

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

**Івано-Франківський національний технічний університет
нафти і газу**

Кафедра фізики

О.Є.Федоров, Ю.Б. Басараба, Т.І. Луцишин, А.Г. Калугін

ЕЛЕКТРОСТАТИКА, ПОСТІЙНИЙ СТРУМ

ЛАБОРАТОРНИЙ ПРАКТИКУМ

Для студентів всіх спеціальностей

Рекомендовано методичною радою університету

Івано-Франківськ

2010

МВ 02070855- 2967 -2010

Федоров О.Є., Басараба Ю.Б., Луцишин Т.І., Калугін А.Г.
Електростатика, постійний струм. Лабораторний практикум. /2-ге
вид, переробл.- Івано-Франківськ: 2010.-210 с.

Даний лабораторний практикум написаний згідно програми курсу фізики для студентів вищих технічних навчальних закладів України і містить методичні вказівки з вимірювання електричних величин, короткий огляд видів електровимірювальних приладів та вісім лабораторних робіт з розділу „Електростатика. Постійний струм”. До кожної роботи додається виклад теорії та вказана методика і послідовність виконання роботи. Значна увага звертається на практичне застосування відповідних фізичних явищ. Призначений для використання студентами всіх технічних напрямів підготовки денної та заочної форм навчання.

Рекомендовано методичною радою університету

© Федоров О.Є. Басараба Ю.Б.,
Луцишин Т.І., Калугін А.Г.

© ІФНТУНГ, 2010

ЗМІСТ

Вступ.....	5
Вимірювання електричних величин. Електровимірювальні прилади.....	6
1. Системи електромеханічних електровимірювальних приладів.....	7
2. Багатодіпазонні електровимірювальні ...прилади.....	17
3. Цифрові електровимірювальні прилади.....	19
4. Чутливість і ціна поділки електровимірювальних приладів. Похибки і класи точностей електровимірювальних приладів...	20
5. Приклад розрахунку похибок вимірюваної електричної величини за класами точностей приладу.....	23
6. Умовні позначення електровимірювальних приладів	26
Лабораторна робота № 32	
Дослідження електростатичного поля.....	27
Лабораторна робота № 33	
Вивчення властивостей сегнетоелектриків.....	37
Лабораторна робота № 34	
Визначення ємності конденсаторів за допомогою містка Сотті.....	48
Лабораторна робота № 35	
Вивчення роботи електронного осцилографа.....	56
Лабораторна робота №37	
Перевірка закону Ома і визначення питомого опору провідників.....	66
Лабораторна робота № 38	
Розширення меж вимірювань амперметра і вольтметра.....	72
Лабораторна робота №39	
Визначення опору провідників за допомогою містка Уітстона...	79

Лабораторна робота №40

Визначення електрорушійної сили джерела струму методом компенсації.....95

Українсько-англійський словник найбільш вживаних термінів з електростатики та постійного струму103

Перелік використаних джерел.....104

ВСТУП

Даний практикум узагальнює багаторічний досвід методики проведення лабораторних робіт з розділу „Електрика і магнетизм ” з курсу „Фізика” в Івано-Франківському національному технічному університеті нафти і газу.

Розділ „Електрика і магнетизм” без перебільшення можна назвати одним із найважливіших розділів курсу фізики для підготовки майбутніх інженерів всіх спеціальностей.

Фізика – експериментальна наука, тому пропонований лабораторний практикум націлює студентів на те, щоб вони самі стали для себе першовідкривачами тих чи інших фізичних законів. Тому в практикумі значне місце відводиться принципу, ідеї фізичного експерименту. Студент повинен добре розуміти, навіщо досліджується дане фізичне явище, як його дослідити, як оформити результати проведених дослідів та як оцінити похибки експерименту.

Цей практикум може бути корисним і тим, що він у багатьох випадках націлює студентів на практичне застосування відповідних явищ та законів електрики і магнетизму

ВИМІРЮВАННЯ ЕЛЕКТРИЧНИХ ВЕЛИЧИН. ЕЛЕКТРОВИМІРЮВАЛЬНІ ПРИЛАДИ.

При виконанні лабораторних робіт з розділу "Електрика і магнетизм" необхідно проводити вимірювання електричних величин за допомогою відповідних електровимірювальних приладів. Для практичного оволодіння методом вимірювання електричних величин необхідно знати принцип дії різних систем електровимірювальних приладів, вміти вмикати ці прилади в електричне коло, вміти визначати похибки електричних вимірювань. Саме при виконанні лабораторних робіт з електрики і магнетизму в курсі фізики майбутні інженери отримують перші навички вимірювання електричних величин, і ці навички в майбутньому знайдуть застосування у виробничій діяльності.

Для вимірювання електричних величин в більшості випадків застосовують такі основні типи електровимірювальних приладів: 1) електромеханічні прилади; 2) електронні прилади; 3) цифрові прилади.

Електромеханічні прилади відносяться до приладів прямого перетворення, в яких вимірювана величина (сила струму, напруга) безпосередньо перетворюється в покази відлікового пристрою (переміщення стрілки вздовж шкали приладу). Такі прилади ще називають аналоговими, дійсно, аналогом електричної вимірюваної величини струму чи напруги є, наприклад, відхилення стрілки приладу - чим більший струм, тим більше відхилення стрілки

В електронних приладах вимірювана електрична величина спочатку поступає на вхід підсилювача (на лампах, транзисторах або на мікросхемах), а потім вже отриманий сигнал приводить в рух електромеханічний пристрій (амперметра, вольтметра).

В останній час широкого застосування набули цифрові електровимірювальні прилади. Ці прилади автоматично перетворюють неперервну вимірювану величину в дискретну (тобто перервну) форму, піддають її цифровому кодуванню і видають результат у вигляді чисел, які з'являються на екрані дисплея.

1. СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНИХ ЕЛЕКТРОВІМІРЮВАЛЬНИХ ПРИЛАДІВ.

У залежності від принципу дії електровимірювальні прилади діляться на такі основні системи: 1) магнітоелектрична; 2) електромагнітна; 3) електродинамічна; 4) електростатична; 5) індукційна. Існують ще інші системи приладів, наприклад, вібраційна та теплова, але вони не набули широкого застосування (наприклад, теплова, яка базується на видовженні провідника при його нагріванні струмом). Розглянемо окремо принцип дії основних систем електровимірювальних приладів.

1.1. Магнітоелектрична система.

Принцип дії приладу магнітоелектричної системи базується на обертанні рамки зі струмом у магнітному полі. Так, якщо рамка, що має N – витків і площею S знаходиться у магнітному полі індукцією B (рис1.1), то на цю рамку діє момент сили

$$M = NIBS \sin \alpha, \quad (1.1.)$$

Рисунок.1.1.

Рамка зі струмом в
магнітному полі

де α кут вектором індукції
магнітного поля та нормаллю n

до площини рамки.

Для того, щоб момент сили не залежав від кута повороту рамки, в приладах магнітоелектричної системи створюють радіальне магнітне поле, силові лінії якого завжди паралельні площині рамки.

Принципова схема приладу магнітоелектричної системи наведена на рис1.2., в якому радіальне магнітне поле створюється в проміжку між вирізами в полюсах магніту 1 та залізним осердям 2. Тоді кут між вектором індукції поля та нормаллю до рамки буде прямим і на рамку завжди діятиме максимальний момент сили

$$M = NIBS \quad (1.2)$$

Рамка буде обертатись до тих пір, поки обертовий момент зі сторони магнітного поля буде компенсований пружним моментом кручення, який виникає в спіральній пружині, що одночасно виконує роль підвідних контактів струму до рамки.

$$M = k \cdot \varphi,$$

(1.3)

де k - модуль кручення пружини, φ - кут повороту рамки. Тоді

$$N \cdot I \cdot B \cdot S = k \cdot \varphi \quad (1.4)$$

Тоді

$$\varphi = I \frac{NBS}{k}, \quad (1.5)$$

тобто, кут повороту φ рамки пропорційний силі струму. З рамкою приладу зв'язана стрілка, за

допомогою якої проводиться відлік вимірюваної величини.

Таким чином, прилади магнітоелектричної системи дають лінійну залежність переміщення покажчика приладу (стрілки) від значення вимірюваної електричної величини.



Рисунок 1.3
Мікроамперметр магніто-електричної системи

Ці прилади надзвичайно чутливі і використовуються для вимірювання малих напруг і струмів. Вони дозволяють вимірювати струми порядку 10^{-11} А і напруги порядку 10^{-8} В. Так, на рис.1.3 наведений загальний вигляд мікроамперметра магнітоелектричної системи. Дана система приладів використовуються лише в колах постійного струму. Для змінного струму прилади даної системи непридатні, так як рухома частина

внаслідок інертності не встигає відхилятися разом із зміною напрямку струму.

Умовне позначення приладів електромагнітної системи .

1.2. Прилади детекторної (випрямляючої) системи.

Прилади детекторної (випрямляючої) системи поєднують прилади

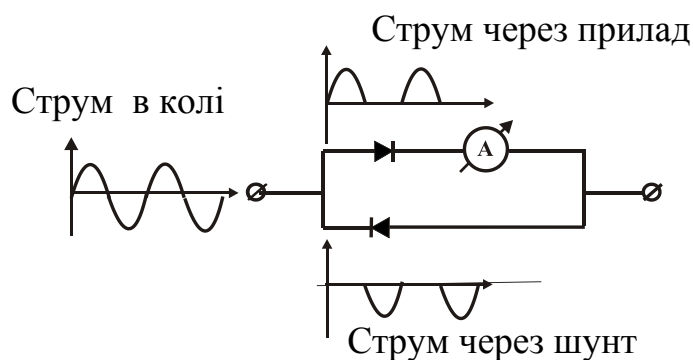


Рисунок 1.4

Принцип дії електровимірювальний
приладу детекторної системи

магнітоелектричної системи з напівпровідниковим випрямлячем (детектором, діодом) і використовуються для вимірювання змінного струму. На рис. 1.4 вказана одна з можливих схем з'єднання випрямляча з вимірювальним приладом (наприклад амперметром). Через

випрямляч, який ввімкнений послідовно з вимірювальним приладом, змінний струм проходить протягом однієї половини періоду. Щоб не порушувати режим роботи всього кола (особливо при вимірюванні сили струму) вимірювальний прилад шунтують другим випрямлячем, через який струм проходить на протязі другого періоду.

Умовне позначення приладів детекторної системи .

1.3. Електромагнітна система.

Принцип дії приладів електромагнітної системи полягає у втягуванні феромагнетика в область поля з максимальною магнітною індукцією. Наприклад, залізне осердя, підвішене на пружині. Під осердям знаходиться котушка, по обмотці якої пропускають струм, силу якого треба виміряти. Він створює магнітне поле і осердя втягується в котушку. До осердя

прикріплена стрілка і її переміщення вздовж шкали може фіксувати значення вимірюваного струму. Таким чином, прилад даної системи являє собою електромагніт, який притягує залізне (феромагнітне) осердя. Звідси, і назва системи - електромагнітна.



Рисунок 1.5
Схема приладу електромагнітної системи

На практиці прилади даної системи мають інше конструкційне виконання (рис. 1.5). Прилад складається з прямокутної котушки 1, яка має вузьку щілину 2. Феромагнітне осердя 3 закріплене ексцентрично на осі. З віссю зв'язана стрілка і пружина, яка створює протидіючий момент сили. Струм, який протікає в котушці створює магнітне поле, під дією якого осердя втягується всередину

котушки. Вісь приладу повертається, а разом з нею стрілка по шкалі проводиться відлік вимірюваної величини.

Магнітне поле котушки пропорційне струму, а намагніченість залізного осердя теж збільшується з збільшенням струму. Тому можна вважати, що в приладі електромагнітної системи обертовий момент M_1 - пропорційний квадрату сили струму

$$M = k_1 \cdot I^2, \quad (1.6)$$

де k_1 - коефіцієнт пропорційності, який залежить від конструкції приладу. Протидіючий момент M_2 , який створюється пружиною, пропорційний куту повороту рухомої частини приладу

$$M_2 = k_2 \alpha, \quad (1.7)$$

де k_2 - коефіцієнт пропорційності, що характеризує пружні властивості пружини.

Рівновага рухомої частини приладу визначається рівністю моментів сил

$$k_2 \cdot \alpha = k_1 \cdot I^2, \quad (1.8)$$

звідки

$$\alpha = \frac{k_1}{k_2} I^2. \quad (1.9)$$

Отриманий вираз (1.3.4) вказує на те, що шкала приладу електромагнітної системи нерівномірна. На рис.1.6 показана шкала вольтметра електромагнітної системи, де від нуля до позначки 50В проміжні поділки відсутні. Це зумовлено суттєвою нерівномірністю шкали і значною похибкою саме в цьому інтервалі. Тому в більшості приладів електромагнітної системи має місце такий своєрідний «пропуск» поділок в лівій крайній частині шкали. Із зміною напрямку струму змінюється як напрям магнітного поля, так і напрям намагнічування осердя. Тому прилади електромагнітної системи застосовуються для вимірювань в колах постійного і змінного струмів. Прилади даної системи прості за конструкцією, механічно стійкі і можуть витримувати значні перевантаження



Рисунок 1.6
Шкала вольтметра електро-
магнітної системи

зумовлено суттєвою нерівномірністю шкали і значною похибкою саме в цьому інтервалі. Тому в більшості приладів електромагнітної системи має місце такий своєрідний «пропуск» поділок в лівій крайній частині шкали. Із зміною напрямку струму змінюється як напрям магнітного поля, так і напрям намагнічування осердя. Тому прилади електромагнітної системи застосовуються для вимірювань в колах постійного і змінного струмів. Прилади даної системи прості за конструкцією, механічно стійкі і можуть витримувати значні перевантаження

Для заспокоєння коливань рухомої частини використовується спеціальний пристрій, який називається демпфером (від

Рисунок 1.7
Схема демпфера

німецького - заспокоєння, гасіння). Конструкція демпфера окремо вказана на рис 1.7. Всередині закритого з однієї сторони циліндра 1 переміщається легкий алюмінієвий поршень 2, який зв'язаний з рухомою частиною приладу, його віссю. Між поршнем і внутрішньою поверхнею циліндра є невеликий проміжок (зазор). При повороті осердя приладу повертається його вісь і поршень зустрічає опір повітря, внаслідок чого коливання рухомої частини приладу швидко затухають.

Умовне позначення приладів електромагнітної системи. 

1.4. Електродинамічна система.

Принцип дії приладів електродинамічної системи базується на взаємодії магнітних полів двох котушок (рамки). Схема приладу даної системи наведена на рис. 1.8, де 1 та 2 - нерухомі котушки або рамки, 3 - рухома котушка, яка обертається всередині нерухомої. Підвід струму до рухомої рамки здійснюється через металічні пружини 5 та 6. Якщо через рамки пропустити струм, то внаслідок взаємодії їх магнітних полів рухома рамка буде повертатись.

Рисунок 1.8
Схема приладу
електродинамічної системи

У першому наближенні обертовий момент M_1 , який діє на рухому рамку пропорційний силі струму I_1 в нерухомій рамці, так і силі

струму I_2 в рухомій

$$M_1 = k_1 I_1 I_2, \quad (1.10)$$

де k_1 - коефіцієнт пропорційності, який залежить від конструкції приладу. Пружини, які закручуються при обертанні рухомої рамки,

створюють протидіючий момент M_2 , пропорційний куту α , на який повернеться рамка

$$M_2 = k_2 \alpha, \quad (1.11)$$

де k_2 - коефіцієнт пропорційності, що залежить від пружних властивостей пружин. При рівності моментів M_1 та M_2 рухома котушка зупиниться і тоді

$$\alpha = \frac{k_1}{k_2} I_1 I_2$$

(1.12)

З рухомою котушкою зв'язана стрілка приладу, по шкалі якої здійснюється відлік вимірюваної величини.

Якщо рамки з'єднані послідовно, то $I_1 = I_2 = I$ і тоді

$$\alpha = \frac{k_1}{k_2} I^2$$

(1.13)

Вирази (1.11) та (1.12) показують, що шкала електродинамічних приладів нерівномірна.

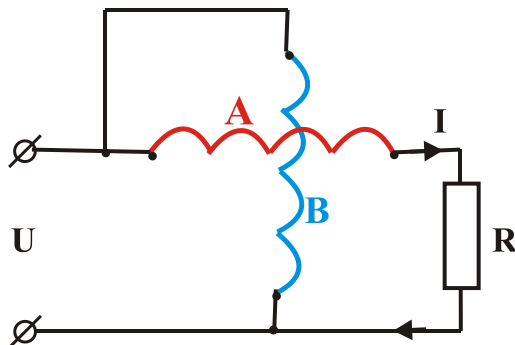


Рисунок 1.9

Під'єднання приладу
електродинамічної системи

При зміні напрямку струму в обох рамках напрям обертового моменту не змінюється. Звідси випливає, що прилади даної системи можна використовувати для вимірювань як в колах постійного, так і змінного струмів.

Прилади електродинамічної системи набули широкого застосування для

вимірювань потужності електричного струму як вказано на рис.1.9. Для цього нерухома рамка **A** з малим опором вмикається послідовно до споживача електричної енергії (опір **R**), тобто ця рамка виконує роль амперметра. Рамка **B**, що має великий опір

увімкнено паралельно до споживача, тобто виконує роль її вольтметра. Очевидно, що відхилення рухомої рамки одночасно залежить як від сили струму в колі, так і від напруги, тобто визначається добуток сили струму на напругу і цей добуток визначає потужність струму

$$P = I \cdot U \quad (1.14)$$

Таким чином, відхилення рухомої частини приладу електродинамічної системи пропорційне потужності електричного струму. Тобто прилад даної системи можна використовувати як ватметр, який має рівномірну шкалу.

Умовне позначення приладів електродинамічної системи 

1.5. Індукційна система.

Прилад даної системи являє собою мініатюрний електродвигун,

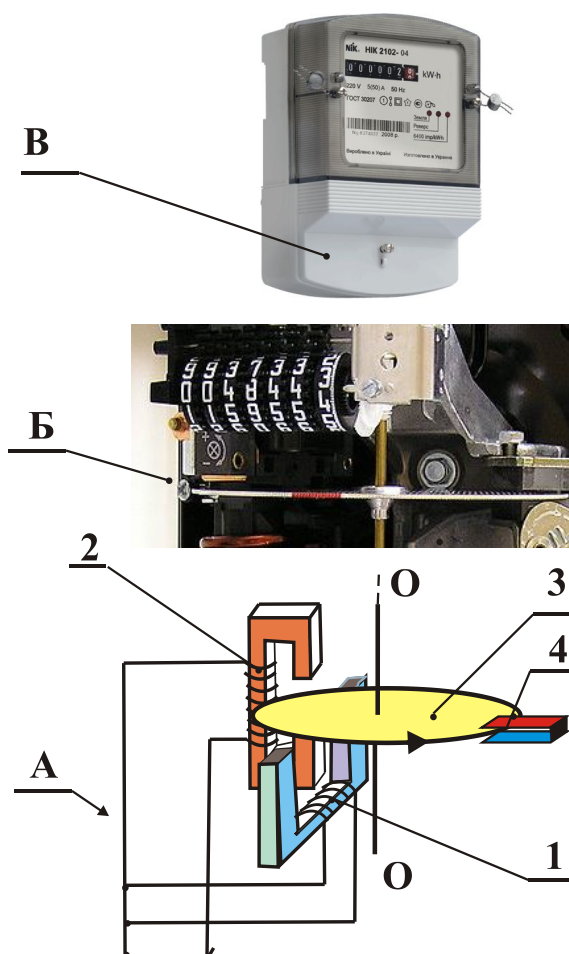


Рисунок 1.10

електровимірювальний прилад
індукційної системи

А- схема приладу ,Б – лічильник числа
14 обертів диска , В- загальний вигляд
лічильника електричної енергії

число обертів якого пропорційне виконаній струмом роботі. Як і в будь-якому електродвигуні тут теж використовується явище руху провідника з струмом в магнітному полі. В приладі індукційної системи, принципова схема якого наведена на рис. 1.10, роль провідника з струмом відіграє легкий алюмінієвий диск, що обертається відносно осі ОО. Струм в диску індукується електромагнітом 2 (звідси назва індукційна система).

Переміщення провідника, тобто обертання диска відбувається в полі електромагніта 3. Обмотка електромагніта 2 ввімкнена в коло послідовно, а обмотка 3 паралельно. Таким чином, обертовий момент, який діє на диск пропорційний силі струму в колі і напрузі, тобто потужності. Під дією цього моменту диск обертається і його кутова швидкість зростає. Для того, щоб забезпечити рівномірне обертання диска і тим самим пропорційність числа обертів до виконаної електричним струмом роботи, необхідно створити відповідний гальмівний момент. Такий гальмівний момент створюється постійним магнітом 4, між полюсами якого обертається диск. При обертанні у полі постійного магніту, у диску виникає індукційний струм. Згідно правила Ленца, індукований магнітним полем струм протидіє причині, що викликає цей струм, тобто протидіє

Виконана електричним полем робота відраховується по числу обертів диска. В технічних паспортах цих лічильників електричної енергії індукційної системи вказується стала приладу - число обертів диска, яке відповідає роботі 1 кВт год.

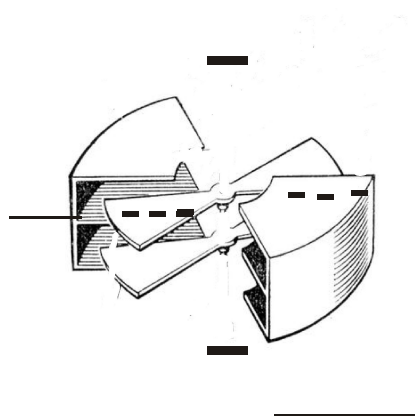


Рисунок 1.11

Електровимірний прилад електростатичної системи

- А- принципова схема приладу ,
- Б-загальний вигляд кіловольметра електростатичної системи

Разом з тим обертовий рух диска передається на механічний відліковий пристрій і тоді відлік виконаної електричним струмом роботи проводиться у "вікні" лічильника безпосередньо в кіловат-годинах. З такими лічильниками ми маємо справу в побуті і по їх показах проводимо оплату за спожиту електричну енергію.

Умовне позначення індукційного приладу Φ

1.6.

Електростатична система.

Прилади електростатичної системи використовують

явище взаємодії заряджених тіл і в основному застосовуються для вимірювання високих напруг. Принципова схему такого приладу наведена на рис. 1.11. Прилад складається з системи нерухомих 1 та рухомих 2 електродів. Рухомі електроди закріплені на вісі 3, яка, в свою чергу, обертається на пружній нитці 4. Напруга, що вимірюється, підводиться одним полюсом до нерухомих електродів, а другим - до рухомих. Між електродами виникає електричне поле і рухомі електроди втягуються в область поля з максимальною напруженістю, тобто всередину нерухомих електродів. Рухомі електроди повертаються до тих пір, поки обертовий момент зі сторони електричного поля не стане рівним протидіючому моменту деформованої (закрученої) нитки 4. З віссю рухомої частини зв'язана стрілка, за допомогою якої по шкалі приладу проводиться відлік вимірюваної величини (напруги).

1.7. Вібраційна система.

Будова приладів вібраційної системи базується на явищі резонансу, при співпаданні частоти власних коливань рухомої частини приладу з частотою змінного струму. Прилади даної системи, в основному, застосовуються для вимірювання частоти струму.

Умовне позначення приладу вібраційної системи 

1.8. Теплова система.

Принцип дії приладів теплової системи базується на зміні довжини провідника, по якому тече струм, внаслідок його нагрівання. Так як кількість теплоти, яка виділяється струмом $Q=I^2Rt$ пропорційна квадрату сили струму і не залежить від напрямку струму, тому прилади теплової системи придатні для вимірювання в колах, як постійного, так і змінного струмів. Разом з тим, прилади даної системи мають ряд недоліків, які обмежують їх широке застосування. До таких недоліків відноситься нерівномірність шкали, наявність теплової інерції і залежність показів від температури навколишнього середовища.

Умовне позначення приладу теплової системи 

1.9. Прилади термоелектричної системи.

Ряд недоліків приладів теплової системи усувають прилади термоелектричної системи. Ці прилади являють собою поєднання приладу магнітоелектричної системи з одним або декількома термоперетворювачами. Схематична будова приладу термоелектричної системи наведена на рис. 1.9.1.

Струм, який треба виміряти, протікає через металічну нитку АВ і нагріває її. З цією ниткою має тепловий контакт термopара ТП, яка являє собою спай двох різнорідних металів. При нагріванні термopари виникає термоелектрорушійна сила, яка в свою чергу створює електричний струм в колі вимірного приладу (наприклад міліамперметра). Шкала цього приладу проградуєвана в °С. Прилади такої системи використовуються для вимірювання струмів високої частоти. Умовне позначення приладу термоелектричної системи 

Рисунок 1.9.1
Термоелектрична
система приладів

1.10. БАГАТОДІАПАЗОННІ ЕЛЕКТРОВИМІРЮВАЛЬНІ ПРИЛАДИ.

На практиці доводиться вимірювати електричні величини, значення яких лежить в широких межах. Наприклад, вимірювати слабкі s (10^{-6} А) і сильні струми ($10^2 - 10^3$ А). Так само виникає необхідність вимірювати малі та великі напруги. Звичайно, для кожної межі вимірюваної величини можна брати відповідний прилад (мікроамперметр, міліамперметр, амперметр, мілівольтметр, вольтметр і т.д.). Але було б значно простіше вимірювати електричні величини в широкому інтервалі їх значень одним і тим же приладом. Таке вимірювання здійснюється багатодіапазонними електровимірювальними приладами, електричну схему яких можна перемикаєти для зміни інтервалу вимірюваної величини. У випадку амперметра зміна меж вимірювань досягається застосуванням *шунтів*, а у випадку вольтметрів - вмиканням *додаткових опорів* (дивіться лабораторну роботу № 38 "Розширення меж вимірювань амперметра і вольтметра").

Інколи багато діапазонні прилади мають різні шкали. У такому випадку відлік проводиться по шкалі, яка відповідає даному вмиканню приладу. В більшості випадків багато діапазонні прилади мають одну шкалу. Наприклад, на рис. 1.1.10 наведений загальний вигляд багатодіапазонного вольтметра який має 4 діапазони вимірювань: 0-75 ; 0-150; 0-300 та 0-600 В, а вся шкалу приладу налічує 150 поділок. На даному рисунку бачимо ,що прилад встановлений на діапазон 0-300 В і стрілка вольтметра знаходиться біля поділки «58». У такому випадку для визначення вимірювальної величини в першу чергу необхідно визначити ціну поділки даного діапазону.

Для цього треба розділити максимальне значення цього діапазону на загальне число поділок шкали приладу і для вказаного діапазону отримаємо що ціна поділки дорівнює

$$C = \frac{300 \text{ В}}{150 \text{ под.}} = 2 \frac{\text{В}}{\text{под.}} \quad (1.10.1)$$

Отже значення вимірюваної величини згідно показам вольтметра на рис.1.10.1 становить

$$58 \text{ под.} \times 2 \frac{\text{В}}{\text{под.}} = 116 \text{ В} \quad (1.10.2)$$



Рисунок 2.2
Багатодіапазонний тестер
Ц4324

Користування багато діапазонними електровимірювальними приладами вимагає дотримання особливих правил основне з яких полягає в тому що перед початком роботи прилад «виставляють» на максимальний діапазон вимірювань .

Електровимірювальні прилади з широким діапазоном вимірювань різних електричних

величин відомі під загальною назвою «тестери» або «мультиметрів». На рис. 2.2 наведений загальний вигляд відомого тестера Ц4324.

Цей прилад дає можливість проводити вимірювання в колах постійного та змінного струмів. Наприклад, на рисунку перемикач роду вимірювань (біла риска) розташований напроти цифр **15** та **3**. Це значить, вся верхня шкала приладу розрахована на **15 В** змінної напруги або на **3 В** постійної. Повернувши ручку приладу до позначки «-1200», межі вимірювання тестера збільшимо до **1200 В** постійної напруги.

3. ЦИФРОВІ ЕЛЕКТРОВИМІРЮВАЛЬНІ ПРИЛАДИ.

У даний час все більшого застосування набувають цифрові електровимірювальні прилади. Ці прилади є, по суті, малими комп'ютерами, які аналізують вимірювану величину, перетворюють її в дискретний сигнал, що несе відповідну

інформацію, яка подається в цифровому вигляді на дисплей приладу. На рис. 3.1

показаний вигляд сучасного цифрового

електровимірювального

приладу. Цей прилад дає

можливість вимірювати силу струму до 10А, напругу до 1000В, електричний опір до 50

10^6 Ом, визначати частоту струму 10Гц - 200 кГц з

точністю 0,0001Гц, також вимірювати електроємність 0 -

10 000 мкФ.

Цифрові вимірювальні прилади мають в своєму складі

два вузли: аналого-цифровий перетворювач і цифровий

відліковий пристрій. Аналого-цифровий

перетворювач створює код вимірюваної



Рисунок 3.1

Сучасний цифровий
електровимірювальний
прилад «мультиметр»

величини. Для утворення коду безперервна величина дискретизується, тобто розбивається на окремі значення за часом і по рівню так, що значення дискретної величини відповідає значенню безперервної величини тільки в певні моменти часу. Проміжок між сусідніми моментами часу називається кроком дискретності, тобто перервності коли процесор приладу обчислює значення вимірювальної величини в перший момент і закінчує в другий момент часу .

На роботу цифрових вимірювальних приладів в основному впливають два типи похибок: статичні і динамічні.

Статична похибка складається з чотирьох складових:

- похибки дискретизації;
- похибки квантування;
- похибки порогу чутливості;
- зовнішніх впливів на прилад.

При цьому треба мати на увазі, що останні три похибки викликані тільки недосконалістю приладу і є інструментальними похибками. Різними конструкторськими і інженерними розробками ці складові статичної похибки можна звести до мінімуму аж до повного виключення. Похибки дискретизації є методичною погрішністю. Це означає, що ніякі технічні удосконалення в принципі не можуть позбутись цієї похибки, оскільки вона властива природі самого методу цифрового перетворення сигналу.

Що стосується динамічних похибок, то їх розрізняють як похибки першого і другого роду.

До динамічних похибок першого роду відносять похибки , пов'язані з інерційністю окремих складових цифрового вимірювального приладу. Позбутись таких похибок можна удосконаленням конструкції приладу та його окремих елементів

Динамічні похибки другого роду виникають через те, що вимірювання відбувається у один момент часу, а процесор приладу може приписати це значення до попереднього або наступного моменту часу Таку похибку вимірювання усунути в принципі не можна. Тому працюючи з цифровими електровимірювальними приладами спостерігається наступна картина – остання цифра на дисплеї приладу може ставати то більшою то меншою.

4. ЧУТЛИВІСТЬ І ЦІНА ПОДІЛКИ ЕЛЕКТРОВИМІРЮВАЛЬНИХ ПРИЛАДІВ. ПОХИБКИ ТА КЛАСИ ТОЧНОСТЕЙ ЕЛЕКТРОВИМІРЮВАЛЬНИХ ПРИЛАДІВ.

Нехай електровимірювальний прилад вимірює деяку електричну величину a (сила струму, напруга, потужність). Якщо ця величина змінюється на Δa , то відбуваються відповідні зміни показчика приладу на $\Delta \alpha$. $\Delta \alpha$ - це лінійне або кутове переміщення показчика (стрілки) приладу. Очевидно, чим більше це переміщення $\Delta \alpha$ при даній зміні Δa вимірюваної величини, тим прилад більш чутливий, тому

чутливістю S електровимірного приладу називається відношення лінійного чи кутового переміщення $\Delta \alpha$ показчика приладу до зміни вимірюваної величини на Δa , яка викликала це переміщення.

$$S = \frac{\Delta \alpha}{\Delta a} . \quad (4.1)$$

Величина $C = \frac{1}{S}$, яка обернена чутливості, називається ціною поділки приладу. Вона визначає значення електричної величини,



Рисунок 4.1
Шкала міліамперметра

яка викликає відхилення показчика на одну поділку. В загальному вигляді ціна поділки являє собою різницю значень вимірюваної величини для двох сусідніх міток /на шкалі приладу/. Ціна поділки залежить від верхньої і нижньої границь вимірювань приладу і від числа поділок шкали. Наприклад, на

рис. 4.1 показана шкала міліамперметра, розрахованого на вимірювання сили напруги від нуля до 20 мА і шкала якого має 100 поділок.

Ціна поділки такого приладу дорівнює

$$C = \frac{20 \text{ мА}}{100 \text{ поділок}} = 0,2 \frac{\text{мА}}{\text{поділку}} \quad (4.2)$$

Як відомо, кожне вимірювання фізичної величини дає певну похибку. За дійсне значення вимірюваної електричної величини приймають значення, яке виміряне взірцевим приладом, яке теж не є абсолютно точним. Взірцеві прилади знаходяться в метрологічних лабораторіях і всі прилади, які використовуються для наукових досліджень та на виробництві повинні проходити періодичну перевірку із взірцевими приладами.

Модуль різниці показів між показами a даного приладу і дійсним значенням вимірюваної величини a_0 називається абсолютною похибкою

$$\Delta a = a - a_0$$

(4.3)

Точність вимірювання характеризується відносною похибкою, яка дорівнює відношенню абсолютної похибки до значення вимірюваної величини (при багаторазових вимірах береться середнє значення вимірювальної величини)

$$\varepsilon = \frac{\Delta a}{a} \cdot 100\%$$

(4.4)

При сталій абсолютній похибці електровимірювального приладу відносна похибка по мірі зменшення вимірюваної величини не залишається сталою, а зменшується. Відносна похибка в різних частинах шкали приладу буде різною. Тому для характеристики точності електровимірювальних приладів користуються приведеною похибкою, як відношення абсолютної похибки приладу до максимального значення вимірюваної величини, тобто до найбільшого її значення, яке може бути виміряне по шкалі даного приладу

$$\varepsilon_{np} = \frac{\Delta a}{a_{\max}} \cdot 100\%$$

(4.5)

Приведена похибка приладу виражена у відсотках характеризує ступінь точності даного приладу. Згідно Державного стандарту промисловістю випускаються прилади з наступними значеннями ступенів точності, які називають класами точності: **0,05; 0,1; 0,2; 0,5; 1; 1,5; 2,5 і 4.**

Прилади класів **0,1; 0,2 і 0,5** використовують для точних лабораторних вимірювань і називають прецизійними. В техніці застосовують менш точні прилади класів **1; 1,5; 2,5 і 4**. Прилади з класом точності більшим ніж 4 використовуються як демонстраційні. Клас точності приладу вказується на його шкалі.

5. ПРИКЛАД РОЗРАХУНКУ ПОХИБОК ВИМІРЮВАНОЇ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ВЕЛИЧИНИ ЗА КЛАСАМИ ТОЧНОСТІ ПРИЛАДІВ.

У багатьох випадках значення шуканої електричної величини одержують за результатами одного вимірювання. Тому тут особливу роль відіграє спосіб оцінки похибок проведених вимірювань. Розглянемо окремі випадки.

5.1. Пряме вимірювання електричної величини.

Наприклад, амперметром, шкала якого розрахована на 1А проведемо одноразове вимірювання сили струму 0,8А. Клас точності приладу дорівнює 1. Враховуючи, що клас точності приладу - це його приведена похибка, виражена у відсотках, згідно формули (4.5) будемо мати

$$0,01 = \frac{\Delta I}{1A}, \quad (5.1.)$$

звідки абсолютна похибка вимірювання сили струму даним приладом становить $\Delta I = 0.01 \times 1A = \pm 0,01A$ і тому отримане значення сили струму треба вважати рівним

$$I = (0,8 \pm 0,01) A.$$

5.2. Посереднє (непряме) вимірювання електричної величини.

Посереднє (непряме) вимірювання деякої фізичної величини - це таке вимірювання, коли шукану величину отримують як результат розрахунків за результатами вимірювань ряду інших величин. Наприклад, згідно закону Ома для ділянки кола опір провідника можна розрахувати за формулою

$$R = \frac{U}{I}.$$

(5.2.)

Але для цього треба провести прямі вимірювання сили струму та напруги. Нехай сила струму становить 0,8А, а напруга 160В. Тоді опір провідника дорівнює

$$R = \frac{160\text{ В}}{0,8\text{ А}} = 200\text{ Ом}.$$

(5.3)

Так як виміряні значення напруги та сили струму є не точними, то не точним буде і значення знайденого опору. Для розрахунку похибки опору виводять формулу похибок, а саме: робочу формулу логарифмують:

$$\ln R = \ln U - \ln I,$$

(5.4) отриманий вираз диференціюють

$$\frac{dR}{R} = \frac{dU}{U} - \frac{dI}{I},$$

(5.5) значки диференціала „d”, замінюють на значки „Δ” і враховуючи правило додавання похибок, отримують формулу відносної похибки,

$$\frac{\Delta R}{R} = \frac{\Delta U}{U} + \frac{\Delta I}{I}, \quad (5.6)$$

де ΔR – абсолютна похибка опору, ΔU - абсолютна похибка вимірювання напруги, ΔI - абсолютна похибка виміряної сили струму. Абсолютні похибки ΔU та ΔI легко визначити через клас точності відповідних електровимірювальних приладів. Так, якщо для вимірювання сили струму був використаний амперметр, який

розрахований на струм 1А і мав клас точності 1, то абсолютна похибка сили струму дорівнює 0,01А. Якщо ж для вимірювання напруги скористались вольтметром на 200В з класом точності 1,5, то абсолютна похибка напруги дорівнює

$$\Delta U = (200 \times 0,015) \text{ В} = \pm 3 \text{ В.} \quad (5.7)$$

Підставивши ці значення абсолютних похибок у формулу 5.7 отримаємо:

$$\frac{\Delta R}{R} = \frac{3}{160} + \frac{0,01}{0,8} = 0,03 (3\%) \quad (5.8)$$

тоді

$$\Delta R = 200 \text{ Ом} \times 0,03 = 6 \text{ Ом.} \quad (5.9)$$

отже

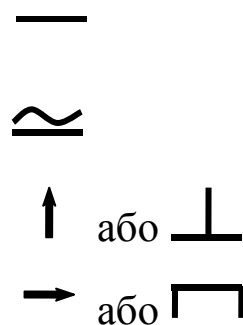
$$R = (200 \pm 6) \text{ Ом.} \quad (5.10)$$

6. УМОВНІ ПОЗНАЧЕННЯ ЕЛЕКТРОВИМІРЮВАЛЬНИХ ПРИБОРІВ.

Згідно державного стандарту, всі електровимірні прилади мають відповідні умовні позначення, які наносяться на шкалу або на передню панель приладу. Так, на рис. 6.1 показаний вольтметр, на шкалі якого у правій нижній частині нанесені його основні характеристики.

Відповідно до державних стандартів затверджені основні наступні позначення на електровимірних приладах.

1. Робочі характеристики приладів





прилад призначений для роботи при певному куті нахилу (наприклад 60°)



електричне коло приладу ізольоване від корпусу приладу і випробуване під напругою 2 кВ



знак захисту 1-ї категорії від зовнішніх магнітних полів



знак захисту 1-ї категорії від зовнішніх електричних полів

0,05; 0,1; 0,2; 0,5;
1; 1,5; 2,5; 4

клас точності приладу

2. Системи приладів



Магнітоелектрична



Детекторна



Електромагнітна



Магнітоелект
рична



Індукційна



Електрост
атична



Цифрова

Так, на рис. 6.1 показаний вольтметр, на шкалі якого у правій нижній частині нанесені його основні характеристики



- 1-прилад електромагнітної системи
- 2-можна використовувати в колах постійного і змінного струмів
- 3-клас точності приладу 1,5
- 4-робоче положення приладу вертикальне
- 5-ізоляція приладу випробувана

Рисунок 6.1

Умовні позначення на електровимірювальному приладі

Лабораторна робота № 32

ДОСЛІДЖЕННЯ ЕЛЕКТРОСТАТИЧНОГО ПОЛЯ

Мета роботи: одержати картини еквіпотенціальних і силових ліній досліджуваних електричних полів.

Прилади: лабораторний стенд роботи для отримання та дослідження електростатичних полів різної конфігурації (джерело постійного струму, набір електродів, нуль-індикатор, ванночка з координатною сіткою).

1.Теоретичний матеріал. Електростатичне поле і його характеристики.

З нерухожими електричними зарядами зв'язане електростатичне поле - особливий вид матерії, за допомогою якого здійснюється взаємодія електричних зарядів. Для точкових зарядів ця взаємодія описується законом Кулона, який в системі СІ має вигляд формули (32.1):

$$F = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_1 \cdot q_2}{\epsilon \cdot r^2},$$

(32.1)

де q_1 та q_2 - абсолютні значення зарядів; r – відстань між ними; ϵ_0 - електрична стала, яка дорівнює $8,85 \times 10^{-12}$ Ф/м; ϵ - діелектрична проникність середовища. Напрямок сили взаємодії електричних зарядів визначається їх знаками: однойменні заряди відштовхуються, а різнойменні – притягуються.

Основними характеристиками електростатичного поля є напруженість і потенціал

Напруженість

Напруженість – силова характеристика електричного поля, яка визначається відношенням сили F , що діє на додатний точковий заряд q , вміщений в дану точку поля до величини цього заряду (32.2).

$$E = \frac{F}{q}.$$

(32.2)

Якщо $q=1$ Кл, то $E = F$ (чисельно), отже:

напруженість в даній точці електростатичного поля чисельно дорівнює силі, що діє на одиничний точковий заряд, вміщений в дану точку поля.

Заряд, за допомогою якого визначають напруженість електричного поля, називають пробним зарядом. Якщо із закону Кулона визначити силу, що діє на пробний заряд, то отримаємо вираз (32.3) напруженості поля точкового заряду q на відстані r .

$$E = \frac{q}{4\pi\epsilon_0\epsilon r^2}.$$

(32.3)

Для графічного зображення електричного поля використовують метод силових ліній.

Силова лінія електричного поля – це така лінія, дотична до якої в кожній точці співпадає з напрямом вектора напруженості поля в цій же точці (рис.32.1).

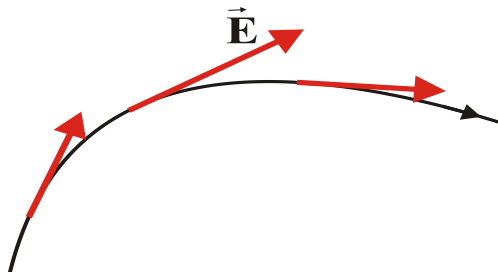


Рис.32.1

Силовая линия электричного поля

Силові лінії
електростатичного поля
Завідувач кафедри фізики
доктор техн.наук
професор Б.О.Чернов
виходять - „беруть початок”
з додатних зарядів, а
входять у від’ємні заряди.

Якщо електричне поле
однорідне, тобто
напруженість поля в усіх його точках однакова, то силові лінії
такого поля – паралельні прямі. Густота силових ліній
електричного поля визначається потоком вектора напруженості.
Так, якщо в однорідному електричному полі напруженістю E
знаходиться контур площею S_n , який орієнтований
перпендикулярно до

силових ліній поля, то потік напруженості Φ_E через цей контур
дорівнює (32.4).

$$\Phi_E = E S_n.$$

(32.4)

Якщо $S=1 \text{ м}^2$, то $\Phi_e=E$ (чисельно). Отже:

*через одиничну поверхню, орієнтовану перпендикулярно до
силових ліній електричного поля проводять таку кількість
силових ліній, яка чисельно дорівнює напруженості поля.*

Коли контур орієнтований не перпендикулярно до силових ліній
поля (рис.32.2), то потік вектора напруженості дорівнює (32.5)

$$\Phi_E = E S \cos \alpha,$$

(32.5)

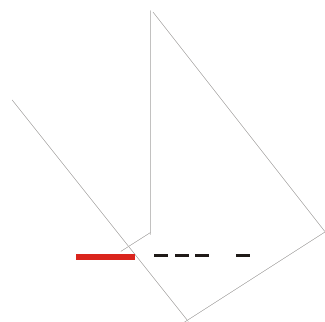


Рисунок 32.2

Потік вектора напруженості однорідного електричного поля

де α - кут між вектором
напруженості поля та
перпендикуляром до
площини поверхні контура n .

Напруженість
електричного поля векторна
величина, а потік цього

вектора через задану поверхню скалярна величина. Тому потік вектора напруженості електричного поля Φ_E є скалярний добуток вектора напруженості E та вектора S , який в свою чергу визначається добутком площі S контура на одиничний вектор i , перпендикулярний до даного контура

$$\Phi_E = E \cdot S \quad (32.6)$$



Рисунок 32.3

Якщо ж поле неоднорідне (рис. 32.3), то спочатку визначають елементарний потік $d\Phi_E$ вектора E через такий малий елемент ds , щоб в межах цього елемента поле вважати однорідним, так що $d\Phi_E = E \cdot dS$ і тоді повний потік через поверхню S дорівнює

інтегральній сумі елементарних потоків

$$\Phi_E = \int_S E \cdot dS \quad (32.7)$$



Рисунок 32.4

Якщо в довільній замкнутій поверхні знаходиться заряд q (рис.32.4) або система зарядів, то повний потік вектора напруженості електричного поля через таку поверхню визначає теорема Гауса. Цей повний потік є числом силових ліній, які виходять з додатного або входять у від'ємний заряд. Таким чином

30 Електричний заряд всередині замкнутої поверхні

теорема Гусса встановлює основну властивість електростатичного поля:

джерелом електростатичного поля є електричні заряди і потік вектора напруженості електричного поля через довільну замкнуту поверхню визначається алгебраїчною сумою зарядів, які знаходяться в об'ємі, обмеженому цією поверхнею.

Математично для вакууму теорема Гауса має наступний вигляд

$$\oint_S d\Phi_e = \frac{1}{\epsilon_0} \sum_{i=1}^n q_i \quad (32.8)$$

Потенціал

Потенціал електростатичного поля - енергетична характеристика поля, яка визначається відношенням потенціальної енергії W_n точкового заряду q , вміщеного в дану точку поля, до величини цього заряду (32.7).

$$\varphi = \frac{W_n}{q} \quad (32.9)$$

Потенціал електростатичного поля можна визначити і через роботу сил електричного поля при переміщенні заряду q з даної точки поля в точку поза полем (нескінченно віддалену). В даному випадку потенціал визначається відношенням (32.10).

$$\varphi = \frac{A}{q}, \quad (32.10)$$

з якого отримуємо фізичний зміст потенціалу електростатичного поля:

потенціал даної точки електростатичного поля чисельно рівний роботі сил цього поля при переміщенні одиничного додатного точкового заряду з даної точки поля в точку поза полем (нескінченно віддалену).

Потенціал електричного поля вимірюється у В (вольтах).
1В=1 Дж/Кл.

Для точкового заряду q потенціал його поля на відстані r визначається за формулою (32.11)

$$\varphi = \frac{q}{4\pi\epsilon_0\epsilon r}$$

(32.11)

Робота сил електростатичного поля при переміщенні в ньому електричного заряду не залежить від траєкторії переміщення, а тільки від значень потенціалів початкової і кінцевої точок (32.12).

$$A = q(\varphi_1 - \varphi_2) \quad (32.12)$$

)

Між силовою характеристикою електростатичного поля – напруженістю та енергетичною – потенціалом існує зв'язок, який математично виражається тим, що напруженість електростатичного поля є градієнтом потенціалу з протилежним знаком .

$$E = - \frac{d\varphi}{dx}$$

(32.13)



Рисунок 32.5

Зв'язок між напруженістю і потенціалом електричного поля

Слово “градієнт” від грецького означає – крокувати, іти. Таким чином, якщо ”іти” вздовж силовій лінії електричного поля і визначати

різницю потенціалів $d\varphi$ на кінцях відрізка dx (рис.32.5), то напруженість електричного поля буде рівна (32.11) і напрямлена в сторону зменшення потенціалу (про що вказує знак ”-“)

Виходячи з зв'язку між напруженістю і різницею потенціалів, в системі СІ встановлюється одиниця напруженості електричного поля – 1 В/м, тобто:

1 В/м – це напруженість такого однорідного поля, в якому на віддалі 1м вздовж силовій лінії поля потенціал змінюється на 1 В.

Ввівши поняття потенціалу, можна ввести і поняття ***еквіпотенціальних поверхонь- поверхонь рівного потенціалу.***

Робота сил електричного поля при переміщенні електричного заряду вздовж еквіпотенціальної поверхні дорівнює нулю. Виходячи з цієї умови, встановлюється той факт, **що силові лінії електростатичного поля перпендикулярні до еквіпотенціальних поверхонь. Перетин еквіпотенціальних ліній з площиною дає картину еквіпотенціальних ліній ліній рівного потенціалу**



Рисунок 32.6
Картина силових та
еквіпотенціальних ліній поля
точкового заряду

На рис.32.6 наведена картина силових і еквіпотенціальних ліній електричного поля точкового додатнього заряду. Силові лінії – радіальні прямі, які виходять із заряду, а еквіпотенціальні лінії – концентричні кола. Потенціал поля точкового заряду зменшується з віддаллю r за законом $1/r$ (формула 32.9), тому при сталій різниці

потенціалів $\Delta\varphi$, відстань ΔX між сусідніми еквіпотенціальними лініями зростає, а їх густота зменшується. Одночасно із збільшенням відстані від заряду зменшується напруженість поля (формула 32.3), зменшується густота силових ліній. Таким чином, будь-яке електричне поле можна графічно зобразити як за допомогою силових, так і еквіпотенціальних ліній і за їх густотою визначити напруженість поля. Маючи картину силових ліній, можна побудувати картину еквіпотенціальних ліній і навпаки. Наприклад, на рис. 32.7 наведені еквіпотенціальні лінії електричного поля додатнього заряду (“фрагмент” загальної картини). Потенціали ліній $\varphi_1 > \varphi_2 > \varphi_3 > \varphi_4$. З рисунку видно, що перша силова лінія буде прямою, яка перпендикулярна до всіх еквіпотенціальних ліній. Далі силова лінія будується як ломана лінія,

де кожен елемент цієї лінії є перпендикулярним до еквіпотенціальної лінії.

Тобто, отримаємо ламану силову лінію, яку потім приводять до плавної кривої. Очевидно, чим більше еквіпотенціальних ліній, тим менша відстань між ними, тим ближче ламана силова лінія наближається до неперервної кривої.

2. Послідовність виконання роботи

У даній роботі необхідно отримати якісну картину досліджуваних полів – картину силових ліній. Так, як найпростіше

електричне вимірювання є вимірювання різниці потенціалів (напруги), то, відшукуючи в досліджуваному полі точки з однаковим потенціалом, ми тим самим будемо відшукувати еквіпотенціальні лінії. Побудувавши картину еквіпотенціальних ліній, можна побудувати картину силових ліній, як перпендикулярних до еквіпотенціальних. Дана ідея (принцип) дослідження електричного поля здійснюється таким чином. Досліджуване поле створюється електродами 2

Рисунок 32.7
Побудова силових ліній
електричного поля за його
еквіпотенціальними лініями

(рис.32.8), підведеними до джерела постійної напруги 3. Електроди встановлюють на дно посудини 1 з водою .

У воді виникає поле струмів, яке відповідає такому ж електростатичному полю. Щупи 5 ті, які з'єднані з нуль-індикатором 4 служать для знаходження точок з однаковим

потенціалом. Нуль-індикатор являє собою вольтметр, який фіксує наявність або відсутність напруги.

За допомогою такої електричної схеми методика досліджень електричного поля має таку послідовність дій:

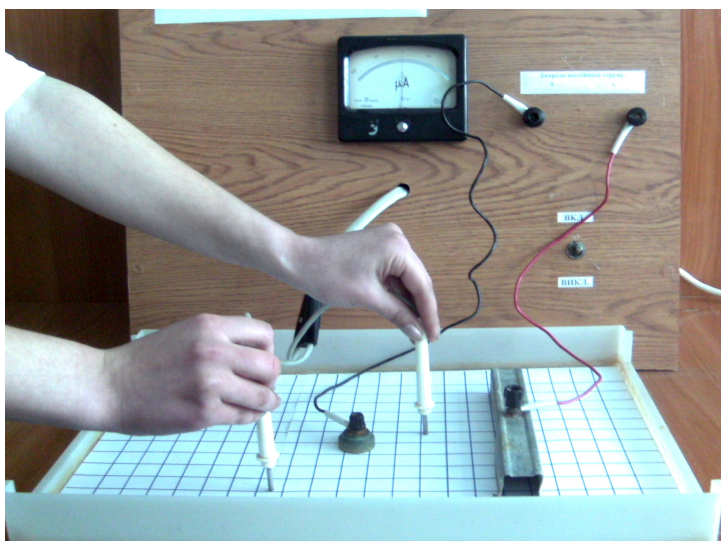


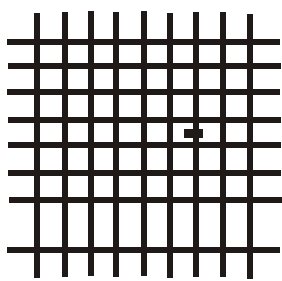
Рисунок 32.8

Загальний вигляд та розташування приладів
для дослідження електростатичного поля

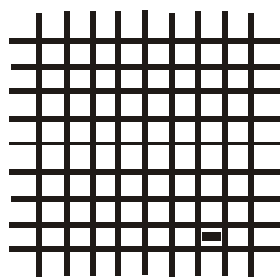
Перед виконанням роботи підготувати листки паперу з координатною сіткою, яка відповідає координатній сітці на дні посудини (масштаб довільний).

1. Налити в посудину тонкий шар води (2-3 мм), який повинен рівномірно покривати дно посудини.

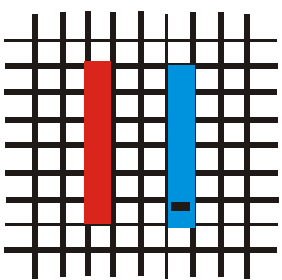
2. Розмістити в посудині необхідні електроди і приєднати їх до клем джерела постійної напруги 6 В.



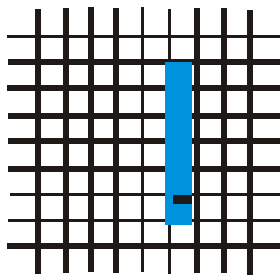
Система двох
різнойменних
зарядів



Поле точкового
заряду



Поле двох паралельних
пластин



Поле точкового заряду
і пластини

Рисунок 32.9

3. Перенести стан електродів на масштабний лист. На рис. 32.10 вказано розміщення електродів, електричні поля яких досліджують в даній роботі

4. Ввімкнути джерело струму і привести один із щупів в контакт з додатнім електродом. Другим електродом на дні посудини знаходять таку точку, де нуль-індикатор, як вольтметр, покаже задану різницю потенціалів (наприклад, 1В). Перенести координати цієї точки в масштабний лист. Це буде перша опорна точка для побудови першої екіпотенціальної лінії. Відносно цієї точки знаходять всі інші точки з однаковим потенціалом. Один щуп лишається нерухомим, в першій опорній точці, а іншим, пересуваючи по дну посудини, відмічають координати тих точок, де нуль-індикатор покаже нуль напруги. З'єднавши на масштабному листі всі експериментальні точки, отримаємо першу екіпотенціальну лінію.

5. Знову приводять один із щупів у контакт з додатнім електродом і знаходять положення другої опорної точки, де вже різниця потенціалів буде в 2 рази більша заданого "кроку" (2 В).

Відносно другої опорної точки визначають координати тих точок, де нуль-індикатор буде показувати нуль напруги. З'єднавши отримані експериментальні точки, отримаємо другу екіпотенціальну лінію.

6. Аналогічно побудувати наступні екіпотенціальні лінії із заданим "кроком" різниці потенціалів. Загальне число екіпотенціальних ліній повинно бути не менше 5-ти.

7. За даними екіпотенціальними лініями побудувати картину силових ліній, як перпендикулярних до екіпотенціальних. Число силових ліній, які виходять з додатнього електрода повинно бути не менше 5-ти.

КОНТРОЛЬНІ ПИТАННЯ.

1. Сформулювати та пояснити закон Кулона.
2. Що собою являє електричне поле? Дайте означення напруженості електричного поля. Який фізичний зміст напруженості електричного поля?
3. Дайте означення силових ліній електричного поля.
4. Навіщо вводиться поняття потоку вектора напруженості електричного поля? Як підрахувати потік вектора напруженості однорідного і неоднорідного електричних полів через задану поверхню?
5. Як формулюється та записується електростатична теорема Гауса? Яку основну властивість електростатичного поля встановлює ця теорема?
6. Дайте означення потенціалу електростатичного поля та поясніть його фізичний зміст. В яких одиницях вимірюється потенціал електричного поля?
7. Який зв'язок між напруженістю і потенціалом електростатичного поля?
8. Дайте означення екіпотенціальних ліній (поверхонь) електростатичного поля. Чому екіпотенціальні лінії перпендикулярні до силових ліній цього поля?
9. Який принцип експериментального дослідження електростатичного поля в даній роботі?
10. Яка послідовність виконання роботи і як необхідно оформити результати експерименту?

Лабораторна робота № 33

ВИВЧЕННЯ ВЛАСТИВОСТЕЙ СЕГНЕТОЕЛЕКТРИКІВ

Мета роботи: вивчити залежність діелектричної проникності сегнетоелектриків від температури та освоїти методику визначення точки Кюрі.

Прилади: пластинка сегнетоелектрика, нагрівач, термометр опору, джерело змінного струму, нагрівач.

1. ДІЕЛЕКТРИКИ ТА ЇХ ВЛАСТИВОСТІ.

Речовини, які не проводять електричний струм, отримали назву діелектриків. У діелектриках, на відміну від провідників, немає вільних зарядів, які могли б під дією електричного поля прийти в рух і тим самим, створити струм провідності*. Строго кажучи, і в діелектриках теж існують вільні заряди, але за нормальних умов їх концентрація надзвичайно мала.

Розрізняють полярні і неполярні діелектрики. Різниця проявляється в наявності або відсутності власного електричного дипольного моменту молекул.



Рисунок 33.1
Електричний диполь та його
дипольний момент

Електричний диполь - система з двох однакових за величиною, але протилежних за знаком зарядів: $+q$ і $-q$, розташованих на відстані l (рис. 33.1).

Векторна величина, яка дорівнює добутку заряду диполя q на вектор l , називається дипольним моментом.

$$p = q \cdot l$$

(33.1)

де вектор l (плече диполя) має напрям від від'ємного до додатного заряду і дорівнює відстані між ними.

Полярні молекули, що володіють власним дипольним моментом, мають несиметричну будову. Для таких молекул центри «ваги»

додатних і від'ємних зарядів не співпадають (наприклад, H_2O , NH_3 , SO_2 , CO). В неполярних молекулах центри «ваги» додатних і від'ємних зарядів співпадають. Наприклад, в атомі водню колову орбіту електрона можна вважати від'ємним зарядом, центр ваги якого (як кола) співпадає з ядром (додатнім ядром). Тому водень є неполярною молекулою.



Рисунок 33.2
Орієнтаційна поляризація

Якщо полярний діелектрик внести в електричне поле, дипольні моменти його молекул будуть орієнтуватись вздовж поля. Таке явище отримало назву - *орієнтаційної поляризації*.

Електронна або деформаційна поляризація - явище виникнення в неполярних молекулах під дією зовнішнього електричного поля наведеного дипольного моменту. При цьому під дією електричного поля відбувається зміщення

центрів «ваги» додатних і від'ємних зарядів в молекулах (за рахунок деформації електронних оболонок атомів).

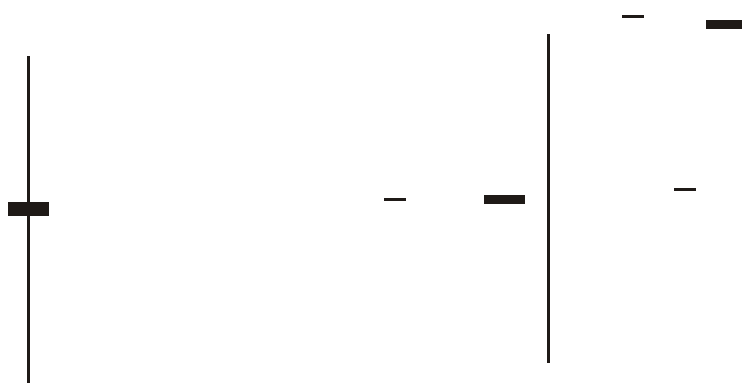


Рисунок 33.3
Деформаційна (електронна) поляризація

У природних умовах (без дії зовнішнього електричного поля) векторна сума всіх дипольних моментів діелектрика дорівнює нулю. Дипольні моменти полярних молекул орієнтовані хаотично, а для неполярних молекул вони взагалі відсутні.

При внесенні діелектрика в зовнішнє електричне поле відбувається його **поляризація** - в об'ємі діелектрика виникає сумарний дипольний момент, який не дорівнює нулю. Кількісною характеристикою поляризації діелектрика є вектор поляризації $\vec{P}$ (або **поляризованість**) (33.2). Поляризованістю (вектором поляризації) називається відношення сумарного електричного дипольного моменту всіх молекул діелектрика до його об'єму V .

$$\vec{P} = \frac{1}{V} \sum_{i=1}^n \vec{p}_i$$

(33.2)

У формулі (33.2) $\vec{p}_i$ - дипольний момент i -тої молекули; n - загальна кількість молекул в об'ємі V . Для більшості діелектриків (крім сегнетоелектриків) їх поляризованість пропорційна напруженості E електричного поля. Ця залежність у системі СІ визначається співвідношенням (33.3),

$$\vec{P} = \chi \cdot \epsilon_0 \cdot \vec{E}, \quad (33.3)$$

де χ - діелектрична сприйнятливість речовини; ϵ_0 - електрична стала, яка дорівнює $\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12}$ Ф /м. Значення діелектричної сприйнятливості залежить від природи діелектрика та його температури. Тепловий рух перешкоджає орієнтації диполів і тому з підвищенням температури, значення χ зменшується. Явище

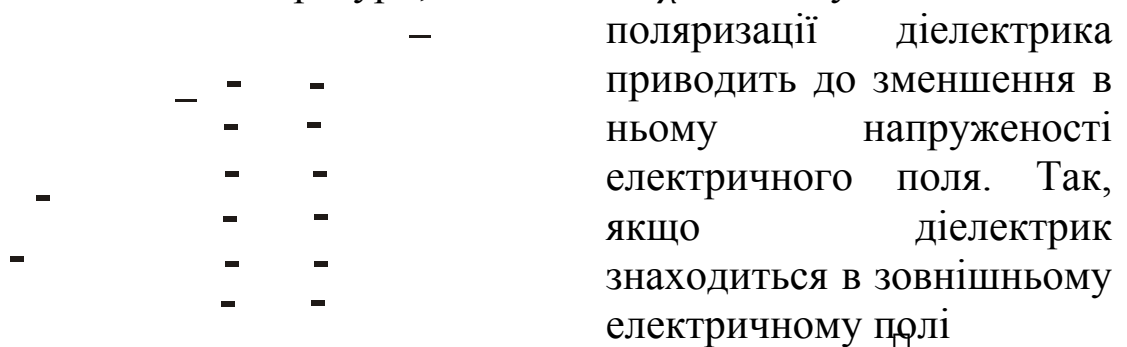


Рисунок 33.4

Поляризація полярного діелектрика
а-зовнішнє поле відсутнє,
б-діелектрик в електричному полі

поляризації діелектрика приводить до зменшення в ньому напруженості електричного поля. Так, якщо діелектрик знаходиться в зовнішньому електричному полі

напруженістю E_0 (рис.33.2), то на краях діелектрика виникають **зв'язані заряди** кінців диполів. Всередині діелектрика поле

протилежних кінців диполів компенсується. Залишається некомпенсованим поле зв'язаних зарядів.

Це поле напруженістю E' має напрям, протилежний E_0 . Результуючою напруженістю в діелектрику буде векторна сума

$$E = E_0 + E', \quad (33.4)$$

а за модулем

$$E = E_0 - E'. \quad (33.5)$$

Фізична величина, яка показує, в скільки разів напруженість електричного поля E в діелектрику менша від напруженості E_0 поля у вакуумі (при тому ж розташуванні зарядів, що створюють поле) називається **діелектричною проникністю** середовища і позначається ϵ

$$\epsilon = \frac{E_0}{E} \quad (33.6)$$

Зв'язок між діелектричною проникністю та діелектричною сприйнятливістю в системі СІ встановлюється співвідношенням (33.7).

$$\epsilon = 1 + \chi. \quad (33.7).$$

Діелектрична проникність неполярних діелектриків мала і знаходиться в межах $2 > \epsilon > 1$. Полярні діелектрики володіють більшою діелектричною проникністю. Наприклад, для кварцу $\epsilon = 4$, для слюди $\epsilon = 7$, а для дистильованої води $\epsilon = 81$.

2. СЕГНЕТОЕЛЕКТРИКИ

Існує особлива група діелектриків, для яких діелектрична проникність приймає великі значення (порядку 10^3 - 10^4). Крім того, за своїми фізичними властивостями ця група суттєво відрізняється від звичайних діелектриків: діелектрична проникливість не є постійною величиною, а залежить від напруженості поля. Така

група діелектриків отримала назву *сегнетоелектриків*, від назви сегнетової солі, в якій вперше було виявлено такі особливі діелектричні властивості (формула сегнетової солі $\text{NaKC}_4\text{H}_4 \times 4\text{H}_2\text{O}$). Властивостями сегнетоелектриків володіє ряд інших речовин, наприклад, титанат барію (BaTiO_3).

Причиною особливих діелектричних властивостей сегнетоелектриків є наявність в них мікроскопічних областей спонтанної (самовільної) поляризації. Ці мікроскопічні області отримали назву доменів (від французького слова *domaine* - володіння).

В кожному з доменів дипольні моменти молекул самовільно орієнтовані в одному напрямі. Сегнетоелектрики можна уявити як



Рисунок 33.5

Доменна структура сегнетоелектрика

своєрідну мозаїку, складену з доменів. На схематичному рис. 33.5 стрілками вказано напрям орієнтації дипольних моментів в межах кожного домену.

У відсутності зовнішнього поля дипольні моменти доменів орієнтовані довільно (якщо перед тим сегнетоелектрики не знаходились в електричному полі).

Поляризація сегнетоелектриків відбувається за рахунок росту і зміщення границь доменів. Крім цього, відбувається поворот дипольних моментів окремих доменів в напрямі зовнішнього електричного поля. **В сильному електричному полі можливе явище насичення, коли дипольні моменти всіх доменів орієнтовані вздовж зовнішнього поля.**

Для сегнетоелектриків характерне явище *гістерезису* (запізнювання), яке полягає в тому, що крива поляризованості сегнетоелектрика при збільшенні напруженості зовнішнього поля не співпадає (відстає) з кривою поляризованості при зменшенні зовнішнього поля. В результаті сегнетоелектрик може зберігати залишкову поляризованість.

У сегнетоелектриках спостерігаються особливі ефекти, які отримали назву *п'єзоефектів*. **Прямий п'єзоефект** полягає в тому, що механічна деформація сегнетоелектрика приводить до появи на

його поверхнях електричних зарядів. **Зворотній п'єзоефект** проявляється в деформації (стисненні або розтягу) сегнетоелектрика в зовнішньому електричному полі. Прямий і зворотній п'єзоефекти широко застосовуються на практиці для перетворення механічних коливань в електричні і навпаки.

Для кожного сегнетоелектрика існує температура, при якій відбувається руйнування його доменів - сегнетоелектрик перетворюється в звичайний діелектрик. Температура, яка відповідає такому перетворенню, називається **точкою Кюрі** (перетворення сегнетоелектрика в звичайний діелектрик є прикладом фазового переходу другого роду).

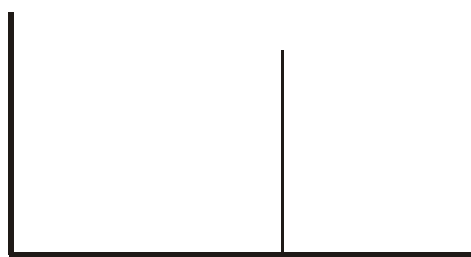


Рисунок 33.6
Залежність діелектричної
проникності сегнетоелектрика
від температури

Залежність діелектричної проникності сегнетоелектриків від температури наведена на рис. 33.6. Спочатку з збільшенням температури збільшується діелектрична проникність сегнетоелектрика (ділянка 1-2). Таке збільшення діелектричної проникності пояснюється збільшенням рухливості структури сегнетоелектрика, що зумовлює

його «легшу» поляризацію. Коли температура сегнетоелектрика стає рівною температурі Кюрі, діелектрична проникність різко зменшується (ділянка 2-3), як результат перетворення сегнетоелектрика в звичайний діелектрик, що має значно меншу діелектричну проникність.

3. Методика експериментального визначення температурної залежності діелектричної проникності сегнетоелектриків та визначення їх точки Кюрі

У даній роботі метод визначення діелектричної проникності речовини (сегнетоелектрика) базується на методі визначення ємності плоского конденсатора, між обкладинками якого знаходиться досліджуваний діелектрик.

Так, ємність C плоского конденсатора визначається співвідношенням

$$C = \frac{\varepsilon_0 \cdot \varepsilon \cdot S}{d}, \quad (33.8)$$

де S - площа пластини конденсатора, d - віддаль між пластинами, ε_0 - електрична стала. Тому, вимірявши ємність C та d , отримаємо шукану величину діелектричної проникності.

$$\varepsilon = \frac{C \cdot d}{\varepsilon_0 \cdot S}. \quad (33.9)$$

В даній роботі ємність конденсатора визначається через його реактивний опір R_C в колі змінного струму частотою

$$R_C = \frac{1}{2\pi \cdot \nu \cdot C}. \quad (33.10)$$

Якщо ввімкнути конденсатор в коло змінного струму частотою ν і виміряти напругу U та силу струму I , то із закону Ома знайдемо реактивний опір конденсатора R_C

$$R_C = \frac{U}{I}.$$

(33.11)

Згідно (33.9), (33.10) та (33.11) отримаємо робочу формулу для розрахунку шуканого значення діелектричної проникності ε

$$\varepsilon = \frac{I \cdot d}{2\pi \nu \varepsilon_0 \cdot S \cdot U}.$$

(33.12)

На рис. 33.7 наведена принципова схема лабораторної установки для визначення залежності діелектричної проникності речовини (сегнетоелектрика) від температури.

Досліджуваний сегнетоелектрик (титанат барію) має вигляд круглої пластини, основи якої покриті тонким шаром металу. Такий конденсатор через ЛАТР (лабораторний автотрансформатор) вмикається в коло змінного струму напругою 220 В (частота 50 Гц). За допомогою ЛАТРа можна змінювати напругу та струм в колі, які вимірюються відповідними приладами - вольтметром та

мікроамперметром. Нагрів пластини титанату барію здійснюється лампою розжарення Л, яка розташована поблизу сегнетоелектрика. Для вимірювання температури пластини титанату барію застосовується термометр опору. Прямий відлік температури проводиться по шкалі спеціального приладу – логометра, до якого приєднаний термоопір R_t , що має тепловий контакт з пластиною сегнетоелектрика. (Логометр - від грецького «міряти співвідношення». Тут логометр - це прилад, який порівнює невідомий опір R_t (термометр опору) з відомим опором, що вмонтований в прилад. Шкала такого приладу градуйована в $^{\circ}\text{C}$).

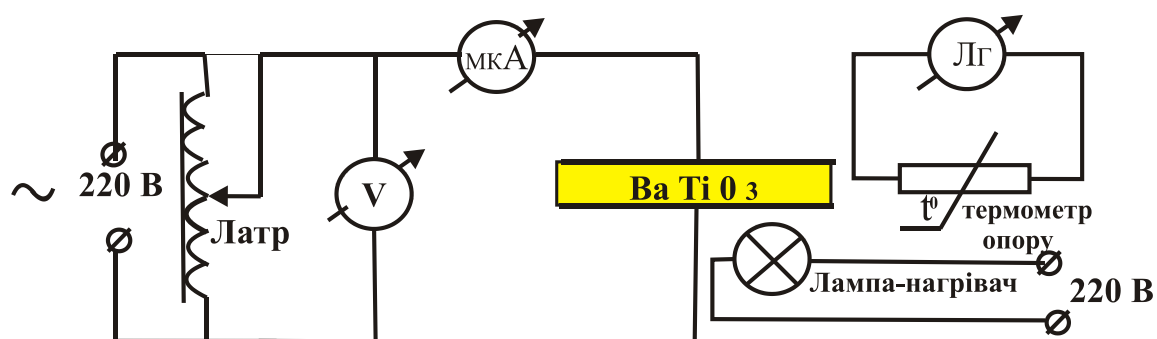


Рисунок 33.7

4. Послідовність виконання роботи

На лабораторному стенді розташовані всі необхідні елементи і прилади для виконання роботи. Клеми приєднання кожного елемента та приладу мають відповідні позначки і виведені на вертикальний щит стенда.

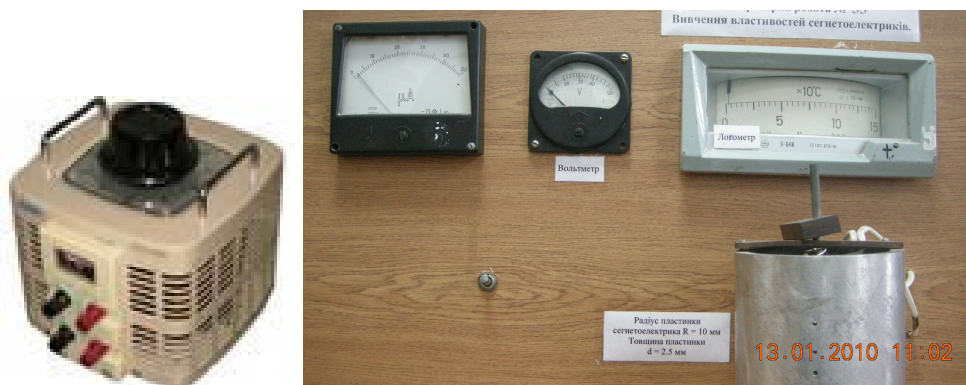


Рисунок 33.8

Лабораторний стенд роботи «Вивчення властивостей СЕГНЕТОЕЛЕКТРИКІВ»

2- ЛАТР , 2- мікроамперметр, 3- вольтметр, 4-логометр,
5-камера з сегнетоелектриком та нагрівачем

1. При вимкнених джерелах струму згідно рис. 33.7 зібрати електричну схему. ЛАТР повинен бути встановлений на мінімальне значення вихідної напруги.

На лабораторному стенді вказані значення площі пластин конденсатора S та відстань між ними d . Занести ці дані в таблицю 33.1.

2. Ввімкнути ЛАТР і, змінюючи напругу, встановити таке її значення, при якому стрілка мікроамперметра відхилилась приблизно на 0,1 його шкали. Таке відхилення забезпечить вимір подальшого збільшення струму за рахунок збільшення діелектричної проникності сегнетоелектрика при нагріванні, а потім - різке зменшення струму в точці Кюрі. Значення цієї напруги внести в таблицю 33.1.

Таблиця 33.1.

Площа пластин S , мм² Віддаль між пластинами d , мм Напруга, В

На лабораторному стенді вказані значення площі пластин конденсатора S та відстань між ними d .

3. Увімкнути нагрівач (лампу розжарення Л) і при збільшенні температури через кожні 5°C знімати покази мікроамперметра. Напруга повинна залишатись сталою. Особливу увагу звернути на момент зменшення струму, який відповідає точці Кюрі. Дані занести в таблицю 33.2.

Таблиця 33.2.

Температура, °C												
Сила струму, мкА												
Діелектрична проникність												
Похибка												

4. Побудувати графік залежності сили струму від температури і визначити точку Кюрі. За формулою (33.12) підрахувати значення діелектричної проникності сегнетоелектрика. Результати занести в табл. 33.2.

5. За формулою похибок (33.13) вирахувати похибки діелектричної проникності сегнетоелектрика.

$$\frac{\Delta \varepsilon}{\varepsilon} = \frac{\Delta I}{I} + \frac{\Delta U}{U} + \frac{\Delta S}{S} + \frac{\Delta d}{d}$$

(33.13)

Абсолютні похибки сили струму ΔI та напруги ΔU визначити за класом точності приладів. Похибки ΔS та Δd вказані на лабораторному стенді.

КОНТРОЛЬНІ ПИТАННЯ.

1. Дайте означення електричного диполя та електричного дипольного моменту.

2. Які молекули називаються полярними і неполярними? В чому полягає електронна та орієнтаційна поляризації?

3. Дати означення поляризованості діелектрика та діелектричної сприйнятливості речовини.

4. Чому в діелектрику напруженість електричного поля стає меншою порівняно з напруженістю поля у вакуумі? Поясніть виникнення зв'язаних зарядів.

5. Який фізичний зміст діелектричної проникливості речовини і як діелектрична проникливість зв'язана з діелектричною сприйнятливістю речовини?

6. Які основні властивості сегнетоелектриків і що таке точка Кюрі для сегнетоелектриків?

7. Яке практичне застосування сегнетоелектриків?

8. Яка методика визначення в даній роботі точки Кюрі для сегнетоелектриків?

ДОДАТОК

Застосування сегнетоелектриків.

У даний час сегнетоелектрики набули надзвичайно широкого застосування. На практиці використовується прямий і зворотній п'єзоефекти, про що вже йшла мова в розділі 2. Навіть в побуті ми можемо зустріти застосування прямого п'єзоефекту. Так, всім відома газова запальничка використовує цей ефект. Тут сегнетоелектрик швидко деформується і на його протилежних поверхнях виникає різниця потенціалі – між електродами проскакує іскра.

У техніці прямий п'єзоефект набув застосування для перетворення механічних коливань у відповідні коливання напруги. В ультразвуковій дефектоскопії відбитий сигнал вловлюється сегнетоелектриком і перетворюється в електричний сигнал. Відома всім ультразвукова діагностика (УЗД) теж використовує цей ефект – відбиті від внутрішніх органів ультразвукові сигнали вловлює сегнетоелектрик.

Особливе застосування знаходить зворотній п'єзоефект, коли під дією електричного поля сегнетоелектрик змінює свої розміри. П'єзоелектричні випромінювачі застосовуються для генерування ультразвуку з частотами до 50 МГц. Основним елементом п'єзоелектричного випромінювача є пластинка з п'єзоелектрика, що здійснює унаслідок зворотного п'єзоелектричного ефекту вимушені механічні коливання в змінному електричному полі.

Окремий приклад застосування зворотного п'єзоефекту є друк на струменному принтері, принцип дії якого базується на цьому зворотньому п'єзоефекті. Тому вважаємо доцільним більш детально зупинитись на цьому питанні, так як з такою офісною технікою ми маємо повсякденну справу і просто цікаво знати як вона працює.



Рисунок 33.9
Струменевий принтер

На рис. 33.7 показаний загальний вигляд сучасного струменевого принтера та його основна деталь - струминна головка, яка і здійснює дру

Чорнило **1**, яке знаходиться в камері, під дією тиску, який створюється п'єзоелементом **2** через вузький отвір у вигляді тонкої струмини попадає на папір **3** принтера. Керування роботою струминної головки здійснює комп'ютер, подаючи відповідні електричні сигнали на п'єзoeлектричний елемент, тим самим керуючи струмом чорнила, тобто керуючи друком принтера.

Лабораторна робота № 34

ВИЗНАЧЕННЯ ЄМНОСТІ КОНДЕНСАТОРІВ ЗА ДОПОМОГОЮ МІСТКА СОТТІ

Мета роботи: засвоїти методику експериментального визначення ємності конденсаторів містковою електричною схемою.

Прилади: лабораторний стенд роботи №34 з містковою електричною схемою та набором конденсаторів невідомої ємності.

1. ТЕОРЕТИЧНІ ВІДОМОСТІ.

При наданні провіднику заряду змінюється його потенціал. Проте, для даного відокремленого провідника відношення його заряду q до потенціалу φ є величина стала. Отже, таке відношення може характеризувати електростатичні властивості провідника і отримало назву **електроємність** (або просто - **ємність**).

$$C = \frac{q}{\varphi} . \quad (34.1)$$

Одиниця ємності в системі СІ - Ф (фарад), $1 \text{ Ф} = 1 \text{ Кл/В}$.

З (34.1) випливає, **що ємністю 1Ф володіє такий відокремлений провідник, потенціал якого 1В при заряді 1 Кл.**

Провідник буде відокремлений, якщо на нього не діють поля інших провідників, або він знаходиться на нескінченній віддалі від інших провідників. Ємність відокремленого провідника залежить від його розмірів і форми, а також від діелектричної проникності середовища, в якому він знаходиться. Наприклад, ємність сферичного провідника розраховується за формулою

$$C = 4\pi\epsilon_0\epsilon R , \quad (34.2)$$

де ϵ_0 - електрична стала, рівна $8,85 \cdot 10^{-12} \text{ Ф/м}$, ϵ - діелектрична проникність середовища, R - радіус сферичного провідника. З (34.2) маємо, що ємністю 1Ф володіє сферичний провідник радіусом $9 \cdot 10^9 \text{ м}$. Тобто, 1 Ф - дуже велика ємність.

Якщо провідник не відокремлений, то на його ємність впливає розміщення інших провідників. Так, якщо до зарядженого провідника А наблизити провідник В, то на їхніх поверхнях

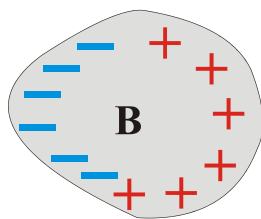
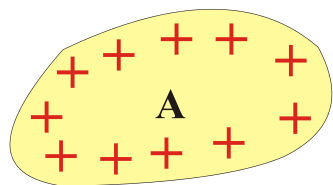


Рисунок 34.1

з'являються ін
заряди (рис.34.1).
Ближче до А, на одній
з сторін провідника В
виникає протилежний
заряд, який в
кінцевому результаті

видозмінює поле провідника А, зменшуючи його потенціал. При зменшенні потенціалу (знаменника в формулі (34.1)) ємність провідника буде зростати. Отже, система провідників має більшу ємність, ніж ємність відокремлених провідників. Ця властивість широко використовується на практиці в конденсаторах.

Електричний конденсатор - система близько розташованих провідників. Провідники, які утворюють конденсатор, називаються обкладинками. Близьке розміщення провідників (обкладинок) таке, при якому їх електричне поле знаходиться між ними, не виходячи за межі простору конденсатора.

Ємність конденсатора визначається відношенням заряду q на одній з обкладинок конденсатора до різниці потенціалів U між ними (34.3), або як відношення зміни заряду dq до зміни різниці потенціалів dU між обкладинками конденсатора (34.4).

$$C = \frac{q}{U}, \quad (34.3)$$

$$C = \frac{dq}{dU}. \quad (34.4)$$

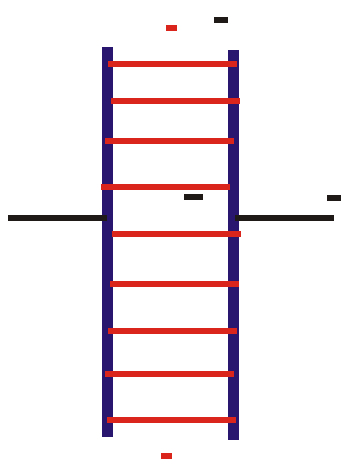


Рисунок 34.2
Плоский конденсатор

Ємність конденсатора залежить від форми, розмірів, взаємного розміщення обкладинок конденсатора, а також від діелектричної проникності середовища, яке заповнює простір між обкладинками конденсатора.

Плоский конденсатор - система з двох паралельних площин (обкладинок). Між пластинами може бути вакуум або діелектрик.

Якщо відстань між обкладинками значно менша від їх лінійних розмірів (довжини і ширини), то виконується умова: поза пластинами електричне поле двох різнойменно заряджених пластин практично відсутнє, крайовими ефектами - полем на кінцях пластин (рис. 34.2) можна нехтувати. При цьому поле між обкладинками конденсатора близьке до поля двох різнойменно заряджених нескінчених пластин. Напруженість поля між ними дорівнює (34.5),

де σ - поверхнева густина зарядів (34.6), q - заряд, S - площа пластини.

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon \varepsilon_0}$$

(34.5)

$$\sigma = \frac{q}{S} \quad (34.6)$$

Так як електричне поле між обкладинками конденсатора однорідне, то його напруженість E зв'язана з різницею потенціалів $\phi_1 - \phi_2 = U$ простим співвідношенням (34.7), де d - відстань між пластинами. З (34.3), (34.5), (34.6) та (34.7) отримуємо формулу (34.8) ємності плоского конденсатора.

$$E = \frac{U}{d}$$

(34.7)

$$C = \frac{\varepsilon \varepsilon_0 S}{d}$$

(34.8)

При паралельному з'єднанні конденсаторів їх загальна ємність дорівнює сумі ємностей окремих конденсаторів (34.9), а при послідовному сполученні загальна ємність визначається з співвідношення (34.10), де n - кількість з'єднаних конденсаторів.

$$C = C_1 + C_2 + \dots + C_n \quad (34.9)$$

$$\frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \dots + \frac{1}{C_n}$$

(34.10)

У залежності від типу діелектрика, матеріалу обкладинок конденсатора та його конструктивного виконання розрізняють: паперові конденсатори, де діелектричним матеріалом є папір; повітряні конденсатори - між обкладинками знаходиться повітря; керамічні - де використовують кераміку; слюдяні - де діелектриком є тонка слюдяна пластинка. В електролітичних конденсаторах однією з обкладинок служить електроліт, а другою - металічна пластинка (алюміній), покрита оксидним шаром, який і виконує роль діелектрика. Крім того, існують конденсатори змінної ємності, де

зміна їх ємності досягається взаємним переміщенням обкладинок або введенням між ними шару діелектрика.



Електролітичний



Керамічний



Змінної ємності

Рисунок 34.3
Типи конденсаторів

Конденсатори широко застосовуються в радіотехніці, електротехніці, електроніці. Особливо це стосується керамічних конденсаторів які при малих розмірах забезпечують великий діапазон ємностей (від 1 пФ до 47 мкФ) в широкому інтервалі напруги (від 10 В до 63 кВ).

2. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ВИЗНАЧЕННЯ ЄМНОСТІ КОНДЕНСАТОРІВ

Одним з експериментальних методів визначення ємності конденсаторів є метод порівняння їх невідомої ємності C_x з відомою C_0 . Електрична схема, при допомозі якої здійснюється таке порівняння, отримала назву місткової схеми (або просто - містка). В містковій електричній схемі для визначення ємності конденсатора використовується властивість конденсатора пропускати змінний струм. Так, якщо конденсатор приєднати до джерела змінного струму, то обкладинки конденсатора будуть перезаряджатись і в колі виникне змінний струм, який залежить від напруги та від опору, що чинить даний конденсатор змінному струму. Опір конденсатора в колі змінного струму отримав назву

реактивного ємнісного опору і значення цього опору визначається співвідношенням (34.11), де C - ємність конденсатора, ν - частота струму. Тому, якщо маємо конденсатор невідомої ємності C_X та відомої - C_0 , то, порівнявши їх реактивні опори згідно (34.11), відношення ємностей цих конденсаторів буде (34.12).

$$R_C = \frac{1}{2\pi\nu C}$$

(34.11)

$$\frac{R_{C_X}}{R_{C_0}} = \frac{C_0}{C_X}$$

(34.12)

На рис. 34.2 приведена схема містка Сотті, який дає можливість порівняти реактивні опори конденсаторів, а значить, їх ємності.



Рисунок 34.4
Принципова схема містка Сотті

Конденсатор невідомої ємності C_X та відомої C_0 мають спільну точку E . Ці конденсатори другими кінцями приєднуються, як вказано на схемі, до реохорда AB , який являє собою калібровану дротину (від французького – *cfibre*-діаметр, розмір), в техніці під терміном калібр

розуміють виріб чи деталь точно визначеного діаметру В даному випадку калібрована дротина має однаковий діаметр по всій довжині. Вдovж реохорда переміщається рухомий контакт D . Між цим контактом та точкою E вмикають змінну напругу ($\nu=50$ Гц), конденсатори перезаряджаються і в колі виникає змінний струм.

Пересуваючи рухомий контакт D , на реохорді AB знаходять таке його положення, коли потенціали φ_A та φ_B точок A і B стануть однаковими. Такий стан місткової схеми називають рівновагою містка, який легко виявити нуль-індикатором (Н-І) - гальванометром, що фіксує наявність або відсутність напруги (або струму).

Умову рівноваги містка Сотті можна вивести, користуючись законом Ома для окремих ділянок даної схеми. Так, якщо значення струмів в лівій і правій частинах містка відповідно рівні I_1 та I_2 , то з закону Ома одержимо чотири рівняння

$$I_1 R_{C_X} = \varphi_A - \varphi_E \quad (34.13)$$

$$I_1 R_{AD} = \varphi_D - \varphi_A \quad (34.14)$$

$$I_1 R_{C_0} = \varphi_B - \varphi_E \quad (34.15)$$

$$I_1 R_{DB} = \varphi_D - \varphi_B \quad (34.16)$$

де R_{C_X} , R_{C_0} - реактивні опори конденсаторів; R_{AD} , R_{DB} - опори відповідних частин реохорда; φ_A , φ_B , φ_D , φ_E - потенціали відповідних точок схеми ($\varphi_A = \varphi_B$).

$$R_{x_C} = R_{C_0} \frac{R_{AD}}{R_{DB}} \quad (34.17)$$

З системи рівнянь (34.13) - (34.16) випливає умова (34.17) рівноваги містка Сотті. Враховуючи співвідношення (34.12) і замінивши відношення опорів R_{AD}/R_{DB} частин реохорда відношенням їх довжин l_1/l_2 , отримаємо формулу (34.18) для визначення ємності невідомого конденсатора.

$$C_X = C_0 \frac{l_2}{l_1} \quad (34.18)$$

Відрізок l_1 та l_2 називають плечами реохорда. Таким чином, для визначення невідомої ємності C_X за допомогою містка Сотті необхідно добитись умови його рівноваги - знайти на реохорді АВ таке положення рухомого контакту D, при якому різниця потенціалів між точками А і В рівна нулю, що засвідчить своїми показами нуль-індикатор. Вимірявши при цьому відповідні плечі реохорда l_1 та l_2 реохорда АВ та, знаючи величину відомої ємності C_0 , за формулою (34.18) розраховують досліджувану невідому ємність.

3. ПОСЛІДОВНІСТЬ ВИКОНАННЯ РОБОТИ

На лабораторному стенді розташовані основні елементи і прилади місткової схеми: реохорд, нуль-індикатор, C_0 - конденсатор відомої ємності, три конденсатори невідомої C_{x1} , C_{x2} , C_{x3} . Керуючись монтажною схемою містка, яка наведена на рис.34.5 легко здійснити необхідні електричні з'єднання між всіма елементами

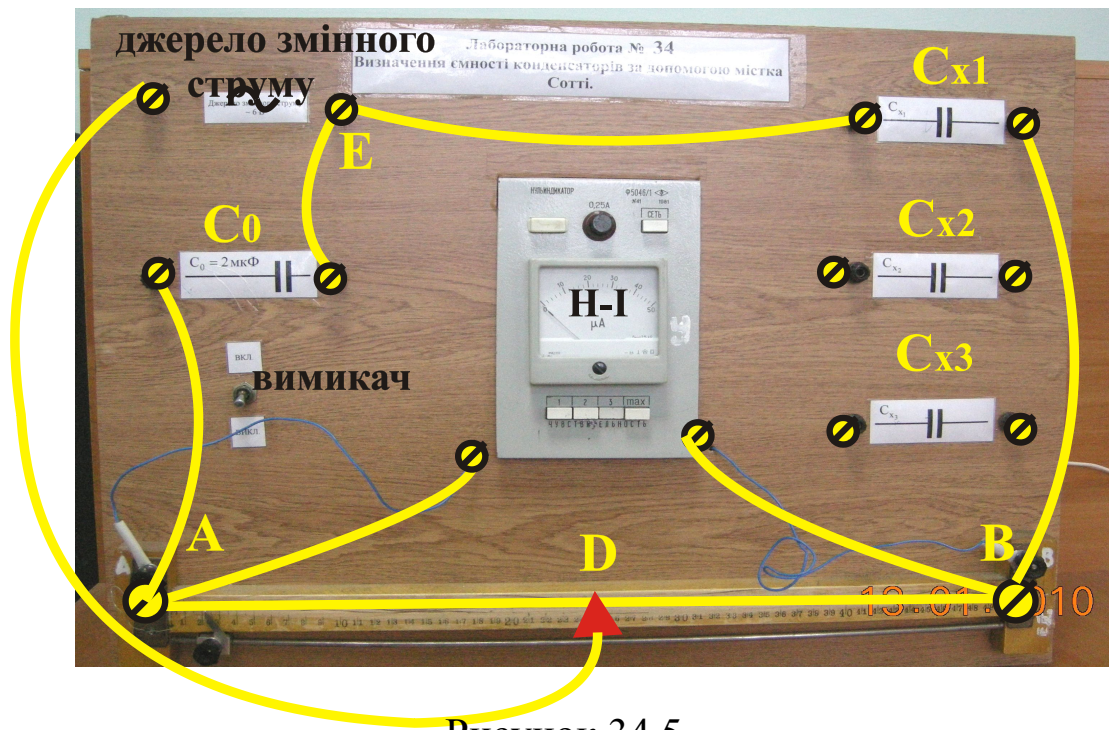


Рисунок 34.5
Монтажна схема містка Сотті

містка Сотті

1. При вимкненому джерелі струму зібрати схему згідно рис. 34.5 Спочатку визначається ємність одного невідомого конденсатора, наприклад, C_{x1} .
2. Ввімкнути джерело струму і, пересуваючи рухомий контакт D вздовж реохорда, домогтися умови рівноваги місткової схеми. Дослід повторити не менше трьох разів (кожен раз «збиваючи» рівновагу містка). Результати вимірювань l_1 та l_2 занести в таблицю

Таблиця 34.1.

Конденсатор	l_1	Δl_1	l_2	Δl_2	C_0 , мкФ	$\frac{\Delta C_0}{C_0}$	$\frac{\Delta C_x}{C_x}$	C_x , мкФ	ΔC_x , мкФ
-------------	-------	--------------	-------	--------------	----------------	--------------------------	--------------------------	----------------	-----------------------

C_{x1}									
C_{x2}									
C_{x3}									
Паралельне з'єднання									
Послідовне з'єднання									

3. Вимкнути джерело струму, розрядити конденсатор C_{x1} і замість нього ввести в схему конденсатор C_{x2} , а потім – C_{x3} . Для кожного конденсатора досягти рівноваги містка. Відповідні результати вимірювань плеч реохорда заносять в таблицю 34.1.

4. Аналогічні вимірювання провести для паралельного і послідовного з'єднань конденсаторів.

Увага! При зміні конденсаторів джерело струму вимикати, а конденсатори розряджати.

3.ОБРОБКА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДАНИХ.

Так, як в даній роботі використовується лише один конденсатор C_0 відомої ємності, заводські дані якого вказані на лабораторному стенді (ємність та похибка), то обробка експериментальних даних проводиться за такою методикою.

1. Для кожного дослідів вираховується лише одне значення шуканої величини (C_{x1} , C_{x2} , C_{x3} та ємностей паралельного та послідовного з'єднань).

Розрахунки проводяться за формулою (34.18), в яку підставляють значення C_0 та відповідні середні значення плеч l_1 та l_2 для кожного окремого дослідів. Результати розрахунків заносять в таблицю.

2. Розрахунок похибки проводять за формулою (34.19).

$$\varepsilon = \frac{\Delta C_x}{C_x} = \frac{\Delta C_0}{C_0} + \frac{\Delta l_1}{l_1} + \frac{\Delta l_2}{l_2}.$$

(34.19)

Якщо в кожному досліді отримують одні і ті ж значення l_1 та l_2 , то абсолютні похибки Δl_1 та Δl_2 визначають, як половину ціни найменшої поділки шкали реохорда (масштабної лінійки). Користуючись формулою (34.19), підрахувати відносні похибки невідомої ємності кожного дослідів і отримані результати занести в таблицю.

$$\Delta C_x = \varepsilon \cdot C_x$$

(34.20)

3. Отримавши значення відносних похибок, розраховують значення абсолютних похибок (34.20).
4. Порівняти експериментальні значення ємностей конденсаторів при їх паралельному і послідовному з'єднаннях з ємністю, розрахованою за формулами (34.9) та (34.10).

КОНТРОЛЬНІ ПИТАННЯ

1. Дати означення ємності відокремленого провідника. В яких одиниця вимірюється ємність ?
2. Чому ємність систем провідників більша, ніж ємність окремо взятих відокремлених провідників?
3. Дати означення ємності конденсатора. Які є типи конденсаторів?
4. Вивести формулу ємності плоского конденсатора.
5. Вивести формулу паралельного та послідовного з'єднання конденсаторів .
6. Чому дорівнює енергія зарядженого конденсатора? Наведіть приклади застосування конденсаторів.
7. У чому полягає експериментальний метод визначення ємності конденсатора містковою схемою? (Накреслити схему містка Сотті та пояснити принцип його дії).
8. Вивести формули похибок.
9. Яка послідовність виконання лабораторної роботи?

Лабораторна робота № 35

ВИВЧЕННЯ РОБОТИ ЕЛЕКТРОННОГО ОСЦИЛОГРАФА

Мета роботи: ознайомитись з принципом роботи електронного осцилографа та експериментально визначити чутливість його відхиляючої системи.

Прилади: електронний осцилограф, джерело змінного струму з регульованою вихідною напругою, вольтметр, генератор.

1. ОСЦИЛОГРАФ ТА ЙОГО ПРИЗНАЧЕННЯ.

Осцилограф (від латинських слів «осцило» - хитаюсь, коливаюсь, та «граф»- пишу) являє собою електровимірювальний прилад для візуального спостереження або реєстрація функціонального зв'язку між двома або більшим числом величин, що характеризують досліджуваний процес. Наприклад на екрані осцилографа можна побачити криву залежності струму, напруги або іншої величини від часу від часу, а по отриманій кривій визначати значення досліджуваних величин і т.п. Дія осцилографа базується на використанні електронно-променевої трубки. Досліджуваний процес відображається на екрані електронно-променевої трубки у вигляді графіків або фігур, які називаються осцилограмами. За допомогою осцилографа можна спостерігати і записувати змінні неелектричні величини (тиск, температуру, вологість і т.д.), попередньо перетворивши їх за допомогою датчиків у відповідні електричні величини.

Основним елементом осцилографа є електронно-променева трубка, в якій використовують такі явища:

1. Термоелектронна емісія - явище випускання електронів нагрітими тілами (в електронно-променевій трубці джерелом електронів є розжарений катод);
2. Вплив електричного поля на рух електронів (в електронно-променевих трубках прискорення електронів, формування вузького пучка електронів та його необхідне переміщення по екрану здійснюється електричними полями відповідних електродів)
3. Електролюмінісценція - випромінювання світла тілами під дією ударів електронів (в електронно-променевих трубках екран покритий тонким шаром люмінофору, спеціальної речовини, яка світиться під дією ударів електронів).

2. ФІЗИЧНІ ОСНОВИ КЕРУВАННЯ ПУЧКАМИ ЕЛЕКТРОНІВ В ЕЛЕКТРОННО-ПРОМЕНЕВІЙ ТРУБЦІ.

Отримані внаслідок термоелектронної емісії електрони можна прискорити електричним полем, яке створюється між катодом (джерелом електронів) та анодом. При різниці потенціалів U між катодом і анодом прискорююче електричне поле виконує роботу:

$$A = eU ,$$

(35.1)

де e – заряд електрона, U – різниця потенціалів. Робота йде на надання електронам кінетичної енергії:

$$W_k = \frac{mv^2}{2} , \quad (35.2)$$

де m – маса електрона. Таким чином, електрони набудуть швидкості

$$v = \sqrt{\frac{2 \cdot e \cdot U}{m}} . \quad (35.3)$$

Для формування вузького пучка електронів, які дають на екрані світлу точку, використовують електронні лінзи, такі електроди, що своїми електричними полями діють на пучки

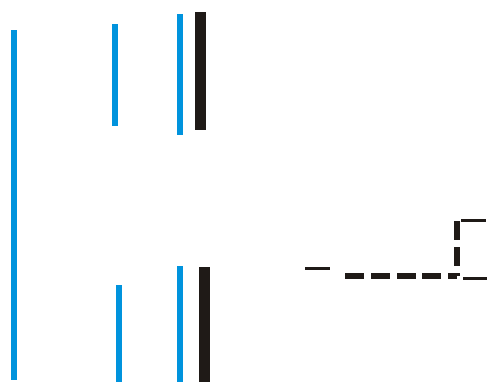


Рисунок 35.1

Фокусування пучка електронів

електронів подібно як лінзи діють на промені світла. Роль такої лінзи в найпростішому випадку може виконувати діафрагма (круглий отвір у плоскому електроді).

На рис. 35.1. вказані екіпотенціальні лінії такої фокусуючої діафрагми: зліва ці лінії паралельні прямі, а справа мають складну випуклу конфігурацію.

Нагадаємо, що вектор напруженості електричного поля перпендикулярний до екіпотенціальної лінії. Розкладемо цей

вектор на дві складові: E_1 - повздовжню і E_2 - поперечну. Повздовжня складова буде гальмувати електрон, тому що рухається від'ємний заряд і напрям сили протилежний вектору напруженості поля.

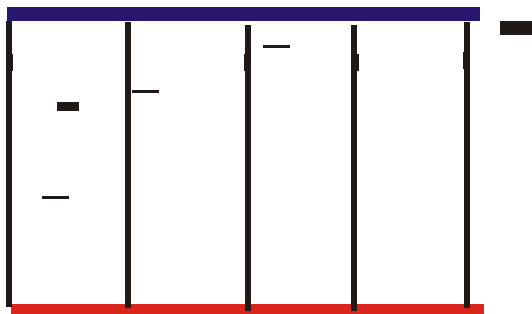


Рисунок 35.2
Відхилення електрона в електричному полі

Під дією поперечної складової електрони будуть рухатись до вісі z , в результаті чого відбудеться фокусування пучка електронів в одну точку. На рис. 35.1 F -фокус електронної лінзи. На шляху до екрана пучок електронів послідовно проходить між двома парами керуючих (відхиляючих)

пластин, подібних до пластин плоского конденсатора.

Нехай електрони зі швидкістю v влітають паралельно до відхиляючих пластин (рис.35.2)

Електричне поле будемо вважати однорідним напруженістю E . Електрон в такому плоскому конденсаторі буде рухатись подібно до тіла, кинутого горизонтально. Маємо два незалежних рухи:

- 1) Рівномірний прямолінійний з швидкістю v вздовж пластин;
- 2) Рівноприскорений в перпендикулярному напрямі під дією кулонівської (електричної) сили.

За час t електрон з швидкістю v пролетить відстань l

$$l = v \cdot t,$$

(35.4)

де l - довжина пластин, і за цей же час «впаде», тобто відхилиться від попереднього напрямку на величину

$$y = \frac{at^2}{2}.$$

(35.5)

При напруженості E електричного поля на електрон діє сила

$$F = eE.$$

(35.6)

Згідно другого закону Ньютона

$$F = ma$$

(35.7)

прискорення електрона буде рівним

$$a = \frac{eE}{m}$$

(35.8)

Враховуючи зв'язок між напруженістю E поля і різницею потенціалів U ,

$$E = \frac{U}{d},$$

(35.9)

де d - відстань між пластинами, з попередніх рівнянь отримаємо вираз для зміщення Δy пучка електронів. Це зміщення пропорційне прикладеній напрузі U :

$$y = \frac{U}{d} \cdot \frac{e}{2m} \left(\frac{l}{v} \right)^2$$

(35.10)

3. ЕЛЕКТРОННО-ПРОМЕНЕВА ТРУБКА.

На рис. 35.3 наведена спрощена схема електронно-променевої трубки, яка являє собою скляний балон, з якого відкачане повітря до тиску 10^{-6} мм.рт.ст. В середині трубки впаяно ряд електродів, які мають відповідні виводи через контактний цоколь 1.

Джерелом електронів є катод, який нагрівається ниткою розжарення. Катод знаходиться всередині

циліндра 2, який виконує роль керуючого електрода. В основі циліндра зроблений отвір для пропускання вузького пучка електронів. Далі електрони прискорюються

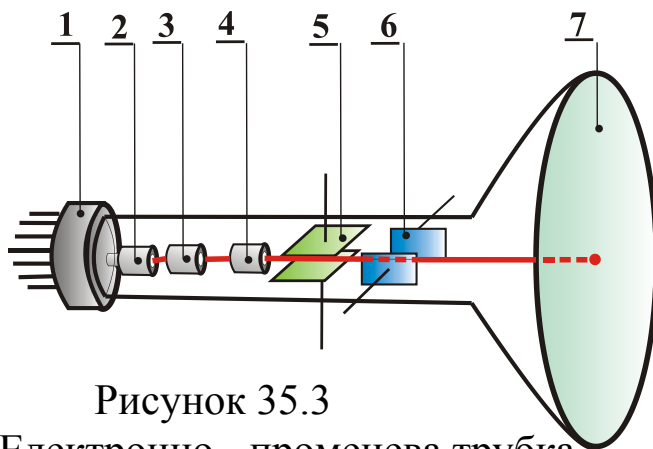


Рисунок 35.3

Електронно - променева трубка

електричним полем першого 3 та другого 4 анодів, причому другий анод 4 служить для фокусування електронного пучка. Регулюючи потенціал другого анода, можна на екрані трубки отримати яскраву світлу точку. Регулювання потенціалів першого та другого анодів здійснюється відповідними потенціометрами, ручки керування яких на передній панелі осцилографа мають надписи: «яскравість» та «фокус».

На шляху до екрана електронний пучок проходить між двома парами відхиляючих пластин. Якщо на будь-яку пару пластин подати напругу U , то згідно формули (35.10) це приведе до відхилення пучка електронів. Одну пару пластин називають горизонтально-відхиляючими (відхилення по осі x), а другу вертикально-відхиляючими (відхилення по осі y). Для того, щоб встановити світлу точку в задане місце екрана (наприклад, в центр), відхиляючі пластини подають постійну напругу, змінюючи її величину і полярність. Регулювання такими наругами здійснюється двома потенціометрами, ручки керування яких позначаються: «вісь x : вліво-вправо», «вісь y : вверх - вниз»

4. ПРИНЦИП РОБОТИ ЕЛЕКТРОННОГО ОСЦИЛОГРАФА

Для того, щоб на екрані електронно-променевої трубки отримати залежність досліджуваної величини (напруги, сили струму) від часу, використовують так звану **часову розгортку**. На одну пару пластин, наприклад, на вертикально-відхиляючі, подають досліджуваний сигнал. Ця змінна напруга досліджуваного сигналу відхиляє промінь у вертикальному напрямі (вздовж осі y). Одночасно на горизонтально-відхиляючі пластини від генератора розгортки подається пилоподібна напруга (рис. 35.4).

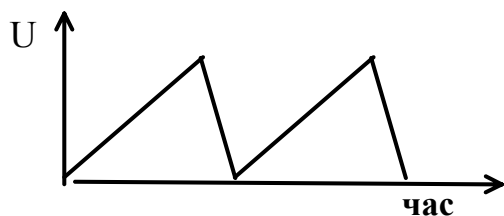


Рисунок 53.4
Графік «пилоподібної»
напруги

Під дією такої пилоподібної напруги, електронний промінь рівномірно переміщується по екрану зліва направо, а потім дуже швидко (стрибком) повертається в попереднє положення. В результаті на екрані ми спостерігаємо залежність змінної величини від часу. Якщо період

напруги робоче частотний періоду досліджуваних коливань, то на екрані отримуємо зображення декількох повних коливань. Для того, щоб при дослідженні того чи іншого процесу кратність частот витримувалась сталою, осцилографи мають автоматичний пристрій для синхронізації пилоподібної напруги з досліджуваним сигналом. На передній панелі є вимикач синхронізуючого пристрою з позначкою: «синхронізація». Крім того, в електричній схемі осцилографа при зворотному ході електронного променя на керуючий електрод електронно-променевої трубки подається від'ємний потенціал, який «гасить» цей зворотній хід променя. Досліджуваний сигнал можна подавати безпосередньо на пластини електронно-променевої трубки або через підсилювач, вмонтований в осцилограф. Таким чином, основними вузлами електронного осцилографа є: електронно-променева трубка; блок живлення; генератор розгортки; синхронізуючий пристрій; підсилювачі.

Під дією напруги U_x слід електронного променя на екрані електронно-променевої трубки зміщується на величину x в горизонтальному напрямку, а під дією U_y на величину y у вертикальному напрямі, тоді величини

$$j_x = \frac{x}{U_x}$$

(35.11)

та

$$j_y = \frac{y}{U_y}$$

(35.12)

називаються чутливістю відповідних відхиляючих пластин осцилографа.

Чутливість до напруги відхиляючих пластин чисельно дорівнює зміщенню електронного променя на екрані трубки при різниці потенціалів між пластинами в 1В.

У даній роботі визначають чутливість відхиляючих пластин при безпосередній подачі на них (без підсилення) відповідних напруг U_x та U_y .

5. ПОСЛІДОВНІСТЬ ВИКОНАННЯ РОБОТИ.

Перед виконанням роботи уважно ознайомтесь з осцилографом, з розташуванням ручок керування його роботою. Для безпосередньої подачі на відхиляючі пластини відповідних

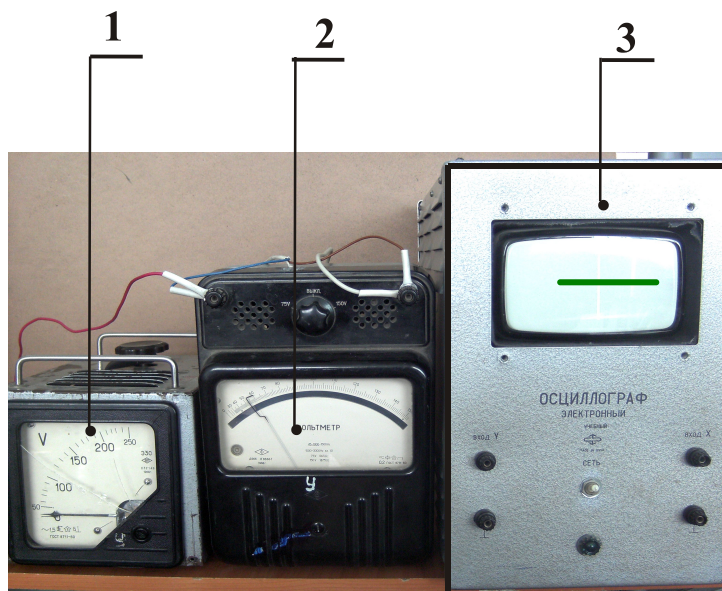


Рисунок 35.5

Прилади для вивчення роботи електронного осцилографа
1-ЛАТР, 2-вольтметр, 3-осцилограф

напруг U_x та U_y на задній панелі осцилографа є клеми з позначками „ x ” та „ y ” та вимикачі підсилювачів «по горизонталі» і «по вертикалі», які треба вимкнути. Напруги U_x та U_y подають від ЛАТРа, лабораторного автотрансформатора з регульованим виходом. Вихідна напруга ЛАТРа вимірюється вольтметром. Необхідні прилади для виконання лабораторної роботи та розташування цих

приладів вказано на рис. 35.5

Завдання 1. Визначення чутливості осцилографа.

1. Ввимкнути осцилограф. Ручками «яскравість» та «фокус» добитись чіткого зображення світної точки на екрані трубки.

2. За допомогою ручки «вісь y : вверх-вниз» та «вісь x : вправо-вліво» вивести світлу точку в центр координатної міліметрової сітки на екрані осцилографічної трубки.

3. При вимкненому ЛАТРі приєднати його вихід до клем „ x ” на задній панелі осцилографа та паралельно до них підключити вольтметр. Перед виконанням роботи ручка ЛАТРа повинна знаходитись в лівому крайньому положенні, тобто виставлена на „нуль” вихідної напруги.

4. Ввимкнути ЛАТР і послідовно збільшуючи напругу (наприклад, 10, 20, 30 В і т.д.) вимірювати на екрані осцилографа довжини l світлових ліній, що відповідають відхиленням електронного

променя. Так як вольтметр показує діюче (ефективне) значення напруги, яке в $\sqrt{2}$ менше амплітудного, то чутливість пластин осцилографічної трубки буде визначатись за формулами

$$j_x = \frac{l_x}{2\sqrt{2}U_x}$$

(35.13)

та

$$j_y = \frac{l_y}{2\sqrt{2}U_y},$$

(35.14)

де l_x - довжина світлової лінії по горизонталі (вздовж вісі X) l_y - довжина світлової лінії по вертикалі (вздовж вісі Y). Цифра 2 в знаменнику пояснюється тим, що на вхід подається змінна напруга і ми вимірюємо відхилення точки в дві сторони, тому реальна величина відхилення світної точки від „нульового” положення в два рази менша (на рис.35.5 на екрані осцилографа бачимо горизонтальну лінію).

5.Вимкнути ЛАТР і приєднати його вихід до клем «У». Ввімкнувши ЛАТР та послідовно збільшуючи вихідну напругу, виміряти, як і в попередньому випадку, довжини світлових ліній, але у вертикальному напрямі.

Всі експериментальні дані занести в таблицю 35.1.

Таблиця 35.1.

Напруга, В								
Довжина світлової лінії, мм	по горизонталі l_x							
	по вертикалі l_y							

6.За формулами (35.13) і (35.14) підрахувати значення чутливостей, потім середнє значення, а також абсолютні похибки, середню абсолютну та відносну похибку чутливостей.

Завдання 2. Вимірювання напруги за допомогою осцилографа.

Визначивши чутливість осцилографа, його можна використати як електровимірювальний прилад. Так, якщо подати невідому напругу на горизонтально або вертикально відхиляючі пластини, то це приведе до відповідних зміщень електронного променя l_x або l_y . Тоді за формулами (35.13) і (35.14) визначаємо амплітудне значення поданих змінних напруг. У даному завданні змінним електричним сигналом невідомої напруги є вихідний сигнал звукового генератора.

1. При вимкненому генераторі приєднати його вихід до клем X на задній панелі осцилографа.
2. Ввімкнути генератор і по вказівці викладача встановити задану частоту.
3. Визначити довжину світлової лінії на екрані осцилографа і за формулою

$$U_{\max} = \frac{l_x}{j_x},$$

(35.15)

яка впливає з формули (35.13), підрахувати амплітудне (максимальне) значення поданої змінної напруги.

КОНТРОЛЬНІ ПИТАННЯ

1. Яке призначення осцилографа?
2. Які фізичні явища використовують в електронно-променевої трубки?
3. Вивести формулу зміщення електронного променя між відхиляючими пластинами електронно-променевої трубки.
4. Як відбувається фокусування пучка електронів в електронно-променевої трубки. Що собою являє електронна лінза та який принцип її дії?
5. Зробіть схематичний рисунок електронно-променевої трубки та вкажіть основні елементи.
6. Який принцип роботи електронного осцилографа? Поясніть дію часової розгортки. Які основні елементи електричної схеми осцилографа?

Дайте означення чутливості відхиляючих пластин осцилографа.

7. Як експериментально можна визначити чутливість відхиляючих пластин осцилографа?

ДОДАТОК

Цифрові осцилографи.

У даний час все більшого застосування набуває цифрова електровимірювальна техніка. Цифрові амперметри, вольтметри, омметри та інші прилади. На зміну телевизорам та осцилографам з електронно-променевими трубками приходять дисплеї на так званих пікселях. Слово *пíксель* походить від англійського скорочення слів *picture element* або *picture cell* — елемент зображення). Монітор складається з величезної кількості пікселів (10 мегапікселів і більше). Кожен піксель - це найменший логічний елемент двовимірного цифрового зображення в растровій графіці. Растрове комп'ютерне зображення складається з пікселів, розташованих по рядках і стовпцях.

Цифрові осцилографи володіють значними можливостями за рахунок самого принципу роботи. Вхідний сигнал після нормалізації перетвориться в цифрову форму і записується в пам'ять. Швидкість запису (кількість вибірок в секунду) задається пристроєм управління, і її верхня межа визначається швидкодією аналого-цифрового перетворювача, а нижня межа теоретично не обмежена, на відміну від аналогових осцилографів. Загальний вигляд сучасного цифрового осцилографа наведений на рис. 35.4.



Рисунок 35.4
Цифровий осцилограф

Використання дисплея замість осцилографічної трубки відкриває можливість для відображення будь-якої додаткової інформації і управління приладом за допомогою меню.

Сучасні цифрові осцилографи мають надзвичайно високу чутливість (від 1 мВ/поподілку). Процесори цифрової обробки сигналу, які використовуються в осцилографах, надають можливість дослідження спектру сигналу. Деякі осцилографи мають накопичувач для збереження зображення у вигляді файлів для подальшої архівації або подальшої обробки

Лабораторна робота №37

ПЕРЕВІРКА ЗАКОНУ ОМА І ВИЗНАЧЕННЯ ПИТОМОГО ОПОРУ ПРОВІДНИКА

Мета роботи: дослідити залежність сили струму в провіднику від різниці потенціалів на його кінцях і на основі експериментальних даних визначити питомий опір провідника.

Прилади: лабораторний стенд №37. Амперметр, вольтметр, джерело струму, реостат.

1. ТЕОРЕТИЧНІ ВІДОМОСТІ.

Згідно експериментального закону Ома *сила струму I в однорідному металічному провіднику пропорційна різниці потенціалів U на кінцях цього провідника і обернено пропорційна величині R , яка називається електричним опором провідника.*

$$I = \frac{U}{R}.$$

(37.1)

Це закон Ома для ділянки кола, де відсутні сторонні сили, тобто сили неелектричної природи. В такому випадку ділянку кола і сам провідник даної ділянки кола називають однорідним. З закону Ома встановлюється одиниця опору – 1 Ом.

1 Ом – опір такого провідника, в якому при різниці потенціалів 1 В на його кінцях, протікає струм силою 1А.

Опір провідника визначається через геометричні розміри співвідношенням

$$R = \rho \frac{l}{S}, \quad (37.2)$$

де l – довжина провідника; S – площа поперечного перерізу; ρ – питомий опір провідника. З (37.2) випливає, що при $l=1\text{м}$ та $S=1\text{м}^2$ питомий опір ρ чисельно дорівнює R , тобто:

питомий опір провідника чисельно дорівнює опору провідника з даного матеріалу одиничної довжини та одиничної площі поперечного перерізу.

У системі СІ питомий опір провідника вимірюється в Ом·м. Величина, обернено пропорційна питомому опору, називається питомою провідністю і позначається σ (сигма).

$$\sigma = \frac{1}{\rho}$$

(37.3)

Для нескінченно малого елемента провідника, в межах якого питома провідність є однаковою, закон Ома записується в диференціальній формі:

$$\vec{j} = \sigma \vec{E}$$

(37.4)

Така форма запису зв'язує диференціальні величини, тобто величини, що відносяться до нескінченно малого об'єму, який стягується в точку.

Вектор $\vec{j}$ густини струму* в даній точці провідника пропорційний вектору $\vec{E}$ напруженості електричного поля у цій же точці провідника. Коефіцієнтом пропорційності є питома провідність провідника в даній точці.

Електричний струм в металах зумовлений рухом вільних електронів. Згідно уявлень класичної фізики вільні електрони в металі можна розглядати, як ідеальний газ. В зовнішньому електричному полі на хаотичний (тепловий) рух електронів накладається впорядкований, тобто виникає електричний струм. Класична електронна теорія провідності металів дає вивід закону Ома в диференціальній формі (37.5)

$$\vec{j} = \frac{n_0 e^2 \langle \lambda \rangle}{2m_e \langle v \rangle} \vec{E}, \quad (37.5)$$

з якого питома провідність σ визначається виразом (37.6)

$$\sigma = \frac{n_0 e^2 \langle \lambda \rangle}{2m_e \langle v \rangle}.$$

(37.6)

де n_0 -концентрація електронів; $\langle \lambda \rangle$ - середня довжина їх вільного пробігу; $\langle v \rangle$ - середня швидкість хаотичного руху електронів; m_e - маса електрона; e – його заряд.

Класична фізика лише в першому наближенні пояснювала провідність металів і приводила до ряду висновків, які суперечили експериментальним даним. Вихід із утруднень вказала квантова фізика.

2. МЕТОДИКА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ВИЗНАЧЕННЯ ПИТОМОГО ОПОРУ ПРОВІДНИКА ТА ПЕРЕВІРКИ ЗАКОНУ ОМА.

Як впливає з (37.2), питомий опір провідника може бути обчислений за формулою (37.7)

$$\rho = \frac{RS}{l}$$

(37.7)

Таким чином, для визначення питомого опору необхідно виміряти його опір R , довжину провідника l та площу поперечного перерізу S . У даній роботі опір провідника визначається за законом Ома (37.1) шляхом вимірювання напруги U та сили струму I . Якщо брати провідник діаметром d , то його площа поперечного перерізу

$$S = \frac{\pi d^2}{4}$$

, і тоді робоча формула для розрахунку питомого опору провідника прийме вигляд (37.8)

$$\rho = \frac{U \pi d^2}{4 I \cdot l}$$

(37.8)

На рис. 37.1. показана принципова схема лабораторної установки для перевірки закону Ома та визначення питомого опору провідника.

В даній схемі досліджуваний провідник АВ через реостат приєднується до джерела струму. По провіднику переміщується контакт (повзунок) С. Напруга на кінцях ділянки АС вимірюється вольтметром, а струм - амперметром. Довжина цієї ділянки АС визначаються за масштабною лінійкою. Перевірка закону Ома полягає у вивченні залежності сили струму від напруги на його кінцях для провідників різного опору (різної довжини).

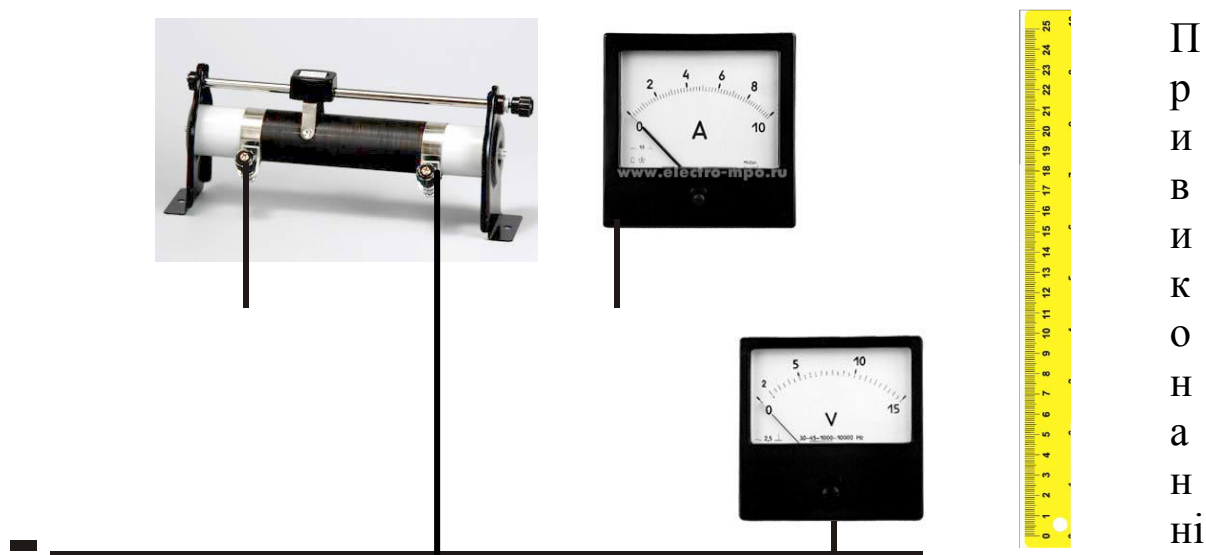


Рисунок 37.1

Схема установки для перевірки закону Ома та визначення питомого опору провідників

одночасно отримують експериментальні дані як для перевірки закону Ома, так і для визначення питомого опору провідника.

3. ПОСЛІДОВНІСТЬ ВИКОНАННЯ РОБОТИ.

1. Зібрати електричне коло згідно принципової схеми рисунка 37.1. В даному випадку реостат увімкнений в коло як потенціометр, що дає можливість плавно змінювати напругу між точками **Д** і **Е** від нуля до максимальної напруги.

Перед вмиканням установки потенціометр виставити на «нуль» напруги.

При вимкненому джерелі струму виміряти діаметр провідника d та встановити рухомий контакт **С** у верхнє положення і по масштабній лінійці визначити довжину провідника $l = AC$. Дані занести в таблицю 37.1.

2. Ввімкнути прилад і потенціометром збільшуючи напругу, дослідити залежність сили струму I від напруги* U . Необхідно отримати не менше 5-ти експериментальних точок. Дані занести в таблицю 37.1.

3. Аналогічні дослідження провести і для інших відрізків провідника (інших довжин АС), наприклад, послідовно зменшуючи їх на 5 см . Дані занести в таблицю.

Таблиця 37.1.

Довжина провідника АС, мм									
$l_1=$		$l_2=$		$l_3=$		$l_4=$		$l_5=$	
$I,$ м А	$U,$ В	$I,$ м А	$U,$ В	$I,$ м А	$U,$ В	$I,$ м А	$U,$ В	$I,$ м А	$U,$ В
1									
2									
3									
4									
5									

4. ОБРОБКА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДАНИХ.

1. Побудувати експериментальні залежності сили струму в провіднику від напруги на його кінцях при різних значеннях опору провідників (різних довжин провідників). Проаналізувати отримані залежності (чи виконується лінійна залежність сили струму від напруги згідно закону Ома?).

2. Розрахунок питомого опору провідника провести за формулою (37.8), підставляючи в цю формулу експериментальні дані, що відносяться до найбільшої довжини провідника. При такому розрахунку відносна похибка буде найменшою.

3. Вивести формулу відносної похибки:

$$\frac{\Delta \rho}{\rho} = \frac{\Delta U}{U} + \frac{\Delta \pi}{\pi} + 2 \frac{\Delta d}{d} + \frac{\Delta l}{l} + \frac{\Delta I}{I} \quad (37.9)$$

Абсолютні похибки сили струму ΔI та напруги ΔU визначається за класом точності відповідних електровимірювальних приладів. Абсолютна похибка довжини

$\Delta l = \pm 0,5$ мм, як половина ціни найменшої поділки масштабної лінійки. Абсолютна похибка діаметру дротини $\Delta d = \pm 0,05$ мм, як половина ціни найменшої поділки штангенциркуля, яким вимірюється діаметр.

4. Вирахувати відносну, а за відносною і абсолютну похибку питомого опору досліджуваного провідника.

КОНТРОЛЬНІ ПИТАННЯ.

1. Запишіть і поясніть закон Ома для однорідної ділянки кола. В яких одиницях вимірюється опір провідника?

2. Як залежить опір провідника від його довжини і площі поперечного перерізу?

3. Дайте означення питомого опору провідника та питомої провідності.

4. Запишіть та поясніть закон Ома в диференціальній формі.

5. Які основні положення класичної електронної теорії провідності металів?

6. Вивести закон Ома в диференціальній формі на основі класичної електронної теорії провідності металів.

7. Яка методика експериментальної перевірки закону Ома та визначення питомого опору провідника.

8. Вивести формулу похибок.

Лабораторна робота № 38

РОЗШИРЕННЯ МЕЖ ВИМІРЮВАНЬ АМПЕРМЕТРА І ВОЛЬТМЕТРА

Мета роботи: ознайомитись з принципом розширення меж вимірювань електровимірювальних приладів та на практиці здійснити задане розширення меж вимірювань амперметра і вольтметра.

Прилади: амперметр, міліамперметр, вольтметр, мілівольтметр,

реостати, магазин опорів, джерело струму.

При електричних вимірюваннях маємо справу з величинами, значення яких знаходиться в широкому інтервалі. Тому на практиці застосовують метод розширення меж вимірювань електровимірювальних приладів, який дає можливість одним і тим же приладом вимірювати електричні величини в широкому діапазоні їх значень.

1. РОЗШИРЕННЯ МЕЖ ВИМІРЮВАНЬ АМПЕРМЕТРА

Нехай амперметр розрахований на максимальний струм силою 1 А. Необхідно цим же амперметром виміряти струм в n -разів більший, наприклад 10 А.



Рисунок 38.1

До даного амперметра, внутрішній опір якого r_A , приєднують паралельно опір $R_{ш}$ (рис.38.1.), через який відгалужують „зайвий” для амперметра струм. Такий опір отримав назву «шунт» (від

англійського *shunt*- робити розгалуження).

Для такого з'єднання загальний струм дорівнює сумі струмів через амперметр I_A та шунт $I_{ш}$

$$I = I_A + I_{ш} , \quad (38.1)$$

а напруга U_R на кінцях шунта та амперметра U_{r_A} однакова

$$I_A \cdot r_A = I_{ш} \cdot R_{ш} .$$

(38.2)

Крім того межі вимірювань амперметра необхідно збільшити в n -разів

$$I = I_A \cdot n .$$

(38.3)

З рівнянь (38.1), (38.2), (38.3) отримуємо, що необхідне значення опору шунта визначається наступним співвідношенням

$$R_{ш} = \frac{r_A}{n-1} . \quad (38.4)$$

2. РОЗШИРЕННЯ МЕЖ ВИМІРЮВАНЬ ВОЛЬТМЕТРА

Маємо вольтметр, розрахований на максимальну напругу U_B . Внутрішній опір вольтметра r_B . Необхідно цим же вольтметром виміряти напругу U в n - разів більшу, ніж U_B (рівняння (38.5)). Для цього послідовно до вольтметра приєднують додатковий опір R_D (рис 38.2).

Рисунок 38.2

При такому з'єднанні загальна напруга U дорівнює сумі напруг на окремих ділянках кола (рівняння 38.6)), де U_B - напруга на вольтметрі, U_D - напруга на кінцях додаткового опору.

$$U = nU_B \quad (38.5)$$

$$U = U_B + U_D . \quad (38.6)$$

Враховуючи, що при послідовному з'єднанні сила струму в усіх ділянках кола однакова, одержимо рівняння (38.7).

$$\frac{U_B}{r_B} = \frac{U_D}{R_D} . \quad (38.7)$$

Після чого з рівнянь (38.5), (38.6) та (38.7) отримаємо значення додаткового опору

$$R_D = r_B(n-1) \quad (38.8)$$

3. ПОСЛІДОВНІСТЬ ВИКОНАННЯ РОБОТИ

На лабораторному стенді розташовані всі прилади, які необхідні для виконання роботи. Кожний прилад (елемент кола) має відповідні клеми, які з'єднують провідниками за нижче вказаними схемами.

Завдання 3.1. Розширення меж вимірювань міліамперметра

1. Ознайомитись з необхідними приладами та зібрати електричне коло.

Дане завдання ставить за мету використати міліамперметр як амперметр, тобто розширити межу його вимірювань на величину порядку 10^3 . Для цього використовується наступна електрична схема, яка наведена на рисунку 38.3, яка забезпечує плавну зміну робочої напруги від нуля до 10 В. Така плавна зміна здійснюється реостатом **1** увімкнутого, як потенціометр. Тобто робоча напруга **U**, якою живиться електричне коло «знімається» рухомим повзунком **2** реостата. Далі у коло послідовно увімкнені контрольний амперметр **3** та міліамперметр **4**, межу вимірювань якого необхідно збільшити до межі контрольного амперметра.

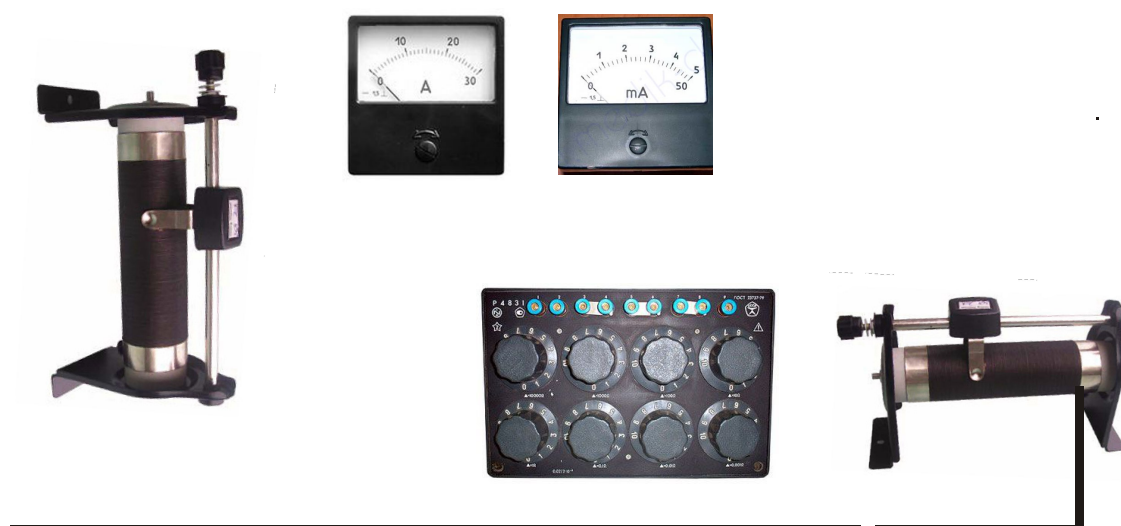


Рисунок 38.3
Розширення меж вимірювання амперметра

Підбір необхідного шунта здійснюється магазином опорів **5**, що дає можливість підібрати будь який опір з кроком 0,01 Ом в інтервалі від нуля до 10000 Ом. Все електричне коло замкнено на реостат **6**.

Таким чином, при сталій робочій напрузі **U**, яку встановлюємо повзунком **2**, зміна струму в колі ще здійснюється реостатом **6**.

На лабораторному стенді розташовані всі прилади, які необхідні для виконання роботи. Кожен прилад має відповідні клеми. Тому керуючись схемою рис. 38.3 необхідно скласти відповідне електричне коло.

1. Перед виконанням роботи джерело струму повинного бути вимкнено, а потенціометр виставлений на нуль напруги (повзунок **В** перемістити в крайнє положення до точки **А**). Крім того, виконати **обов'язкову умову – міліамперметр повинен бути зашунтований на «нуль», всі ручки резисторів на магазині опорів повернути до нульових поділок.**

2. Отримати завдання для виконання роботи. Наприклад, міліамперметр **4**, як робочий прилад, розрахований на 50 Ма і необхідно розширити межі його вимірювання до 5 А.

3. Ввімкнути джерело струму. Збільшуючи потенціометром напругу, на еталонному приладі (амперметр **3**) встановити струм силою 5А. Після цього магазином опорів підібрати такий опір (шунт), при якому міліамперметр покаже струм силою 50 мА. Цей підібраний опір і буде опором шунта, який забезпечує задане розширення меж вимірювань робочого приладу.

4. Такий же самий порядок виконання роботи при будь-якому іншому заданому значенні n .

Спочатку з допомогою потенціометра встановлюють покази еталонного приладу, рівні $I = nI_A$, де I_A - сила струму, на який розрахований еталонний прилад. Потім магазином опорів підбирають такий шунт $R_{ш}$, коли покази робочого приладу будуть максимальними (на всю шкалу відхилиться його стрілка). Результати дослідів занести в таблицю 38.1.

Таблиця 38.1

Максимальне значення сили струму
робочого приладу I_A , А
Задане збільшення меж вимірювань,
 n
Опір шунта $R_{ш}$, Ом

3. Підібравши шунт $R_{ш}$, за формулою (38.9), яку отримують з (38.3), розраховують опір r_A робочого приладу.

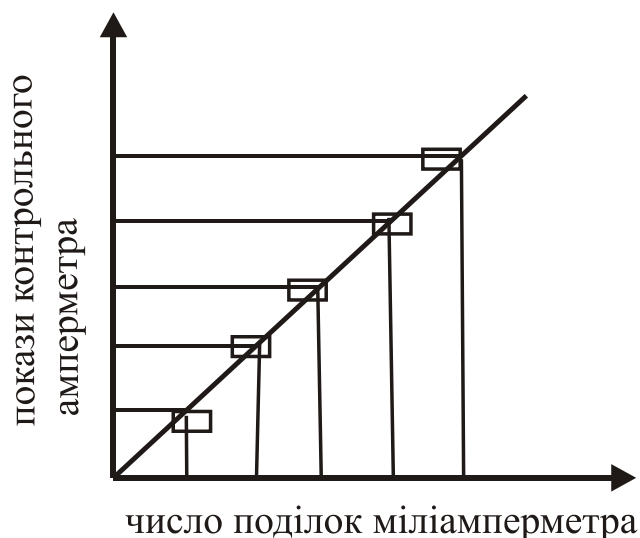
$$(38.9) \quad r_A = R_{ш}(n - 1)$$

1. Підібравши шунт, провести градуювання робочого приладу. Для цього, змінюючи потенціометром напругу живлення кола, зіставити покази еталонного приладу (А) з числом поділок робочого приладу. Експериментальні дані занести в таблицю 38.2.

2.

Таблиця 38.2.

Покази еталонного приладу, А.									
Покази робочого приладу, число поділок									



4. За експериментальними даними табл. 38.1 побудувати градувальний графік (рис. 38.4). Побудову графіка проводити з врахуванням похибок вимірювань..

Завдання 3.2 Розширення меж вимірювань мілівольтметра

Маємо мілівольтметр, який розрахований на максимальну напругу U_v . Необхідно підібрати додатковий опір R_d , який би забезпечив збільшення меж вимірювань в n разів. Експериментальний підбір додаткового опору проводиться за допомогою електричного кола, схема якого наведена на рис. 38.5.



Рисунок 38.5

Розширення меж вимірювань мілівольтметра

Напруга в колі регулюється потенціометром ручкою 2 потенціометра 1. Ця напруга вимірюється еталонним вольтметром 3, до якого приєднаний мілівольтметр 4. Вольтметри належать до високоомних приладів, внутрішній опір яких є величиною порядку 10^3 - 10^4 Ом. Беручи до уваги таке значення внутрішнього опору, за формулою (38.8) підрахувати орієнтовне значення додаткового опору, який би забезпечував задане збільшення в n разів межі

вимірювання вольтметра. Додатковий опір підбирається магазином опорів 5. Завдання виконується в такому порядку.

1. При вимкненому джерелі струму зібрати електричне коло згідно рис. 38.5. Потенціометр П встановити на мінімальну напругу, а магазином опорів «набрати» максимальний опір.

2. Ввімкнути джерело струму і, збільшуючи потенціометром напругу на еталонному вольтметрі, встановити напругу $U = n \cdot U_B$, тобто в n разів більшу від максимальної напруги, яку можна виміряти мілівольтметром.

3. Користуючись магазином опорів, підібрати такий додатковий опір R_d , при якому покази мілівольтметра були б максимальними. Отримані дані занести в таблицю 38.3.

Таблиця 38.3

Максимальне значення напруги мілівольтметра U_B , В		
Задане збільшення		меж вимірювань, n
Додатковий опір R_d , Ом		

4. За формулою (38.10), яку отримують з формули (38.8), розрахувати внутрішній опір мілівольтметра

$$r_B = \frac{R_d}{n - 1}.$$

(38.10)

5. Підібравши додатковий опір, провести градуювання мілівольтметра, тобто зіставити покази еталонного приладу (в вольтах) з числом поділок мілівольтметра. Експериментальні дані занести в табл. 38.4.

Таблиця 38.4.

Покази еталонного приладу, В.										
Покази робочого приладу, число поділок										

6. За експериментальними даними табл. 38.4 побудувати градувальний графік, вказуючи на ньому похибки вимірювань

КОНТРОЛЬНІ ПИТАННЯ

1. Дайте означення чутливості та ціни поділки електровимірювальних приладів.
2. Який принцип дії приладів магнітоелектричної, електромагнітної та електродинамічної системи?
3. Запишіть та поясніть закон Ома для однорідної ділянки кола.
4. Вивести значення опору шунта для заданого розширення меж вимірювань амперметра.
5. Вивести значення додаткового опору для заданого розширення меж вимірювань вольтметра.
6. Яка послідовність експериментального підбору шунта для амперметра та додаткового опору вольтметра?

Лабораторна робота №39

ВИЗНАЧЕННЯ ОПОРУ ПРОВІДНИКІВ ЗА ДОПОМОГОЮ МІСТКА УІТСТОНА.

Мета роботи: ознайомитись з містковим методом визначення опору провідників та освоїти методику роботи з містком Уітстона.

Прилади: лабораторний стенд роботи № 39. Джерело струму, набір невідомих опорів, відомий опір (магазин опорів), реохорд, нуль-індикатор.

Додаткове завдання. *Ознайомитись з сучасними містковими приладами та принципом електричного вимірювання неелектричних величин.*

1. ТЕОРЕТИЧНІ ВІДОМОСТІ

Згідно закону Ома, *сила струму I в однорідному металічному провіднику пропорційна напрузі U на кінцях цього провідника і обернено пропорційна величині R , яка отримала назву електричного опору провідника.*

$$I = \frac{U}{R} \quad (39.1)$$

І з цього закону в системі СІ встановлюється одиниця опору 1 Ом:

$$1 \text{ Ом} = 1 \frac{\text{В}}{\text{А}},$$

1 Ом – опір провідника, в якому при напрузі 1 В протікає струм 1 А.

Користуючись законом Ома, можна визначити опір провідника, вимірявши різницю потенціалів U на кінцях провідника та силу струму I . На практиці широкого застосування набув інший метод, який базується на порівнянні невідомого опору R_x з відомим R_0 (еталонним) опором. Таке порівняння проводиться за допомогою особливої електричної схеми рис. 39.1, яка отримала назву містка Уїтстона (електричного містка). **[Уїтстон Чарлз (Wheatstone) (1802-1875)- англійський фізик]** На рис. 39.1 вказана принципова схема містка Уїтстона. Один з елементів такої схеми - **реохорд** ("Реохорд"- від грецьких слів: "рео"- текти та "хорда"- струна. Тут "реохорд" перекладається як "струна, по якій тече струм"). Реохорд, який вказаний на рис. 39.1 відрізком АВ - це є дротина

(провідник), з строго однаковим по всій довжині діаметром.

До точок А та В приєднані невідомий R_x та відомий R_0 опори, які мають спільну точку D. **(дійсно, така схема дещо подібна до конструкції моста, звідси назва місткова схема).**

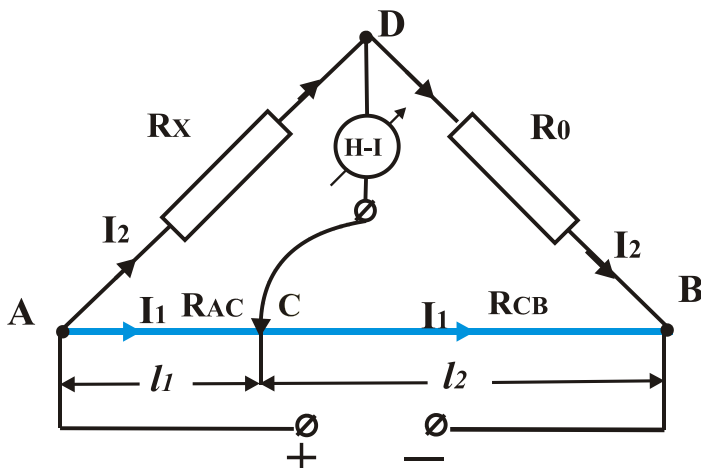


Рисунок 39.1 Сема містка Уїтстона



Від джерела струму іде розгалуження струмів на струми I_1 та I_2 . Потенціал точки **D** (φ_D) має проміжне значення між потенціалами точок **A** і **B**. Тобто, на реохорді **AB** знайдеться така точка, потенціал якої φ_D буде дорівнювати φ_C точки **D**. Тому, якщо між точками **C** і **D** ввімкнути гальванометр, то він покаже відсутність струму. Гальванометр, який фіксує наявність або відсутність електричного струму, називається нуль-індикатором (на схемі рис. 39.1 він позначений Н-І). Для знаходження на реохорді такої точки **C**, коли струм через нуль-індикатор відсутній, використовується рухомий контакт, який ковзає вздовж реохорда (стрілка біля точки **C**).

Стан місткової схеми при відсутності струму в ділянці **CD** (діагоналі містка) називається станом рівноваги містка. Для виводу умови такої рівноваги скористаємось другим законом Кірхгофа.

Для замкнутого контуру **ADCA** будемо мати рівняння (39.2), а для контуру **CDBC** – рівняння (39.3).

$$I_2 \cdot R_X = I_1 \cdot R_{AC} \quad (39.2)$$

$$I_2 \cdot R_0 = I_1 \cdot R_{CB} \quad (39.3)$$

З цих рівнянь випливає умова рівноваги містка.

$$R_X = R_0 \frac{R_{AC}}{R_{CB}} \quad (39.4)$$

Для реохорда **AB**, як каліброваної дротини (дротини з однаковим діаметром по всій довжині), відношення опорів її частин R_{AC} та R_{CB} можна замінити відношенням відповідних довжин l_1 та l_2 , які називаються печами реохорда. Тому кінцевий вираз прийме наступний вигляд

$$R_X = R_0 \frac{l_1}{l_2} \quad (39.5)$$

Отже, принцип визначення невідомого опору за допомогою місткової схеми Уінстона полягає в порівнянні невідомого опору з відомим (еталонним). Маючи місткову схему, при відомому опорі добиваємось так званої рівноваги цієї схеми, що фіксується

нуль-індикатором. Отримане відношення плеч l_1 / l_2 є своєрідним коефіцієнтом між відомим та невідомим опорам.

2. РОБОЧА СХЕМА МІСТКА УІТСОНА

Згідно принципової схеми (рис. 39.1) містка Уітсона на практиці використовують робочу схему (рис. 39.2 а), яка відповідає основним вимогам електричних вимірювань.

У такій схемі передбачається регулювання сили струму (реостат R) та вмикання джерела струму тільки на час вимірювань (ключ K_1). Крім цього, в даній схемі застосовується шунтування нуль-індикатора, яке змінює його чутливість. Є два режими вимірювань – ГР (грубо) та ТЧ (точно). На рис 39.2а встановлений точний режим вимірювань, весь струм іде через нуль-індикатор. Якщо встановити режим «грубо», то до нуль-індикатора буде під'єднано опір (шунт), то через нього піде частина струму, що приведе до зменшення чутливості індикатора.

У даній містковій схемі реохорд має кільцеву форму, вздовж якого рухаються, переміщається повзунок, створюючи контакт в точці С, як це вказана на рис 39.2а.



а –принципова схема лабораторного містка Уїтстона

б – монтажна схема містка

Рисунок 39.2. Принципова та монтажні схема містка Уїтстона

Відомим опором служить магазин опорів R_0 - набір еталонних опорів з відповідною комутацією (перемиканням в межах від 0 до 100000 Ом). Наявність такого магазину значно спрощує визначення невідомого опору. Так, при $l_1 = l_2$ умова рівноваги містка настає тоді, коли $R_X = R_0$. Отже, встановивши рухомий контакт C посередині реохорда, магазином опорів “набираємо” такий опір R_0 , щоб нуль-індикатор показав відсутність електричного струму. Тоді значення опору, прочитане на магазині опорів і буде значенням опору досліджуваного провідника. Якщо домогтись виконання умови рівноваги містка не вдається, то необхідно розширити межі вимірювань самого містка. Наприклад, встановивши рухомий контакт в положення, яке відповідає відношенню $(l_1 / l_2) = 10$, ми збільшуємо межі вимірювань в 10 разів. Може бути і також випадок, коли межі вимірювань треба зменшити (це стосується малих опорів). В такому випадку встановлюють $(l_1 / l_2) = 0,1$ або навіть 0,01.

3. ПОСЛІДОВНІСТЬ ВИКОНАННЯ РОБОТИ

У даній роботі необхідно визначити значення трьох невідомих опорів та опорів при їх послідовному і паралельному з’єднаннях.

Всі прилади, які необхідні для виконання роботи, встановленні на лабораторному стенді, як це показано на рис 39.2 б і мають відповідні клеми для необхідних з'єднань.

1. Керуючись принциповою та монтажною схемами схемою (рис. 39.2 а,б), зібрати місткову електричну схему. Спочатку визначають опір одного провідника (наприклад R_{x1}). Перед виконанням роботи джерело струму повинно бути вимкненим, реостат виставлений на максимальній опір а режим вимірювань гальванометра повернути в положення «грубо». Рухомий контакт С розмістити посередині реохорда.

2. Ввімкнути джерело струму. Слідкуючи за показами нуль-індикатора, магазином опорів підбирають такий опір, щоб наступила рівновага містка (стрілка нуль-індикатора повинна знаходитись в нульовому положенні або біля цього положення). Потім реостатом збільшують силу струму в колі. При цьому стрілка нуль-індикатора може відійти від свого попереднього положення. Тоді знову магазином опорів добиваються умови рівноваги містка.

3. Перевести режим вимірювань в положення «точно», знову домогтися стану рівноваги місткової схеми. Те значення опору, яке при цьому дає магазин опорів буде значенням невідомого опору R_{x1} (результат досліду занести в таблицю).

4. Аналогічні вимірювання провести для опорів R_{x2} та R_{x3} , а також при їх паралельному та послідовному з'єднаннях (результати дослідів занести в таблицю 39.1).

Таблиця 39.1.

Невідомий опір R_x , Ом	Відомий опір R_0 , Ом
$R_{x1} = R_0$	
R_{x1}	
R_{x2}	
R_{x3}	
Послідовне з'єднання	
Паралельне з'єднання	

4. ПОХИБКИ ВИМІРЮВАНЬ

1. Прологарифмувавши робочу формулу 39.5 а потім про диференціювавши і замінивши знаки d диференціала на знаки Δ ,

отримаємо формулу відносної похибки

$$\frac{\Delta R_x}{R_x} = \frac{\Delta R_0}{R_0} + \frac{\Delta l_1}{l_1} + \frac{\Delta l_2}{l_2} \quad (39.6)$$

2. Найменша похибка даного методу буде за умови $l_1 = l_2$.

Тоді формула похибок прийме вигляд

$$\frac{\Delta R_x}{R_x} = \frac{\Delta R_0}{R_0} + \frac{2\Delta l}{l}$$

(39.7)

В даній роботі шкала кругового реохорда має 100 поділок. Отже, абсолютна похибка визначення довжини пліч реохорда $\Delta l = \pm 0,5$. Відносна похибка $\Delta R_0/R_0$ відомого опору (магазин опорів), як заводського приладу, вказана в його технічному паспорті, дорівнює 0,001.

2. За формулою (39.7) підрахувати відносні, потім абсолютні похибки для кожного з опорів, а також їх послідовного і паралельного з'єднань.

3. Зіставити результати експериментальних даних послідовного і паралельного з'єднань з відповідними розрахунками за формулами:

$$R_{\text{ПОСЛІДОВНЕ}} = R_1 + R_2 + R_3 \quad (39.8)$$

$$\left(\frac{1}{R}\right)_{\text{ПАРАЛЕЛЬНЕ}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} \quad (39.9)$$

КОНТРОЛЬНІ ПИТАННЯ

1. Сформулюйте закон Ома для ділянки кола. Від чого залежить опір провідників. Одиниці вимірювань опору та питомого опору.
2. Запишіть та поясніть закони Кірхгофа.
3. Поясніть принцип роботи містка Уїтстона. Виведіть умову рівноваги місткової схеми.

4. Формули для визначення опору провідників при послідовному і паралельному з'єднанні.
5. Поясніть хід виконання роботи.
6. Виведіть формулу похибок.

Додаток

Практичне застосування місткової схеми визначення опору провідників.

1. Лабораторні безреохордні містки.

Лабораторні містки - це високоточні прилади для визначення невідомих опорів. В цих приладах відсутній реохорд, де роль його пліч виконують резистори R_2 та R_3 . Тоді за умови рівноваги місткової схеми невідомий опір R_x визнається співвідношенням

$$R_x = R_0 \frac{R_1}{R_2},$$

де R_0 - відомий опір.

На рис. 39.3 наведена електрична схема та загальний вигляд безреохордного лабораторного містка.

У цьому приладі відомий опір R_0 встановлюється так званим магазином опорів, який має, як видно з рисунка 39.3, чотири декади. Крайня права ручка встановлює опори від 0 до 0,9 Ом через кожні 0,1 Ом наступна від 0 до 9 через кожний 1 Ом і т.д. закінчуючи опорами від 0 до 100 Ом. Ручка 3 змінює відношення

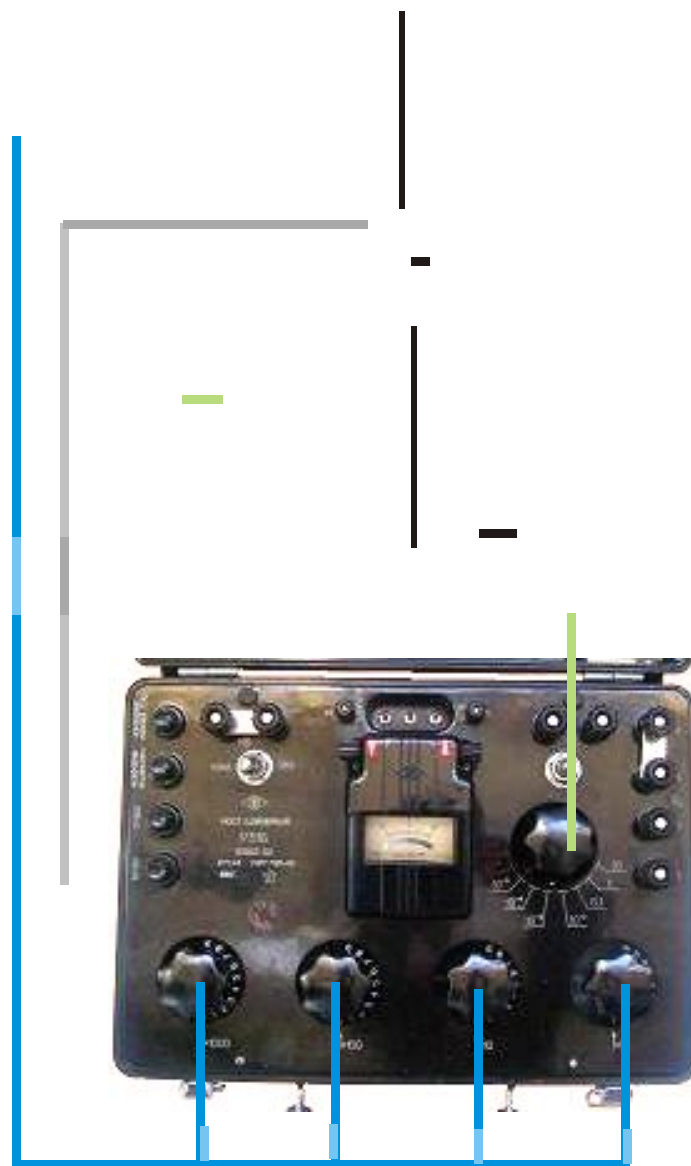
$$\frac{R_1}{R_2}$$

опорів в містковій схемі, тим самим змінює межі вимірювань, що позначено відповідними знаками множення $\times 0,1, \times 1, \times 10, \times 100$.

Наприклад, рівновага містка має місце при встановленому на магазині опорів значення 346,4 Ом та множника $\times 0,1$. Це значить,

що опір невідомого резистора R_x

становить 34,64 Ом.



а - принципова схема безреохордного містка Уїтстона;
б - загальний вигляд лабораторного містка Уїтстона
1 - магазин опорів, **2** - нуль індикатор, **3** - клеми під'єднання невідомого опору, **4** - перемикач меж вимірювань приладу

Рисунок 39.3
 лабораторний безреохордний місток Уїтстона

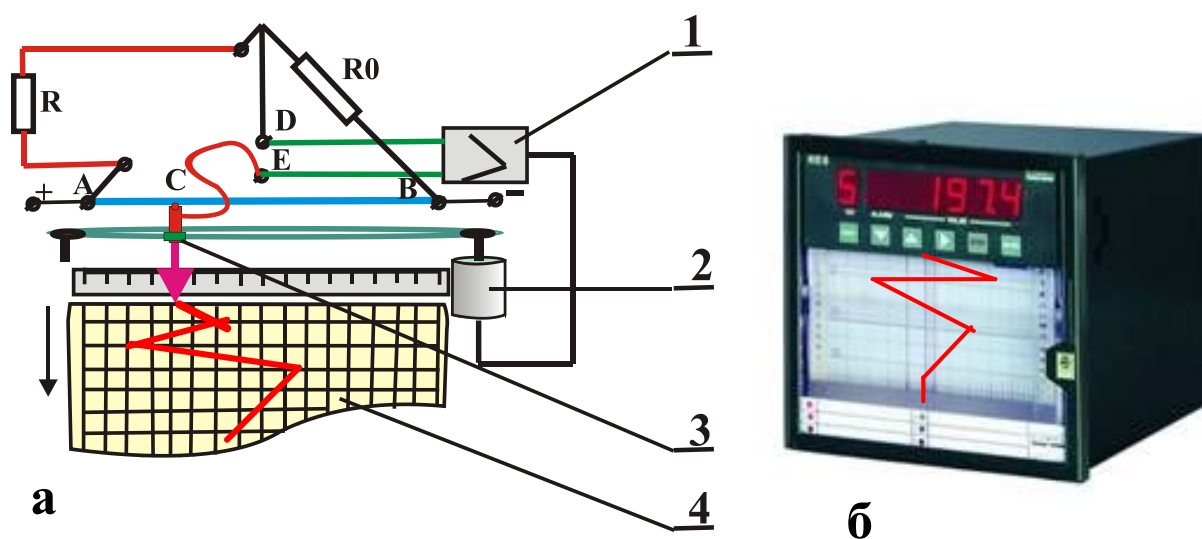
2 Поняття про електричне вимірювання неелектричних величин. Електронні автоматичні самопишучі містки.

В даний час надзвичайно широкого застосування набули методи електричного вимірювання неелектричних величин. Навіть виникла однойменна технічна дисципліна, яка розглядає теорію і практику цього питання. Суть електричного вимірювання неелектричних величини полягає в тому, що за допомогою спеціального пристрою який називається здавачем, неелектрична величина (рівень рідини, тиск, температур, швидкість, прискорення, освітленість і т.п) перетворюється у відповідну електричну величину. Наприклад, з збільшенням температури опір металевого провідника змінюється за лінійним законом

$$R = R_0 (1 + \alpha t)$$

Отже, визначивши опір такого провідника як електричну величину, ми можемо визначити його температуру. Таким чином, такий провідник є давачем температури або термометром опору, який дає можливість дистанційного вимірювання температури. Наприклад, опускаємо такий давач температури в нафтову свердловину на глибину 1000 м і слідкуємо за зміною температури з часом. Тут виникає необхідність автоматичного запису температури. Такий автоматичний запис температур здійснюється за допомогою електронних самопишущих мостів, як механічних, так і цифрових. Принцип роботи автоматичного самопишущого містка ілюструє схема на рис. 39.

Давач неелектричної фізичної величини, наприклад термометр опору **R**, увімкнений у місткову схему, як невідомий опір. По реохорду **AB** містка ковзає контакт **C**, який приводиться в рух електродвигуном **2**. Якщо міст не зрівноважений, то між точками **D** та **E** виникає, так званий, сигнал розбалансу (різниця потенціалів). Цей сигнал поступає на вхід підсилювача **1** і після підсилення керує роботою електродвигуна **2** і тим самим пересуває повзунок реохорда. Як тільки наступить рівновага місткової схеми, сигнал розбалансу щезне і повзунок зупиниться. З рухомим повзунком зв'язане перо, яке залишає слід на діаграмній стрічці, тим самим автоматично записуючи залежність даної неелектричної величини від часу .



а – принципова схема самопишучого містка
 1- підсилювач, 2- реверсивний електродвигун, 3- рухомий контакт, 4- діаграмна стрічка

б- загальний вигляд сучасного електронного самопишучого містка

Рисунок 39 самопишучий місток

3. Цифровий місток



Рисунок 39
 Сучасний цифровий міст

Принцип місткової схеми використовується в сучасних цифрових вимірних приладах. В цих приладах процесор автоматично здійснює умову рівноваги містка. Процесор задає крок зміни відомого опору і, встановивши рівновагу місткової схеми, подає на дисплей приладу отримане значення вимірюваної величини. На рис. 39 показаний вигляд сучасного цифрового містка P5083. Цей прилад працює в

автоматичному режимі визначення невідомого опору протягом часу не більше 50 мс з дискретністю цифрового відліку 10^{-5} Ом. Крім того, такий цифровий міст може виконувати ще низку інших вимірювань. Наприклад ємності та індуктивності.

Лабораторна робота №40

ВИЗНАЧЕННЯ ЕЛЕКТРОРУШІЙНОЇ СИЛИ ДЖЕРЕЛА СТРУМУ МЕТОДОМ КОМПЕНСАЦІЇ

Мета роботи: ознайомитись з основними фізичними явищами в джерелах струму та освоїти методику компенсаційного методу визначення їх електрорушійних сил.

Прилади: лабораторний стенд роботи № 40. Нормальний елемент, джерело струму, реохорд, нуль-індикатор.

1. СТОРОННІ СИЛИ. ЕЛЕКТРОРУШІЙНА СИЛА

Умовою існування електричного струму в провіднику є наявність в ньому електричного поля. Так, якщо розглянути замкнуте коло (рис. 40.1) з

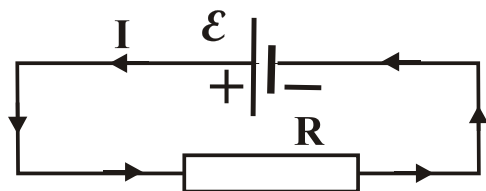


Рисунок 40.1

Замкнуте електричне коло

джерелом струму $\mathcal{E}$, то додатні заряди в зовнішній ділянці кола будуть рухатись від додатного полюса джерела струму до від'ємного. Всередині джерела струму ці заряди рухаються проти сил електричного поля.

Таке переміщення здійснюється

силами неелектричного походження, які одержали назву сторонніх сил. За своєю природою походження цих сил може бути різним. Наприклад, в гальванічних елементах та акумуляторах сторонні сили мають хімічне походження. У генераторах постійного або змінного струму використовується явище електромагнітної індукції. В сонячних батареях за рахунок фотоефекту електрони рухаються проти сил електричного поля. У термопарах електрони при нагріванні металів отримують додаткову енергію, яка зумовлює можливість руху електронів проти сил електричного поля. Таким

чином, в усіх джерелах струму, незалежно від їхньої будови та конструкції, відбувається однакове за своїм фізичним принципом явище – електричні заряди за рахунок сторонніх сил переміщуються проти сил електричного поля. Саме сторонні сили виконують роботу, яка в кінцевому результаті забезпечує переміщення зарядів по замкнутому колу.

Відношення роботи $A_{ст}$ сторонніх сил при переміщенні заряду q до величини заряду q визначає фізичну величину, яка отримала назву електрорушійної сили (скорочено ЕРС).

$$\varepsilon = \frac{A_{ст}}{q}$$

(40.1)

Якщо $q = 1$ Кл, то як впливає з (40.1), $\varepsilon = A_{ст}$ (чисельно). Отже: *ЕРС джерела струму чисельно дорівнює роботі сторонніх сил цього джерела струму при переміщенні одиночного заряду по замкнутому електричному колу. ЕРС джерела вимірюється у В (вольтах). 1 В=1 Дж/Кл.*

2.ЗАКОН ОМА ДЛЯ НЕОДНОРІДНОЇ ДІЛЯНКИ КОЛА.

Ділянка кола, де на заряд в провіднику діють тільки сили електричного походження називається однорідною. Якщо крім

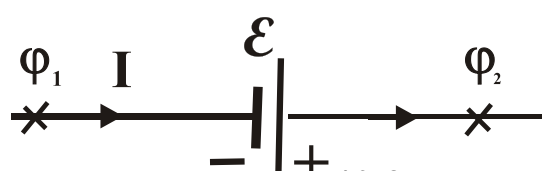


Рисунок 40.2

Неоднорідна ділянка електричного кола

цього на заряди діють ще сторонні сили (сили неелектричного походження), то така ділянка кола буде неоднорідною (рис. 40.2)

Для неоднорідної ділянки кола має місце відповідний закон Ома (40.2), який ще називають узагальненим законом Ома.

$$I = \frac{(\varphi_1 - \varphi_2) + \varepsilon}{R}$$

(40.2)

де φ_1 і φ_2 – потенціали електричного поля на кінцях ділянки, ε - електрорушійна сила, яка присутня в цій ділянці, R - опір ділянки.

Застосування цього закону дає можливість визначити не тільки абсолютне значення сили струму I , але і його напрям. Наприклад, будемо "іти" від точки 1 з потенціалом φ_1 до точки 2 з потенціалом φ_2 . Тому в законі (40.2) беремо саме різницю $\varphi_1 - \varphi_2$. Що стосується знаку ЕРС, то цей знак визначається наступним правилом: якщо ЕРС збільшує потенціал в даному напрямі (переходимо від полюса "-" до полюса "+"), то така ЕРС буде додатна, якщо ж ЕРС зменшує потенціал в заданому напрямі (переходимо від полюса "+" до полюса "-"), то така ЕРС від'ємна. Згідно такого правила, "йдучи" від точки 1 до точки 2 (рис. 40.2) в законі Ома (40.2) дана ЕРС буде додатна. Якщо розрахунки сили струму дадуть його додатне значення, то напрям сили струму співпадає з вибраним напрямом, даної ділянки. У випадку знака "-", струм має протилежний напрям. При відсутності ЕРС з 40.2 отримуємо відомий закон Ома для однорідної ділянки кола.

$$I = \frac{\varphi_1 - \varphi_2}{R} \quad (40.3)$$

Коли коло замкнуте, то при обході такого кола в заданому напрямі початкова і кінцеві точки будуть співпадати, так, що $\varphi_1 = \varphi_2$ і тому закон Ома для замкнутого кола прийме вигляд (40.4)

$$I = \frac{\varepsilon}{R} \quad (40.4)$$

де R - загальний опір кола, який дорівнює сумі опорів зовнішньої ділянки кола R та внутрішньої ділянки r , тобто опору самого джерела струму. Тому для замкнутого кола з ЕРС закон Ома запишеться

$$I = \frac{\varepsilon}{R_{\Sigma} + r} \quad (40.4)$$

3. ЗАКОНИ (ПРАВИЛА) КІРХГОФА

Питання розрахунку електричних кіл має велике практичне значення. Такі питання розглядаються в прикладних задачах електротехніки, радіотехніки та електроніки. Крім того, за

допомогою електричних кіл можна моделювати ряд неелектричних процесів. Наприклад, в нафтовій справі використовується метод електрогідродинамічних аналогій, де потоки нафти моделюються струмами, а електрорушійні сили тисками, які зумовлюють рух нафти.

Найбільш просто розрахунок розгалужених електричних кіл проводиться за допомогою законів (правил) Кірхгофа.

Перший закон Кірхгофа стосується вузла, тобто точки електричного кола, де сходяться не менше трьох провідників і стверджує, що *алгебраїчна сума струмів у вузлі дорівнює нулю*.

При цьому, струми, які входять в вузол вважаємо додатними, а ті, які виходять від'ємними.

$$\sum_{i=1}^n I_i = 0 \quad (40.5)$$

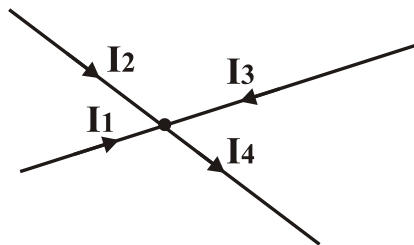


Рисунок 40.3
Електричний вузол

Перший закон Кірхгофа випливає з закону збереження електричного заряду. На рис. 40.3 наведений приклад вузла з вказаними напрямками струмів. Для такого вузла перший закон Кірхгофа прийме вигляд:

$$I_1 + I_2 + I_3 - I_4 = 0 \quad (40.6)$$

Застосовуючи узагальнений закон Ома для будь-якого замкнутого контуру можна вивести другий закон Кірхгофа, а саме:

алгебраїчна сума добутків сили струму на опори відповідних ділянок замкнутого контуру дорівнює алгебраїчній сумі ЕРС, які діють в цьому контурі.

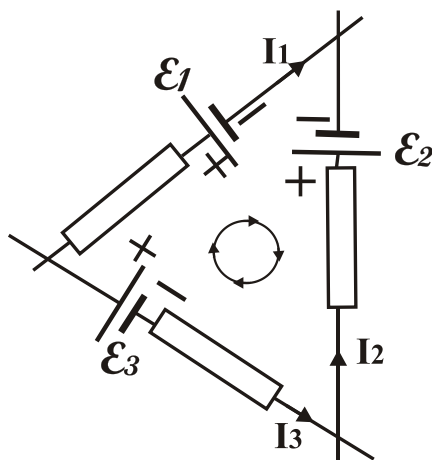


Рисунок 40.4

На рис. 40.4 вказана схема замкнутого електричного контуру.

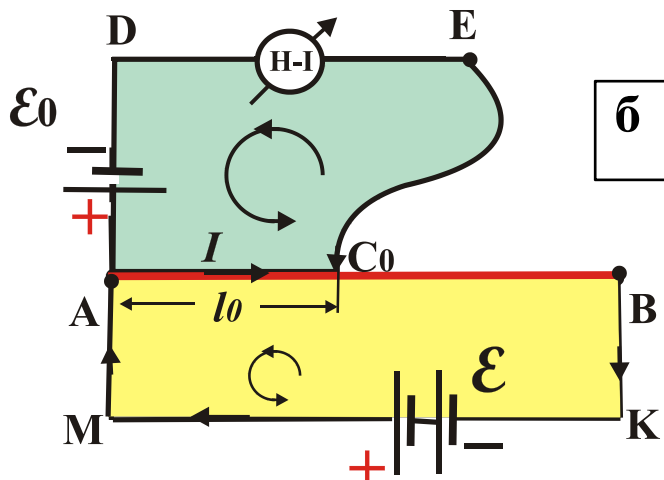
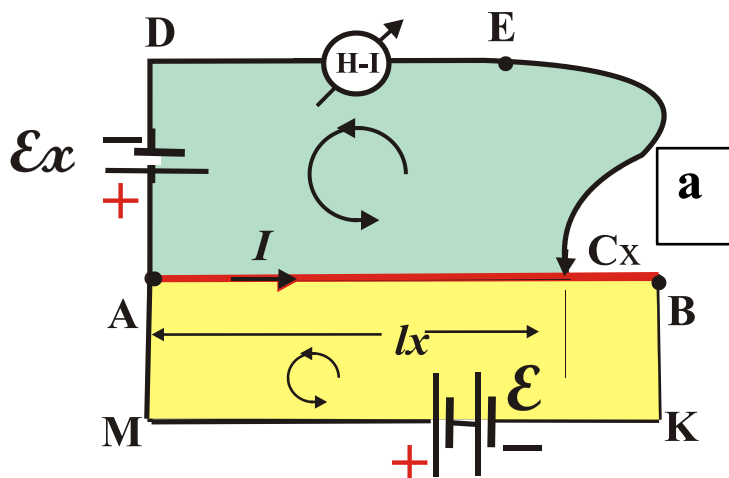
Для того, щоб для такого контуру записати другий закон Кірхгофа спочатку вибирають обхід контуру,

наприклад за годинниковою стрілкою, тоді, струми, які співпадають з заданим обходом вважаємо додатніми. Тому в другому законі Кірхгофа струм I_1 буде додатнім, а струми I_2 та I_3 від'ємними. Знак ЕРС визначається вище вказаним правилом (див. закон Ома для неоднорідної ділянки кола), тобто, якщо в напрямі обходу переходимо від від'ємного полюса джерела струму до додатного, то така ЕРС буде з знаком "+", а навпаки - знак "-". Тому в другому законі Кірхгофа для нашого контуру перша та друга ЕРС будуть додатними, а третя – від'ємною і в результаті другий закон Кірхгофа для вказаного на рис. 40.4 замкнутого контуру запишеться:

$$I_1 R_1 - I_2 R_2 - I_3 R_3 = -\mathcal{E}_1 + \mathcal{E}_2 - \mathcal{E}_3. \quad (40.7)$$

4. ПРИНЦИП КОМПЕНСАЦІЙНОГО МЕТОДУ ВИЗНАЧЕННЯ ЕРС.

Визначити ЕРС джерела струму можна різними методами.



Наприклад, вимірявши силу струму I , зовнішній R та внутрішній r опори замкнутого кола, за формулою (40.3) підрахуємо ЕРС. На практиці широкого застосування набув інший метод, який полягає в тому, що невідому ЕРС компенсують рівною їй напругою. На рис. 40.5 наведена принципова схема компенсаційного методу вимірювання ЕРС.

Така схема складається з двох замкнутих контурів. В

Рисунок 40.5

Принципова схема компенсаційного методу визначення ЕРС

«нижньому» контурі (жовтий колір) знаходиться джерело струму замкнуте на провідник АВ який виконує роль реохорда (*"Реохорд"- від грецьких слів: "рео"- текти та "хорда"- струна. Тут "реохорд" перекладається як "струна, по якій тече струм.* Нехай напруга на кінцях реохорда дорівнює

6 В. Пересуваючи по такому реохорду рухомий контакт, ми можемо плавно змінювати напругу між точкою А та цим контактом від нуля до 6 В.

«Верхній» контур (синій колір) містить невідому електрорушійну

силу $\mathcal{E}_x$. Якщо, наприклад, ця невідома ЕРС $\mathcal{E}_x = 5$ В, то на реохорді знайдеться така точка C_x (рис 40.5.а), так що напруга між цією точкою та початком реохорда (точка А) буде становити 5 В і ця напруга компенсує невідому ЕРС і «не дасть можливості» цій ЕРС створити «власний» струм. Відсутність струму фіксується відповідним приладом, який називається нуль-індикатором. Для забезпечення такої компенсації необхідна ще одна важлива умова: до точки А джерела струмів під'єднуються однойменними полюсами і напруга на кінцях реохорда повинна бути завідомо більшою невідомої ЕРС. Таким чином, пересуваючи по реохорду АВ рухомий контакт, знаходимо таке положення, таку точку C_x , який забезпечує умову компенсації невідомої ЕРС напругою на відрізок реохорда довжиною AC_x .

Згідно другого закону Кірхгофа для контуру $ADEC_xA$ умова компенсації запишеться рівнянням

$$IR_{AC_x} = \mathcal{E}_x, \quad (40.8)$$

де I – сила струму через реохорд, R_{AC_x} – опір відповідної ділянки реохорда.

Якщо замість невідомого джерела $\mathcal{E}_x$ в контур ввімкнути відомий елемент $\mathcal{E}_0$ (рис. 40.5б), то умова компенсації наступить при іншому положенні рухомого контакту, наприклад, в точці C_0 . Тоді другий закон Кірхгофа для контуру $ADEC_0A$ прийме наступний вигляд

$$IR_{AC_0} = \mathcal{E}_0 \quad (40.9)$$

З рівнянь (40.8) та (40.9) маємо: невідома ЕРС визначається простим співвідношенням:

$$\varepsilon_x = \varepsilon_0 \frac{R_{AC_x}}{R_{AC_0}} \quad (40.10)$$

Відношення опорів R_{AC_x} та R_{AC_0} можна замінити відношенням відповідних довжин частин реохорда l_x та l_0 R_{AC_x} і таким чином, отримати кінцеву робочу формулу (40.11) для визначення невідомої ЕРС методом компенсації при її порівнянні з відомою ε_0 (еталонною) електрорушійною силою.

$$\varepsilon_x = \varepsilon_0 \frac{l_x}{l_0} \quad (40.11)$$

) Робоча схема компенсаційного методу визначення невідомої ЕРС зберігає принципові елементи такого методу, але забезпечує зручність та точність необхідних вимірювань. Так, реохорд **AB**, по якому ковзає рухомий контакт, виконаний у вигляді дуги кола, як вказано на рис. 40.6.

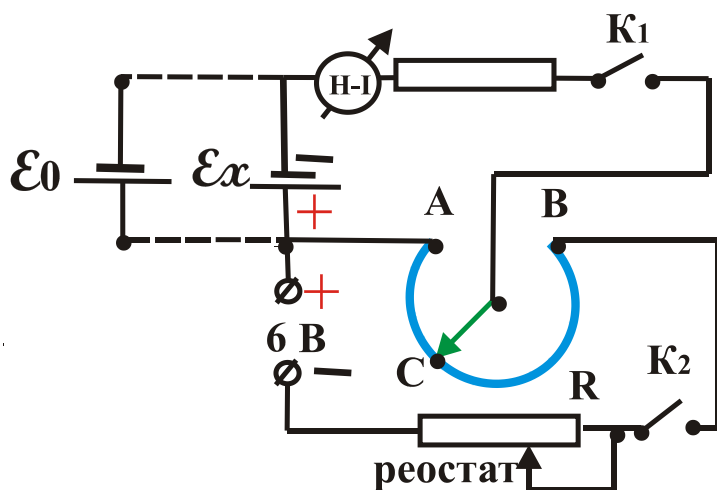


Рисунок 40.6

Робоча схема компенсаційного методу визначення ЕРС

В робочій схемі вмикання джерела струму 6 В та нуля-індикатора $H-1$ проводиться тільки на час вимірювань з допомогою ключів K_1 та K_2 . Реостатом можна змінювати силу струму в реохорді **AB** і, тим самим, напругу на його кінцях. Додатковий опір обмежує струм через чутливий нуля-індикатор.

Відомим джерелом струму служить ртутно-кадмієвий елемент Вестона, який має ЕРС рівну 1.0183 В. Ця ЕРС мало залежить від температури. (Елемент Вестона називають нормальним).

5. ПОСЛІДОВНІСТЬ ВИКОНАННЯ РОБОТИ.

На лабораторному стенді розташовані всі прилади, які необхідні для виконання роботи. Кожен прилад та елемент ЕРС має відповідні клеми, які з'єднуються провідниками згідно робочої схеми. На рис. 40.7 показано показаний лабораторний стенд з відповідними з'єднаннями між всіма елементами робочої схеми. Перша позиція **а** стосується наявності в схемі невідомої ЕРС, а друга позиція **б** коли замість невідомої ЕРС вмикається джерело струму з відомою ЕРС. Відомим джерелом струму служить ртутно-кадмієвий елемент Вестона, який має ЕРС рівну 1.0183 В. Ця ЕРС мало залежить від температури. (Елемент Вестона називають нормальним).

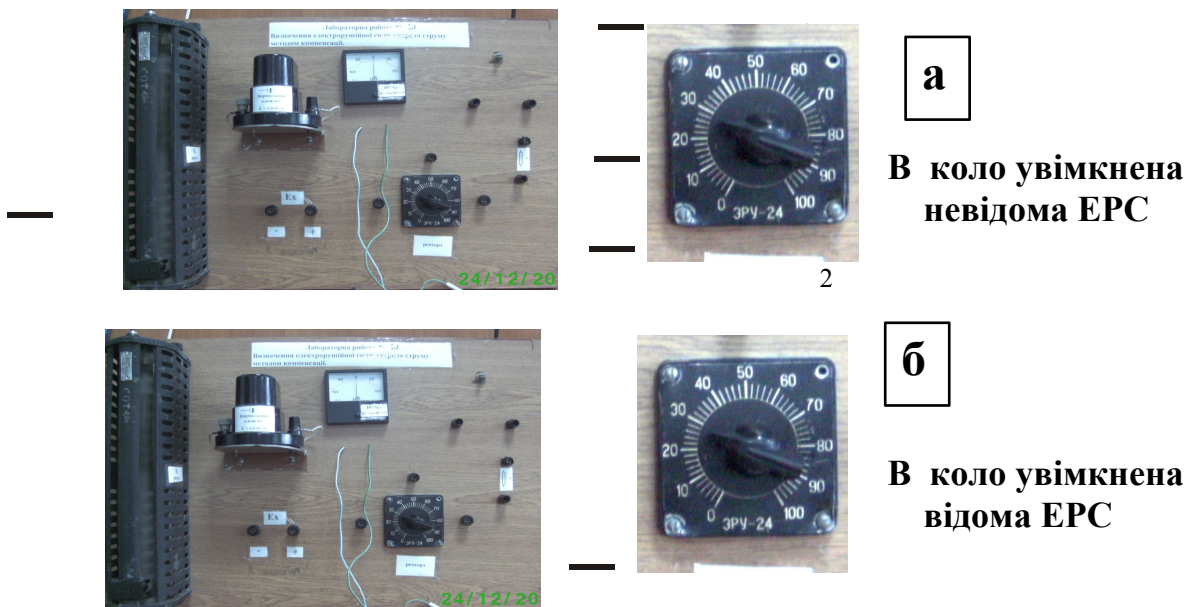


Рисунок 40.7

Розміщення приладів та з'єднань для виконання лабораторної роботи «Визначення ЕРС методом компенсації»

1. При вимкненому джерелі струму 6 В згідно рис. 40.6 зібрати електричну схему, ввімкнувши в цю схему спочатку

невідомий елемент $\mathcal{E}_x$. *Будьте уважні: додатний полюс приєднати до клеми “+” джерела струму 6 В.* Реостат R_1 встановити на максимальний опір, що відповідає мінімальній силі струму через реохорд.

Ввімкнути джерело струму 6 В. Замикаючи на короткий час ключ K_1 і слідкуючи за показами нуль-індикатора при пересуванні вздовж реохорда рухомого контакту, добиваються умови компенсації – відсутності струму через нуль-індикатор. Якщо домогтися компенсації при найбільшому значенні опору реостата не вдається, то, послідовно зменшуючи опір реостата, на реохорді знаходять таку точку, коли струм через нуль-індикатор буде відсутнім. В таблицю 40.1 занести значення довжини реохорда l_x - число поділок на його круговій шкалі. Як приклад, на рис. 40.7а стрілка рухомого контакту розташована напроти поділки 34 отже $l_x = 34$

3. Вимкнути джерело струму 6 В і замість невідомого елемента в схему ввести відомий елемент $\mathcal{E}_0$. Знову будьте уважні: *додатний полюс $\mathcal{E}_0$ приєднати до клеми “+” джерела струму 6 В.*

4. Ввімкнути джерело струму 6 В і, не змінюючи опору реостата, домогтися умови компенсації відомої ЕРС. В таблицю 40.1 занести довжини l_0 відрізка реохорда, що забезпечує компенсацію $\mathcal{E}_0$.

Таблиця 40.1

$L_x,$ мм	$\Delta l_x,$ мм	$L_0,$ мм	$\Delta l_0,$ мм
$\mathcal{E}_0 = 1,0183 \text{ В}$			

4. РОЗРАХУНОК НЕВІДОМОЇ ЕРС. ПОХИБКИ.

1. Розрахунок невідомої ЕРС проводиться за формулою (40.7), підставляючи в цю формулу дані таблиці 40.1.

2. Відносну похибку невідомої ЕРС визначають за формулою (40.8), яку виводять з формули (40.7).

$$\frac{\Delta \varepsilon_x}{\varepsilon_x} = \frac{\Delta \varepsilon_0}{\varepsilon_0} + \frac{\Delta l_x}{l_x} + \frac{\Delta l_0}{l_0} \quad (40.8)$$

3. Абсолютні похибки l_x та l_0 довжин відрізків реохорда встановлюють через половину ціни найменшої поділки шкали реохорда. Абсолютна похибка ЕРС нормального елемента $\pm 0,00005$ В і тому при розрахунках відносною похибкою $\frac{\Delta \varepsilon_0}{\varepsilon_0}$ можна нехтувати.

4. За формулою (40.8) підрахувати відносну похибку $\frac{\Delta \varepsilon_x}{\varepsilon_x}$, а потім абсолютну похибку $\Delta \varepsilon$.

КОНТРОЛЬНІ ПИТАННЯ.

1. Які сили називаються сторонніми силами і яку роль вони відіграють в джерелах струму?
2. Дайте означення електрорушійної сили струму.
3. Запишіть та поясніть закон Ома для повного кола.
4. Запишіть та поясніть закони Кірхгофа.
5. В чому полягає принцип компенсаційного методу визначення ЕРС?
6. Вивести робочу формулу визначення ЕРС методом компенсації.
7. Яка послідовність виконання роботи?
8. Вивести формулу похибок

ДОДАТОК

1. НОРМАЛЬНІ ЕЛЕМЕНТИ. СУЧАСНІ ЕТАЛОНИ НАПРУГИ.

Точність вимірювання компенсаційним методом невідомої ЕРС визначається точністю значення відомої ЕРС. Для цього використовуються еталонні джерела струму, які забезпечують

значення ЕРС точністю 0,01%. Такі джерела струму називаються нормальними елементами і використовуються в якості взірцевих мір електрорушійної сили в багатьох галузях вимірювальної техніки. Найбільш поширеним є нормальний елемент Вестона, який був офіційно прийнятий для метрологічних цілей ще в 1892 р. Додатний електрод нормального елемента - Hg, від'ємний - амальгама кадмію або цинку, електроліт – водний розчин сульфата кадмію або цинку. Розрізняють нормальний елемент насичений (електрорушійна сила $1,0185=1,0187$ В) і ненасичений (електрорушійна сила $1,0186=1,0194$ В). При точних вимірюваннях для зручності застосовують одиницю вимірювання **проміл** -ppm (parts per million) — одна мільйонна, промил. $1 \text{ ppm} = 0,0001 \%$. Нормальні елементи Вестона дають стабільність ЕРС 2 ppm в рік.



Рисунок 40.6
Нормальний елемент

Конструктивно нормальний елемент виконаний в нерозбірному циліндричному корпусі з виводами для під'єднання до електричної схеми. Складові речовини елемента герметично закриті в скляну оболонку і такий елемент може використовувати на протязі 20 років. На рис 40. 6 показаний вигляд нормального елемента

Разом з тим сучасні нанотехнології вимагають ще більшої точності вимірювань електричних величин. Тому все більшого застосування знаходять еталони напруги на основі квантових ефектів особливо ефекту Джозефена – протікання струму між двома напівпровідниками розділеними тонким шаром діелектрика.

2. АВТОМАТИЧНІ САМОПИШУЧІ ПОТЕНЦІОМЕТРИ.

Компенсаційний метод визначення електрорушійної сили знаходить широке практичне застосування, особливо для дистанційного вимірювання температур за допомогою термопар

Принцип дії термопару базується на термоелектричних явищах. Термопара складається з двох, (тобто пари) різнорідних

провідників, сполучених кінцями так, що вони утворюють два контакти. Контакти поміщають в середовища з різною температурою і в результаті термоелектричних явищ між цими контактами виникає електрорушійна сила, яка пропорційна різниці температур контактів. Таким чином, вимірявши цю різницю потенціалів, можна визначити різницю температур, що практично здійснюється автоматичними самопишучими потенціометрами, які широко застосовуються в різних галузях техніки. На рис. 40.7 наведені принципова схема та загальний вигляд сучасного самопишучого потенціометра.

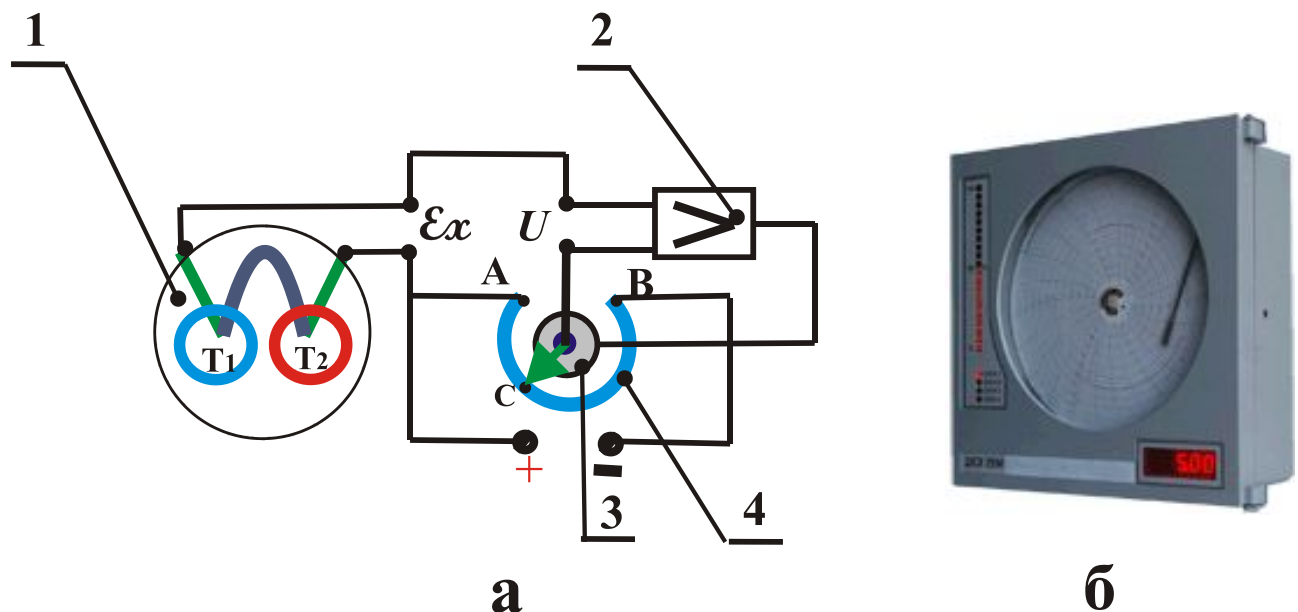


Рисунок 40.7

- а-** принципова схема самопишучого потенціометра
 1-термопара, 2-підсилювач, 3-електродвигун, 4-реохорд
б- сучасний самопишучий потенціометр ДИСК -250

Так, якщо термопари знаходяться при різних температурах T_1 та T_2 , то між ними виникає електрорушійна сила $\mathcal{E}_x$, яку визначають компенсаційним методом. Якщо напруга на ділянці AC реохорда AB не компенсує цю електрорушійну силу, то виникає так звана напруга розбалансу U , яка поступає на вхід підсилювача 2

і підсилений сигнал керує роботою електродвигуна, переміщаючи рухомий контакт С, поки цей сигнал розбалансу щезне і відбудеться компенсація електрорушійної сили термопари.

Смопишучий електронний потенціометр ДИСК-250, який показаний на рис. 40.7 вимірює і автоматично записує значення термоелектрорушійної сили від нуля до 100 Мв, а також користуючись стандартними термопарами з пари металів хромель-копель автоматично записує значення температур, яка фіксується такою термопарою.

3.ЕЛЕКТРОКАРДІОГРАФІЯ.

Електрокардіографія, ЕКГ - це метод графічної реєстрації з поверхні тіла людини електричних явищ, які виникають у серцевому м'язі під час серцевого циклу. Цей метод був винайдений датським вченим Вілліамом Ейнтховеном, за що він отримав в 1924р. Нобелівську премію. Прилад, за допомогою якого отримують електрокардіограму – це, по суті, потенціометр, який вимірює і записує різницю потенціалів між електродами, які накладаються на тіло людини. Для отримання кардіограми Ейнтховен запропонував використовувати три електроди за схемою трикутника, яка була названа в його честь трикутником Ейнтховена і до цього часу збереглося у кольорі позначення електродів, як вказано на рис. 40.8

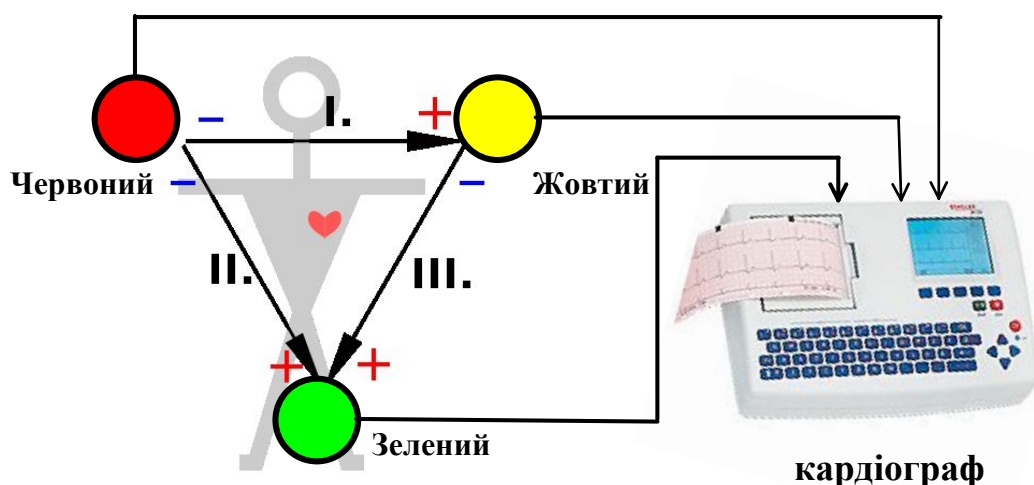


Рисунок 40.8

Трикутник Ейнтховена. Розташування та колори електродів для отримання електрокардіограми
Ліва рука –червоний ,права –жовтий ,права нога –
зелений електрод

ристовуються ще один електрод (чорний) до правої ноги як заземлення (на рисунку не вказаний).

Криву, яка відображає електричну активність серця, називають електрокардіограмою (ЕКГ). Таким чином, ЕКГ - це запис коливань

різниці потенціалів, які виникають у серці під час його збуджень. Кардіограму, що відповідає різниці потенціалів між двома електродами називають відведеннями. Наприклад, між червоним та жовтим електродами - це перше відведення.

При графічному записі електрокардіограми в будь-якому відведенні в кожному циклі спостерігається сукупність актерних зубців, які прийнято позначати буквами Р, Q, R, S і Т (див. рис. 40.9).

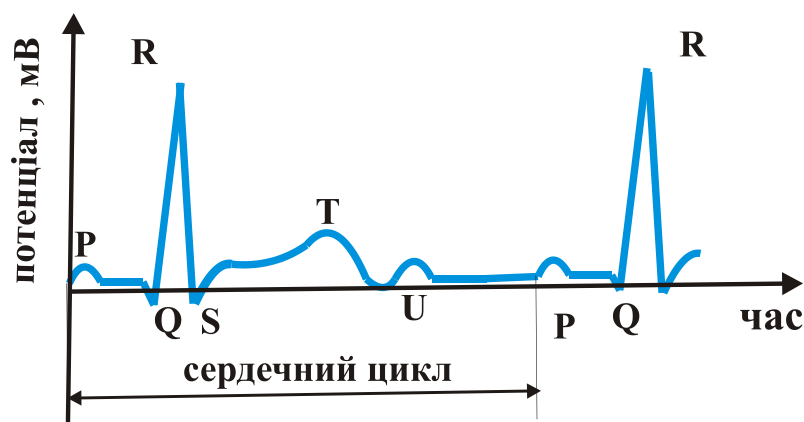


Рисунок 40.9
Нормальна кардіограма

Вважається, що зубець Р відображає процеси деполяризації в області передсердя, інтервал Р—Q характеризує процес розповсюдження збудження в передсерді, комплекс зубців QRS — процеси

деполяризації в шлуночках, а сегмент S—Т і зубець Т—процеси реполяризації в шлуночках. Таким чином, комплекс зубців QRST характеризує розповсюдження електричних процесів в серці. Важливе діагностичне значення мають тимчасові і амплітудні характеристики складових електрокардіограми. У другому стандартному відведенні в нормі амплітуда зубця R складає 0,8—1,2 мВ, а амплітуда Q не повинна перевищувати 1/4 цієї величини. Тривалість інтервалу Р—Q в нормі складає 0,12—0,20 с комплексу QRS— не більше 0,08 с а сегмент S—Т— 0,36—0,44 с.

Електрокардіографія є одним з основних методів дослідження серця і діагностики захворювань серцево-судинної системи.

**Українсько- англійський словник найбільш вживаних
термінів з електростатики по постійного струму**

електровимірювальний прилад- electrical measuring instrument

електричний заряд – electric charge

закон Кулона -Coulomb's Law

електричне поле- electric field

напруженість електричного поля –intensity of electric field

силов ліній – the line of force

потік напруженості електричного поля – the flux of the intensity of electric field

потенціал електричного поля –potential of electric field

одиниця потенціалу – unit of potential

еквіпотенціальна лінія –equipotential line

електричний диполь – electric dipole

діелектрична проникність –dielectric permittivity

поляризація діелектрика- polarization of dielectric

електроємність –capacitance

конденсатор- capacitors

осцилограф –oscillograph

чутливість осцилографа –sensitivity of oscillograph

електронно-променева трубка – cathode –ray tube

постійний струм- direct current (DC)

змінний струм- alternating current (AC)

густина струму – density of current

провідник –conductor

закон Ома - Ohm's Law

опір провідника- resistance of conductor

питомий опір – specific resistance
питома провідність –specific conductivity
сторонні сили –outside forces
електрорушійна сила – electromotive force (EMF)
правила Кірхгофа - Kirchhoff's rules

ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Андрейко А.М., Білінський Ю.М., Березіна Б.І. Гасій С.П. Лабораторний практикум з фізики. Частина 2. Електрика і магнетизм / А.М. Андрейко, Ю.М. Білінський, Б.І. Березіна, С.П. // Видавництво Львівської політехніки, 2006.-204 с.
2. Бабак В.П., Єременко В.С., Куц Ю.В., Мокійчук В.М. Цифрові вимірювальні прилади / В.П. Бабак, В.С. Єременко, Ю.В. Куц, В.М. Мокійчук // Видавництво «НАУ-друк», 2006.- 168 с.
3. Бушок Г.Ф., Венгер Є.Ф. Курс фізик, кн..2./ Г.Ф. Бушок, Є.Ф. Венгер // -К.: Либідь, 2001. -424 с.
4. Детлаф А.А., Лебедев А.Г., Яворський Б.М. Довідник з фізики для інженерів та студентів вищих навчальних закладів / А.А. Детлаф, А.Г. Лебедев, Б.М. Яворський // К.: Либідь, 2007.-1040 с.
5. Куліш В.В., Кузнєцова О.Я., Білоус О.І. Лабораторний зошит з фізики для студентів заочної форми навчання / В.В. Куліш, О.Я. Кузнєцова, О.І. Білоус // К.: Книжкове вид-во НАУ, 2008. – 232 с.
6. М. Кучерук, І.Т. Горбачук, П.П. Луцик. Загальний курс фізики, т .2, Електрика і магнетизм / І.М. Кучерук, І.Т., Горбачук, П.П. Луцик//. – К.: Техніка, 2006. – 452 с.