

Міністерство освіти і науки України
ЗАХІДНОУКРАЇНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ
Факультет комп'ютерних інформаційних технологій

Кафедра комп'ютерної інженерії

Методичні вказівки до виконання
лабораторних робіт з дисципліни
"ФІЗИКА"

Тернопіль, ЗУНУ – 2023

І.Р. Паздрій, Б.Б. Дериш / Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт з дисципліни "Фізика" для студентів напрямку «Комп'ютерна інженерія». - Тернопіль, 2023. – 77 с.

Укладачі: Паздрій І.Р. к.т.н., доц. кафедри КІ, Дериш Б.Б. викладач кафедри КІ.

Відповідальний за випуск: Дубчак Л.О. к.т.н., доцент кафедри КІ ЗУНУ.

Рецензенти: Басістий П.В, к.т.н., доцент кафедри фізики та методики її викладання Тернопільського державного педагогічного університету ім. В.Гнатюка
Трембач Р.Б. – к.т.н., доцент кафедри автоматизації технологічних процесів і виробництв Тернопільського національного технічного університету ім. І. Пулюя.

Методичні вказівки розглянуто та рекомендовано до друку на засіданні кафедри комп'ютерної інженерії протокол № 3 від 24.10.2022 р.

Методичні рекомендації затверджено на засіданні групи забезпечення спеціальності за напрямом підготовки "Комп'ютерна інженерія" протокол № 2 від 24.10.2022 р.

Лабораторний фізичний практикум — одна з основних форм навчального процесу у ВУЗі, яка передбачає поглиблення розуміння і застосування на практиці основних формул та законів фізики, набуття навичок користування електровимірювальними приладами, вибору оптимального обладнання для вимірювання досліджуваних величин, використання обчислювальної техніки та проведення якісного аналізу отриманих даних.

При підготовці до лабораторної роботи студент повинен:

- опрацювати теоретичний матеріал за конспектом або за одним з підручників;
- вивчити хід виконання лабораторної роботи;
- звернути увагу на обладнання, яке використовується при виконанні лабораторного завдання;
- проаналізувати основні зауваження та ПТБ до проведення даної лабораторної роботи;
- вміти за робочою формулою обчислювати досліджувані величини, а також визначати похибки експерименту.

У разі виникнення труднощів при підготовці чи виконанні лабораторної роботи студенту слід звернутися за консультацією до викладача.

Вступне заняття

Фізика, одна з найважливіших галузей сучасного природознавства, є дослідною наукою. Дослід — форма емпіричного пізнання об'єктивної дійсності, одним з основних методів наукового дослідження.

Експеримент ґрунтується на забезпеченні відтворення явища в лабораторній обстановці і супроводжується, по можливості, точними, вимірюваннями та математичною обробкою даних.

Фізичні величини та їх вимірювання.

Певні властивості об'єктів матеріального світу можна охарактеризувати фізичними величинами.

Фізична величина — це властивість, в якісному відношенні загальна для багатьох фізичних об'єктів (фізичних систем, їхніх станів і процесів, що в них відбуваються), але в кількісному відношенні індивідуальна для кожного об'єкта. Фізичними величинами є маса, довжина, температура, період коливань тощо.

Розмір фізичної величини — це кількісний вміст у даному об'єкті властивості, яка відповідає поняттю “фізична величина”.

Значенням фізичної величини називається оцінка фізичної величини за допомогою деякого числа прийнятих для неї одиниць.

Одиниця фізичної величини — це фізична величина, якій за означенням надано числове значення, що дорівнює 1.

Знаходження значень фізичної величини дослідним шляхом за допомогою спеціальних технічних засобів називають *вимірюванням*.

Виміряти фізичну величину означає порівняти її з однорідною величиною, вибраною за одиницю вимірювання.

Всі одиниці фізичних величин можна поділити на системні і позасистемні.

Системні одиниці — сукупність одиниць, об'єднаних теоретичним способом у певну систему.

Позасистемні одиниці — сукупність довільно встановлених одиниць фізичних величин.

Розмірність величини — це добуток позначень основних величин, піднесених у відповідні степені, який є якісною характеристикою.

Велика кількість одиниць фізичних величин, а також значне число систем одиниць невиправдано утруднювали розвиток фізико-технічних наук, проведення науково-технічних розрахунків, пов'язаних з переведенням значень вимірюваних величин з однієї системи в іншу, ставали на перешкоді міжнародним економічним, торговельним та науковим зв'язкам.

У жовтні 1960 р. XI Генеральною конференцією з мір та ваги було прийняте рішення про встановлення Міжнародної системи одиниць (The International System of Units). Скорочена назва «СІ» (міжнародна «SI»). Це стало важливим етапом у розвитку міжнародної метрологічної науки.

Основні одиниці Міжнародної системи одиниць

Найменування величин	Одиниця		
	Найменування	Позначення	
		українське	міжнародне
Довжина	метр	м	m
Маса	кілограм	кг	kg
Час	секунда	с	s
Сила електричного струму	ампер	А	A
Термодинамічна температура	кельвін	К	K
Сила світла	кандела	кд	kd
Кількість речовини	моль	моль	mol

Вимірювання виконується за допомогою засобів вимірювання.

Засіб вимірювання — це технічний засіб, який використовується при вимірюваннях і має нормовані метрологічні властивості. До засобів вимірювання належать:

1) *міри* — засоби вимірювання, призначені для відтворення фізичної величини заданого розміру;

2) *вимірювальні прилади* — засоби вимірювання, призначені для вироблення сигналу вимірюваної інформації у формі, доступній для безпосереднього сприймання спостерігача;

3) *вимірювальні установки* — сукупність функціонально об'єднаних засобів вимірювання (мір, вимірювальних пристроїв, вимірювальних перетворювачів) та допоміжних пристроїв, що призначені для вироблення сигналів вимірюваної інформації у формі, зручній для безпосереднього сприймання спостерігачем.

Залежно від природи вимірюваної величини, будови засобу вимірювання, потрібної точності, зручності і швидкості вимірювання застосовують різні методи вимірювання (метод вимірювання — це сукупність прийомів використання принципів і засобів вимірювання):

- а) *метод безпосередньої оцінки*;
- б) *метод порівняння з мірою*;
- в) *метод протиставлення*;
- г) *диференціальний метод*;
- д) *нульовий метод*;
- е) *метод збігів*.

Похибки вимірювань.

Виміряти фізичну величину абсолютно точно неможливо. Причиною виникнення похибок є недосконалість методів і засобів вимірювання, неповнота наших знань або труднощі врахування всіх факторів, які зумовлюють перебіг певного явища, а також обмежені можливості наших органів чуттів та інші причини.

Важливо усвідомити, що фізика є точною наукою не тому, що вимірювання фізичних величин абсолютно точні — цього досягти взагалі

неможливо, а тому, що в кожному окремому випадку можна вказати граничні значення, між якими перебуває вимірювана величина.

Абсолютна похибка вимірювання — відхилення результату вимірювання від істинного значення вимірюваної величини, виражене в одиницях вимірюваної величини

$$\Delta x_i = X - x_i,$$

де x_i — значення, здобуте при одному з вимірювань; X — істинне значення вимірюваної величини. Оскільки значення X залишається невідомим, в метрологічній практиці можна лише наближено оцінити похибку вимірювання. Абсолютна похибка має розмірність вимірюваної величини. Запис $x = 0,78 \pm 0,02$ мм означає, що вимірювана величина x визначена лише в інтервалі $0,76 \leq x \leq 0,80$ мм.

Важливим в оцінці якості вимірювання є не саме значення похибки, а те, яку частину вимірюваної величини вона становить. Тому для оцінки якості вимірювань слід користуватись відносною похибкою.

Відносна похибка — це відношення абсолютної похибки вимірювання до істинного значення вимірюваної величини.

Відносна похибка $E = \frac{\Delta x_i}{X}$ виражається у відносних одиницях або у відсотках.

Точність вимірювань (ε) визначається як якість вимірювання, що відображає близькість вимірюваного значення до істинного значення вимірюваної величини:

$$\varepsilon = \frac{X}{\Delta x_i} = \frac{1}{E}.$$

Точність вимірювань в метрологічній практиці безперервно зростає.

Графічне зображення результатів експерименту.

В багатьох випадках при обробці результатів фізичного експерименту слід вдаватися до графічного методу, який дає можливість наочніше подавати результати експерименту — залежність функції y (величина, закономірність якої вивчається) від аргументу x (величина, від зміни якої залежить значення функції), а також графічно знаходити величини y для таких значень x , які безпосередньо вимірюванням не досліджувались. Наприклад для значення x , проміжного між двома вимірюваннями x_1 і x_2 (інтерполяція; під інтерполяцією розуміють, по-перше, знаходження значень функції для проміжних значень аргументу x і, по-друге, в чисельному аналізі інтерполяцією називається заміна функції $y = f(x)$ на проміжку $[a, b]$ деякою іншою функцією $\varphi(x)$, яка в точках x_0, x_1, \dots, x_n набуває тих самих значень, що й функція $y = f(x)$).

При побудові графіків найчастіше використовують прямокутну систему координат. Координатні осі використовують як функціональні шкали. Функціональною шкалою називається множина мічених точок, які

відображають окремі значення функції та її аргументу. Шкали можуть бути рівномірними і нерівномірними.

Для побудови графіків слід насамперед раціонально вибрати масштаб, тобто щоб на графіку цього розміру (аркуш міліметрового паперу) розмістився весь діапазон експериментальних значень фізичних величин, що їх відкладають на координатних осях, і щоб ціна однієї поділки виражалась, по можливості, цілим числом. Одночасно при виборі масштабу слід підпорядковувати точність вимірювання точності відліку за графіком. Крім того, слід акцентувати увагу на чіткому вираженні експериментальних даних (експериментальна крива має бути не дуже крутою і не дуже пологою, бо на таких кривих важко робити відліки). Потрібно, по можливості, використати всю площу графіка (якщо дослідні дані величин x і y набагато відрізняються від нуля, відлік поділок потрібно починати на осях з деяких значень, які трохи менші від одержаних під час дослідження). Після нанесення на функціональні шкали міток біля них пишуть необхідні цифри. На кінцях координатних осей (шкал) наносять позначення величин, які відкладаються, після коми записують одиниці їх вимірювання.

ВИЗНАЧЕННЯ ГУСТИНИ РЕЧОВИНИ ТІЛ ПРАВИЛЬНОЇ ГЕОМЕТРИЧНОЇ ФОРМИ МЕТОДОМ БЕЗПОСЕРЕДНІХ ВИМІРЮВАНЬ

МЕТА. 1. Ознайомитися з будовою мікрометра, штангенциркуля, терезів та навчитися користуватися цими приладами.

2. Навчитися визначати густину речовини тіл правильної геометричної форми.

ОБЛАДНАННЯ: мікрометр, штангенциркуль, терези, набір різних тіл правильної геометричної форми.

ОСНОВНІ ТЕОРЕТИЧНІ ВІДОМОСТІ

1. Маса тіла.

Згідно першого закону Ньютона, всі матеріальні тіла мають властивість зберігати стан спокою або рівномірного прямолінійного руху, якщо діючі на них сили взаємозрівноважені. Ця властивість називається інерцією. Мірою інертності тіл є фізична величина, яка називається масою.

Маса — одна з основних характеристик тіла. Вона залежить від розмірів тіла і від природи речовини, з якої складається тіло. Маса характеризує також і гравітаційні властивості тіла; сила притягання між двома тілами прямо пропорційна їх масам. Крім цього, маса визначає запас енергії матеріального тіла

$$E = mc^2$$

m — маса тіла, c — швидкість тіла у вакуумі.

Величина маси може бути визначена по різних її проявах: інерції, тяжіння — шляхом порівнювання з масою еталонного тіла, довільно вибраного за одиницю.

2. Вага тіла.

Вага тіла — це сила, з якою нерухоме відносно Землі тіло тисне на горизонтальну опору або розтягує підвіс. Вагу тіла можна представити як рівнодійну двох сил, які діють на тіло: сили тяжіння, яка направлена до центру Землі та відцентрової сили інерції, що обумовлена обертанням Землі навколо головної осі.

Згідно закону всесвітнього тяжіння, сила тяжіння дорівнює

$$F = g m M_z / R^2$$

де g — гравітаційна стала, m — маса тіла, M_z — маса Землі.

Відцентрова сила інерції дорівнює:

$$f = m \omega^2 R \cos j$$

де ω — кутова швидкість добового обертання Землі.

Так як сила f залежить від географічної широти місця j , то і вага залежить від j . На полюсі вага тіла найбільша і дорівнює силі тяжіння F , на екваторі — найменша (так як $j=0$ і f — максимальна). Практично тіла притягуються по нормалі до земної поверхні і вага тіла в залежності від широти місця змінюється дуже мало.

Між вагою і масою тіла має місце співвідношення:

$$P = mg.$$

3. Густина і питома вага.

Густиною речовини називається фізична величина, яка вимірюється відношенням маси тіла до його об'єму:

$$\rho = m / V \tag{1}$$

Фізичний зміст густини: це фізична величина, яка чисельно дорівнює масі тіла в одиниці об'єму. Формула (1) справедлива лише для однорідних тіл. В неоднорідних тілах густина різних ділянок різна. В цьому випадку вибирають малий об'єм ΔV , в середині якого тіло можна рахувати однорідним. Тоді

$$\rho = \Delta m / \Delta V$$

Перейшовши до границі при $\Delta V \rightarrow 0$ одержуємо формулу густини у випадку неоднорідного тіла

$$\rho = \lim \Delta m / \Delta V \text{ при } \Delta V \rightarrow 0, \rho = dm/dV.$$

Одиниці вимірювання густини г/см^3 , кг/м^3 .

Питоною вагою тіла називається фізична величина, яка вимірюється відношенням ваги тіла у вакуумі до його об'єму.

$$D = P / V$$

У випадку неоднорідних тіл

$$D = dP / dV \quad (2)$$

Одиниці вимірювання питомої ваги дин/см³, Н/м³.

Співвідношення між питомою вагою і густиною таке ж, як між вагою і масою, тобто:

$$D = \rho g$$

В зв'язку з тим, що питома вага залежить від географічної широти місця, від висоти над рівнем моря, на практиці користуються густиною, а не питомою вагою. Як видно з формул (1) і (2), для визначення густини ρ і питомої ваги D необхідно знати масу тіла m , вагу тіла P і його об'єм V . Об'єм тіл правильної геометричної форми може бути легко обчислений за відповідними математичними формулами, а густину цих тіл знайдемо за формулою (1).

Наприклад:

1. *Паралелепіпед*. Його об'єм $V=abc$, де a, b, c — довжина його ребер. Тоді густина дорівнює:

$$\rho = m / abc$$

2. *Циліндр*. Його об'єм $V = \pi d^2 h / 4$ де d — діаметр основи, h — висота циліндра.

Тоді густина дорівнює:

$$\rho = 4m / \pi d^2 h$$

3. *Куля*. Її об'єм $V = \pi d^3 / 6$, де d — діаметр. Тоді густина дорівнює:

$$\rho = 6m / \pi d^3$$

4. *Циліндричне кільце*. Його об'єм і густина речовини відповідно рівні:

$$V = \pi h ((d_{\text{зов}}^2 - d_{\text{вн}}^2)) / 4,$$

$$\rho = 4m / (\pi h (d_{\text{зов}}^2 - d_{\text{вн}}^2))$$

де $d_{\text{зов}}$ — діаметр зовнішній, $d_{\text{вн}}$ — внутрішній діаметр, h — висота.

Необхідні для обчислення лінійні розміри тіл (висота, діаметр, довжина) можуть бути визначені шляхом безпосередніх вимірювань за допомогою мікрометра або штангель циркуля, а масу — на терезах.

ОПИС ПРИЛАДІВ

ТЕРЕЗИ.

В даній роботі масу визначаємо за допомогою важільних терезів. Важільні терези складаються з коромисла, яке являє собою прямолінійний рівноплечий важіль. Ребро сталюї призми, вмонтованої посередині коромисла, спирається на агатову пластинку, що лежить зверху колонки терезів, на кінцях коромисла є також сталюї призми, на які за допомогою сережок підвішуються шальки терезів. До середини коромисла, перпендикулярно до лінії, що сполучає крайні призми, прикріплено довгу стрілку, за якою визначається положення коромисла. При коливанні коромисла кінець цієї стрілки переміщується вздовж шкали, яка закріплена на основі колонки. Шкала по середині має поділку 10, крайня ліва позначається 0, крайня права — 20. Тобто, шкала має 20 поділок. Щоб оберегти призму від затуплення, а терези від псування, внизу колонки є спеціальний пристрій — аретир, яким піднімають коромисло та шальки терезів, коли терезами не користуються.

На технічних терезах можна зважувати з точністю до 0,01г. До терезів додаються у футлярі важки від 100г до 1г та від 10мг до 500мг.

Правила користування технічними терезами.

1. Відпустити аретир і перевірити справність терезів.
2. Якщо терези не аретировані, не можна класти на шальки терезів або знімати з них досліджуване тіло і важки.
3. Досліджуване тіло класти на ліву шальку, а важки — на праву.
4. Важки вибирати тільки пінцетом.
5. Закінчивши дослідження, терези треба аретирувати, важки зняти з шальок і покласти у відповідні гнізда футляра.

ШТАНГЕНЦИРКУЛЬ.

Основні частини: штанга з шкалою, нижні вимірні ніжки, верхні вимірні ніжки і рухома з ноніусом, яка може ковзати вздовж основної шкали штанги. При щільно зсунутих вимірних ніжках нульова поділка ноніуса співпадає з нульовою поділкою шкали штанги. При вимірюванні предмет щільно затискають нижніми вимірними ніжками і проводять відлік по шкалі. Ноніус (рухома рамка з ноніусом) служить для підвищення точності вимірювання. Лінійний ноніус являє собою невеличку лінійку, яка може ковзати вздовж основної шкали.

МІКРОМЕТР.

Складається з пустотілого стержня, який жорстко з'єднаний з скобою. В середину стержня загвинчено мікрометричний гвинт. При вимірюванні предмет затискають між нерухомим стержнем і рухомих торцем мікрометричного гвинта. Обертання мікрометричного гвинта здійснюється за допомогою рукоятки. При вимірюванні за допомогою мікрометра головним джерелом похибок є нерівномірність натиску гвинта на вимірювальний предмет.

ПРИМІТКА. Якщо при вимірюванні над поздовжньою лінією стержня (тобто на верхній лінійній шкалі) після відрахованого числа цілих міліметрів виступає ще одна поділка, то до одержаного результату необхідно додати ще 0,5мм.

ПОСЛІДОВНІСТЬ ВИКОНАННЯ РОБОТИ

1. На технічних терезах визначити масу досліджуваних тіл.
2. Виміряти лінійні розміри тіл, які необхідні для визначення об'ємів.
3. Результати вимірювання та абсолютні похибки занести в таблицю. Кожне вимірювання провести тричі для кожного тіла і для кожної величини знайти середнє значення. Підставляючи у відповідні формули для визначення густини одержані середні значення даних, знаходимо середні значення густини речовини тіл правильної геометричної форми.
4. Визначити похибки і записати кінцевий результат у вигляді:

$$\rho = \rho_{\text{ср}} \pm \Delta\rho_{\text{ср}}$$

$$E = (\Delta\rho_{\text{ср}} / \rho_{\text{ср}}) 100\%$$

Таблиця 1. Паралелепіпед.

№ п\п	a,	b,	c,	m,	ρ ,	$\Delta\rho$,
1.						
2.						
3.						
Середнє						

$$\rho =$$

$$E =$$

Таблиця 2. Циліндр.

№ п\п	d,	h,	m,	ρ ,	$\Delta\rho$,
1.					
2.					
3.					
Середнє					

$$\rho =$$

$$E =$$

Таблиця 3.

№ п\п	Циліндричне кільце					Куля				
	d _{зовн}	d _{внтр}	h,	m,	ρ ,	$\Delta\rho$,	d,	m,	ρ ,	$\Delta\rho$,
1.										
2.										
3.										
Серед										

$$\rho =$$

$$E =$$

КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

1. Що називається густиною речовини? Що називається питомою вагою? Одиниці вимірювання густини і питомої ваги? Яке співвідношення між питомою вагою і густиною?
2. Будова технічних терезів і правила користування?
3. Будова, принцип дії та правила користування штангель циркулем. Охарактеризувати ноніус. Виконати вимірювання.
4. Будова та призначення окремих частин мікрометра. Правила користування мікрометром.
5. Вивести робочі формули для визначення густини речовини тіл правильної геометричної форми. Як за робочою формулою знайти вираз для обчислення відносної похибки?
6. Як визначити товщину людської волосини?
7. Як зміниться густина дистильованої води при зміні температури від 0°C до 10°C ?
8. Виконати вимірювання розмірів запропонованого тіла мікрометром. Записати результати вимірювання.
9. Що таке абсолютна і відносна похибки вимірювання? Чому дорівнює абсолютна та відносна похибки різниці? суми? добутку? частки?
10. Підлетівши до невідомої планети космічний корабель, виключивши двигун, вийшов на колову орбіту, і космонавти приступили до попередніх досліджень. Чи можуть вони визначити середню густину планети, користуючись для цієї мети лише годинником?

ВИВЧЕННЯ КІНЕМАТИКИ РУХУ МАТЕРІАЛЬНОЇ ТОЧКИ

МЕТА: Вивчити складний рух на прикладі руху тіла кинутого горизонтально.

ОБЛАДНАННЯ: напрямна трубка, металева кулька, лінійка, штатив із затискачем, білий папір, копіювальний папір.

ТЕОРЕТИЧНІ ВІДОМОСТІ

Розглянемо два випадки складного руху: рух тіла кинутого горизонтально і рух тіла, кинутого під кутом до горизонту.

a) Рух тіла, кинутого горизонтально.

Припустимо, що матеріальній точці, яка знаходиться на деякій висоті над вибраною поверхнею, в момент часу $t=0$ надано початкової швидкості \vec{v}_0 в горизонтальному напрямку. Тоді точка братиме участь у двох рухах (рис.1).

По-перше, вона рухатиметься горизонтально із сталою швидкістю \vec{v}_0 (в горизонтальному напрямку не діють ніякі сили), проходячи в послідовні одиничні проміжки часу однакові відстані OX_1, X_1X_2, X_2X_3 і т.д.

По-друге, вона падатиме по вертикалі під дією сили тяжіння з прискоренням \vec{g} , проходячи відповідно за одну секунду шлях OY_1 , за дві секунди – OY_2 , за три секунди – OY_3 і т.д. Причому $OY_1 : OY_2 : OY_3 : \dots = 1^2 : 2^2 : 3^2 : \dots$

Так, як матеріальна точка M приймає одночасно участь в обох рухах, то вона пройде через точки P_1, P_2, P_3, \dots , які лежать на кривій, що називається параболою. Справді, шлях пройдений у горизонтальному напрямі визначається рівнянням

$$x = v_0 t. \quad (1)$$

Рівняння другого руху (вертикального) буде:

$$Y = gt^2/2 \quad (2)$$

Виключаючи t з (1) і (2) одержимо рівняння траєкторії:

$$y = \frac{g}{2v_0^2} \cdot x^2 \quad (3)$$

- рівняння параболи.

Отже, тіло, кинуте горизонтально, рухається по параболі, вершина якої лежить у точці кидання.

Час польоту тіла можна визначити із законів вільного падіння: $Y = gt^2/2$,

Звідки $t = \sqrt{2y/g}$,

Оскільки $y=h$, то $t = \sqrt{2h/g}$.

Дальність польоту визначається за формулами:

$$S_x = v_0 t, \quad \text{або} \quad S_x = v_0 \sqrt{2h/g} \quad (4)$$

Кутове відхилення тіла від напрямку кидання можна знайти із співвідношення (рис.1)

$$\text{tg } \alpha = v_y/v_0 = gt/v_0 \quad (5)$$

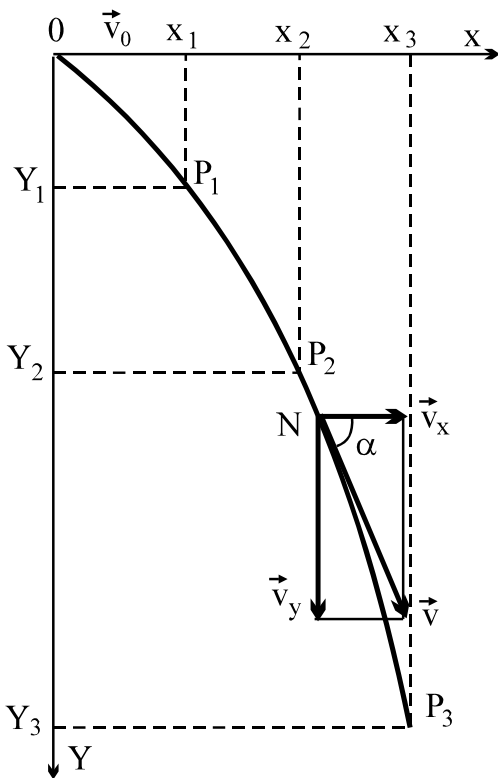


Рис.1.

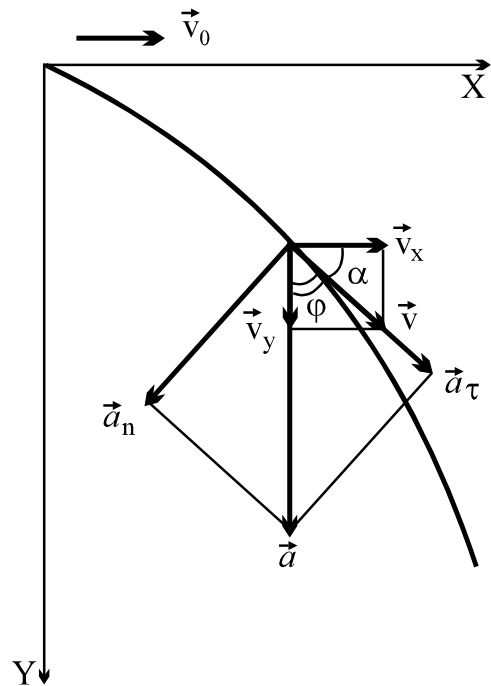


Рис.2.

Як видно з рис.2 швидкість руху тіла в деякий момент часу напрямлена по дотичній $v = \sqrt{v_x^2 + v_y^2}$, де v_x — горизонтальна складова швидкості, v_y — вертикальна складова.

Якщо вертикальна складова дорівнює $v_y = gt$, а горизонтальна $v_x = v_0$, то $v = \sqrt{v_0^2 + g^2 t^2}$

Через те, що горизонтальна складова швидкості тіла весь час залишається сталою, то горизонтальна складова прискорення дорівнює нулю.

Тому повне прискорення тіла весь час дорівнює прискоренню сили тяжіння $\vec{a} = \vec{g}$. Повне прискорення тіла можна розкласти на дві складові (див. рис.2). Перша називається дотичною або тангенціальною \vec{a}_τ складовою, друга нормальною \vec{a}_n . Тангенціальне прискорення характеризує тільки зміну числового значення швидкості з часом, тому визначається за формулою

$$a_\tau = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \left(\frac{\Delta v}{\Delta t} \right) = \frac{dv}{dt}$$

Тангенціальне прискорення напрямлене по дотичній до траєкторії руху в напрямку швидкості або проти, залежно від того, збільшується чи зменшується величина швидкості.

Нормальне або доцентрове прискорення визначає зміну швидкості за напрямком перпендикулярне до вектора швидкості.

Знаючи a_τ і a_n , можна знайти модуль і напрям повного прискорення (рис.2)

$$a = \sqrt{a_\tau^2 + a_n^2}, \quad \operatorname{tg} \varphi = \frac{a_n}{a_\tau}, \quad \text{де} \quad \varphi = 90^\circ - \alpha.$$

б) Рух тіла кинутого під кутом до горизонту.

Тепер розглянемо рух матеріальної точки, кинуті під кутом α до горизонту (рис.3) з початковою швидкістю v_0 . Для його опису зв'яжемо систему відліку із землею і напрямом вісь OX горизонтально, а вісь OY — вертикально. Рисунок доповнятимемо поступово.

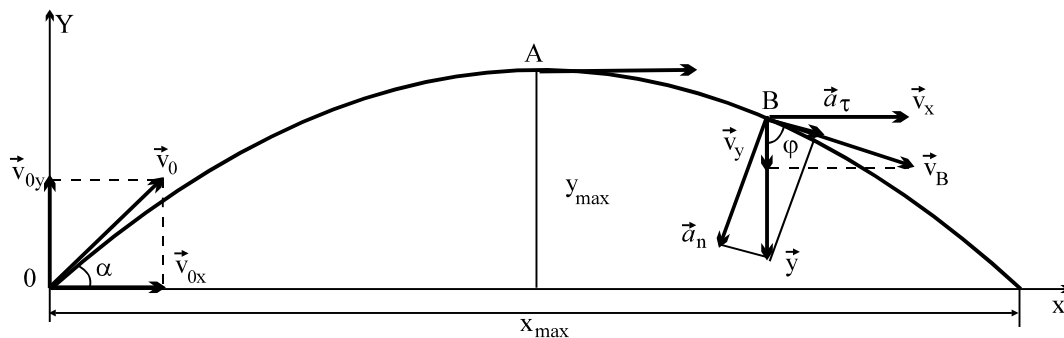


Рис.3.

1) По осі ОХ рух рівномірний, так як в горизонтальному напрямі на тіло ніякі сили не діють.

Залежність координати x від часу визначається так:

$$x = v_0 \cos \alpha \cdot t \quad (6)$$

2) по осі ОУ рух рівно змінний з сталим прискоренням $g=9,8\text{м/с}^2$ напрямленим проти осі ОУ, так як на тіло діє стала сила $m\vec{g}$. Залежність координати y від часу для цього руху така:

$$y = v_0 \sin \alpha t - \frac{gt^2}{2} \quad (7)$$

Вирази (6) і (7) визначають закон руху матеріальної точки кинуті під кутом до горизонту. Виключаючи t з цих виразів одержимо рівняння траєкторії руху:

$$y = x \tan \alpha - \frac{g}{2v_0^2 \cos^2 \alpha} x^2 \quad (8)$$

Це рівняння параболи, вітки якої напрямлені вниз, а вершина зміщена відносно початку координат.

Дальність польоту можна обчислити за формулою:

$$x = \frac{v_0^2}{g} \sin 2\alpha \quad (9)$$

З рівняння бачимо, що дальність польоту найбільша при $\alpha=45^\circ$.

Найбільшу висоту підняття тіла знайдемо з рівняння (7). Підставляючи в нього

$$t_{\text{підйому}} = \frac{t}{2} = \frac{2v_0}{g} \sin \alpha, \text{ одержимо } y = \frac{v_0^2}{2g} \sin^2 \alpha \quad (10)$$

Для визначення нормального і тангенціального прискорення в довільній точці траєкторії розглянемо точки А і В (рис.3). В найвищій точці траєкторії А проекція швидкості \vec{v} на вісь ОУ дорівнює нулю, а на вісь ОХ $v_0 = \text{const}$. Отже в точці А тангенціальне прискорення тіла дорівнює нулю, нормальне прискорення $a_n = g$. В точці В (точка знаходиться за вершиною) розкладемо вектор швидкості \vec{v} на \vec{v}_x і \vec{v}_y . Повне прискорення тіла в цій точці дорівнює g . Розкладемо його на \vec{a}_n і \vec{a}_τ . З рис.3 випливає, що $a_n = g \sin \phi$ і $a_\tau = g \cos \phi$, де ϕ —кут між \vec{g} і \vec{a}_τ , причому $\sin \phi = \frac{v_x}{v} = \frac{v_x}{\sqrt{v_x^2 + v_y^2}}$; $\cos \phi = \frac{v_y}{\sqrt{v_x^2 + v_y^2}}$.

ОПИС УСТАНОВКИ

Установка для дослідження руху тіла, кинутого горизонтально (рис.4) складається з направляючої трубки, закріпленої в штативі за допомогою затискача так, що кулька

спрямовується горизонтально. У верхній частині трубки є бокові отвори, в які вставляється перекидина (дротина) на яку розміщують кульку перед пуском. Перекидина забезпечує пуск кульки з однієї і тої ж висоти. Місце удару кульки об стіл фіксують на білому папері, розміщеному у жолобі, зверху на копіювальному папері.

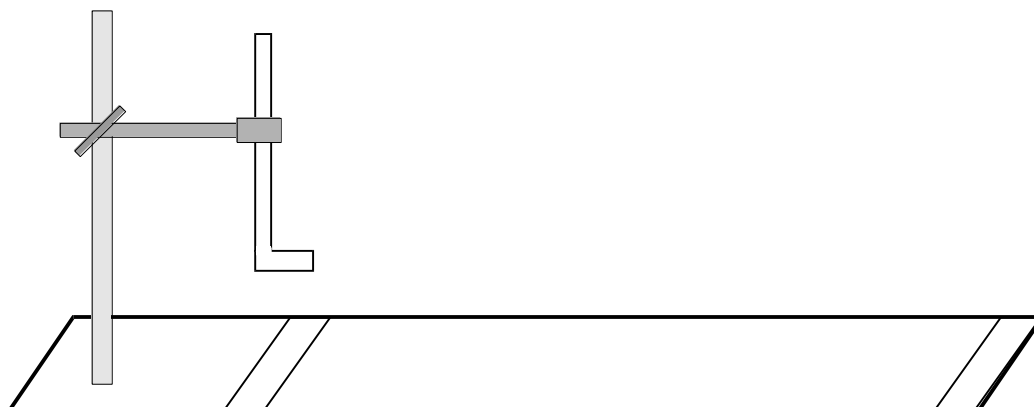


Рис.4.

ПОСЛІДОВНІСТЬ ВИКОНАННЯ РОБОТИ

1. Закріпити напрямну трубку у штативі так, щоб кулька вилітала з неї горизонтально.
2. У жолоб покласти копіювальний папір, а зверху нього білий.
3. Опустити кульку в трубку і витягнути перекидину.
4. Провівши п'ять кидань, виміряти висоту вилітання кульки h_1 і дальність кожного польоту $l_1 \dots l_5$ (відстань по горизонталі від вертикалі, проведеної через кінець трубки, до місця падіння кульки).
5. Дані записати в таблицю.
6. Аналогічні досліди провести для різних висот h_2, h_3, h_4, h_5 , вимірюючи при цьому відповідні дальності польоту кульки $l_1 \dots l_5$. Результати вимірювань записувати в таблицю.
7. Обчислити:
 - а) середні значення l_1, l_2, l_3, l_4, l_5 ;
 - б) час польоту кульки за формулою $t = \sqrt{2h/g}$;
 - в) початкову швидкість кульки при вильоті із трубки, використовуючи при цьому середнє значення l і відповідне значення t :

$$v_0 = \frac{l_{cp}}{t};$$
 - г) середню початкову швидкість;
 - д) абсолютну та відносну похибки.
8. За отриманими даними перевірити співвідношення: $l_{cp1} : l_{cp2} : l_{cp3} : l_{cp4} : l_{cp5} = t_1 : t_2 : t_3 : t_4 : t_5$
9. В масштабі побудувати траєкторію руху кульки при різних h .

№ пп	$h,$	$l_1,$	$l_2,$	$l_3,$	$l_4,$	$l_5,$	$l_{cp},$	$t,$	$V_0,$	$\Delta V_0,$
1.										
2.										
3.										
4.										
5.										
V_{0cp}	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----		

КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

1. Основні поняття кінематики: основна задача механіки, система відліку, поступальний рух.
2. Швидкість, прискорення і переміщення при рівноприскореному русі.
3. Рух тіла по кривій.
4. Порядок виконання роботи.

ЗАДАЧІ

1. М'яч кинуто горизонтально з швидкістю $9,8$ м/с. Через скільки часу і в якому місці нормальне прискорення буде вдвічі більше за тангенціальне?
2. Людина стрибає у воду із крутого берега висотою 5 м, маючи після розбігу початкову швидкість $6,7$ м/с. Визначити модуль і напрям швидкості людини при досягненні нею води.
3. Дальність польоту тіла, кинутого горизонтально з швидкістю 10 м/с дорівнює висоті з якої його кинуто. З якої висоти кинули тіло?
4. Під яким кутом до горизонту необхідно кинути тіло, щоб висота підйому була рівною половині дальності польоту? Опір повітря не враховувати.
5. Камінь кинуто горизонтально з швидкістю 15 м/с. Знайти швидкість, а також повне, тангенціальне і нормальне прискорення каменя в кінці другої секунди після початку руху.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №3

ДОСЛІДЖЕННЯ КОЛИВАЛЬНИХ РУХІВ НА МОДЕЛІ МАТЕМАТИЧНОГО МАЯТНИКА

МЕТА: Ознайомлення з законами коливання математичного маятника та визначення за його допомогою прискорення сили тяжіння.

ОБЛАДНАННЯ: Математичний маятник, секундомір, масштабна лінійка.

ТЕОРЕТИЧНІ ВІДОМОСТІ

Падіння тіл на Землі - один з проявів закону всесвітнього тяжіння, відкритого І. Ньютоном. Згідно з законом всесвітнього тяжіння сила взаємодії двох матеріальних точок з масами m_1 і m_2 на віддалі R визначається рівнянням:

$$F = \gamma \frac{m_1 m_2}{R^2} \quad (1)$$

де $\gamma = 6.67 \cdot 10^{-11} \frac{H^2 \cdot M^2}{K^2}$ - гравітаційна стала.

Дослідження, проведені ще Ньютоном, показали, що в даному місці на Землі всі тіла падають з однаковим прискоренням. На основі закону всесвітнього тяжіння це прискорення дорівнює

$$g = \gamma M / R^2, \quad (2)$$

де M - маса Землі, R - радіус Землі для даного місця.

Визначення прискорення сили тяжіння дало можливість обчислити масу Землі і середню її густину: $M = 5.96 \cdot 10^{24} \text{ кг}$; $\rho = 5.5 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$.

Збільшення прискорення сили тяжіння при переміщенні від екватора до полюсів показало, що Земля має форму еліпсоїда. Прискорення на широті 45° $g = 9.80665 \text{ м/с}^2$ домовились називати нормальним прискоренням.

Земна кора в різних місцях має неоднаковий склад, тому в місцях, де кора має більшу густину, прискорення збільшується. Це покладено в основу методу розвідування корисних копалин.

За законом всесвітнього тяжіння в міру віддалення від Землі прискорення зменшується обернено пропорційно до віддалі від центра Землі. Це зменшення стає істотним і береться до уваги при обчисленні рухів штучних космічних тіл.

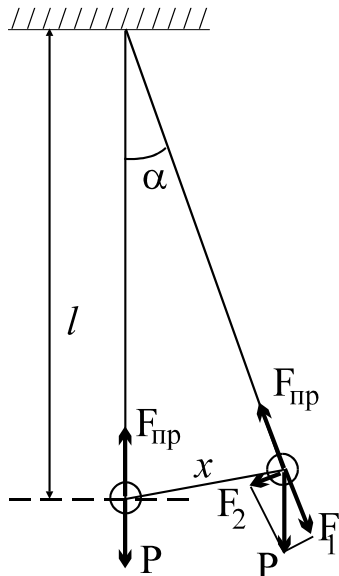
Одним з методів визначення прискорення вільного падіння тіл є метод використання математичного маятника. Математичним маятником називається матеріальна точка, підвішена на довгій, тонкій, нерозтяжній нитці, масою якої можна знехтувати. Моделлю математичного маятника може служити тягарець, підвішений на довгій ($l \gg r_k$) практично нерозтяжній нитці, масою якої можна знехтувати порівняно з масою тягарця ($m_n \ll m_k$).

Коливання математичного маятника відбувається під дією сили тяжіння. Коли маятник перебуває в положенні рівноваги, то сила тяжіння зрівноважується силою пружності нитки. Якщо маятник відхилити на кут α (мал.1), то сила пружності нитки буде зрівноважувати лише одну складову сили тяжіння F_1 , яка напрямлена вздовж нитки, друга ж складова F_2 , напрямлена до положення рівноваги, залишається незрівноваженою і є тією силою, під дією якої відбувається коливання маятника. Як видно з мал. 1. ця сила дорівнює:

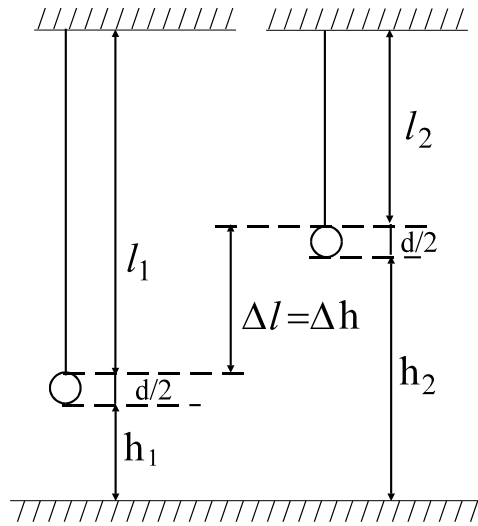
$$F_2 = -P \sin \alpha \quad \text{або} \quad F_2 = -Px/l \quad (3)$$

при малих кутах відхилення ($10-15^\circ$), коли можна замінити синус кута тангенсом $\sin \alpha \approx \text{tg} \alpha \approx x/l$.

Тут P - вага кульки l - довжина нитки, x - величина зміщення кульки від положення рівноваги.



Мал.1



Мал.2

Знак мінус у виразі (3) стоїть тому, що сила завжди напрямлена проти зміщення x , тобто є повертаючою силою.

З виразу (3) виходить, що повертаюча сила F_2 пропорційна зміщенню x . Під дією сили, пропорційній зміщенню і напрямленій до положення рівноваги виникають, як відомо, гармонійні коливання, тобто коливання, які описуються рівняннями синусоїди або косинусоїди:

$$x = A \sin \omega t \quad (4)$$

де x - величина зміщення коливної точки від положення рівноваги в даний момент часу; A - амплітуда коливань (найбільше відхилення коливної точки від положення рівноваги); $\omega = 2\pi/T$ — циклічна частота (ця величина показує число повних коливань за час 2π секунд); T - період коливань; t - час; ωt - фаза коливання.

На основі другого закону Ньютона можна записати: $F_2 = ma$ і $P = mg$.

Тоді рівність (3) прийме вигляд:

$$ma = -m \frac{g}{l} x \quad \text{і} \quad a = -\frac{g}{l} x \quad (5)$$

де m — маса кульки, a — прискорення, якого набуває кулька під дією повертаючої сили, g — прискорення сили тяжіння.

З другого боку, вираз для прискорення кульки a можна одержати з рівняння (4), маючи на увазі, що прискорення є другою похідною від зміщення по часу:

$$a = \frac{d^2 x}{dt^2} = -A \omega^2 \sin \omega t$$

Але $A \sin \omega t = x$, то $a = -\omega^2 x = -\frac{4\pi^2}{T^2} x$. (6)

З рівностей (5) і (6) одержуємо: $\frac{g}{l} = \frac{4\pi^2}{T^2}$.

Звідси $T = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g}}$. (7)

З цього співвідношення можна визначити прискорення сили тяжіння шляхом вимірювання довжини маятника l і періоду його коливань T .

Безпосереднє вимірювання довжини маятника пов'язане з деякими незручностями, тому вдаються до вимірювання не довжини маятника, а різниці довжин l_1 і l_2 , яким відповідають періоди коливань T_1 і T_2 .

Так, застосовуючи формулу (7) для маятників, довжини яких l_1 і l_2 , періоди коливань відповідно дорівнюють T_1 і T_2 , можна записати:

$$T_1 = 2\pi\sqrt{\frac{l_1}{g}} \quad \text{і} \quad T_2 = 2\pi\sqrt{\frac{l_2}{g}}$$

Якщо піднести обидва вирази до квадрату і відняти другий вираз від першого, то одержимо:

$$T_1^2 - T_2^2 = 4\pi^2 \frac{l_1 - l_2}{g}, \text{ звідки } g = 4\pi^2 \frac{l_1 - l_2}{T_1^2 - T_2^2} \quad (8)$$

За початок відліку приймемо яку-небудь горизонтальну поверхню, наприклад, поверхню стола або підлоги. Так як віддаль від точки підвісу маятника до поверхні стола (підлоги) – величина стала, то можна записати:

$$l_1 + \frac{d}{2} + h_1 = l_2 + \frac{d}{2} + h_2$$

де d — довжина тягарця; h_1 і h_2 — віддалі від нижньої точки тягарця до поверхні стола (підлоги)(мал.2).

З останньої рівності одержимо:

$$l_1 - l_2 = h_2 - h_1.$$

Тоді формулу (8) можна записати у вигляді:

$$g = 4\pi^2 \frac{h_2 - h_1}{T_1^2 - T_2^2} \quad (9)$$

Віддалі h_1 і h_2 нижньої точки тягарця від поверхні стола (підлоги) з достатньою точністю можна виміряти за допомогою штангенрейсмуса (вертикально встановлена на спеціальній підставці лінійка з ноніусом). При відсутності штангенрейсмуса можна скористатись масштабною лінійкою з міліметровою шкалою.

Необхідно відмітити, що формула (9) може дати значну похибку у визначенні g , якщо різниця $h_2 - h_1$ дуже мала, тобто, якщо будуть близькими значення періодів T_1 і T_2 коливань маятника. Тому при виконанні роботи необхідно встановити такі довжини маятника, щоб різниця $h_1 - h_2$ була великою.

Поглянути, всі варіації та тонкощі функціонування математичного маятника і розглянути ширший спектр чинників, які на них впливають, можна тут ↓



ПОСЛІДОВНІСТЬ ВИКОНАННЯ РОБОТИ

1. Встановити максимально можливу довжину маятника і виміряти відстань h_1 від нижньої точки тягарця до вибраної поверхні.

2. Відхилити маятник на невеликий кут (10-15°) і визначити час за який маятник здійснить n повних коливань ($n=50\div 100$).

3. Визначити період коливань $T_1=t_1/n$. Визначення періоду коливань проводять декілька разів і знаходять його середнє значення

$$T_{1(\text{ср})}=(T_1'+T_1''+T_1''')/3$$

4. Зменшити довжину підвісу маятника і виміряти відстань h_2 від нижньої точки тягарця до вибраної поверхні. Потім аналогічно в описаному пунктах 2 і 3 обчислити період $T_2=t_2/n$ і $T_{2(\text{ср})}=(T_2'+T_2''+T_2''')/3$.

5. Результати вимірювань і обчислень записати в таблицю 1.

6. Повторити дослід ще два рази, змінюючи відстань h_2 .

7. Результати вимірювань і обчислень записати в таблиці 2 і 3.

ТАБЛИЦЯ 1

№	n	h ₁ =			h ₂ =			g	Δg	E
		відповідає довжині l ₁			відповідає довжині l ₂					
		t ₁	T ₁	ΔT ₁	t ₂	T ₂	ΔT ₂			
1										
2										
3										
ср.										

ТАБЛИЦЯ 2

№	n	h ₁ =			h ₂ =			g	Δg	E
		відповідає довжині l ₁			відповідає довжині l ₂					
		t ₁	T ₁	ΔT ₁	t ₂	T ₂	ΔT ₂			
1										
2										
3										
ср.										

ТАБЛИЦЯ 3

№	n	h ₁ =			h ₂ =			g	Δg	E
		відповідає довжині l ₁			відповідає довжині l ₂					
		t ₁	T ₁	ΔT ₁	t ₂	T ₂	ΔT ₂			
1										
2										
3										
ср.										

8. За формулою (9) знайти середнє значення прискорення сили тяжіння.

$$g = 4\pi^2 \frac{h_2 - h_1}{T_{1(\text{ср})}^2 - T_{2(\text{ср})}^2}$$

9. На основі робочої формули одержати формулу для обчислення відносної похибки. Обчислити відносну та абсолютну похибки визначення прискорення сили тяжіння. Абсолютні похибки Δh_1 і Δh_2 визначити за приладом, яким вимірювалась віддаль h_1 і h_2 .

Значення абсолютних похибок $\Delta T_{1(\text{ср})}$ і $\Delta T_{2(\text{ср})}$ обчислити за формулою $\Delta T = \Delta t/n$, де за Δt взяти половину ціни поділки секундоміра.

10. Кінцевий результат записати у вигляді:

$$g = g_{\text{ср}} \pm \Delta g_{\text{ср}} ; \quad E = \Delta g_{\text{ср}} / g_{\text{ср}} 100\%$$

КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

1. Що називається математичним маятником?
2. Що називається періодом, фазою, циклічною частотою і в яких одиницях ці величини вимірюються?
3. Записати рівняння гармонічного коливання, швидкості і прискорення коливної точки.
4. Вивести формулу для періоду коливання математичного маятника.
5. Від чого залежить прискорення сили тяжіння Землі?
6. Які інші методи визначення прискорення сили тяжіння ви знаєте?
7. Два маятники відхилили від своїх положень рівноваги і одночасно відпустили. Перший маятник довжиною 4 м здійснив за деякий проміжок часу 15 коливань, другий за цей самий час зробив 10 коливань. Яка довжина підвісу другого маятника?
8. У скільки разів змінилася повна механічна енергія математичного маятника внаслідок зменшення втричі його довжини та збільшення вдвічі амплітуди?
9. У нерухомому ліфті розміщений математичний маятник, період коливань якого 1 с . З яким прискоренням рухається ліфт, якщо період коливань цього маятника дорівнює $1,1\text{ с}$? В якому напрямі рухається ліфт?
10. За яку частину періоду тіло, яке здійснює гармонійні коливання, проходить весь шлях від середнього положення до крайнього? Першу половину шляху? Другу половину.

ВИВЧЕННЯ ВЛАСНИХ КОЛИВАНЬ СТРУНИ

МЕТА: ознайомлення на досліді з законами власних коливань струни та визначення довжини хвилі.

ОБЛАДНАННЯ: установка для вивчення власних коливань струни.

ТЕОРЕТИЧНА ЧАСТИНА

Внаслідок накладання біжучої і відбитої хвилі утворюється стояча хвиля. Якщо за початок координат взяти точку, в якій біжуча і відбита хвилі мають однакову фазу, а за початок відліку часу взяти той момент, в який фази обох коливань дорівнюють нулю, то рівняння біжучої і відбитої хвилі можна записати у вигляді:

$$\zeta_1 = A_0 \sin(\omega t - \frac{2\pi}{\lambda} x) \quad \zeta_2 = A_0 \sin(\omega t + \frac{2\pi}{\lambda} x)$$

Результуюче коливання знайдемо, додавши два коливання

$$\xi = \zeta_1 + \zeta_2 = 2A_0 \cos \frac{2\pi}{\lambda} x \sin \omega t \quad (1)$$

Рівняння (1) - це рівняння стоячої хвилі. З нього видно, що амплітуда A коливального руху змінюється при переході від однієї точки до іншої.

$$A = | 2A_0 \cos \frac{2\pi}{\lambda} x | \quad (2)$$

Рівняння (1) описує гармонічні коливання частинок середовища в просторі, амплітуда коливань яких в різних точках різна. В (1) немає швидкості поширення фази коливань.

У точках, для яких виконується умова

$$\frac{2\pi}{\lambda} x = \pm \pi n, \quad n=0,1,2,3, \dots \quad (3)$$

амплітуда результуючого коливання досягає максимального значення і дорівнює $2A_0$. Ці точки називають пучностями. Координати пучностей визначаємо з умови:

$$x_{пучн} = \pm \pi n, \quad n=0,1,2,3, \dots \quad (4)$$

Із (4) видно, що віддаль d між двома сусідніми пучностями дорівнює половині довжини хвилі: $d = \lambda/2$.

У точках, для яких виконується умова:

$$\frac{2\pi}{\lambda} x = \pm (n + \frac{1}{2}) \pi, \quad n=0,1,2,3, \dots \quad (5)$$

амплітуда результуючого коливання в будь-який момент часу дорівнює нулю. Такі точки називаються вузлами стоячої хвилі. Частинки середовища, які знаходяться у вузлових точках, коливань не здійснюють. Знайдемо координати вузлових точок з умови (5):

$$x_{вузл} = \pm (n + \frac{1}{2}) \frac{\lambda}{2}, \quad n=0,1,2,3, \dots \quad (6)$$

Із (6) видно, що віддаль d між двома сусідніми вузловими точками дорівнює половині довжини хвилі:

$$d = \lambda/2. \quad (7)$$

Відстань між сусіднім вузлом і пучністю дорівнює четвертій частині довжини хвилі:

$$x_{вузл} - x_{пучн} = \frac{\lambda}{4}$$

Множник $2A_0 \cos \frac{2\pi}{\lambda} x$, який входить у рівняння (1) для всіх точок, які лежать між двома сусідніми вузлами, має той самий знак, а при переході через вузол міняє знак на протилежний. Це означає, що всі частинки, які лежать між двома вузлами, коливаються в однакових фазах. Частинки, які знаходяться по різні сторони від вузла, коливаються у протилежних фазах.

У місцях відбивання хвиль на межі поділу двох середовищ залежно від граничних умов може утворюватись або вузол, або пучність.

Здатність середовища чинити опір проникнення в нього хвиль характеризують хвильовим опором. Під хвильовим опором розуміють добуток густини середовища ρ на швидкість поширення хвиль, тобто ρv . При переході хвилі з середовища з хвильовим опором $\rho_1 v_1$ у середовище хвильовий опір якого рівний $\rho_2 v_2$ хвиля зазнає відбивання якщо $\rho_2 v_2 > \rho_1 v_1$. На межі поділу цих середовищ утворюється вузол. При відбиванні фаза коливань змінюється на π . Зміну фази коливань на π при відбиванні хвиль називають втратою півхвилі.

Швидкість поширення хвиль в натягнутому шнурі (натягнутій струні) залежить від сили натягу F і густини шнура:

$$v = \sqrt{\frac{F}{S \cdot \rho}}, \quad (8)$$

де F - сила натягу шнура, S - площа поперечного перерізу шнура, ρ - його густина.

Із формули (8) видно, що швидкість поширення хвилі пропорційна кореню квадратному із сили натягу.

Довжина хвилі дорівнює добутку фазової швидкості v на період

$$\lambda = v \cdot T \quad (9)$$

Оскільки $T = 1/\nu$, де ν - частота, то

$$\lambda = v/\nu. \quad (10)$$

Із формули (10) визначимо швидкість поширення хвилі:

$$v = \lambda \cdot \nu. \quad (11)$$

ОПИС УСТАНОВКИ

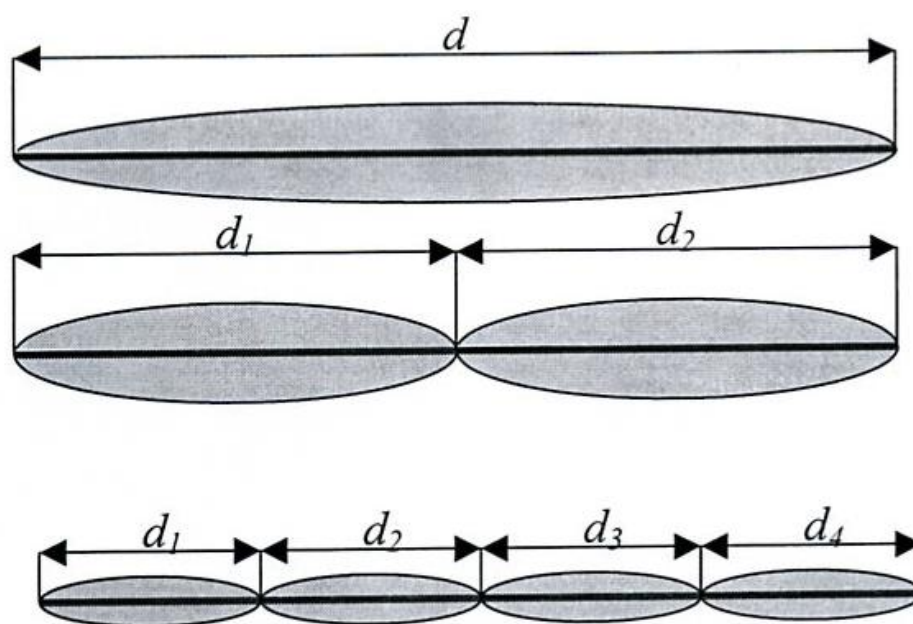
Установка складається із жорсткої рами в якій закріплено магніт між полюсами якого натягнуто струну та механізм натягу струни. Один кінець струни прикріплений до рами, а другий до пружини. Другий кінець пружини прикріплений до гвинтового механізму за допомогою якого здійснюється натяг струни. Сила натягу струни вимірюється за допомогою показника, який переміщається по шкалі при зміні її натягу. Вимірювання довжини стоячих хвиль, які утворюються на струні, проводять за міліметровою шкалою нанесеною на прозорий кожух, який закриває передню частину об'єкта. Шкала підсвічується спеціальною лампою. На передній панелі установки розміщені такі органи керування:

- ручки «частота», клавіші «10-100 гц» та «100-400 гц» для установки частоти генератора;
- ручка «виход» для установки необхідної амплітуди вихідної напруги генератора;
- цифрове табло генератора.

ПРИНЦИП ДІЇ УСТАНОВКИ

За допомогою генератора задають частоту коливань струни. Хвиля, яка поширюється в струні, відбивається від її кінця і, яка інтерферує із біжучою хвилею, утворює стоячу хвилю. Стояча хвиля в струні утвориться за умови, якщо на довжині струни укладається ціле число півхвиль. У точках закріплення струни утворюються вузли. Якщо довжина півхвилі дорівнює довжині струни, то в струні утворяться два вузли (у точках закріплення) і одна пучність. Якщо

ж на довжині струни вкладаються дві півхвилі, то утворяться три вузли і дві пучності і т.д. Вимірявши віддаль між вузлами, ми за формулою (7) знайдемо довжину хвилі, а знаючи довжину хвилі і частоту за (11) знайдемо швидкість поширення хвиль.



Різновиди хвиль та їх механізми коливання, можна проекспериментувати тут ↓



ПОСЛІДОВНІСТЬ ВИКОНАННЯ РОБОТИ

1. Підключити установку до електромережі. Натиснути кнопку «Сеть». Після цього повинна засвітитись лампа підсвічування струни і цифрове табло.
2. Дати установці прогрітись протягом 5 хв.
3. Встановити натяг струни 0,4 Н. Ручку «Выход» поставити в середнє положення.
4. Змінюючи за допомогою ручки «Грубо» частоту в межах 20-45 Гц, одержати одну півхвилю на всій довжині струни.
5. Виміряти віддаль d між сусідніми вузлами та частоту ν коливань струни.
6. Змінюючи частоту, отримати на струні дві, три, чотири пучності і щоразу вимірювати віддаль d між вузлами та частоту при якій утворюється стояча хвиля.
7. Повторити дослідження, описані в пунктах 5-7 при інших силах натягу струни.
8. За формулою (7) обчислити довжину хвилі.
9. Обчислити швидкість поширення хвилі за формулою (11).
10. Побудувати графік залежності (\sqrt{F}).
11. За графіком і за формулою (8) визначити масу одиниці довжини струни.

12. Результати вимірювань та обчислень занести в таблицю.
13. Обчислити похибки вимірювань.

№	ν , Гц	F Н	\sqrt{F}	Віддалі між вузлами				d м	λ м	ν , м/с
				$d_{1,мм}$	$d_{2,мм}$	$d_{3,мм}$	$d_{4,мм}$			
1										
2										
3										
4										
5										
сер										



**ВИЗНАЧЕННЯ ШВИДКОСТІ ПОШИРЕННЯ ЗВУКУ
ФАЗОВИМ МЕТОДОМ**

МЕТА: Навчитися визначати швидкість поширення звуку фазовим методом

ОБЛАДНАННЯ: установка для вивчення звукових хвиль, осцилограф.

ТЕОРЕТИЧНА ЧАСТИНА

Хвилею називають явище поширення коливань в просторі. Внаслідок поширення хвилі в середовищі частинки речовини цього середовища не переміщуються разом з хвилею, а лише здійснюють коливальні рухи навколо положення рівноваги з частотою, яка дорівнює частоті біжучої хвилі.

Хвилі називають поперечними, якщо коливання здійснюються у перпендикулярному напрямі до напрямку поширення хвилі.

Хвилі називають поздовжніми, якщо коливання здійснюються у напрямі, паралельному до напрямку поширення хвилі.

Довжиною хвилі називають найменшу віддаль між точками, коливання в яких відбуваються в однаковій фазі. Довжина хвилі дорівнює віддалі, на яку поширюється фаза коливань за один період:

$$\lambda = \nu T \quad (1)$$

де λ - довжина хвилі, ν - швидкість поширення фази коливань (фазова швидкість), T - період коливань.

Швидкість поширення механічних хвиль в середовищі залежить від властивостей цього середовища і від виду хвилі.

Швидкість поширення поперечних хвиль в середовищі залежить від модуля Юнга E і густини даного середовища

$$\nu = \sqrt{\frac{E}{\rho}} \quad (2)$$

Швидкість поширення поздовжніх хвиль в середовищі залежить від модуля зсуву N і густини даного середовища

$$\nu = \sqrt{\frac{N}{\rho}} \quad (3)$$

У рідинах і газах можуть поширюватись тільки поздовжні хвилі. Швидкість поширення звуку в рідинах залежить від їхніх властивостей

$$\nu = \sqrt{\frac{k}{\rho}} = \sqrt{\frac{1}{\beta \cdot \rho}} \quad (4)$$

де k - модуль об'ємного стиску, β - адиабатний коефіцієнт стиску, ρ - густина.

Швидкість поширення звуку в газах залежить від температури і молярної маси газу і описується формулою Ньютона:

$$\nu = \sqrt{\frac{R \cdot T}{\mu}} \quad (5)$$

де R - універсальна газова стала, T - температура газу, μ - молярна маса газу.

Геометричне місце точок, до яких в даний момент часу поширився коливальний процес, називають фронтом хвилі.

Сукупність точок, в яких коливання відбуваються в однаковій фазі, називається хвильовою поверхнею.

Залежно від форми фронту хвилі поділяють на плоскі (фронт хвилі являє собою безмежну площину), сферичні (фронт хвилі - сферична поверхня), циліндричні і т.д. Рівняння хвилі має вигляд:

$$\xi = A \sin \omega \left(t - \frac{x}{v} \right) \quad (6)$$

де $\xi = \xi(x, y, z, t)$ - узагальнена координата, $\omega = 2\pi \cdot \nu$ - циклічна частота, x - координата, ν - фазова швидкість, t - час.

Зміщення коливальної точки, зумовленої хвилями, визначається рівнянням:

$$\xi = A \sin \left(\omega t - \frac{2 \cdot \pi \cdot r}{\lambda} \right) \quad (7)$$

де λ - довжина хвилі, r - віддаль, яку пройшла хвиля від джерела.

В формулі (6) вираз в дужках означає фазу коливань φ

$$\varphi = \left(\omega t - \frac{2 \cdot \pi \cdot r}{\lambda} \right) \quad (8)$$

Різниця фаз між коливаннями, які відбуваються в точках з координатами r_1 та r_2 визначається за формулою:

$$\Delta\varphi = (\varphi_2 - \varphi_1) = \left(\omega t - \frac{2 \cdot \pi \cdot r_2}{\lambda} \right) - \left(\omega t - \frac{2 \cdot \pi \cdot r_1}{\lambda} \right) = \frac{2 \cdot \pi}{\lambda} (r_1 - r_2). \quad (9)$$

Як видно з (9), різниця фаз коливань у будь-яких двох точках визначається різницею координат цих точок.

Якщо в будь-яку точку простору з координатою r_1 помістити мікрофон, то механічні (звукові) коливання, які поширюються в даному просторі, перетворюватимуться в електричні, частота і фаза яких збігатимуться з частотою і фазою звукових коливань. Подаючи отримані в такий спосіб електричні коливання на вхід «Y» осцилографа, одержимо осцилограму коливань, які відбуваються в точці з координатою r_1 . Якщо ж в точку з координатою r_2 також помістити мікрофон і отримані електричні коливання подати на вхід «X» осцилографа, то на екрані одержимо результат додавання двох взаємноперпендикулярних коливань.

Як відомо, внаслідок додавання двох взаємноперпендикулярних коливань з однаковою частотою і різницею фаз $\Delta\varphi = (\varphi_2 - \varphi_1)$, одержимо рух, траєкторія якого описується рівнянням:

$$\frac{x^2}{A_1^2} + \frac{y^2}{A_2^2} - \frac{2xy}{A_1 A_2} \cos(\varphi_2 - \varphi_1) = \sin^2(\varphi_2 - \varphi_1), \quad (10)$$

де A_1 і A_2 - амплітуди першого і другого коливальних рухів, φ_1 і φ_2 - їх фази.

Якщо різниця фаз дорівнює нулю або $2\pi n$, то рівняння (10) набуває вигляду:

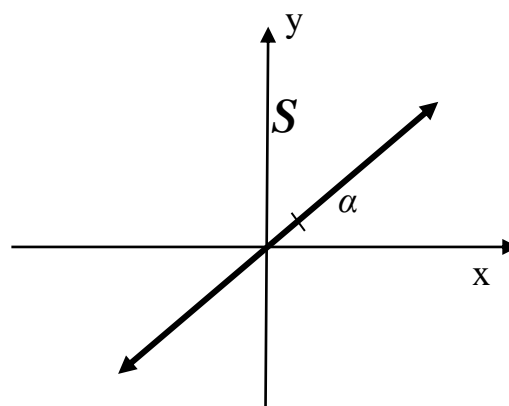
$$\frac{x^2}{A_1^2} + \frac{y^2}{A_2^2} - \frac{2xy}{A_1 A_2} = 0 \quad \text{або} \quad \left(\frac{x}{A_1} - \frac{y}{A_2} \right) = 0$$

З (11) отримаємо: $y = \frac{A_1}{A_2} x. \quad (12)$

Рівняння (12) є рівнянням прямої, яка проходить через початок координат, лежить в першій і третій чвертях і утворює кут α з віссю OX (рис. 1).

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{A_2}{A_1}$$

Отже, внаслідок додавання двох взаємоперпендикулярних коливань з однаковою частотою і різницею фаз $\Delta\varphi = 2\pi n$ точка здійснюватиме гармонічне коливання і рухатиметься по прямій (12).



Мал..1

На екрані осцилографа ми побачимо пряму лінію, яка зображена на рис. 1. Положення точки на прямій задається відрізком S:

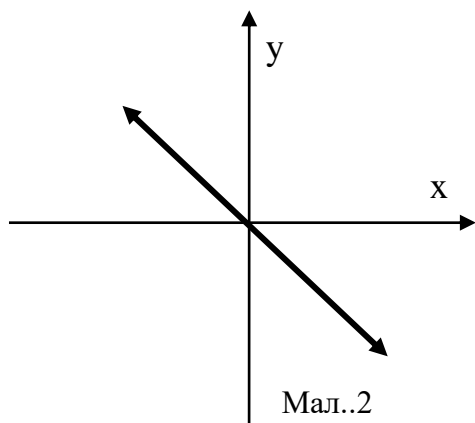
$$S = \sqrt{x^2 + y^2} = \sqrt{A_1^2 \sin^2(\omega t + \varphi_1) + A_2^2 \sin^2(\omega t + \varphi_2)} = \sqrt{A_1^2 + A_2^2} \sin(\omega t + \varphi)$$

Період результуючого коливання дорівнює періоду коливань, які додаються, а результуюча амплітуда - $A = \sqrt{A_1^2 + A_2^2}$.

Якщо різниця фаз

$$\Delta\varphi = (\varphi_2 - \varphi_1) = \pi + 2\pi n, \quad (13),$$

то траєкторія руху набуває вигляду:



$$\frac{x^2}{A_1^2} + \frac{y^2}{A_2^2} + \frac{2xy}{A_1 A_2} = 0, \text{ або}$$

$$\left(\frac{x}{A_1} + \frac{y}{A_2} \right)^2 = 0$$

Звідси отримаємо:

$$y = -\frac{A_1}{A_2} x \quad (14)$$

Рівняння (14) є рівнянням прямої, яка проходить через початок координат, лежить в другій і четвертій чвертях.

Коливальна система рухається вздовж прямої (14), здійснюючи коливання з тією ж амплітудою, що у попередньому випадку.

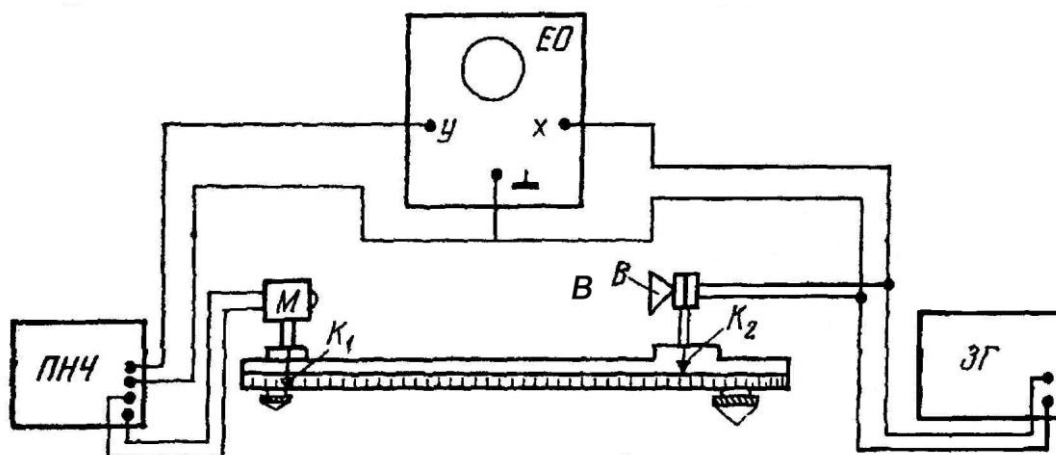
Якщо різниця фаз $\Delta\varphi = (\varphi_2 - \varphi_1) = \frac{\pi}{2}$, то

$$\frac{x^2}{A_1^2} + \frac{y^2}{A_2^2} = 1. \quad (15)$$

Рівняння (15) є рівнянням еліпса і в цьому випадку точка рухається по еліпсу за годинниковою стрілкою, якщо $\Delta\varphi = (\varphi_2 - \varphi_1) = \frac{\pi}{2}$ і проти годинникової стрілки, якщо $\Delta\varphi = (\varphi_2 - \varphi_1) = \frac{3\pi}{2}$.

ОПИС УСТАНОВКИ

Схему експериментальної установки зображено на рисунку.



На лаві розміщено мікрофон M та гучномовець B . Мікрофон може вільно переміщатись у горизонтальному напрямку. Звук від гучномовця поширюється в повітрі і приймається мікрофоном, де перетворюється в коливання тієї самої частоти. Ці коливання підсилюються підсилювачем низької частоти (ПНЧ) і подаються на вхід блока вертикально відхиляючих пластин електронного осцилографа (вхід "У"). На вхід горизонтально відхиляючих пластин електронного осцилографа (вхід "Х") при вимкненому блоці розгортки подається електричний сигнал тієї самої частоти від звукового генератора (ЗГ), який живить гучномовець.

Таким чином, промінь електронного осцилографа бере участь у двох взаємоперпендикулярних коливаннях однакової частоти. Завдяки цьому він описує на екрані осцилографа в загальному випадку еліпс, орієнтація якого відносно осей OX і OY залежить від різниці фаз складових коливань.

ПОСЛІДОВНІСТЬ ВИКОНАННЯ РОБОТИ

1. Ввімкнути установку і дати їй прогрітись протягом 2-3 хвилин.
2. Задати частоту звукового генератора не менше 2000 Гц і натиснути кнопку "Повітря".
3. Мікрофон встановити біля джерела звуку і, пересуваючи його, отримати на екрані осцилографа пряму, зображену на мал. 2.
4. Виміряти віддаль r_1 від гучномовця до мікрофона. Згідно із формулою (9) і умовою (13) віддаль $r_1 = \lambda/2$ або

$$\lambda = 2r_1; \quad (16)$$

5. Продовжуючи віддаляти мікрофон від гучномовця, отримати на екрані осцилографа пряму, зображену на мал. 1. Виміряти віддаль r_2 від гучномовця до мікрофона. Згідно із формулою (9) і умовою (11) віддаль

$$r_2 = \lambda \quad (17)$$

6. Продовжуючи віддаляти мікрофон від гучномовця, отримати на екрані осцилографа пряму, зображену на мал. 2. Виміряти віддаль r_3 від гучномовця до мікрофона. В цьому випадку

$$\Delta\varphi = \frac{\pi}{2} + 2\pi = \frac{5\pi}{2}, \text{ тому } \lambda = 4r_3/5 \quad (18)$$

7. Продовжуючи віддаляти мікрофон від гучномовця, добитись виконання умови (*). При цьому на екрані осцилографа одержимо пряму лінію.
8. Виміряти віддаль r_4 від гучномовця до мікрофона. В цьому випадку

$$\lambda = r_4/2 \quad (19)$$

9. Вимірювання повторити не менше трьох разів, змінюючи частоту коливань.

10. За формулами (16) - (19) обчислити довжину хвилі.
11. Обчислити швидкість поширення звуку за формулою $v = \lambda \cdot \nu$
12. Результати вимірювань занести в таблицю.
13. Обчислити похибки вимірювань

$$E = \frac{\Delta v}{v_{\text{сер}}} \cdot 100\%$$

14. Кінцевий результат подати у вигляді:

$$v = v_{\text{сер}} + \Delta v$$

№	ν Гц	$r_1 = \lambda/2$ м	λ_1 м	v м/с	$r_2 = \lambda$ м	λ_2 м	v м/с	$r_3 = 5/4\lambda$ м	λ_3 м	v м/с	$r_4 = 2\lambda$ м	λ_4 м	v м/с
1													
2													
3													
сер													

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №6

ВИВЧЕННЯ ЕЛЕКТРОВИМІРЮВАЛЬНИХ ПРИЛАДІВ

МЕТА: Вивчити класифікацію, будову, принцип дії і призначення електровимірювальних приладів, навчитися підбирати прилади та користуватися ними.

ОБЛАДНАННЯ: Амперметри, вольтметри, омметри, ватметри різних систем і конструкцій (не менше 10 приладів).

ТЕОРЕТИЧНІ ВІДОМОСТІ

Електровимірювальним приладом називається сукупність деталей і механізмів, які служать для безпосереднього вимірювання будь-якої електричної величини.

В принципах роботи електровимірювальних приладів використовуються різні прояви електричного струму. Для вимірювання будь-якої електричної величини в електровимірювальних приладах енергія електричного струму завжди перетворюється в механічну енергію, яка витрачається для переміщення покажчика над відповідною шкалою.

Будь-який електровимірювальний прилад складається з рухомої і нерухомої частин. По величині переміщення рухомої частини судять про величину вимірюваного струму, напруги, потужності, тому це переміщення повинно залежати тільки від вимірюваної величини, а не від яких-небудь інших факторів.

До електровимірювальних приладів пред'являють такі технічні вимоги:

1. Прилад повинен бути достатньо точним.
2. Прилад повинен бути чутливим.
3. Прилад повинен давати можливість безпосередньо відраховувати вимірювану величину в практичних одиницях і бути завжди готовим до вимірювання.
4. Вплив зовнішніх факторів на покази приладу повинен бути по можливості малим.
5. Прилад повинен споживати малу потужність і не вносити помітних змін у вимірювальне коло.
6. Стрілка приладу повинна швидко заспокоюватись.
7. Прилад повинен мати по можливості рівномірні поділки.
8. Прилад повинен бути здатним витримувати велике перевантаження.

9. Ізоляція струмонесучих частин приладу на корпус повинна бути достатньою.

10. Прилад повинен бути надійним в роботі, простий в установці і недорогий.

11. Прилад повинен витримувати достатньо довгий строк служби без значних погіршень своїх якостей.

Однією з важливих характеристик кожного вимірювального приладу є його похибка, тобто ступінь наближення його показів до дійсного значення вимірюваної ним величини. Дійсним значенням вимірюваної величини приймається величина, яка виміряна зразковим приладом.

Різниця між показами приладу і дійсним значенням вимірюваної величини називається абсолютною похибкою:

$$\Delta A = A - A_g,$$

де ΔA - абсолютна похибка приладу, його показів; A - покази приладу; A_g - дійсне значення вимірюваної величини.

Абсолютна похибка виражається в тих самих одиницях, що і вимірювана величина. Абсолютна похибка, взята з протилежним знаком, носить назву поправки. Поправка — величина, яку необхідно алгебраїчно додати до показів приладу, щоб одержати дійсне значення вимірюваної величини. Поправка визначається заздалегідь при перевірці робочого приладу за зразковим.

Величина абсолютної похибки ще не дає уявлення про точність вимірювання, так як її числове значення може бути одним і тим же при вимірюванні найрізноманітніших величин. Точність вимірювання може бути визначена тільки при співставленні абсолютної похибки з вимірюваною величиною. Тому в практиці вимірювання користуються відносною похибкою, яка являє собою відношення абсолютної похибки до дійсного значення вимірюваної величини. Це відношення може бути виражене в долях або в процентах:

$$E = \frac{\Delta A}{A_g} \cdot 100\%,$$

де E - відносна похибка в процентах.

Для характеристики точності більшості електровимірювальних приладів користуються зведеною похибкою. Зведеною похибкою називається відношення абсолютної похибки до граничного значення вимірюваної величини, тобто до найбільшого її значення, яке може бути виміряне по шкалі приладу:

$$E_{зв.} = \frac{A - A_g}{A_{max}},$$

де $E_{зв.}$ — зведена похибка, A_{max} - граничне значення вимірюваної величини, яке може бути виміряне по шкалі приладу, або номінальне значення шкали.

ПРИКЛАД. При вимірюванні сили струму в 40 А користувались амперметром зі шкалою 0-100 А і останній показав 41 А; тоді відносна похибка (величина, що характеризує точність вимірювання) буде

$$E_{(I)} = \frac{I - I_g}{I} \cdot 100\% = \frac{41 - 40}{40} \cdot 100\% = 2,5\% ;$$

приведена похибка (величина, що характеризує точність приладу) буде

$$E_{з(І)} = \frac{I - I_g}{I} \cdot 100\% = \frac{41 - 40}{100} \cdot 100\% = 1\%.$$

З прикладу видно, що необхідність у введенні зведеної похибки пояснюється тим, що навіть при одній і тій же абсолютній похибці по всій шкалі приладу відносна похибка по мірі зменшення значень вимірюваної величини не залишається сталою, а збільшується, прямуючи до нескінченності.

При класифікації електровимірювальних приладів за ступенем точності розрізняють два види похибок — основну і додаткову.

Основною похибкою приладу називається його похибка при нормальних робочих умовах, коли всі зовнішні несприятливі умови і фактори відсутні або їх вплив зведений до

мінімуму. Ця похибка обумовлюється недосконалістю конструкції і складання приладу, основним фактором її є тертя в опорах рухомої частини, неточність градування і виготовлення шкали.

Додатковими похибками приладу називаються похибки, які викликані зовнішніми факторами середовища, в якому працює прилад, а саме: температура навколишнього повітря, зовнішні магнітні і електричні поля, деяка зміна частоти у колі тощо. Додаткові похибки залежать від системи приладу, а також від його електричних і магнітних параметрів.

Всі електровимірювальні прилади класифікуються за такими ознаками:

а) за родом вимірюваної величини: амперметри, вольтметри, омметри, лічильники, ватметри та інші;


б) за родом струму: прилади постійного струму, змінного струму і прилади постійного і змінного струму;

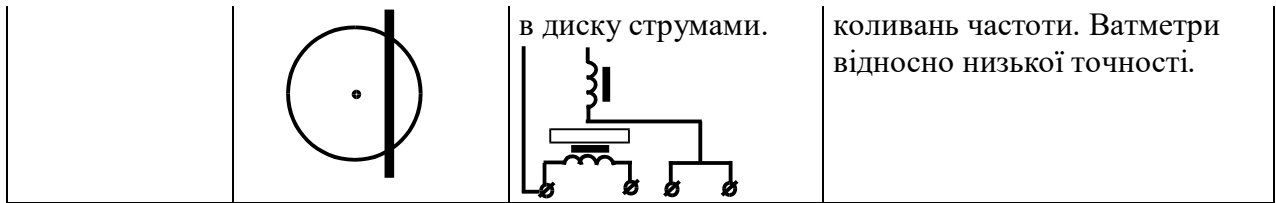
в) за принципом дії: магнітоелектричні, електромагнітні, електродинамічні, індукційні, теплові, термоелектричні, електростатичні, вібраційні, електронні. Випуск приладів теплової системи припинено.

г) за ступенем точності: 0,05; 0,1; 0,2; 1,0; 1,5; 2,5; 4,0 і т. д. Клас точності приладу відповідає найбільшій зведеній похибці цього приладу в процентах;

д) залежно від умов експлуатації: прилади поділяють на групи А, Б, В, В₁, В₂, В₃.

КЛАСИФІКАЦІЯ ЕЛЕКТРОВИМІРЮВАЛЬНИХ ПРИЛАДІВ ЗА СИСТЕМАМИ

Найменування системи	Умове позначення приладів з протидіючою мех. силою	Принцип дії системи	Примітка
Магнітоелектрична		Взаємодія магнітних потоків постійного магніту і рухомої котушки з струмом 	Найбільш чутливі і точні з усіх приладів безпосередньої оцінки. Шкала рівномірна. Мало чутливі до зовнішніх магнітних полів. Чутливі до змін температури.
Електромагнітна		Втягування феромагнітного осердя. 	Школи приладів нерівномірні. Відносно низька чутливість. Робоча частина шкали починається з 15-20% шкали. Чутливі до зовнішніх магнітних полів.
Електродинамічна (без сталі)		Взаємодія двох котушок зі струмом.	Найбільш точні з приладів змінного струму. Чутливі до впливів зовнішніх магнітних полів, температури. Шкала амперметрів і вольтметрів нерівномірна. Перевантажна здатність мала. Власне споживання енергії відносно велике.
Індукційна		Взаємодія магнітних полів з індексованими	Володіють великим обертовим моментом. Чутливі до



До групи А належать прилади, які призначені для роботи в закритих сухих опалюваних приміщеннях з температурою від $+10^{\circ}\text{C}$ до $+35^{\circ}\text{C}$ і відносній вологості 80% при $+30^{\circ}\text{C}$.

Прилади групи Б призначені для роботи в закритих неопалюваних приміщеннях з температурою від -30°C до $+40^{\circ}\text{C}$ і відносній вологості 90% при $+30^{\circ}\text{C}$.

Прилади групи В використовуються в польових або морських умовах, тобто при різких коливаннях температури та вологості.

Класифікація приладів за принципом дії.

Розглянемо лише принцип дії найбільш вживаних приладів.

Прилади магнітоелектричної системи. Принцип дії ґрунтується на взаємодії магнітного поля постійного магніту з струмом, який проходить по легкій рухомій рамці (рис.1). Прилади цієї системи мають високу чутливість, рівномірну шкалу, велику точність, відносно незначний вплив зовнішніх полів, споживають мало енергії, незначний вплив температури. Проте ці прилади придатні лише для постійного струму, чутливі до перевантаження, мають високу вартість через складність конструкції.

Прилади електромагнітної системи. Принцип дії ґрунтується на взаємодії магнітного поля струму, що проходить по обмотці нерухомої котушки, з рухомим залізним осердям, яке розміщене в цьому магнітному полі (рис.2).

Переваги: простота конструкції, не бояться перевантажень, придатність для постійного і змінного струмів, надійність в експлуатації, низька вартість.

Недоліки: Мала точність, залежність показів від зовнішніх магнітних полів, нерівномірність шкали.

Прилади електродинамічної системи. Принцип дії ґрунтується на взаємодії струмів, що проходять по двох рамках (катушках), з яких одна рухома, а друга — нерухома (рис.3).

Переваги: висока точність, придатність для постійного і змінного струмів.

Недоліки: залежність показів від зовнішніх магнітних полів, чутливість до перевантажень, велике власне споживання енергії, нерівномірність шкали, висока вартість.

Класифікація приладів за родом вимірюваної величини.

Гальванометри - прилади високої чутливості, тобто прилади, призначені для вимірювання дуже малих струмів і напруг. Шкала приладу дуже часто градується самим спостерігачем. Найбільш поширеними є гальванометри магнітоелектричної системи. За допомогою стрілочних гальванометрів можна вимірювати струми не менше 10^{-6} - 10^{-7} А. За допомогою дзеркальних гальванометрів можна вимірювати струм порядку 10^{-11} - 10^{-12} А.

Амперметри - прилади для вимірювання сили струму, яка вище 0,1 А (міліамперметри дають можливість виміряти силу струму в межах від 10^{-3} до 10^{-1} А; мікроамперметри мають межі вимірювань від 10^{-6} до 10^{-4} А). Амперметри включаються в коло послідовно, їх включення не повинно змінювати режим кола, тому амперметр повинен мати якомога менший опір.

Вольтметри - Прилади для вимірювання напруги між двома точками кола. Вольтметр включається в коло паралельно, тому частина струму відгалужується від основного кола, а це впливає на значення вимірюваної напруги. Опір вольтметра повинен бути якомога більшим, тоді його включення менше буде змінювати режим кола.

Омметри - прилади для вимірювання електричного опору. Існує багато типів омметрів, але найбільш поширеним є омметр, побудований за принципом так званого "вольтметрового

методу”, при якому послідовно до вимірюваного опору включається чутливий вольтметр магнітоелектричної системи і джерело струму. Якщо до джерела струму ввімкнути вольтметр, то вмикання в це коло якого-небудь опору знижує покази вольтметра. Покази вольтметра будуть тим менші, чим більший опір ввімкнено в коло. Шкала приладу градується в Омах.

Ватметри - прилади для безпосереднього вимірювання потужності електричного струму. Найбільш поширеними є електродинамічні ватметри. Нерухома котушка вмикається послідовно з навантаженням, як амперметр, а рухома котушка вмикається у коло паралельно навантаженню, як вольтметр.

Для вибору потрібних приладів і правильного їх вмикання в електричну схему треба насамперед ознайомитися з основними характеристиками приладу, вказаними на шкалі.

ПОРЯДОК ВИКОНАННЯ РОБОТИ.

1. Ознайомитися з будовою і принципом дії електровимірювальних приладів магнітоелектричної, електромагнітної та електродинамічної систем.
2. Зарисувати схеми будови приладів кожної системи.
3. Розглянути технічні вимірювальні прилади (не менше десяти) і за умовними позначеннями на шкалі дати їх технічну характеристику:

ЕЛЕКТРОВИМІРЮВАЛЬНІ ПРИЛАДИ Умовні позначення маркірувальних знаків.

№ п/п	Позначення маркірувальних знаків	Умовні позначення маркірувальних знаків
1	Постійний струм	
2	Однофазний змінний струм	
3	Постійний і змінний струми	
4	Одиниці вимірювання: ампер, вольт, ват, герц, коефіцієнт потужності, Ом.	A, V, W, Hz, cos φ, Ω
5	Клас точності приладу	0,05;0,1;0,2;0,5;1,0;1,5;2,5;4,0
6	Прилад працює при частоті	50 Гц
7	Ізоляція приладу випробувана під напругою, наприклад, 2 кВ.	або 2кВ
8	Прилад не підлягає випробуванню ізоляції.	
9	Прилад працює нормально: у горизонтальному положенні; у вертикальному положенні; під кутом до горизонту, наприклад, 60°.	або або
10	Ступінь захисту від впливу зовнішніх полів: а)магнітних; б)електричних. Для I категорії додаткова похибка не має перевищувати 0,5 %, для II - 1%, для III - 2,5%.	
11	Увага! Дивись додаткові вказівки в паспорті та інструкції з експлуатації.	

- а) тип приладу; б) система вимірювального механізму; в) клас точності; г) характер вимірювального струму (постійний чи змінний); д) ступінь магнітозахисту; е) група умов експлуатації; ж) положення приладу під час вимірювання; з) на яку напругу перевірено

ізоляцію приладу; і) для вимірювання якої величини призначено прилад; к) межі вимірювання приладу; л) ціна поділки; м) характер шкали; н) товарний знак; о) заводський номер; п) рік випуску; р) ГОСТ.

Основні дані цих приладів записати в таблицю:

Назва приладу	Тип і ГОСТ	Завод.номер, рік випуску	Система	Клас точності	Межа вимірювань	Ціна поділки	Характеристика шкали	Положення приладу при вимірюванні	Перевірено ізоляцію при напрузі

КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ.

1. Охарактеризувати основні елементи електричного кола і вказати їх умовні позначення на електричних схемах.
2. За якими ознаками класифікуються електровимірювальні прилади? Охарактеризувати принцип дії, будову і розпізнавальні ознаки приладів магнітоелектричної, електромагнітної та електродинамічної систем.
3. Дати характеристику похибок (абсолютної, відносної, приведеної).
4. Які основні відомості про прилад подано на його шкалі?
5. Провести класифікацію приладів за родом вимірюваної величини.
6. З яких міркувань визначається необхідний прилад для даного конкретного вимірювання?

ВИЗНАЧЕННЯ ПИТОМОГО ОПОРУ МАТЕРІАЛУ ДРОТИНИ

ОБЛАДНАННЯ. Лабораторний пристрій.

ТЕОРЕТИЧНІ ВІДОМОСТІ

Питомий опір матеріалу є основною характеристикою його здатності проводити електричний струм. Згідно електронної теорії питомий опір дорівнює:

$$\rho = \frac{2m\bar{V}_r}{e^2 n\lambda},$$

де: m -маса електрона, e -заряд електрона, \bar{V}_r - середня швидкість теплового руху електронів, λ - середня довжина вільного пробігу електронів, n -концентрація електронів провідності.

Величина питомого опору ρ тим менша, чим більша концентрація вільних електронів в металі (n) і середня довжина вільного пробігу λ і чим менша швидкість теплового руху електронів \bar{V}_r .

Так як значення \bar{V}_r зростає з підвищенням температури, то при цьому зростатиме питомий опір ρ .

Величина, обернена питомому опору провідника,

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

називається питомою електропровідністю.

Як показує дослід, опір R при незмінній температурі для даного металу прямо пропорційний до його довжини l , обернено пропорційний площі поперечного перерізу і залежить від матеріалу, з якого виготовлений провідник:

$$R = \rho \frac{l}{S},$$

де ρ - питомий опір провідника, який залежить від матеріалу, з якого він виготовлений.

З цієї формули випливає, що $\rho = R \frac{S}{l}$. Якщо $S=1$ і $l=1$, то ρ чисельно дорівнює опору.

В системі СІ питомий опір вимірюється в $(\text{Ом}\cdot\text{м}^2)/\text{м} = \text{Ом}\cdot\text{м}$. Але на практиці його часто вимірюють в $(\text{Ом}\cdot\text{мм}^2)/\text{м}$. Остання одиниця визначається як опір провідника з даного матеріалу довжиною 1м і площею поперечного перерізу 1мм^2 .

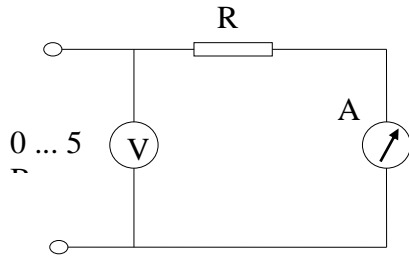
$$1 (\text{Ом}\cdot\text{мм}^2)/\text{м} = (1\text{Ом}\cdot 10^{-6}\text{м}^2)/1\text{м} = 10^{-6}\text{Ом}\cdot\text{м}.$$

В таблицях приводиться питомий опір деяких провідників при 18°C . Питома електропровідність $\sigma = \frac{1}{\rho}$ вимірюється в $(\text{Ом}\cdot\text{м})^{-1}$. Ця одиниця одержала назву сименс (сим).

Для дослідного вивчення величини питомого опору матеріалу дротини скористаємось формулою: $\rho = R \cdot \frac{S}{l}$. Довжину дротини виміряємо масштабною лінійкою, площу

поперечного перерізу циліндричної дротини можна визначити, вимірявши діаметр $S = \frac{\pi D^2}{4}$.

Опір дротини можна визначити методом вольтметра-амперметра. Складаємо електричне коло за схемою, в якому послідовно ввімкнені: джерело струму E , реостат з ковзним контактом R , амперметр A ,



невідомий опір (дротина) R і ключ K . До невідомого опору паралельно підключено вольтметр V . Невідомим опором може бути реохорд, дротина струнного реостата або інша дротина, натягнута між двома затискачами.

За законом Ома для ділянки кола $I = \frac{U}{R}$, де U -покази вольтметра, I -покази амперметра. Тоді

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

Робочою формулою буде вираз: $\rho = \frac{\pi D^2 U}{4 l I}$.

За цією формулою ми практично знайдемо величину питомого опору. Проаналізуємо лише метод визначення питомого опору.

Зверніть увагу на включення вольтметра і амперметра в схемах.

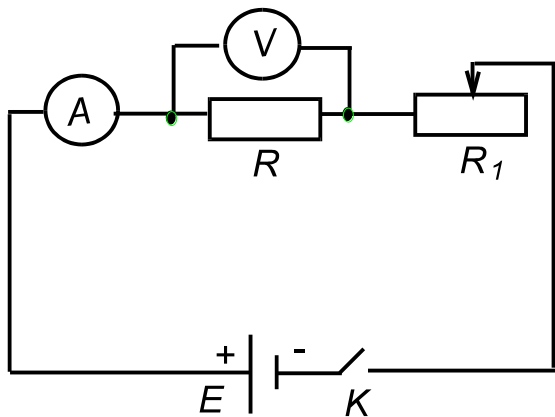


Схема 1.

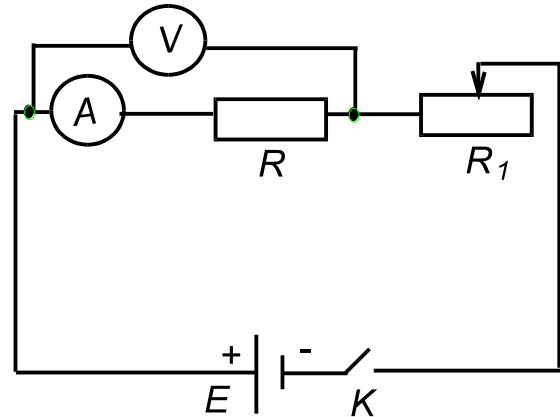


Схема 2.

У першій схемі амперметр вимірює струм до розгалуження, який потім розгалужується на вольтметр (I_E) та опір I_R ; вольтметр вимірює спад напруги на опорі.

$$I = I_R + I_E.$$

Щоб менший струм відгалужувався на вольтметр, вимірюваний опір повинен бути значно меншим опором вольтметра (не менше, як у сто разів). Тому схема 1 придатна для вимірювання малих опорів.

В другій схемі амперметр вимірює струм, який проходить через опір I_R , але вольтметр вимірює сумарний спад напруги на амперметрі U_A та опорі U_R :

$$U = U_A + U_R.$$

Щоб значення показів вольтметра менше відрізнялися від напруги на опорі, потрібно, щоб амперметр мав як найменший опір, тобто щоб шуканий опір R був значно більшим опором амперметра R_A :

$$R \gg R_A.$$

Отже, дану схему можна використовувати для вимірювання великих опорів.

ПОСЛІДОВНІСТЬ ВИКОНАННЯ РОБОТИ

1. Скласти електричне коло за схемою 1.
2. Провести правильну установку стрілок вимірних приладів на нульове положення.

3. Виміряти довжину і діаметр досліджуваного провідника (діаметр виміряти не менше трьох разів і знайти середнє значення) записати в таблицю.

№ досліду	U, В	I, А	l, м	d, м	ρ
1					
2					
3					
Сер.					

№ досліду	U, В	I, А	l, м	d, м	ρ
1					
2					
3					
Сер.					

№ досліду	U, В	I, А	l, м	d, м	ρ
1					
2					
3					
Сер.					

Опір провідника визначити тричі (змінюючи положення повзунка реостату, що викличе зміну струму і напруги), та знайти R.

4. Користуючись формулою $\rho = \frac{\pi D^2 U}{4 l I}$ визначити значення питомого опору для кожного досліджуваного провідника.

Обчислення похибок.

За робочою формулою $\rho = \frac{\pi D^2 U}{4 l I}$ знаходимо відносну похибку:

$$E = \frac{\Delta \rho}{\rho} = \frac{\Delta U}{U} + 2 \frac{\Delta D}{D} + \frac{\Delta I}{I} + \frac{\Delta l}{l},$$

і абсолютну похибку:

$$\Delta \rho = \rho_{\text{сер.}} \cdot E,$$

а звідси як

$$\Delta \rho = \rho_{\text{сер.}} \left(\frac{\Delta U}{U} + 2 \frac{\Delta D}{D} + \frac{\Delta I}{I} + \frac{\Delta l}{l} \right).$$

Остаточний результат:

$$E = \left(\frac{\Delta U}{U} + 2 \frac{\Delta D}{D} + \frac{\Delta I}{I} + \frac{\Delta l}{l} \right) \cdot 100\% .$$

КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

1. Питомий опір та провідність.
2. Закон Ома для ділянки кола і для повного кола.
3. Виведення робочої формули.
4. Порядок виконання роботи.
1. Є котушка мідного дроту з площею поперечного перерізу $0,1 \text{ мм}^2$. Маса всього дроту $0,3 \text{ кг}$. Визначити опір дроту.
2. Визначити опір R , якщо амперметр показує струм 5 А , вольтметр, приєднаний до кінців опору, — напругу 100 В , а внутрішній опір вольтметра 2550 Ом . Яка похибка у визначенні опору, якщо знехтувати внутрішнім опором вольтметра?
3. Скільки витків нікелінового дроту треба намотати на фарфоровий циліндр діаметром $1,5 \text{ см}$, щоб виготовити кип'ятильник, в якому за 10 хв . закипить 120 г . води, якщо початкова температура 10°C і ККД становить 60% ? Діаметр дроту $0,2 \text{ мм}$. Напруга 100 В .
4. Як зміниться температура мідного стержня, коли по ньому протягом $0,5 \text{ с}$. проходить струм, густина якого 9 А/мм^2 . Вважати, що передачі тепла навколишнім тілам немає.
5. Яку напругу можна прикласти до котушки, що має 1000 витків мідного дроту з середнім діаметром 6 см ., коли допустима густина струму 2 А/мм^2 .

**ЗАКОН ОМА ДЛЯ ДІЛЯНКИ КОЛА.
ПОСЛІДОВНЕ ТА ПАРАЛЕЛЬНЕ З'ЄДНАННЯ ОПОРІВ**

Прилади та матеріали: блок живлення, набір резисторів, мультиметр.

ТЕОРЕТИЧНІ ВІДОМОСТІ

1. Закон Ома.

Електричним струмом називається довільний впорядкований рух електричних зарядів. Для виникнення та протікання електричного струму необхідна, з однієї сторони, наявність вільних носіїв струму - заряджених частинок, а з другої - наявність електричного поля, енергія якого, витрачалась би на їх впорядкований рух. За напрям струму умовно приймають напрям руху додатніх зарядів.

Кількісною мірою електричного струму служить сила струму I - скалярна фізична величина, що визначається електричним зарядом, який проходить через поперечний переріз провідника за одиницю часу:

$$I = \frac{dQ}{dt}.$$

Струм, сила і напрям якого не змінюються з часом, називається постійним. Для постійного струму:

$$I = \frac{Q}{t},$$

де Q - електричний заряд, який проходить через поперечний переріз провідника за час t .

Напругою U на ділянці кола називається фізична величина, що визначається роботою сумарних електростатичних (кулонівських) та сторонніх сил при переміщенні одиничного позитивного заряду на даній ділянці кола:

$$U = \varphi_1 - \varphi_2 + E.$$

Поняття напруги є узагальненим поняттям різниці потенціалів: напруга на кінцях ділянки кола рівна різниці потенціалів у тому випадку, коли на цій ділянці не діє ЕРС, тобто сторонні сили відсутні.

Закон Ома для ділянки кола (джерело ЕРС відсутнє): сила струму в провіднику пропорційна прикладеній напрузі і обернено пропорційна опору провідника:

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

Величина

$$G = \frac{1}{R}$$

називається електричною провідністю.

Опір провідника залежить від його розмірів, а також від матеріалу, з якого виготовлений провідник. Для однорідного лінійного провідника опір R прямо пропорційний його довжині l і обернено пропорційний площі його поперечного перерізу S :

$$R = \rho \frac{l}{S},$$

де ρ - питомий електричний опір.

Тепер закон Ома можна переписати як

$$\frac{I}{S} = \frac{1}{\rho} \frac{U}{l}.$$

Враховуючи, що $\frac{U}{l} = E$ - напруженість електричного поля в провіднику, $\frac{I}{S} = j$ - густина струму, $\frac{1}{\rho} = \gamma$ - питома електрична провідність, вищенаведена формулу можна записати у вигляді:

$$j = \gamma E.$$

Так як в ізотропному провіднику носії струму в кожній точці рухаються в напрямі вектора \vec{E} , то напрямі векторів \vec{E} і \vec{j} співпадають. Тому можна записати

$$\vec{j} = \gamma \vec{E}.$$

Це закон Ома в диференціальній формі, який зв'язує густину струму в будь-якій точці провідника з напруженістю електричного поля в цій же точці.

2.Послідовне та паралельне з'єднання провідників.

Послідовним називається таке з'єднання опорів, коли умовний кінець першого опору з'єднується з умовним початком другого, кінець другого - з початком третього і т.д. Початок першого і кінець останнього опорів під'єднуються до джерела чи до інших точок електричного кола. Характерним для послідовного з'єднання є однаковий струм у всіх опорах.

У загальному випадку при послідовному з'єднанні n опорів (рис.1) струм в колі, напруга на опорах і потужність визначаються співвідношеннями:

$$I = \frac{U}{R_1 + R_2 + \dots + R_n} = \frac{U}{R_e};$$

$$U_1 = IR_1, U_2 = IR_2, \dots, U_n = IR_n;$$

$$P_1 = U_1 I = I^2 R_1, \dots, P_n = U_n I = I^2 R_n,$$

де $R_e = R_1 + R_2 + \dots + R_n$ - еквівалентний опір електричного кола.

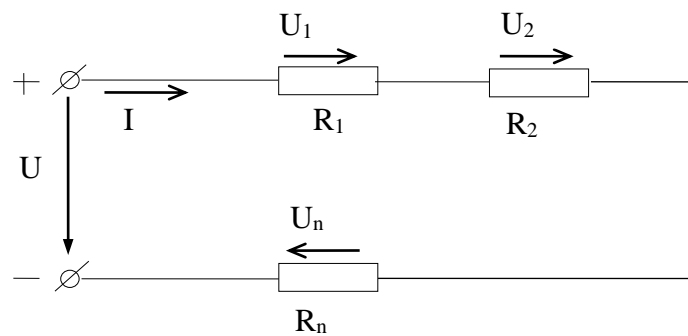


Рис.1.

За допомогою наведених формул неважко з'ясувати характер зміни струму, напруги і потужності при зміні величини або кількості ввімкнених в коло опорів. Наприклад, якщо збільшити число опорів, то еквівалентний опір зросте, а струм, напруга і потужність кожного опору - зменшаться; зменшиться також загальна потужність.

Паралельним називається таке з'єднання опорів, при якому з'єднуються між собою як початки всіх опорів так і їх кінці. Початки і кінці опорів під'єднуються до джерела або до будь-яких точок електричного кола. Характерним для паралельного з'єднання є однакова напруга на всіх опорах.

Паралельне з'єднання опорів (рис.2) нерідко використовується тоді, коли струм в колі I перевищує номінальний струм I_n , на який розрахований опір R , або коли потрібно зменшити опір деякої ділянки електричного кола.

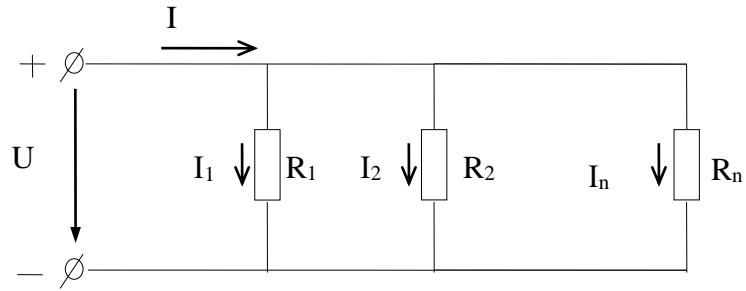


Рис.2.

Струми і потужності паралельно з'єднаних віток при $U=\text{const}$ не залежать одні від одних і визначаються за формулами

$$I_1 = \frac{U}{R_1}, I_2 = \frac{U}{R_2}, \dots, I_n = \frac{U}{R_n};$$

$$P_1 = UI_1 = I_1^2 R_1, P_2 = UI_2 = I_2^2 R_2, \dots, P_n = UI_n = I_n^2 R_n.$$

Загальний струм дорівнює сумі струмів паралельно з'єднаних віток:

$$I = I_1 + I_2 + \dots + I_n,$$

$$I = U \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \dots + \frac{1}{R_n} \right) = \frac{U}{R_e},$$

де R_e - еквівалентний опір, який визначається за формулою

$$\frac{1}{R_e} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \dots + \frac{1}{R_n}.$$

При збільшенні кількості паралельно з'єднаних опорів еквівалентний опір електричного кола зменшується. Це приводить до зростання струму I . Якщо напруга залишається постійною, то зростає також потужність; струми та потужність ввімкнених в електричне коло опорів не змінюються.

Можливість використати віртуальне серидовище:



ПОСЛІДОВНІСТЬ ВИКОНАННЯ РОБОТИ

1. Зібрати електричне коло згідно рис.3 (використати один з невідомих опорів R_x).

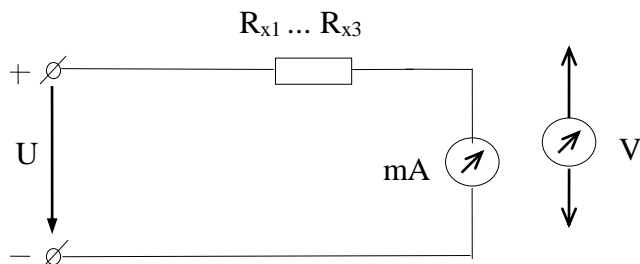


Рис.3.

2. Вимірявши загальну напругу U , виміряти струм який протікає в колі.
3. Змінити значення вхідної напруги та провести аналогічні вимірювання (п'ять вимірювань).
4. Досліди провести для двох інших невідомих резисторів.
5. За законом Ома порахувати значення невідомих опорів. Результати вимірювань та обчислень записати в таблицю 1.

Таблиця1.

№ п/п	U	I	R_x1
1.			
2.			
3.			
4.			
5.			
Середнє	---	---	

Таблиця2.

№ п/п	U	I	R_x2
1.			
2.			
3.			
4.			
5.			
Середнє	---	---	

Таблиця3.

№ п/п	U	I	R_x3
1.			
2.			
3.			
4.			
5.			
Середнє	---	---	

6. Почергово зібрати схеми згідно рис.4 та рис.5. Провести досліди згідно п.2 - п.5.
7. Результати записати в таблицю 2.
8. Порівняти результати, зробити висновки.

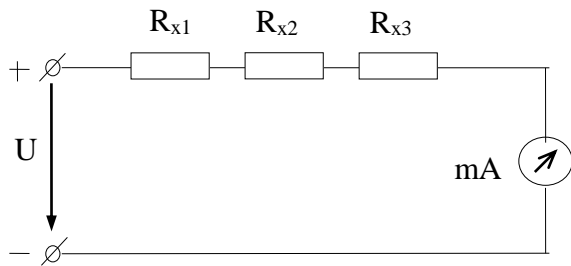


Рис.4

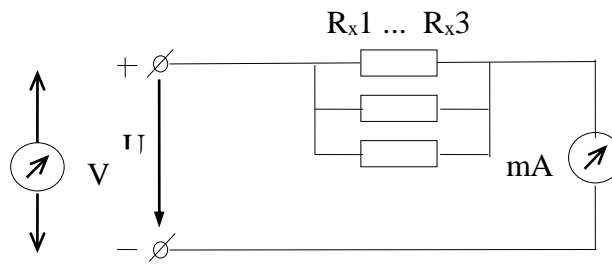


Рис.5

Таблиця 2.

№ п/п	U	I	Послідовне з'єдн. $R_x1... R_x3$	Паралельне з'єдн. $R_x1... R_x3$
1.				
2.				
3.				
4.				
5.				
Середнє	-----	-----		

КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

- Електричний струм. Закон Ома для ділянки кола. Закон Ома в диференціальній формі.
- Виведення формули для послідовного і паралельного з'єднання опорів.
- Сторонні сили, ЕРС.
- Порядок виконання роботи.
 - Джерело з напругою U живить групу N з'єднаних послідовно резисторів R . У скільки разів зміниться струм на ділянці та струм у кожному з опорів, якщо їх з'єднати паралельно?
 - Чотири лампочки, розраховані на напругу 3 В і силу струму 0,3 А, треба ввімкнути паралельно і живити від джерела напругою 5,4 В. Резистор якого опору треба ввімкнути послідовно з лампочками? Як зміниться розжарювання лампочок, якщо одну з них вимкнути?
 - Є джерело струму напругою 6 В, реостат опором 30 Ом і дві лампочки, на яких написано: 3,5 В, 0,35 А і 2,5 В, 0,5 А. Як скласти коло, щоб лампочки працювали в нормальному режимі?
 - З куска дроту опором 10 Ом зроблено кільце. Де треба приєднати проводи, які подають струм, щоб опір кільця дорівнював 1 Ом?
 - Міліамперметр, розрахований на струм до 0,1 А, необхідно використати для виміру струмів до 5 А. Обчислити опір мідного шунта, якщо внутрішній опір амперметра 4 Ом. Яким має бути поперечний переріз шунта, якщо його довжина 10 см.

ВИЗНАЧЕННЯ ЄМНОСТІ КОНДЕНСАТОРА МЕТОДОМ ПОРІВНЯННЯ

Прилади та обладнання: джерело струму, вольтметр магнітоелектричної системи, конденсатор ємністю 0,1 мкФ, набір конденсаторів з невідомими ємностями, два перемикачі.

ТЕОРЕТИЧНІ ВІДОМОСТІ

Якщо одному провіднику надати заряд $+|q|$, а другому $-|q|$, то між ними з'являється електричне поле і виникає різниця потенціалів (напруга), пропорційна електричним зарядам провідників:

$$q = CU.$$

Відношення заряду q одного з провідників до різниці потенціалів (напруги) не залежить від заряду і називається *електроємністю*:

$$C = \frac{q}{U}.$$

Електроємність не залежить від електричного поля, а визначається лише геометричними розмірами провідників, їх формою і взаємним розміщенням, а також електричними властивостями навколишнього середовища (діелектричною проникністю ϵ). Електроємність характеризує здатність провідників нагромаджувати електричний заряд. Іноді говорять про електроємність одного провідника. При цьому розуміють, що роль іншого відіграють віддалені предмети.

Електроємність двох провідників дорівнює одиниці, якщо при наданні їм зарядів $+1\text{ Кл}$ і -1 Кл між ними виникає напруга 1 В . Цю одиницю називають *фарад*: $1\text{ Ф} = 1\text{ Кл/В}$.

Провідники, розділені шаром діелектрика, товщина якого мала порівняно з розмірами провідників, називаються *конденсатором*. Провідники називають обкладками конденсатора. Найпростіший конденсатор — дві однакові паралельні пластини, які розміщені на малій відстані одна від одної. В середині таких конденсаторів зосереджується майже все електричне поле. Під зарядом конденсатора розуміють абсолютне значення заряду однієї з обкладок.

Точні розрахунки показують, що електроємність:

а) плоского конденсатора:

$$C = \frac{\epsilon_0 \epsilon S}{d},$$

де ϵ — діелектрична проникність середовища між обкладками, ϵ_0 — електрична стала;

б) сферичного конденсатора:

$$C = 4\pi\epsilon_0 R_1 R_2 / (R_2 - R_1),$$

де R_1 та R_2 — радіуси відповідно внутрішньої та зовнішньої сфер;

в) циліндричного конденсатора висотою l :

$$C = 2\pi\epsilon_0 l / \ln(R_2/R_1).$$

В лабораторній роботі використовується метод порівняння невідомої електроємності C з відомою електроємністю еталонного конденсатора C_e . Для цього використовується балістичний гальванометр, який призначений для вимірювання невеликої кількості електрики, що проходить через рамку протягом короткого проміжку часу. При роботі з балістичним гальванометром вимірюють максимальне відхилення рамки під дією миттєвого імпульсу струму. Для цього використовують будь-який гальванометр магнітоелектричної системи. Оскільки імпульс струму не буває настільки коротким, щоб рамка звичайного гальванометра не встигла відхилитись, поки в колі існує струм, то для вимірювання короткочасних струмів штучно збільшують період коливань рамки, прикріплюючи на рухому частину звичайного гальванометра спеціальний тягарець у вигляді металевого диска чи двох стержнів.

Поряд з цим існують гальванометри, призначені лише для балістичних вимірювань. Короткочасний струм, тривалість якого значно менша, ніж період коливань T_0 , не встигає помітно змінити інертну рухома систему. Такий характер дії приводить до затухаючих або аперіодичних коливань системи, які описуються диференціальним рівнянням:

$$J \frac{d^2\varphi}{dt^2} + \mu \frac{d\varphi}{dt} + D\varphi = BSnI, \quad (1)$$

де J — момент інерції рамки, $\mu = \Phi_0^2 / R$ — коефіцієнт опору, зумовлений гальмуваннями індукційними струмами в рамці, D — модуль крутіння нитки, n — число витків рамки, R — повний опір кола.

Оскільки момент інерції рамки великий і вона не встигає за час τ вийти з положення рівноваги, знехтувавши в лівій частині (1) другим і третім доданками, знайдемо:

$$J \frac{d^2\varphi}{dt^2} = BSnI.$$

Проінтегруємо цей вираз:

$$J \frac{d\varphi}{dt} = BSn \int_0^\tau I dt = BSnq, \quad (2)$$

де q — повна кількість електрики, яка пройшла через гальванометр. Піднесемо (2) до квадрату:

$$J^2 \left(\frac{d\varphi}{dt} \right)^2 = B^2 S^2 n^2 q^2. \quad (3)$$

Скористаємось законом збереження та перетворення енергії і застосуємо його для випадку руху рамки:

$$W_k = \frac{J}{2} \left(\frac{d\varphi}{dt} \right)^2; \quad W_n = D\varphi_{\max}^2 / 2,$$

тут φ_{\max} — максимальний кут повороту рамки. Оскільки $W_k = W_n$, тобто обертання рамки продовжуватиметься доти, поки вся кінетична енергія W_k , набута нею, не перейде в потенціальну енергію закрученої нитки підвісу, то

$$J \left(\frac{d\varphi}{dt} \right)^2 = D\varphi_{\max}^2. \quad (4)$$

Поділивши (3) на (4), дістанемо:

$$J = B^2 S^2 n^2 q^2 / (D\varphi_{\max}^2). \quad (5)$$

Запишемо вираз для визначення періоду вільних коливань рамки: $T_0 = 2\pi / \sqrt{D/J}$, звідки

$$J = T_0^2 D / (4\pi^2). \quad (6)$$

Прирівнявши (5) і (6), матимемо:

$$q = (T_0 D / (\pi B S n)) (\varphi_{\max} / 2). \quad (7)$$

Введемо позначення $(T_0 D / (2\pi B S n)) = A$. Тоді (7) перепишеться так:

$$\varphi_{\max} = q/A. \quad (8)$$

Величина A називається балістичною сталою гальванометра. Вона визначає кількість електрики, яка, пройшовши через рухома рамку, спричинить її поворот на кут 1 рад.

Отже, з (8) випливає, що максимальний кут відхилення рухомаї рамки балістичного гальванометра пропорційний заряду, який пройшов через неї.

Як правило, кут повороту φ рамки гальванометра відраховується по лінійній шкалі. Тому, позначивши через N число поділок шкали, через l — відстань від дзеркала гальванометра до шкали і врахувавши, що при відхиленні дзеркала на кут φ “зайчик” відхиляється на кут 2φ , запишемо:

$$\varphi_{\max} = N/(2I).$$

Тепер з (8) дістанемо:

$$q = AN/(2I). \quad (9)$$

За формулою (9) можна визначити кількість електрики, якщо відома балістична стала А.

Ємність невідомого конденсатора C_x визначають шляхом порівняння з конденсатором C_e за умови, що обидва конденсатори по черзі підключають в схему і заряджають до тієї самої різниці потенціалів U . Справді, оскільки $U = \text{const}$, маємо $C_x = q_x/U$; $C_e = q_e/U$; $C_x/C_e = q_x/q_e$. З формул (6) і (7) випливає $q_e = A\varphi_e$; $q_x = A\varphi_x$; $q_x/q_e = \varphi_x/\varphi_e = N_x/N_e$. Отже, остаточно

$$C_x = C_e(N_x/N_e). \quad (10)$$

ПОСЛІДОВНІСТЬ ВИКОНАННЯ РОБОТИ

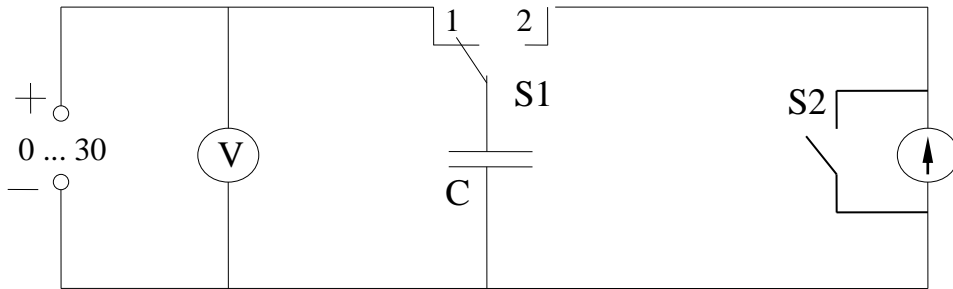


Рис. 1.

I. Визначити ємність конденсатора.

1. Скласти електричне коло за схемою рис. 1, підключити еталонний конденсатор C (перемикач $S1$ в положенні "1"). За допомогою ручки регулятора встановити напругу U на еталонному конденсаторі.
2. Перемикач $S1$ перевести в положення "2" і зробити відлік поділок N по шкалі для першого коливання. Заспокоїти рамку перемикачем $S2$. Проробити цю операцію кілька разів (не менше п'яти). Визначити середнє значення числа N .
3. Замість конденсатора C по чергово ввімкнути конденсатори невідомої ємності C_1, C_2, C_3 . Зарядити конденсатори до різниці потенціалів U . Виконати вимірювання згідно п.2.
4. Змінити величину U і проробити те саме. Результати занести до таблиці.
5. За формулою (10) обчислити ємності невідомих конденсаторів. Ємності, обчислені при різних напругах, мають бути близькими за абсолютними значеннями. Взяти середнє значення для кожного конденсатора.
6. Розрахувати похибку вимірювання ємності.

II. Визначити ємність трьох конденсаторів при паралельному та послідовному з'єднаннях.

1. З'єднати конденсатори C_1, C_2, C_3 спочатку паралельно, а потім послідовно і виміряти їхню ємність, як зазначено в пп.3,4,5.
2. Порівняти експериментальні результати з обчисленими за формулами.
3. Оцінити похибки вимірювань.

Таблиця 1

$U =$

№	C_e	N_e	N_1	C_1	N_2	C_2	N_3	C_3
1								
2								
3								
4								
5								
Серед.								

Таблиця 2

U=

№	C _e	N _e	N ₁	C ₁	N ₂	C ₂	N ₃	C ₃
1								
2								
3								
4								
5								
Серед.								

Таблиця 3

U =

№	C _e	N _e	N ₁	C ₁	N ₂	C ₂	N ₃	C ₃
1								
2								
3								
4								
5								
Серед.								

Таблиця 4

U=

№	C _e	N _e	Послідовне		Паралельне	
			N	C	N	C
1						
2						
3						
4						
5						
Серед.						

КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

1. Електроємність, одиниці вимірювання ємності.
2. Конденсатори, їх види, формули ємності конденсаторів.
3. Послідовне і паралельне з'єднання конденсаторів.
4. Порядок виконання роботи.
 1. Між пластини зарядженого плоского конденсатора ввели діелектрик з діелектричною проникливістю ϵ так, що він повністю заповнив об'єм між половинами площ пластин. У скільки разів змінилися ємність конденсатора, заряд на пластинках та напруга між ними?
 2. Два послідовно з'єднаних конденсатори ємностями $C_1=2$ мкф і $C_2=4$ мкф приєднані до джерела постійної напруги $U=120$ В. Визначити напругу на кожному конденсаторові.
 3. Два однакових плоских повітряних конденсатори з'єднали послідовно і приєднали до джерела ЕРС. Всередину одного з них вносять діелектрик з діелектричною проникністю ϵ так, що він заповнює весь простір між обкладками. Як і у скільки разів зміниться напруженість електричного поля в цьому конденсаторі?
 4. Простір між обкладками плоского конденсатора заповнено двома шарами діелектриків: скла товщиною $d_1=1$ см і парафіну товщиною $d_2=2$ см. Різниця потенціалів між обкладками $U=3000$ В. Визначити напруженість поля E і падіння потенціалу в кожному з шарів.
 5. Два однакових конденсатори з'єднано послідовно і приєднано до джерела ЕРС. У скільки разів зміниться різниця потенціалів на одному з конденсаторів, якщо другий занурити у рідину з діелектричною проникністю 2?

ЗНЯТТЯ ВОЛЬТ-АМПЕРНОЇ ХАРАКТЕРИСТИКИ НАПІВПРОВІДНИКОВОГО ДІОДА.

Прилади та обладнання: набір напівпровідникових діодів, блок живлення, цифровий вольтметр, мультиметр.

ТЕОРЕТИЧНІ ВІДОМОСТІ

Для перетворення змінного струму в постійний створено різні випрямлячі: лампові, ртутні, мотор-генераторні і т.д.

Проте вони мають ряд істотних недоліків: великі габарити, малу надійність, малий ККД та ін. Цих недоліків не мають напівпровідникові випрямлячі, які дістали широке визнання і застосування. Будова і принцип дії напівпровідникових випрямлячів дуже прості і базуються на специфічних властивостях запірного шару, що виникає на межі контакту напівпровідників з електронною і дірковою провідністю.

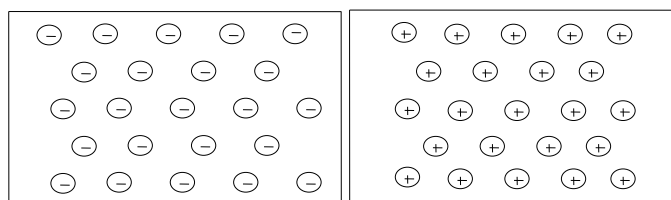
Розглянемо докладніше властивості напівпровідників.

Напівпровідники за своєю провідністю займають проміжне місце між провідниками струму (метали, розчини електролітів) і непровідниками струму - діелектриками (скло, фарфор, парафін).

Електропровідність металів зумовлена наявністю в них великої кількості вільних носіїв струму - електронів. При низьких температурах напівпровідники не мають носіїв струму, тобто поведуть себе як діелектрики. Але при підвищенні температури в них з'являються носії струму і в тим більшій кількості чим більша температура. На відміну від металів у напівпровідників з підвищенням температури провідність збільшується. До напівпровідників належать такі елементи, як германій, кремній, селен, вуглець, окиси металів, сульфіди і велика кількість інших сполук.

Електропровідність напівпровідників дуже чутлива до наявності в них домішок. Домішки не тільки збільшують електропровідність, але можуть змінити і характер провідності. Залежно від типу введеної домішки розрізняють напівпровідники електронної, або *n*-типу, в яких носіями струму є електрони, і напівпровідники діркової, або *p*-типу, в яких носіями струму є позитивно заряджені вакансії електронів - дірки, провідності.

Розглянемо властивості контакту *n* і *p* напівпровідників. Умовно позначимо електрони і дірки в напівпровіднику кружечками відповідно з позначкою «-» або «+». Тоді контакт *n* і «*p*» напівпровідників можна зобразити так, як показано на рис.1.



п р
Рисунок 1 – p/n перехід

Межу поділу двох частин напівпровідника з різнотипною провідністю називають електронно-дірковим переходом (*p-n* переходом). *P-n* переходи отримують, наприклад, вплавленням або дифузією відповідних домішок в пластинки напівпровідника *n* або *p* типу, а також шляхом вирощування *p-n* переходу з розплаву з регульованою кількістю домішок. В залежності від способу виготовлення *p-n* переходи називаються сплавленими, дифузними або тягнутими.

Для вмикання *p-n* переходу в електричне коло *p* та *n* області повинні мати омичні контакти з металічними вводами. Найчастіше такі контакти отримують сплавленням матеріалу контакту з кристалом напівпровідника. В процесі сплавлення утворюється поверхневий кристалізований шар напівпровідника з підвищеною провідністю того ж типу, що й в кристалі. В результаті омичні контакти, до яких припаюються металічні виводи мають лінійну вольт-амперну характеристику та мають електричний опір.

При утворенні *p-n* переходу в останньому локалізується сильне електричне поле, утворене областями просторового заряду які, в свою чергу, утворені іонізованими донорними та акцепторними домішками. Якщо через *p-n* перехід струм не проходить, то на ньому маємо динамічну рівновагу дифузних струмів основних носіїв та дрейфових струмів неосновних носіїв.

При прикладанні прямої напруги до *p-n* переходу ця рівновага порушується на користь дифузного струму, густина якого може досягти великих (до 10А/мм²) значень. Поле *p-n* переході при цьому послаблюється, але знаку не міняє.

При прикладанні зворотної напруги поле *p-n* переходу зростає. Вже при напрузі $U_{зв} > 30...50$ mV дифузний струм зникає. Через *p-n* перехід тече дрейфовий струм, зумовлений появою в *p-n* переході неосновних носіїв з *p* та *n* областей та генерацією носіїв в об'ємі переходу. Генерація всіх носіїв (!) в кристалі носить тепловий характер, а тому з ростом зворотної напруги, коли температура кристалу зростає, збільшується і зворотній струм. Значне підвищення температури може призвести до теплового пробію *p-n* переходу.

При великих напруженостях електричного поля в *p-n* переходах малої товщини (стабілітрони) можливий лавинний пробій, при якому зворотній струм дуже мало залежить від зворотної напруги. На дуже тонких *p-n* переходах пробій відбувається внаслідок тунельного переходу неосновних носіїв.

ПОСЛІДОВНІСТЬ ВИКОНАННЯ РОБОТИ

1. Зібрати електричне коло за схемою , показаною на рис.2.

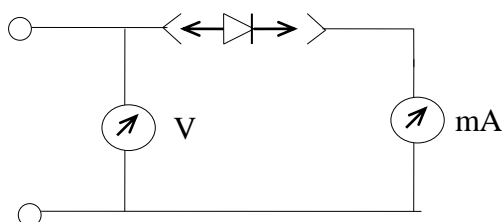


Рис.2.

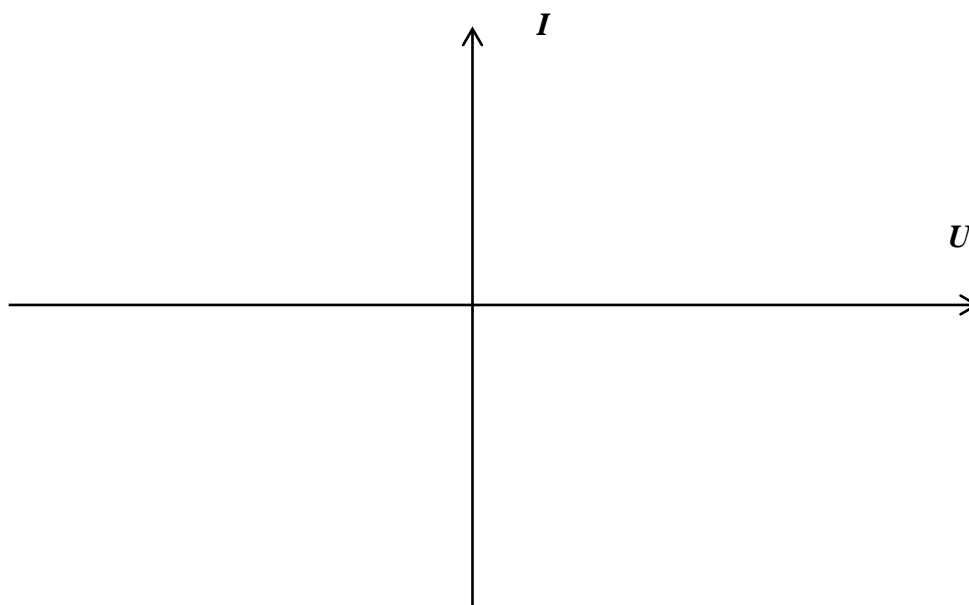
2. Змінюючи напругу на блоку живлення від 0 до 1,0 В (через 0,1 В) зняти залежність сили прямого струму від напруги.
3. Зменшивши напругу до нуля, змінити полярність ввімкненого діода.
4. Поступово збільшуючи напругу, зняти залежність від неї зворотнього струму.
5. Результати вимірювань записати в таблицю. За даними таблиці побудувати вольт-амперну характеристику дослідженого діода.

Табл.1.

№	$U, \text{В}$	$I, \text{а}$
1.		
2.		
3.		
4.		
5.		

Табл.2

№	$U, \text{В}$	$I, \text{а}$
1.		
2.		
3.		
4.		
5.		



КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

1. Будова та електричні властивості напівпровідників.
2. Домішкова провідність напівпровідників.
3. Р-п перехід.
4. Порядок виконання роботи.
 1. До кінців кола, що складається з послідовно ввімкнених термістора та резистора опором 1 кОм, подали напругу 20 В. При кімнатній температурі сила струму в колі 5 мА. Коли термістор занурили у гарячу воду, сила струму стала 10 мА. У скільки разів змінився опір термістора?
 2. Фоторезистор, який у темряві має опір 25 кОм, ввімкнено послідовно з резистором, що має опір 5 кОм. Коли фоторезистор освітили, сила струму в колі збільшилася в 4 рази. Визначити опір фоторезистора.
 3. Концентрація електронів провідності в германію при кімнатній температурі $3 \cdot 10^{19} \text{ м}^{-3}$. Яку частину становить кількість електронів провідності від загальної кількості атомів? Густина германію 5400

кг/м³, молярна маса 0,073 кг/моль.

4. Щоб дістати домішкову провідність потрібного типу, в напівпровідниковій техніці часто застосовують фосфор, галій, миш'як, індій та сурму. Який з цих елементів і чому можна ввести в германій як домішку, щоб мати електронну провідність?

5. а) Провідник і напівпровідник з'єднані паралельно. При певній напрузі покази амперметра в обох вітках однакові. Чи будуть однаковими покази амперметрів, якщо збільшити напругу джерела.

б) Провідник і напівпровідник з'єднані послідовно і до них прикладено таку напругу, що покази вольтметрів на кожному навантаженні однакові. Чи будуть однаковими покази вольтметрів, якщо збільшити напругу джерела.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №11

ПЕРЕВІРКА ПРАВИЛ КІРХГОФА

Прилади та матеріали: джерела струму з ЕРС $\varepsilon_1 = 6\text{V}$, $\varepsilon_2 = 1.3\text{V}$, $\varepsilon_3 = 1.3\text{V}$, три амперметри до 2 ампер, три резистори типу Р-33 до 10 Ом, реостат до 20 Ом, або тестери, два вимикачі.

ТЕОРЕТИЧНІ ВІДОМОСТІ

Розглянемо розгалужене електричне коло, в окремій ділянці якого включені джерела струму з відомими ЕРС. Розрахунок такого кола можна провести, користуючись законом Ома для неоднорідної ділянки кола і законом збереження заряду. Однак завдання значно спрощується, якщо скористатися двома правилами Кірхгофа, які є узагальненнями закону Ома для неоднорідної ділянки кола.

Перше правило Кірхгофа формулюється так: алгебраїчна сума струмів, які сходяться у вузловій точці, дорівнює нулю.

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

Струми, які входять до вузлової точки, вважаємо додатними, а струми, які виходять з неї, — від'ємними. Наприклад, для вузлової точки С рисунок (1) можна записати:

$$I_0 - I_1 - I_2 = 0. \quad (2)$$

Перше правило Кірхгофа виражає закон збереження електричного заряду. Рівняння (1) можна записати для кожного із N вузлів складного кола, але незалежними будуть n-1 рівняння.

Друге правило Кірхгофа можна сформулювати так: у будь-якому замкненому контурі розгалуженого електричного кола алгебраїчна сума спадів напруги (тобто добутків сил струмів в окремих ділянках контура на їх опір) дорівнює алгебраїчній сумі електрорушійних сил, що діють у даному контурі.

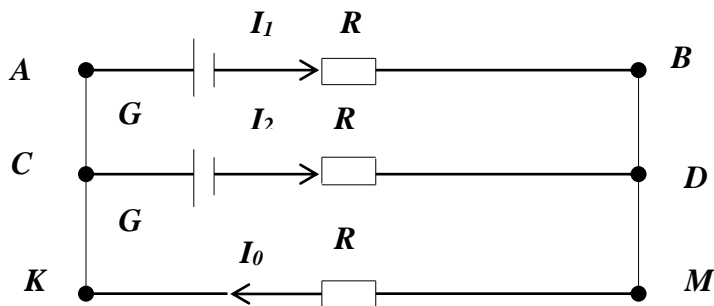


Рис1.

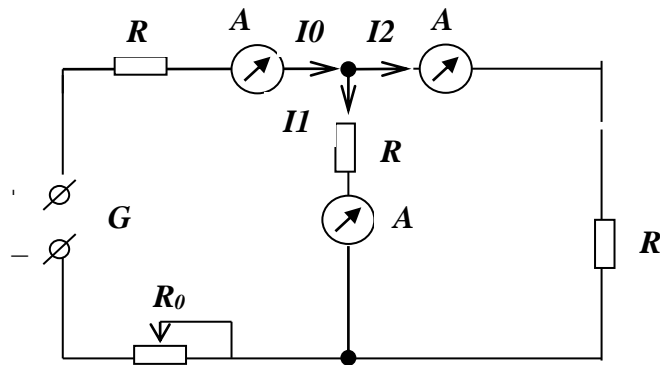


Рис.2.

Фізичний зміст цього результату полягає в тому, що робота з переміщення заряду вздовж будь-якого замкненого контура дорівнює тільки роботі сторонніх сил, а робота сил електростатичного поля вздовж замкненого контура дорівнює нулю.

При складанні рівнянь за другим правилом Кірхгофа вибирають незалежні замкнені контури, які можна виділити в даному розгалуженому колі. Оскільки ліва і права частини рівняння (2) являють собою алгебраїчні суми, то умовилися вважати знак добутку $I_i R$ додатнім, коли струм I_i збігається з наперед вибраним напрямом обходу контура, і від'ємним, коли напрям струму протилежний напрямку обходу. Знак ЕРС додатній, коли напрям власного струму збігається з напрямом обходу контура.

Розглянемо, наприклад, складний контур на малюнку (1). Застосовуючи правило Кірхгофа можна дотримуватись такої схеми:

- 1) визначити довільно напрями струмів, які входять і виходять з вузлових точок та проходять в окремих ділянках замкненого контура;
- 2) вибрати довільно напрямок обходу контура, користуючись рекомендованим вище правилом встановлення знаків доданків алгебраїчних сум, скласти шукані рівняння;
- 3) складеними рівняннями охопити всі ЕРС і всі опори даного замкненого контура.

Застосуємо перше правило Кірхгофа до вузла D:

$$I_1 + I_2 - I_0 = 0.$$

Вибираємо напрями обходу за годинниковою стрілкою, тоді:

$$\text{для контура } ABMKA \quad I_1 R_1 + I_0 R = \varepsilon_1$$

$$\text{для контура } ABDCA \quad I_1 R_1 - I_2 R_2 = \varepsilon_2 - \varepsilon_1.$$

Ці два рівняння взаємно незалежні. Для контура $CDMKS$ рівняння вже не є незалежним, воно — результат накладання двох попередніх контурів один на одного. Маємо три рівняння з трьома невідомими і розв'язавши систему визначимо невідомі струми.

Мета роботи — на досліді перевірити правила Кірхгофа. Схему електричного кола зображено на малюнку (2). Реостат з опором R_0 призначено для встановлення робочої сили струму в складному електричному колі.

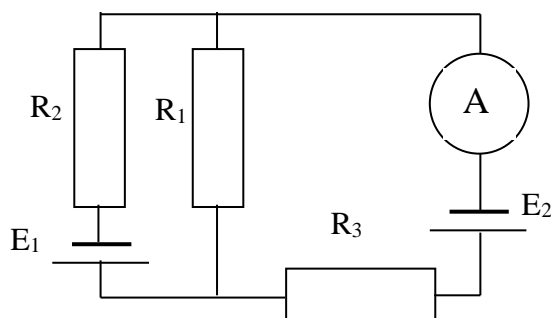
ПОСЛІДОВНІСТЬ ВИКОНАННЯ РОБОТИ

1. Скласти електричне коло, наведене на малюнку (2). Опори виміряти перед початком роботи.
2. Встановити за допомогою реостата R_0 силу струму 0.5-1.5 А. Зафіксувати силу струму.
3. Скласти рівняння Кірхгофа для незалежних контурів схеми на рисунку (2) і обчислити силу струмів I_0 I_1 I_2 .
4. Порівняти експериментально виміряні сили струмів з одержаними на основі правил Кірхгофа. Показати, що в межах допустимих похибок результати збігаються.

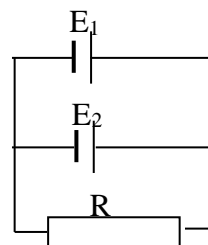
- Перевірити за показами амперметрів перше правило Кірхгофа (формула 1), і показати, що ця формула застосована у межах точності вимірювання.
- Похибки вимірювань розрахувати з врахуванням класу точності приладів.

КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

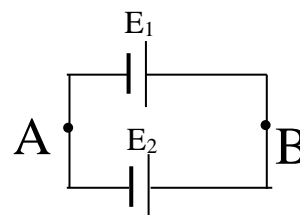
- Перший закон Кірхгофа.
- Другий закон Кірхгофа.
- Правила визначення знаків струму та ЕРС.
- Міліамперметр, розрахований на струм до 0,1 А, необхідно використати для виміру струмів до 5 А. Обчислити опір мідного шунта, якщо внутрішній опір амперметра 4 Ом. Яким має бути поперечний переріз шунта, якщо його довжина 10 см.
- Яку силу струму показує міліамперметр, якщо $E_1=1\text{В}$, $E_2=2\text{В}$, $R_1=500\text{ Ом}$, $R_3=1500\text{ Ом}$, $U_2=1\text{ В}$?



- Якщо до амперметра, розраховану на максимальну силу струму 2 А, приєднати шунт опором 0,5 Ом, то ціна поділки шкали збільшиться в 10 разів. Визначити, який додатковий опір потрібно приєднати до того самого амперметра, щоб його можна було використовувати як вольтметр для вимірювання напруги 220 В.
- Два джерела струму з ЕРС 8 В, 6 В і внутрішніми опороми 2 Ом, 1,5 Ом та опір 10 Ом з'єднані так, як показано на рис. Обчислити силу струму через опір.



- Два джерела з ЕРС 2 В та 1,5 В і внутрішніми опороми 0,3 Ом та 0,2 Ом з'єднані так, як показано на рис. Визначити силу струму в колі та напругу між точками А і В.



ВИМІРЮВАННЯ РОБОТИ І ПОТУЖНОСТІ ПОСТІЙНОГО СТРУМУ

Прилади і обладнання: PA1 – комбінований прилад; PV1 – комбінований прилад ; R1 – резистор 1 кΩ; R2 – резистор 1,5 кΩ.

ТЕОРЕТИЧНА ЧАСТИНА

Робота і потужність струму. Закон Джоуля – Ленца.

1. Кулонівські і сторонні електричні сили здійснюють роботу A при переміщенні зарядів вздовж електричного кола. Якщо електричний струм постійний, а провідники, які складають коло, нерухомі, то енергія W , яка неперворотно змінюється за час t в об'ємі провідника, дорівнює виконаній роботі:

$$W=A=IUt,$$

де I – сила струму, U – зменшення напруги в провіднику.

2. Необернені зміни енергії в провіднику з напругою обумовлюються взаємодією електронів провідності з вузлами кристалічної решітки металу. В результаті зіткнень електронів з позитивними іонами, які знаходяться у вузлах решітки, електрони передають їм енергію. Ця енергія йде на нагрівання провідника.

3. Потужність електричного струму дорівнює роботі, яка виконується струмом за одиницю часу:

$$P= A/t=IU;$$

де I – сила струму, U – спад напруги на заданій ділянці кола.

4. Кількість теплоти, яка виділяється в провіднику за час t ,

$$Q=W=IUt.$$

При вимірюванні Q в калоріях, а інших величин в СІ.

$$Q=0,24IUt.$$

Дві останні формули відображають закон Джоуля – Ленца: кількість теплоти, яка виділяється струмом в провіднику, прямо пропорційна силі струму, часу його проходження по провіднику і спаду напруги на ньому.

ПОСЛІДОВНІСТЬ ВИКОНАННЯ РОБОТИ

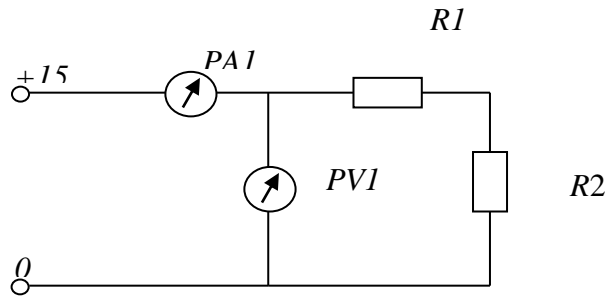
1. Зібрати схему згідно рис. 1.
2. Підключити схему до джерела постійного струму з напругою 0...15 V.
3. Обчислити загальний опір послідовного з'єднання резисторів за формулою:

$$R'=R1+R2.$$

4. Зняти показання приборів и обчислити потужність, споживаючою послідовним з'єднанням резисторів за формулою:

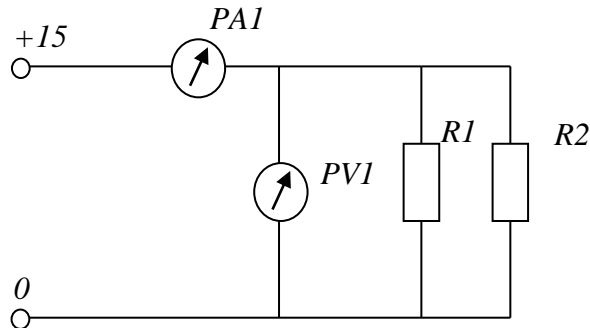
$$P=U_1 \cdot I_1=I_1^2 \cdot R'=U_1^2/R'$$

5. Зібрати схему відповідно до рис. 2.



PA1 – комбінований прилад 43101; PV1 – комбінований прилад Ц4342; R1 – резистор 1 kΩ; R2 – резистор 1,5 kΩ.

Рис. 1.



PA1 – комбінований прилад 43101; PV1 – комбінований прилад Ц4342; R1 – резистор 1 kΩ; R2 – резистор 1,5 kΩ.

Рис. 2.

б. Зняти покази з приладів і обчислити:

а) загальний опір паралельного з'єднання резисторів за формулою:

$$R'' = (R1 \cdot R2) / (R1 + R2).$$

б) потужність, яка споживається паралельним з'єднанням резисторів за формулою:

$$P = U_2 \cdot I_2 = I_2^2 \cdot R'' = U_2^2 / R''.$$

в) Роботу електричного струму за час $t=10$ min за формулою:

$$A = P \cdot t;$$

7. Результати вимірювань і обчислень занести в таблиці:

Табл.1

R_1	R_2	U_1	I_1	R'	P_1	A_1

Табл.2

R_1	R_2	U_2	I_2	R''	P_2	A_2

Зробити висновки по виконаній роботі.

КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

1. Робота і потужність струму.
 2. ККД джерела струму.
 3. Теплова дія струму. Закон Джоуля-Ленца.
 4. Порядок виконання роботи.
1. Є п'ять електричних лампочок на 110 В з потужністю 40, 40, 40, 60, 60 Вт. Як треба ввімкнути їх у мережу з напругою 220 В, щоб всі нормально світилися.
 2. ЕРС джерела струму 2 В, внутрішній опір 1 Ом. Визначити силу струму, якщо зовнішнє коло споживає потужність 0,75 Вт.
 3. Від джерела струму з ЕРС E і внутрішнім опором r треба добути потужність P , замикаючи його на зовнішній опір. Визначити: а) потрібну силу струму; б) напругу на затискачах; в) зовнішній опір.
 4. Під якою напругою треба передавати електричну енергію постійного струму на відстань 5 км, щоб при густині струму $2,5 \cdot 10^5$ А/м² у мідних проводах двопровідної лінії втрати становили 1% переданої потужності?
 5. Якої сили струм треба пропустити через залізний дріт довжиною 1 м, масою 1 г, щоб нагріти його за 1с до температури плавлення 1600°C? Початкова температура 0°C.

**СКЛАДАННЯ ТА ДОСЛІДЖЕННЯ
СХЕМ ВИПРОСТУВАЧІВ ЗМІННОГО СТРУМУ.**

Випрямлячі являються найбільш поширеними джерелами постійного струму, що служать для живлення РЕА. У більшості випадків випрямляч складається з силового трансформатора, двох або більше вентилів та згладжуючого фільтра. В пристроях з підвищеними вимогами до постійності випростаної напруги, а також при значних коливаннях напруги мережі у випрямлячах використовують стабілізатори змінної та постійної напруги та схеми з помноженням напруги.

В сучасних випрямлячах в якості вентилів найчастіше використовуються напівпровідникові діоди.

Схему однопівперіодного випрямлення однофазного змінного струму показано на рис.1.

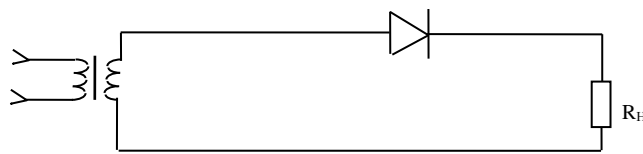


Рис.1.

В цій схемі струм через діод та опір навантаження проходить тільки продовж одного півперіоду змінної напруги U_2 , діючої на затискачах вторинної обмотки трансформатора. Струм має пульсуючий характер, змінюючись від 0 до I_{2m} . Постійна складова випростаного струму I_0 являє собою середнє значення струму, що проходить через R_n . Оскільки I_0 змінюється по синусоїдальному закону, то

$$I_2 T = \int_0^{\frac{T}{2}} I_{2m} \sin \omega t dt = I_{2m} \frac{\cos \omega t}{\omega} \Big|_0^{\frac{T}{2}} = 2 \frac{I_{2m}}{\omega}.$$

Звідси

$$I_0 = \frac{2I_{2m}}{\omega T} = \frac{I_{2m}}{\pi} = 0,318 I_{2m}.$$

Постійну складову випрямленої напруги можна знайти за законом Ома :

$$U_0 = I_0 R_n = 0,318 I_{2m} R_n.$$

Якщо нехтувати спадом напруги на діоді та вторинній обмотці трансформатора, то

$$I_{2m} R_n = U_{2m},$$

а тому

$$U_0 = 0,318 U_{2m} = \frac{U_{2m}}{\pi}$$

Оскільки $U_{2m} = \sqrt{2} U_2$, то

$$U_0 = \frac{\sqrt{2} U_2}{\pi} \approx 0,45 U_2.$$

З аналізу схеми випливає, що

$$U_{3B} = U_{2m} = 3,14 U_0$$

Основним недоліком однопівперіодного випрямляча є велике значення коефіцієнта пульсації, який складає:

$$U_{nm} = \frac{U_{2m}}{2} = \frac{\pi U_0}{2} = 1,57 U_0$$

де $k_n = 1,57$.

Крім того, постійна складова випрямленого струму I_0 в даній схемі значно менша діючого значення струму вторинної обмотки трансформатора ($I_0=0,636I_2$), внаслідок цього вторинна обмотка трансформатора використовується недостатньо.

Двопівперіодні схеми випрямлячів діляться на два види: схеми з виводом середньої точки вторинної обмотки силового трансформатора та мостові схеми. У схемі з виводом середньої точки вторинна обмотка силового трансформатора має три виводи: два - від кінців обмотки, а третій - середній. По суті це поєднання двох однопівперіодних випрямлячів, що працюють на спільне навантаження R_H (рис.2). Діоди в схемі працюють по чергово.

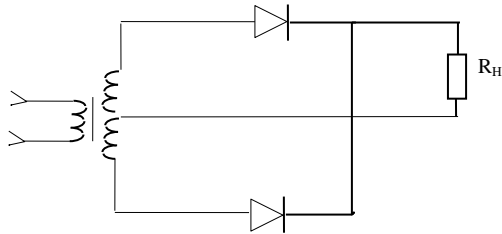


Рис.2.

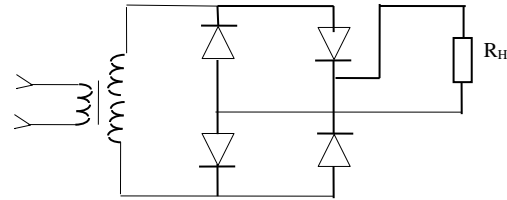


Рис.3.

З аналізу роботи схеми випливає, що $I_0 = \frac{2}{\pi} I_{2m} = 0,636 I_{2m}$. Оскільки $U_0 = I_0 R_H$, то можна записати $U_0 = 0,636 I_{2m} R_H$. Якщо нехтувати внутрішнім падінням напруги на діодах, то $I_{2m} R_H = U_{2m}$. А тому $U_0 = 0,636 U_{2m} = \frac{2}{\pi} U_{2m}$. Замінивши амплітудне значення напруги U_{2m} його діючим значенням, отримаємо $U_0 = 0,9 U_2$. В даній схемі $U_{ЗВ} = 2 U_{2m} = 2\sqrt{2} U_2$, або $U_{ЗВ} = 3,14 U_0$. Частота пульсацій струму в два рази вища, ніж у попередній схемі $f_H = 2 f_n$, а коефіцієнт пульсацій $k_H = 0,67$.

Отже, двопівперіодна схема дає краще згладжену вихідну напругу, але не виключає використання фільтрів, а лиш спрощує їх будову.

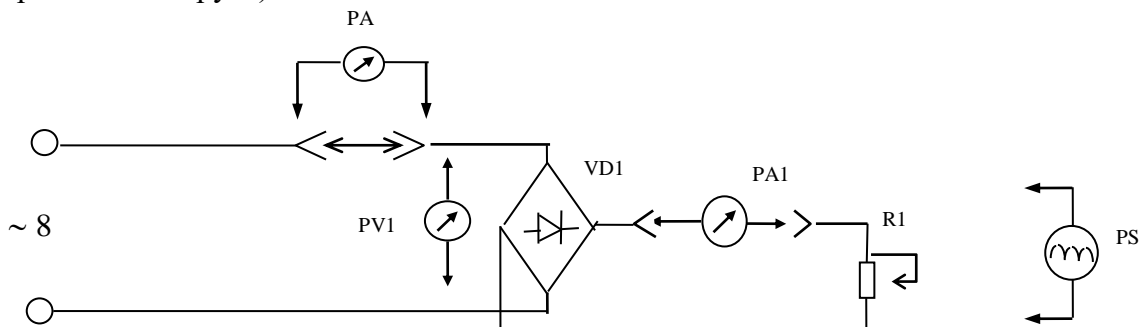
На рис.3 показана мостова схема випрямляча. Чотири діоди ввімкнені по мостовій схемі. В одну діагональ моста ввімкнене навантаження, а в другу - вторинна обмотка трансформатора. Протягом різних півперіодів ввімкнені різні пари діодів. На відміну від попередніх схем струм I_2 у вторинній обмотці має синусоїдальний характер. Зворотня напруга, що діє на діод, в мостовій схемі в два рази менша, ніж в схемі з середньою точкою.

$$U_{ЗВ} = U_{2m} = \sqrt{2} U_2.$$

Коефіцієнт пульсацій та решта параметрів такі ж, як і в попередній схемі.

ПОСЛІДОВНІСТЬ ВИКОНАННЯ РОБОТИ

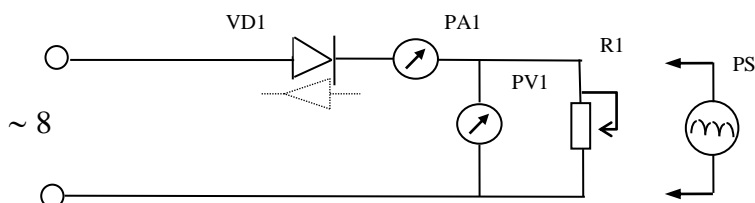
1. Скориставшись лабораторним стендом К4826, зібрати схему зображену на рис. 1. (частоту розгортки осцилографа вибираємо такою, щоб на екрані спостерігати два-три періоди випрямленої напруги).



РА1 -комбінований прилад Ц4232; PV1 -комбінований прилад 4232; VD1 -діод КД209А; R1 -змінний резистор 4,7kΩ; PS -осцилограф.

Рис.1

2. Змінюючи величину навантаження резистором R1, знімаємо навантажувальну характеристику схеми $U_n = f(I_n)$. Достатньо зняти п'ять точок.
 3. Замалювати типові осцилограми вихідної напруги.
 4. Включити діод VD1 у протилежному напрямі і повторити дослід.
 5. Аналогічно дослідити схему, зібрану згідно рис.2.
- РА1 -комбінований прилад Ц4232; PV1 -комбінований прилад 4232;



VD1 -випрямляючий мостик КЦ405; R1 -змінний резистор 4,7kΩ; PS -осцилограф.

Рис.2.

В процесі дослідження схем обмежуємось зняттям їх навантажувальних характеристик. Дані при знятті залежностей заносимо в таблицю на чорновик. У звіті лабораторної роботи потрібно представити вигляд осцилограм U_n .

Зняті навантажувальні характеристики викреслити в одній системі координат (U_n, I_n).

КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

1. Будова випрямляча (основні елементи).
2. Схема однопівперіодного та двопівперіодного випрямляча.
3. Пульсації. Коефіцієнт пульсації.
4. Фільтри. Коефіцієнт згладжування.
5. Порядок виконання та обчислення результатів лабораторної роботи.

ПЕРЕВІРКА ЗАКОНУ ОМА ДЛЯ ЗМІННОГО СТРУМУ

МЕТА: Ознайомитись з основними властивостями та характеристиками змінного струму, проаналізувати зміст і умови застосування закону Ома для змінного струму, експериментально перевірити застосовність закону Ома для кола змінного струму з послідовно з'єднаних опору, ємності та індуктивності.

ОБЛАДНАННЯ: лабораторний стенд К4826.

ТЕОРЕТИЧНІ ВІДОМОСТІ

Струм, сила якого періодично змінюється за величиною і напрямом, називається змінним.

Необхідною умовою для виникнення змінного синусоїдального струму є постійність кутової швидкості $\omega = \text{const}$, з якою обертається рамка в магнітному полі, і магнітної індукції поля

$$B = \mu_0 \mu H$$

Розглянемо коротко виникнення змінної електрорушійної сили (Е.Р.С.) у рамці з провідника, що обертається в однорідному магнітному полі навколо вісі.

Коли площа рамки S перпендикулярна до поля, то потік магнітної індукції крізь цю площину дорівнює:

$$\Phi = \Phi_0 = BS = \mu_0 \mu HS$$

при повороті рамки на 90° $\Phi = 0$, а при деякому куті α , магнітний потік дорівнює

$$\Phi = \Phi_0 \cos \alpha,$$

де α — кут між нормаллю до площини рамки і напрямом вектора магнітної індукції B .

Оскільки обертання відбувається з сталою кутовою швидкістю $\omega = \text{const}$, то $\omega = \alpha/t = 2\pi/T$, звідки $\alpha = \omega t$. І тоді магнітний потік $\Phi = \Phi_0 \cos \omega t$. Внаслідок зміни магнітного потоку Φ , що пронизує контур рамки, в останньому, згідно з законом Фарадея для електромагнітної індукції, виникає е.р.с. індукції:

$$E = -d\Phi/dt = \Phi_0 \omega \sin \omega t.$$

Якщо рамка складається не з одного, а з n витків, то е.р.с. індукції дорівнює

$$E = -nd\Phi/dt = n\Phi_0 \omega \sin \omega t = E_0 \omega \sin \omega t,$$

де $E_0 = n \Phi_0 \omega$ — амплітудне значення е.р.с.

В Україні та інших європейських країнах використовують змінний струм з частотою 50 Гц ($T=0,02$ с), тоді циклічна частота $\omega = 2\pi/T = = 2\pi/0,02 = 100\pi$.

Якщо така змінна синусоїдальна е.р.с. прикладена до кінців провідника з омичним опором R , то у ньому виникає змінний електричний струм, сила якого кожен момент часу визначається за законом Ома

$$I = E/R = E_0 \sin \omega t / R = I_0 \sin \omega t$$

де I_0 — амплітудне значення сили змінного струму, тобто $I_0 = E_0 / R$.

Силу змінного струму, як і напругу, прийнято характеризувати не їх амплітудним значенням, а так званою ефективною величиною. Під ефективним (діючим) значенням сили змінного струму розуміють силу такого постійного струму, що виділяє в одному і тому самому провіднику за один і той самий проміжок часу однакову, із змінним струмом, кількість теплоти.

Слід відмітити, що ефективна сила струму I_{ef} зв'язана з амплітудною величиною сили струму I_0 співвідношенням:

$$I_{\text{ef}} = I_0 / \sqrt{2}.$$

Якщо крім омичного опору (R) в колі є ще індуктивність, що характеризується коефіцієнтом L , то при протіканні по колу змінного струму, в котушці виникає е.р.с. самоіндукції, яка дорівнює

$$E_S = -L dI/dt$$

Згідно з другим правилом Кірхгофа сума електрорушійних сил $E+E_S$ повинна дорівнювати добутку опору кола R на силу струму I .

$$E+E_S = IR \text{ або } E_0 \sin\omega t - LdI/dt = IR$$

$$RI + LdI/dt = E_0 \sin\omega t.$$

Ми одержали диференціальне рівняння, що визначає силу струму (I) в колі із заданої е.р.с. $E = E_0 \sin\omega t$, заданими коефіцієнтами самоіндукції L та опором R . Окремим розв'язком цього рівняння є:

$$I = I_0 \sin(\omega t + j), \quad I_0 = E_0 / \sqrt{R^2 + \omega^2 L^2}$$

j - зсув фаз між струмом і е.р.с., що визначається співвідношенням $\operatorname{tg} j = \omega L/R$. Порівнюючи $I = I_0 \sin\omega t$ та $I = I_0 \sin(\omega t - j)$, бачимо, що в даному випадку струм відстає від е.р.с. Тоді

$$I_{\text{ef}} = E_{\text{ef}} / \sqrt{R^2 + \omega^2 L^2} = E_{\text{ef}} / Z$$

де Z — позірний повний опір. Для зовнішньої ділянки кола

$$I_{\text{ef}} = U_{\text{ef}} / Z$$

Величина $\omega L = 2\pi fL = X_L$ називається індуктивним опором, який вимірюється також в омах.

$$X_L = 2\pi fL.$$

Якщо в колі змінного струму замість котушки індуктивності увімкнути ємність, то в цьому випадку сила струму дорівнює:

$$I = I_0 \sin(\omega t + j); \quad I_0 = E_0 / \sqrt{R^2 + \left(\frac{1}{\omega C}\right)^2}; \quad I_{\text{ef}} = E_{\text{ef}} / \sqrt{R^2 + \left(\frac{1}{\omega C}\right)^2}$$

Зсув фази між струмом і е.р.с. визначається із співвідношення

$$\operatorname{tg} j = X_C / R = 1 / R\omega C$$

Порівнюючи $I = I_0 \sin\omega t$, $I = I_0 \sin(\omega t + j)$ бачимо, що коливання струму на ємності випереджають е.р.с. по фазі. Величину

$$Z = \sqrt{R^2 + \left(\frac{1}{\omega C}\right)^2}$$

називають позірним повним опором, а величину $X_C = 1/\omega C$ називають ємнісним опором, вимірюється в омах.

Нарешті, якщо в колі змінного струму послідовно увімкнено резистор з опором R , котушка індуктивності, коефіцієнт індуктивності якої L , конденсатор ємності C , то сила струму в ньому дорівнює

$$I = I_0 \sin(\omega t + j) \quad I_0 = E_0 / \sqrt{R^2 + \left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)^2},$$

а зсув фаз - $\operatorname{tg} j = (\omega L - 1/\omega C)/R$.

Повним опором у цьому випадку є:

$$Z = \sqrt{R^2 + \left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)^2}$$

Вираз $I_0 = E_0 / \sqrt{R^2 + \left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)^2}$ має назву формули закону Ома для змінного

струму. У всіх цих формулах під R слід розуміти суму всіх омичних опорів кола, в тому числі і опір котушки індуктивності, на кінцях якої визначається е.р.с.

Для зовнішньої ділянки кола змінного струму закон Ома записується:

$$I_{\text{ef}} = U_{\text{ef}} / \sqrt{R^2 + \left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)^2},$$

де: $Z = \sqrt{R^2 + \left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)^2}$ - повний опір зовнішньої ділянки кола. Його ще

називають уявним або позірним.

Слід зауважити, що у виразі повного (позірного) опору доданок R називають активним опором в колі змінного струму.

Цей термін застосовується для того, щоб відрізнити опір, який викликає необоротні перетворення енергії електричного струму у внутрішню, від реактивних — індуктивного і ємнісного, які не мають цих властивостей, тобто не викликають необоротних перетворень енергії.

Якщо індуктивний опір дорівнює ємнісному опором, тобто, коли $I_0 \omega L = L/\omega C$, то спад напруги на кінцях котушки індуктивності дорівнює спаду напруги на обкладках конденсатора. Ці напруги перебувають у протифазі і взаємно зрівноважуються. Такі умови називають резонансом напруг.

При резонансі напруг в колі затрачається енергія тільки на теплову дію в активному опорі R , а між котушкою індуктивності та конденсатором весь час відбувається обмін енергії: при зменшенні енергії електричного поля конденсатора, зростає енергія магнітного поля в котушці і навпаки. В колі виникнуть електромагнітні коливання.

Завдання даної роботи зводиться до порівняння позірного (повного) опору Z , знайденим за формулою $Z = U_{\text{еф}}/I_{\text{еф}}$ з числовим значенням, знайденим за формулою

$$Z = \sqrt{R^2 + \left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)^2}.$$

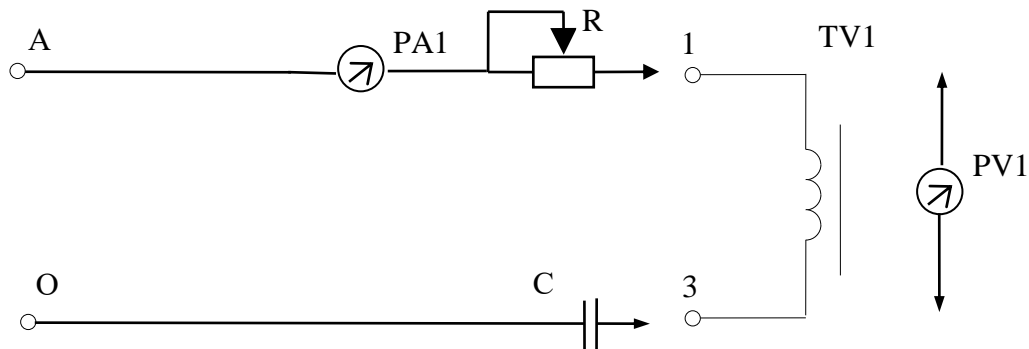
Віртуальна побудова кола:



ПОСЛІДОВНІСТЬ ВИКОНАННЯ РОБОТИ

1. Зібрати схему згідно рис.1, вимірявши попередньо активний опір R_L котушки індуктивності.

2. Підключити схему до трьохфазного генератора (вив.О-А). Регулятор частоти генератора повинен бути у крайньому лівому положенні. Струм довго не пропускати тому, що від нагрівання зміниться активний опір котушки.



PA1 -комбінований прилад Ц4332; PV1 - комбінований прилад 43101; R1 -змінний резистор 470Ω; TV1-трансформатор Т1 (вив.4-8); C1 -конденсатор 0,1μF.

Рис.1.

2. Виміряти загальний спад напруги, струм у колі, напругу на катушці індуктивності U_L , напругу на конденсаторі U_C .
 3. Результати записати в таблицю.
 4. Дослід провести п'ять разів, змінюючи величину струму в колі резистором R1.
- п.п.

	$I_{\text{эф}}$, мА	$U_{\text{эф}}$, В	U_L , В	U_C , В	R_L , кОм	R_C , кОм	R , кОм
1.							
2.							
3.							
4.							
5.							
середнє							

6. Обчислити повний опір $Z=U_{\text{эф}}/I_{\text{эф}}$ за показами приладів для кожного вимірювання. Знайти середнє значення Z.
7. Обчислити повний опір за опором, індуктивністю та ємністю конденсатора.

$$Z = \sqrt{R^2 + \left(\omega L - \frac{1}{\omega C} \right)^2}.$$

8. Порівняти між собою значення повного опорору $|Z|$, обчислені згідно пунктів 6 і 7. Зробити висновки.

КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

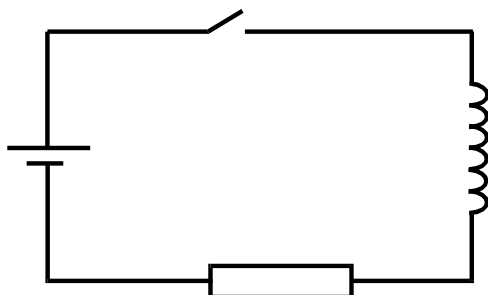
1. Опір, індуктивність та ємність в колі змінного струму.
2. Закон Ома для змінного струму.
3. Резонанс напруг, резонанс струмів.
4. Порядок виконання роботи.
 1. Конденсатор ємністю 1 мкФ і опір 3 кОм включені послідовно в коло змінного струму частотою 50 Гц. Знайти повний опір кола.
 2. В попередній задачі підключення паралельне.
 3. В коло змінного струму напругою 220 В і частотою 50 Гц ввімкнені послідовно ємність 35,4 мкФ, опір 100 Ом та індуктивність 0,7 Гн. Знайти струм в колі та падіння напруги U_C , U_R і U_L .
 4. Індуктивність 22,6 мГн та опір R ввімкнені паралельно в коло змінного струму частотою 50 Гц. Знайти опір, якщо відомо, що зсув фаз між напругою і струмом 60° .
 5. Конденсатор ємністю 20 мкФ та опір 150 Ом ввімкнені послідовно в коло змінного струму частотою 50 Гц. Яку частину напруги U, прикладеної до цього кола, складає падіння напруги на конденсаторі та на резисторі?

ВИЗНАЧЕННЯ ІНДУКТИВНОСТІ КОТУШКИ МЕТОДОМ ВИКОРИСТАННЯ ЯВИЩА САМОІНДУКЦІЇ ПРИ ЗАМИКАННІ КОЛА

ОБЛАДНАННЯ: дві котушки індуктивності, елементи на 4 В, вольтметр на 3 В, ключі, міліамперметр на 75 мА, секундомір.

ТЕОРЕТИЧНІ ВІДОМОСТІ

Як відомо, при замиканні ключа в схемі, зображений на мал. 1 сила струму не відразу досягає свого максимального значення, рівного $I_{\max}=E/R$, де E — е. р. с. джерела, а R — повний опір кола. Це пояснюється тим, що при наростанні струму, тобто при наростанні магнітного поля котушки в ній індукується вихрове електричне поле, воно характеризується е. р. с. самоіндукції, $E_s=-Ldi/dt$, яке напрямлене проти струму, тому струм в колі збільшується поступово. Виведемо рівняння, яке описує процес наростання струму при замиканні кола. Згідно з законом Ома в кожному мить часу $i=(E+E_s)/R$, де E — е.р.с. джерела постійного струму, а E_s — е. р. с. самоіндукції.



Мал. 1

Підставивши значення останньої $I=(E-Ldi/dt)/R$, де L — коефіцієнт самоіндукції, який показує е. р. с. самоіндукції з швидкістю зміни струму di/dt . Знак (-) у формулі самоіндукції вказує на те, що при збільшенні струму в колі, тобто при $di/dt>0$, індуктивне вихрове електричне поле протидіє струмові і навпаки, при зменшенні струму, коли $di/dt<0$, індуктивне поле має такий напрям, що воно підтримує струм, протидіючи його різкому зменшенню. Відокремлюємо змінні в диференціальному рівнянні

$$IR = E - L \frac{di}{dt}; \quad L \frac{di}{dt} = E - IR; \quad \frac{di}{E - IR} = \frac{dt}{L};$$

$$-\frac{R di}{R(E - IR)} = -\frac{dt}{L}; \quad \frac{1}{R} \ln(E - IR) = -\frac{t}{L} + B.$$

де B — довільна стала, яку знаходимо з початкових умов при $t=0; L=0$. Підставляємо і знаходимо $B: \frac{\ln E}{R} = B$.

$$\text{Тоді маємо: } \ln(E - IR) = -\frac{R}{L}t; \quad IR = E(1 - e^{-\frac{R}{L}t}).$$

$$\text{Остаточно: } I = \frac{E}{R}(1 - e^{-\frac{R}{L}t}).$$

Це рівняння показує, як змінюється струм в колі з котушкою залежно від того часу. Ця залежність виражається графіком зображеним на рис. 2. З нього видно, що при $t \rightarrow \infty$ сила струму асимптотично наближається до свого максимального значення, якого вона набрала би відразу, як би себе не проявляло явище самоіндукції.

З рівняння (3) також одержуємо, що при $t=\tau=L/R$ значення струму

$$i_{\tau} = \frac{E}{R}(1 - e^{-1}) = \frac{E}{R}(1 - \frac{1}{e}) \approx 0,63 \frac{E}{R} = 0,63I_{\max},$$

$$\text{а при } t=2\tau=2\frac{L}{R} \text{ маємо } i_{2\tau} = \frac{E}{R}(1 - \frac{1}{e^2}) \approx 0,86I_{\max}.$$

Значення називається константою часу. Звідси і впливає спосіб знаходження індуктивності котушки, якщо виміряти опір кола та константу часу тобто, час, на протязі

якого струм в колі досягає 63% від свого максимального значення, то можна знайти індуктивність кола, згідно з формулою: $L=\tau R$ (4)

ПОСЛІДОВНІСТЬ ВИКОНАННЯ РОБОТИ

1.Складемо схему (рис. 3) і замкнувши спочатку ключ K_1 , за показами вольтметра наближено знаходимо е.р.с. Потім

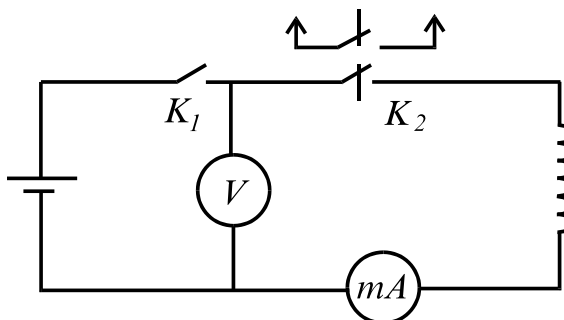


Рис. 3

замикаємо ключ K_2 , і почекавши поки стрілка міліамперметра не зупиниться фіксуємо показ. З формули $R=E/I_{\max}$ визначаємо опір кола. Після того розмикаємо ключ K_2 і знову його замикаємо, одночасно увімкнувши секундомір і вимірюємо час τ , на протязі якого струм в колі досягає значення $i_{\tau}=0,63I_{\max}$. Тоді з рівняння (4) маємо $L=\tau R$.

2. Так проробляємо 6 разів (кожного разу знаходячи τ і R).

3. Для більшої точності краще вимірювати вдвічі більший час, на протязі якого струм в колі досягає значення $i_{2\tau}=0,86I_{\max}$.

Тоді $\tau_1=2\tau=2L/R$, звідси $L=\tau_1 R/2$ (5).

Результати вимірювань заносимо в таблицю.

№	$E(B)$	$I_{\max}(A)$	$R(Ohm)$	$\Delta R(Ohm)$	$\tau_i(c)$	$\Delta \tau_i(c)$
1						
2						
3						
4						
5						
6						

КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

1. Явище електромагнітної індукції. Досліди Фарадея.
2. ЕРС індукції. Правило Ленца.
3. Явище самоіндукції. Індуктивність.
4. Порядок виконання роботи.
 1. Яка ЕРС самоіндукції збуджується в обмотці електромагніта з індуктивністю 0,4 Гн під час рівномірної зміни сили струму в ній на 5 А за 0,02 с?
 2. У котушці, індуктивність якої становить 0,6 Гн, сила струму 20 А. Яку енергію має магнітне поле цієї котушки? Як зміниться енергія поля, коли сила струму зменшиться вдвічі?
 3. Приймальний контур складається з котушки індуктивністю 2 мкГн і конденсатора ємністю 1800 пкФ. На яку довжину хвилі розраховано контур?
 4. Показати, що індуктивність котушки даної довжини пропорційна квадрату кількості витків.
 5. Обмотка соленоїда складається з N витків мідного дроту, поперечний переріз якого 1 мм². Довжина соленоїда 25 см, опір 0,2 Ом. Знайти індуктивність соленоїда.

ДОСЛІДЖЕННЯ ОДНОФАЗНОГО ТРАНСФОРМАТОРА.

МЕТА: Визначення коефіцієнта трансформації трансформатора, зняття навантажувальної характеристики трансформатора, визначення номінальної потужності.

ОБЛАДНАННЯ: Лабораторний стенд К-2648.

ТЕОРЕТИЧНІ ВІДОМОСТІ

Трансформатором називають статичний електромагнітний пристрій для перетворення змінного струму однієї напруги у змінний струм іншої напруги при незмінній частоті. Він являє собою замкнутий магнітопровід (осердя), на якому розміщені хоча б дві електрично не з'єднані та ізольовані між собою обмотки. Обмотка, до якої підводиться напруга, називається первинною. Обмотка, з якої знімається напруга (до якої під'єднуються навантаження), називається вторинною. Вторинних обмоток може бути де-кілька.

Нехай N_1 і N_2 - кількості витків відповідному первинній та вторинній обмотках. До первинної обмотки підведено змінну напругу $U_1 = U_0 \sin \omega t$. Вторинна обмотка розімкнена (режим холостого ходу). У первинній обмотці, яка в колі змінного струму створює значний індуктивний опір, потече струм $I_1 = I_0 \cos \omega t$, який відстає від напруги U_1 майже на 90° . При цьому в магнітопроводі виникає змінний магнітний потік Φ . Оскільки осердя замкнено, то можна вважати, що магнітний потік в ньому однаковий для обох обмоток. Цей, пропорційний силі струму, магнітний потік Φ породжує в первинній обмотці ЕРС самоіндукції

$$E_1 = -N_1 \frac{d\Phi}{dt} = -U_1 \quad (1)$$

яка компенсується прикладеною напругою U_1 . Одночасно магнітний потік породжує у вторинній обмотці ЕРС взаємоіндукції

$$E_2 = -N_2 \frac{d\Phi}{dt} = -U_2 \quad (2)$$

З наведених формул дістаємо

$$\frac{E_2}{E_1} = \frac{N_2}{N_1} = \frac{U_2}{U_1}.$$

Змінний магнітний потік індуктує однакову ЕРС в кожному витку як первинної, так і вторинної обмоток, через що можна записати:

$$\frac{U_2}{U_1} = \frac{N_2}{N_1} = k,$$

де k -коефіцієнт трансформації трансформатора.

Величину U_2 можна безпосередньо виміряти, підключивши вольтметр до клем незамкненої вторинної обмотки.

Якщо розглядати навантажений трансформатор (вторинна обмотка замкнена) і знехтувати незначними втратами енергії на ньому, то можна вважати, що потужності в обох обмотках однакові. Відношення потужності, що знімається з вторинної обмотки трансформатора (корисної), до всієї, підведеної до первинної обмотки, потужності називається коефіцієнтом корисної дії (ККД) трансформатора і позначається η :

$$\eta = \frac{I_2 U_2}{I_1 U_1} = \frac{P_2}{P_1}.$$

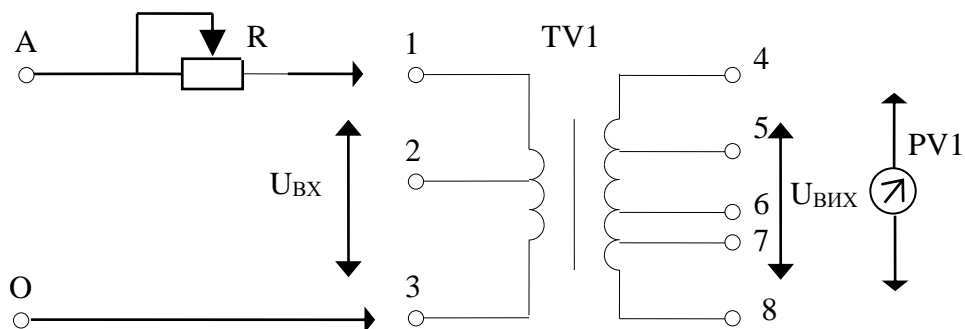
Коефіцієнт корисної $\eta < 1$, бо $P_1 > P_2$. При малих потужностях втрачена енергія, головним чином, затрачається на перемагнічення магнітопроводу (кажуть "втрати в сталі"). З ростом P_2 збільшуються струми I_1 та I_2 , швидко зростають втрати на нагрівання цими струмами первинної та вторинної обмоток ($P = I^2 R$, кажуть "втрати в міді").

Трансформатор має найвищий ККД, якщо він завантажений до номінальної потужності, тобто при рівності втрат в сталі та міді.

ПОСЛІДОВНІСТЬ ВИКОНАННЯ РОБОТИ

а) Визначення коефіцієнта трансформації.

1. Зібрати схему згідно рис. 1.



1 - комбінований прилад 43101; R1 - змінний резистор 2,2 kΩ;
TV1 - трансформатор Т1.

Рис. 1.

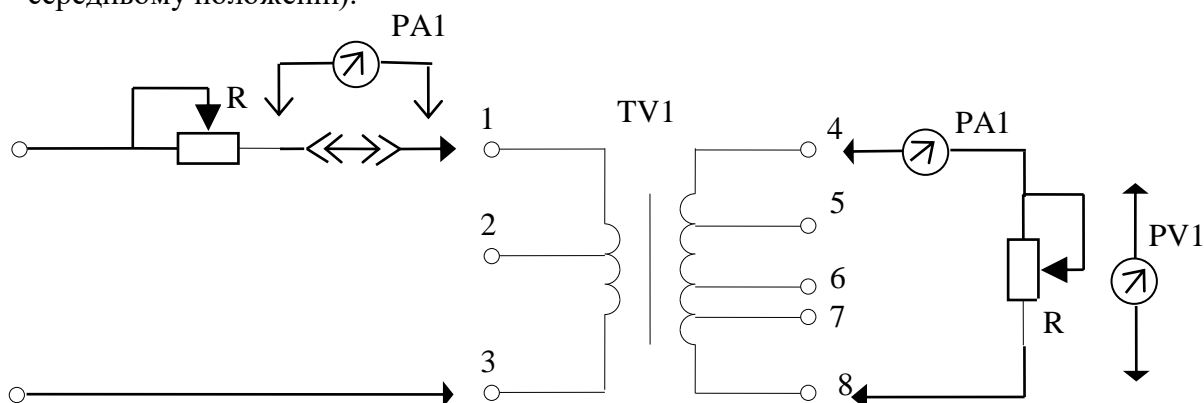
2. На вхід трансформатора (вив. 1-3) подати сигнал синусоїдальної форми від генератора трьохфазної напруги (ГТН, вих. О-А).
3. Послідовно виміряти напруги на первинній (1-3) та вторинних (4-6, 4-7, 4-8) обмотках трансформатора.
4. Для кожного вимірювання обчислити коефіцієнт трансформації.
5. Дослід провести для трьох різних значень напруги.
6. Дані вимірювань та обчислень записати в табл. 1.

Таблиця 1.

№ п.п.	$U_{вх}, В$	$U_{4-6}, В$	$U_{4-7}, В$	$U_{4-8}, В$	К	ΔK
1.						
2.						
3.						

б) Зняття навантажувальної характеристики трансформатора.

1. Зібрати електричну схему згідно рис. 2 (змінні резистори R_1 та R_2 повинні бути в середньому положенні).



PA1 - комбінований прилад Ц4342; PV1 - комбінований прилад 43101;
R1 - змінний резистор 2,2 kΩ; R2 - змінний резистор 470 Ω; TV1 - трансформатор Т1.

Рис.2.

2. Виміряти напругу і струм в первинній та вторинній обмотках.
3. Змінюючи величину опору R_2 , змінити струм у вторинній обмотці трансформатора. Провести вимірювання згідно пункту 2.
4. Дослід провести для трьох різних струмів первинної обмотки.
5. Результати вимірювань занести в табл. 2.

Таблиця 2.

№ п.п.	U_1	I_1	P_1	U_2	I_2	P_2	η
1.							
2.							
3.							

6. Обчислити значення ККД трансформатора для різних величин навантаження.
7. Побудувати графік залежності η від P_2 . За графіком знайти оптимальне значення P_2 , тобто номінальну потужність.

КОНТРОЛЬНІ ПИТАННЯ

1. Резонанс напруг, резонанс струмів.
2. Робота і потужність змінного струму.
3. Передавання електроенергії. Трансформатор.
4. Порядок виконання роботи.
 1. Трансформатор підвищує напругу від 220 до 660 В і містить у первинній обмотці 840 витків. Який коефіцієнт трансформації? Скільки витків міститься у вторинній обмотці? У якій обмотці провід має більший поперечний переріз?
 2. Трансформатор ввімкнули в мережу (див.рис.). Як зміняться покази приладів при збільшенні корисного навантаження (зменшенні опору R)?
 3. Вторинна обмотка трансформатора, що має 100 витків, пронизується магнітним потоком, який змінюється з часом за законом $\Phi=0,01\cos 311t$. Написати формулу, що виражає залежність ЕРС вторинної обмотки від часу, і визначити діюче значення ЕРС.
 4. Змінний струм збуджується в рамці з 200 витків і площею витка 300 см^2 в магнітному полі з індукцією $1,5 \cdot 10^{-2} \text{ Тл}$. Визначити ЕРС індукції через 0,01 с після початку руху рамки з нейтрального положення. Амплітуда ЕРС 7,2 В.
 5. Контур складається з котушки індуктивністю 28 мкГн, опору 1 Ом і конденсатора ємністю 2222 пФ. Яку потужність має забирати контур, щоб в ньому підтримувалися незатухаючі коливання, при яких максимальна напруга на конденсаторі 5 В?

ЗНЯТТЯ ВОЛЬТ-АМПЕРНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ФОТОЕЛЕМЕНТА З ЗОВНІШНІМ ФОТОЕФЕКТОМ

МЕТА: одержати залежність фотоструму від напруги, прикладеної до фотоелемента, при різних значеннях освітленості фотокатода і обчислити інтегральні чутливості для трьох положень лампочки.

ОБЛАДНАННЯ: лабораторний стенд К4826.

ТЕОРЕТИЧНІ ВІДОМОСТІ

Зовнішнім фотоелементом називається явище вилітання електронів з речовини під дією світла. Суть його пояснюється квантовою теорією випромінювання, згідно з якою світло випромінюється не у вигляді неперервних монохроматичних хвиль, як розглядає класична електродинаміка, а окремими порціями — квантами світла (фотонами). Фотон є енергією

$$\varepsilon = h\nu, \quad (1)$$

де h — стала Планка, ν — частота світла, що падає на поверхню тіла, поглинається електроном речовини і передає йому свою енергію. Частина цієї енергії електрон витрачає на виконання роботи виходу A . Якщо $\varepsilon < A$, то фотоелемент не відбувається, бо енергія, що передана фотоном електрону недостатня для його виривання з поверхні тіла. Якщо $\varepsilon = A$, то починається фотоелемент. Частота ν_0 , або довжина хвилі λ_0 фотона, енергія якого дорівнює роботі виходу ($\varepsilon = h\nu_0 = hc/\lambda_0 = A$ де c — швидкість світла у вакуумі), називається червоною межею, або порогом фотоелемента. Якщо ж $\varepsilon > A$, то різниця енергії $\varepsilon - A$ йде на надання електрону, що вилетів з поверхні тіла, кінетичної енергії.

Закон збереження енергії при одиничному акті фотоелемента виражається рівнянням Ейнштейна:

$$h\nu = A + mv_{\max}^2/2, \quad (2)$$

де $h\nu$ — енергія світлового кванта, передана електрону, A — робота виходу електрона з речовини, $mv_{\max}^2/2$ — максимальна кінетична енергія електрона, що вилетів з речовини (фотоелемента). Кінетична енергія вирваного з речовини електрона тут береться максимальною, бо під роботою виходу розуміють мінімальне значення енергії, необхідної для виривання електрона з речовини.

З рівняння Ейнштейна випливають закони зовнішнього фотоелемента:

1. Максимальна швидкість фотоелектронів визначається частотою світла і не залежить від його інтенсивності.

2. Фотострум насичення пропорційний світловому потоку.

3. Для кожної поверхні (речовини) існує мінімальна частота ν_0 (так звана червона межа фотоелемента), при якій ще можливий зовнішній фотоелемент:

$$\nu_0 = A/h \quad (3)$$

При $\nu < \nu_0$ — фотоелемент відсутній.

Однією з основних характеристик фотоелемента є вольт-амперна характеристика, тобто залежність фотоструму i від напруги U між анодом і катодом при постійній освітленості фотоелемента. Вольт-амперна характеристика вакуумного фотоелемента показана на рис. 1.

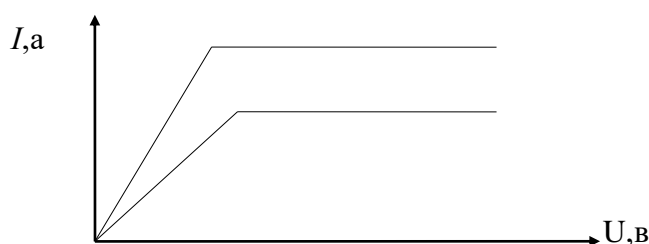


Рис. 1

Важливою характеристикою фотоелемента є також чутливість — величина, чисельно рівна зміні фотоструму при зміні світлового потоку на одиницю (1 лм.). Чутливість фотоелемента до білого світла називають інтегральною, а чутливість до монохроматичного — спектральною.

Інтегральна чутливість вакуумних фотоелементів не перевищує 150 мкА/лм (світловий потік в 1 лм. викликає фотострум в 150 мкА).

При постійній напрузі величина фотоструму i пропорційна потоку світлової енергії Φ , що падає на катод:

$$i = \gamma \Phi. \quad (4)$$

де γ — інтегральна чутливість фотоелемента (мкА/лм).

Звідси

$$\gamma = i / \Phi. \quad (5)$$

Потік світлової енергії виражається формулою

$$\Phi = I \omega \quad (6)$$

де I — сила джерела світла в канделах (кд), ω — тілесний кут у стерadianах (стер).

Враховуючи, що $\omega = S/l^2$, де S — площа фотокатода (m^2), l — відстань від джерела світла (m), а також формули (5), (6), отримуємо:

$$\gamma = i l^2 / IS. \quad (7)$$

Поряд із зовнішнім фотоефектом існує і внутрішній, що характеризується генерацією вільних носіїв зарядів в напівпровіднику, яка виникає внаслідок опромінення напівпровідника. Тобто відбувається безпосереднє перетворення енергії опромінення в електричну енергію. В нашому випадку енергія опромінення — це світлова енергія.

Вентильний фотоелемент (або фотоелемент із запірним шаром) складається із двох тіл з n - і p -провідністю (рис.2.). При освітленні фотони виривають електрони з атомів n -напівпровідника. Ці електрони проходять крізь шар у пропускному напрямку. Таким чином, в n -напівпровіднику створюється нестача електронів, а у p -напівпровіднику — надлишок. Це означає, що при освітленні між електродами виникає ЕРС і гальванометр фіксує струм.

Напівпровідникові фотоелементи із запираючим шаром дають у колі струм без прикладеної зовні напруги.

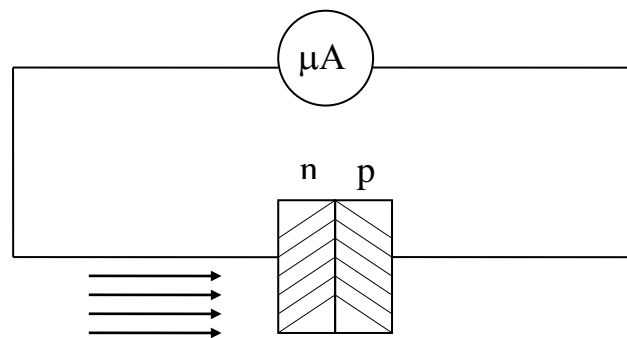


Рис. 2

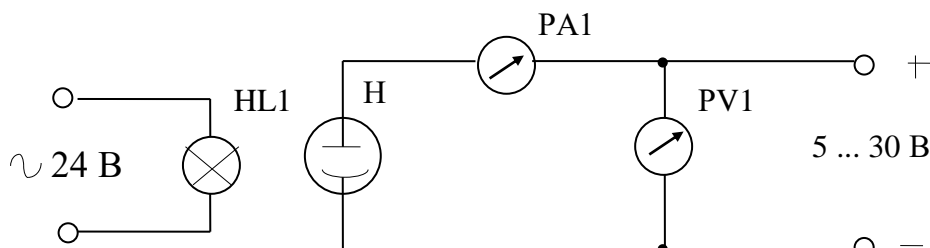
Якщо фотоелемент послідовно опромінювати різними монохроматичними потоками, що несуть однакову енергію, то величина фотоструму буде залежати від довжини хвилі падаючого світла. Тому поряд з інтегральною чутливістю відрізняють ще й спектральну чутливість фотоелемента. Спектральна чутливість вимірюється відношенням сили фотоструму до величини падаючого на фотоелемент потоку світлової енергії Φ_λ у вузькому інтервалі довжин хвиль $\lambda \div \lambda + d\lambda$:

$$\gamma_\lambda = i_\lambda / \Phi_\lambda. \quad (8)$$

Найпростіший спосіб отримання спектральної характеристики фотоелемента полягає в тому, що на нього направляють за допомогою монохроматора світло однакової інтенсивності, але різної довжини хвилі та вимірюють відповідну величину фотоструму i .

Однак на практиці інтенсивність джерел світла різна для різних довжин хвиль. Тому, якщо перед монохроматором встановити лампочку розжарення і обертати його барабан, то інтенсивність вихідного світла буде неоднакова.

Проте, величина енергії ϵ_λ для кожного значення λ може бути визначена на основі законів теплового випромінювання. Знання залежності $\epsilon_\lambda=f(\lambda)$ дозволяє зробити перерахунок сили фотоструму від реального джерела до немонохроматичного джерела постійної інтенсивності в будь-якому спектральному інтервалі.

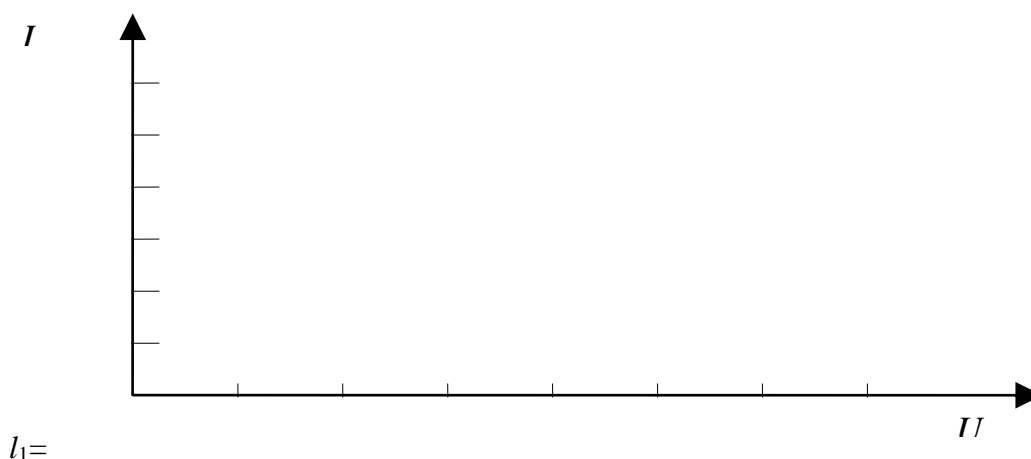


РА1 - комбінований прилад Ц4342; PV - комбінований прилад Ц43101;
HL - лампа розжарення МН26-0,3; H - фотоелемент Ф9.

Рис. 3.

ПОСЛІДОВНІСТЬ ВИКОНАННЯ РОБОТИ

1. Складаємо електричне коло за схемою, зображеною на рис.3.
2. Поставити лампу на максимальній відстані l від фотоелемента і ввімкнути її.
3. Повертаючи ручки потенціометрів на панелі джерела живлення (на початку досліду вони повинні бути в крайньому лівому положенні), змінювати напругу на фотоелементі через 5 В. Знімати покази вольтметра та мікроамперметра.
4. Аналогічні виміри виконати для трьох відстаней між лампою та фотоелементом.
5. Дослід повторити ще два рази при тих же значеннях відстані та напруги.
6. Для кожного значення відстані знайти середнє значення фотоструму.
7. У відповідності до середніх значень фотоструму побудувати в одній системі координат ВАХ фотоелемента при різних відстанях.
8. За формулою (7) обчислити чотири значення інтегральної чутливості фотоелемента, підставивши замість i середні значення струмів насичення (найбільші середні значення сили струмів), $S=2 \cdot 10^{-5} \text{ м}^2$, $I=10^{-2} \text{ кд}$.
9. З отриманих значень інтегральної чутливості знайти середнє значення.
10. Результати вимірювань та обчислень занести в таблиці.



	$U_1=$	$U_2=$	$U_3=$	$U_4=$	$U_5=$
$i_1=$					
$i_2=$					
$i_3=$					
$i_{\text{сеп}}=$					

$l_2=$

	$U_1=$	$U_2=$	$U_3=$	$U_4=$	$U_5=$
$i_1=$					
$i_2=$					
$i_3=$					
$i_{\text{сеп}}=$					

$l_3=$

	$U_1=$	$U_2=$	$U_3=$	$U_4=$	$U_5=$
$i_1=$					
$i_2=$					
$i_3=$					
$i_{\text{сеп}}=$					

$l_4=$

	$U_1=$	$U_2=$	$U_3=$	$U_4=$	$U_5=$
$i_1=$					
$i_2=$					
$i_3=$					
$i_{\text{сеп}}=$					

№	$l, \text{ м}$	$i,$	$\gamma,$
1			
2			
3			
4			

$\gamma_{\text{сеп.}} =$

КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

- Зняття вольт-амперних характеристик і визначення інтегральної чутливості фотоелемента. Суть зовнішнього фотоелефекту. Рівняння Ейнштейна.
- Закони фотоелефекту.
- Чутливість фотоелемента.
- Порядок виконання роботи.
 - До кінців кола, що складається з послідовно ввімкнених термістора та резистора опором 1 кОм, подали напругу 20 В. При кімнатній температурі сила струму в колі 5 мА. Коли термістор занурили у гарячу воду, сила струму стала 10 мА. У скільки разів змінився опір термістора?
 - Фоторезистор, який у темряві має опір 25 кОм, ввімкнено послідовно з резистором, що має опір 5 кОм. Коли фоторезистор освітили, сила струму в колі збільшилася в 4 рази. Визначити опір фоторезистора.
 - Чи виникає фотоелефект у цинку під дією випромінювання, що має довжину хвилі 0,45 мкм?

Робота виходу електронів з цинку 4,2 еВ.

4. Якої довжини промені світла треба спрямувати на поверхню цезію, щоб максимальна швидкість фотоелектронів становила 2000 км/с? Червона межа фотоефекту для цезію дорівнює 690нм.

5. Яку запірну напругу треба подати на затискачі лампи, щоб електрони, вирвані ультрафіолетовими променями, що мають довжину хвилі 0,1 мкм з вольфрамової пластинки, не змогли створити струму в колі? Робота виходу електронів з вольфраму 4,5 еВ.

ДОСЛІДЖЕННЯ ПОСЛІДОВНОГО І ПАРАЛЕЛЬНОГО РЕЗОНАНСУ В КОЛІ ЗМІННОГО СТРУМУ

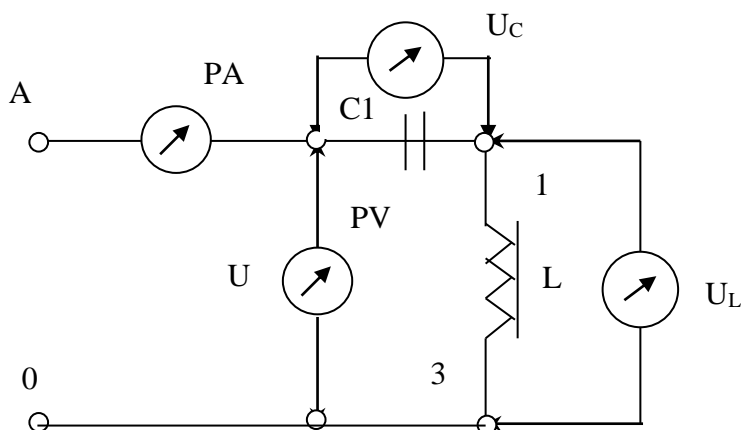
МЕТА: отримати та дослідити паралельний і послідовний резонанси в колі змінного струму.

ОБЛАДНАННЯ: лабораторний стенд К4826.

Лабораторна робота по перевірці закону Ома при послідовному з'єднанні активного опору, індуктивності і ємкості (резонансу напруги) проводиться в наступній послідовності.

З допомогою комбінованого пристрою 43101 виміряти активний опір котушки індуктивності R_L ;

1. Зібрати схему згідно рисунку 9;
2. Підключити схему до клем трифазного генератора 0 і А;



РА1- комбінований прибор Ц4342; PV1- комбінований прибор 43101; L- котушка індуктивності (трансформатор TV1 ,вихід 4-8);R1—резистор 470 ; C1- конденсатор 0,1μF
Рис. 9

3. Повертаючи ручкою регулювання частоти ГТ4, добитися резонансу;
4. Виміряти струм контура I , напругу в контурі U , напругу на конденсаторі і напругу на котушці U_c, U_L
5. За результатами вимірювань обчислити $Z_L, X_c, X_L, U_r, U_L, P, S, \cos \varphi$ по формулах.

$$Z_L = \frac{U_L}{I}; \quad X_L = \sqrt{Z_L^2 - R_L^2};$$

$$X_c = \frac{U_c}{I}; \quad U_R = I * R$$

$$U_L = I * X_L; \quad P = U_R * I;$$

$$S = U * I; \quad \cos \varphi = \frac{P}{S};$$

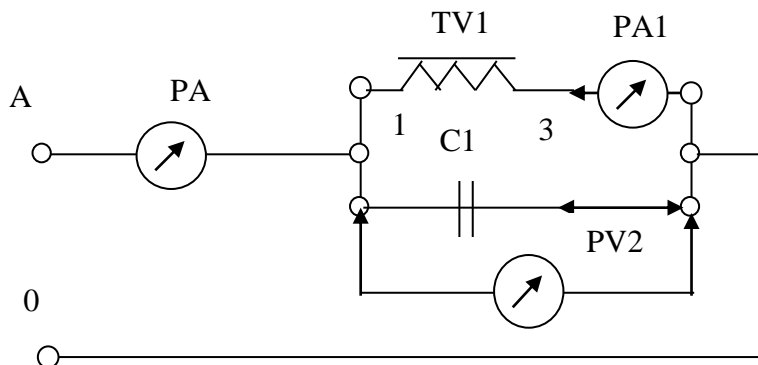
$$\varphi = \arccos \frac{P}{S};$$

6. Результати вимірювань і обчислень занести в таблицю 1.

I	U	U_c	U_L	Z_L	X_c	X_L	U_r	U_L	P	S	$\cos \varphi$	φ

Вивчення паралельного з'єднання індуктивного і ємкісного опорів (резонансу струмів) проводиться в наступному порядку.

1. З допомогою комбінованого приладу 43101 виміряти опір котушки індуктивності R_L ;
2. Зібрану схему згідно рис.10 під'єднати до клем трьохфазного генератора А і 0;



PA1 - прилад комбінований 43101; PV1 - прилад комбінований Ц4342; PV2 - прилад комбінований 43101; TV1 - трансформатор Т1; C1 - конденсатор 3300 pF.

Рис 10.

3. Виміряти напругу контура U , струм котушки I_L і конденсатора I_c при включенні ємності 3300pF;
4. Обчислити за результатами вимірювань Z_L ; X_L ; X_C ; R ; $\cos \varphi_L$; φ_L ; P ; S по формулах:

$$Z_L = \frac{U}{I_L} \qquad X_L = \sqrt{Z_L^2 - R_L^2};$$

$$X_C = \frac{U_c}{I}; \qquad \cos \varphi_L = \frac{R_L}{Z_L}$$

$$\varphi_L = \arccos \frac{R_L}{Z_L}; \qquad P = I_L^2 * R_L;$$

$$S = U * I$$

5. Результати вимірювань і обчислень занести в таблицю 2.

U	I_L	I_c	U_L	Z_L	X_C	X_L	U_r	U_L	P	S	$\cos \varphi$	φ_L

КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

1. Послідовний резонанс. Паралельний резонанс.
2. Формула Томсона.
3. Порядок виконання роботи.
 1. Визначити індуктивність котушки коливального контура з конденсатором ємністю 220пФ, якщо частота вільних коливань у контурі становить 1,4 МГц.
 2. Яку індуктивність треба включити в коливальний контур, щоб при ємності 2мкФ отримати звукову частоту 1000Гц.
 3. Конденсатор коливального контура приймача має ємність С. На яку довжину хвилі він резонує, якщо відношення максимальної напруги на конденсаторі і струму в котушці під час резонансу дорівнює m/n.
 4. Приймальний контур складається з котушки індуктивністю 2 мкГн і конденсатора ємністю 1800пФ. На яку довжину хвилі розраховано контур.
 5. На який діапазон хвиль можна налаштувати коливальний контур, якщо його індуктивність $2 \cdot 10^{-3}$ Гн, а ємність може змінюватися від 1500 пФ до 1 мкФ.

І.Р. Паздрій, Б.Б. Дериш

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ
до лабораторних робіт
з дисципліни «ФІЗИКА»

спеціальність: 123 - Комп'ютерна інженерія
галузь знань: 12 – Інформаційні технології
освітній рівень «Бакалавр»

Підписано до друку 24.01.2023 р.
Формат 60x84/16. Папір офсетний.
Друк на дублікаторі.
Умов.- друк арк. 1.4 Обл.-вид. арк 1.5.
Тираж 25 прим.

Віддруковано ФОП Шпак В.Д.
Свідоцтво про державну реєстрацію
серія В02 №924434 від 11.12.2006 р.
Свідоцтво платника податку: Е № 897220