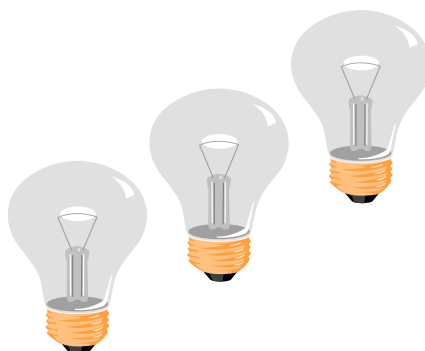


МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ МІСЬКОГО
ГОСПОДАРСТВА імені О. М. БЕКЕТОВА

Методичні вказівки
до виконання лабораторних робіт з курсу
ЗАГАЛЬНОЇ ФІЗИКИ

розділ "ЕЛЕКТРОСТАТИКА І ПОСТІЙНИЙ СТРУМ"

*(для студентів I курсу всіх форм навчання за напрямками підготовки 6.050701,
"Електротехніка та електротехнології", 6.050702 "Електромеханіка")*



Харків – ХНУМГ – 2014

Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт з курсу загальної фізики, розділ "Електростатика і постійний струм" (для студентів 1 курсу всіх форм навчання за напрямками підготовки 6.050701, "Електротехніка та електротехнології", 6.050702 "Електромеханіка"). / Харк. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова; уклад: К. Ю. Аксьонова, Ю. Д. Оксюк .– Х. : ХНУМГ, 2014. – 59 с.

Укладачі: К. Ю. Аксьонова, Ю. Д. Оксюк

Рецензент: доц., к. фіз.-мат. н., А. С. Сисоєв

Рекомендовано кафедрою фізики, протокол № 2 від 18 жовтня 2011 р.

Зміст

Вступ.....	4
Електровимірвальні прилади та їхні характеристики.....	5
ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 1.	
Ознайомлення з приладами для вимірювання електричних величин.....	9
ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 2.	
Розширення меж вимірювання амперметра і вольтметра.....	14
ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 3.	
Осцилографування фізичних процесів.....	21
ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 4.	
Дослідження електростатичного поля способом електростатичного моделювання.....	28
ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 5.	
Визначення ємності конденсатора.....	33
ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 6.	
Вивчення процесів зарядження і розрядження конденсатора.....	38
ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 7.	
Розрахунок розгалуженого електричного кола і його експериментальна перевірка.....	42
ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 8.	
Вимірювання опору методом місткової схеми.....	45
ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 9.	
Дослідження термоелектронної емісії та визначення роботи виходу електрона з металу.....	49
ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 10.	
Дослідження роботи триелектродної лампи	53
Список джерел.....	58

Вступ

Цей випуск є першою частиною методичних вказівок для виконання робіт фізичного практикуму з електрики і магнетизму, створеного на основі сучасного лабораторного устаткування на кафедрі фізики ХНАМГ.

Методичні вказівки містять описи лабораторних робіт з електростатики, постійного електричного струму, електромагнетизму, коливань і хвиль. Крім того, в першій частині методичних вказівок наведено свідомості про електровимірювальні прилади, які використовуються в практикумі, та умовні позначення елементів електричних ланцюгів.

Мета вказівок – надати допомогу студентам в ознайомленні з сучасною вимірювальною апаратурою, придбанні елементарних навичок проведення експериментальних досліджень, перевірки на практиці дії фізичних законів і закономірностей, оцінці вірогідності одержаних результатів. Разом з лекціями і практичними заняттями з розв'язання задач лабораторні заняття покликані забезпечити цілісність відповідного розділу фізики, без якого неможлива широка фундаментальна підготовка з цього предмету. При створенні лабораторної бази даного практикуму і цих вказівок ставилася задача: дати можливість студентам самостійно підготуватися до пропонованих лабораторних робіт, виконати їх у присутності викладача, самостійно оформити результати експериментальних досліджень і здати звіт з оформлених лабораторних робіт викладачеві для їх заліку. З цією метою у кожній лабораторній роботі надано як мінімальний теоретичний матеріал, необхідний для розуміння виникаючих фізичних процесів, що відбуваються, так і матеріал з методики виконання лабораторної роботи. Крім того, студенти мають можливість користуватися довідковою літературою, список якої надано в кінці методичних вказівок. Загальні рекомендації з виконання лабораторних робіт з фізики подано в „Методичних рекомендаціях до організації самостійної роботи з вивчення курсу фізики”, укл. К.Ю Аксьонова., Ю.Д. Оксюк, Є.Б. Сидоренко - Харків: ХНАМГ, 2008.

Електровимірювальні прилади та їхні характеристики

Чутливість і ціна поділки електровимірювального приладу

Чутливістю S електровимірювального приладу називають відношення лінійного чи кутового переміщення покажчика $\Delta\alpha$ до зміни вимірюваної величини, що викликає це переміщення Δx :

$$S = \frac{\Delta\alpha}{\Delta x}.$$

Розмірність чутливості залежить від характеру вимірюваної величини (чутливість приладу до струму, напруги і т.д.).

Величину $C=S^{-1}$, обернену чутливості, називають ціною поділки приладу. Вона встановлює значення електричної величини, що викликає відхилення на одну поділку. Ціна поділки залежить від верхньої і нижньої межі вимірювання приладу і від числа поділок шкали. Наприклад, на рис.1 показана шкала приладу, розрахованого на вимірювання постійного струму (позначка " — ") у межах від 0 до 250 mA, шкала якого має 50 поділок.

Ціна поділки такого приладу дорівнює $\frac{250\text{mA}}{50\text{под}} = 5 \frac{\text{mA}}{\text{под}}.$

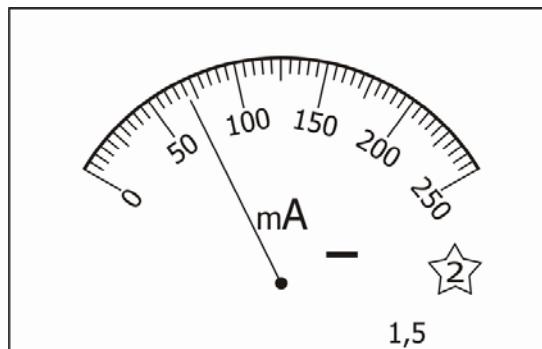


Рис. 1

Похибки приладів

Найважливішою характеристикою кожного вимірювального приладу є його похибка. Точність електровимірювальних приладів лежить в основі розподілу приладів на класи. Електровимірювальні прилади відповідно до величини їх зведеної похибки (у відсотках) поділяються на вісім класів точності: 0,05; 0,1; 0,2; 0,5; 1,0; 1,5; 2,5; 4,0. Прилади класів точності 0,05; 0,1; 0,2; 0,5 використовують головним чином для точних лабораторних вимірювань і називають прецизійними; прилади класів 1,0; 1,5; 2,5; 4,0 мають назву технічних.

Абсолютною похибкою приладу ΔX є модуль різниці між показаннями приладу $X_{\text{пр}}$ і дійсним значенням вимірюваної величини X_0 :

$$\Delta X = |X_{\text{пр}} - X_0|.$$

За дійсне значення вимірюваної величини X_0 приймають її значення, що вимірюється за допомогою зразкових приладів. Зведена похибка

$$\delta_{\text{пр}} = \frac{\Delta X_{\text{пр}}}{X_{\text{max}}} \cdot 100\% \text{ приладу виражається у відсотках (\%).}$$

Клас точності приладу дорівнює зведеній похибці.

Приклад. Нехай виміряне значення сили струму дорівнює 75mA. Вимірювання струму виконували міліамперметром із шкалою на 250 mA. Клас точності 1,5. Тоді абсолютна похибка приладу

$$\Delta I_{\text{пр.}} = \frac{\delta_{\text{пр.}} \cdot I_{\text{max}}}{100} = \frac{1,5 \cdot 250\text{mA}}{100} = 3,75\text{mA}.$$

Відносна похибка вимірювання величини струму

$$\delta = \frac{\Delta I_{\text{пр}}}{I} \cdot 100\% = \frac{3,75}{75} \cdot 100\% = 5\%.$$

З наведеного прикладу зрозуміло, що коли треба проводити вимірювання з високою точністю, то прилад треба підібрати такий, щоб вимірюваний струм викликав відхилення стрілки, найбільш близьке до максимального значення I_{max} .

Класифікація приладів за принципом дії

Магнітоелектрична система. Електровимірювальні прилади цієї системи призначені для вимірювання сили струму і напруги в ланцюгах постійного струму. Робота приладів магнітоелектричної системи заснована на взаємодії магнітного поля постійного магніту і рухливої котушки, по якій протікає вимірюваний струм.

Електромагнітна система. Прилади електромагнітної системи застосовують для вимірювань постійного і змінного струмів. Принцип дії приладів електромагнітної системи заснований на взаємодії магнітного поля котушки, по якій протікає вимірюваний струм, і рухливого осердя, виготовленого з м'яких магнітних матеріалів. Ця система приладів дає змогу вимірювати силу як постійного, так і змінного струмів, має просту конструкцію, витримана у відношенні перевантажень.

Недоліки: нерівномірність шкали; менша точність порівняно з магнітоелектричними приладами.




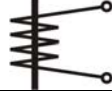
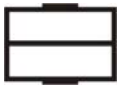

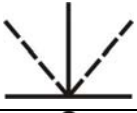

Електродинамічна система. Прилади призначені для вимірювання сили струму, напруги і потужності в колах постійного і змінного струмів. Принцип

дії приладів електродинамічної системи заснований на взаємодії котушок, по яких протікає вимірюваний струм. Таким чином, прилади електродинамічної системи відрізняються від приладів магнітоелектричної системи тим, що магнітне поле створюється не постійним магнітом, а котушкою, по якій протікає вимірюваний струм. Котушки в електродинамічному приладі, залежно від призначення, з'єднуються між собою послідовно або паралельно. Якщо обидві котушки приладу з'єднати паралельно, то його можна використовувати як амперметр, якщо послідовно і приєднати до них послідовно додатковий опір, то прилад може бути використаний як вольтметр. У ватметрах нерухома котушка вмикається в коло струму послідовно, а рухома котушка з додатковим опором – паралельно споживачам енергії.



Існують також прилади індукційної, теплової, вібраційної, електростатичної, термоелектричної та інших систем. Докладніше про ці системи можна дізнатися в книзі “ Загальна фізика. Лабораторний практикум ” за редакцією І.Т.Горбачука. В останній час все частіше використовуються цифрові прилади.

Позначення, що зустрічаються на передній панелі приладів, і позначення деяких елементів електричних схем наведені нижче.



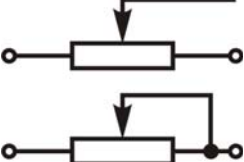

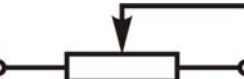













Умовні позначення на передній панелі електровимірювальних приладів

Магнітоелектричний з рухомою рамкою	
Магнітоелектричний з рухомим магнітом	
Логометр магнітоелектричний	
Електромагнітний	
Електродинамічний	
Індукційний	
Вібраційний	
Електростатичний	

Позначення виду струму, класу точності, затисків та ін.

Термоперетворювач неізований	
Термоперетворювач ізований	
Напруга випробувальна 500 В	
Напруга випробувальна, більша за 500 В, наприклад, 2 кВ	
Посилання на відповідний документ	
Екран магнітний	
Екран електростатичний	
Перетворювач електронний у вимірювальному колі	
Затиск для заземлення	
Коректор	
Клас точності, %, при нормуванні похибки від межі вимірювання, наприклад, 1,5 %	
Клас точності, %, при нормуванні похибки від довжини шкали, наприклад, 1,5 %	
Струм змінний однофазний	
Струм постійний	
Струм постійний і змінний	
Струм трифазний змінний	
Горизонтальне положення приладу	
Вертикальне положення приладу	
Положення приладу під кутом 60°	
Загальний затиск	
Позитивний та негативний затиски	

Умовні позначення деяких елементів електричних схем

	Резистор нерегульований		Конденсатор нерегульований
	Реостат з розривом і без розриву ланцюга		Конденсатор регульований
	Потенціометр		Заземлення
	Котушка індуктивності з осердям		Джерело постійного струму
	Котушка індуктивності без осердя		Діод напівпровідник. випрямляч
	Амперметр		Вольтметр
	Мікроамперметр		Мілівольтметр
	Омметр		Цифровий мультиметр
	Осцилограф		Фотоелемент

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 1.

Ознайомлення з приладами для вимірювання електричних величин

Змістом даної роботи є вивчення способів вимірювання сили постійного і змінного струмів, постійної і змінної напруги, опору за допомогою стрілочних і цифрових приладів, градуювання приладів, визначення похибки вимірювання і чутливості приладів.

Прилади і приладдя

Мікроамперметр М-2003, мультиметр ВР-11А, дільник напруги, набір резисторів, діод Д - 226, джерело постійної напруги (до 6 В), джерело змінної напруги (до 10 В), набір сполучних провідників.

Порядок виконання роботи

Завдання 1. Вимірювання електричних величин за допомогою цифрового приладу - мультиметра ВР-11А.

1.1. Ознайомитися з методикою вимірювання сили струму, напруги й опору мультиметром ВР-11А за його описом.

1.2. Виконати вимірювання опорів з набору для даної роботи і внутрішній опір мікроамперметра.

1.3. Виконати вимірювання постійної і змінної напруги на клеммах джерел струму.

1.4. Результати вимірювань занести в зошит.

$R_{ш1} =$ $R_{ш2} =$ $R_{ш3} =$ $R_2 =$ $R_{шA} =$ $U_- =$ $U_+ =$

Завдання 2. Градування мікроамперметра для вимірювання постійного струму.

Процес градування полягає в зіставленні відхилень стрілочного приладу М-2003, який зашунтовано резистором $R_{ш1}$ з показаннями мультиметра ВР-11А, що використовується як еталонний прилад.

2.1. Зібрати схему, зображену на рис. 1.1.

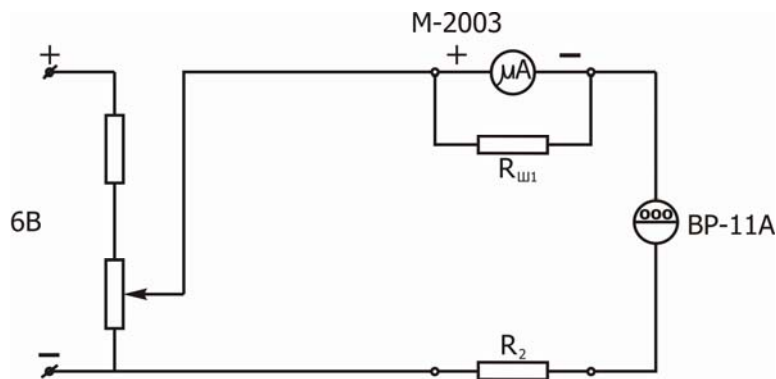


Рис. 1.1.

2.2. Обертаючи ручку дільника напруги, записати в таблицю 1.2 показання n (у поділках шкали) стрілочного приладу М-2003 із кроком у 5 поділок і відповідні їм показання сили струму I (у мкА) мультиметра, який ввімкнено на вимірювання постійного струму.

Таблиця 1.1

№ шунта	n , под.	0	5	10	15	20	.....	.....	.....
1	I , мкА								
2									
3									

Таблиця 1.2

№ шунта	$C, \frac{\text{мкА}}{\text{под}}$		$\Delta C, \frac{\text{мкА}}{\text{под}}$	$\delta_c, \%$	$S, \frac{\text{под}}{\text{мкА}}$	$\Delta S, \frac{\text{под}}{\text{мкА}}$	$\delta_s, \%$
	графік	формула					
1							
2							
3							

2.3. Помінявши в схемі рис.1.1 резистор $R_{ш1}$ на $R_{ш2}$, а потім на $R_{ш3}$, повторити дії, зазначені в п. 2.2, ще 2 рази.

2.4. Побудувати на міліметровому папері градувальні криві $I(n)$, використовуючи дані таблиці 1.1.

2.5. Визначити ціну поділки C приладу в кожному з трьох випадків п.2.2 і 2.3 двома способами: 1) як тангенс кута нахилу градувальної кривої; 2) за формулою

$$C = \frac{I_{\max} - I_{\min}}{n_{\max} - n_{\min}}$$

2.6. Обчислити відносну δ_c і абсолютну ΔC похибки визначення ціни поділки за формулами

$$\delta_c = \frac{\Delta C}{C} = \left(\frac{2\Delta I}{I_{\max} - I_{\min}} + \frac{2\Delta n}{n_{\max} - n_{\min}} \right) 100\%, \quad \Delta C = C \cdot \frac{\delta_c}{100}.$$

Абсолютну похибку визначення сили струму ΔI візьмемо за описом мультиметра ВР-11А:

$$\Delta I = (0,01I_{\max} + 7) \text{ мкА},$$

а похибку визначення поділок Δn - за шкалою стрілочного приладу М-2003. Значення C у формулі для ΔC візьмемо за графіком.

2.7. Визначити чутливість стрілочного приладу за формулою

$$S = \frac{1}{C},$$

а також відносну й абсолютну похибки δ_s і ΔS .

2.8. Результати обчислень в п. 2.5 – 2.7 записати в табл. 1.2.

Завдання 3. Градування вольтметра для вимірювання постійної напруги.

Процес градування відбувається аналогічно тому, що зазначено в завданні 2, тільки тепер стрілочний прилад М-2003 разом з послідовно з'єднаним резистором R_2 буде працювати як вольтметр.

3.1. Зібрати схему, зображену на рис. 1.2.

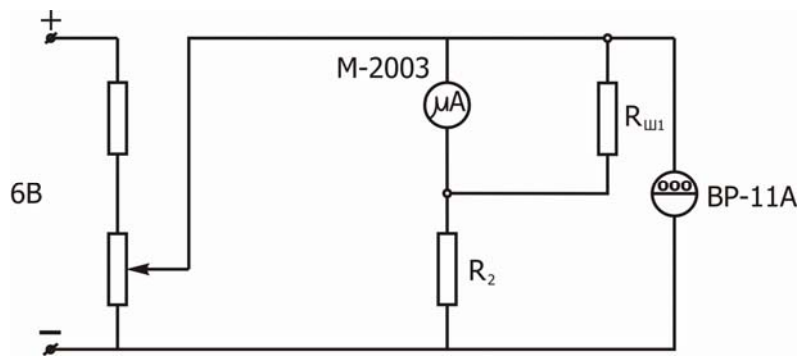


Рис. 1.2

3.2. Обертаючи ручку дільника напруги, записати в таблицю 1.3 показання n (у поділках шкали) стрілочного приладу М-2003 із кроком 5 поділок і відповідні їм показання $U(V)$ мультиметра, ввімкненого на вимірювання постійної напруги.

Таблиця 1.3

n , под	0	5	10	15	20	...	...	...	...	...	...
U, V											

3.3. Побудувати на міліметровому папері градувальну криву $U(n)$, використовуючи дані таблиці 1.3.

3.4. Визначити ціну поділки C приладу двома способами: 1) як тангенс кута нахилу градувальної кривої $U(n)$; 2) за формулою

$$C = \frac{U_{\max} - U_{\min}}{n_{\max} - n_{\min}}.$$

3.5. Визначити чутливість за формулою

$$S = \frac{1}{C}.$$

Значення C у цій формулі візьмемо за графіком.

3.6. Результати обчислень в п.3.4 і 3.5 записати в зошит.

$C =$ (за графіком), $C =$ (за формулою), $S =$

Завдання 4. Градування приладу для вимірювання змінної напруги.

При вимірюванні змінної напруги послідовно з мікроамперметром і резистором R_2 включають діод VD . Градування здійснюється за допомогою мультиметра, ввімкненого на вимірювання змінної напруги.

4.1. Зібрати схему рисунка 1.3.

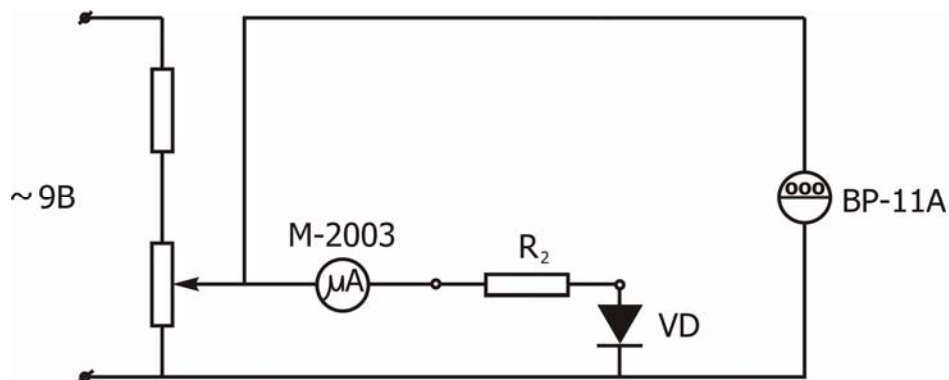


Рис. 1.3

4.2. Обертаючи ручку дільника напруги, записати в таблицю 1.4 показання n (у поділках шкали) стрілочного приладу М-2003 із кроком у 2 поділки в інтервалі від 0 до 20 поділок і з кроком 5 поділок в інтервалі від 20 до 50 поділок, і одночасно записати відповідні показання мультиметра U (В).

Таблиця 1.4

n , под.	0	2	4	6	8	...	...	20	25	...	...	...
U , В												

4.3. Побудувати на міліметровому папері градувальну криву $U(n)$ для всього інтервалу показань n , а в інтервалі n від 0 до 20 поділок побудувати ділянку градувальної кривої у збільшеному масштабі (у 5 разів).

4.4. Визначити ціну поділки приладу на трьох ділянках кривої (через нелінійність градувальної кривої):

- 1) від 20 поділок і вище;
- 2) поблизу точки $n = 5$ поділок ;
- 3) поблизу точки $n = 10$ поділок .

Визначення ціни поділки зробити за графіком, обчислюючи її як тангенс кута нахилу дотичної до графіка в даній точці (геометричний зміст похідної).

4.5. Визначити чутливість приладу в зазначених трьох випадках за формулою:

$$S = \frac{1}{C}$$

4.6. Результати обчислень в п.4.4 і 4.5 записати в зошит.

$$C_1 = \quad C_2 = \quad C_3 = \quad S_1 = \quad S_2 = \quad S_3 =$$

Контрольні запитання

1. Які електричні величини можна вимірити мультиметром ВР-11А ?
2. Які електричні величини можна вимірити мікроамперметром, що використовується в даній роботі?

3. У чому полягає процес градування фізичних приладів?
4. Чому в завданні 2 до мікроамперметра приєднують шунт, а в завданні 3 ще і додатковий резистор?
5. Чому в завданнях 2 і 3 ціну поділки можна визначити без залучення графіка градувальної кривої, а в завданні 4 вона визначається за графіком, та й ще і кілька разів?
6. У якому випадку визначення ціни поділки має меншу помилку: у разі використання формули або за графіком?
7. Для чого використовується діод у завданні 4?

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 2.

Розширення меж вимірювання амперметра і вольтметра

Мета роботи – визначення коефіцієнтів шунтування, опорів шунтів і додаткових опорів для збільшення меж вимірювання сили струму і напруги. Відповідно до зазначеної мети робота складається з двох частин.

І. Шунтування амперметра.

Амперметр – прилад для вимірювання сили струму – включається в ланцюг послідовно з тією ділянкою ланцюга, на якому вимірюється сила струму. Тому опір обмотки амперметра повинен бути досить малим, щоб зміна сили струму при включенні амперметра не перевищувала його абсолютної похибки. При необхідності ввімкнути амперметр у коло, струм в якому перевищує значення, на яке розрахований даний прилад, паралельно опору обмотки амперметра включають резистор, названий шунтом.

Оцінку помилки у визначенні сили струму, яку вносить амперметр, можна зробити, склавши типову схему для виміру сили струму в колі.

На рис. 2.1 зображено дві ділянки такого кола.

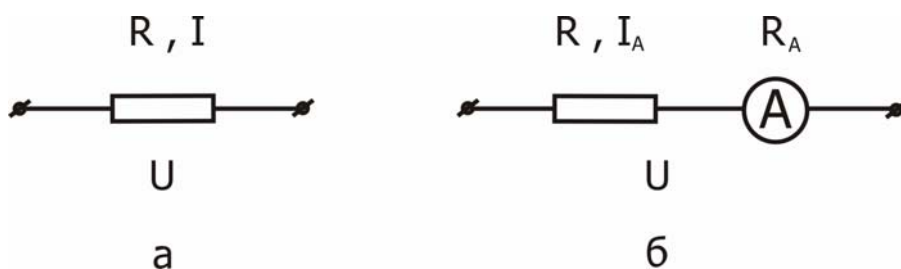


Рис. 2.1

На ділянці кола, зображеній на схемі **а**, треба визначити силу струму I . Включаючи в коло амперметр (схема **б**), вимірюють силу струму I_A , що відрізняється від дійсної сили струму I у схемі **а**; R – опір навантаження; R_A – опір амперметра; U – різниця потенціалів на кінцях ділянок кола.

За законом Ома для ділянки кола

$$I = \frac{U}{R} \text{ (схема а) }, \quad (1)$$

$$I_A = \frac{U}{R + R_A} \text{ (схема 6) .} \quad (2)$$

Виключивши R з рівнянь (1) , (2), одержимо вираз для сили струму I :

$$I = I_A \left(1 + \frac{I_A \cdot R_A}{U - I_A \cdot R_A} \right) . \quad (3)$$

Різниця $(I - I_A)$ не повинна перевищувати абсолютної похибки $\Delta I_{\text{пр}}$:

$$I - I_A < \Delta I_{\text{пр}} ; \quad (4)$$

$$\Delta I_{\text{пр}} = \frac{\delta_{\text{пр}} \cdot I_{\text{max}}}{100} , \quad (5)$$

де $\delta_{\text{зв}}$ – зведена похибка приладу (клас точності приладу, що позначається на його шкалі);

I_{max} – максимальне значення сили струму, що вимірюється приладом.

Оскільки найчастіше абсолютна похибка приладів з пропорційною шкалою збігається з половиною поділки, то замість формули (5) для $\Delta I_{\text{пр}}$ можна використати вираз

$$\Delta I_{\text{пр}} = \frac{I_{\text{max}}}{2n} , \quad (6)$$

де n – число поділок шкали.

Тоді умову (4), при якій амперметр не вносить змін у виміри, з урахуванням рівняння (3) можна записати так:

$$I_A = \frac{I_A R_A}{U - I_A R_A} < \frac{I_{\text{max}}}{2n} . \quad (7)$$

З огляду на найбільш несприятливий випадок, коли $I_A = I_{\text{max}}$, з умови (7) одержимо:

$$\frac{U}{I_{\text{max}} R_A} > 2n + 1 . \quad (8)$$

Оскільки звичайно $n \gg 1$, останню нерівність можна записати так:

$$\frac{U}{I_{\text{max}} R_A} > 2n . \quad (9)$$

З цієї умови завжди можна визначити, який прилад можна використовувати для даного значення U і при яких значеннях U можна

використовувати цей прилад.

Для з'ясування того, як відбувається розширення меж виміру сили струму приладом при підключенні до нього шунта, розглянемо дві схеми (рис. 2.2).

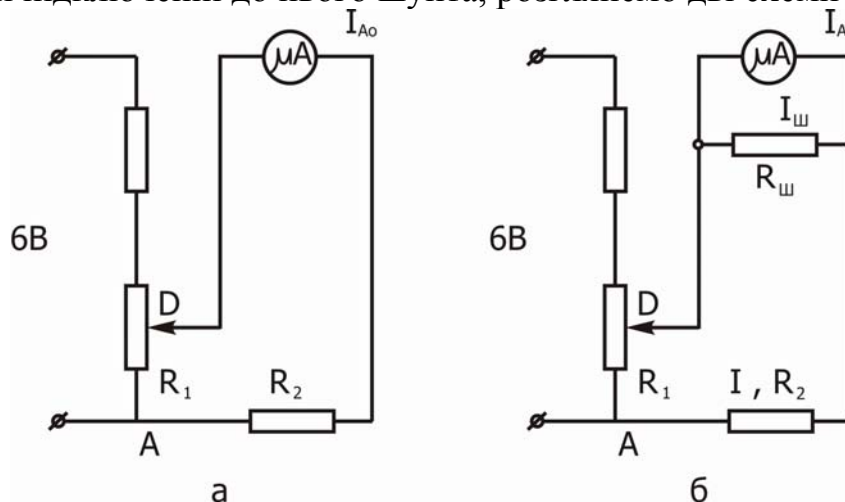


Рис. 2.2

На рис. 2.2: $R_{ш}$ – опір шунта; $I_{ш}$ – сила струму в шунті; I_{A0} – сила струму в колі без шунта; I_A – сила струму, що протікає крізь амперметр у схемі з шунтом; $I = I_A + I_{ш}$; R_2 – опір навантаження; R_1 – опір ділянки напруги.

Коефіцієнтом шунтування називають число, на яке треба помножити показання приладу I_A , щоб одержати значення струму в колі I :

$$K = \frac{I}{I_A}. \quad (10)$$

З рівнянь $I_A R_A = I_{ш} R_{ш}$ і $I = I_A + I_{ш}$ легко одержати вираз для K через опори шунта $R_{ш}$ і амперметра R_A :

$$K = 1 + \frac{R_A}{R_{ш}}, \quad (11)$$

і опір шунта $R_{ш}$ через R_A і K :

$$R_{ш} = \frac{R_A}{K - 1}. \quad (12)$$

Коли необхідно, наприклад, збільшити ціну поділки амперметра в 10 разів, то опір шунта треба взяти в 9 разів меншим ніж опір амперметра.

Розглянемо випадок, коли опір шунта невідомий, а треба визначити коефіцієнт K . Для цього слід виміряти сили струмів I_{A0} і I_A при тому самому опорі R_A і тій самій напрузі U на опорі R_1 і визначити K .

За законом Ома одержимо:

$$I_{A0} = \frac{U}{R_2 + R_A} \quad (\text{для схеми а на рис. 2.2}), \quad (13)$$

$$I = \frac{U}{R_2 + \frac{R_A \cdot R_{ш}}{R_A + R_{ш}}} \quad (\text{для схеми 6 на рис.2.2}). \quad (14)$$

Врахувавши, що $I = KI_A$ (з формули (10)), $\frac{R_A \cdot R_{ш}}{R_A + R_{ш}} = \frac{R_A}{K}$ (з формули (11)) і виключивши R_2 з рівнянь (13) і (14), одержимо:

$$K = \frac{U - I_A \cdot R_A}{U \cdot \frac{I_A}{I_{AO}} - I_A \cdot R_A} = \frac{I_{AO}}{I_A} \left(1 + \frac{I_{AO} - I_A}{U - I_{AO} \cdot R_A} R_A \right). \quad (15)$$

Якщо виконується нерівність (9), то другим доданком у дужках виразу (15) можна знехтувати (він має порядок менше, ніж величина $\frac{1}{2n}$), і вираз (15) набуває вигляду

$$K = \frac{I_{AO}}{I_A}. \quad (16)$$

Таким чином, вимірявши I_A і I_{AO} , знайдемо коефіцієнт шунтування K , а за формулою (12) – опір шунта $R_{ш}$.

2. Розширення меж вимірювання вольтметра

Вольтметр – прилад для вимірювання напруги – вмикається в коло паралельно тій ділянці кола, між кінцями якого вимірюється напруга. Тому опір вольтметра повинен бути досить великим, щоб зміна напруги при вмиканні вольтметра не перевищувала його похибки. При необхідності включити вольтметр у коло з напругою, що перевищує ту, на яку розрахований даний вольтметр, послідовно з його обмоткою включається додатковий резистор.

Оцінку помилки у визначенні напруги, що вносить вольтметр, можна зробити аналогічно тому, як це було зроблено у випадку амперметра. Щоб прилад не вносив помилок, досить виконати умову

$$\frac{R_B}{R_X} > 2n, \quad (17)$$

де n - число поділок пропорційної шкали вольтметра; R_B - опір вольтметра; R_X - опір тієї ділянки, де вимірюється напруга.

Для з'ясування того, як відбувається розширення меж виміру напруги приладом, розглянемо дві схеми (рис. 2.3):

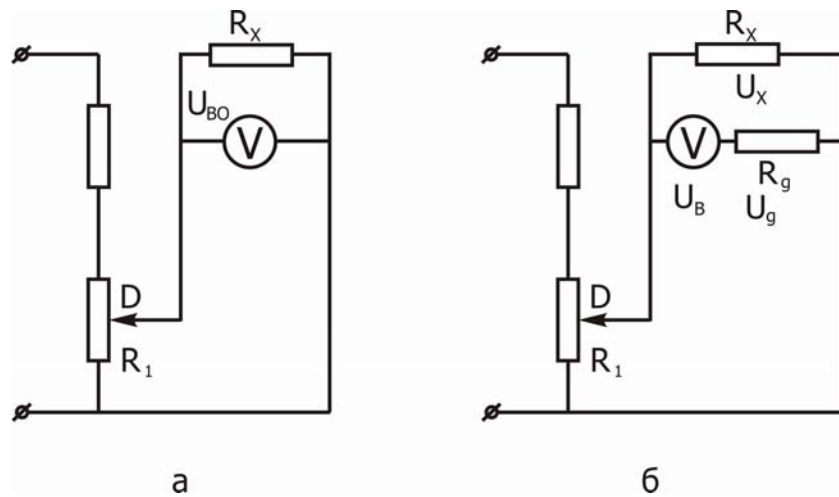


Рис. 2.3

На рис. 2.3: U_{BO} і U_B – показання вольтметра без додаткового резистора і з ним відповідно; U_X – напруга на резисторі R_X ; U_D – напруга на додатковому резисторі R_D .

Додатковими резисторами є резистори, що застосовуються для збільшення меж виміру вольтметрів. Якщо ціну поділки шкали вольтметра треба збільшити в N разів, то очевидною є рівність

$$N = \frac{U_X}{U_B}. \quad (18)$$

При виконанні умови (17) напруги U_{BO} і U_X на опорі R_X у схемах **а** і **б** рис.2.3 практично однакові: $U_{BO} = U_X$. Тому з рівняння (18) випливає

$$N = \frac{U_{BO}}{U_B}. \quad (19)$$

Звичайно коефіцієнт N знаходять за формулою (19), коли показання вольтметра U_{BO} не перевищують максимального значення його шкали. Напругу U_X на опорі R_X , що перевищує максимальне значення шкали вольтметра без додаткового резистора (при малому опорі R_1), знаходять за формулою (18). При цьому показання вольтметра U_B при досить великому додатковому опорі R_D уже не будуть перевищувати максимального значення шкали.

Зв'язок коефіцієнта N з опором додаткового резистора знаходимо за формулою (18):

$$N = \frac{U_{BO}}{U_B} = \frac{U_B + U_D}{U_B} = 1 + \frac{U_D}{U_B} = 1 + \frac{R_D}{R_B} \quad (20)$$

Опір додаткового резистора обчислюють за формулою

$$R_D = R_B(N - 1). \quad (21)$$

Якщо необхідно, наприклад, збільшити ціну поділки вольтметра в 10 разів, то опір додаткового резистора треба взяти в 9 разів більше опору вольтметра. При цьому показання вольтметра U_B у схемі з додатковим резистором треба помножити на 10 (формула (18)), щоб одержати дійсну напругу U_X на резисторі R_X .

Якщо опір додаткового резистора невідомий, то, вимірюючи напруги U_{B0} і U_0 за схемами **а** і **б** на рис. 2.3, знаходять N за формулою (19), а потім R_d за формулою (21).

Прилади і приладдя

Амперметр, вольтметр, дільник напруги, набір шунтів, набір додаткових резисторів, сполучні провідники, джерело струму.

Порядок виконання роботи

Завдання 1. Визначення коефіцієнтів шунтування, опорів невідомих шунтів за показаннями амперметра з шунтом і без нього і сили струму в колі.

1.1. Зібрати схему **а** на рис. 2.2.

1.2. Подати напругу на дільник і, збільшуючи опір R_1 обертанням повзунка, переконатися в тому, що при деякому положенні повзунка сила струму в колі перевищує межу вимірів амперметра.

1.3. Зменшуючи опір дільника напруги R_1 , записати максимально можливі показання амперметра I_{A0max} у табл. 2.1.

1.4. Приєднати шунт з невідомим опором (схема **б** на рис. 2.2) і, не змінюючи положення повзунка дільника (див. п.3), записати показання амперметра I_{Amax} у табл. 2.1.

1.5. Визначити коефіцієнти шунтування K за формулою (16) і записати в табл. 2.1.

1.6. Повторити вимірювання, зазначені в п. 3 і 4, і обчислення, зазначені в п. 5, тричі при інших положеннях повзунка дільника напруги, але для того самого шунта. Результати занести в табл. 2.1.

1.7. Обчислити середнє значення коефіцієнта шунтування $\langle K \rangle$ і за формулою (12) опір шунта $R_{ш1}$.

1.8. Повторити вимірювання й обчислення, вказані в п.3–7, ще для двох шунтів.

1.9. Для кожного з шунтів у ланцюзі, складеному за схемою **б** на рис.2.2, знайти кілька значень сили струму в межах від I_{A0max} (п.4) до межі вимірювань амперметра й обчислити відповідні значення I в ланцюзі за формулою (10): $I = I_A \cdot K$. Результати занести в табл. 2.1.

Завдання 2. Визначення опорів додаткових резисторів і коефіцієнтів розширення меж вимірювання вольтметра за показаннями вольтметра з додатковим резистором і без нього і напруги на ділянці кола.

2.1. Зібрати схему **а** на рис. 2.3.

2.2. Подати напругу на дільник і, збільшуючи опір R_1 обертанням повзунка, переконатися в тому, що при деякому його положенні напруга

перевищує межу показань вольтметра.

2.3. Зменшуючи опір ділянки напруги R_1 , записати максимально можливі показання вольтметра U_{B0max} у табл. 2.2.

2.4. Приєднати додатковий резистор з невідомим опором R_d (схема **б** на рис. 2.3) і, не змінюючи положення повзунка ділянки (див.п.3), записати показання вольтметра U_{Bmax} у табл. 2.2.

2.5. Визначити коефіцієнт N за формулою (19) і записати в табл. 2.2.

2.6. Повторити вимірювання, зазначені в п. 3 і 4, і обчислення, вказані в п. 5, тричі при інших положеннях повзунка ділянки, але для того самого додаткового резистору. Результати занести в табл. 2.2.

2.7. Обчислити середнє значення коефіцієнта $\langle N \rangle$ і за формулою (21) опір додаткового резистора R_d .

2.8. Повторити вимірювання й обчислення, зазначені в п. 3 - 7, ще для двох додаткових резисторів.

2.9. Для кожного з додаткових резисторів у ланцюзі, складеному за схемою **б** на рис.2.3, знайти кілька значень напруги U_B у межах від U_{Bmax} (п.4) до межі вимірювань вольтметра й обчислити відповідні значення U_x на ділянці з опором R_x за формулою (18): $U_x = U_B \cdot N$. Результати занести в табл.2.2.

Таблиця 2.1

№ $R_{ш}$	1				2				3			
I_{A0} , mA												
I_A , mA												
K												
$\langle K \rangle$												
$R_{ш}$, Ом												
I_A , mA												
I , mA												

Таблиця 2.2

№ R_d	1				2				3			
U_{B0} , В												
U_B , В												
N												
$\langle N \rangle$												
R_d , Ом												
U_B , В												
U , В												

Контрольні запитання

1. Записати і пояснити закономірності паралельного і послідовного з'єднання провідників.
2. Який вид з'єднання використовується в побутовій електромережі і чому?
3. Що таке шунт, яке його призначення?
4. Що таке додатковий резистор, яке його призначення?
5. Дати визначення коефіцієнта шунтування і записати зв'язок між опорами амперметра і шунта.
6. Який зв'язок між опором вольтметра і опором додаткового резистора?

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 3. Осцилографування фізичних процесів

Мета роботи - вивчення принципу роботи електронного осцилографа, використання осцилографа для спостереження форми сигналу, виміру напруги, частоти, різниці фаз коливань, вивчення явищ, що виникають при додаванні коливань, які відбуваються вздовж одного напрямку і взаємно перпендикулярних напрямків.

Опис і принцип роботи електронного осцилографа

Електронно-променевий осцилограф є універсальним електровимірювальним приладом із широкою областю застосування: візуальне спостереження, вимірювання і запис різноманітних електромагнітних процесів. З його допомогою можна вивчати протікання електромагнітних процесів у часі, а також функціональну залежність між такими процесами. Сучасні методи дозволяють перетворити змінні фізичні величини в пропорційні їм електричні напруги, тому осцилограф може застосовуватися для вивчення функціональних залежностей між будь-якими фізичними величинами: механічними, світловими, тепловими і т.і. Для повноцінного використання всіх можливостей осцилографа необхідно добре знати основні принципи дії і взаємозв'язок його головних вузлів, вміти управляти і користуватися цим складним приладом.

Устрій і робота електронного осцилографа

Основними вузлами електронного осцилографа є електронно-променева трубка, підсилювачі й послаблювачі вхідних сигналів, генератор розгортки і блок живлення.

Електронно-променева (осцилографічна) трубка

Електронно-променева трубка (ЕПТ) дозволяє сформувати вузький пучок електронів. У залежності від застосовуваного принципу фокусування трубки бувають двох типів: електростатичні і магнітні. У трубках першого типу для фокусування і відхилення електронного променя застосовується

електричне поле, а в трубках другого типу - магнітне поле. В осцилографах застосовуються трубки з електростатичним відхиленням, у той час як трубки з магнітним відхиленням застосовуються звично в телевізійних пристроях.

Схематичне зображення електростатичної ЕПТ надане на рис. 3.1а. Трубка являє собою скляну колбу, яку відкачано до високого вакууму, усередині колби змонтована електронна гармата і дві пари взаємно перпендикулярних пластин, що відхиляють електронний пучок. Внутрішня поверхня передньої стінки колби покрита флуоресцентною речовиною і є екраном.

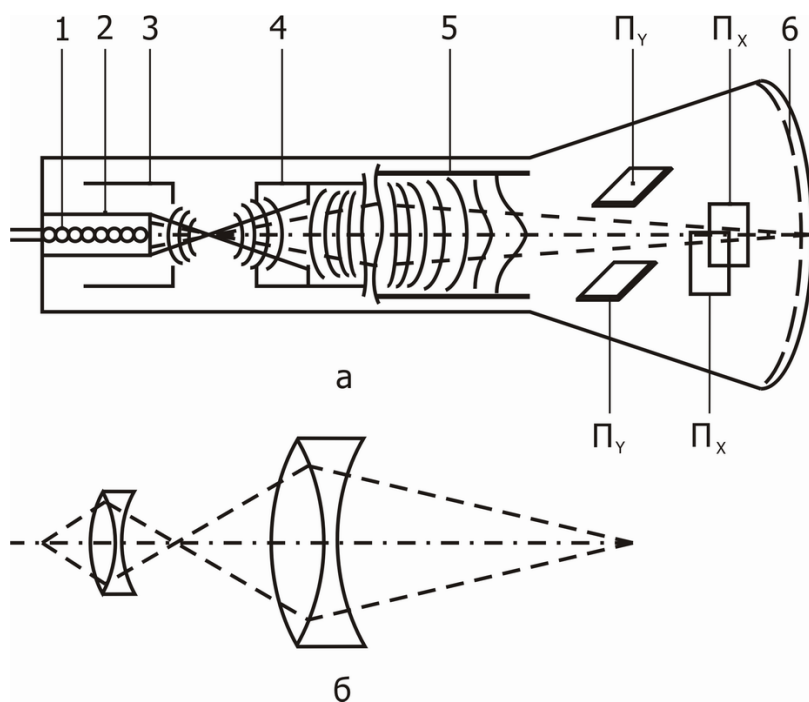


Рис. 3.1

Електронна гармата призначена для одержання і формування тонкого електронного променя потрібної інтенсивності. Вона складається з підігрівника 1, оксидного катода 2, що є джерелом електронів, керуючого електрода 3 (модулятора), що регулює інтенсивність електронного пучка, фокусуючого анода 4 (перший анод) і анода, що прискорює, 5 (другий анод).

Катод виготовлений у вигляді циліндра, на дно якого нанесено оксидну плівку металу, наприклад, барію. Підігрів поверхні катода здійснюється за допомогою нитки розжарення 1. Електрони емісії, що вириваються з поверхні катода, проходять через отвір в керуючому електроді 3, що утворює з катодом коаксіальний циліндр. На керуючий електрод подається негативний (стосовно катода) потенціал. Змінюючи цей потенціал, можна управляти інтенсивністю електронного пучка і, отже, яскравістю світлової плями на екрані 6. Таким чином, керуючий електрод відіграє роль, яка аналогічна з роллю керуючої сітки в електронних лампах. Призначення першого і другого анода полягає в тому, щоб прискорювати і концентрувати електрони у вузький пучок.

Фокусування електронного пучка здійснюється електричним полем різноманітної конфігурації, що створюється електродами в різних місцях трубки. На рис. 3.1а штриховими лініями показані траєкторії електронів, а

суцільними - проекції на площину рисунку еквіпотенціальних поверхонь електричного поля, що виникає при подачі напруги на аноди трубки.

Дія електричних полів на електронний промінь аналогічна з дією оптичних лінз на світловий промінь, тому електронно-оптичній системі гармати можна зіставити еквівалентну оптичну схему (рис. 3.1 б).

Для відхилення сформованого електронною гарматою променя використовуються дві пари відхиляючих пластин, на які безпосередньо або після посилення (ослаблення) подаються досліджувані напруги. Одна пара пластин (ПҮ) викликає відхилення пучка у вертикальному напрямку (Ү - пластини), інша (ПХ) у горизонтальному напрямку (Х - пластини). Величина цього відхилення пропорційна прикладеній до пластин напрузі. Ця залежність і лежить в основі різноманітних застосувань осцилографа. Дійсно, якщо на одну пару пластин подати напругу, пропорційну вимірюваній величині x , а на іншу – напругу, пропорційну величині $y=f(x)$, то на екрані трубки слід променя опише криву $y=f(x)$ у прямокутних координатах.

Чутливість електронно-променевої трубки

Чутливістю трубки до напруги називається відношення зсуву плями на екрані до різниці потенціалів, що викликала цей зсув. Чутливість вимірюється в міліметрах на вольт (мм/В) і залежить від параметрів трубки: довжини l пластин, що відхиляють, відстані d між ними, відстані L від пластин до екрана, різниці потенціалів U між другим анодом і катодом.

Наведемо без доказу формулу для чутливості ЕПТ за напругою

$$S_U = \frac{lL}{2Ud}.$$

Позначення в цій формулі зазначені вище.

Чутливості для пластин ПХ і ПҮ будуть неоднакові внаслідок різних відстаней L . Наведений вираз для чутливості ЕПТ є наближеним, тому що на практиці пластини не плоскі, а вигнуті для зменшення крайового ефекту.

Підсилювачі й послаблювачі вхідних сигналів

Електронно-променева трубка сама по собі має малу чутливість. Для збільшення чутливості осцилограф постачають підсилювачами напруги. Кожна пара пластин має свій підсилювач. Підсилювач для Х - пластин звично має невеличкий коефіцієнт підсилення, тому що він призначається головним чином для підсилення достатньо великого сигналу, подаваного від генератора розгортки. Підсилювач для Ү - пластин, навпаки, має достатньо високий коефіцієнт підсилення (декілька тисяч). Підсилювачі мають широку смугу пропускання і дуже рівномірну частотну характеристику, тобто коефіцієнт підсилення майже не залежить від частоти.

Якщо подаваний на вхід осцилографа сигнал достатньо великий, його можна подавати безпосередньо на відхиляючі пластини, або скористатися послаблювачем сигналу, що є дільником напруги (потенціометром).

Електронно-променева трубка, яка забезпечена підсилювачами й послаблювачами, може бути використана як чутливий безінерційний вольтметр, що дозволяє виміряти напругу, силу струму, активний опір і т.ін.

Генератор розгортки

Для спостереження тимчасового ходу процесів за часом можна подавати на горизонтальні пластини осцилографа напругу, що лінійно зростає з часом, - напругу розгортки. Тому вісь X на екрані трубки називають іноді віссю часу. Якщо при цьому одночасно подати на вертикально відхиляючі пластини ПУ досліджувану напругу, то на екрані осцилографа промінь побудує графік зміни досліджуваної напруги за часом. За допомогою осцилографа вивчають швидкозмінні періодичні процеси, тому й напруга розгортки теж повинна бути періодичною. Період розгортки повинний бути кратний періоду досліджуваного сигналу, щоб промінь на екрані з кожним повторенням циклу розгортки прокреслював ту ж саму траєкторію. Після проходження вздовж горизонтального діаметра до визначеної точки промінь повинен швидко повернутися у вихідне положення (зворотний хід). Викладена вище вимога виконується, якщо напруга розгортки змінюється за законом, що графічно зображено на рис. 3.2, де t_1 - час прямого ходу і t_2 - час зворотного ходу променя. Таку напругу називають пилкоподібною:

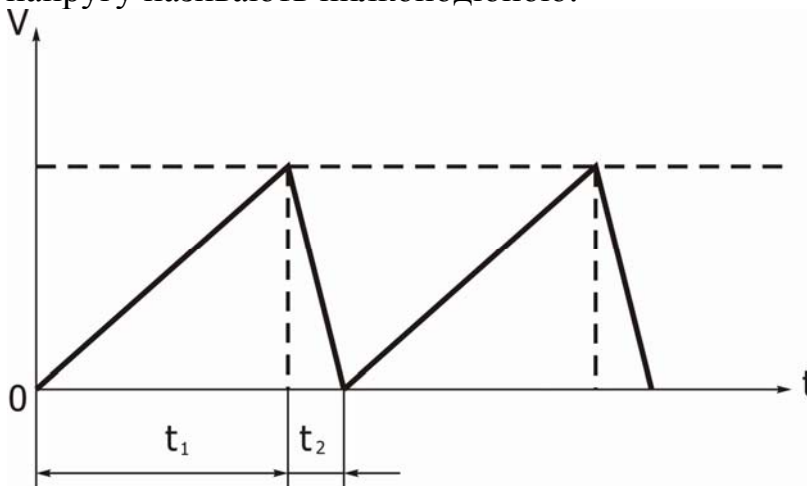


Рис. 3.2

Щоб спостерігати на екрані графік досліджуваного процесу у вигляді безперервної лінії, частота розгортки повинна бути достатньо великою. Якщо досліджуваний процес однократний або повторюється не періодично, то генератор розгортки повинний давати одиничні імпульси пилкоподібної форми тільки в момент виникнення досліджуваного процесу (режим очікування). У цьому випадку запуск генератора розгортки здійснюється сигналом із підсилювача вертикального відхилення (досліджуваним сигналом) або зовнішнім сигналом.

Генератор міток часу

При дослідженні швидкозмінних процесів за допомогою осцилографа часто виникає необхідність у вимірюванні їхньої тривалості. Для цієї мети використовується генератор міток часу, що завдає через рівні проміжки часу мітки на осцилограмі. Найчастіше такі мітки завдаються засобом підсвічувань чи гасіння променя. Для цього на модулюючий електрод трубки, чи на катод подають електричні сигнали від генератора міток, періодично змінюючи яскравість плями на екрані. Якщо знати тривалість маркерної мітки і число міток, що укладаються на досліджуваному сигналі (при заданому числі сигналів), можна визначити тривалість сигналу. Тривалість міток часу можна змінювати для зручності вимірювання. Генератор міток часу або монтується усередині осцилографа, або підключається ззовні через канал керування яскравістю променя, який називають віссю електронного осцилографа.

Синхронізація

Для того щоб зображення на екрані осцилографа було нерухомим (не «пливло»), генератор розгортки повинний працювати з частотою, яка дорівнює чи кратна частоті досліджуваного сигналу. Це співвідношення періодів повинно залишатися строго постійним протягом усього часу спостереження. Проте, унаслідок нестабільності частот як генератора розгортки, так і досліджуваного сигналу, ця умова порушується, що веде до нестабільності зображення на екрані. Щоб забезпечити якісне зображення на екрані, коливання генератора розгортки синхронізуються з коливаннями іншої, більш стабільної напруги, наприклад, напруги мережі, що є джерелом живлення осцилографа, напруги зовнішнього генератора зі стабільною частотою чи досліджуваної напруги.

Блок живлення

Блок живлення осцилографа забезпечує постійною напругою електричні кола напівпровідникової (або лампової) схеми і електронно-променевої трубки. Він містить у собі силовий трансформатор, випрямні елементи і фільтри.

Керування осцилографом повинно бути вивчено за прикладеною до нього інструкцією.

Прилади і приладдя

1. Електронний осцилограф.
2. Звуковий генератор-2 шт.
3. Джерела постійного і змінного струму.
4. Мультиметр ВР-11А.
5. Трансформатор - змішувач коливань.
6. Сполучні провідники.

Порядок виконання роботи

Завдання 1. Спостереження сигналів на екрані осцилографа і радування осцилографа.

1.1. Зібрати схему, зображену на рис. 3.3.

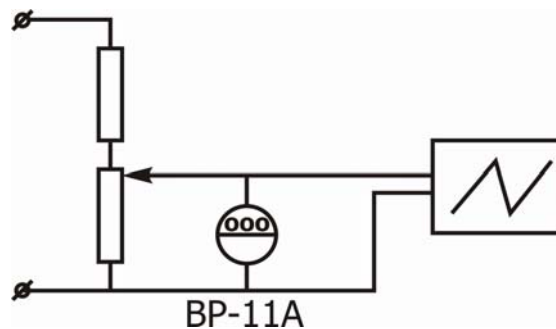


Рис.3.3

1.2. Ввімкнути осцилограф, вимкнути розгортку і установити світлову точку в центр екрана.

1.3. Подати на вхід Y осцилографа постійну напругу. Відзначити, що відбувається на екрані при зміні величини і полярності напруги. Збільшуючи вхідну напругу і вимірюючи її мультиметром через одну поділку вертикальної шкали екрана, зробити градуювання осцилографа за вертикальним відхиленням (результати записати в таблицю 3.1).

1.4. Вимкнути вхід Y і подати той же сигнал постійної напруги на вхід X. Відзначити, що відбувається з променем при зміні величини і полярності вхідного сигналу. Зробити градуювання осцилографа за горизонтальним відхиленням (результати записати в таблицю 3.1).

1.5. Підключити дільник (рис.3.3) до джерела змінної напруги і проробити дії, зазначені в п. 1.3 і 1.4. Відзначити і пояснити розходження між зображеннями на екрані для постійної і змінної напруг.

1.6. Увімкнути розгортку. Подати постійний сигнал на вхід Y і, змінюючи величину вхідної напруги, перемалювати зображення на екрані. Подати змінний сигнал на вхід Y і, підбираючи час розгортки, одержати стійке зображення на екрані. Перемалювати зображення і дати пояснення йому. Записати амплітуду й ефективне значення напруги.

Таблиця 3.1

	п, поділки	0	1	2	3	4	5
Y	-V, В						
	$-\frac{V}{n}, \frac{B}{\text{под}}$						
	~V, В						
	$\sim \frac{V}{n}, \frac{B}{\text{под}}$						
X	-V, В						
	$-\frac{V}{n}, \frac{B}{\text{под}}$						
	~V, В						
	$\sim \frac{V}{n}, \frac{B}{\text{под}}$						

Завдання 2. Вимірювання частоти

2.1. Подати на вхід Y синусоїдальний сигнал від звукового генератора ЗГ-1.

2.2 .Одержати стійке зображення синусоїди. Підрахувати відстань 1 у поділках шкали, яка відповідає цілому числу періодів сигналу n, що укладаються найбільше близько до 10 поділок шкали. Тоді частоту ν визначимо за формулою:

$$\nu = \frac{n}{lt},$$

де τ – тривалість розгортки.

Завдання 3. Додавання гармонійних коливань, що відбуваються вздовж однієї прямої

3.1. Зібрати схему, зображену на рис. 3.4.

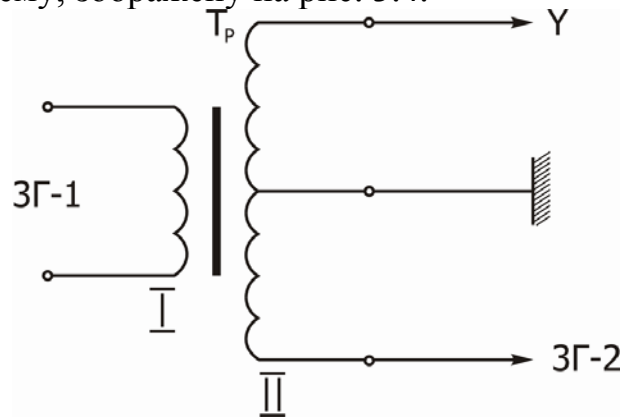


Рис. 3.4

3.2. Спостереження биттів.

Подати на обмотку 1 трансформатора сигнал 150÷500Гц від генератора ЗГ-1. Одержати на екрані осцилографа стійке зображення синусоїди. Записати амплітуду сигналу. Відключивши обмотку 1, подати сигнал приблизно такої ж частоти на обмотку 2 іншого генератора ЗГ-2. Встановити амплітуду сигналу на екрані, яка дорівнює попередній. Подати одночасно сигнали на обидві обмотки 1 і 2. Плавню змінюючи частоту одного з генераторів, одержати биття і перемалювати їхню картину. Визначити період биттів і різницю частот між коливаннями, що додаються.

Примітка: При використанні двохканального осцилографа додавання коливань провадиться без використання змішувального трансформатора, а шляхом прямої подачі сигналів на вхід Y1 і Y2.

3.3. Додавання коливань із кратними частотами.

Подати гармонійний сигнал, наприклад, 50Гц на обмотку 1, і 100 Гц на обмотку 2. Перемалювати отримане зображення і відзначити, який вигляд має результуючий сигнал. Повторити спостереження при співвідношенні частот 1:3, 1:4.

Завдання 4. Додавання взаємно перпендикулярних коливань

Ввімкнути розгортку. Подати на вхід X гармонійний сигнал від генератора ЗГ-1 і на вхід Y від генератора ЗГ-2 з амплітудами $5 \div 10$ В. При додаванні коливань однакової частоти й однакової амплітуди через зміну різниці фаз спостерігають плавний перехід кола в еліпс і потім у пряму лінію. При додаванні коливань із кратними частотами спостерігають фігури Ліссажу.

Контрольні запитання

1. З якою метою може бути використаний електронно-променевий осцилограф?
2. Які основні вузли електронного осцилографа і їхнє призначення?
3. Як одержати зображення на екрані електронно-променевої трубки?
4. Яке призначення кожного з електродів ЕПТ ?
5. Від чого залежить чутливість ЕПТ ?
6. Для чого використовується пилоподібна напруга в генераторі розгортки ?
7. Пояснити розходження між зображеннями на екрані для постійної і змінної напруг, подаваних на вхід осцилографа при вимкненої розгортці.
8. Навіщо потрібна синхронізація?

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 4.

Дослідження електростатичного поля способом електролітичного моделювання

Мета роботи - вивчення картини потенціального поля різних заряджених тіл на електролітичній моделюючій установці.

Електростатичне поле характеризується в кожній точці простору вектором напруженості поля \vec{E} і потенціалом φ .

Усякий нерухомий заряд створює в навколишнім просторі електричне поле, що виявляється при внесенні спробних електричних зарядів у будь-яку точку поля. Силовою характеристикою поля є його напруженість \vec{E} .

Напруженість чисельно дорівнює силі \vec{F} , з яким поле діє на одиничний позитивний заряд q , який поміщено в дану точку поля:

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q} \quad (1)$$

Лінія, дотична до якої в кожній точці збігається за напрямком з вектором напруженості електростатичного поля, – це силова лінія. Таким чином, силова лінія визначає в кожній точці, через яку проходить, напрямок напруженості \vec{E} , а отже, і напрямок сили, що діє на позитивний заряд, вміщений у цю точку поля. Густота силових ліній характеризує чисельне значення напруженості.

Енергетичною характеристикою поля є потенціал. Він вимірюється

роботою, яку виконують сили поля при переміщенні позитивного заряду з даної точки поля в точку, що знаходиться на нескінченності:

$$\varphi = \frac{A}{q} \quad (2)$$

Потенціал електростатичного поля є функція координат. Можна виділити сукупність точок, для яких потенціал буде тим самим. Для поля, створюваного точковим зарядом, такі сукупності точок утворять концентричні сферичні поверхні.

Геометричне місце точок з рівними потенціалами зветься екіпотенціальною поверхнею.

Силі лінії перпендикулярні до екіпотенціальних поверхонь.

Визначимо елементарну роботу dA , яку виконують сили поля при переміщенні одиничного позитивного заряду з точки 1 у точку 2 (рис.4.1).

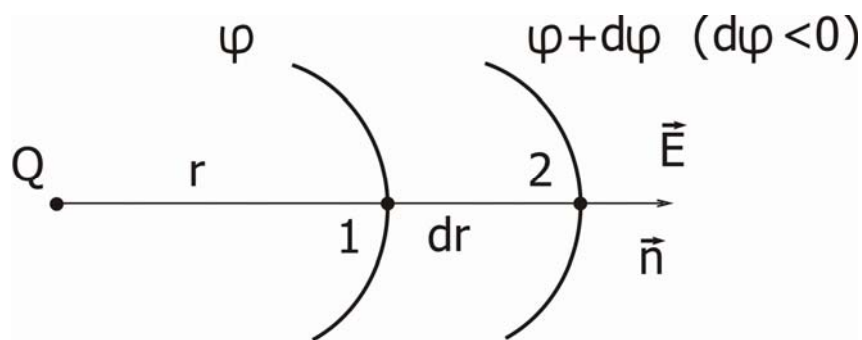


Рис. 4.1

$$dA = E \cdot dr \quad (3)$$

Якщо виразити ту ж роботу через різницю потенціалів, то одержимо

$$dA = \varphi - (\varphi + d\varphi) = -d\varphi. \quad (4)$$

Порівнюючи отримані вирази (3) і (4), знайдемо

$$E = -\frac{d\varphi}{dr}. \quad (5)$$

Рівність (5) характеризує швидкість зміни потенціалу в напрямку нормалі \vec{n} .

У векторному вигляді зв'язок між напруженістю \vec{E} і потенціалом φ можна записати так:

$$\vec{E} = -\text{grad}\varphi \quad (6)$$

Поля, для яких виконується це співвідношення, називають потенціальними, а сили, що діють у такому полі, - консервативними. Робота консервативних сил не залежить від форми шляху переходу, а залежить від положення початкової і кінцевої точок:

$$A = q (\varphi_1 - \varphi_2).$$

Метод вимірювання та опис установки

Експериментальне дослідження картини електростатичного поля в даній роботі здійснюється за допомогою установки, схематично зображеної на рис. 4.2.

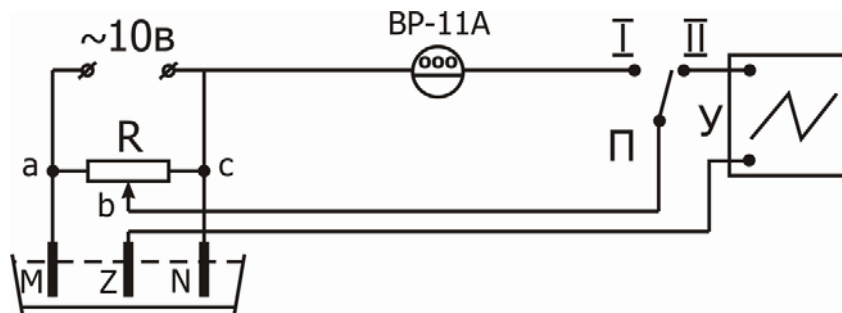


Рис. 4.2

В електролітичну ванну, заповнену розчином слабкого електроліту (роль електроліту в роботі грає водопровідна вода) помістимо металеві моделі електродів M і N . У вимірювальну частину схеми входять зонд Z , дільник напруги (потенціометр R), вольтметр V , що показує потенціал на зонді, осцилограф O , що реєструє струм зонда. Зонд являє собою тонкий металевий провідник, на кінці якого ізоляція відсутня. Він переміщається в просторі між електродами, не вносячи перекручувань у картину потенціального поля.

Якщо потенціал досліджуваного поля не збігається з потенціалом зонда, то на екрані осцилографа буде спостерігатися вертикальне відхилення променя. Якщо переміщати зонд у горизонтальній площині, то можна знайти точку з потенціалом, який дорівнює потенціалу зонда. У цьому випадку в центрі екрана осцилографа буде спостерігатися точка.

Відзначимо різні положення зонда, що дають на екрані точки, на координатній сітці, з'єднаємо їх плавною лінією і тим самим одержимо для даного потенціалу проекцію еквіпотенціальної поверхні на горизонтальну площину (еквіпотенціальну лінію).

Змінюючи потенціал зонда і домагаючись нульового положення променя осцилографа, одержимо сімейство ліній рівного потенціалу (проекцій еквіпотенціальних поверхонь).

Враховуючи, що силові лінії в кожній точці перпендикулярні до еквіпотенціальних поверхонь, можна побудувати повну картину електростатичного поля.

Для цього, вибравши на одному з електродів точку (наприклад A , рис. 4.3), проведемо дотичну в цій точці до еквіпотенціальної лінії. Потім проведемо перпендикуляр до дотичної з точки A до перетину з найближчою еквіпотенціальною лінією (наприклад, в точку B). Цю процедуру послідовно повторимо для точок B , C і так далі до поверхні другого електрода.

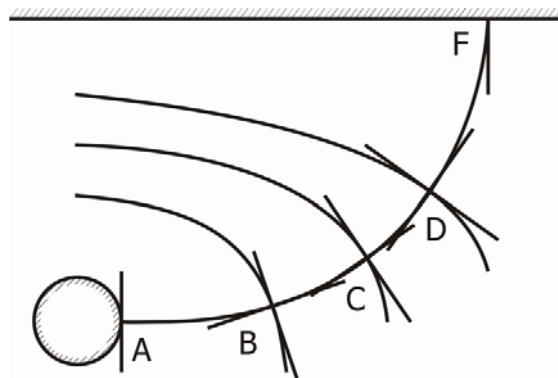


Рис .4.3

Прилади і приладдя

Джерело змінної напруги (~ 10 В), потенціометр ($R_{\text{макс}}=100$ кОм), ванна з водою, набір електродів, зонд, мультиметр ВР-11А, осцилограф, перемикач.

Порядок виконання роботи

1. Зібрати схему, зображену на рис. 4.2.
2. Розташувати у ванні циліндричні електроди, за координатною сіткою визначити положення електродів, їх радіуси і зобразити їх у масштабі 1:1 на міліметровому папері.
3. Ввімкнути електроживлення схеми й осцилографа О. Перемикач П установити в положення І і, обертаючи ручку потенціометра R , установити заданий потенціал точки в стосовно електрода N, потенціал якого приймається за нульовий. Потенціали на електроді N задаються викладачем.
4. Установити перемикач П в положення ІІ і, змінюючи положення зонда Z, домогтися того, щоб вертикальне відхилення променя осцилографа було мінімальним.
5. Визначити координату положення зонда і зафіксувати її на папері.
6. Переміщаючи зонд у ванні, знайти і зафіксувати на папері інші точки даного потенціалу.
7. З'єднати плавно точки з однаковими потенціалами еквіпотенціальною лінією.
8. Повторити дії, зазначені в п. 3 – 7, для інших значень потенціалів, погоджених з викладачем.
9. Відмітити значення потенціалу і радіуса для кожної еквіпотенціальної лінії і дані занести в таблицю.
10. Побудувати картину розподілу силових ліній поля.
11. Установити у ванні плоскі електроди. Вимірити і записати відстань d між ними. Повторити дії, зазначені у п. 2 – 10, для плоских електродів (у п.9 замість радіуса визначити відстань X від еквіпотенціальної лінії до електрода N).

Обробка результатів

1. Визначити теоретичні значення потенціалів поля циліндричного конденсатора для радіусів, що були виміряні, за формулою:

$$\varphi_i = K \cdot \ln \frac{R_i}{R_N},$$

де R_N - радіус меншого електрода (N) ;

R_i - радіус i -ї екіпотенціальної поверхні;

K - коефіцієнт, обумовлений співвідношенням:

$$\varphi_M - \varphi_N = K \cdot \ln \frac{R_M}{R_N}, \quad K = \frac{\varphi_M - \varphi_N}{\ln \frac{R_M}{R_N}},$$

де R_M - радіус більшого електрода (M),

φ_M, φ_N - потенціали електродів M і N .

Результати записати в табл. 4.1.

Таблиця 4.1

Циліндричний конденсатор			Плоский конденсатор		
	$\varphi_1, \text{В}; R_1, \text{см}$	$\varphi_1, \text{В}; X_1, \text{см}$	
Експеримент					
Теорія					

2. Визначити теоретичні значення потенціалів поля плоского конденсатора зі співвідношення

$$\varphi_i = \frac{(\varphi_M - \varphi_N)X_i}{d},$$

де d - відстань між плоскими електродами;

X_i - відстань від електрода N до i -ї екіпотенціальної поверхні.

Результати занести в табл. 4.1.

3. Порівняти отримані результати з експериментальними значеннями потенціалів і відмітити розбіжність результатів.

Контрольні запитання

1. Якими фізичними величинами характеризують електростатичні поля ?
2. Що називається потенціалом (одиниці виміру в системі СІ) ?
3. Дати визначення напруженості електричного поля (одиниці виміру в системі СІ).
4. Який зв'язок між напруженістю поля і потенціалом ?
5. Що називається градієнтом потенціалу і як спрямований вектор градієнта потенціалу ?

6. Як довести ортогональність силових ліній і екіпотенціальних поверхонь ?
7. Як розташовані екіпотенціальні поверхні, що одержані за теорією ?
8. В чому причина розбіжності експериментальних і теоретичних даних ?

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 5.

Визначення електроємності конденсатора

Мета роботи - вивчити на практиці зв'язок між зарядом конденсатора і різницею потенціалів між обкладками конденсатора, ознайомитися з одним із способів визначення ємності конденсатора.

Відомо, що $q = CU$, тобто електроємність C визначається як коефіцієнт пропорційності між зарядом q і різницею потенціалів U на обкладках конденсатора. Ємність конденсатора в даній роботі визначається за допомогою звичайного мікроамперметра магнітоелектричної системи (гальванометра). За його шкалою вимірюється кут відхилення стрілки під час проходження крізь рамку струму, що виникає при розрядженні конденсатора.

Рівняння руху рамки мікроамперметра має вигляд

$$I \frac{d^2 \alpha}{dt^2} + K_2 \frac{d\alpha}{dt} + K_1 \alpha = BSni, \quad (1)$$

де I - момент інерції рамки;

α - кут повороту рамки;

B - індукція магнітного поля;

S - площа рамки;

n - число витків рамки;

K_1 -модуль крутіння, визначається пружними властивостями підвісу рамки;

K_2 - коефіцієнт опору, зумовлений гальмуванням індукційними струмами в рамці;

i - сила струму в рамці.

У випадку великого моменту інерції I можна зневажити другим і третім доданками у рівнянні (1), тобто

$$I \frac{d^2 \alpha}{dt^2} = BSni. \quad (2)$$

Кількість електрики, що пройшла крізь рамку за деякий час, можна визначити, якщо проінтегрувати рівняння (2) :

$$I \frac{d\alpha}{dt} = BnS \int i dt = BnSq. \quad (3)$$

Кінетична енергія рамки гальванометра:

$$E_K = \frac{1}{2} I \left(\frac{d\alpha}{dt} \right)^2 . \quad (4)$$

Ця енергія переходить у потенціальну енергію закручування рамки на максимальний кут відхилення α_0 :

$$E_n = \int_0^{\alpha_0} K_1 \alpha d\alpha = \frac{K_1 \alpha_0^2}{2} . \quad (5)$$

Таким чином,

$$I \left(\frac{d\alpha}{dt} \right)^2 = K_1 \alpha_0^2 . \quad (6)$$

Піднесемо до квадрату рівняння (3) і після ділення останнього на рівняння (5) одержимо:

$$I = \frac{B^2 n^2 S^2 q^2}{K_1 \alpha_0} . \quad (7)$$

З іншого боку, період коливань рамки дорівнює:

$$T_0 = 2\pi \sqrt{\frac{I}{K_1}} . \quad (8)$$

Звідси:

$$I = \frac{T_0^2 K_1}{4\pi^2} . \quad (9)$$

Дорівнюємо праві частини рівностей (7) і (9) і знаходимо

$$q = \frac{T_0 K_1 \alpha_0}{2\pi B n S} .$$

Позначимо:

$$\beta = \frac{T_0 K_1}{2\pi B n S} .$$

Величина β називається динамічною сталою гальванометра.

Отже, кут максимального повороту рамки пропорційний кількості електрики, що пройшла крізь неї:

$$\alpha_0 = \frac{1}{\beta} q . \quad (10)$$

Вважаючи, що $C = \frac{q}{U}$, маємо:

$$C = \frac{\alpha_0 \beta}{U}. \quad (11)$$

Метод вимірювання й опис установки

Принципова схема експериментальної установки, що змонтована на панелі, зображена на рис. 5.1.

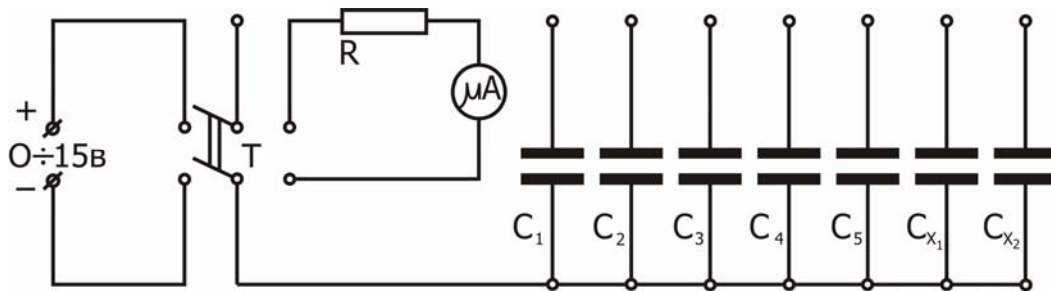


Рис. 5.1

$C_1 = 10$ мкФ; $C_2 = 4$ мкФ; $C_3 = 4$ мкФ; $C_4 = 2$ мкФ; $C_5 = 1$ мкФ.

Прилади і приладдя

Джерело постійної напруги, мультиметр ВР-11А, мікроамперметр, резистор, перемикач, набір конденсаторів з відомими і невідомими ємностями, автотрансформатор, набір з'єднувальних провідників.

Порядок виконання роботи

1. Ознайомитися зі схемою експериментальної установки на лабораторному столі.
2. Одержати завдання на виконання лабораторної роботи у викладача.
3. Зібрати схему, зображену на рис. 5.2.

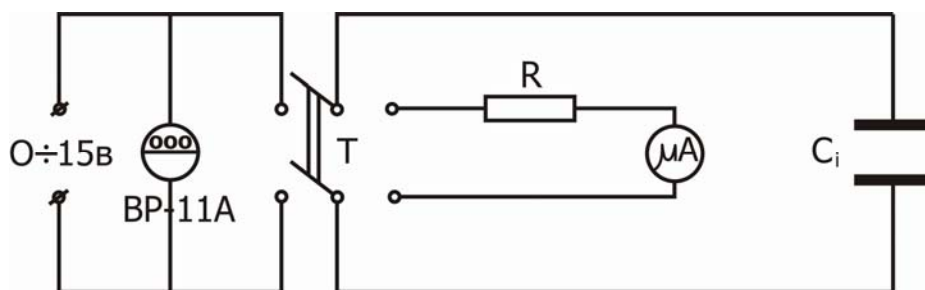


Рис. 5.2.

4. Подати напругу й установити за допомогою автотрансформатора її задану величину на заданому конденсаторі з відомим значенням C_1 ;

5. Поставити перемикач Т в положення „Зар.”, що відповідає зарядженню конденсатора.

6. Поставити перемикач Т в положення „Розр.”, що відповідає розрядженню конденсатора, і зробити відлік кута відхилення стрілки α_0 у поділках шкали мікроамперметра.

7. Повторити вимірювання, що вказані у п. 5 і 6, три рази. Результати записати в таблицю 5.1.

8. Виконати дії, що вказані у п. 5, 6, 7, для інших значень напруги на конденсаторі за завданням викладача.

9. Повторити дії, що вказані у п. 5 – 8, ще для двох інших конденсаторів з відомими значеннями C_1 . Результати занести в таблиці 5.2 і 5.3.

10. Побудувати графіки функціональної залежності $U(<\alpha_0>)$ за даними таблиць 5.1, 5.2 і 5.3.

11. З кожного графіка визначити відношення $\frac{\beta}{C}$ як тангенс кута нахилу кривої до осі абсцис (див. формулу (11)).

12. Для кожного з трьох випадків за відомими значеннями ємностей C_1, C_2, C_3 обчислити величини $\beta_1, \beta_2, \beta_3$, занести їх у таблиці і, нарешті, визначити динамічну сталу гальванометра β як середнє арифметичне значення величин $\beta_1, \beta_2, \beta_3$.

13. Виконати всі дії, які вказані в п. 4 – 11, по черзі з конденсаторами, ємності яких C_{X1} і C_{X2} невідомі. Результати занести в таблиці 5.4 і 5.5.

14. Використовуючи одержану величину динамічної сталої β , визначити невідомі ємності C_{X1} і C_{X2} .

15. Визначити по черзі ємності $C_{\text{пар}}$ і $C_{\text{пос}}$ при паралельному і послідовному з'єднанні конденсаторів з ємностями C_{X1} і C_{X2} , виконавши для цього всі дії, які були потрібні для визначення ємностей конденсаторів C_{X1} і C_{X2} (п. 4 – 11, 13, 14). Результати вимірювань і обчислень занести в самостійно складені таблиці 5.6 і 5.7.

16. Обчислити ємності паралельно і послідовно з'єднаних конденсаторів C_{X1} і C_{X2} за відомими формулами і порівняти їх з дослідними даними.

Таблиця 5.1 $C_1 =$ $\frac{\beta_1}{C_1} =$ $\beta_1 =$

U, В												
α_0												
$<\alpha_0>$												

Таблиця 5.2 $C_2 =$ $\frac{\beta_2}{C_2} =$ $\beta_2 =$

U, В												
α_0												
$\langle \alpha_0 \rangle$												

Таблиця 5.3 $C_3 =$ $\frac{\beta_3}{C_3} =$ $\beta_3 =$

U, В												
α_0												
$\langle \alpha_0 \rangle$												

$\langle \beta \rangle =$

Таблиця 5.4 $C_{X1} =$ $\frac{\beta}{C_{X1}} =$

U, В												
α_0												
$\langle \alpha_0 \rangle$												

Таблиця 5.5 $C_{X2} =$ $\frac{\beta}{C_{X2}} =$

U, В												
α_0												
$\langle \alpha_0 \rangle$												

Контрольні запитання

1. Що таке електроємність і в яких одиницях вона вимірюється?
2. У чому складається сутність пропонованого методу вимірювання ємності конденсатора?
3. Як залежить величина кутового відхилення стрілки приладу від заряду, що пройшов крізь нього?
4. Що таке динамічна стала гальванометра?

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 6.

Вивчення процесів зарядження і розрядження конденсатора

Мета роботи - вивчення залежності величини струму розрядження конденсатора від часу.

Розглянемо спочатку процес зарядження конденсатора з ємністю C (рис. 6.1).

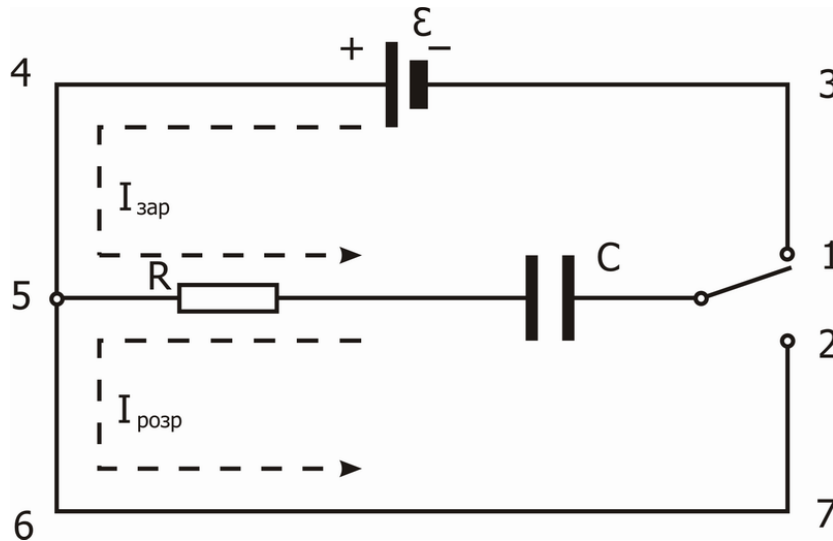


Рис 6.1

На рис. 6.1: E - е.р.с. джерела, R - опір ланцюга, $I_{\text{зар}}$ - сила струму зарядження, $I_{\text{розр}}$ - сила струму розрядження.

Застосовуючи до контуру 1-3-4-5-1 друге правило Кірхгофа, одержимо:

$$I_{\text{зар}}R + U = E, \quad (1)$$

де $I_{\text{зар}}$ - миттєве значення сили струму зарядження в ланцюзі,

U - миттєве значення напруги на конденсаторі:

$$I_{\text{зар}} = \frac{dq}{dt}, \quad (2)$$

$$U = \frac{q}{C}. \quad (3)$$

З трьох останніх рівностей виключаємо дві величини - q і $I_{\text{зар}}$ і одержуємо одне рівняння:

$$\frac{dU}{dt} + \frac{U}{RC} - \frac{E}{RC} = 0. \quad (4)$$

Таким чином, для визначення U ми одержали диференціальне рівняння першого порядку з постійними коефіцієнтами.

Рішення цього рівняння має вигляд:

$$U = Ae^{-\frac{t}{RC}} + B. \quad (5)$$

Якщо врахувати, що при зарядженні конденсатора в початковий момент часу, тобто при $t = 0$, $U = 0$, а з часом напруга U на конденсаторі асимптотично наближається до е.р.с. джерела струму, тобто при $t \rightarrow \infty$ $U = E$, то одержимо, що константи A і B мають такі значення: $B = E$, $A = -E$. Остаточно маємо залежність U від t при зарядженні конденсатора:

$$U = E (1 - e^{-\frac{t}{RC}}). \quad (6)$$

Залежність струму зарядження від часу має вигляд:

$$I_{\text{зар}} = \frac{E}{R} (1 - e^{-\frac{t}{RC}}). \quad (7)$$

У випадку розрядження конденсатора вихідні рівняння замість (1)–(3) будуть такі:

$$RI_{\text{розр}} = U, \quad U = \frac{q}{C}, \quad I_{\text{розр}} = -\frac{dq}{dt} \quad (8)$$

і рівняння для U має наступний вигляд:

$$\frac{dU}{dt} + \frac{1}{RC} U = 0. \quad (9)$$

Загальний вигляд функції $U(t)$ при розв'язанні цього рівняння буде такий, як у рівності (5), тільки константи A і B будуть мати інші значення. У цьому випадку при $t = 0$ $U = E$, а при $t \rightarrow \infty$ $U \rightarrow 0$. Тому тут $A = E$, $B = 0$. Звідси маємо:

$$U = Ee^{-\frac{t}{RC}}, \quad (10)$$

$$I_{\text{розр}} = \frac{E}{R} e^{-\frac{t}{RC}}. \quad (11)$$

Сила струму має найбільше значення $I_0 = \frac{E}{R}$ в початковий момент часу

й асимптотично прагне до 0 в процесі розрядження.

Отримані результати показують, що процеси зарядження і розрядження відбуваються не миттєво, а з кінцевою швидкістю. Для розглянутого контуру, що містить опір і ємність, швидкість зміни напруги і струму залежать від

добутку $RC=T$, яка має розмірність часу і називається сталою часу даного контуру. Стала часу показує, через який час після вимикання джерела живлення напруга зменшується в $e=2,71$ разів.

Метод вимірювання й опис установки

Електрична схема лабораторного макета наведена на рис. 6.2.

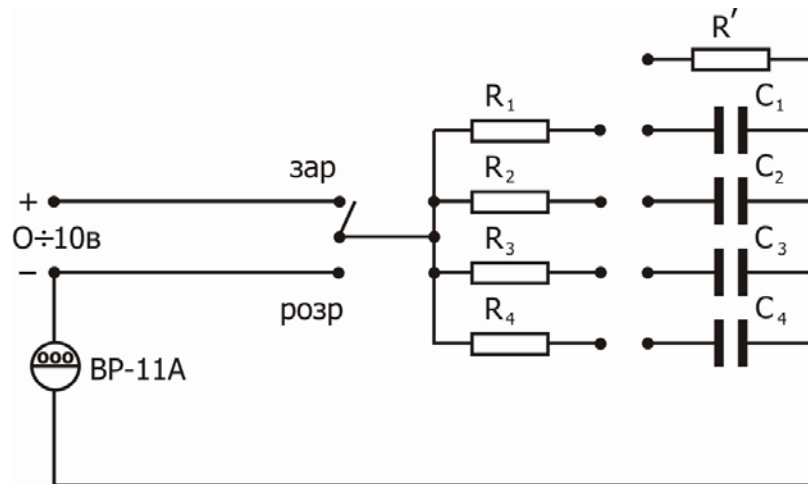


Рис. 6.2.

Вимірювальним приладом ВП є мультиметр BP-11A. Малий опір R' призначений для швидкого розрядження конденсатора крізь нього. Принципова схема надана на рис. 6.3.

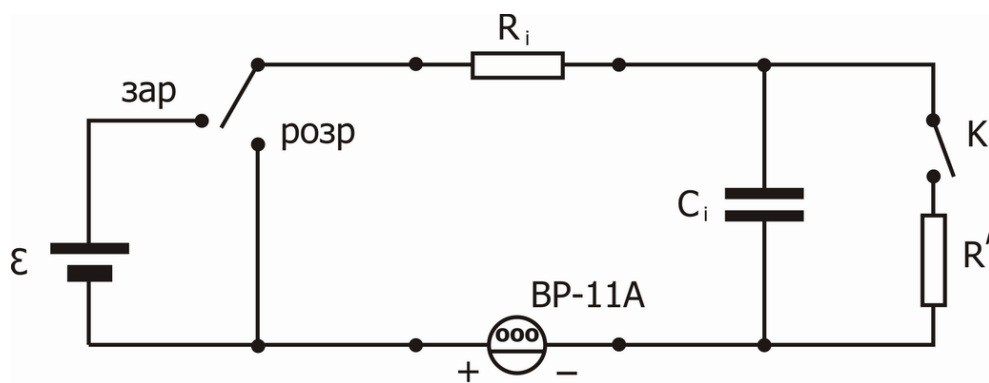


Рис 6.3.

Прилади і приладдя

Набори резисторів і конденсаторів, джерело регульованої напруги 0 - 10 В, цифровий мультиметр BP-11A, секундомір, перемикач, ключ, набір з'єднувальних провідників.

Порядок виконання роботи

1. Ознайомитися з лабораторною установкою й одержати завдання у викладача.
2. Зібрати робочу схему з заданими значеннями ємності, опору і напруги.
3. Зняти залежності струму розрядження $I(t)$ від часу для різних значень R_i і C_i при заданій напрузі U_i . Для одного моменту часу зробити три виміри $I(t)$ і обчислити середнє значення $\langle I(t) \rangle$. Результати записати в таблиці 6.1, 6.2, 6.3.
4. Обчислити відношення $\langle I_0 \rangle / \langle I(t) \rangle$, а також $\ln (\langle I_0 \rangle / \langle I(t) \rangle)$ за даними вимірювань. Результати занести в таблиці 6.1, 6.2, 6.3.
5. Побудувати графіки залежностей $\ln (\langle I_0 \rangle / \langle I(t) \rangle)$ для заданих значень R_i , C_i і U_i за даними таблиць 6.1, 6.2, 6.3. За кожним із графіків знайти значення сталої часу $T_{\text{експер}}$ і порівняти з теоретичними значеннями $T_{\text{теор}} = RC$.
6. Проаналізувати розбіжність експериментальних і теоретичних даних.

Таблиця 6.1 $U_1 =$ $C_1 =$ $R_1 =$ $T_{1\text{теор}} =$ $T_{1\text{експер}} =$

$t, \text{с}$								
$I(t), \text{A}$								
$\langle I(t) \rangle, \text{A}$								
$\langle I_0 \rangle / \langle I(t) \rangle$								
$\ln(\langle I_0 \rangle / \langle I(t) \rangle)$								

Таблиця 6.2 $U_2 =$ $C_2 =$ $R_2 =$ $T_{2\text{теор}} =$ $T_{2\text{експер}} =$

$t, \text{с}$								
$I(t), \text{A}$								
$\langle I(t) \rangle, \text{A}$								
$\langle I_0 \rangle / \langle I(t) \rangle$								
$\ln(\langle I_0 \rangle / \langle I(t) \rangle)$								

Таблиця 6.3 $U_3=$ $C_3=$ $R_3=$ $T_{\text{теор}} =$ $T_{\text{експер}} =$

t, c								
$I(t), A$								
$\langle I(t) \rangle, A$								
$\langle I_0 \rangle / \langle I(t) \rangle$								
$\ln(\langle I_0 \rangle / \langle I(t) \rangle)$								

Контрольні запитання

1. Сформулювати друге правило Кірхгофа для розглянутої схеми (рис.6.1).
2. Записати залежності напруги на конденсаторі від часу у випадках зарядження і розрядження.
3. Що називається сталою часу контуру і який її фізичний зміст?
4. Пояснити причину розбіжності теоретичних і експериментальних результатів.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 7.

Розрахунок розгалуженого електричного кола і його експериментальна перевірка

Мета роботи - розрахунок конкретного електричного кола на базі рівнянь Кірхгофа, подальша експериментальна перевірка цього розрахунку.

Розрахунок електричного кола складається з визначення струмів, що протікають крізь усі його елементи (знаючи струми і опори елементів, можна визначити інші електричні характеристики: падіння напруги на елементах, потужності, що виділяються в елементах тощо).

Повне дослідження процесів у складних електричних колах проводиться з використанням двох правил Кірхгофа, що базуються на законі Ома і законі збереження заряду. В даній роботі будуть розглянуті лінійні електричні кола постійного струму.

Перша система рівнянь Кірхгофа зв'язує між собою струми, що сходяться в якійсь вузловій точці кола:

$$\sum_{k=1}^n I_k = 0. \quad (1)$$

У цій системі струмам, що приходять до вузлової точки, надається позитивний знак, а тим, що виходять, - негативний (таке правило знаків не є обов'язковим, потрібно тільки дотримувати угоду про те, щоб усі струми, що входять у вузол, мали один знак, а струми, що виходять із вузла, - протилежний знак).

Вузлом схеми називають її довільну точку, в якій сходяться більше двох гілок.

Під гілкою розуміють довільну нерозгалужену ділянку кола, що з'єднує два яких-небудь вузли схеми.

Друга система рівнянь Кірхгофа складена для будь-яких замкнених контурів кола на базі рівності суми падінь потенціалу на відповідних ділянках кола сумі електрорушійних сил, що зустрічаються в цьому контурі:

$$\sum_{k=1}^n I_k R_k = \sum_{k=1}^m \mathcal{E}_k \quad . \quad (2)$$

У цій системі рівнянь струми з довільно заданими напрямками входять у суму зі знаком плюс, якщо ці напрямки збігаються з довільно обраним напрямком обходу контуру, якщо не збігаються – зі знаком мінус. Електрорушійні сили мають позитивний знак, якщо вони підвищують потенціал у напрямку обходу контура.

Ця система рівнянь має складатися з лінійно незалежних рівнянь, тому кількість рівнянь, зіставлених з використанням першого правила Кірхгофа, повинна бути на одиницю меншою за кількість вузлів системи.

Рівняння на основі другого правила Кірхгофа треба скласти тільки для незалежних контурів (два або декілька контурів називають незалежними, якщо кожний з них містить хоча б один елемент, що не входить в інші контури; або інакше: якщо вони відрізняються хоча б одним елементом).

Розрахунок електричних кіл рекомендується проводити за таким алгоритмом:

- 1) на схемі довільно вказати стрілками напрямки струмів у відповідних резисторах і пронумерувати їх;
- 2) обрати напрямки обходу контурів;
- 3) скласти рівняння на основі першого правила Кірхгофа (алгебраїчна сума струмів, що сходяться у вузлі, дорівнює нулю);
- 4) недостатні для повноти системи рівняння скласти на основі другого правила Кірхгофа (у будь-якому замкненому контурі алгебраїчна сума падінь потенціалів на окремих ділянках кола дорівнює алгебраїчній сумі е.р.с., що зустрічаються в цьому контурі). При цьому, обходячи контур у довільному напрямку, вважати позитивними ті струми, напрямки яких збігається з напрямком обходу, і негативними ті, напрямки яких протилежний напрямку обходу. Позитивними вважати ті е.р.с., що підвищують потенціал у напрямку обходу, тобто е.р.с. буде позитивною, якщо при обході треба йти від негативного до позитивного полюса всередині джерела струму;

5) розв'язати отриману систему рівнянь і проаналізувати одержаний результат.

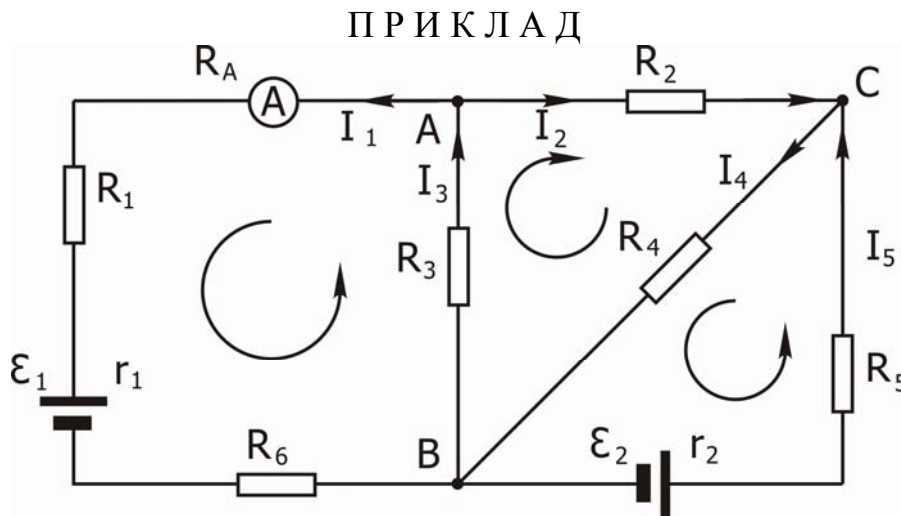


Рис 7.1

Рівняння за першим правилом Кірхгофа для вузлів А і С (рис.7.1):

$$-I_1 - I_2 + I_3 = 0 \quad , \quad (A)$$

$$I_2 - I_4 + I_5 = 0 \quad . \quad (C)$$

Рівняння за другим правилом Кірхгофа для трьох незалежних контурів:

$$I_1 R_1 + I_1 R_6 + I_1 R_A + I_1 r_1 + I_3 R_3 = -\varepsilon_1;$$

$$I_2 R_2 + I_3 R_3 + I_4 R_4 = 0;$$

$$I_5 R_5 + I_5 r_2 + I_4 R_4 = \varepsilon_2.$$

Рівняння незалежні, система повна.

Як правило, внутрішні опори джерел струмів малі і їх можна не враховувати:

$$r_1 = r_2 = 0 \quad .$$

У результаті розв'язання складених рівнянь визначені величини можуть бути від'ємними. Якщо визначаються струми, то від'ємне значення вказує лише на те, що фактичний напрямок струму обернений до напрямку стрілки на рисунку. Якщо ж визначаються опори, то від'ємне значення вказує на неправильний результат.

На закінчення варто згадати, що рівняння Кірхгофа є основою розрахунку і нелінійних кіл разом з вольт–амперними характеристиками нелінійних елементів.

Опис установки

Лабораторна установка складається з декількох джерел живлення, набору резисторів, вимірювального приладу, з'єднувальних провідників, які необхідно з'єднати за схемою, що завдається викладачем.

Прилади і приладдя

Набір резисторів, джерела живлення, вимірювальний прилад, набір з'єднувальних провідників.

Порядок виконання роботи

1. Одержати у викладача завдання на складання конкретної електричної схеми.
2. Виміряти опори і е.р.с. джерел і опори резисторів. Результати показати викладачеві і записати в зошит.
3. Зібрати коло за заданою схемою.
4. Виміряти падіння напруги на кожному резисторі і визначити напрямок струмів за схемою. Обчислити силу струмів за законом Ома. Результати показати викладачеві і записати в зошит.
5. Використовуючи правила Кірхгофа, за відомими опорами і е.р.с. обчислити струми і падіння напруги в кожному з резисторів. Порівняти з експериментальними даними.

Контрольні запитання

1. Дати визначення вузла, незалежних контурів електричного кола.
2. Сформулювати перше і друге правила Кірхгофа.
3. Яка суттєвість правил Кірхгофа?
4. Пояснити сенс від'ємного значення струмів, одержаних при розв'язанні системи рівнянь.
5. Скласти запропоновану викладачем систему рівнянь для визначення струмів у розгалуженому електричному колі, користуючись правилами Кірхгофа.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 8.

Вимірювання опору методом місткової схеми

Мета роботи - вивчити метод місткової схеми вимірювання опорів, вимірити невідомі опори ряду провідників і опори при їхньому паралельному з'єднанні.

Метод вимірювання

Розглянемо наступну схему з'єднання резисторів, джерела струму і гальванометра, яку називають містковою схемою (місток Уітстона) (рис. 8.1).

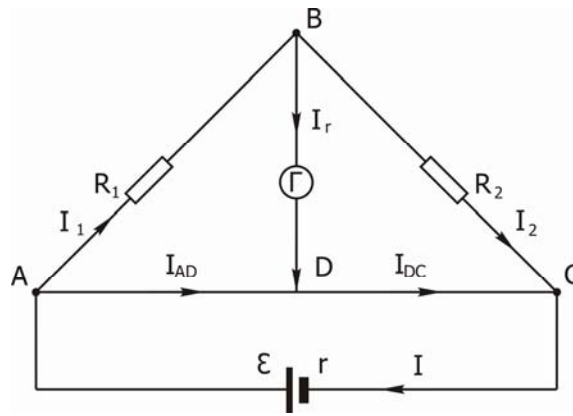


Рис. 8.1

Використовуючи правила Кірхгофа для розрахунку складного розгалуженого кола, одержимо систему лінійних алгебраїчних рівнянь щодо невідомих струмів в окремих ділянках кола I_1 , I_2 , I_{AD} , I_{DC} , I_Γ , I :

Вузли	Контури
А: $I - I_1 - I_{AD} = 0$;	АВДА: $I_1 R_1 + I_\Gamma R_\Gamma - I_{AD} R_{AD} = 0$;
Д: $I_{AD} + I_\Gamma - I_{DC} = 0$;	ВДСВ: $I_\Gamma R_\Gamma + I_{DC} R_{DC} - I_2 R_2 = 0$;
С: $I_{DC} + I_2 - I = 0$;	САДС: $I r + I_{AD} R_{AD} + I_{DC} R_{DC} = E$.

(1)

Місткова схема вважається збалансованою, якщо струм через гальванометр відсутній, тобто $I_\Gamma = 0$. У зв'язку з цим система рівнянь (1) істотно спроститься

$$I_{AD} = I_{DC}; \quad I_{DC} + I_2 - I_1 - I_{AD} = 0; \quad I_1 = I_2; \quad (2)$$

$$I_1 R_1 = I_{AD} R_{AD}; \quad I_2 R_2 = I_{DC} R_{DC}.$$

Якщо поділити одне на друге останні два рівняння, то одержимо відому умову:

$$\frac{R_1}{R_2} = \frac{R_{AD}}{R_{DC}}, \quad \text{чи} \quad R_1 R_{DC} = R_2 R_{AD}. \quad (3)$$

На цій умові засноване застосування місткової схеми для вимірювання опорів. Ділянка АС (реохорд) виготовляється з однорідного дроту з великим питомим опором, так що відношення $\frac{R_{AD}}{R_{DC}}$ можна замінити відношенням

довжин відповідних ділянок $\frac{l_{AD}}{l_{DC}}$.

Таким чином, за умови $I_{\Gamma} = 0$ і відомих величин опору R_1 і довжин ділянок АД і ДС можна знайти невідомий опір R_2 (метод місткової схеми).

Опис лабораторної установки

Схема лабораторного макету представлена на рис. 8.2.

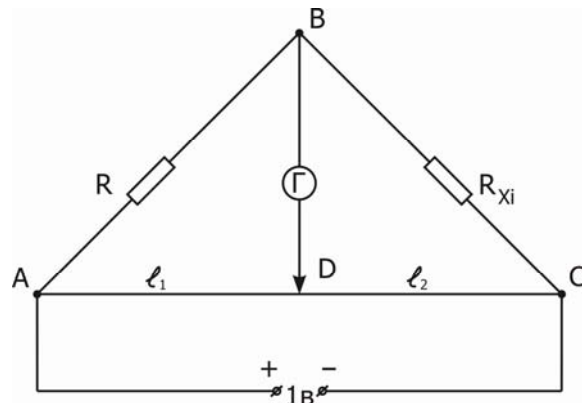


Рис. 8.2

У нього входять: резистор з відомим опором R , резистор з невідомим опором R_{x1} , мікроамперметр, реохорд АС з повзунком D і джерело постійної напруги.

Прилади і приладдя

Резистор з відомим опором $R=1183$ Ом; резистори з невідомими опорами R_{x1} , R_{x2} , R_{x3} ; реохорд зі шкалою; мікроамперметр із середнім нульовим положенням стрілки; джерело постійної напруги, набір з'єднувальних провідників.

Порядок виконання роботи

1. Зібрати схему рис. 8.2 з резистором R_{x1} . Ввімкнути живлення.

Завдання 1.

1.1. Переміщуючи повзунок реохорда, встановити силу струму, яка дорівнює нулю.

1.2. Вимірити за шкалою реохорда довжини l_1 і l_2 і результати вимірювань записати в таблицю 8.1. Вимірювання повторити ще два рази, обчислити середні значення l_1 і l_2 , результати вимірювань і обчислень записати в табл. 8.1.

1.3. Від'єднати резистор R_{x1} і підключити резистор R_{x2} . Виконати дії згідно з п. 1.1 і 1.2 і результати записати у табл. 8.1.

1.4. Приєднати до клем В і С замість R_{x2} два резистори R_{x1} і R_{x2} , з'єднані паралельно. Виконати дії згідно з п. 1.1 і 1.2. Результати записати в табл. 8.1.

1.5. Використовуючи середні значення величин l_1 і l_2 з даних таблиці 8.1 у кожному з трьох випадків, обчислити невідомі опори R_{x1} , R_{x2} і опір паралельно з'єднаних провідників R_{x12} за формулами

$$R_{xi} = R \frac{l_2}{l_1}, \quad i=1,2; \quad R_{x12} = R \frac{l_2}{l_1}.$$

Очевидно, що у кожному випадку підключення різних резисторів слід брати свої значення l_1 і l_2 . Результати записати в табл. 8.1.

1.6. Обчислити опір R_{x12} двох паралельно з'єднаних резисторів з опорами R_{x1} і R_{x2} за теоретичною формулою

$$R_{x12} = \frac{R_{x1}R_{x2}}{R_{x1} + R_{x2}}.$$

Результат записати у табл. 8.1.

Завдання 2

2.1. Від'єднати резистори R_{x1} і R_{x2} і замість них підключити R_{x3} . Виконати дії згідно з п.п. 1.1 і 1.2. Результати записати в табл. 8.1.

2.2. Приєднати до клем В і С замість R_{x3} два резистори з опорами R_{x1} і R_{x3} , з'єднані паралельно. Виконати вимірювання і обчислення згідно з п. 1.1 і 1.2. Результати записати в таблицю 8.1.

2.3. Використовуючи середні значення величин l_1 і l_2 з даних таблиці 8.1 у кожному з двох випадків, обчислити невідомі опори R_{x3} і R_{x13} за формулами

$$R_{x3} = R \frac{l_2}{l_1}, \quad R_{x13} = R \frac{l_2}{l_1}.$$

Результати занести в табл. 8.1.

2.4. Визначити опір R_{x13} двох паралельно з'єднаних резисторів з опорами R_{x1} і R_{x3} за теоретичною формулою

$$R_{x13} = \frac{R_{x1}R_{x3}}{R_{x1} + R_{x3}}.$$

Результат занести у табл. 8.1.

Завдання 3

3.1. Приєднати до клем В і С замість R_{x3} і R_{x1} два резистори з опорами R_{x2} і R_{x3} , з'єднані паралельно. Виконати виміри і обчислення згідно з п. 1.1 і 1.2. Результати записати в табл. 8.1.

3.2. Використовуючи середні значення величин l_1 і l_2 з даних табл. 8.1, обчислити невідомий опір R_{x23} за формулою

$$R_{x23} = R \frac{l_2}{l_1}.$$

Результат занести у табл. 8.1.

3.3. Визначити опір R_{x23} двох паралельно з'єднаних резисторів з опорами R_{x2} і R_{x3} за теоретичною формулою

$$R_{x13} = \frac{R_{x1}R_{x3}}{R_{x1} + R_{x3}}.$$

Результат занести у табл. 8.1.

У завданнях 1, 2 і 3 визначити відносні та абсолютні похибки вимірювання опорів, вважаючи, що

$$\frac{\Delta R}{R} = 0,1 (10\%) \quad \text{і} \quad \Delta l = 1 \text{ мм.}$$

Таблиця 8.1

	R _{X1}		R _{X2}		R _{X3}		R _{X12}		R _{X13}		R _{X23}	
Дані експерименту	l ₁	l ₂	l ₁	l ₂	l ₁	l ₂	l ₁	l ₂	l ₁	l ₂	l ₁	l ₂
Середні значення l ₁ , l ₂												
Розрахунок за експериментом												
Перевірка результатів, теоретично												

Контрольні запитання

1. Сформулювати перше і друге правила Кірхгофа.
2. На основі яких законів складені правила Кірхгофа?
3. У чому полягає суть методу місткової схеми для вимірювання опору?
4. Записати і проаналізувати формули для опорів паралельно і послідовно з'єднаних резисторів.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 9.

Дослідження термоелектронної емісії і визначення роботи виходу електрона з металу

Мета роботи - визначення роботи виходу електрона з металу.

Метал, який є провідником електричного струму, має вільні електрони як основні носії струму. Електрони провідності рухаються всередині металу хаотично, але не можуть мимовільно залишати метал у помітній кількості. Це пояснюється тим, що метал являє собою для електронів потенціальну яму. Залишити метал можуть лише ті електрони, енергія яких виявляється

достатньою для подолання потенціального бар'єра, що знаходиться на поверхні металу.

Найменша енергія, яку необхідно надати електрону для того, щоб видалити його з твердого чи рідкого тіла у вакуум, називається роботою виходу $A_{\text{вих}} = e\phi$, де ϕ - потенціал виходу, e - заряд електрона.

Існують різні способи надання електронам додаткової енергії, завдяки чому відбувається явище термоелектронної емісії. Термоелектронною емісією називається випуск електронів нагрітими твердими чи рідкими тілами. Це явище пояснюється тим, що внаслідок розподілу по енергіях є деяка кількість електронів, енергія яких достатня для того, щоб перебороти потенціальний бар'єр, наявний на границі металу. При підвищенні температури кількість таких електронів різко зростає і робиться помітною.

Робота електронних ламп заснована на явищі термоелектронної емісії. Розглянемо будову і роботу найпростішої електронної лампи - діода. Діод складається зі скляного чи металевого балона, з якого відкачан повітря, і двох електродів - анода і катода.

Катод нагрівається струмом, створюваним батареєю розжарювання. Температуру розжарювання можна змінювати, регулюючи силу струму розжарювання. Температурою катода визначається струм емісії, тобто число електронів, що виходять з катода в одиницю часу.

Якщо при постійному струмі розжарювання зняти залежність анодного струму від анодної напруги (вольт-амперну характеристику), то виявиться, що при визначеному значенні напруги на аноді струм перестає залежати від напруги, тобто досягається так називаний струм насичення, що в ідеальному випадку за величиною збігається зі струмом емісії. Таке обмеження анодного струму зв'язане з тим, що досягається така різниця потенціалів між анодом і катодом, при якій всі електрони, що вийшли з катода, попадають на анод. Величина струму емісії залежить від температури розжарювання катода, тому струм насичення теж є функція від температури катода (рис. 9.1).

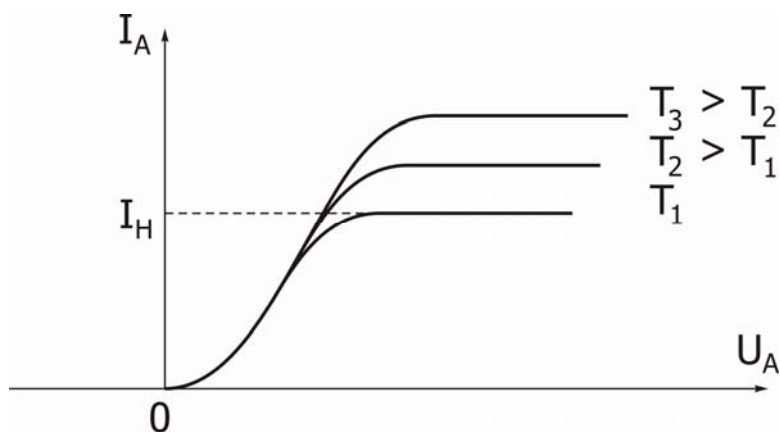


Рис. 9.1

Якщо в одиницю часу з одиниці поверхні катода вилітає N електронів, то густина струму насичення буде

$$j_{\text{нас}} = Ne.$$

Таким чином, вимірюючи густину струму насичення при різній силі струму розжарення, можна знайти кількість електронів, що вилітають з одиниці поверхні при різних температурах. Залежність густини струму насичення від абсолютної температури T описується формулою Ричардсона – Дешмена:

$$j_{\text{нас}} = AT^2 \exp\left(-\frac{e\phi}{kT}\right). \quad (1)$$

Як видно з цього співвідношення, для підвищення густини струму насичення є дві можливості: підвищення температури і зменшення роботи виходу $e\phi$. Для цієї мети при виготовленні електронних ламп застосовують спеціальні покриття і способи обробки катодів, що приводять до зниження роботи виходу.

Для обчислення роботи виходу необхідно зняти вольт-амперні характеристики діода для різних струмів розжарювання. Далі з формули (1) шляхом логарифмування одержуємо

$$\ln j_{\text{нас}} = \ln A + 2 \ln T - \frac{e\phi}{kT}.$$

Вважаючи, що залежність третього доданку від T більш швидка ніж другого ($2 \ln T$), одержимо

$$\ln j_{\text{нас}} = \text{const} - \frac{e\phi}{kT}.$$

Якщо побудувати графік залежності $\ln j_{\text{нас}} = f(T^{-1})$, можна знайти $e\phi/k$ як тангенс кута нахилу прямої до осі абсцис, тобто

$$\frac{e\phi}{k} = -\frac{\Delta \ln j_{\text{нас}}}{\Delta T^{-1}} = -\frac{\Delta \ln I_{\text{нас}}}{\Delta T^{-1}}.$$

Остання рівність стає очевидною, якщо врахувати, що сила струму $I_{\text{нас}}$ так пов'язана з густиною струму $j_{\text{нас}}$ і площею поверхні катода S : $I_{\text{нас}} = j_{\text{нас}} S$.

Температуру катода t визначають у такий спосіб. Опір нитки розжарювання є функція температури, тому беруть значення опору її R_k при кімнатній температурі t_k і опору R_t при температурах розжарювання t , для яких знімалися вольт-амперні характеристики, і з відомого співвідношення одержують:

$$t = \frac{R_t}{R_k} \left(\frac{1}{\alpha} + t_k \right) - \frac{1}{\alpha}, \quad (2)$$

де α - термічний коефіцієнт опору.

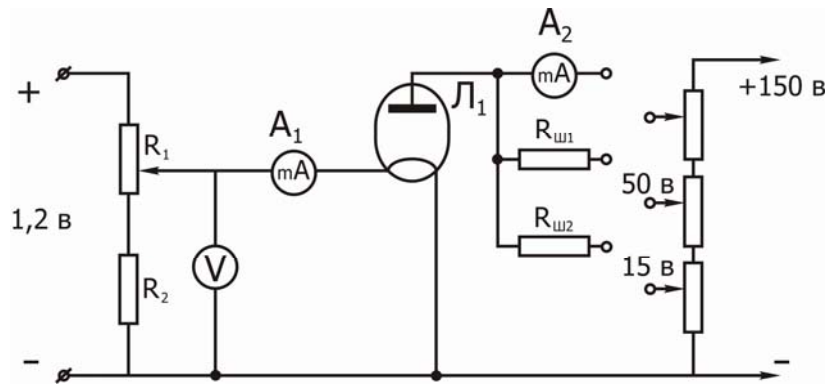


Рис .9.2

Прилади і приладдя

Вакуумний діод, міліамперметр, регульоване джерело живлення, джерело постійної напруги на 150 В, вольтметр, мультиметр ВР-11А, мікроамперметр, набір шунтів, дільник напруги, з'єднувальні провідники.

Порядок виконання роботи

1. Ознайомитися зі схемою лабораторної установки.
2. Одержати завдання на виконання лабораторної роботи у викладача і ввімкнути установку.
3. Зняти вольт - амперні характеристики діода при різних напругах U_H і струмах I_H розжарювання (заданих викладачем) і дані занести в таблицю 9.1.
4. Побудувати сімейство кривих $I_A = f(U_A)$ і по них визначити $I_{нас}$ для кожної кривої і результати занести в таблицю 9.2.
5. Провести розрахунок $R_t = U_H / I_H$ і результати занести в таблиці 9.1 і 9.2.
6. За отриманими R_t і наявними на робочому місці t_k , R_k провести розрахунок температур розжарювання за формулою (2) і результати занести в таблицю 9.2.
7. Побудувати графік $\ln I_{нас} = f(T^{-1})$.
8. Користуючись графіком, визначити роботу виходу:

$$\frac{e\phi}{k} = - \frac{\Delta \ln I_{нас}}{\Delta T^{-1}};$$

$$A_{вих} = e\phi = k \left(- \frac{\Delta \ln I_{нас}}{\Delta T^{-1}} \right) .$$

$t_k =$

$R_k =$

$\alpha =$

Таблиця 9.1

$U_A, \text{В}$	$I_H=$	$U_H=$	$R_t=$	$I_H=$	$U_H=$	$R_t=$	$I_H=$	$U_H=$	$R_t=$
	I_A			I_A			I_A		
	под.		мА	под.		мА	под.		мА
.....

Таблиця 9.2

$I_{\text{нас}}, \text{мА}$	$\ln I_{\text{нас}}$	$R_t, \text{кОм}$	$t, ^\circ\text{C}$	$T, \text{К}$	$T^{-1}, \text{К}^{-1}$

$$A_{\text{вих}} =$$

Контрольні запитання

1. Що називається роботою виходу?
2. Що називається термоелектронною емісією?
3. Що таке струм насичення і від чого залежить його величина?
4. Що називається вольт - амперною характеристикою електронної лампи?
5. Чому електрони не можуть самовільно залишити метал, якщо їм не подавати додаткову енергію?
6. Чим визначається величина роботи виходу для кожного металу?
7. Вивести робочу формулу для визначення роботи виходу.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 10.

Дослідження роботи триелектродної електронної лампи

Мета роботи – зняття вольт-амперних (анодних і сіткових) характеристик триелектродної лампи і визначення її основних параметрів.

Вольт-амперною характеристикою називається залежність струму від напруги.

Триелектродна електронна лампа (тріод) являє собою скляний балон з трьома електродами (катод, анод і сітка), що знаходяться всередині балону, з якого ретельно викачане повітря (тиск складає мільйонні частки мм.рт.ст). При цьому створюють таку форму электродів і їхнє розміщення, щоб при невеликих змінах напруги між катодом і керуючим електродом (сіткою) одержувати різкі і великі зміни величини анодного струму, що проходить крізь лампу. З цією метою анод (3) і сітку (2) виконують у вигляді коаксіальних циліндрів, а

розжарений катод (1) – уздовж осі циліндра (див. рис.10.1). Сітка має вигляд гвинтової лінії з досить великим кроком, щоб надати можливість електронам, що вилітають з поверхні катода, пройти до анода і створити анодний струм. Катод робиться або у вигляді нитки або теж у вигляді циліндра. Від кожного електрода назовні виведені контакти в цоколь лампи для включення тріода в електричне коло. Такі тріоди використовують в лампових генераторах і підсилювачах змінного струму. Пізніше на зміну їм прийшли сучасні напівпровідникові прилади.

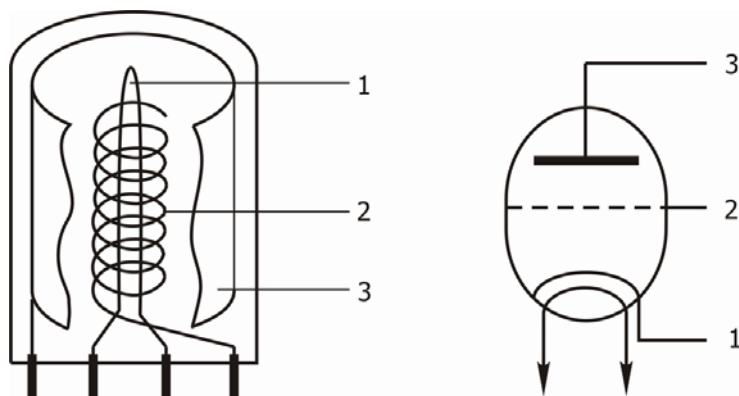


Рис . 10.1

Але тріоди продовжують використовувати в електроніці там, де потрібна особлива надійність, і вони знаходять застосування в навчальному лабораторному практикумі для вивчення термоелектронної емісії, що лежить в основі роботи всіх пристроїв, де створюється електричний струм у вакуумі (вакуумні діоди і тріоди, електронно-променеві трубки, прискорювачі та ін.) чи в газі (газорозрядні трубки).

Термоелектронна емісія – це випускання електронів з поверхні нагрітих твердих чи рідких тіл. Для нагрівання катода використовується нитка розжарювання, що вводиться всередину катода.

Найменша температура катода, при якій починається досить інтенсивна емісія, складає приблизно 1000°C , але вимагає спеціального покриття поверхні катода (плівки торію, цезію, барію, окисів деяких металів).

Число електронів, що вилітають щоміт з розжареного катода, визначається його площею, матеріалом і залежить від температури. Однак при відсутності електричного поля між катодом і анодом електрони, що випускаються, не досягають анода, а оточують його у вигляді хмари. При позитивному потенціалі на аноді електричне поле буде прискорювати електрони, вони будуть рухатися до анода і крізь лампу піде струм, величина якого зростатиме зі збільшенням різниці потенціалів між катодом і анодом. Починаючи з деякого визначеного значення напруги на аноді, подальше зростання сили струму взагалі припиняється, тобто струм досягає насичення. Це визначається тим, що всі електрони, які випускаються катодом, досягають анода.

Струм, величина якого перестає залежати від напруги, є струмом насичення. У лампах з оксидним катодом досягти насичення не можна, тому що при великих значеннях напруги відбувається руйнування катода.

Якщо аноду надати негативний потенціал, а катоду позитивний, то електрони під дією сил електричного поля будуть відштовхуватися від анода, і струму в лампі не буде.

У тріоді при анодному потенціалі U_A і постійній температурі катода сила струму в колі анода істотно залежить від потенціалу на сітці U_C . Сітка розташована ближче до катода, ніж анод, тому її поле більше впливає на потік електронів. При позитивному потенціалі на сітці її поле складається з полем анода, і потік електронів буде прискорюватися сильніше, анодний струм зростатиме дуже швидко. При деякому негативному потенціалі на сітці її поле гальмує електрони, анодний струм зменшується, і можна знайти такий негативний потенціал, при якому жоден електрон, що випускається катодом, не досягне анода, незважаючи на те, що на аноді потенціал буде позитивним. Найменша негативна напруга на сітці лампи, при якій лампа перестає проводити струм, – замикаюча напруга.

Зняття вольт-амперних характеристик, визначення параметрів триелектродної лампи

Знаючи дві сіткові характеристики, що зняті при двох різних анодних напругах U_{A1} , U_{A2} , можна визначити параметри лампи, тобто величини, що характеризують її якість і властивості. При постійній температурі катода у тріоді анодний струм буде функцією двох напруг (на аноді і сітці) $I_A = f(U_A, U_C)$, що можуть змінюватися незалежно одна від одної. Тому можна вивчати залежності:

$I_A = f(U_A)$ при $U_C = \text{const}$ – анодна характеристика;

$I_A = f(U_C)$ при $U_A = \text{const}$ – сіткова характеристика.

Сімейства анодних і сіткових характеристик лампи подані на рис. 10.2 і 10.3.

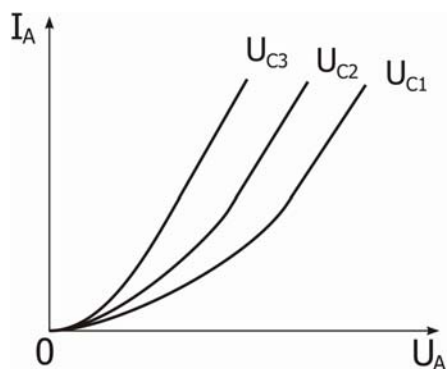


Рис. 10.2

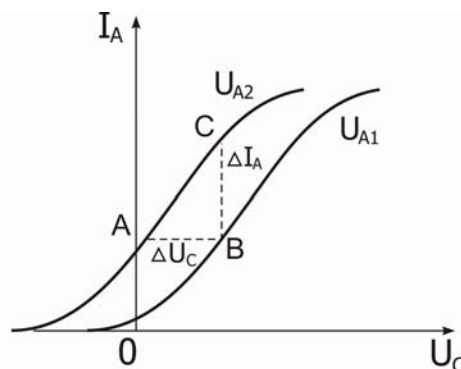


Рис. 10.3

Існують три важливих параметри електронної лампи: внутрішній опір R_i , крутість сіткової характеристики S і коефіцієнт підсилення лампи μ .

Внутрішній опір визначається як відношення приросту анодної напруги до викликаного ним приросту анодного струму при сталій напрузі на сітці лампи:

$$R_i = \frac{\Delta U_A}{\Delta I_A} = \frac{U_{A2} - U_{A1}}{BC} \quad \text{при } U_C = \text{const} . \quad (1)$$

Крутість сіткової характеристики (крутість лампи) визначається як тангенс кута нахилу характеристики:

$$S = \frac{\Delta I_A}{\Delta U_C} = \frac{CB}{AB} \quad \text{при } U_A = \text{const} . \quad (2)$$

Крутість сіткової характеристики називають ще провідністю лампи за сіткою.

Коефіцієнт підсилення μ дорівнює відношенню зміни анодної напруги ΔU_A до зміни напруги на керуючій сітці ΔU_C , що спричиняють ту ж саму зміну анодного струму:

$$\mu = \frac{\Delta U_A}{\Delta U_C} \quad \text{при } I_A = \text{const} . \quad (3)$$

Величина, обернена до коефіцієнта підсилення, називається проникністю лампи

$$D = \mu^{-1} .$$

Коефіцієнт підсилення лампи μ показує, в скільки разів напруга, прикладена до сітки, діє сильніше, ніж та сама напруга, прикладена до анода.

Зв'язок між цими параметрами лампи визначається формулою:

$$\frac{R_i S}{\mu} = 1 . \quad (4)$$

Для визначення параметрів лампи методом трьох точок треба на прямолінійній ділянці двох сіткових характеристик побудувати характеристичний трикутник ABC (рис. 10.3). Сторона AB визначає зміну напруги на сітці ΔU_C , BC – зміну анодного струму ΔI_A .

Опис лабораторної установки

Схему лабораторного макета показано на рис. 10.4.

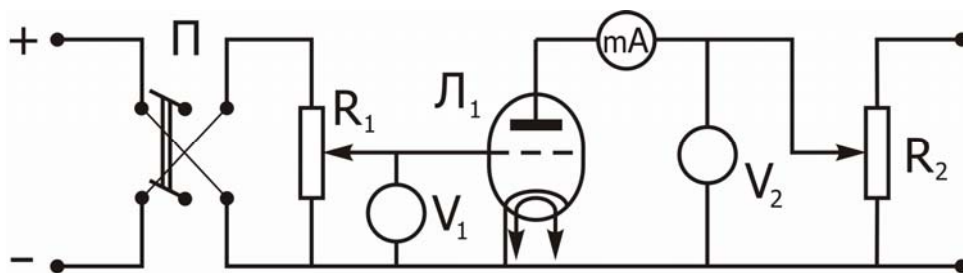


Рис. 10.4

Перемикач К дозволяє змінювати полярність напруги U_C , що подається на сітку від дільника напруги P_C і вимірюється вольтметром V_C . Анодна напруга U_A до лампи подається через потенціометр P_A , регулюється ним і

Міліамперметром mA вимірюється анодний струм лампи I_A . Підігрів катода здійснюється ниткою розжарювання, до якої підводиться змінна напруга $6,3\text{V}$.

Універсальне джерело струму, триелектродна лампа, вольтметри і міліамперметр, потенціометри, перемикач.

1. Ознайомитися з макетом експериментальної установки на лабораторному столі.
2. Одержати завдання на виконання лабораторної роботи, значення напруг U_A і U_C у викладача і включити установку.
3. Зняти анодні характеристики тріода $I_A(U_A)$ при заданих постійних напругах на сітці лампи U_C . Результати записати у табл.10.1.
4. Зняти сіткові характеристики $I_A(U_C)$ при заданих значеннях анодної напруги. Результати записати в табл. 10.1.
5. Побудувати сімейство анодних характеристик $I_A(U_A)$, відкладаючи вздовж осі абсцис значення U_A у вольтах, а вздовж осі ординат – значення I_A у міліамперах.
6. Побудувати сімейство сіткових характеристик $I_A(U_C)$ аналогічно п.5.
7. Для прямолінійних ділянок отриманих характеристик визначити, користаючись співвідношеннями (1), (2), (3), параметри R_i , S , μ . Перевірити співвідношення (4).
5. Визначити абсолютні похибки розрахунку параметрів R_i , S , μ .

Анодный струм I_A , mA

[illegible]

Контрольні запитання

1. Яка будова і принцип дії вакуумного триода?
2. У чому суть явища термоелектронної емісії?
3. Що таке струм насичення?
4. Що називається анодною і сітковою характеристиками лампи?
5. Яка роль негативного об'ємного заряду ("електронної хмари")?
6. Яка умова попадання електронів на анод ?
7. Дати визначення і пояснити фізичний зміст основних параметрів лампи.

Список джерел

1. Савельев И. В. Курс общей физики.[Текст] / Т.2.: учебник для высших учебных заведений / И. В. Савельев. – М.: Наука, 1989. – 540 с.
2. Зисман Г. А. Курс общей физики. .[Текст]. Т.2: учебник для высших учебных заведений /Зисман Г. А. , Тодес А. М. - М.: Наука, 1972. 336 с.
3. Базакуца В. А. и др. Лабораторный практикум по физике. .[Текст]. Ч.2. - Харьков: Изд-во ХГУ,1969. 236 с.
4. Фізичний практикум. За заг. ред. проф. В. П.Дущенка. .[Текст]. Ч.2.- К.: Вища школа, 1984. 126 с.
5. Методичні рекомендації до організації самостійної роботи з вивчення курсу фізики. .[Текст]. - Харьков: ХНАМГ, 2008. 16с.
6. Мультиметр ВР–11А. Руководство по эксплуатации .[Текст]. 2.710.042 РЭ. 6 с.
7. Осциллограф универсальный С1-73. Техническое описание и инструкция по эксплуатации. .[Текст]. И22.044.067ТО, 1988. 32 с.
8. Устройство вспомогательное для осциллографов (генератор) типа Л 31. Руководство по эксплуатации.[Текст]. 3.723.001.13 с.
9. Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт з фізики. Розділ "Механіка". .[Текст]. – Х: ХНАМГ, 2005. - 45 с.

Навчальне видання

Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт з курсу загальної фізики,
розділ "Електростатика і постійний струм" (для студентів 1 курсу всіх форм
навчання за напрямками підготовки 6.050701 "Електротехніка та
електротехнології", 6.050702 "Електромеханіка")

Укладачі **Аксьонова Катерина Юріївна**
Оксюк Юрій Данилович

За авторською редакцією

Комп'ютерне верстання К. Ю. Аксьонова

План 2012, поз 281М

Підп. до друку 19.06.2012
Друк на ризографі.
Зам. №

Формат 60х84 / 16
Ум. друк. арк. 3,47
Тираж 50 пр.

Видавець і виготовлювач:
Харківський національний університет
міського господарства імені О. М. Бекетова,
вул. Революції, 12, Харків, 61002
Електронна адреса: rectorat@kname.edu.ua
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи:
ДК № 4705 від 28.03.2014 р.