

XVI OLIMPIADA FIZYCZNA (1966/1967). Stopień I, zadanie doświadczalne – D

Źródło: Komitet Główny Olimpiady Fizycznej;

Tadeusz Pniewski: Olimpiady Fizyczne XV i XVI, PZWS, Warszawa 1969,
str. 74 – 78

Nazwa zadania: Wyznaczanie pojemności kondensatora

Działy: Elektrostatyka

Słowa kluczowe: ładunek elektryczny, napięcie, pojemność, kondensator, opór pojemnościowy, mostek Wheatstone'a, woltomierz, mikroamperomierz

Zadanie doświadczalne – D, zawody I stopnia, XVI OF

Opisz wybraną dowolnie metodę wyznaczania pojemności kondensatora. Korzystając z tej metody wykonaj serię co najmniej dziesięciu pomiarów pojemności wybranego kondensatora. Oblicz średnią wartość pojemności. Podaj wszystkie pośrednie wyniki i oceń dokładność pomiarów.

Rozwiązanie

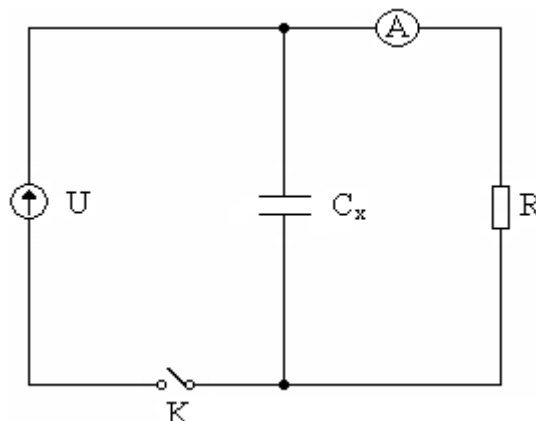
I metoda. Pojemnością C kondensatora nazywamy stosunek ładunku elektrycznego zgromadzonego na kondensatorze do napięcia U przyłożonego do jego okładek:

$$C = \frac{Q}{U}$$

Pomiar napięcia na kondensatorze nie nastęrcza większych trudności. Jest ono po prostu równe napięciu źródła prądu użytego do ładowania kondensatora, pod warunkiem, że ładowanie trwa dostatecznie długo.

Na ogół, jeśli w obwodzie prądu ładującego kondensator nie ma dużych oporów, całkowite naładowanie następuje w ciągu drobnego ułamka sekundy.

Tak, więc wyznaczanie pojemności kondensatora sprowadza się do pomiaru zgromadzonego na nim ładunku. Do tego celu możemy wykorzystać proces rozładowania kondensatora. Łączymy obwód według schematu podanego na rysunku 1.



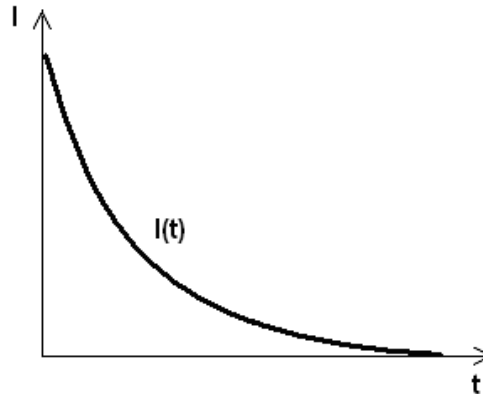
Rys. 1

Kondensator o nieznannej pojemności C_x ładujemy ze źródła o znanym napięciu U tak długo, aż ustali się prąd płynący przez mikroamperomierz. Następnie otwieramy klucz K.

Zachodzi wtedy rozładowanie kondensatora przez opór R . Wartość tego oporu dobieramy w ten sposób, aby czas rozładowania był możliwie jak najdłuższy.

W trakcie rozładowania kondensatora notujemy wskazania mikroamperomierza mierząc jednocześnie czas za pomocą stopera. Jeżeli w ciągu jednego rozładowania nie zdążymy odczytać dostatecznej liczby odczytów, wówczas ładowanie i rozładowanie kondensatora powtarzamy kilkakrotnie.

Otrzymane wyniki zapisujemy w postaci tabelki a następnie sporządzamy wykres (Rys. 2).



Rys. 2

Na osi rzędnych odkładamy wartości natężenia prądu, a na osi odciętych – czas w sekundach. Pole pod krzywą $I(t)$ jest miarą ładunku elektrycznego zgromadzonego na kondensatorze chwili początkowej. W tej samej chwili napięcie na kondensatorze wynosiło U . Stąd obliczamy pojemność kondensatora dzieląc Q przez U .

Opisaną wyżej metodę pomiaru ładunku kondensatora można nieco zmodyfikować. Zastosujemy w obwodzie prądu rozładowania kondensatora opór o zmiennej wartości. Opór ten podczas rozładowania kondensatora stopniowo zmniejszamy i to w takim tempie, aby mikroamperomierz pokazywał od początku do końca jednakowe wychylenie.

W ten sposób utrzymujemy stałe natężenie prądu przez cały czas rozładowania kondensatora. W pewnej chwili prąd spada nagle do zera. Ładunek kondensatora obliczamy mnożąc natężenie prądu przez czas rozładowania:

$$Q = I t.$$

W ten sposób unikamy graficznego całkowania funkcji $I(t)$.

Dokładność pomiaru pojemności metodą rozładowania kondensatora zależy od liczby punktów doświadczalnych. Każdy z tych punktów obarczony jest błędem wynikającym z trudności dokonania jednoczesnego odczytu wskazań stopera i mikroamperomierza.

Im więcej jest punktów doświadczalnych, tym lepiej można określić przebieg krzywej rozładowania a na jej podstawie dokładniej zmierzyć ładunek pojemność kondensatora.

W przypadku, gdy w obwodzie prądu rozładowania stosujemy zmienny opór, wówczas głównym źródłem błędu jest trudność utrzymania stałego natężenia prądu podczas rozładowania kondensatora. Dokładność ostatecznego wyniku można zwiększyć powtarzając szereg razy pomiar.

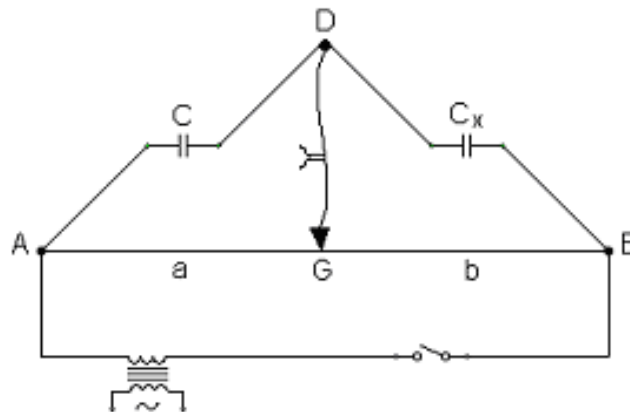
II metoda. W innej metodzie pomiaru pojemności wykorzystujemy zjawisko przewodzenia przez kondensator prądu zmiennego. Przewodzenie to polega na tym, że w obwodzie płynie na przemian prąd ładowania i rozładowania kondensatora.

Pojemnościowy opór Z kondensatora dla prądu sinusoidalnie zmiennego zależy od pojemności kondensatora C oraz od częstotliwości zmian prądu ν i wyraża się wzorem:

$$Z = \frac{1}{2\pi\nu C}$$

Jeżeli znamy częstotliwość zmian prądu, wówczas wyznaczenie nieznannej pojemności kondensatora sprowadza się do pomiaru jego pojemności oporu.

Opór ten można mierzyć na przykład metodą mostka Wheatstone'a.



Rys. 3

W tym celu łączymy obwód według schematu przedstawionego na rysunku 3. Prąd zmienny płynący z transformatora rozgałęzia się w punktach A i B . Gałąź AGB stanowi drut stalowy o jednolitym przekroju podzielony na dwa odcinki a i b suwakiem G . Gałąź ADB zawiera kondensator o znanej pojemności C oraz kondensator, którego pojemność C_x chcemy zmierzyć. W punktach G i D obydwie gałęzie połączone są przewodem zawierającym słuchawkę telefoniczną.

Suwak G staramy się ustawić w ten sposób, aby w przewodzie GD nie płynął prąd. Przy tym ustawieniu ton słyszany w słuchawce jest najcichszy.

Gdy mostek znajduje się w równowadze, potencjały punktów D i G muszą być jednakowe. Oznacza to, że spełnione są następujące równania:

$$U_{AD} = U_{AG} \quad \text{czyli} \quad I_1 Z = I_2 R_1,$$

oraz:

$$U_{DB} = U_{GB} \quad \text{czyli} \quad I_1 Z_x = I_2 R_2.$$

Dzieląc te równania stronami otrzymujemy:

$$\frac{Z}{Z_x} = \frac{R_1}{R_2},$$

Ponieważ:

$$Z = \frac{1}{2\pi\nu C}, \quad Z_x = \frac{1}{2\pi\nu C_x},$$

A ponadto

$$\frac{R_1}{R_2} = \frac{a}{b}, \quad \text{zatem} \quad C_x = C \frac{a}{b}.$$

Dokładność pomiaru pojemności C_x zależy w decydujący sposób od pojemności C . Niedokładna znajomość tej pojemności wprowadza do pomiaru błąd systematyczny, którego nie jesteśmy w stanie wyeliminować.

Inaczej rzecz się ma z błędami przypadkowymi, popełnianymi przy równoważeniu mostka i pomiarze długości odcinków a i b . Przez powtarzanie pomiarów można niepewność średniej wartości mierzonych wielkości zmniejszyć na tyle, że przestanie on grać jakąkolwiek rolę w porównaniu z błędami systematycznymi.