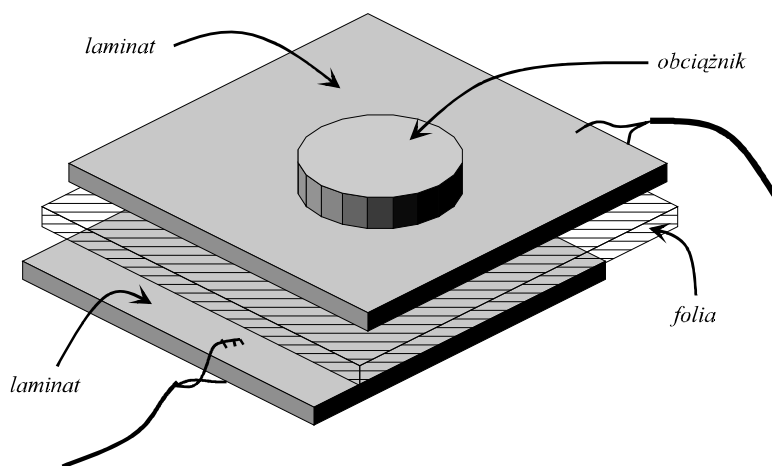
1. Mikroamperomierz dostępny w układzie wskazuje średnią wartość ładunku przepływającego przez niego w jednostce czasu (tzn. średnią wartość natężenia prądu).
2. Przyjmij, że diody dostępne w układzie wykazują zerowy opór po przyłożeniu do nich napięcia w kierunku przewodzenia i nieskończony opór dla kierunku zaporowego.
3. Załóż, że pojemności złącz diod  $D_1$  oraz  $D_2$  są pomijalnie małe.
4. Przyjmij ponadto, że oporności wewnętrzne generatora i mikroamperomierza są bliskie zera.

**Przed włączeniem zasilania należy poprosić asystenta o sprawdzenie połączeń w układzie pomiarowym.**

## Rozwiązanie

### Część teoretyczna

Rozwiązanie zadania polega na wykorzystaniu zależności pojemności kondensatora płaskiego od stałej dielektrycznej  $\varepsilon$  izolatora znajdującego się między jego okładkami. Kondensator taki można zbudować wsuwając między płytki z laminatu (ułożonymi warstwami miedzi do środka) plastikową folię (Rys. 1).



Rys. 1. Kondensator z laminatu pokrytego miedzią i folii plastikowej. Między okładkami można umieścić więcej warstw folii.

Pojemność  $C_k$  kondensatora płaskiego zależy od stałej dielektrycznej folii  $\varepsilon$

$$C_k = \frac{\varepsilon S}{nd}, \quad (1)$$

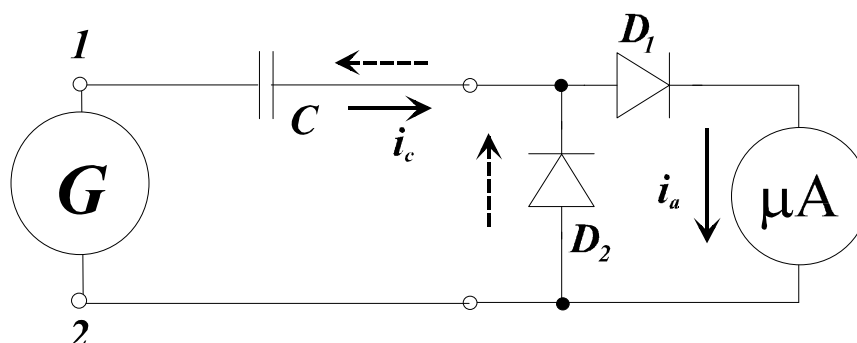
gdzie  $S$  – powierzchnia okładek,  $d$  – grubość folii,  $n$  – liczba warstw folii umieszczonych między okładkami. Wzór (1) obowiązywałby w przypadku, gdyby powierzchnia okładek z laminatu była idealnie równa. Dostępny w sprzedaży laminat jest jednak zwykle pokrzywiony i nierówny, dlatego obliczając pojemność zbudowanego przy jego użyciu kondensatora należy wprowadzić dodatkową, dołączoną szeregowo pojemność  $C_0$ , odpowiedzialną za nierówności okładek. Wypadkowa pojemność kondensatora spełniać będzie związek:

$$\frac{1}{C} = \frac{1}{C_k} + \frac{1}{C_0} \quad (2)$$

lub po skorzystaniu ze wzoru (1)

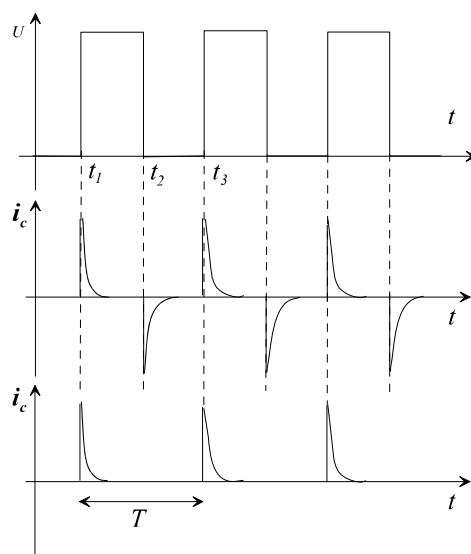
$$\frac{1}{C} = \frac{nd}{\varepsilon S} + \frac{1}{C_0} \quad (3)$$

Pomiary pojemności można wykonać w układzie, którego schemat przedstawiony jest na Rys. 2.



Rys. 2. Schemat układu pomiarowego.  $C$  – badany kondensator,  $D_1$ ,  $D_2$  – diody,  $G$  – generator,  $\mu A$  – mikroamperomierz.

Założmy, że różnica potencjałów  $U$  między zaciskami 1 i 2 generatora zmienia się tak jak to przedstawiono na Rys. 3.



Rys. 3.

Od chwili  $t_1$  (Rys. 3) prąd z generatora płynie przez diodę  $D_1$  i mikroamperomierz. Dzieje się tak do momentu gdy napięcie między okładkami kondensatora  $C$  nie osiągnie wartości napięcia na wyjściu generatora  $U_0$ . Na kondensatorze zgromadzi się wtedy ładunek  $Q = CU_0$ . W chwili  $t_2$  napięcie na zaciskach generatora spadnie do zera i kondensator zacznie rozładowywać się przez diodę  $D_2$ . Przez mikroamperomierz nie będzie wtedy płynął prąd, gdyż dioda  $D_1$  będzie wtedy spolaryzowana zaporowo. W kolejnych okresach czasu  $T$  sytuacja będzie się powtarzać, a średni prąd  $I$  przepływający przez mikroamperomierz wyniesie

$$I = \frac{Q}{T} = \frac{CU_0}{T} \quad (4)$$

Łącząc wyrażenia (3) i (4) dostajemy:

$$\frac{1}{I} = \frac{Td}{U_0 \varepsilon S} n + \frac{T}{U_0 C_0} \quad (5)$$

lub

$$\frac{1}{I} = An + B \quad (6)$$

gdzie

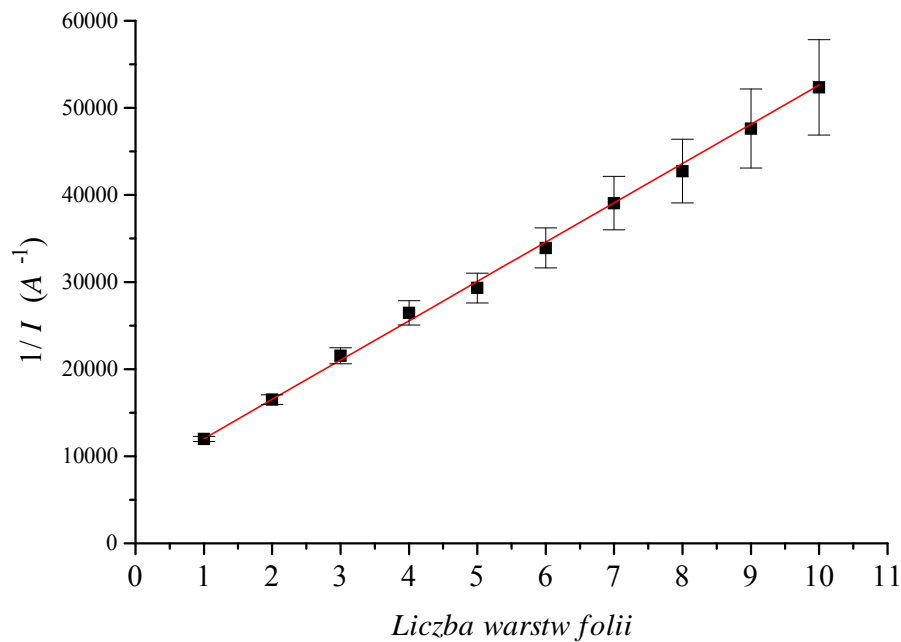
$$A = \frac{Td}{U_0 \varepsilon S}, \quad B = \frac{T}{U_0 C_0}.$$

Ze związku (6) wynika, że odwrotność prądu w obwodzie ( $1/I$ ) jest proporcjonalna do liczby  $n$  warstw folii plastikowej umieszczonej między okładkami kondensatora  $C_k$ . Tak więc wyznaczenie stałej  $A$  pozwala to na obliczenie stałej dielektrycznej folii  $\varepsilon$ , niezależnie od wartości pojemności  $C_0$  związanej z nierównościami laminatu.

### Część doświadczalna

Należy zbudować obwód elektryczny według schematu przedstawionego na Rys. 2. Przed wykonaniem właściwych pomiarów należy zastanowić się nad możliwością wystąpienia niepożądanych efektów związanych z pojemnościami pasożytniczymi. W szczególności, aby można było zastosować wzory wyprowadzone w części teoretycznej, pojemności pasożytnicze dołączone równolegle do badanego kondensatora płaskiego muszą być pomijalnie małe. Można to sprawdzić mierząc prąd płynący przez mikroamperomierz przy rozsuniętych okładkach kondensatora. W dostępnym dla zawodników układach doświadczalnych pojemność ta była rzeczywiście znikoma mała (prąd płynący przez mikroamperomierz był na poziomie szumów). W tej sytuacji pojemności pasożytnicze dołączone szeregowo do badanego kondensatorem (pojemność doprowadzeń, mikroamperomierza itp.) nie wpływają na wartość współczynnika  $A$ , a zatem i na wyznaczaną wartość stałej dielektrycznej  $\varepsilon$ .

Wykonujemy pomiary prądu  $I$  z różną liczbą warstw folii między okładkami z laminatu. Dociskamy okładki kondensatora szklanym obciążnikiem. Dzięki temu można założyć, że odległość między okładkami kondensatora zmienia się skokowo o grubość włożonych warstw folii. Po odpowiednim przeliczeniu danych sporządzamy wykres zależności odwrotności prądu od liczby warstw folii (Rys. 4).



Rys. 4

Z dopasowania prostej uzyskujemy wartość współczynnika  $A = (4,5 \pm 0,4) 10^3 \text{ A}^{-1}$ , co daje wartość stałej dielektrycznej  $\varepsilon = (25 \pm 5) \text{ pF/m}$ . Względna przenikalność dielektryczna  $\varepsilon_r = (2,8 \pm 0,6)$ . Uzyskanie poprawnego wyniku uwarunkowane jest starannością ułożenia folii oraz wzajemnego rozmieszczenia płytek laminatu. Należy zwrócić szczególną uwagę na to aby na folii i na płytkach z laminatu nie było zabrudzeń i okruchów, zwiększających odległość między okładkami.

### Proponowana punktacja

- |   |          |
|---|----------|
| 1. Idea pomiaru pojemności kondensatora płaskiego z folią między okładkami  | do 1pkt. |
| 2. Uwzględnienie nierówności płytek   | do 2pkt. |
| 3. Wyjaśnienie zasady działania układu pomiarowego                          | do 6pkt. |
| 4. Uwzględnienie wpływu pojemności pasozytniczych                           | do 1pkt. |
| 5. Wykonanie pomiarów prowadzących do poprawnego wyniku                     | do 5pkt. |
| 6. Sporządzenie wykresu zależności odwrotności prądu od liczby warstw folii | do 2pkt. |
| 7. Uzyskanie poprawnego wyniku wraz z analizą błędów pomiarowych            | do 3pkt. |