

E10. Wyznaczanie przenikalności elektrycznej

Celem ćwiczenia jest poznanie zjawiska polaryzacji dielektrycznej oraz doświadczalne wyznaczenie bezwzględnej przenikalności dielektrycznej próżni i względnej przenikalności dielektrycznej wybranych dielektryków.

Dielektrykiem nazywamy materiał nieprzewodzący prądu elektrycznego, czyli izolator. Znamioną cechą dielektryków jest zdolność do **polaryzacji dielektrycznej**. Zjawisko to polega na utworzeniu dipoli elektrycznych (czyli niezrównoważonym przesunięciu względem siebie ładunków dodatnich i ujemnych w atomie lub molekuły) lub zmianie orientacji dipoli już istniejących, na skutek przyłożenia zewnętrznego pola elektrycznego. W wyniku polaryzacji w dielektryku powstaje wewnętrzne pole elektryczne, które częściowo równoważy przyłożone pole zewnętrzne. Miara tego zjawiska jest wielkość fizyczna zwana **przenikalnością elektryczną**. Oznaczamy ją grecką literą ϵ (epsilon).

Przenikalność elektryczną dielektryka często określa się poprzez tzw. **względną przenikalność elektryczną** ϵ_r . Jest to bezwymiarowa wielkość, która wskazuje ile razy **przenikalność bezwzględna dielektryka** ϵ jest większa od **przenikalności bezwzględnej**

próżni ϵ_0 :

$$\epsilon_r = \frac{\epsilon}{\epsilon_0} \quad (1)$$

Przenikalność elektryczna wpływa też na wielkość pojemności elektrycznej kondensatora .

Kondensator – to układ dwóch (lub więcej) płyt lub przewodników (zwanych okładkami kondensatora), zdolnych do gromadzenia ładunków elektrycznych, gdy między nimi występuje **napięcie elektryczne**. Miara tej zdolności kondensatora jest: **pojemność elektryczna** C , którą definiujemy, jako stosunek ładunku Q zgromadzonego na jednej z okładek kondensatora do napięcia U między nimi:

$$C = \frac{Q}{U} . \quad (2) \quad \text{Jednostką jest farad (F), przy czym } 1F = \frac{1C}{1V} .$$

Pojemność elektryczna kondensatora zależy od jego rozmiarów geometrycznych. Dla **kondensatora płaskiego**, jego pojemność jest wprost proporcjonalna do powierzchni S jego okładek, a odwrotnie proporcjonalna do odległości d między nimi:

$$C_0 = \epsilon_0 \frac{S}{d} \quad (3).$$

Gdy pomiędzy okładki kondensatora wprowadzimy dielektryk, jego pojemność – na skutek zjawiska polaryzacji dielektrycznej - wzrośnie do wartości:

$$C = \epsilon_r C_0 \quad (4).$$

Wprowadzenie dielektryka pozwala więc zwiększyć pojemność kondensatora, bez zmiany jego rozmiarów. Zależność (4) pokazuje również, że – korzystając z niej - można w łatwy sposób wyznaczyć **względną przenikalność elektryczną** ϵ_r badanego dielektryka, co jest **celem I części niniejszego ćwiczenia**. Wartość ϵ_r można bowiem wyliczyć jako stosunek pojemności C kondensatora z dielektrykiem do pojemności C_0 kondensatora, pomiędzy

okładkami którego, znajduje się próżnia lub powietrze (przenikalność elektryczna powietrza jest, w granicach błędu pomiarowego, równa przenikalności elektrycznej próżni ϵ_0).

W niniejszym ćwiczeniu wartości C i C_0 mierzymy dla kilku różnych grubości tego samego dielektryka, co pozwala wykreślić zależność C w funkcji C_0 . Współczynnik kierunkowy otrzymanej prostej będzie równy *względnej przenikalności elektrycznej* ϵ_r badanego dielektryka.

Celem II części ćwiczenia jest wyznaczenie *bezwzględnej przenikalności elektrycznej* próżni ϵ_0 w oparciu o wzór (3). Obliczając powierzchnię okładek kondensatora (S), mierząc odległość między nimi (d) oraz – odpowiadającą jej - pojemność kondensatora C_0 można wyznaczyć szukaną wartość ϵ_0 .

W ćwiczeniu pojemność C_0 odczytujemy dla kilku różnych odległości d , a następnie wykreślamy zależność C_0 od odwrotności d , tzn. $C_0 = f(1/d)$. Współczynnik kierunkowy otrzymanej prostej, równy $\epsilon_0 \cdot S$, pozwala łatwo obliczyć *przenikalność elektryczną* ϵ_0 .

Literatura uzupełniająca

1. Cz. Bobrowski, Fizyka- krótki kurs, Rozdz. 7.6

Zobacz też:

symulacje komputerowe na stronie internetowej *Katedry Fizyki i Biofizyki*

(<https://sparrow.up.poznan.pl/kfb/>) (zakładka: Symulacje zjawisk fizycznych).

E10. Protokół pomiarów i obliczeń

Nr pary	Imię i nazwisko studenta	Wydział
		grupa
data	Imię i nazwisko prowadzącego	Zaliczenie

Wykonanie ćwiczenia

Przyrządy i materiały: kondensator z przesuwaną okładką, miernik pojemności elektrycznej, zestawy płytek różnych dielektryków, suwmiarka.

Część I. Wyznaczanie względnej przenikalności elektrycznej dielektryka

1. Pomiędzy okładki kondensatora wkładamy jedną płytkę pierwszego wybranego dielektryka (np. drewna, szkła lub gumy) i dokręcamy - za pomocą śruby - ruchomą okładkę kondensatora.
2. Włączamy miernik pojemności. Przyciskiem FREQ ustawiamy zakres pomiarowy na 10 kHz lub 100 kHz (wartości te widoczne są w dolnej lewej części wyświetlacza miernika). Na mierniku odczytujemy wartość pojemności C [pF].
3. Wyjmujemy płytkę z kondensatora, nie przesuwając jego okładek i ponownie mierzymy pojemność elektryczną C_0 . Wyniki wpisujemy do tabeli.
4. Odkręcamy ruchomą okładkę kondensatora i wkładamy dwie płytki tego samego dielektryka. Przykręcamy ruchomą okładkę kondensatora i wykonujemy pomiary pojemności, analogiczne jak w p. 2 i 3.
5. Sukcesywnie dokładamy kolejne płytki, zwiększając stopniowo grubość warstwy dielektryka, a jednocześnie odległość między okładkami kondensatora.
6. Dla każdej kolejnej grubości dielektryka wykonujemy pomiary jak w p. 2 i 3.
7. Doświadczenie wykonujemy również dla kilku innych dielektryków. Wyniki pomiarów wpisujemy do oddzielnych tabel.

Tabela 1 Nazwa dielektryka:.....

$\varepsilon_r =$	$\Delta \varepsilon_r =$		zestawienie ($\varepsilon_r \pm \Delta \varepsilon_r$) =				
	1 płytka	2 płytki	3 płytki	4 płytki	5 płytek	6 płytek	7 płytek
C [pF]							
C₀ [pF]							

Tabela 2 Nazwa dielektryka:.....

$\varepsilon_r =$	$\Delta \varepsilon_r =$		zestawienie ($\varepsilon_r \pm \Delta \varepsilon_r$) =				
	1 płytka	2 płytki	3 płytki	4 płytki	5 płytek	6 płytek	7 płytek
C [pF]							
C₀ [pF]							

Tabela 3

Nazwa dielektryka:.....

$\varepsilon_r =$	$\Delta\varepsilon_r =$		zestawienie ($\varepsilon_r \pm \Delta\varepsilon_r$) =				
	1 płytką	2 płytki	3 płytki	4 płytki	5 płytek	6 płytek	7 płytek
C [pF]							
C_o [pF]							

Opracowanie wyników

1. Na papierze milimetrowym wykonujemy – dla każdego badanego dielektryka - wykres zależności $C = f(C_o)$, który ilustruje liniową zależność: $C = \varepsilon_r C_o$.
2. Obliczamy współczynnik kierunkowy otrzymanej prostej, który jest równy przenikalności elektrycznej ε_r badanego dielektryka. W tym celu można skorzystać z odpowiedniego programu komputerowego do liczenia regresji liniowej. Wyliczy on współczynnik kierunkowy (*współczynnik nachylenia*) prostej i bezwzględny błąd pomiarowy (inaczej *niepewność*) tej wielkości $\Delta\varepsilon_r$.
3. Zestawiamy otrzymane - dla poszczególnych dielektryków - wartości ε_r z odpowiednimi wielkościami błędów bezwzględnych $\Delta\varepsilon_r$.

Część II. Wyznaczanie bezwzględnej przenikalności elektrycznej próżni

1. Suwmiarką mierzymy średnicę okładek kondensatora ($2r$) i obliczamy ich powierzchnię ($S = \pi r^2$).
2. Ustawiamy pierwszą odległość między okładkami kondensatora d_1 [m] i na mierniku odczytujemy, odpowiadającą jej, wartość pojemności C_{01} [pF]. Obie wartości wpisujemy do tabeli 4.
3. Analogiczne pomiary C_{0i} przeprowadzamy dla czterech innych odległości okładek kondensatora d_i . Otrzymane wartości wpisujemy do tabeli.

Tabela 4

$2r =$ [m]		$r =$ [m]		$S =$ [m ²]
$\Delta r =$ [m]		$\Delta S = (2\Delta r/r)S =$ [m ²]		
d_i [m]	$1/d_i$ [1/m]	C_{0i} [pF]	Z wykresu	Bezwzględna przenikalność elektryczna próżni
1/		1/	$K =$	ε_o [pF/m] =
2/		2/	$\Delta K =$	$\Delta\varepsilon_o$ [pF/m] =
3/		3/	Zestawienie ($K \pm \Delta K$) =	Zestawienie ($\varepsilon_o \pm \Delta\varepsilon_o$) [pF/m] =
4/		4/		
5/		5/		

Opracowanie wyników

1. Na papierze milimetrowym wykreślamy zależność: $C_o = f(1/d)$, a następnie wyliczamy współczynnik kierunkowy otrzymanej prostej K i błąd (niepewność) jego pomiaru ΔK (patrz: część I - Opracowanie wyników, p.2)
2. Obliczamy ε_o dzieląc wartość K przez powierzchnię okładek S (gdyż: $K = \varepsilon_o \cdot S$).
3. Na końcu zestawiamy otrzymaną wartość ε_o z błędem bezwzględnym tej wielkości, który obliczamy metodą logarytmiczną ze wzoru:

$$\Delta\varepsilon_o = \varepsilon_o \left\{ \left| \frac{\Delta K}{K} \right| + \left| \frac{\Delta S}{S} \right| \right\}.$$