

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ  
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ ІМЕНІ ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»

# **Загальна фізика**

## **ВПЛИВ КРАЄВИХ ЕФЕКТІВ НА ЗНАЧЕННЯ ЄМНОСТІ КОНДЕНСАТОРІВ**

### **Інструкція до лабораторної роботи**

Рекомендовано Методичною радою КПІ ім. Ігоря Сікорського  
як навчальний посібник для здобувачів ступеня бакалавра  
за технічними спеціальностями

Укладачі: Н. О. Якуніна, О.В. Козленко

Електронне мережеве навчальне видання

Київ  
КПІ ім. ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО  
2026

Укладачі: *Якуніна Наталія Олександрівна*, к.фіз.-мат. наук  
*Козленко Олег Володимирович*, старший викладач

Рецензент *В.Й Котовський*, д-р техн.наук, проф., декан фізико-математичного факультету КПІ ім. Ігоря Сікорського

Відповідальний редактор *С.О. Решетняк*, д-р фіз.-мат. наук, проф.

*Гриф надано Методичною радою КПІ ім. Ігоря Сікорського  
(протокол № 06 від 03.04.2026 р.)  
за поданням вченої ради фізико-математичного факультету  
(протокол № 02 від 04.03.2026 р.)*

Ф 48 **Загальна фізика.** Вплив краєвих ефектів на значення ємності конденсаторів [Електронний ресурс] : інстр. до лаб.роботи, :навч. посіб. для здобувачів ступеня бакалавра за технічними спеціальностями / КПІ ім. Ігоря Сікорського ; уклад.: Н.О.Якуніна, О.В.Козленко. – Електрон. текст. дані (1 файл). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2026. – 14 с.

У лабораторній роботі представлені теоретичні відомості, опис лабораторної роботи з теми «Вплив краєвих ефектів на значення ємності конденсаторів», що викладається для майбутніх фахівців за спеціальністю «Інформаційні системи та технології», наведені методичні вказівки до виконання цієї роботи, містяться контрольні питання для самостійної роботи та підготовки до модульного контролю.

Посібник призначений для студентів, які навчаються у закладах вищої освіти і вивчають нормативну навчальну дисципліну фізику з циклу математичної та природничо-наукової підготовки за спеціальністю «Інформаційні системи та технології».

Посібник може бути корисним для науково-педагогічних працівників, які викладають курс фізики, під час планування та підготовки завдань до лабораторних робіт та модульних контрольних робіт з цієї навчальної дисципліни.

УДК 537.8

Реєстр. № НП 25/26-312. Обсяг 0.67 авт. арк.

Національний технічний університет України  
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»  
проспект Берестейський, 37, м. Київ, 03056  
<https://kpi.ua>

Свідоцтво про внесення до Державного реєстру видавців, виготовлювачів і розповсюджувачів видавничої продукції ДК № 5354 від 25.05.2017 р.

© КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2026

## Лабораторна робота № 2(2)

### ВПЛИВ КРАЄВИХ ЕФЕКТІВ НА ЗНАЧЕННЯ ЄМНОСТІ КОНДЕНСАТОРІВ

#### Мета роботи:

1. знаходження ємності плоских конденсаторів з шарами діелектриків;
2. визначення величини краєвих ефектів при вимірах ємності конденсатора;
3. розрахунок похибки вимірювання ємності плоского конденсатора, які виникають в результаті краєвих ефектів.

#### *Короткі теоретичні відомості*

Розглянемо процес зарядки відокремленого провідника, тобто такого, що не взаємодіє з іншими зарядженими тілами. Це необхідно для того, щоб переміщення зарядів поза провідника не приводило до перерозподілу зарядів і в ньому самому.

Нехай заряд відокремленого провідника дорівнює  $q$ , а потенціал поверхні (однаковий у всіх її точках) дорівнює  $\varphi$ . Заряд  $q$  розподіляється на поверхні таким чином, щоб усюди всередині провідника виконувалися умови рівноваги – напруженість поля мала б дорівнювати нулю.

Надаємо провіднику додатково ще заряд  $\Delta q$ . Оскільки всередині провідника поле, як і раніше, має залишитися рівним нулю, то додатковий заряд розподіляється на поверхні точно таким же чином, як і попередній. Він створить всюди точно таке ж поле і змінить потенціал кожної точки на таку ж величину  $\Delta\varphi$ .

Таким чином, зміна заряду і зміна потенціалу відокремленого провідника пропорціональні один одному:  $\Delta\varphi \sim \Delta q$ .

Отже, для кожного відокремленого провідника відношення  $\Delta q$  до  $\Delta \varphi$  провідника є величиною постійною :

$$C = \frac{\Delta q}{\Delta \varphi} \quad (1)$$

де коефіцієнт  $C$  називається електроємністю відокремленого провідника.

***Електроємність відокремленого провідника чисельно дорівнює величині заряду, який потрібно надати цьому провіднику, щоб змінити його потенціал на одиницю.***

В СІ одиницею електроємності є фарад (Ф) - ємність провідника, потенціал якого змінюється на 1 В, якщо надати йому заряд в 1 Кл.

Електроємність - характеристика провідника, кількісна міра його здатності утримувати електричний заряд: чим більше електроємність, тим більший заряд може накопичити провідник при даному потенціалі.

Електроємність визначається геометричними розмірами провідника, його формою і електричними властивостями довколишнього середовища (його діелектричною проникливістю) і не залежить від матеріалу провідника. Напруженість електричного поля на поверхні такого зарядженого провідника в кожній точці визначається густиною заряду і має різну величину та напрям. Натомість потенціал провідника є скрізь однаковий, тож у кожній точці визначається не густиною заряду в цій точці, а зарядом усього провідника.

Наявність поблизу провідника інших тіл змінюють його електроємність, тому що потенціал провідника залежить і від електричних полів, що створюються зарядами, наведеними в навколишніх тілах внаслідок електростатичного індукції.

Розглянемо заряджений, наприклад, негативно -  $q$ , провідник А і наблизимо до нього незаряджений провідник В (рис.1).

Під дією поля, створеного зарядженим провідником А, в провіднику В виникнуть індуквані заряди. На ближньому кінці провідника В виникне

індукований заряд іншого знаку, ніж заряд провідника А, в даному випадку негативний  $-q$ . Однойменний з  $q$  позитивний заряд  $+q$  виникне на дальньому кінці провідника В (рис.1).

Тепер потенціал провідника А будуть створювати не тільки його власні заряди  $-q$ , а й індуковані в провіднику В. Обидва індукованих заряди  $-q$  і  $+q$  є рівними за абсолютним значенням. Вони обидва будуть впливати на

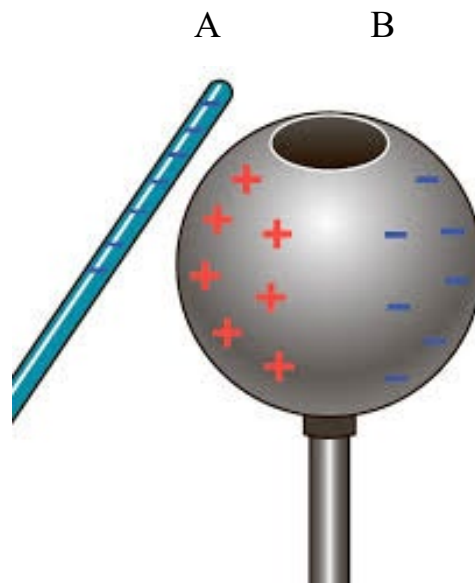


Рис.1. Механізм електризації через вплив або електростатичної індукції.

Тепер потенціал провідника А будуть створювати не тільки його власні заряди  $-q$ , а й індуковані в провіднику В. Обидва індукованих заряди  $-q$  і  $+q$  є рівними за абсолютним значенням. Вони обидва будуть впливати на потенціал провідника А, але більший вплив чинять ті заряди, які розташовані ближче до нього, в даному випадку  $+q$ . Оскільки ближчими виявляються позитивні заряди, то при піднесенні до зарядженого провідника А незарядженого провідника В потенціал провідника А спадає. Відповідно до формули ємності це означає збільшення ємності провідника А.

***Система двох провідників, ємність яких збільшена за рахунок їх взаємного розташування, називається конденсатором***

Конденсатори виготовляють у вигляді двох провідників, які називаються обкладками, розділених тонким шаром діелектрика. Обкладки несуть однакові за величиною, але протилежні за знаком заряди. Обкладкам надають таку форму, щоб поле було зосереджено всередині конденсатора.

За формою обкладок конденсатори бувають плоскі, циліндричні, сферичні та ін. Залежно від діелектрика між обкладками конденсатори поділяють на повітряні, паперові, слюдяні, керамічні, електролітичні.

Процес зарядки конденсатора зводиться до переносу заряду з однієї його обкладки на другу, у результаті чого одна з них набуває надлишкового позитивного заряду  $(+q)$ , а друга – надлишкового негативного заряду  $(-q)$  тієї ж величини. Електричне поле конденсатора існує лише в просторі між його обкладками і тому не зазнає впливу навколишніх тіл.

**Фізична величина, яка чисельно дорівнює відношенню заряду  $q$  однієї з обкладок конденсатора до різниці потенціалів між обкладками  $\Delta\varphi = \varphi_1 - \varphi_2 = U$  називається ємністю конденсатора (взаємна ємність його обкладок):**

$$C = \frac{q}{\Delta\varphi} = \frac{q}{U} \quad (2) .$$

На практиці переважно використовують плоскі конденсатори. Плоский конденсатор складається з двох паралельних металевих пластин (обкладок), розділених шаром діелектрика (рис.2 б).

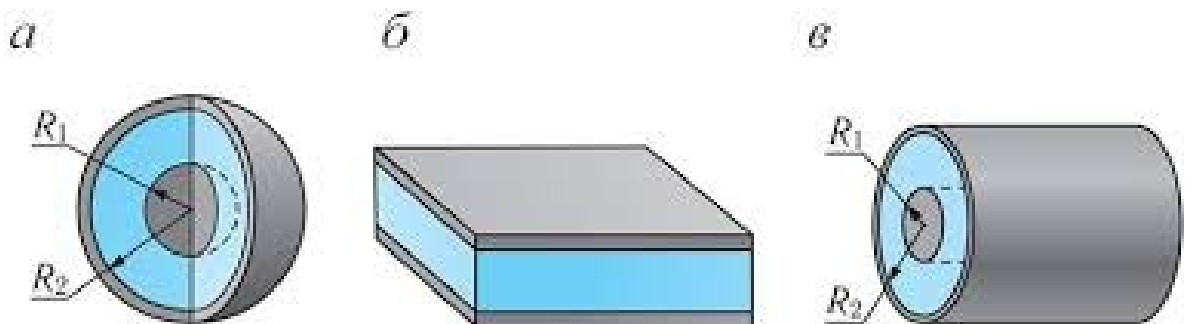


Рис.2. Типи конденсаторів

Визначимо ємність плоского конденсатора. Він складається з двох паралельних металевих пластин, розділених шаром діелектрика (рис.2б). Пластини заряджені рівними за абсолютним значенням зарядами протилежного знаку. Отримати такі заряди можна, або з'єднавши на короткий час пластины з полюсами джерела, або зарядивши одну пластину і заземливши іншу. У цьому випадку на внутрішній поверхні другої пластини індукується заряд, рівний за абсолютним значенням, але протилежний за знаком заряду першої пластини, а однойменний заряд, який виник на зовнішній поверхні другої пластини, піде в Землю. Якщо відстань  $d$  між пластинами є малою в

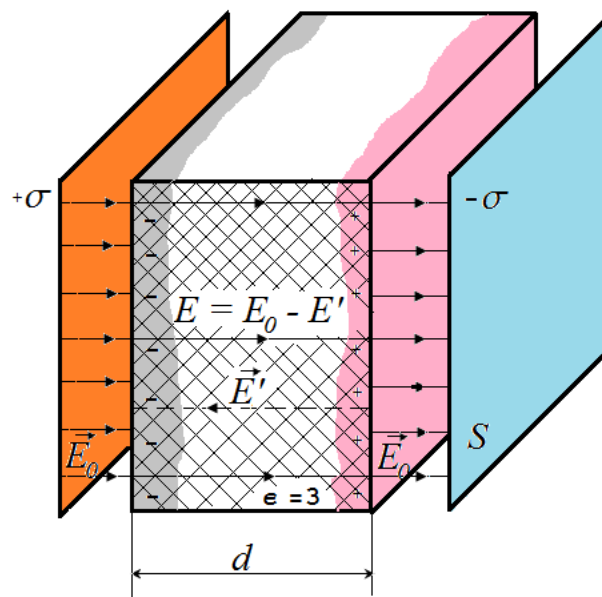


Рис.3. До розрахунку ємності плоского конденсатора, заповненого діелектриком

порівнянні з їх розмірами, можна знехтувати крайовими ефектами і вважати поле всередині конденсатора однорідним та розподіленим з поверхневою густиною зарядів  $\sigma = \frac{q}{S}$  (де  $S$  – площа обкладинки). Якщо вісь  $Ox$  проведена перпендикулярно до обкладинок плоского конденсатора в напрямку від позитивно зарядженої площини ( $x_1=0$ ) до негативно зарядженої площини ( $x_2=d$ ), то напруженість поля конденсатора між двох нескінченних різнойменно заряджених площин:

$$E_x = \frac{\sigma}{\varepsilon\varepsilon_0} = \frac{q}{\varepsilon\varepsilon_0 S} \quad (0 \leq x \leq d),$$

де  $\varepsilon$  – відносна діелектрична проникність діелектрика між пластинами,  $d$  – відстань між пластинами,  $S$  – площа обкладки.

Оскільки зв'язок між потенціалом та напруженістю:

$$\frac{d\varphi}{dx} = -E_x = -\frac{q}{\varepsilon\varepsilon_0 S},$$

то різниця потенціалів пластин

$$\Delta\varphi = -\frac{q}{\varepsilon\varepsilon_0 S} \int_0^d dx = -\frac{qd}{\varepsilon\varepsilon_0 S}.$$

Отже, ємність плоского конденсатора

$$C = \frac{q}{\Delta\varphi} = \frac{\varepsilon\varepsilon_0 S}{d} \quad (3).$$

Крім плоского конденсатора досить часто зустрічаються ще два типи простих конденсаторів — сферичні та циліндричні. Обкладками сферичного конденсатора є дві концентричні металеві оболонки з якимись радіусами  $R_1$  і  $R_2$  (рис. 2.а), а циліндричного — коаксіальні циліндри з радіусами  $R_1$  і  $R_2$  і довжиною  $l$  (рис. 2.в). Для циліндричного конденсатора:

$C = \frac{2\pi\varepsilon\varepsilon_0 L}{\ln \frac{R_2}{R_1}}$ , де  $L$  – висота циліндричної поверхні.

Для сферичного конденсатора  $C = 4\pi\varepsilon\varepsilon_0 \frac{R_1 R_2}{R_2 - R_1}$ .

При виводі формули ( 3 ) для плоского конденсатора ми розглядали ідеальний випадок, коли обкладки конденсатора строго паралельні та безмежні. В реальному промисловому плоскому конденсаторі відстань

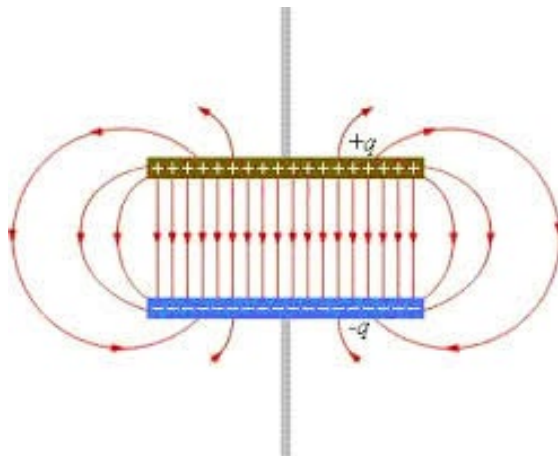


Рис.4. Краєвий ефект в плоскому конденсаторі

між пластинами є набагато меншою за їхні розміри, так що  $d \ll \sqrt{S}$ . Ці обставини змінюють поле на краях приладу: в реальному конденсаторі певна частка зарядів виходить на торці та краї зовнішніх поверхонь обкладок, створюючи невелике “краєве” поле поза конденсатором. Таким чином, електричне поле всередині конденсатора відрізняється від однорідного і проникає у зовнішній простір конденсатора ( рис.4 ).

При цьому через зменшення заряду на внутрішніх поверхнях обкладок напруга між ними теж трохи змінюється, що спричиняє “краєвий ефект” – відмінну від реальної (“істинної”) ємності конденсатора від теоретичного значення (3), тож

$$C_{\text{ист}} = C_{\text{теор}} + C_{\text{кр}}, \quad (4)$$

де  $C_{\text{кр}}$  – поправка на краєвий ефект.

Наявність у конденсаторів таких краєвих ефектів слід враховувати при використанні електроємнісних приборів.

### Експериментальна установка

Мета даної роботи - провести дослідження щодо визначення ступеня впливу краєвих ефектів на значення ємності плоскопаралельного конденсатора.

У лабораторній роботі використовується макет плоского конденсатора, в якому співвідношення  $d/S$  набагато гірше, ніж у промислових конденсаторах. Тому виміряне на експериментальній установці значення ємності  $C_{\text{визн}}$  відрізняється від значення  $C_{\text{теор}}$ , яке теоретично розраховується за формулою (3), на певну величину  $C_{\text{параз}}$ , яка переважно зумовлена краєвим ефектом і ємністю з’єднувальних провідників (так звана “паразитна” ємність).

Якщо позначити ємність конденсатора, розрахованого у відповідності з теоретичною формулою (3) як  $C_{\text{теор}}$  результат вимірювання, то

$$C_{\text{визн}} = C_{\text{теор}} + C_{\text{параз}}, \quad (5)$$

Макет (рис.5) складається з двох ізольованих одна від одної круглих металевих пластин-обкладок. Одна з обкладок (6) закріплена, а інша (4) - може встановлюватись на потрібній відстані за допомогою мікрометричного гвинта (1). Шкала (2) дозволяє відряхувувати відстань між обкладками точністю 0,01 мм. Макет передбачає можливість розміщення між обкладками діелектричні пластини (5) із різних матеріалів.

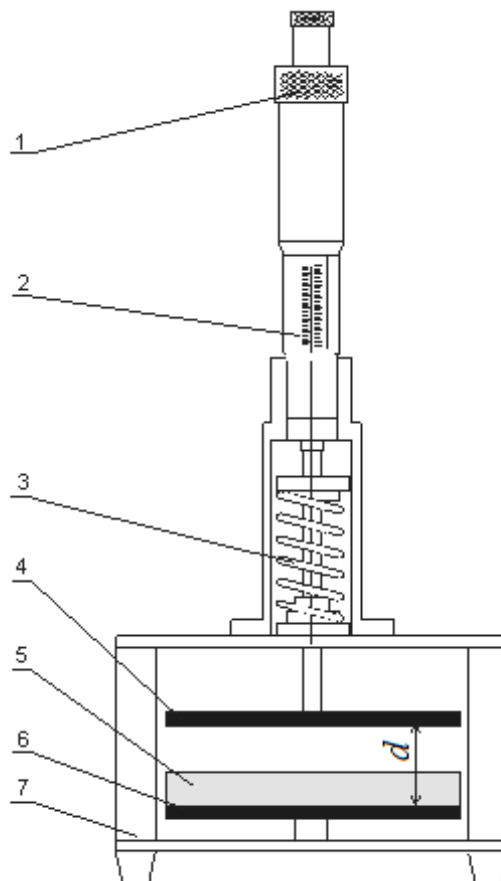


Рис .5. Загальний вигляд плоского конденсатора змінної ємності:

1 - ручка мікрометра; 2 - шкала мікрометра; 3 - пружина для вибірки люфта; 4 - верхня пластина конденсатора; 5 - змінна діелектрична пластина; 6 - нижня пластина конденсатора; 7 - корпус конденсатора

## Порядок виконання роботи

Величину  $C_{\text{параз}}$  можна визначити, побудувавши графік залежності вимірної ємності  $C$  в від оберненої відстані між пластинами конденсатора  $1/d$  і продовживши його до перетину з віссю ординат, як показано на рис. 6.

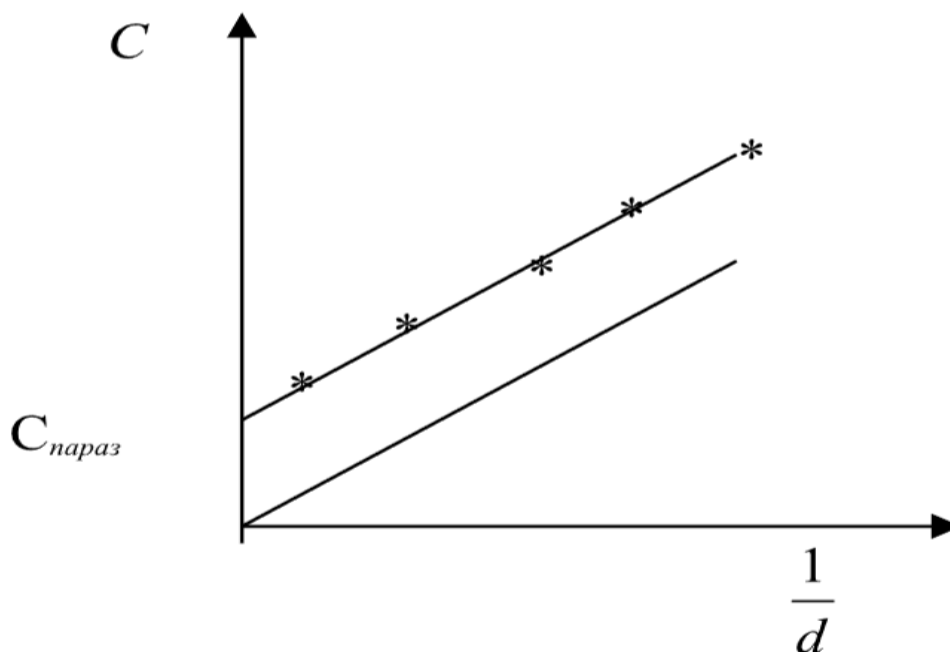


Рис.6. Знаходження  $C_{\text{параз}}$  за графіком залежності ємності від оберненої відстані між обкладинками конденсатора

**Перший крок:** конденсатор не заповнений діелектриком

1. Установлюючи за допомогою мікрометричного гвинта відстань  $d$  і між пластинами макета конденсатора з кроком 2,0 - 2,5 мм (у межах від 1,0 до 10,0 мм) виміряти фарадометром 4 - 6 значень ємності  $C_{\text{визн}}$  для різних величин  $d$ .
2. Значення  $d$  і та  $C_{\text{визн}}$  і занести до табл. 1.
3. Розрахувати за формулою (3) значення  $C_{\text{теор}}$  для відповідних відстаней  $d$  та занести їх в табл.1.

Таблиця 1

$d$								
$C_{\text{визн}}$								
$C_{\text{теор}}$								

4. Побудувати графіки  $C_{\text{визн}} = f\left(\frac{1}{d}\right)$  та  $C_{\text{теор}} = f\left(\frac{1}{d}\right)$ .

5. Визначити значення  $C_{\text{параз}}$ .

**Другий крок:** конденсатор, заповнений шарами діелектриків

1. Покласти на нижню обкладку макета конденсатора одну діелектричну пластину із запропонованого набору, й за допомогою мікрометричного гвинта встановити верхню обкладку так, щоб вона щільно прилягала до діелектрика.

2. Виміряти мікрометром відстань між обкладками  $d$ , яка показує товщину діелектричного шара.

3. Виміряти фарадометром ємність конденсатора  $C_{\text{визн}}$ , при даній товщину діелектричного шара.

4. Значення  $d$  та  $C_{\text{визн}}$  занести до табл. 2.

Таблиця 2.

$d$								
$C_{\text{визн}}$								
$C_{\text{теор}}$								

5. Покласти на першу діелектричну пластину ще одну й за допомогою мікрометричного гвинта встановити верхню обкладку так, щоб вона щільно прилягала до системи двох діелектриків.
6. Виміряти мікрометром відстань між обкладками  $d$  - сумарну товщину діелектричного шару, а фарадометром – ємність конденсатора з даною товщиною діелектричного шару  $C_{\text{визн}}$ .
7. Послідовно збільшуючи товщину діелектрика повторити вимірювання п.5 ще для систем из трьох, чотирьох та п'яти шарів діелектриків.
8. Результати вимірів занести в таблицю 2.
9. Розрахувати за формулою (3) значення  $C_{\text{теор}}$  для відповідних відстаней  $d$  та занести їх в табл.2.
10. Побудувати графіки  $C_{\text{визн}} = f\left(\frac{1}{d}\right)$  та  $C_{\text{теор}} = f\left(\frac{1}{d}\right)$
11. Визначити значення  $C_{\text{параз}}$ .
12. За формулою  $\delta = \frac{C_{\text{визн}} - C_{\text{теор}}}{C_{\text{теор}}} \cdot 100\%$  розрахувати похибку, яку вносять краєві ефекти в вимірювання ємності.

### Контрольні запитання

1. Що таке ємність відокремленого провідника? Від чого вона залежить? Чи має ємність незаряджений відокремлений провідник?
2. Що таке конденсатора? Як визначити його ємність?
3. Використовуючи вирази напруженості електричного поля в сферичному та циліндричному конденсаторах, вивести формули ємності кожного з них.
4. Чому та як внесення діелектрика всередину конденсатора змінює його ємність?
5. Що таке „краєвий ефект” і за яких умов ним можна знехтувати?

6. Теоретично довести, що ємність конденсатора з діелектричною пластиною між обкладками не залежить від положення пластини діелектрика.
7. Теоретично довести, що конденсатор із двома шарами діелектрика можна розглядати як два послідовно з'єднані прості конденсатори.
8. Як визначається ємність системи паралельно та послідовно з'єднаних конденсаторів?
9. Від чого залежить результат вимірювань в п. 1?
10. Від чого залежить величина паразитної ємності?

### Література

1. Кучерук І.М., Горбачук І.І., Луцик П.П. “Загальний курс фізики”, т.2 Електрика і магнетизм. - К: Техніка, 2001, §§ 1.8, 1.12, 1.13, 1.14.
2. Бригінець В. П., Подласов С. О. Лекції із курсу загальної фізики, ч. 3. Електрика і магнетизм. Електронний ресурс <http://physics.kpi.ua/moodlephysics/mod/lesson/view.php?id=371>, п. 2
3. Goldshtein A.E., Vavilova G.V., Belyankov V.Y. An electro-capacitive measuring transducer for the process inspection of the cable capacitance per unit length in the process of production // Journal of Nondestructive Testing. – 2015. – vol.51. –no.2. – P. 86-93.
4. В.П. Бригінець, А.Г. Забуга, О.Г. Данилевич, Л.П. Пономаренко , Дослідження ємності конденсатора. Методичні рекомендації до лабораторної роботи – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2021. – 12 с

