Ćwiczenie 46

POMIAR POJEMNOŚCI KONDENSATORÓW ZA POMOCĄ UKŁADU MOSTKOWEGO

46.1. Wiadomości ogólne

Pojemność elektryczna odosobnionego przewodnika jest to wielkość fizyczna liczbowo równa ilości ładunku elektrycznego, jakiej należy udzielić przewodnikowi w celu zmiany jego potencjału o jednostkę.

Pojemnością wzajemną dwóch przewodników nazywamy wielkość fizyczną liczbowo równą ładunkowi, jaki należy przenieść z jednego przewodnika na drugi w celu uzyskania zmiany różnicy potencjałów między nimi o jednostkę.

Kondensator stanowi układ dwóch przewodników rozdzielonych warstwą izolatora. Na okładkach kondensatora pod wpływem przyłożonego napięcia gromadzą się ładunki elektryczne: dodatni i ujemny.

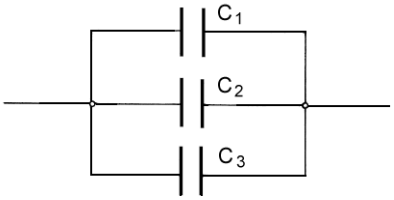
Ładunek q zgromadzony w kondensatorze jest wprost proporcjonalny do napięcia U, jakie zostało przyłożone do jego okładek: q = C U. Wielkość

$$C = \frac{q}{U} \tag{46.1}$$

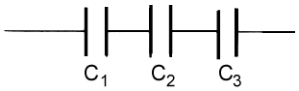
jest miarą pojemności kondensatora.

Jednostką pojemności elektrycznej jest farad i zgodnie ze wzorem (46.1) 1F = 1C/1V, co oznacza pojemność takiego odosobnionego przewodnika, którego potencjał przy udzieleniu mu ładunku 1C zmieni się o 1 V. Farad jest bardzo dużą jednostką, stąd praktyczne znaczenie mają podwielokrotności: 1 μF = 10^{-6} F, 1 nF = 10^{-9} F i 1 pF = 10^{-12} F.

Kondensatory można łączyć w baterie. Układ kondensatorów stanowiący połączenie równoległe ma pojemność równą sumie pojemności poszczególnych kondensatorów. Natomiast przy baterii kondensatorów połączonych szeregowo odwrotność jej pojemności równa się sumie odwrotności pojemności poszczególnych kondensatorów.



Rys. 46.1



Rys. 46.2

Łączenie równolegle (rys. 46.1)

$$C = C_1 + C_2 + C_3 . \tag{46.2}$$

Łączenie szeregowe (rys. 46.2)

$$\frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3} . \tag{46.3}$$

Załóżmy, że kondensator o pojemności C został włączony do obwodu prądu zmiennego. Wówczas na okładkach kondensatora istnieje napięcie zmienne

$$U(t) = U_0 \sin \omega t. \tag{46.4}$$

Ładunek zgromadzony na okładkach kondensatora

$$q(t) = C\, U(t) , \tag{46.5}$$

a jego zmiany spowodowane są dopływającym do kondensatora prądem

$$I(t) = \frac{dq}{dt} = C\frac{dU(t)}{dt}. \qquad (46.6)$$

Korzystając z równań (46.4) i (46.6), otrzymujemy

$$I(t) = U_0\,\omega\,C\cos\omega t, \qquad (46.7)$$

co możemy przedstawić w postaci

$$I(t) = U_0\omega C\sin\left(\omega t - \frac{\pi}{2}\right) = I_0\sin\left(\omega t - \frac{\pi}{2}\right). \qquad (46.8)$$

Widać, że prąd elektryczny płynący przez kondensator ma też przebieg sinusoidalny o amplitudzie $I_0 = U_0\omega C$ i jest przesunięty w fazie względem napięcia o $\pi/2$.

Stosunek amplitudy napięcia i prądu

$$\frac{U_0}{I_0} = \frac{1}{\omega C}$$

ma wymiar oporności [V/A = Ω] i jest nazywany oporem pojemnościowym kondensatora

$$X_C = \frac{1}{\omega C}. \qquad (46.9)$$

46.2. Zadania

46.2.1. Wyznaczyć pojemności poszczególnych kondensatorów.

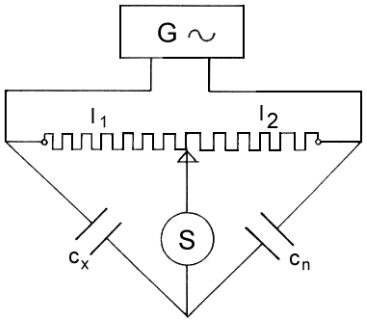
46.2.2. Wyznaczyć pojemności tych samych kondensatorów połączonych szeregowo i równolegle.

46.2.3. Porównać wyznaczone w doświadczeniu pojemności układu szeregowego i równoległego z pojemnościami obliczonymi z teoretycznych wzorów na szeregowe i równoległe łączenie kondensatorów (46.2) i (46.3).

46.3. Zasada i przebieg pomiaru

Nieznaną pojemność badanego kondensatora można wyznaczyć za pomocą układu mostkowego (rys. 46.3), którego zasada działania oparta jest na mostku Wheatstone'a (ćwiczenie 44).

Opory omowe występujące w obwodzie prądu stałego zastąpione są oporami pojemnościowymi. Jako źródło prądu zmiennego jest stosowany generator drgań elektrycznych o częstotliwościach akustycznych. Warunkiem wystąpienia ciszy w słuchawce, a tym samym równowagi mostka, jest proporcjonalność oporów pojemnościowych i omowych w obu gałęziach



Rys. 46.3

$$\frac{X_n}{X_x} = \frac{R_2}{R_1}, \qquad (22.10)$$

lub, po uwzględnieniu (46.9)

$$\frac{\omega\cdot C_x}{\omega\cdot C_n} = \frac{R_2}{R_1}, \qquad (46.11)$$

skąd

$$C_x = C_n\frac{R_2}{R_1} \qquad (46.12)$$

Korzystając z zależności $R = \rho \frac{l}{S}$, otrzymujemy

$$C_x = C_n \frac{l_2}{l_1} . \qquad (46.13)$$

Łączymy obwód wg schematu z rys. (46.3). Szukamy takiego położenia suwaka na potencjometrze, dla którego w słuchawce występuje zanik sygnału. Praktycznie jednak zupełnej ciszy nie da się osiągnąć ze względu na występującą pewną indukcyjność oporów R oraz inne zakłócenia. Wartości l_1 i l_2 (w działkach) odczytujemy na potencjometrze. Pojemność wzorcową C_n dobieramy tak, aby odczyt wartości l_1 i l_2 odbywał się w pobliżu środka podziałki potencjometru. Niepewności ustawienia Δl_1 i Δl_2 wyznaczamy jako połowę zakresu położeń suwaka potencjometru, przy którym występujący w słuchawce sygnał jest najcichszy.

46.4. Ocena niepewności pomiarów

Niepewność względną pomiaru pojemności obliczamy jako maksymalną niepewność wielkości złożonej, metodą różniczki logarytmicznej (wzór (14) – Wstęp). Obliczenia odniesione do wzoru (46.13) prowadzą do wyrażenia

$$\delta_C = \left|\frac{\Delta C_x}{C_x}\right| = \left|-\frac{\Delta l_1}{l_1}\right| + \left|\frac{\Delta l_2}{l_2}\right| + \left|\frac{\Delta C_n}{C_n}\right| , \qquad (46.14)$$

gdzie: Δl_1 i Δl_2 – niepewności systematyczne szacowane metodą typu B.

Maksymalną niepewność bezwzględną w wyznaczeniu pojemności obliczamy ze wzoru

$$\Delta C_x = \delta_C \cdot C_x . \qquad (46.15)$$

Ponieważ kondensator wzorcowy C_n jest wykonany z bardzo dużą precyzją, jego niepewność ΔC_n może być dowolnie mała, tak więc w warunkach ćwiczenia możemy przyjąć $\Delta C_n = 0$.

Literatura

[1] Halliday D., Resnick R.: Fizyka, t. II. Warszawa: PWN 1983,

[2] Jaworski B., Piński A.: Elementy fizyki, t. II. Warszawa: PWN 1977.