

Українська державна академія залізничного транспорту

Кафедра „Фізика”

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА 3-4

„Визначення діелектричної проникності речовини”

Роботу виконав: студент(ка)

_____ (прізвище, ім'я, по-батькові)

_____ (курс)

_____ (група)

” ” _____ 20 р.

Роботу прийняв:

_____ (прізвище та ініціали викладача)

_____ (посада)

Оцінка:

за знання теорії _____

(оцінка, бал)

за провед. експер. _____

(оцінка, бал)

підсумкова _____

(оцінка, бал)

_____ (дата і підпис викладача)

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА 3-4

ВИЗНАЧЕННЯ ДІЕЛЕКТРИЧНОЇ ПРОНИКНОСТІ РЕЧОВИНИ

Мета роботи: ознайомлення з роботою мостової схеми, та визначення діелектричної проникності речовини.

Прилади і матеріали: лабораторна установка.

Теоретичні відомості

Діелектрик, як і всяка речовина, складається з атомів та молекул. Позитивний заряд їх є зосереджений в ядрах атомів, а негативний – в електронних оболонках атомів та молекул. Оскільки позитивний заряд усіх ядер дорівнює за модулем сумарному заряду електронів, то молекули та атоми в цілому нейтральні. Якщо в молекулі центри розміщення позитивних зарядів не співпадають з центрами негативних зарядів, то така молекула має дипольний момент і має назву – *полярна молекула*. У діелектрику, який складається з полярних молекул, при відсутності зовнішнього електричного поля, результуючий дипольний момент дорівнює нулю. Це зв'язано з тим, що у речовині дипольні моменти полярних молекул внаслідок їх теплового руху орієнтовані у просторі хаотично. Якщо помістити такий діелектрик у зовнішнє електричне поле, дипольні моменти орієнтуються вздовж поля. В результаті чого в діелектрику виникає дипольний момент. Явище, яке зв'язано з виникненням дипольного моменту називається – *поляризацією діелектрика*. Механізм виникнення дипольного моменту в діелектрику з полярними молекулами називається – *орієнтаційним*.

Але, існують молекули, у яких центри розміщення позитивних та негативних зарядів співпадають, тому вони не мають дипольного моменту. Такі молекули називаються – *неполярними*. Однак, під впливом зовнішнього електричного поля центри розміщення позитивних та негативних зарядів зміщуються, і молекула набуває дипольного моменту. Цей дипольний момент називається *індукованим*. Внаслідок цього діелектрик з неполярними молекулами також поляризується. Такий механізм поляризації називається – *електронним*.

Дипольний момент, віднесений до одиниці об'єму діелектрика називається – *поляризованістю*. Поляризованість \vec{P} є кількісною характеристикою поляризації.

$$\vec{P} = \frac{\sum \vec{p}_i}{\Delta V}, \quad (7.1)$$

де ΔV - деякий об'єм діелектрика, \vec{p}_i - дипольний момент однієї молекули, $\sum \vec{p}_i$ - сумарний дипольний момент усіх молекул, які входять до об'єму ΔV .

Експериментально підтверджено, що для великої кількості діелектриків поляризованість лінійно залежить від напруженості електричного поля \vec{E}

$$\vec{P} = \varepsilon_0 \cdot \chi \cdot \vec{E}, \quad (7.2)$$

де χ - діелектрична сприйнятливість речовини.

Якщо, уявити діелектрик у вигляді пластини, товщина якої набагато менша її ширини та довжини, та внаслідок поляризації, на одній грані такої пластини виникає надлишковий позитивний заряд, а на іншій – негативний.

Ці заряди називаються *поляризаційними*. Сумарний дипольний момент такого діелектрика визначається як сума дипольних моментів диполів які утворюють поляризаційний заряд.

Введемо

q_i - точковий поляризаційний заряд;

d - відстань між поляризаційними зарядами протилежних знаків;

S - площа пластини діелектрика;

V - об'єм пластини діелектрика;

σ' - поверхнева густина поляризаційних зарядів.

Звідси, поляризованість діелектрика буде дорівнювати

$$P = \frac{d \cdot \sum_i q_i}{V} = \frac{d \cdot \sigma' \cdot S}{S \cdot d} = \sigma'$$

Виникнення поляризаційних зарядів на поверхні діелектрика призводить до появи додаткового електричного поля \vec{E}' , яке має напрям протилежний до напрямку зовнішнього поля \vec{E}_0 . Результуюче поле \vec{E} всередині діелектрика є

$$E = E_0 - E'. \quad (7.3)$$

Величина \vec{E}' визначається за формулою для електричного поля яке утворюється двома протилежно зарядженими паралельними площинами.

$$E' = \frac{\sigma'}{\varepsilon_0}. \quad (7.4)$$

З (7.3) та з урахуванням (7.2), (7.4) маємо

$$E = E_0 - \frac{P}{\varepsilon_0} = E_0 - \frac{\varepsilon_0 \cdot \chi \cdot E}{\varepsilon_0} = E_0 - \chi \cdot E.$$

Звідси отримуємо

$$E = \frac{E_0}{1 + \chi} = \frac{E_0}{\varepsilon} \quad (7.5)$$

Величина $\varepsilon = 1 + \chi$ називається *діелектричною проникністю*, вона визначає у скільки разів напруженість електричного поля в вакуумі є більшою ніж в діелектрику.

Електрична ємність плоского конденсатора визначається за формулою

$$C = \frac{\varepsilon \cdot \varepsilon_0 \cdot S}{d}, \quad (7.6)$$

ε - діелектрична проникність діелектрика, який розташований між обкладками конденсатора,

$\varepsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12} \text{Ф/м}$ - електрична стала,

S - площа пластин конденсатора,
 d - відстань між пластинами.

З цієї формули бачимо, що електрична ємність конденсатора прямо пропорційна діелектричній проникності. Чим більше ε , тим більше електрична ємність. Якщо між обкладинками конденсатора вакуум (або повітря), то електрична ємність визначається як

$$C_e = \frac{\varepsilon_0 \cdot S}{d}. \quad (7.7)$$

Тоді можна сказати, що діелектрична проникність показує у скільки разів електрична ємність конденсатора, між обкладинками якого знаходиться діелектрик, більше ніж електрична ємність конденсатора між обкладинками якого знаходиться вакуум

$$\varepsilon = \frac{C}{C_e}. \quad (7.8)$$

Використовуючи це співвідношення, можна визначити дослідним шляхом діелектричну проникність речовини. Для визначення електричної ємності в даній роботі використовується мостова схема. Чотирьохплечовий міст (рис.1) містить два конденсатори C_0 та C_x , а також два резистора R_0 , R . Точки моста a, b, c, d мають назву вершини, ланцюг між двома суміжними точками – плече моста. В діагональ моста a, b підключено джерело змінного струму, а в діагональ c, d вимірювальний пристрій.

Процес визначення електричної ємності зводиться до врівноваження моста, тобто до вирівнювання потенціалів у точках c, d . Для змінного струму з циклічною частотою ω виконується закон Ома, якщо опір конденсатора визначити за формулою

$$R_c = 1/\omega C. \quad (7.9)$$

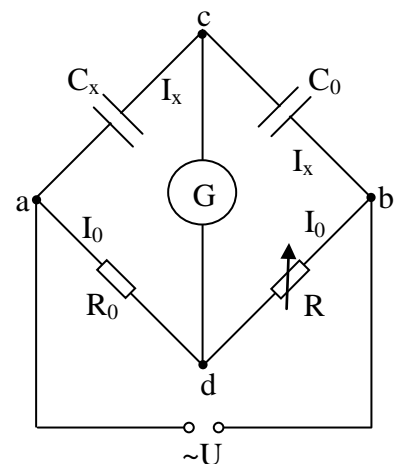


Рис.1

В у рівноваженому мості різниця потенціалів між точками a і c дорівнює різниці потенціалів між точками a і d . Струм через C_x дорівнює струму через C_0 , а струм через R дорівнює струму через R_0 . Звідси отримуємо:

$$I_x \cdot R_{Cx} = I_0 \cdot R_0, \quad I_x \cdot R_{C0} = I_0 \cdot R. \quad (7.10)$$

Виразимо I_x з першого рівняння та підставимо до другого, тоді

$$I_x = \frac{I_0 \cdot R_0}{R_{Cx}} \Rightarrow \frac{I_0 \cdot R_0}{R_{Cx}} \cdot R_{C0} = I_0 \cdot R.$$

Скоротивши на I_0 одержуємо

$$\frac{R_{C0}}{R_{Cx}} = \frac{R}{R_0}.$$

Отже

$$\frac{1/\omega C_0}{1/\omega C_x} = \frac{R}{R_0} \Rightarrow \frac{C_x}{C_0} = \frac{R}{R_0}.$$

Звідси електрична ємність невідомого конденсатора визначається як

$$C_x = C_0 \frac{R}{R_0}. \quad (7.11)$$

В даній лабораторній роботі є три невідомих конденсатора C_{x1} , C_{x2} , C_{x3} . Вони мають однакові геометричні розміри, але відрізняються один від одного лише діелектриком, який розташоване між площинами конденсатора. В одному з них (в якому саме невідомо) діелектриком виступає повітря, тобто діелектрична проникність $\varepsilon \approx 1$, таким чином електрична ємність цього конденсатора буде найменша. Якщо ми поділимо електричні ємності двох інших конденсаторів на електричну ємність повітряного конденсатора, то отримуємо відповідні діелектричні проникності.

Послідовність виконання роботи

1. Підключити установку до мережі. Встановити перемикач в положення C_{x1} .
2. Побачити на екрані осцилографа горизонтальну смугу.
3. Перемикаючи магазин опорів R , слідкувати за висотою смуги. Знайти таке положення перемикачів магазину, при якому висота смуги буде мінімальна. В цьому випадку міст буде врівноважений. Занести відповідні данні до таблиці.
4. Повторити знаходження опору для конденсаторів C_{x2} , C_{x3} .
5. Обчислити діелектричну проникність для кожного конденсатора.
6. Обчислити відносну та абсолютну похибки.

Контрольні питання

1. Що таке електрична ємність відокремленого провідника? В чому вимірюється електрична ємність?
2. Що таке конденсатор, та як він побудований?
3. Як розрахувати електричну ємність плоского конденсатора?
4. Який напрямок має вектор напруженості електричного поля в плоскому конденсаторі?
5. Як розрахувати напруженість електричного поля в конденсаторі?
6. Як змінюється електрична ємність конденсатора при наявності діелектрика між його обкладинками?
7. Чим пояснюється вплив діелектрика на напруженість електричного поля в конденсаторі?
8. Поясніть механізм поляризації діелектрика.
9. Який фізичний зміст діелектричної проникності?
10. Чому дорівнює об'ємна густина енергії в плоскому конденсаторі?

Звіт про виконану роботу

1. Робоча формула:

$$C_x = C_0 \frac{R}{R_0} - \text{невідомі електричні ємності.}$$

1.1 Величини, що вимірюються:

R_1, R_2, R_3 - електричні опори для трьох випадків. $[R] = \text{Ом}$.

1.2 Табличні величини:

$$R_0 = (\text{_____} \pm \text{_____}) \text{Ом}; \quad C_0 = (\text{_____} \pm \text{_____}) \text{пФ}$$

1.3 Величини, що обчислюються:

C_{x1}, C_{x2}, C_{x3} - електричні ємності; $[C] = \text{Ф}$.

2. Результати експерименту

№	R, Ом	ΔR , Ом
1		5
2		5
3		5

Результати експерименту підтверджую _____
(дата і підпис викладача)

3. Обробка результатів експерименту

Обчислимо невідомі електричні ємності:

$$C_{x1} = C_0 \frac{R_1}{R_0} = \text{_____} =$$

$$C_{x2} = C_0 \frac{R_2}{R_0} = \text{_____} =$$

$$C_{x3} = C_0 \frac{R_3}{R_0} = \text{_____} =$$

Найменше значення відповідає електричній ємності повітряного конденсатора. Тобто $C_e = C_{\text{найменше}} =$

Знаходимо діелектричні проникності інших діелектриків

$$\varepsilon = \frac{C}{C_e} = \text{_____} =$$

$$\varepsilon = \frac{C}{C_e} = \text{_____} =$$

Визначення відносної похибки:

$$\ln C_x = \ln \left(C_0 \frac{R}{R_0} \right) = \ln C_0 + \ln R - \ln R_0,$$

$$\frac{dC_x}{C_x} = \frac{dC_0}{C_0} + \frac{dR}{R} - \frac{dR_0}{R_0},$$

$$\frac{\Delta C_x}{C_x} = \sqrt{\left(\frac{\Delta C_0}{C_0}\right)^2 + \left(\frac{\Delta R}{R}\right)^2 + \left(\frac{\Delta R_0}{R_0}\right)^2}.$$

Таким чином, відносні похибки для трьох електричних ємностей ϵ

$$\frac{\Delta C_{x1}}{C_{x1}} = \sqrt{\left(\frac{\Delta C_0}{C_0}\right)^2 + \left(\frac{\Delta R_1}{R_1}\right)^2 + \left(\frac{\Delta R_0}{R_0}\right)^2} = \sqrt{\quad} =$$

$$\frac{\Delta C_{x2}}{C_{x2}} = \sqrt{\left(\frac{\Delta C_0}{C_0}\right)^2 + \left(\frac{\Delta R_2}{R_2}\right)^2 + \left(\frac{\Delta R_0}{R_0}\right)^2} = \sqrt{\quad} =$$

$$\frac{\Delta C_{x3}}{C_{x3}} = \sqrt{\left(\frac{\Delta C_0}{C_0}\right)^2 + \left(\frac{\Delta R_3}{R_3}\right)^2 + \left(\frac{\Delta R_0}{R_0}\right)^2} = \sqrt{\quad} =$$

Абсолютні похибки

$$\Delta C_{x1} =$$

$$\Delta C_{x2} =$$

$$\Delta C_{x3} =$$

Відносні похибки для відповідних діелектричних проникностей ϵ

$$\frac{\Delta \epsilon_i}{\epsilon_i} = \sqrt{\left(\frac{\Delta C_{xi}}{C_{xi}}\right)^2 + \left(\frac{\Delta C_{вак}}{C_{вак}}\right)^2}.$$

Таким чином

$$\epsilon_1 =$$

$$\epsilon_2 =$$

$$\epsilon_3 =$$

4. Висновки:
