

**НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ЦИВІЛЬНОГО ЗАХИСТУ  
УКРАЇНИ**

**КАФЕДРА ФІЗИКО-МАТЕМАТИЧНИХ ДИСЦИПЛІН**

**Методичні рекомендації  
до лабораторного заняття  
з навчальної дисципліни “Фізика”**

**ВИВЧЕННЯ ПРОЦЕСІВ  
ЗАРЯДЖЕННЯ ТА РОЗРЯДЖЕННЯ  
КОНДЕНСАТОРА**

Обговорено та затверджено на засіданні  
кафедри фізико-математичних дисциплін  
Протокол № \_\_\_\_ від \_\_\_\_\_ 201 р.

## План-конспект лабораторного заняття

### «Вивчення процесів зарядження та розрядження конденсатора»

**Тема заняття:** Вивчення властивостей RC-кіл на прикладі зарядження і розрядження конденсатора та експериментальне визначення величини невідомих опору та ємності конденсатора.

**Мета заняття:**

— *навчальна:* навчити використовувати знання законів електродинамики для знаходження фізичних величин, пов'язаних з цими законами, зокрема вивчення законів постійного струму. Ознайомити слухачів з методами наукового пізнання на практиці;

— *виховна:* виховувати інформаційну культуру студентів, увагу, дисциплінованість, самоконтроль;

— *розвиваюча:* розвивати впізнавальний інтерес, мислення, уміння використовувати на практиці фізичні прилади. Забезпечити розвиток експериментальних умінь слухачів і навичок проведення вимірювань фізичних величин.

**Тип заняття:** закріплення вивченого матеріалу.

**Вид заняття:** лабораторна робота.

**Методи навчання:**

*пояснювально-ілюстративний:*

– більш конкретне, наочне пояснювання слухачам навчального матеріалу;

*частково-пошуковий метод:*

– пошук слухачами відповідей на сукупність логічних запитань з конкретної теми, спрямованих на виконання лабораторної роботи.

**Опорні терміни і поняття:** зарядження конденсатора, розрядження конденсатора, ємність конденсатора.

**Основні джерела інформації:**

1. Кучерук І.М., Горбачук І.Т. Загальний курс фізики: Т.2.: Електрика і магнетизм. – К.: Техніка, 1999. – 452 с., ст. 60-64.

2. Борисенко В. Г. Фізика. Практикум. Лабораторні роботи. Х .: НУЦЗУ, 2010. – ст. 66-73.

3. ФІЗИКА. Методичні рекомендації з організації самостійної роботи студентів при вивченні дисципліни. / Борисенко В. Г., Деркач Ю.Ф., Кривцова В.І., Умеренкова К.Р. / Х .: НУЦЗУ, 2010, 63 с. (електронний варіант).

### **План заняття та розподіл часу**

1. Організаційний етап – 5хв:
  - нагадування правил техніки безпеки для перебування в лабораторії, та під час виконання лабораторної роботи;
  - перевірка наявності запису лабораторної роботи в журналі звітів.
2. Підготовка до виконання лабораторної роботи – 10хв:
  - перевірка домашнього завдання;
  - перевірка готовності до роботи.
3. Виконання лабораторної роботи – 55хв:
  - підготовка лабораторної установки до роботи;
  - проведення прямих і непрямих вимірів, знаходження необхідних похибок вимірів, оформлення таблиць та графіків. Формулювання висновку.
4. Підведення підсумків заняття – 5хв.
5. Домашнє завдання – 5 хв



# НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ЦИВІЛЬНОГО ЗАХИСТУ УКРАЇНИ

КАФЕДРА ФІЗИКО-МАТЕМАТИЧНИХ  
ДИСЦИПЛІН

**ЛАБОРАТОРНА РОБОТА**

## **ВИВЧЕННЯ ПРОЦЕСІВ ЗАРЯДЖЕННЯ ТА РОЗРЯДЖЕННЯ КОНДЕНСАТОРА**

Укладачі:

**В.Г. Борисенко, В.І. Кривцова, О.М.Кудін  
К.Р. Умеренкова**

Харків  
2019

**Мета роботи:** вивчення властивостей RC-кіл на прикладі зарядження і розрядження конденсатора та експериментальне визначення величини невідомих опору та ємності конденсатора.

### Короткі теоретичні відомості

В електричних колах сила струму та падіння напруги можуть у загальному випадку змінюватись в часі, тому необхідно визначити, за яких умов можна використовувати закони, які були встановлені для постійного струму, а за яких ні. Дослід і теорія показують, що закони постійного струму можна використовувати, якщо зміна сили струму в колі відбувається не дуже швидко. Такий підхід справедливий за двох умов.

По-перше, відомо, що якщо всередині провідника виник електричний заряд, то під дією створеного ним же електричного поля він буде зменшуватись за експоненціальним законом (релаксувати) і час, за який його величина зменшується в  $e = 2,72$  рази, має назву *часу діелектричної релаксації*  $\tau_m$  і він визначає проміжок часу, за який відновлюється стаціонарність електричних процесів у колі. Тоді, якщо час  $T$ , за який відбувається зміна сили струму в колі, набагато більший, ніж час діелектричної релаксації ( $\tau_m \ll T$ ), то система встигає релаксувати і можна вважати, що в даний момент часу сила струму (падіння напруги) у всьому колі однакова.

По-друге, електричне збурення розповсюджується в колі з швидкістю  $v = c / \sqrt{\epsilon\mu}$ , де  $c$  – швидкість світла у вакуумі, а  $\epsilon$  і  $\mu$  – діелектрична та магнітна проникності середовища відповідно. Якщо довжина кола  $\ell$ , то час, за який електричне збурення перетне весь контур, дорівнює  $\tau = \ell / v = \ell \sqrt{\epsilon\mu} / c$ . Очевидно, що за умови  $\tau \ll T$  можна також вважати, що в даний момент часу сила струму (падіння напруги) у всьому колі однакові.

Отже, якщо в колі відбувається зміна струму і виконуються умови  $\tau_m \ll T$  і  $\tau \ll T$ , то такий електричний процес має назву *квазістаціонарного* і можна використовувати закони, що справедливі для постійного струму. Майже всі технічні змінні струми є квазістаціонарними.

Прикладом квазістаціонарного процесу є процес зарядки і розрядки конденсатора. Розглянемо цей процес за допомогою кола (RC-коло), що зображене на рис. 8.1, яке містить джерело струму з постійною ЕРС  $\mathcal{E}$ , активний опір  $R$ , конденсатор  $C$  та ключ  $K$ . У положенні 1 (рис. 8.1) ключа  $K$  („зарядження”) відбувається зарядка конденсатора через значний активний опір  $R$  до значення ЕРС джерела струму. При перемиканні ключа в положення 2 відбувається розрядка конденсатора через той же активний опір.

Визначимо залежність заряду від часу  $q(t)$  та сили струму  $I(t)$  в процесі зарядки конденсатора. Для цього застосуємо другий закон Кірхгофа до кола  $\mathcal{E} RC \mathcal{E}$ . Згідно з законом сума падінь напруги у

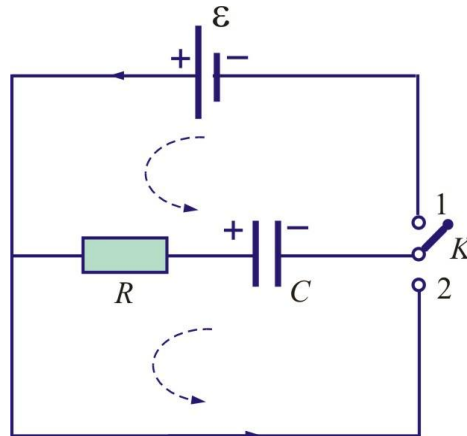


Рис. 8.1. Електрична схема кола зарядження-розрядження конденсатора

замкненому колі дорівнює сумі всіх ЕРС, що є в контурі. Нехтуючи падінням напруги на внутрішньому опорі джерела струму, маємо

$$U_R + U_C = \mathcal{E}, \quad (8.1)$$

де  $U_R = IR$  – падіння напруги на активному опорі, а  $U_C = q/C$  – падіння напруги на конденсаторі. Оскільки сила струму  $I = dq/dt$ , то в (8.1) одержимо

$$R \frac{dq}{dt} + \frac{q}{C} = \mathcal{E}. \quad (8.2)$$

Це рівняння можна привести до зручної для подальшого інтегрування форми

$$\frac{dq}{\mathcal{E}C - q} = \frac{dt}{RC}. \quad (8.3)$$

Якщо за проміжок часу від 0 до  $t$  заряд зростає від 0 до  $q$ , то інтегрування в (8.3) запишеться у вигляді

$$\int_0^q \frac{dq}{\mathcal{E}C - q} = \int_0^t \frac{dt}{RC}. \quad (8.4)$$

Після інтегрування знаходимо рівняння

$$\ln\left(\frac{\mathcal{E}C - q}{\mathcal{E}C}\right) = -\frac{t}{RC}, \quad (8.5)$$

з якого після експонування одержимо закономірність зміни заряду в часі  $q(t)$  при зарядженні конденсатора у вигляді

$$q(t) = \left(1 - e^{-\frac{t}{RC}}\right) \varepsilon C. \quad (8.6)$$

Легко побачити з (8.6), що при  $t=0$  заряд  $q=0$ , а при  $t=\infty$  заряд  $q_0 \rightarrow \varepsilon C$ . В останньому випадку напруга на конденсаторі зростає до значення  $\varepsilon$ .

Зміну сили струму в часі одержимо, знайшовши похідну від заряду за часом, тобто

$$I(t) = \frac{dq}{dt} = \frac{\varepsilon}{R} e^{-\frac{t}{RC}} = I_0 e^{-\frac{t}{RC}}, \quad (8.7)$$

де  $I_0 = \varepsilon/R$  - це початкове значення струму при  $t=0$ . З цієї залежності випливає, що сила струму зменшується з часом за експонентою (релаксує). Графік  $I(t)$  наведений на рис. 8.2 (крива I). З (8.7) випливає, що через

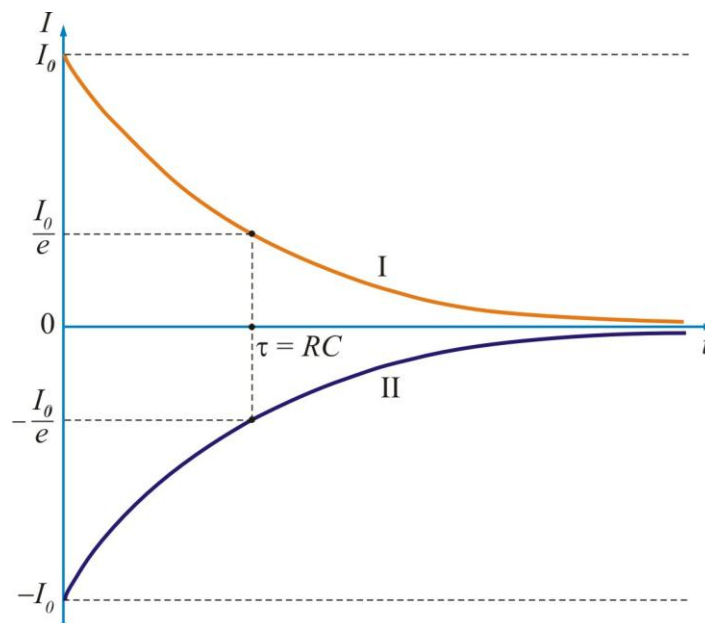


Рис. 8.2. Графік залежності  $I(t)$  для процесів зарядження (I) та розрядження (II)

проміжок часу  $t = T = RC$  сила струму зменшиться в  $e = 2,72$  рази і стане рівною  $I = I_0/e$ .

При розрядженні конденсатора (ключ К в положенні 2 „розрядження”) джерело струму від’єднане, тому рівняння (8.1) має вигляд

$$U_R + U_C = 0 \quad (8.8)$$

і, після аналогічного попередньому розгляду, одержимо для заряду

$$q(t) = \varepsilon C e^{-\frac{t}{RC}} = q_0 e^{-\frac{t}{RC}}, \quad (8.9)$$

де  $q_0 = \varepsilon C$  – початковий заряд конденсатора при  $t = 0$ . Відповідно, залежність струму розрядження від часу буде мати вигляд

$$I(t) = \frac{dq}{dt} = -\frac{q_0}{RC} e^{-\frac{t}{RC}} = -I_0 e^{-\frac{t}{RC}}. \quad (8.10)$$

Порівнюючи вирази (8.7) і (8.10), бачимо, що залежності струму від часу при зарядженні та розрядженні конденсатора мають однакову (експоненціальну) залежність, але напрямки струму в цих процесах протилежні.

Проміжок часу  $t = T = RC$  у виразах (8.6-8.7), (8.9-8.10) характеризує швидкість процесів зарядження-розрядження конденсатора і відповідно швидкість встановлення електричної рівноваги в колі. За фізичним змістом проміжок часу  $T = RC$  є час, за який сила струму змінюється (зменшується або зростає) в  $e = 2,72$  рази. Він має назву *сталого часу* даного контуру і в СІ вимірюється в секундах. Наприклад, для контуру, що має ємність  $C = 1$  мкФ і опір  $R = 1$  Ом, стала часу  $T = 10^{-6}$  с. З одного боку час діелектричної релаксації  $\tau_m$  всередині металів на кілька порядків менше  $T$ , а з другого боку, якщо вибрати орієнтовно довжину контуру  $\ell = 1$  м, то час розповсюдження електричного збурення в ньому  $\tau = 10^{-8}$  с, що на два порядки менше  $T$ . Отже, в такому колі виконуються умови  $\tau_m \ll T$  і  $\tau \ll T$  і електричний процес зарядження (розрядження) в ньому буде квазістаціонарний.

### Опис лабораторної роботи

Для вивчення процесу зарядження (розрядження) конденсатора використовується лабораторна робота, зовнішній вигляд якої наведений на рис. 8.3а, а електрична схема на рис. 8.3б. Електрична схема установки відрізняється від схеми, наведеної на рис. 8.1 лише наявністю вимірювальних приладів: амперметра і вольтметра. Зарядження конденсатора 3 через опір 2



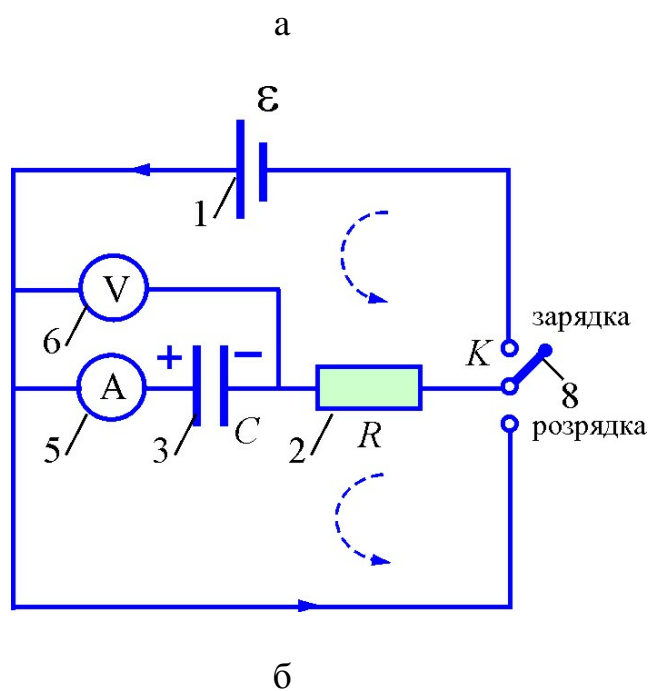
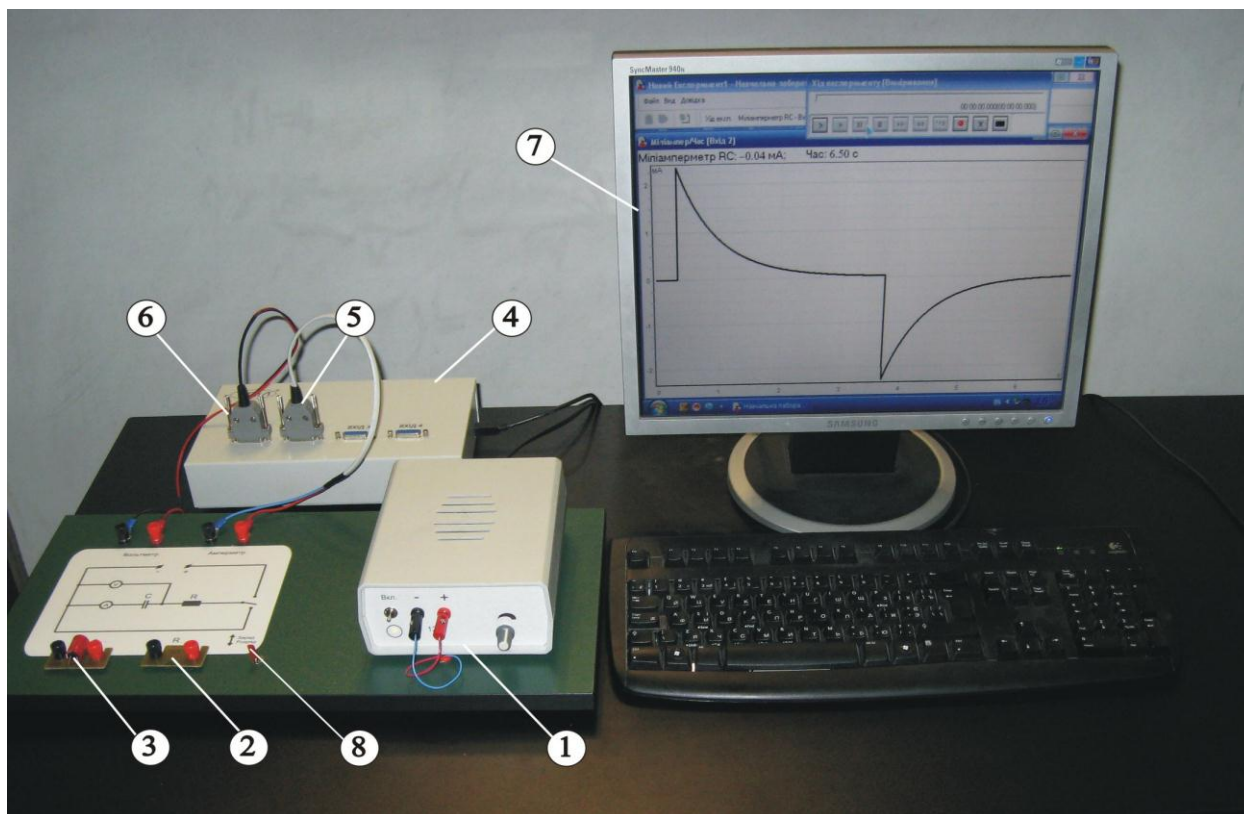


Рис. 8.3. Зовнішній вигляд лабораторної роботи (а) та електрична схема (б) кола. Позначення: 1 – джерело струму; 2 – резистор; 3 – конденсатор; 4 – вимірювальний блок; 5 – датчик сили струму; 6 – датчик напруги; 7 – монітор, 8 – ключ.

(рис. 8.3а) відбувається за допомогою джерела струму 1. Вимірювання сили струму та напруги виконується відповідними датчиками сили струму 5 та напруги 6 (рис. 8.3а), які з'єднані з вимірювальним блоком 4, що сполучений з комп'ютером. Результати вимірювання відображаються через комп'ютер на дисплей монітора 7 у вигляді залежності  $I(t)$  і (або)  $U(t)$ . Наприклад, на рис. 8.3а на дисплеї монітора відображена залежність  $I(t)$  для процесів зарядки (перша крива, що відповідає спаду сили струму) і розрядки (наступна крива, що відповідає наростанню сили струму). Для перемикання процесів зарядки-розрядки служить ключ 8.

Залежність сили струму від часу можна використати для визначення основних параметрів електричного кола – опору  $R$  та ємності  $C$ . Для цього прологарифмуємо залежність  $I(t)$  для процесу зарядки, тобто вираз (8.7). Тоді одержимо

$$\ln I = \ln I_0 - \frac{1}{RC}t. \quad (8.11)$$

Очевидно, що в координатах  $(\ln I - t)$  це є рівняння прямої з від'ємним коефіцієнтом нахилу прямої, що рівний за величиною

$$k = \frac{\Delta(\ln I)}{\Delta t} = \frac{\ln I_m - \ln I_n}{t_m - t_n} = \frac{1}{RC}. \quad (8.12)$$

де індекси  $m$  і  $n$  нумерують дві довільні точки прямої.

Тому, якщо побудувати графічно залежність  $\ln I(t)$  і знайти за нею коефіцієнт нахилу прямої, то можна визначити *сталу часу*

$$T = \frac{1}{k} = RC. \quad (8.13)$$

Пряму  $\ln I(t)$  можна графічно екстраполювати до точки  $t=0$  і за значенням  $\ln I(t=0) = \ln I_0$  визначити початкову силу струму  $I_0$ <sup>1)</sup>. Оскільки  $I_0 = \varepsilon/R$ , то, вимірявши напругу на джерелі струму  $\varepsilon$ , легко за відомим  $I_0$  знайти опір, тобто

$$R = \frac{\varepsilon}{I_0}. \quad (8.14)$$

Після цього з (8.13) за відомими  $T$  і  $R$  визначимо невідому ємність  $C$ .

---

<sup>1)</sup> Початкову силу струму загалом можна було б визначити з експериментальної залежності  $I(t)$ , але саме в точці  $t=0$  визначення сили струму супроводжується більшою похибкою.

---

**Завдання:**

- а) одержати експериментальну залежність  $I(t)$ ;  
 б) за залежністю  $I(t)$  знайти сталу часу  $T$  та визначити невідомі опір  $R$  та ємність  $C$ ;  
 в) порівняти експериментально визначені значення опору  $R$  і ємності  $C$  конденсатора з їх значеннями, що вказані виробником, та зробити висновки щодо результатів експерименту.

**Порядок виконання роботи**

1. Підготуватись до виконання роботи. Для цього під'єднати опір 2 та конденсатор 3 до клем, датчики сили струму 5 і напруги 6 до вимірювального блока 4, а сам блок до увімкненого комп'ютера. Ключ 8 повинен бути в нижньому положенні „Розрядка”, джерело струму вимкнене.
2. Завантажити програму „ІТМ” проведення вимірювань. У відкритому вікні „Навчальна лабораторія ІТМ” вибрати і натиснути „Робота з вимірювальним приладом”. Після відкриття вікна „Новий експеримент” вибрати і натиснути „Проведення”. В результаті відкриється вікно „Хід експерименту” з сіткою системи координат ( $I - t$ ).
3. Увімкнути джерело струму і встановити напругу, за якої відбувається вимірювання (4-8 В). Значення напруги занести в таблицю.
4. У вікні „Хід експерименту”, натиснути кнопку „Пуск” меню і перевести ключ в положення „Зарядка”. Спостерігати за падінням сили струму на графіку залежності  $I(t)$ , що відображається на дисплеї монітора і при наближенні значення сили струму до нуля перевести ключ в положення „Розряд”. Спостерігати процес наростання сили струму при розряді і при наближенні значення сили струму до нуля зупинити процес вимірювань натисненням кнопки „Стоп” в меню вікна „Хід експерименту”. Вимкнути джерело струму.
5. Після одержання залежності  $I(t)$ , за допомогою маркера, що являє точку перетину горизонтальної і вертикальної прямих, вибрати 8-10 точок кривої  $I(t)$  процесу зарядки (або розрядки) і записати в таблицю вимірів значення вибраних проміжків часу і відповідних їм значень сили струму.

Таблиця

№	$t_i, c$	U, В	$I_i, mA$	$\ln I_i$	$\ln I_m - \ln I_n$	$t_m - t_n, c$	$k, c^{-1}$	$T, c$
1.								
2.								
.								
.								
.								

5. За даними таблиці побудувати графік залежності  $\ln I(t)$  і, вибравши на ньому дві зручні для обчислень точки  $(\ln I_m, t_m), (\ln I_n, t_n)$ , знайти за формулою (8.12) коефіцієнт нахилу прямої  $k$ .
6. За знайденим  $k$  і формулою (8.13) знайти сталу часу  $T$ .
7. Екстраполювавши залежність  $\ln I(t)$  до перетину з віссю  $\ln I$ , знайти значення  $\ln I_0$ , а за ним початкове значення сили струму  $I_0$ .
8. За формулою (8.14) знайти невідомий опір  $R$ .
9. За формулою (8.13) знайти невідому ємність  $C$ .
10. Порівняти визначені експериментально значення опору  $R$  і ємності  $C$  конденсатора з їх значеннями, що вказані виробником, та зробити висновки щодо результатів експерименту.

### Контрольні питання

1. Дайте визначення електроємності. В яких одиницях вимірюється електроємність?
2. Сформулюйте закон Ома для ділянки кола (для замкненого кола).
3. Сформулюйте закони Кірхгофа.
4. За яких умов струм у колі може вважатись квазістаціонарним?
5. За яким законом змінюється сила струму у колі при зарядженні (розрядженні) конденсатора?
6. Яка величина має назву сталої часу і який її фізичний зміст?
7. Як визначається стала часу в лабораторній роботі?
8. Як визначається невідомий опір у лабораторній роботі?
9. Як визначається невідома електроємність у лабораторній роботі?
10. Який хід виконання лабораторної роботи?

### Література.

1. Кучерук І.М., Горбачук І.Т. Загальний курс фізики: Т.2.: Електрика і магнетизм. – К.: Техніка, 1999. – 452 с., ст. 60-64.
2. Физический практикум. /Под ред. В.И. Ивероновой.– М: Гос. изд-во физ.- мат. л-ры, 1962.– 956с.