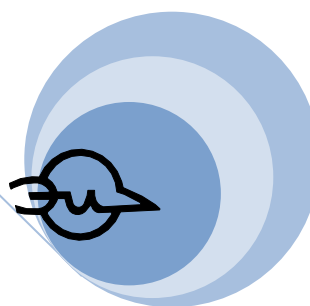
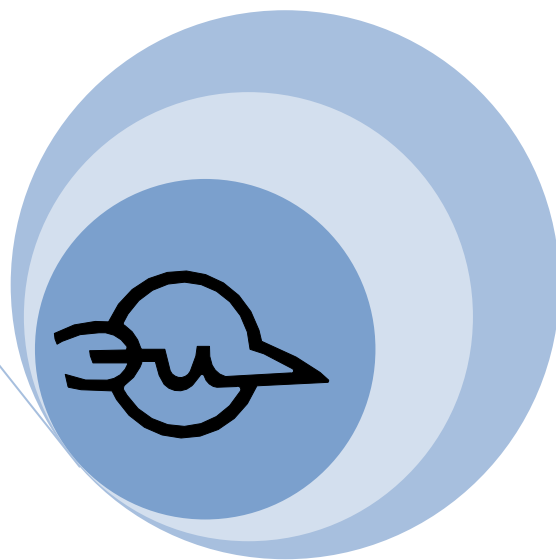


Асоціація «Приладобудівники України»
ПрАТ «Електровимірювач»

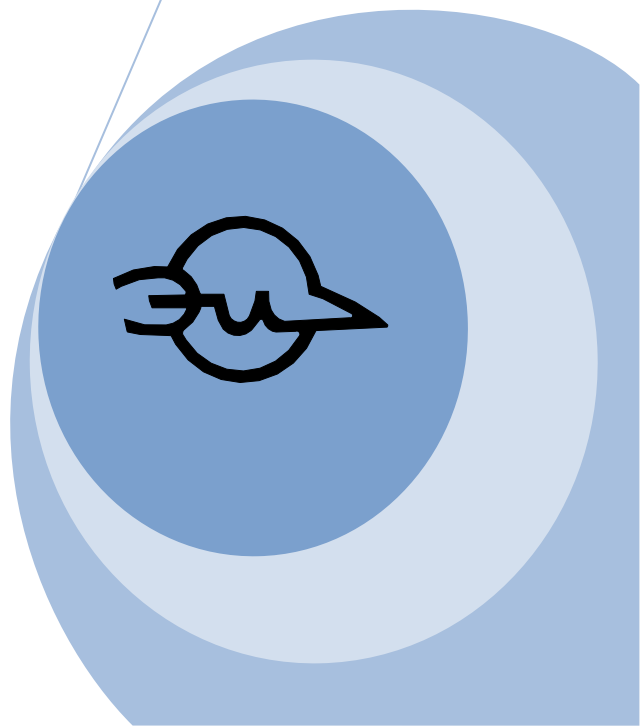


ОПИС ЕКСПЕРИМЕНТІВ З ВИКОРИСТАННЯМ ДЕМОНСТРАЦІЙНОГО НАБОРУ «ЕЛЕКТРОДИНАМІКА»

Частина 1. Електричні кола постійного та змінного струму, явища магнітної індукції і самоіндукції.

В посібнику описана методика і техніка демонстраційного шкільного фізичного експерименту по темам постійний струм, змінний струм, явища магнітної індукції і самоіндукції. У всіх описаних експериментах використовується демонстраційний набір «Електродинаміка», який розроблений і виготовляється публічним акціонерним товариством «Електровимірювач»

© Кулик В. А.
Житомир 2021



Зміст

ВСТУП.....	3
1) «Складання електричного кола»	6
2) «Дія електричного струму»	7
3) «Вимірювання сили струму амперметром»	8
4) «Вимірювання напруги вольтметром»	9
5) «Залежність сили струму від напруги»	10
6) «Залежність сили струму від опору»	11
7) «Вимірювання опорів»	12
8) «Будова змінного резистора (реостата)»	13
9) «Послідовне з'єднання провідників»	14
10) «Паралельне з'єднання провідників»	16
11) «Визначення потужності електричного струму»	18
12) «Нагрівання провідника електричним струмом»	19
13) «Зарядження і розрядження конденсатора».....	21
14) «Енергія зарядженого конденсатора».....	23
15) «Явище електромагнітної індукції».....	24
16) «Явище самоіндукції»	26
17) «Зв'язок між діючим і амплітудним значенням змінного струму».....	27
18) «Активний опір в колі змінного струму»	28
19) «Котушка індуктивності в колі змінного струму»	30
20) «Конденсатор в колі змінного струму»	33
21) «Послідовне коло змінного струму».....	36
22) «Потужність в колі змінного струму»	38
23) «Резонанс в коливальному контурі».....	39
24) «Принцип дії трансформатора».....	42
ЛІТЕРАТУРА.....	44
ДОДАТОК.....	45

ВСТУП

Фізичний експеримент у вигляді демонстраційних дослідів є невід'ємною частиною курсу фізики. Демонстраційні досліді формують накопичені раніше попередні уявлення, які на початку вивчення фізики не у всіх учнів однакові і бездоганні. Найкращого педагогічного результату, як свідчить практика, можна досягти використовуючи вдале поєднання теоретичного матеріалу та експерименту.

У описі наведені експерименти із демонстраційним набором «Електродинаміка», який розроблено Житомирським відкритим акціонерним товариством "Електровимірювач" та Житомирським державним університетом імені Івана Франка. Набір демонстраційний "Електродинаміка" – (далі – набір) призначений для використання в загальноосвітніх середніх та вищих навчальних закладах, в лабораторіях і кабінетах фізики, вчителем (викладачем) при виконанні демонстраційного експерименту по дослідженню:

- електричних кіл постійного і змінного струму;
- струму в напівпровідниках;
- струму в вакуумі;
- явищ магнітної індукції і самоіндукції.

Перед початком роботи з набором необхідно обов'язково ознайомитися з його паспортом. До складу набору "Електродинаміка" входять демонстраційна дошка і комплект із модулів (рис.В.1). Більш докладно дивись додаток та паспорт на виріб.



Рис. В.1

Набір сконструйований таким чином, що забезпечує необхідну наочність, виразність та видимість основних частин і деталей установки для всіх учнів із будь-якого місця класу. Без всього цього дослід втрачає своє значення та стає марним.

Необхідну видимість в процесі демонстрації досягнуто шляхом використання модулів відповідного, для даних цілей, розміру, правильно підбраного фону та кольорової гамми. В основу кожного модуля запресовані магніти за допомогою яких він кріпиться демонстраційній дошці, як показано на рис. В.3. На кожному модулі змонтований певний елемент (резистор, конденсатор, котушка індуктивності, транзистор тощо) і зображене його умовне графічне позначення та номінал.

Всі описані демонстрації виконуються шляхом складання досить простих електричних кіл, в яких чітко виділяються основні частини, це робить кожний дослід наглядним та виразним, щоб кожний учень неодмінно помітив продемонстроване явище та зрозумів його суть.

Для вимірювання електричних величин в ході експерименту в комплект входять цифрові вимірювальні модулі (рис.В.2). Також для вимірювання можна використовувати і демонстраційні вимірювальні прилади (амперметр і вольтметр із гальванометрами демонстраційні, ампервольтметр 43754-У та ін.) які під'єднуються у досліджуване коло через відповідні модулі підключення вимірювальних приладів.



Рис. В.2.

В процесі складання електричних кіл рекомендується дотримуватися наступного порядку:

1. Вивчити електричну схему, розбити її на частини так, щоб кожній частині відповідав певний модуль з наявного набору.
2. Скласти електричне коло згідно із схемою. Для цього відповідності до схеми розмістити модулі на демонстраційній дошці та з'єднати їх з'єднувальними проводами. Спочатку сполучають елементи кола з послідовним з'єднанням, а потім приєднують до них елементи, які утворюють паралельні ланки. Вимірювальні модулі підключаються в останню чергу.
3. Приєднати зовнішні елементи та електровимірювальні прилади до відповідних модулів, дотримуючись полярності.
4. Перевірити відповідність складеного кола електричній схемі.
5. Увімкнути вимірювальні модулі (прилади) та підготувати їх до вимірювання.
6. Всі регулятори, дільники напруги, регульовальні резистори та пристрої встановити в положення, що забезпечують мінімальні струми і напруги.
7. Приєднати електричні джерела до відповідних модулів, дотримуючись полярності.
8. Увімкнути джерело(-а) і почати працювати з електричним колом згідно з порядком виконання експерименту.

Якщо необхідно внести зміни в електричне коло, тоді бажано дотримуватися такої послідовності дій:

1. Зменшити параметри струму в колі до мінімальних значень.
2. Розімкнути вимикач.
3. Вимкнути електричне(-і) джерело(-а).
4. Від'єднати електричне(-і) джерело(-а) від мережі живлення.
5. Внести відповідні зміни в електричне коло.
6. Перевірити відповідність складеного кола електричній схемі.
7. Приєднати електричне(-і) джерело(-а) до мережі живлення.

8. Увімкнути джерело(-а) і продовжити працювати з електричним колом згідно з порядком виконання експерименту.

Закінчуючи роботу з електричним колом необхідно:

1. Зменшити параметри струму в колі до мінімальних значень.
2. Розімкнути вимикач.
3. Вимкнути електричне(-і) джерело(-а).
4. Від'єднати електричне(-і) джерело(-а) від мережі живлення.
5. Від'єднати електричне(-і) джерело(-а) від відповідних модулів.
6. Від'єднати електровимірювальні прилади та зовнішні елементи від відповідних модулів.
7. Від'єднати з'єднувальні проводи від модулі. Зняти модулі з демонстраційної дошки та скласти їх у футляр разом з іншими елементами набору.

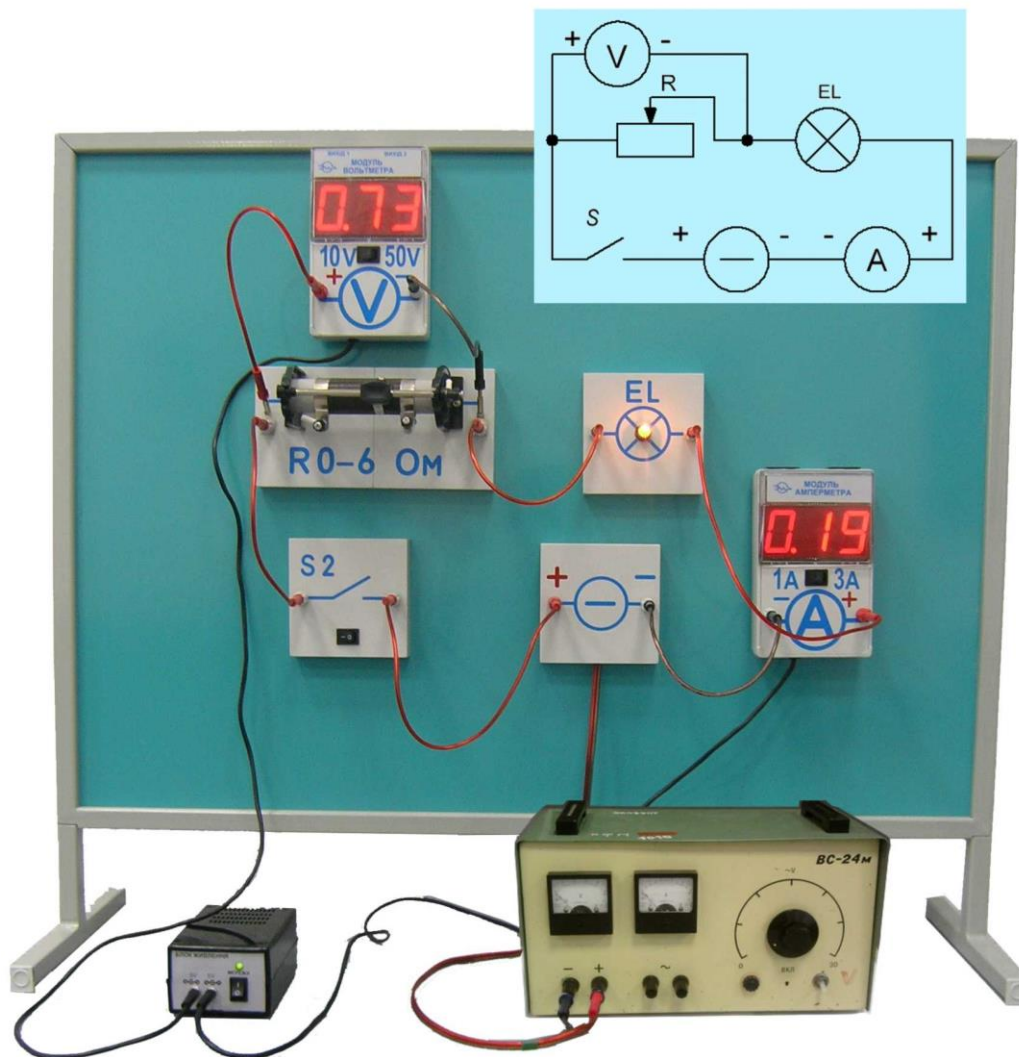


Рис. В.3

На рис.В.3, як приклад, показана повністю зібрана установка для демонстрації роботи реостата. Зверху на рисунку зображена принципова схема цієї установки.

ДОСЛІД № 1

«Складання електричного кола»

Мета дослідю: продемонструвати роботу простого електричного кола, та основних його частин.

Обладнання: Джерело постійного струму з регулюванням напруги (випрямляч ВС-24 або його модифікації ВС-24М, В-24), із набору "Електродинаміка": модулі – джерела постійного струму, лампи розжарювання 6,3 В, резистора 1 Ом, вимикача двопозиційного; з'єднувальні провідники.

Встановіть на столі демонстраційну дошку і, у відповідності до схеми зображеної на рис. 1, розмістіть на ній модулі та з'єднайте їх провідниками. Підключіть до схеми джерело живлення. Встановіть напругу на джерелі – 5В.

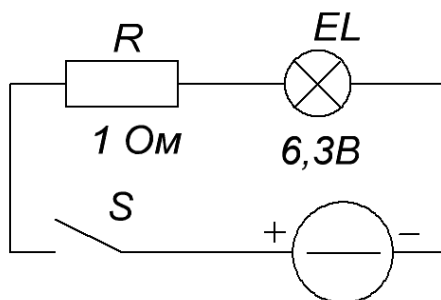


Рис. 1

Поясніть учням, що зібрана схема є простим електричним колом, поясніть призначення кожного її елемента і його умовне графічне зображення, наприклад:

– Для того, щоб використовувати енергію електричного струму, необхідно мати джерело струму, для цього використовується лабораторне джерело живлення із регульованою вихідною напругою. Послідовно включені лампа розжарювання і резистор є приймачами або споживачами електричної енергії, Електричну енергію необхідно доставляти до приймачів. Для цього приймач з'єднують із джерелом електричної енергії проводами. Для того, щоб на певний час вмикати і вимикати приймач електричної енергії, використовується вимикач (ключ). Щоб в електричному колі протікав струм, воно повинно бути замкненим, тобто складалося лише із провідників електричного струму.

Замкніть ключ, лампа повинна загорітися. Світіння лампи вказує що в колі тече електричний струм, величина якого визначається параметрами джерела і приймача електричної енергії.

Залежність величини струму від параметрів джерела живлення продемонструйте зменшенням і збільшенням до 6 В напруги на ньому при цьому яскравість світіння лампи розжарювання повинна відповідно зменшуватися і збільшуватися.

Залежність величини струму від параметрів приймача електричної енергії продемонструйте замкнувши резистор R1 провідником при цьому яскравість світіння лампи повинна збільшитись.

Розірвіть коло від'єднавши один із провідників, що з'єднують модулі. Лампа погасла. Струм в колі зник. На цьому і базується дія вимикачів.

ДОСЛІД № 2

«Дія електричного струму»

Мета досліду: продемонструвати, теплову хімічну і магнітну дії електричного струму.

Обладнання: Джерело постійного струму з регулюванням напруги (випрямляч ВС-24 або його модифікації ВС-24М, В-24), ємність із двома електродами (із набору для електролізу), розчин мідного купоросу, котушка індуктивності залізний стержень, сталі булавки, із набору "Електродинаміка": модулі – джерела постійного струму, лампи розжарювання 6,3 В, вимикача двопозиційного; з'єднувальні провідники.

Теплову дію електричного струму можна спостерігати на прикладі роботи лампи розжарювання. Із модулів на магнітній дошці зберіть установку у відповідності до схеми показаної на рис. 2,а . Підключіть до схеми джерело живлення. Встановіть мінімальну напругу на джерелі – таку, щоб лампа не світилася. Замкніть ключ S1.

В скляній колбі лампи в якій створений вакуум між двома товстими електродами закріплена тонкий вольфрамовий дріт – нитка розжарювання. При плавному збільшенні напруги живлення до 6В видно як нитка лампи під дією електричного струму поступово розжарюється і починає світитися. Електричний струм розігріває вольфрамову нитку до температури, яка дещо нижча температури плавлення цього металу. Розігрівається лише вольфрамова нитка оскільки вона створює значний опір постійному струму. При цьому електричний струм майже не нагріває електроди між якими закріплена нитка розжарювання, оскільки їхній опір малий. Температура плавлення вольфраму 3387 °С.

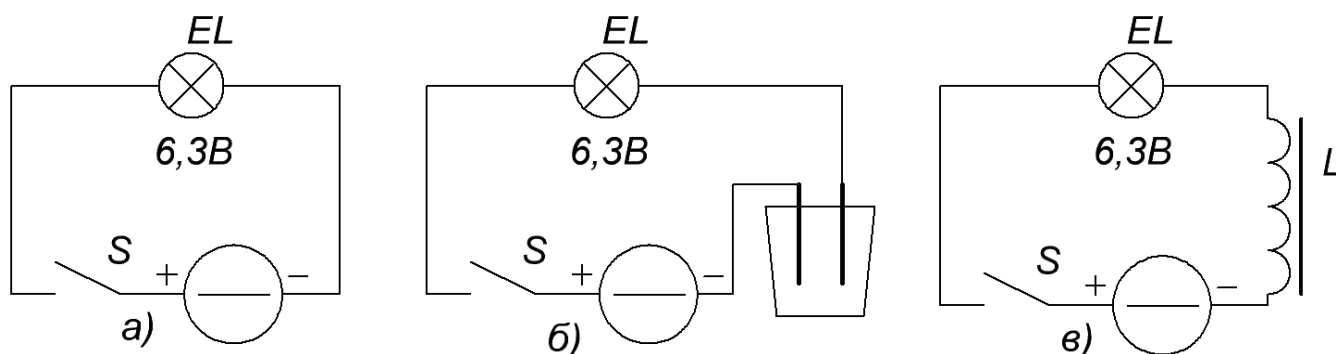


Рис.2

Хімічна дія електричного струму базується на тому, що в деяких розчинах солей, кислот і лугів при проходженні через них електричного струму спостерігається виділення речовин. Для демонстрації, цього явища в посудину із двома вугільними електродами налейте розчин мідного купоросу. Пропустіть через розчин електричний струм так як показано на рис. 2,б, світіння лампи показує наявність струму в колі. Через деякий час на від'ємно зарядженому електроді виділяється чиста мідь. Це явище використовується для отримання чистих металів.

Магнітну дію електричного струму можна показати на наступному досліді. під'єднайте котушку індуктивності послідовно із лампою до джерела живлення. На джерелі встановіть напругу 6 В. При замкнутому колі стержень намагнічується і притягує невеликі залізні предмети (булавки, ошурки і т. п.). При розмиканні кола стержень розмагнічується. Так працюють електромагніти.

«Вимірювання сили струму амперметром»

Мета дослід: продемонструвати методику вимірювання сили струму амперметром

Обладнання: Джерело постійного струму з регулюванням напруги (випрямляч ВС-24 або його модифікації ВС-24М, В-24), із набору "Електродинаміка": модулі – джерела постійного струму, амперметра постійного струму, лампи розжарювання 6,3 В та 3,5 В, вимикача двопозиційного; з'єднувальні провідники, блок живлення вимірювальних модулів 43009-У.

Для вимірювання сили струму в колі використовують прилад, що називається амперметр. Амперметр – це гальванометр пристосований для вимірювання сили струму, його шкала відградуєвана в амперах. На схемах амперметр позначають кружком із буквою А. Амперметр побудований таким чином, щоб він не впливав на вимірювану величину, тобто при включенні його в коло, сила струму в ньому майже не змінюється.

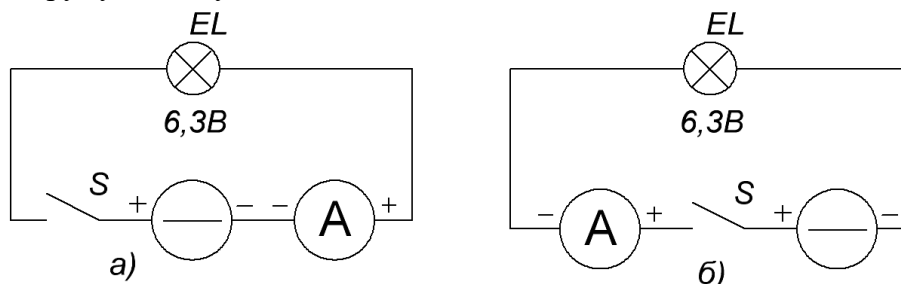


Рис.3

При вимірюванні сили струму в колі амперметр включається послідовно із тим пристроєм силу струму якого вимірюють. Але в яку саме частину кола потрібно включити амперметр можна показати на наступному досліді.

Підготуйте демонстраційну дошку до демонстрації зібравши на ній електричне коло у відповідності до схеми зображеної на рис.3 (використовується лампа на 6,3 в). Під'єднайте модуль амперметра до блока живлення 43009-У, увімкніть живлення та підготуйте модуль для вимірювання в діапазоні 1А шляхом встановлення перемикача на модулі у відповідне положення. На джерелі живлення встановіть напругу 6В.

Замкніть коло. Зверніть учнів увагу на покази амперметра, запам'ятайте його покази. Розімкніть коло, і змініть його положення в схемі у відповідності до рис.3,б. Замкніть коло знову, амперметр повинен показати теж саме значення струму.

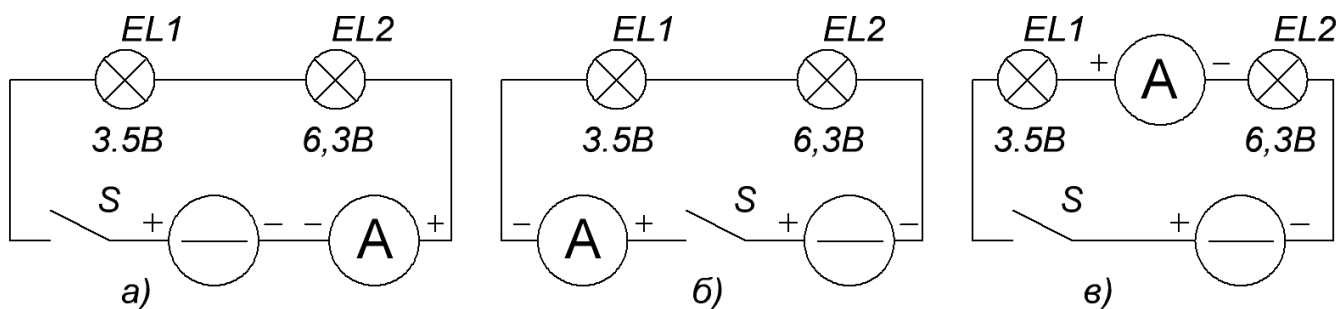


Рис. 4

Проведіть аналогічні експерименти із двома лампами 6,3 та 3,5 В (рис.4). Напругу на джерелі встановіть 9В. Амперметр в трьох точках кола повинен показувати однакові значення сили струму.

Проведений дослід підтверджує, що в електричному колі яке складається із джерела струму і споживачів струму, з'єднаних провідниками так що кінець одного провідника з'єднується із початком іншого, сила струму у всіх ділянках однакова. Тому при вимірюванні сили струму в такому колі амперметр можна включати в будь-яке місце.

«Вимірювання напруги вольтметром»

Мета дослід: продемонструвати методику вимірювання напруги вольтметром

Обладнання: Джерело постійного струму з регулюванням напруги (випрямляч ВС-24 або його модифікації ВС-24М, В-24), із набору "Електродинаміка": модулі – джерела постійного струму, лампи розжарювання 3,5 або 6,3 В, вимикача двопозиційного, вольтметра постійного струму; з'єднувальні провідники, блок живлення вимірювальних модулів 43009-У.

Для вимірювання напруги на полюсах джерела струму або на будь-якій ділянці електричного кола використовують прилад що називається вольтметром.

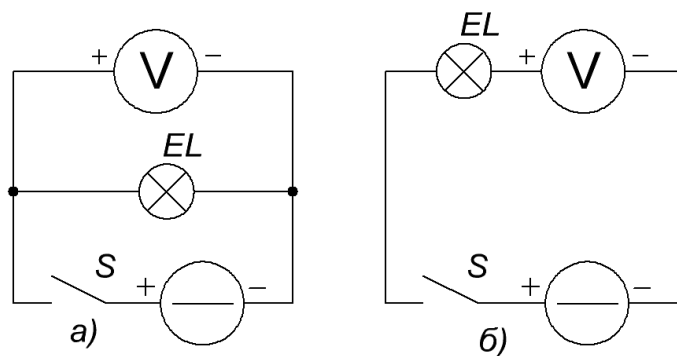


Рис. 5

Багато вольтметрів по зовнішньому вигляду дуже схожі на амперметри. На шкалі вольтметра наносять букву V, це є їхньою відмінністю від інших електровимірювальних приладів. На схемах вольтметр зображається кругом із буквою V в середині.

Вольтметр включається в схему інакше ніж амперметр. Щупи вольтметра під'єднують до тих точок між якими потрібно виміряти напругу.

Для демонстрації вимірювання напруги вольтметром зберіть на демонстраційній дошці електричне коло за схемою показаною на рис. 5, а. Під'єднайте модуль вольтметра до блока живлення 43009-У, увімкніть живлення та підготуйте модуль для вимірювання напруги в діапазоні 10В шляхом встановлення перемикача на модулі у відповідне положення. Напругу на джерелі живлення встановіть таку, щоб вона не перевищувала номінальної робочої напруги лапи (3,5 або 6,3В). При замиканні вимикача лампа загоряється і вольтметр показує напругу на ній. Зменшіть напругу живлення. Яскравість світіння лампи зменшиться, відповідно і вольтметр покаже меншу напругу на ній. Сила струму яка проходить через вольтметр, дуже мала в порівнянні із силою струму в колі, тому він майже не змінює напругу між тими точками, до яких під'єднаний. Це продемонструйте від'єднавши вольтметр, при цьому яскравість світіння лампи не змінилася.

А що ж буде, якщо вольтметр включити в коло послідовно (як амперметр). Це продемонструйте зібравши коло за схемою на рис. 5, б. Замкніть коло. Лампа не світиться, струм в колі відсутній, але вольтметр показує напругу, яка дещо вища ніж у попередньому експерименті. Оскільки лампа розжарювання має малий опір то в цьому випадку вольтметр фактично показує напругу джерела живлення. Якщо від'єднати позитивний щуп вольтметра і під'єднати до позитивної клеми джерела, то він покаже таке ж значення напруги.

ДОСЛІД № 5

«Залежність сили струму від напруги»

Мета дослід: продемонструвати залежність сили струму в резисторі від напруги на ньому.

Обладнання: Джерело постійного струму з регулюванням напруги (випрямляч ВС-24 або його модифікації ВС-24М, В-24), із набору "Електродинаміка": модулі – джерела постійного струму, резистора 10 Ом, вимикача двопозиційного, вольтметра і амперметра постійного струму; з'єднувальні провідники, блок живлення вимірювальних модулів 43009-У.

Для демонстрації залежності сили струму в резисторі від прикладеної до нього напруги зберіть електричне коло за схемою наведеною на рис. 6.

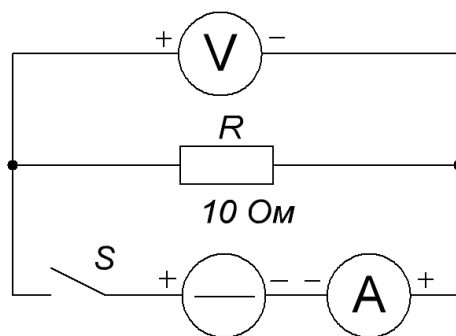


Рис.6

Під'єднайте вимірювальні модулі до блока живлення 43009-У, увімкніть живлення та підготуйте модуль амперметра для вимірювання сили постійного струму в діапазоні 1 А, а вольтметра – напруги в діапазоні 10 В. Ручку регулятора напруги на джерелі живлення встановіть в положення мінімальної напруги.

Табл. 1

Напруга, U, В	2	4	6	8	9
Сила струму I, А					

Підготуйте на класній дошці таблицю для запису результатів вимірювань напруги і сили струму (табл. 1).

Замкніть коло вимикачем. Встановіть напругу на резисторі 2 В. Зверніть увагу учнів на покази амперметра при цій напрузі і запишіть значення сили струму до табл.1. Збільшіть напругу до 4 В і запишіть покази амперметра до таблиці, струм повинен збільшитись вдвічі. Аналогічно виміряйте силу струму при 6, 8 та 10 В, результати вимірювань запишіть до таблиці 1.

За результатами вимірювань побудуйте графік залежності сили струму від напруги, на горизонтальній вісі якого в умовно вибраному масштабі відкладена напруга в вольтах, а на вертикальній – сила струму в амперах. Отримана графічна залежність має бути прямою лінією.

Таким чином, дослід показує, що у скільки разів збільшується напруга, прикладена до одного і того ж резистора, у стільки ж разів збільшується сила струму в ньому. Іншими словами сила струму в резисторі прямо пропорційна напрузі на його кінцях.

ДОСЛІД № 6

«Залежність сили струму від опору»

Мета досліду: продемонструвати залежність сили струму в резисторі від його електричного опору.

Обладнання: Джерело постійного струму з регулюванням напруги (випрямляч ВС-24 або його модифікації ВС-24М, В-24), із набору "Електродинаміка": модулі – джерела постійного струму, резистора 2, 3, 5 і 10 Ом, вольтметра і амперметра постійного струму, вимикача двопозиційного; з'єднувальні провідники, блок живлення вимірювальних модулів 43009-У.

Для демонстрації залежності сили струму в резисторі від величини його електричного опору зберіть електричне коло із модулем резистора 2 Ом за схемою наведеною на рис. 7.

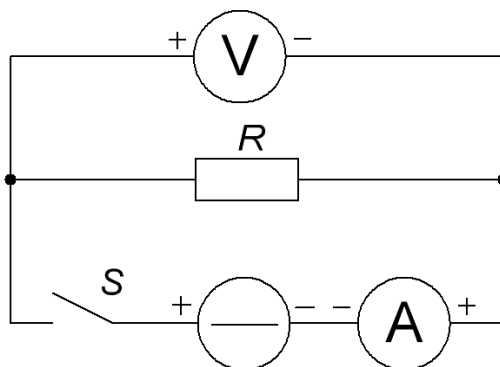


Рис. 7

Під'єднайте вимірювальні модулі до блока живлення 43009-У, увімкніть живлення та підготуйте модуль амперметра для вимірювання сили постійного струму в діапазоні 1 А, а вольтметра – напруги в діапазоні 10 В. Ручку регулятора напруги на джерелі живлення встановіть в положення мінімальної напруги.

Підготуйте на класній дошці таблицю для запису результатів вимірювань (табл. 2).

При проведенні цього досліді необхідно підтримувати постійною напругу на кінцях резистора. Якщо вона буде змінюватись то встановити залежність сили струму в резисторі від його електричного опору буде складніше.

Табл. 2

Напруга $U = 1$ В				
Опір, R, Ом	2	3	5	10
Сила струму, I, А				

Замкніть коло вимикачем. Встановіть напругу на резисторі 1 В. Зверніть увагу учнів на покази амперметра при цій напрузі на резисторі 2 Ом, запишіть значення сили струму до табл.2. Розімкніть коло, замініть модуль із резистором 2 Ом, на модуль з резистором 3 Ом. Виміряйте силу струму в колі при тій же напрузі на резисторі (1 В). Аналогічно виміряйте силу струму з модулями із резисторами 5 та 10 Ом, результати вимірювань запишіть до таблиці 2.

За результатами вимірювань побудуйте графік залежності сили струму від опору резистора при одній і тій же напрузі на його кінцях, на горизонтальній вісі якого в умовно вибраному масштабі відкладений опір в омах, а на вертикальній – сила струму в амперах.

Результат досліді повинен показати, що сила струму в резисторі зворотно пропорційна його опору.

ДОСЛІД № 7

«Вимірювання опорів»

Мета дослід: продемонструвати методику вимірювання опору резистора із використанням вольтметра і амперметра.

Обладнання: Джерело постійного струму з регулюванням напруги (випрямляч ВС-24 або його модифікації ВС-24М, В-24), із набору "Електродинаміка": модулі – джерела постійного струму, резистора R_x , вольтметра і амперметра постійного струму, вимикача двопозиційного; з'єднувальні провідники, блок живлення вимірювальних модулів 43009-У.

Залежність між силою струму в колі (I) напругою (U) і опором (R) визначається законом Ома: сила струму на ділянці кола прямо пропорційна прикладеній напрузі і обернено пропорційна опору цієї ділянки, $I = \frac{U}{R}$. Із вказаної формули слідує, що $R = \frac{U}{I}$. Отже, якщо відома напруга на ділянці кола і сила струму в ній, то за законом Ома можна визначити опір цієї ділянки.

Порядок вимірювання опору, таким методом можна продемонструвати на наступному досліді.

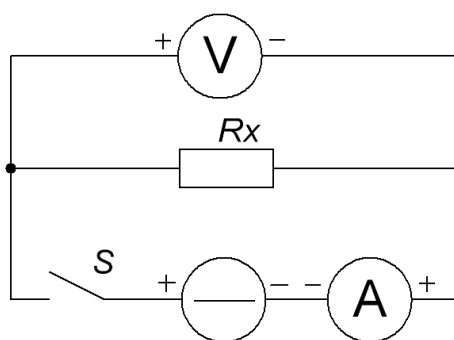


Рис. 8.

Зберіть на демонстраційній дошці електричне коло із модулем резистора R_x за схемою наведеною на рис. 8.

Під'єднайте вимірювальні модулі до блока живлення 43009-У, увімкніть живлення та підготуйте модуль амперметра для вимірювання сили постійного струму в діапазоні 1 А, а вольтметра – напруги в діапазоні 10 В. Ручку регулятора напруги на джерелі живлення встановіть в положення мінімальної напруги.

Замкніть коло вимикачем. Встановіть напругу на резисторі 2В. Зверніть увагу учнів на покази амперметра при цій напрузі на резисторі. Поділивши значення напруги на величину струму отримаєте значення опору резистора. Порівняйте отримане значення опору з номіналом, який вказаний в паспорті на комплект "Електродинаміка".

Розкажіть учням про похибку вимірювання, яка в даному випадку визначається похибкою вимірювання напруги та струму які залежать від класу точності вимірювальних приладів (вказані в паспорті). Та зробіть ще два вимірювання при напрузі 4 і 6 В.

Поясніть, що вимірювання опору даним методом називається непрямим вимірюванням, тобто коли шукане значення фізичної величини визначається на основі результатів вимірювань інших фізичних величин, які функціонально пов'язані із шуканою величиною.

ДОСЛІД № 8

«Будова змінного резистора (реостата)»

Мета дослід: продемонструвати будову принцип роботи реостата.

Обладнання: Джерело постійного струму з регулюванням напруги (випрямляч ВС-24 або його модифікації ВС-24М, В-24), із набору "Електродинаміка": модулі – джерела постійного струму, лампи розжарювання 3,5 В, реостата, вольтметра і амперметра постійного струму, вимикача двопозиційного; з'єднувальні провідники, блок живлення вимірювальних модулів 43009-У.

Реостатом або змінним резистором називається прилад для регулювання сили струму в колі.

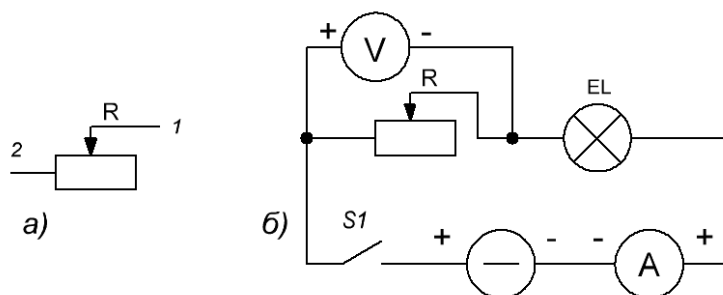


Рис. 9

В комплекті "Електродинаміка" використовується один із видів реостатів який називається повзунковий. Його умовне позначення в схемах показано на рис. 9, а. В цьому реостаті дріт з високим питомим опором намотаний на керамічний циліндр. Дріт вкритий тонким шаром окालини, яка не проводить електричний струм, тому витки ізольовані один від одного. Над обмоткою розміщений металевий стержень, по якому може переміщатися повзунок. Своїми контактами він притиснутий до витків обмотки. Від тертя повзунка шар окालини на витках під його контактами зтирається, і електричний струм в колі проходить від витків дроту до повзунка, і через нього в стержень, який на кінці має клему 1. За допомогою цієї клеми і клеми 2, яка з'єднана з одним із кінців обмотки і розміщена на корпусі реостата, реостат під'єднують в коло.

Кожний реостат розрахований на певний опір і на найбільшу допустиму силу струму, перевищувати яку не можна, інакше обмотка реостата може перегоріти. Опір реостата і максимально допустимий струм вказані на його корпусі.

Щоб учні краще зрозуміли будову реостата продемонструйте його роботу зібравши на демонстраційній дошці електричне коло у відповідності до схеми наведеної на рис. 9,б.

Під'єднайте вимірювальні модулі до блока живлення 43009-У, увімкніть живлення та підготуйте модуль амперметра для вимірювання сили постійного струму в діапазоні 1 А, а вольтметра – напруги в діапазоні 10 В. Ручку регулятора напруги на джерелі живлення встановіть в положення мінімальної напруги.

Повзунок реостата встановіть в крайнє ліве положення (положення мінімального опору).

Увімкніть прилади, замкніть коло вимикачем. Плавнo збільшуючи напругу джерела живлення встановіть силу струму в колі 250 мА. Вольтметр повинен показувати майже нульову напругу. Поступово збільшуючи опір реостата шляхом переміщення його повзунка вправо слідкуйте за зменшенням сили струму в колі і збільшенням напруги на реостаті. Про зменшення сили струму в колі також свідчить зменшення яскравості світіння лампи. Зафіксуйте мінімальний струм при крайньому правому положенні повзунка реостата. Визначіть діапазон регулювання по силі струму.

«Послідовне з'єднання провідників»

Мета дослід: продемонструвати закони послідовного з'єднання провідників.

Обладнання: Джерело постійного струму з регулюванням напруги (випрямляч ВС-24 або його модифікації ВС-24М, В-24), із набору "Електродинаміка": модулі – джерела постійного струму, резистора 1, 2 і 3 Ом, вольтметра і амперметра постійного струму, вимикача двопозиційного; з'єднувальні провідники, блок живлення вимірювальних модулів 43009-У.

Електричні кола, в основному складаються не з одного приймача електричного струму, а з декількох різних, які з'єднані між собою по різному. Знаючи опір кожної ділянки і спосіб їх з'єднання можна розрахувати напруги і струми на кожній ділянці а також загальний опір електричного кола.

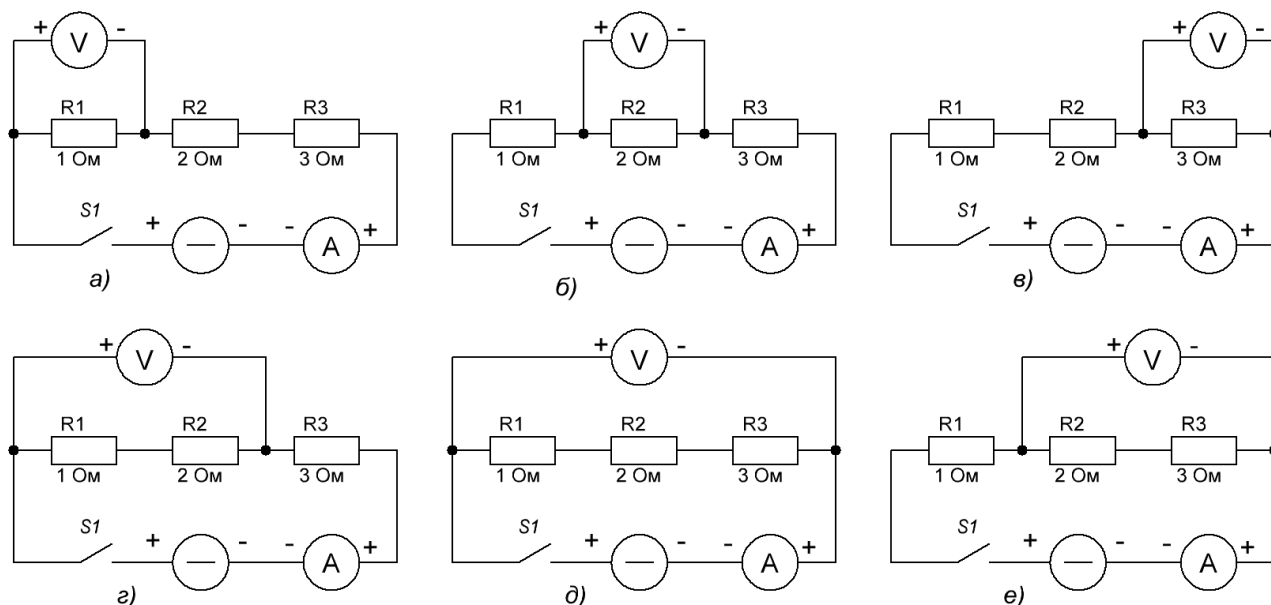


Рис.10

За допомогою наступного дослідів продемонструйте учням, як експериментально можна вивести закони послідовного з'єднання провідників.

Для цього зберіть електричне коло із трьома резисторами, у відповідності до рис. 10,а. Під'єднайте вимірювальні модулі до блока живлення 43009-У, увімкніть живлення та підготуйте модуль амперметра для вимірювання сили постійного струму в діапазоні 3 А, а вольтметра – напруги в діапазоні 10 В. Ручку регулятора напруги на джерелі живлення встановіть в положення мінімальної напруги.

Табл. 3

Напруга на резисторі(рах): В	R1= 1Ом	R2= 2 Ом	R3=3 Ом	R1, R2	R1, R2, R3	R2, R3
Сума напруг, В	-					
Опір ділянки, Ом	-					
Сума опорів, Ом	-					
Сила струму в колі, А	1					

Підготуйте на класній дошці таблицю для запису результатів вимірювань (табл. 3).

Увімкніть прилади, вимикачем замкніть коло. Плавно збільшуючи напругу джерела живлення встановіть силу струму в колі 1А, за пишіть це значення в таблицю.

В досліді №3 вже було показано, що при послідовному з'єднанні сила струму в будь-яких його частинах одна і та ж тобто $I = I_1 = I_2 = I_3$.

Запишіть покази вольтметра (напруга на резисторі $R_1 = 10\text{ Ом}$) у таблицю. Далі, як показано на рис.10,б-е виміряйте напруги на резисторах R_2 і R_3 , на двох послідовно з'єднаних резисторах R_1 , R_2 і R_2 , R_3 та на всіх трьох резисторах. Результати вимірювань запишіть до таблиці.

У відповідні колонки таблиці запишіть відповідні суми напруг.

Аналізуючи таблицю, робимо висновок: повна напруга в колі при послідовному з'єднанні провідників, або напруга на полюсах джерела струму, дорівнює сумі напруг на окремих ділянках кола

$$U = U_1 + U_2 + U_3 .$$

Далі використовуючи закон Ома, розрахуйте опір послідовно з'єднаних резисторів R_1 і R_2 , R_2 і R_3 , та опір послідовно з'єднаних всіх трьох резисторів ($R = \frac{U}{I}$). Результати запишіть до таблиці.

У ту ж таблицю запишіть суми опорів відповідних резисторів.

В результаті виконання експерименту робимо ще один висновок: загальний опір кола при послідовному з'єднанні провідників дорівнює сумі опорів окремих провідників

$$R = R_1 + R_2 + R_3 .$$

ДОСЛІД № 10

«Паралельне з'єднання провідників»

Мета дослід: продемонструвати закони паралельного з'єднання провідників.

Обладнання: Джерело постійного струму з регулюванням напруги (випрямляч ВС-24 або його модифікації ВС-24М, В-24), із набору "Електродинаміка": модулі – джерела постійного струму, резистора 10 і 5 Ом, вольтметра і амперметра постійного струму, вимикача двопозиційного; з'єднувальні провідники, блок живлення вимірювальних модулів 43009-У.

Зберіть на демонстраційній дошці електричне коло у відповідності до схеми зображеної на рис. 11,а. Під'єднайте вимірювальні модулі до блока живлення 43009-У, увімкніть живлення та підготуйте модуль амперметра для вимірювання сили постійного струму в діапазоні 3 А, а вольтметра – напруги в діапазоні 10 В. Ручку регулятора напруги на джерелі живлення встановіть в положення мінімальної напруги.

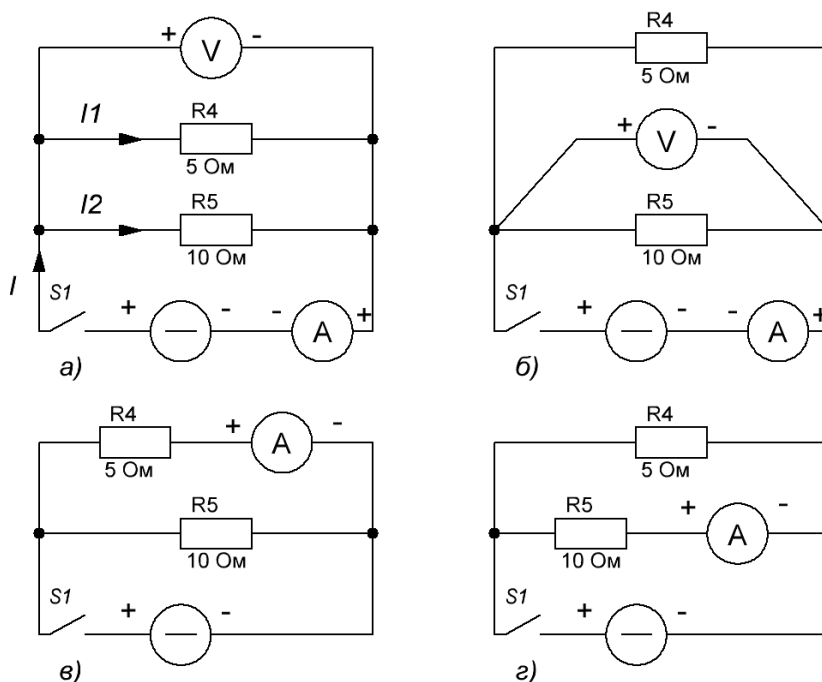


Рис. 11

Підготуйте на класній дошці таблицю для запису результатів вимірювань (табл. 4).

Увімкніть прилади, замкніть коло вимикачем. Плавно збільшуючи напругу джерела живлення встановіть силу струму в колі 1А, запишіть це значення в таблицю.

Табл. 4

	Виміряно				Обчислено	
	Напруга на резисторі, В	Струм в резисторі, А	Струм в колі, А	Опір кола, Ом	Сума струмів резисторів, А	Опір, кола Ом
R4=5 Ом						
R5=10 Ом						

Запишіть покази вольтметра (напруга на резисторі R4= 5Ом) у таблицю.

Виміряйте напругу на резисторі R5 шляхом підключення вольтметра, як показано на рис.11,б, він повинен показати теж значення напруги. Результати запишіть до таблиці.

Експеримент показує, що напруга на кінцях всіх паралельно з'єднаних провідників однакова

$$U = U_1 = U_2 .$$

Розімкніть вимикач, від'єднайте вольтметр, а амперметр включіть в коло резистора R4, як показано на рис.11,в та переключіть його на діапазон вимірювання 1 А. Замкніть коло, зверніть увагу учнів на покази амперметра і запишіть їх до таблиці.

Розімкніть коло та підключіть амперметр для вимірювання сили струму в резисторі R5 (рис.11,в). Замкніть коло і запишіть покази амперметра до таблиці.

Обчисліть суму струмів в виміряну в резисторі R4 і R5 та запишіть результат у таблицю.

Отже робимо висновок, що сила струму в нерозгалуженій частині кола дорівнює сумі сил струмів в окремих паралельно з'єднаних провідниках:

$$I = I_1 + I_2 .$$

Оскільки напруга на всіх ділянках однакова то із закону Ома можна записати:

$$U = R_4 I_1 = R_5 I_2$$

звідки
$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{R_5}{R_4} .$$

Таким чином, при паралельному з'єднанні провідників сили струму в окремих провідниках обернено пропорційні їх опорам, що і спостерігається в досліді.

Знаючи наругу U на паралельно з'єднаних резисторах R4, R5 і силу струму I використовуючи закон Ома розрахуйте опір паралельно з'єднаних резисторів ($R = \frac{U}{I}$). Результат запишіть у відповідну колонку таблиці.

Як видно із експерименту загальний опір при паралельному з'єднанні стає менше опору кожного із резисторів, що входять в коло. Для визначення загального опору запишемо

$$I = I_1 + I_2 = \frac{U}{R_4} + \frac{U}{R_5} = U \left(\frac{1}{R_4} + \frac{1}{R_5} \right)$$

Враховуючи, що $I = \frac{U}{R}$ отримаємо
$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_4} + \frac{1}{R_5} .$$

По останній формулі розрахуйте значення опору і запишіть його в таблицю. Результати обчислення повинні із певною точністю співпасти з виміряними значенням.

Таким чином, величина, обернена до загального опору паралельно з'єднаних провідників, дорівнює сумі величин, обернених до опорів окремих провідників. Цей висновок справедливий для довільної кількості паралельно з'єднаних провідників.

ДОСЛІД № 11

«Визначення потужності електричного струму»

Мета дослід: продемонструвати вимірювання потужності електричного струму за допомогою амперметра і вольтметра.

Обладнання: Джерело постійного струму з регулюванням напруги (випрямляч ВС-24 або його модифікації ВС-24М, В-24), із набору "Електродинаміка": модулі – джерела постійного струму, лампи розжарювання 6,3 або 3,5 В, вольтметра та амперметра постійного струму, вимикача двопозиційного; з'єднувальні провідники, блок живлення вимірювальних модулів 43009-У.

Потужність електричного струму дорівнює добутку напруги на силу струму

$$P = UI.$$

Вимірювати потужність електричного струму можна за допомогою вольтметра і амперметра.

На демонстраційній дошці, зберіть електричне коло для вимірювання потужності лампи розжарювання у відповідності із рис. 12.

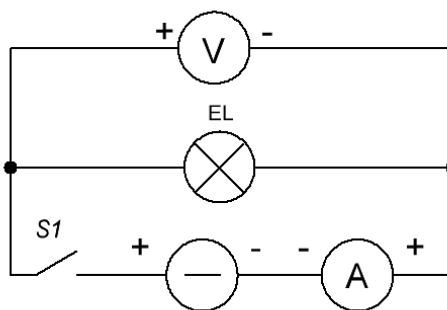


Рис. 12

Під'єднайте вимірювальні модулі до блока живлення 43009-У, увімкніть живлення та підготуйте модуль амперметра для вимірювання сили постійного струму в діапазоні 1 А, а вольтметра – напруги в діапазоні 10 В. Ручку регулятора напруги на джерелі живлення встановіть в положення мінімальної напруги.

Замкніть електричне коло. Плавно збільшуючи напругу джерела живлення встановіть силу струму в колі 250 мА. При цьому напруга на лампі не повинна перевищувати її номінальної робочої напруги

Отримайте значення електричної потужності перемноживши покази амперметра і вольтметра.

Розкажіть учням, що для прямого вимірювання електричної потужності, використовують спеціальні прилади які називаються ватметрами. У ватметрі, по суті об'єднані, амперметр і вольтметр, він має чотири клеми: дві для послідовного вмикання в коло і дві для паралельного під'єднання до ділянки кола.

«Нагрівання провідника електричним струмом»

Мета дослід: продемонструвати – нагрівання металевого провідника електричним струмом, залежність його опору від температури нагрівання, принцип роботи лампи розжарювання.

Обладнання: Джерело постійного струму з регулюванням напруги (випрямляч ВС-24 або його модифікації ВС-24М, В-24), із набору "Електродинаміка": модулі – джерела постійного струму, лампи розжарювання 6,3 або 3,5 В, вольтметра і амперметра, вимикача двопозиційного; з'єднувальні провідники, блок живлення вимірювальних модулів 43009-У.

Електричний струм нагріває провідник. Це явище можна спостерігати при роботі лампи розжарювання. Для цього зберіть на демонстраційній дошці електричне коло у відповідності до схеми зображеної на рис. 13.

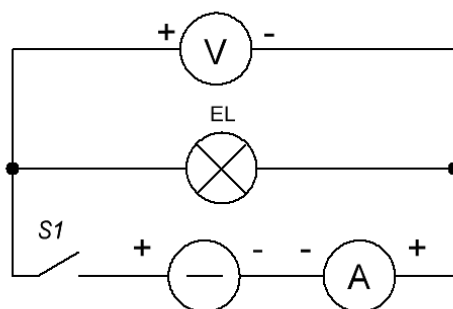


Рис. 13

Під'єднайте вимірювальні модулі до блока живлення 43009-У, увімкніть живлення та підготуйте модуль амперметра для вимірювання сили постійного струму в діапазоні 1 А, а вольтметра – напруги в діапазоні 10 В. Ручку регулятора напруги на джерелі живлення встановіть в положення мінімальної напруги.

Замкніть електричне коло. Плавно збільшуючи напругу джерела живлення встановіть таке значення напруги, щоб вона не перевищувала номінальної робочої напруги лампи розжарювання.

Світіння лампи відбувається, внаслідок нагрівання її нитки розжарювання електричним струмом. Пояснюється це явище так. Під дією електричного поля електрони провідності рухаються з прискоренням і за рахунок енергії електричного поля збільшується кінетична енергія електронів. При зіткненні із іонами кристалічної решітки електрони додатково передають іонам додаткову кінетичну енергію, одержану від поля. В результаті зростає енергія коливального руху іонів, а це і означає збільшення внутрішньої енергії провідника. Температура провідника (нитки розжарювання) підвищується і він починає передавати енергію навколишньому середовищу. Через певний час після замикання кола температура провідника перестає змінюватися з часом, настає термодинамічна рівновага: кількість підведеної до провідника енергії електричного поля дорівнює кількості внутрішньої енергії, відданої в процесі теплообміну навколишньому середовищу, тобто $Q = A = UIt$, або

$$Q = I^2 Rt.$$

Тобто, кількість теплоти, яка виділяється провідником із струмом, дорівнює добутку квадрата сили струму, опору провідника і часу. Отриманий висновок, називається законом Джоуля-Ленца.

Використовуючи, покази приладів, розрахуйте кількість теплоти яка виділяється на лампі розжарювання за певний час.

Основна частина сучасної лампи розжарювання – спіраль із тонкого вольфрамового дроту (нитка розжарювання), яка закріплена між двома товстими електродами. Вольфрам – тугоплавкий метал, його температура плавлення 3387 °С. В лампі спіраль вольфрамова спіраль нагрівається до 3000 °С, при такій температурі вона досягає білого жару і починає світитися яскравим світлом. Спіраль розміщується в скляній колбі, із якої відкачують повітря. Але у вакуумі вольфрам швидко випаровується, спіраль стає тоншою і швидко перегорає. Щоб запобігти, швидкому

випаровуванню вольфраму, сучасні лампи заповнюють азотом, іноді інертними газами, криптоном або аргоном. Молекули газу перешкоджають виходу часток вольфраму із нитки, тобто перешкоджають руйнуванню нитки розжарювання.

Продовжимо дослід з лампою розжарювання. При відомі напрузі і силі струму через лампу розрахуємо її опір при повному світінні, як $R = \frac{U}{I}$.

Далі, зменшіть напругу до такої величини, щоб спіраль лампи ледь помітно світилася та визначіть опір в цьому випадку, він повинен зменшитися. Аналогічно визначіть опір лампи при такому струмі, коли розжарення її спіралі вже не спостерігається. В останньому випадку опір повинен бути найменшим.

Таким чином дослід показав, що опір провідників залежить від температури, і пропорційно збільшується при підвищенні їх температури.

Оскільки із зміною температури металевого провідника змінюється швидкість теплового руху іонів кристалічної решітки і кількість зіткнень електронів з іонами. Це призводить до зміни опору провідника.

Нам досить часто доводиться спостерігати перегорання лампи розжарювання в момент її вмикання, а не під час її роботи. За допомогою проведеного дослідження можна пояснити чому це відбувається. Коли лампу вмикають розжарювання її спіралі відбувається не миттєво, а поступово. В момент вмикання лампи її спіраль знаходиться при кімнатній температурі, має малий опір, і в цей момент через неї проходить струм який в багато разів перевищує робочий. В процесі розігрівання спіралі її опір збільшується і струм зменшується до робочого. В лампи, яка вже певний час знаходилась в експлуатації спіраль через випаровування вольфраму стала тоншою, тому в момент вмикання вона не витримує вище вказаний струм і перегорає.

Для підвищення терміну служби ламп розжарювання, промисловістю випускаються різні пристрої для їх плавного вмикання.

«Зарядження і розрядження конденсатора»

Мета дослід: продемонструвати процес зарядження і розрядження конденсатора.

а) Зарядження і розрядження плівкового конденсатора

Обладнання: калібратор напруги 43006-У, гальванометр демонстраційний, із набору "Електродинаміка": модулі – джерела постійного струму, вольтметра постійного струму перемикача на два напрямки, вимикача двопозиційного, конденсатора 14 мкФ; з'єднувальні провідники, блок живлення вимірювальних модулів.

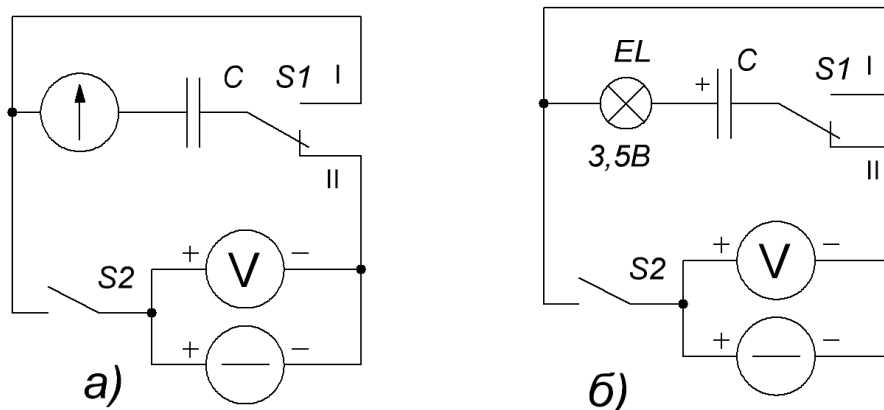


Рис. 14

На демонстраційній дошці збирають установку за схемою зображеною на рис. 14,а. Переконаються що вимикач S2 розімкнутий, а перемикач S1 встановлюють в положення II. Під'єднують модуль вольтметра постійного струму до блока живлення, вмикають живлення та підготовляють модуль для вимірювання напруги в діапазоні 50В шляхом встановлення перемикача на модулі у відповідне положення. На калібраторі напруги 43006-У встановлюють напругу 30 В.

При замиканні вимикача S2 відбувається зарядження конденсатора. Зарядний струм відображається відхиленням стрілки гальванометра. Щоб розрядити конденсатор необхідно перемикач S1 перевести в положення I. Розрядний струм фіксується відхиленням стрілки того ж гальванометра.

Перед початком дослідів ознайомлюють учнів із будовою конденсаторів.

Пояснюють, що конденсатор здатний накопичувати електричні заряди, його можна зарядити, якщо з'єднати його електроди із джерелом електричної енергії. Заряджають конденсатор.

При зарядженні конденсатора вільні електрони, що є на одному із його електродів, прямують до позитивного полюса джерела, в наслідок чого цей електрод стає позитивно зарядженим. Електрони із негативного полюса джерела прямують до іншого електрода конденсатора і створюють на ньому надлишок електронів, тому він стає негативно зарядженим. В результаті протікання зарядного струму, про що свідчило відхилення стрілки гальванометра, на обох електродах конденсатора утворюються однакові, але протилежні за знаком заряди і між ними виникає електричне поле, яке створює між електродами конденсатора певну різницю потенціалів. Коли ця різниця потенціалів буде дорівнювати напрузі джерела струму, рух електронів в колі конденсатора, тобто проходження зарядного струму, припиняється. Цей момент відповідає закінченню процесу заряду конденсатора і стрілка гальванометра вертається в нульове положення. При цьому конденсатор заряджається до напруги джерела живлення, щоб повністю в цьому переконатися можна замкнути гальванометр провідником.

Розмикають вимикач S2. Пояснюють, що при відключенні від джерела конденсатор здатний тривалий час зберігати накопичені електричні заряди. Заряджений конденсатор є джерелом електричної енергії, що має деяку електрорушійну силу.

Через деякий час розряджають конденсатор. При розрядженні конденсатора в колі іде струм розряду який фіксує гальванометр. Різниця потенціалів між електродами конденсатора починає зменшуватися, тобто конденсатор віддає накопичену електричну енергію у зовнішнє коло. В момент, коли кількість вільних електронів на кожному електроді конденсатора стане однаковою, електричне поле між електродами зникає і струм припиняється. Це означає, що відбувся повний розряд конденсатора, тобто він віддав накопичену ним електричну енергію.

Відхилення стрілки гальванометра на одну і ту саму кількість поділок і в різні напрямки при заряджанні і розряджанні конденсатора свідчить, що імпульси зарядного і розрядного струмів однакові по величині та протилежні за напрямком.

Повторюють цикл заряджання-розряджання ще декілька разів, щоб підтвердити вище сказане. Далі зменшують напругу в 2, 3, 4 рази, тобто надають конденсатору менші заряди та спостерігають, що покази гальванометра також стають в 2, 3, 4 рази менші, тобто вони пропорційні величині заряду при постійній величині ємності.

б) Заряджання і розряджання електролітичного конденсатора великої ємності

Обладнання: джерело живлення 43008-У, із набору "Електродинаміка": модулі – джерела постійного струму, вольтметра постійного струму, перемикача на два напрямки, вимикача двопозиційного, лампи розжарювання 3,5В, конденсатора 14 мкФ та 4700 мкФ; з'єднувальні провідники;

У попередній установці замінюють гальванометр на модуль із лампою розжарювання 3,5 В (рис.14,б), підключають коло до відповідних клем «+», «-» 5 В джерела живлення 43008-У, модуль вольтметра переключають на діапазон вимірювання 10 В. Конденсатор 14 мкФ, поки залишають.

Виконують цикл заряджання і розряджання на лампу декілька разів та переконуються, що лампа розжарювання не світиться. Пояснюють, що накопиченого даним конденсатором заряду, недостатньо для свічення лампи.

Далі плівковий конденсатор замінюють на модуль із електролітичним ємністю 4700 мкФ. Виконують декілька разів цикл заряджання і розряджання на лампу розжарювання, і спостерігають спалахи лампи. Як видно, даний конденсатор накопичує значно більший заряд якого вже достатньо для спалаху лампи розжарювання з номінальною напругою 3,5 В і номінальним струмом 0,26 А.

«Енергія зарядженого конденсатора»

Мета дослід: продемонструвати залежність електричної енергії зарядженого конденсатора від величини його ємності та різниці потенціалів на його пластинах.

Обладнання: Джерело постійного струму (випрямляч ВС-24 чи його модифікації або ВС-4-12), із набору "Електродинаміка": модулі – джерела постійного струму, вольтметра постійного струму, перемикача на два напрямки, 2 лампи розжарювання 3,5В, конденсатора 2200 і 4700 мкФ; з'єднувальні провідники, блок живлення вимірювальних модулів.

На магнітній дошці зберіть електричне коло з модулем конденсатора 2200 мкФ за схемою зображеною на рис. 15. Під'єднайте модуль вольтметра до блока живлення, увімкніть живлення та підготуйте модуль для вимірювання напруги в діапазоні 10В шляхом встановлення перемикача на модулі у відповідне положення. Вимикач S1 повинен бути в розімкнутому стані. Під'єднайте зібране коло до джерела живлення, на якому попередньо встановіть мінімальну вихідну напругу. На джерелі живлення встановіть напругу 6 В.

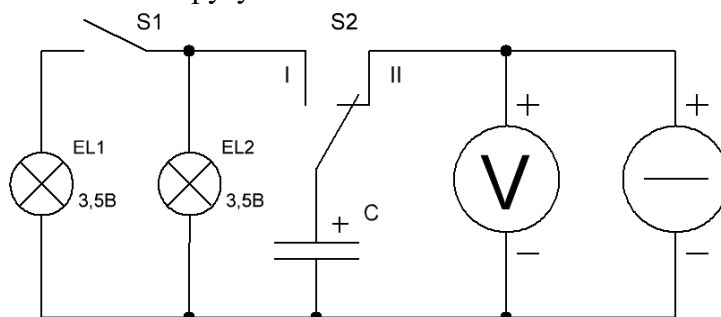


Рис. 15

Для заряджання конденсатора необхідно виконати роботу. Сили електричного поля зарядженого конденсатора також можуть виконувати роботу. Тому заряджений конденсатор має енергію.

Встановивши перемикач S2 в положення II зарядіть конденсатор.

Перевішивши перемикач в положення I спостерігайте спалах лампи розжарювання. Конденсатор розрядився, і вся його електрична енергія перейшла у внутрішню енергію нитки лампи розжарювання та енергію випромінювання.

Заміняють модуль з конденсатором 2200 мкФ на модуль 4700 мкФ, в результаті ємність збільшилась трохи більш ніж вдвічі. Тепер при розряді лампа спалахує яскравіше ніж в першому випадку. Замкнувши вимикач S1, повторюють дослід із двома лампам. При спостереженні можна сказати, що тепер спалах ламп приблизно такий же, як і в попередньому випадку, тому можна сказати, що енергія конденсатора збільшилась в два рази.

Далі показують, що енергія зарядженого конденсатора залежить від різниці потенціалів на його пластинах. Для цього повторюють дослід з конденсатором ємністю 2200 мкФ та спостерігають за світінням однієї лампи. Далі збільшують напругу в $\sqrt{2}$ раз тобто до 8,5 В, та спостерігають збільшення світіння однієї лампи. Після чого підключають другу лампу, і повторивши дослід по спалаху ламп, роблять висновок що енергія зарядженого конденсатора збільшилась в два рази.

Таким чином, дослід показує, залежність енергії зарядженого конденсатора від його ємності та різниці потенціалів, і допомагає краще зрозуміти, що енергія зарядженого конденсатора дорівнює роботі яка була затрачена при його заряджанні, вона не залежить від способу заряджання або розряджання конденсатора і обчислюється за формулою $W = CU^2/2$.

«Явище електромагнітної індукції»

Мета дослід: продемонструвати явище електромагнітної індукції.

Обладнання: Джерело постійного струму 43008-У, демонстраційний гальванометр, прямий та U-подібний магніти, котушка-моток із набору "Електродинаміка": модулі – джерела постійного струму, котушки індуктивності L1 і L2, потенціометра, лампи розжарювання 6,3В, вимикача ; з'єднувальні провідники.

Вивчення електромагнітної індукції необхідно починати із вступних дослідів. Вони повинні і нагадати учням різні випадки електромагнітної індукції, з якими вони вже ознайомились на попередньому рівні навчання, і бути достатніми для розуміння основного закону електромагнітної індукції та введення правила Ленца.

Перед демонстрацією дослідів потрібно провести деяку підготовку. Спочатку потрібно показати, в якому напрямку відхиляється стрілка гальванометра, коли його ліва клемма під'єднана до мінуса джерела струму, а права – до плюса. Для цього можна з'єднати провідником мінус джерела і ліву клему гальванометра та, взявшись однією рукою за праву клему, доторкнутися пальцем до плюса джерела живлення. Результат можна зафіксувати на класній дошці.

1. До клем демонстраційного гальванометра підключають провідник і рухають ним вниз і вгору між вітками U-подібного магніту.

По слабкому, але помітному відхиленню стрілки гальванометра виявляють виникнення індукційного струму в замкнутому колі і визначають його напрям. Далі, базуючись на отриманих результатах, встановлюють правило правої руки.

Звертають увагу, що в даній установці, деяка частина магнітного потоку постійного магніту охоплена замкнутим контуром, який складається із провідника та гальванометра. Ця частина потоку збільшується при опусканні провідника і зменшується коли провідник рухають вгору.

2. Провідник скручують в петлю і, то надягають її на полюс магніту, то піднімають її, помічають що стрілка гальванометра відхиляється сильніше. Повторюють дослід збільшуючи кількість витків.

3. До гальванометра підключають котушку-моток і збуджують в ній індукційний струм рухом прямого магніту. Показують, що при повільному русі відхилення стрілки незначне, а при швидкому – стрілка відхиляється сильніше. Складають разом однойменними полюсами два магніти і отримують при попередній швидкості їх руху сильніший індукційний струм. Визначають напрям магнітного поля індукційного струму в котушці та порівнюють його із напрямком поля магніту, коли останній вводять і віддаляють від котушки.

Результат такого дослідження приводять для встановлення правила Ленца. Останні два досліді можна взяти за основу для введення формули

$$E = -n \frac{\Delta \Phi}{\Delta t}.$$

4. На магнітній дошці складають електричне коло по схемі наведеній на рис. 16. Котушку-моток підключають до модуля L2, який, в свою чергу, підключають до гальванометра.

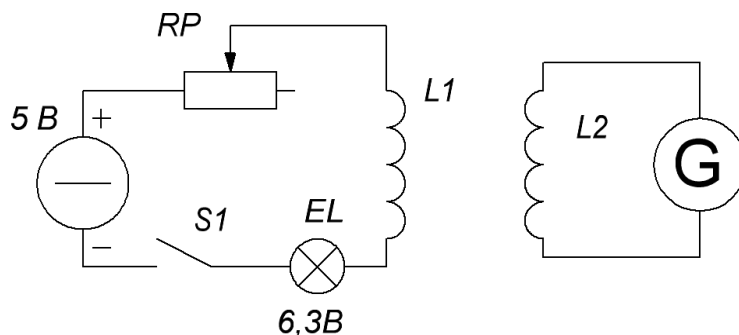


Рис. 16

Опір потенціометра зменшують до мінімального при цьому струм у колі буде максимальний (максимальне світіння лампи). Котушку L2 наближають до котушки L1. Вмикаючи та вимикаючи струм, спостерігають виникнення в L2 короткотривалого слабкого індукційного струму.

Вмикають струм. Повільно та по можливості рівномірно зменшують струм, шляхом збільшення опору потенціометра. Протягом цього часу гальванометр показує наявність більш або менш постійного індукційного струму. Далі аналогічно збільшують струм до максимального і спостерігають індукційний струм протилежного напрямку.

Повторюють дослід збільшуючи швидкість зменшення і збільшення струму.

Повторюють дослід відваливши котушку L2 від L1.

ДОСЛІД № 16

«Явище самоіндукції»

Мета дослід: продемонструвати явище самоіндукції при замиканні та розмиканні кола.

Обладнання: Джерело постійного струму 43008-У, із набору "Електродинаміка": модулі – джерела постійного струму, котушки індуктивності L1, вимикача, неонові лампи, лампи розжарювання 3,5 і 6,3В ; з'єднувальні провідники.

Для демонстрації явища самоіндукції на магнітній дошці збирається електричне коло у відповідності до схеми наведеної на рис. 17. Схема дає можливість демонструвати явище самоіндукції як при замиканні так і при розмиканні кола.

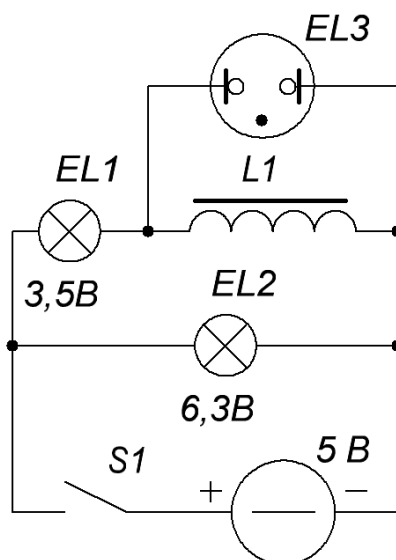


Рис. 17

Коло має дві паралельних вітки із лампами розжарювання. Послідовно із лампою у верхній вітці включена котушка індуктивності, а лампа у нижній вітці включена безпосередньо через вимикач до джерела живлення. Паралельно котушці підключена неонova лампа напруга загорання якої 85 В.

При замиканні вимикача лампи загораються не одночасно: нижня в момент увімкнення, а верхня – з запізненням на 0,5 с. Цим дослідом показують, що при замиканні кола навколо осердя котушки індукується вихрове електричне поле, яке протидіє наростанню струму в котушці. Дослід повторюють декілька разів.

Корисно, показати, що послідовному, один за одним увімкненні і вимкненні струму верхня лампа не загорається, якщо частота вмикання досить велика. На цей дослід можна посилатися при введенні поняття про індуктивний опір.

При розмиканні струму навколо осердя знову індукується вихрове електричне поле, яке підтримує спадаючий струм. Але в момент розмикання основного кола обидві гілки утворюють замкнуте коло, яке заважає різкому припиненню струму в котушці. Тому електрорушійна сила індукції в котушці мала і тому неонova лампа не загорається.

Щоб показати явище самоіндукції при розмиканні кола, необхідно від'єднати від кола нижню лампу EL2. Тепер при розмиканні кола різке припинення струму в котушці індукує настільки сильне вихрове поле, що неонova лампа яскраво спалахує, хоч напруга, необхідна для її загорання, набагато більша, наруги, яка подається від джерела струму, що живить установку.

«Зв'язок між діючим і амплітудним значенням змінного струму»

Мета дослід: продемонструвати, співвідношення між амплітудним і діючим (ефективним) значенням напруги при змінному струмі дорівнює $\sqrt{2}$.

Обладнання: із набору "Електродинаміка": модулі – джерела змінного струму, трансформатора, вимикача, потенціометра, діода, конденсатора 2200 мкФ, вольтметра змінного і постійного струмів; з'єднувальні провідники, блок живлення вимірювальних модулів 43009-У.

На магнітній дошці збирається електричне коло по схемі зображеній на рис. 18.

Під'єднайте вимірювальні модулі до блока живлення 43009-У, увімкніть живлення. Модуль вольтметра постійного струму (на схемі позначений як V_2) підготуйте для вимірювання напруги в діапазоні 10 В (шляхом встановлення перемикача на модулі у відповідне положення).

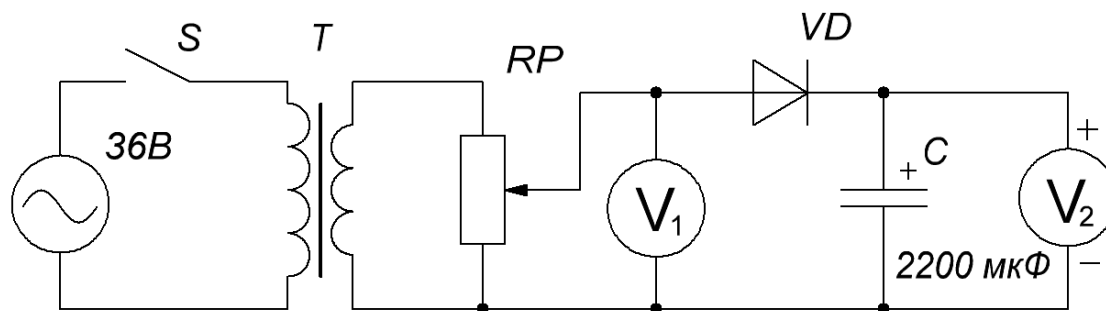


Рис. 18

Дослід ґрунтується на порівнянні діючого значення напруги змінного струму з напругою на конденсаторі, ввімкненому в коло після напівпровідникового діода. Оскільки опір вольтметра V_2 порівняно великий і ємність конденсатора C теж досить велика, то вольтметр V_2 покаже практично амплітудне значення напруги змінного струму, до якого заряджається конденсатор.

Вмикають зібрану установку у мережу змінного струму 36В і замикають вимикач. Ручкою потенціометра встановлюють напругу 1 В (за показами першого вольтметра). Другий вольтметр при цьому показує близько 1,4 В. Записують ці дані на класній дошці і збільшують напругу змінного струму до 2 В. Тоді другий вольтметр покаже напругу близько 2,8 В. Збільшують напругу змінного струму до 5 В. В цьому випадку другий вольтметр покаже напругу близько 7 В. За знайденими даними пропонують учням встановити співвідношення між амплітудним U_0 і діючим U значенням напруги змінного струму: амплітудне значення напруги більше від діючого в $\sqrt{2} \approx 1,4$ рази.

Після розгляду дослідів, таке ж співвідношення виводиться теоретично.

Розповівши учням про фізичний зміст таких понять, як амплітудні та діючі значення напруги й сили струму, вказують на те, що амперметри й вольтметри змінного струму завжди розраховані на вимірювання діючих значень.

«Активний опір в колі змінного струму»

Мета дослід: шляхом експерименту сформуванати у учнів поняття активного опору в колі змінного струму.

а) Введення поняття про активний і реактивний опір

Обладнання: ватметр демонстраційний, із набору "Електродинаміка": модулі – джерела змінного струму, трансформатора, вимикача, вольтметра і амперметра змінного струмів, лампи розжарювання 6,3 В, конденсатора 14 мкФ; з'єднувальні провідники, блок живлення вимірювальних модулів 43009-У.

Вивчаючи закони постійного струму, учні дізналися, що потужність струму можна визначити за силою струму і напругою. Її можна також визначити безпосередньо спеціальним приладом — ватметром. У колах постійного струму потужність, визначена за показами амперметра й вольтметра, дорівнює потужності, яку показує ватметр у тому самому колі. Коли ж досліджувати коло змінного струму, то така рівність спостерігається, не завжди.

Складають електричне коло за схемою наведеною на рис.19, а. Під'єднують вимірювальні модулі до блока живлення 43009-У, вмикають живлення.

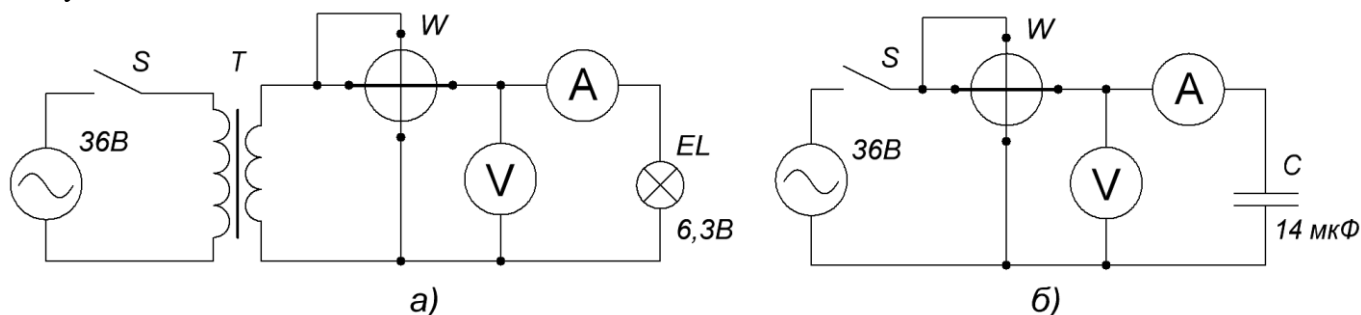


Рис. 19.

Підключають зібране коло до мережі змінного струму 36В. Замкнувши вимикач визначають потужність за показами амперметра і вольтметра і бачать, що вона дорівнює потужності, яку показує ватметр. Хоч тут проходить змінний струм, але результати для потужності дістають такі самі, як і для постійного струму. В досліджуваному колі енергія електричного струму повністю перетворюється в теплову.

Навантаження, в якому вся підведена до кола електрична енергія перетворюється безповоротно в інші види енергії, називається активним; опір такого навантаження також називають активним опором.

Проте в колах змінного струму можна спостерігати й інші явища. Вимикають живлення установки і змінюють електричне коло у відповідності із рис. 19, б. Вмикають живлення, визначають потужність за показами амперметра та вольтметра і порівнюють її з потужністю, яку показує ватметр. У цьому разі ватметр показує, що в досліджуваному колі електрична енергія майже не споживається. В такому електричному колі відбуваються оборотні перетворення енергії: за одну частину періоду змінного струму енергія перетворюється в енергію електричного поля конденсатора, а за другу — ця енергія повертається назад у коло.

Таке навантаження, в якому електрична енергія не перетворюється безповоротно в інші види, називається реактивним. Розрізняють два види реактивних навантажень: індуктивне і ємнісне.

б) Відсутність зсуву фаз між силою струму і напругою в колі з активним навантаженням

Варіант 1

Обладнання: генератор повільних коливань (або функціональний генератор здатний генерувати гармонічні коливання частотою 0,5...1 Гц), демонстраційний вольтметр з додатковим опором на 5 чи 15 в, включеним для вимірювань у колах постійного струму; демонстраційний

амперметр, із набору "Електродинаміка": модулі – вольтметра і амперметра постійного струмів, резистора 470 Ом, потенціометра; з'єднувальні провідники.

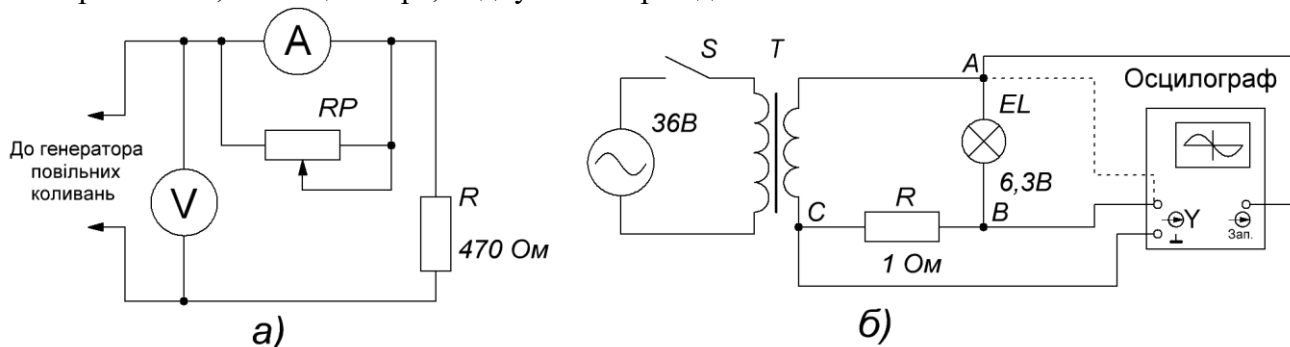


Рис. 20

Складають електричне коло за схемою рис.20,а. Амперметр і вольтметр мають шкали з нульовою, поділкою посередині і вмикаються в коло клемми, розрахованими на вимірювання в колах постійного струму.

Вмикають генератор і звертають увагу учнів на те, що напруга й сила струму в колі з активним навантаженням одночасно досягають максимальних значень і одночасно перетворюються в нуль (стрілки приладів коливаються синхронно). Учні роблять висновок про відсутність зсуву фаз між напругою і силою струму в колі з активним навантаженням. Якщо напруга змінюється за законом $u=U_0 \sin \omega t$ ($u=U_0 \cos \omega t$), то й сила струму змінюється так само: $i=I_0 \sin \omega t$ ($i=I_0 \cos \omega t$).

При демонстрації досліду з повільними коливаннями, за допомогою потенціометра підбирають чутливість амперметра так, щоб стрілки обох вимірювальних приладів коливалися з однаковою амплітудою. Це полегшує спостереження за змінами сили струму й напруги.

Варіант 2

Обладнання: осцилограф, із набору "Електродинаміка": модулі – трансформатора, вимикача, лампи розжарювання 6,3 В, резистора 1 Ом; з'єднувальні провідники.

Складають електричне коло за схемою рис. 20,б. На рисунку показано підключення одно каналного осцилографа. Осцилограф підготовлюють до роботи режимі із зовнішньою синхронізацією та швидкістю розгортки 2 мс на поділку.

Спочатку демонструється форма напруги на лампі розжарювання. Для цього вхід Y осцилографа підключається до точок С і А (рис. 20,б), ручку атенюатора вертикального відхилення осцилографа попередньо встановлюється в положення 2 В на поділку. Якщо картинка «пливе» то відрегулюйте синхронізацію ручкою «Уровень». За допомогою ручок плавного регулювання вхідного атенюатора та швидкості розгортки можна встановити таке зображення синусоїди, щоб вона по вертикалі не виходила за межі екрану, а па горизонталі спостерігалось її два періоди.

Далі демонструється осцилограма напруги на резисторі. При цьому необхідно збільшити чутливість осцилографа до 0,2 В на поділку.

В результаті побачимо, що обидві синусоїди збігаються за фазою.

Якщо в наявності є двоканальний (двопроменевий) осцилограф або електронний комутатор до одноканального осцилографа, то на екрані можна отримати одночасно дві синусоїди, що буде значно зручнішим.

«Котушка індуктивності в колі змінного струму»

Мета дослід: шляхом експерименту сформуванати у учнів поняття індуктивного опору в колі змінного струму.

а) Введення поняття про індуктивний опір

Обладнання: джерело живлення 43008-У, із набору "Електродинаміка": модулі – джерела постійного і змінного струму, перемикача на два напрямки, амперметра постійного і змінного струму, лампи розжарювання 6,3 В, котушки індуктивності L1; з'єднувальні провідники, блок живлення вимірювальних модулів 43009-У.

На магнітній демонстраційній дошці складають електричне коло за схемою наведеною на рис.21. Осердя із котушки виймають. Під'єднують вимірювальні модулі до блока живлення 43009-У, вмикають живлення. Модуль амперметра постійного струму підготовляють для вимірювання сили постійного струму в діапазоні 1 А.

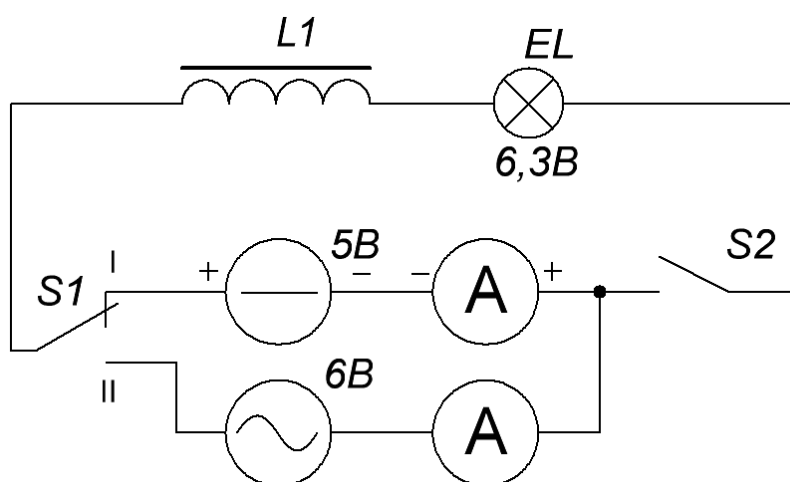


Рис. 21

Встановивши перемикач S1 в положення I та замкнувши вимикач S2, від джерела живлення 43008-У подають до досліджуваного кола постійний струм. Спостерігають за свіченням лампи та показами амперметра, вводять в котушку спочатку одну половину осердя, а потім другу, збільшуючи цим самим індуктивність котушки. Відмічають, що індуктивність котушки на силу постійного струму не впливає.

Встановлюють перемикач S1 в положення II. Тепер на досліджувану котушку індуктивності подається змінний струм. В цьому випадку при введенні першої половини осердя струм в колі зменшується, лампа починає горіти слабше, а при замкненому осерді зовсім не світиться.

Учні роблять висновок, що діюче значення сили струму в колі з індуктивністю менше від сили постійного струму в тому самому колі. Отже, тут виникає додатковий опір, який називають і н д у к т и в н и м .

Слід пояснити причини, які приводять до виникнення індуктивного опору в колах змінного струму. Після цього можна перейти до наступних дослідів.

б) Залежність значення індуктивного опору від індуктивності кола та частоти змінного струму

Обладнання: генератор коливань звукової частоти, із набору "Електродинаміка": модулі – джерела змінного струму, вимикача, амперметра і вольтметра змінного струму, котушки індуктивності L1; з'єднувальні провідники, блок живлення вимірювальних модулів 43009-У.

Схему електричного кола подано на на рис. 22, у відповідності до якого на демонстраційній дошці збирають установку. Під'єднують вимірювальні модулі до блока живлення 43009-У, вмикають живлення.

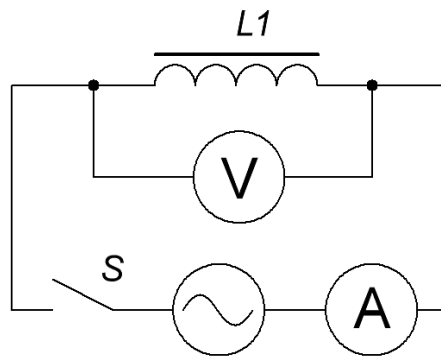


Рис. 22

Вмикають генератор, встановлюють частоту коливань 100 Гц, і мінімальну напругу на виході. Замикають коло вимикачем і плавно збільшуючи напругу встановлюють струм в колі величиною 10 мА. На класній дошці записують покази приладів і пропонують учням розрахувати, використовуючи закон Ома, опір котушки на частоті 100 Гц ($R_L = U/I$).

Щоб показати залежність значення індуктивного опору від частоти змінного струму, вдвічі збільшують і зменшують частоту змінного струму. При цьому спостерігають, що струм в колі, зменшується в два рази при збільшенні частоти, і збільшується в два рази при зменшенні частоти вдвічі і відповідно індуктивний опір котушки збільшується при збільшенні частоти і зменшується при її зменшенні. Отже індуктивний опір прямо пропорційно залежить від частоти змінного струму.

Далі демонструють залежність значення індуктивного опору від індуктивності котушки, що досліджується. Для цього по черзі виймають половини осердя котушки, зменшуючи тим самим її індуктивність, а потім встановлюють на місце. По збільшенню і зменшенню сили струму в колі роблять висновок, що із зменшенням індуктивності індуктивний опір котушки зменшується, а із її збільшенням – збільшується.

Після демонстрування нього досліду можна подати формулу для обчислення індуктивного опору: $R_L = \omega L$.

в) Зсув фаз сили струму і напругою в колі з індуктивним опором

Варіант 1

Обладнання: генератор повільних коливань (або функціональний генератор здатний генерувати гармонічні коливання частотою 0,5...1 Гц), демонстраційний вольтметр з додатковим опором на 5 чи 15 в, включеним для вимірювань у колах постійного струму; демонстраційний амперметр, дросельна котушка на замкнутому осерді універсального розбірного трансформатора, із набору "Електродинаміка": модулі – вольтметра і амперметра постійного струмів, індуктивності L2, потенціометра; з'єднувальні провідники.

Складають електричне коло у відповідності із схемою зображеною на рис. 23, а. Цей дослід аналогічний досліду 18, б, варіант 1. Відмінність лише в тому, що замість резистора на 470 Ом під'єднується модуль індуктивності до якого підключена дросельна котушка на замкнутому осерді універсального розбірного трансформатора.

Вмикають генератор і помічають, що в колі з індуктивністю сила струму за фазою відстає від напруги (сила струму досягає максимальних значень або дорівнює нулю трохи пізніше, ніж напруга). На основі спостережень для миттєвих значень сили струму й напруги записують рівняння:

$$u = U_0 \sin \omega t; [u = U_0 \cos \omega t];$$

$$i = I_0 \sin(\omega t - \varphi); [i = I_0 \cos(\omega t - \varphi)];$$

Звертають увагу учнів на те, що значення зсуву фаз не дорівнює $\pi/2$. Зсув фаз дорівнює чверті періоду лише тоді, коли активний опір кола дорівнює нулю ($R \rightarrow 0$).

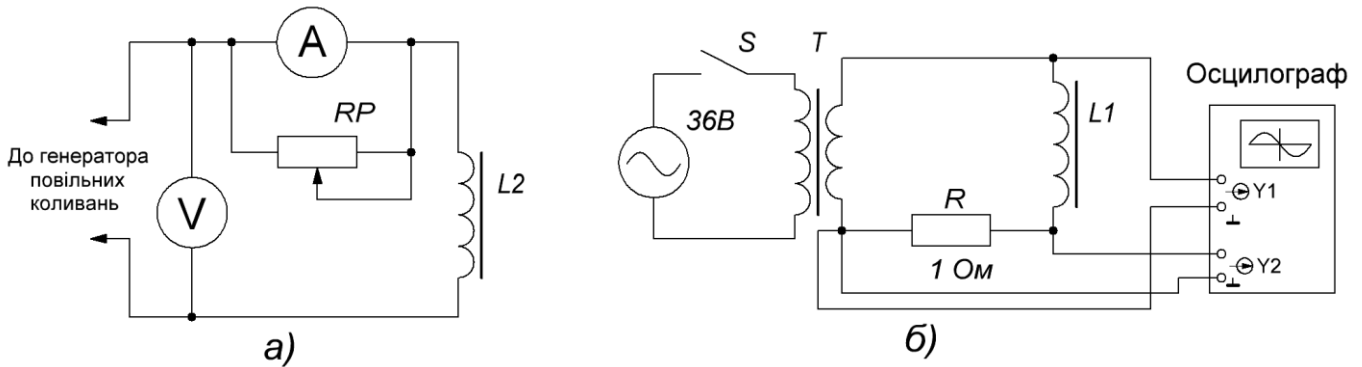


Рис. 23

Варіант 2

Обладнання: осцилограф, із набору "Електродинаміка": модулі – трансформатора, вимикача, котушки індуктивності $L1$, резистора 1 Ом ; з'єднувальні провідники.

Для демонстрації зсуву фаз між силою струму і напругою в колі з індуктивним опором на екрані осцилографа, збирають електричне коло по схемі наведеній на рис. 23, б.

Цей дослід аналогічний досліду 18, б, варіант 2. Тут досліджуваним елементом є модуль з котушкою індуктивності $L1$. Також, відмінністю від схеми досліду 18, б, варіант 2 (рис. 20, б) є те, що на рис. 23,б показано підключення двоканального (або двопробеневого) осцилографа.

Двоканальний осцилограф підготовлюють до роботи в режимі із внутрішньою синхронізацією по першому каналу з швидкістю розгортки 2 мс на поділку. Частота перемикання каналів – 100 кГц (ручка режиму роботи підсилювачів каналів в положенні « . . . »). Вхідний атенюатор каналу $Y1$ – 2 В на поділку, а каналу $Y2$ – $0,2 \text{ В}$ на поділку.

Якщо буде використовуватися одно каналний осцилограф то він підключається аналогічно як і на схемі рис. 20, б.

Подають живлення на досліджуване коло. На екрані осцилографа отримують дві осцилограми. За допомогою ручок плавного регулювання вхідних атенюаторів та швидкості розгортки встановлюють по вертикалі однаковий розмах осцилограм, а по горизонталі – два періоди.

Перша осцилограма є залежністю напруги від часу підведеної до котушки індуктивності, що подається на вхід каналу $Y1$, а друга – напруга на резисторі 1 Ом . Оскільки напруга на резисторі за фазою збігається з силою струму в колі, то можна зробити висновок, що в досліджуваному колі з індуктивністю сила струму за фазою відстає від напруги. Через наявність активного опору в колі зсув фаз не дорівнює $\pi/2$.

Вийнявши частину осердя з котушки, можна зменшити її індуктивність. При цьому одночасно зменшиться і зсув фаз між напругою і силою струму.

Якщо повністю вийняти осердя, то через малий індуктивний опір котушки, зсув фаз в колі стане майже непомітний.

Чим більша індуктивність кола, тим ближчий зсув фаз до $\pi/2$.

«Конденсатор в колі змінного струму»

Мета дослід: шляхом експерименту сформувати у учнів поняття ємнісного опору в колі змінного струму.

а) Введення поняття про ємнісний опір

Варіант 1

Обладнання: із набору "Електродинаміка": модулі – джерела змінного струму, вимикача, лампи розжарювання EL2, конденсатора 14 мкФ, діода; з'єднувальні провідники, лампа розжарювання 26В 0,12А.

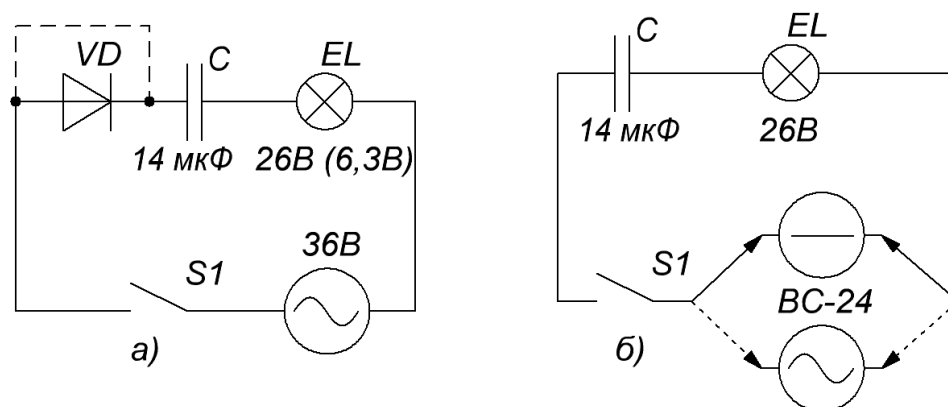


Рис.24

На демонстраційній дошці збирають електричне коло по схемі зображеній на рис. 24,а. В модулі з лампою розжарювання EL2 викручують, встановлену в ньому лампу і замінюють її на лампу 26В 0,12А, яка входить в комплект ЗІП. Діод з схемі необхідний для випрямлення змінного струму. Підключають зібрану установку до мережі змінного струму 36 В. Замикають коло вимикачем при цьому лампа не світиться бо коло фактично розімкнене (обкладки конденсатора розділені діелектриком).

Якщо замкнути діод провідником (як показано на рис. 24,а. штриховою лінією то лапа буде світитися. Отже в колі з конденсатором постійний струм не проходить, а змінний проходить. Причиною існування змінного струму в колі з конденсатором є періодичне перезаряджання його обкладок. Опір конденсатора змінному струмові називають **є м н і с н и м о п о р о м**.

Варіант 2

Обладнання: випрямляч ВС-24 або його модифікації, із набору "Електродинаміка": модулі – джерела постійного і змінного струму, вимикача, лампи розжарювання EL2, конденсатора 14 мкФ; з'єднувальні провідники, лампа розжарювання 26В 0,12А.

Збирають електричне коло у відповідності із схемою рис. 24,б. Даний варіант відрізняється від попереднього відсутністю діода, а для живлення використовується випрямляч ВС-24 або його модифікації. Модулі постійного і змінного струму підключаються до відповідних клем випрямляча. На випрямлячі встановлюється максимальна вихідна напруга.

По черзі ланку із конденсатором лампою і вимикачем під'єднують до модуля постійного та змінного струмів і по світінню лампи в колі змінного струму роблять такий же висновок як і у варіанті 1.

б) Залежність значення ємнісного опору від ємності кола і частоти змінного струму

Обладнання: генератор коливань звукової частоти, із набору "Електродинаміка": модулі – джерела змінного струму, вольтметра змінного струму, міліамперметра, вимикача, конденсатора 4.7/9.2 мкФ, 14 мкФ; з'єднувальні провідники, блок живлення вимірювальних модулів 43009-У.

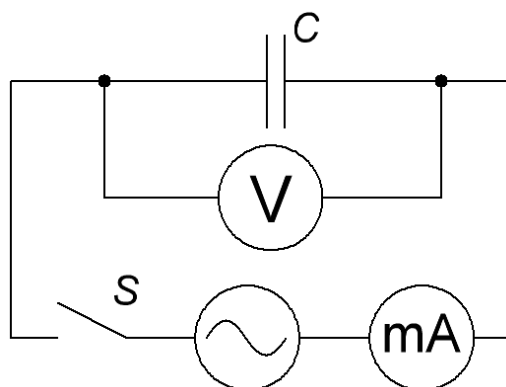


Рис. 25

Схему електричного кола подано на рис. 25. Встановлюють модуль з конденсатором на дві ємності 4,7 і 9,2 мкФ. Під'єднують вимірювальні модулі до блока живлення 43009-У, вмикають живлення. Модуль міліамперметра підготовляють для вимірювання змінного струму. Вмикають генератор, встановлюють частоту коливань 100 Гц, і мінімальну напругу на виході. Замикають коло вимикачем і плавно збільшуючи напругу встановлюють струм в колі величиною 10 мА. На класній дошці записують покази приладів і пропонують учням розрахувати, використовуючи закон Ома, опір котушки на частоті 100 Гц ($R_L = U/I$).

Щоб показати залежність значення ємнісного опору від частоти змінного струму, в два (три, чотири ...) рази збільшують і зменшують частоту змінного струму. При цьому спостерігають, що струм в колі, теж збільшується і зменшується у стільки ж разів, і відповідно і ємнісний опір конденсатора зменшується при збільшенні частоти і збільшується при її зменшенні. Отже ємнісний опір обернено пропорційно залежить від частоти змінного струму.

Далі демонструють залежність значення ємнісного опору від ємності конденсатора, що досліджується.

Для цього, при частоті 100 Гц, перемикачем на модулі з конденсатором збільшують ємність до 9,2 мкФ (тобто майже вдвічі) спостерігають за зміною сили струму. Потім замінюють модуль 4,7/9,2 на модуль з конденсатором 14 мкФ (величина ємності в порівнянні із 4,7 мкФ збільшилась майже в три рази, а якщо вказані модулі з конденсаторами з'єднати паралельно ємність збільшиться в 4/5 разів), та по збільшенню сили струму в колі роблять висновок, що ємнісний опір конденсатора теж обернено пропорційно залежить від його ємності.

Після виконаних дослідів вводять формулу для визначення ємнісного опору: $R_C = \frac{1}{\omega C}$.

в) Зсув фаз сили струму і напруги в колі з ємнісним опором

Варіант 1

Обладнання: генератор повільних коливань (або функціональний генератор здатний генерувати гармонічні коливання частотою 0,5...1 Гц), демонстраційний вольтметр з додатковим опором на 5 чи 15 в, включеним для вимірювань у колах постійного струму; демонстраційний амперметр, із набору "Електродинаміка": модулі – вольтметра і амперметра постійного струмів, конденсатора 4700 мкФ, потенціометра; з'єднувальні провідники.

Складають електричне коло у відповідності із схемою зображеною на рис. 26, а. Цей дослід аналогічний досліді 18, б, варіант 1. Відмінність лише в тому, що замість резистора на 470 Ом під'єднується модуль з конденсатором 4700 мкФ.

Вмикають генератор повільних коливань і спостерігають за змінами напруги й сили струму в колі. На основі спостережень роблять висновок, що сила струму випереджає за фазою напругу в колі з ємністю. Записують рівняння для миттєвих значень сили струму й напруги в колі з ємністю:

$$u = U_0 \sin \omega t; [u = U_0 \cos \omega t];$$

$$i = I_0 \sin(\omega t + \varphi); [i = I_0 \cos(\omega t + \varphi)];$$

Звертають увагу учнів на те, що зсув фаз у досліджуваному колі близький до $\pi/2$, бо активний опір кола незначний. В ідеальному випадку ($R \rightarrow 0$) зсув фаз між силою струму і напругою дорівнює $\pi/2$.

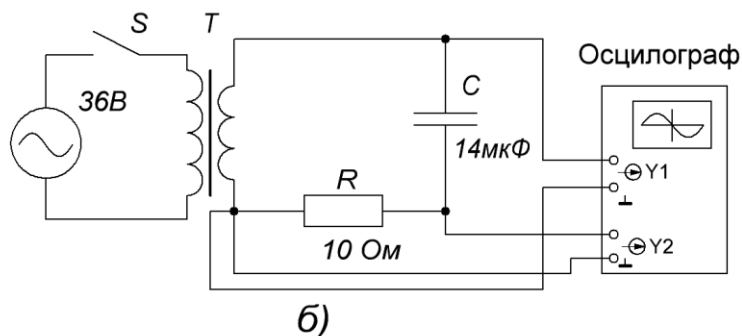
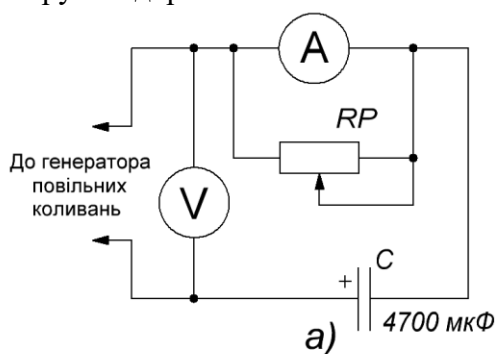


Рис. 26

Варіант 2

Обладнання: осцилограф, із набору "Електродинаміка": модулі – трансформатора, вимикача, конденсатора 14 мкФ, резистора 10 Ом; з'єднувальні провідники.

Для демонстрації зсуву фаз між силою струму і напругою в колі з ємнісним опором на екрані осцилографа, збирають електричне коло по схемі наведеній на рис. 26, б.

Цей дослід аналогічний дослідам 18 і 19, б, варіант 2. Тут досліджуваним елементом є модуль конденсатором 14 мкФ.

Осцилограф підготовлюють до вимірювання як вказано в попередніх дослідах. Подають живлення на установку. На екрані отримують осцилограму підведеної напруги та осцилограму сили струму (осцилограму напруги резисторі 10 Ом). Видно, що в колі з ємністю сила струму випереджає напругу за фазою.

«Послідовне коло змінного струму»

Мета досліду: шляхом експерименту показати, що повний опір в послідовному колі змінного струму з активним індуктивним та ємнісним опором не дорівнює сумі цих опорів.

а) Введення поняття про повний опір кола

Обладнання:

Варіант 1. Із набору "Електродинаміка": модулі – джерела змінного струму, вимикача, лампи розжарювання EL2, конденсатора 14 мкФ, котушки індуктивності L1, трансформатора; з'єднувальні провідники, лампа розжарювання 2,5В 0,068А;

Варіант 2. Блок живлення 43008-У, із набору "Електродинаміка": модулі – джерела змінного струму, вимикача, лампи розжарювання EL2, конденсатора 14 мкФ, котушки індуктивності L2; з'єднувальні провідники, лампа розжарювання 2,5В 0,068А.

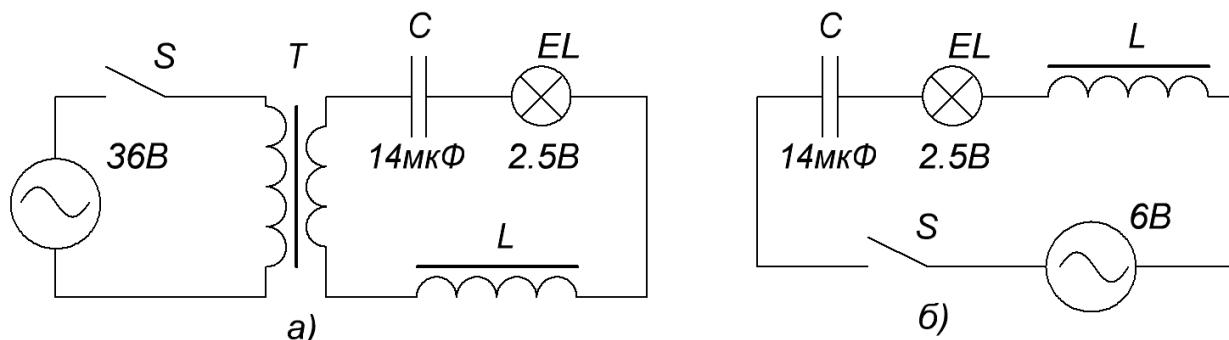


Рис. 27

На демонстраційні дошки встановлюють, вказані вище, модуль з конденсатором, лампою розжарювання та котушкою індуктивності. В модулі з лампою розжарювання викручують, встановлену в ньому лампу і замінюють її на лампу 2,5В 0,068А, яка входить в комплект ЗІП. За допомогою провідників з'єднують модулі послідовно. Живлення на досліджуване коло подається від мережі 36 В через модуль з трансформатором (рис. 27,а), або від блока живлення 43008-У (рис. 27, б).

Вмикають зібрану установку. Лампа світиться, що свідчить що через коло проходить електричний струм. Коли учні вивчали закони постійного струму, вони дізналися про те, що при послідовному з'єднанні провідників їх опори додаються. Аналогічно можна припустити, що і в колі змінного струму спостерігається така сама закономірність. Тут якраз варто показати, що загальний опір кола змінного струму не дорівнює сумі активного, індуктивного та ємнісного опору.

Закорочують модуль з конденсатором, при цьому лампа стала світити значно слабше. Після цього, розімкнувши модуль з конденсатором, закорочують модуль з котушкою та спостерігають, що лампа взагалі згасла. Здавалося б, що сила струму в колі при таких діях повинна збільшитись, а вона, навпаки, зменшується.

Очевидно, що для визначення повного опору кола змінного струму треба шукати закономірності, відмінні від закономірностей, характерних для постійного струму.

б) Зсув фаз сили струму і напруги в колі з активним, індуктивним і ємнісним опором

Обладнання: осцилограф, із набору "Електродинаміка": модулі – джерела змінного струму, резистора 470 Ом, конденсатора 4,7/9,2 мкФ та 14 мкФ, котушки індуктивності L1, трансформатора; з'єднувальні провідники.

Складають електричне коло за схемою рис. 28, модуль із конденсатором С1 14 мкФ поки не під'єднують. На модулі з конденсатором С2 встановлюють ємність 4,7 мкФ.

Двоканальний осцилограф підготовлюють до роботи в режимі із внутрішньою синхронізацією по першому каналу з швидкістю розгортки 2 мс на поділку. Частота перемикачів каналів – 100 кГц (ручка режиму роботи підсилювачів каналів в положенні « . . . »). Вхідний атенюатор каналу Y1 – 2 В на поділку, а каналу Y2 – 1 В на поділку.

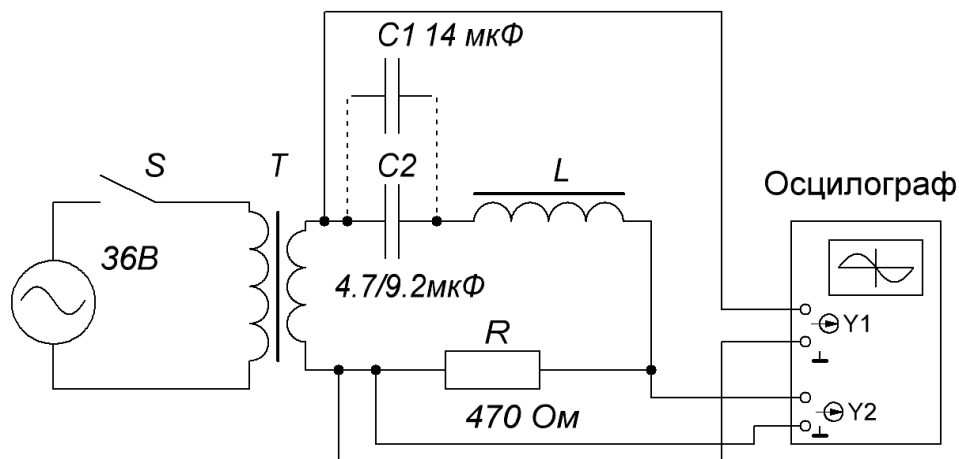


Рис. 28

Подають живлення на установку. Спостерігають на екрані осцилограму підведеної напруги і сили струму в колі. Далі збільшують ємність початку перемикачем на модулі з конденсатором С1 до 9,2 мкФ, потім його замінюють на модуль з конденсатором 14 мкФ, а потім ще і паралельно підключають два модулі.. Стежать, як при цьому змінюється зсув фаз сили струму і напруги. Можна бачити, що при певній ємності струм випереджає напругу за фазою, при іншій – фази збігаються, а ще при іншій – сила струму відстає від напруги за фазою. Очевидно, що фазові співвідношення в колах змінного струму визначаються співвідношенням між активним, ємнісним та індуктивним опорами.

Після цих дослідів спиняються на питанні про повний опір кола змінного струму теоретично. Розглядають закон Ома для кола змінного струму.

«Потужність в колі змінного струму»

Мета дослідю: шляхом експерименту сформуванати у учнів поняття потужності в колі змінного струму.

Обладнання: ватметр демонстраційний, із набору "Електродинаміка": модулі – джерела змінного струму, трансформатора, вимикача, вольтметра і амперметра змінного струмів, лампи розжарювання 6,3 В, конденсатора 14 мкФ; з'єднувальні провідники, блок живлення вимірювальних модулів 43009-У.

Повторюється дослід 18, а, який ставили, вводячи поняття активного і реактивного опору. Важливо ще раз на основі дослідю підкреслити, що в колах змінного струму потужність не можна визначити просто як добуток сили струму і напруги (мається на увазі корисно споживана потужність), як це було в колах постійного струму.

Після дослідю розглядають питання теоретично, але установку не розбирають. У кінці розгляду питання, коли вже введено поняття про коефіцієнт потужності ($\cos\phi$), варто запропонувати учням за показами ватметра, вольтметра і амперметра визначити цей коефіцієнт.

Оскільки коефіцієнт потужності показує ефективність використання електричної енергії в даному колі, слід знати, якими засобами його можна збільшити. Учні самостійно можуть зробити висновок про те, що коефіцієнт потужності збільшується (прямує до 1) тоді, коли зсув фаз між силою струму і напругою наближається до нуля. А це можливо в двох випадках: 1) коли навантаження лише активне і 2) коли індуктивний і ємнісний опори рівні між собою (в колі спостерігається резонанс). Резонансні явища в електричних колах розглянемо нижче.

Щоб учні чітко розрізняли поняття коефіцієнта потужності і поняття коефіцієнта корисної дії, слід послідовно формувати уявлення про те, що коефіцієнт потужності показує частку електричної енергії, яка необоротно в даному колі перетворюється в інші види, наприклад у внутрішню або механічну.

«Резонанс в коливальному контурі»

Мета дослід: шляхом експерименту сформуванати у учнів поняття резонансу напруг і резонансу струмів.

a) Резонанс в послідовному коливальному контурі

Обладнання: низькочастотний генератор, із набору "Електродинаміка": модулі – джерела змінного струму, вольтметра змінного струму, міліамперметра, вимикача, конденсатора 4,7/9,2 та 14 мкФ, котушки індуктивності L1; з'єднувальні провідники, блок живлення вимірювальних модулів 43009-У;

Перед початком демонстрації необхідно попередньо налаштувати установку в резонанс .

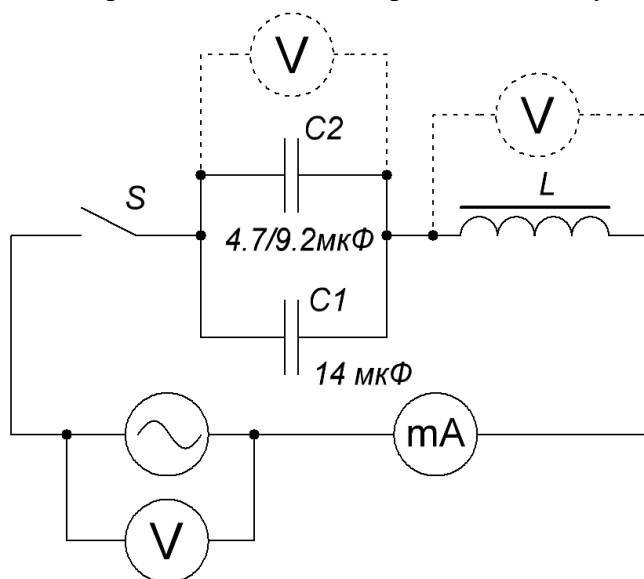


Рис. 29

На демонстраційній дошці збирають електричне коло за схемою рис. 29. Модуль з конденсатором 4,7/9,2 поки не підключають. Вольтметр підключають паралельно джерелу змінного струму.

Під'єднують вимірювальні модулі до блока живлення 43009-У, вмикають живлення. Модуль міліамперметра підготовляють для вимірювання змінного струму.

Вмикають генератор, встановлюють частоту коливань 50 Гц, і мінімальну напругу на виході. Замикають коло вимикачем і плавно збільшуючи напругу встановлюють струм в колі величиною не більше 10 мА. Змінюючи частоту генератора, по максимальному значенню сили струму, досягають резонансу. Розмикають коло та замінюють модуль з конденсатором 14 мкФ, на модуль 4,7/9,2 мкФ та перемикачем встановлюють ємність 4,7 мкФ.

Після цього проводять демонстрацію.

Замикають коло. Збільшують ємність початку перемикачем на модулі з конденсатором до 9,2 мкФ, потім його замінюють на модуль з конденсатором 14 мкФ, а потім ще і паралельно підключають два модулі. Спостерігають, спочатку сила струму в досліджуваному колі зростає, при ємності 14 мкФ досягає максимуму, а при подальшому збільшенні ємності починає спадати. Коли сила струму досягає максимального значення, в колі спостерігається резонанс.

Тепер залишають ємність сталою (підключені обидва модулі з конденсаторами, а ємність C2 встановлюється або 4,7, або 9,2 мкФ) і змінюють індуктивність котушки, повільно витягуючи осердя. Спочатку від зменшення індуктивності сила струму в колі зростає і, досягши при певній індуктивності максимуму, почне зменшуватись. Отже, резонансу в колі можна досягти зміною ємності або індуктивності в ньому.

Слід також показати, що резонанс в колі можна досягти і зміною частоти змінного струму. Для цього модуль з конденсатором $C1$ 14 мкФ від'єднують, а на модулі $C2$, що залишився, встановлюють ємність, або 4,7 або 9,2 мкФ, а осердя назад встановлюють в котушку і плавно змінюють частоту коливань, що їх дає генератор. При певній частоті змінного струму в досліджуваному колі спостерігатиметься резонанс — сила струму досягне максимального значення.

Демонструючи резонанс у послідовному LC колі, важливо також показати учням, що під час резонансу напруги на конденсаторі і на котушці практично рівні між собою. Для цього відмічають значення прикладеної до кола напруги, а потім приєднують вольтметр, спочатку до конденсатора, а після того до котушки (на рис. 29 показано штриховими лініями). Напруга на конденсаторі майже точно дорівнює напрузі на котушці. Крім того, учні бачать, що напруги на котушці і конденсаторі можуть бути значно більшими за підведену.

Учням пояснюють, що напруги на індуктивності та ємності мають протилежні фази, тому вони майже повністю компенсуються. Резонанс в послідовному LC колі називається резонансом напруг.

За допомогою електронного осцилографа можна показати, що під час резонансу зсув фаз напруги і сили струму в колі прямує до нуля (див. дослід 21, б).

б) Резонанс в паралельному коливальному контурі

Обладнання: низькочастотний генератор, із набору "Електродинаміка": модулі – джерела змінного струму, вольтметра змінного струму, міліамперметра, вимикача, конденсатора 4,7/9,2 та 14 мкФ, котушки індуктивності $L1$; з'єднувальні провідники, блок живлення вимірювальних модулів 43009-У

Як і в попередньому варіанті, перед початком демонстрації установку необхідно попередньо налаштувати .

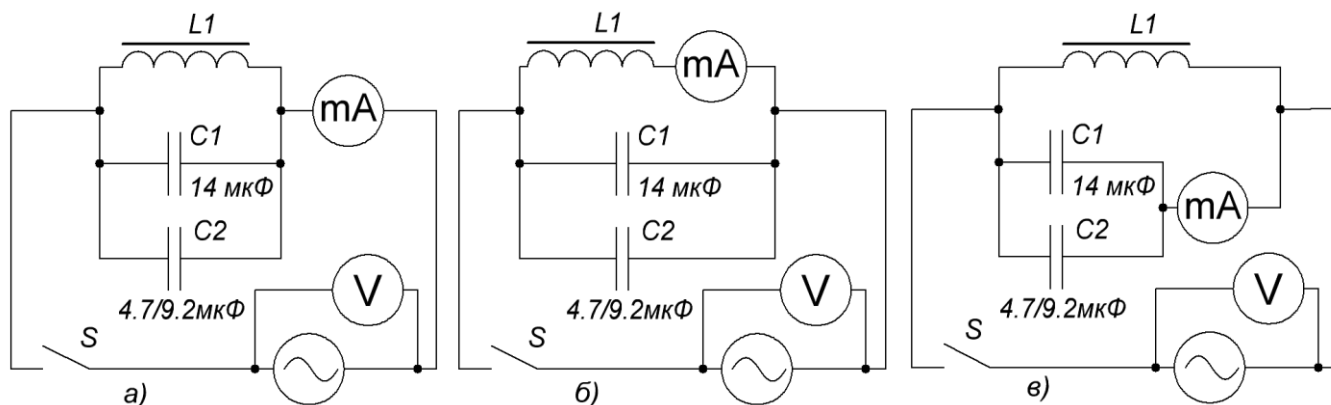


Рис. 30

Збирають електричне коло за схемою рис. 30,а. Модуль з конденсатором 4,7/9,2 поки не підключають.

Під'єднують вимірювальні модулі до блока живлення 43009-У, вмикають живлення. Модуль міліамперметра підготовляють для вимірювання змінного струму.

Вмикають генератор, встановлюють частоту коливань 50 Гц, і мінімальну напругу на виході. Замикають коло вимикачем і плавно збільшуючи напругу встановлюють струм в колі величиною не більше 50 мА. Змінюючи частоту генератора, по мінімальному значенню сили струму, досягають резонансу. Розмикають коло та замінюють модуль з конденсатором 14 мкФ, на модуль 4,7/9,2 мкФ та перемикачем встановлюють ємність 4,7 мкФ.

Після цього проводять демонстрацію.

Замикають коло. Аналогічно, як у варіанті а, збільшують ємність та спостерігають, що із її збільшенням, струм у нерозгалуженій частині кола, спочатку зменшується. При певному значенні

ємності струм досягає мінімального значення. При подальшому збільшенні ємності струм починає знову збільшуватись, а лампа згасає.

Далі, аналогічно, як і послідовному LC- колі, показують, що резонансу можна досягти також і зміною індуктивності котушки та частоти генератора.

Також, необхідно показати, що під час резонансу в паралельному LC- колі сили струму у вітках рівні, та можуть значно перевищувати силу струму в нерозгалуженій частині кола. Для цього міліамперметр включають у відповідні вітки кола (рис. 30,б,в).

Резонанс у паралельному LC- колі називається **резонансом струмів**.

Після проведення досліду треба докладно пояснити суть явищ. Для аналогії можна скористатись розглядом механічних коливань.

«Принцип дії трансформатора»

Мета дослідю: шляхом експерименту продемонструвати будову та принцип роботи однофазного трансформатора.

а) Трансформація струму при змінному опорі в первинному колі.

Обладнання: демонстраційний вольтметр з додатковим опором на 5 чи 15 в, включеним для вимірювань у колах постійного струму, джерело живлення 43008-У, із набору "Електродинаміка": модулі – джерела постійного струму, вимикача двопозиційного, вольтметра постійного струму, лампи розжарювання 6,3В 0,3А, реостата 0-6 Ом, трансформатора; з'єднувальні провідники.

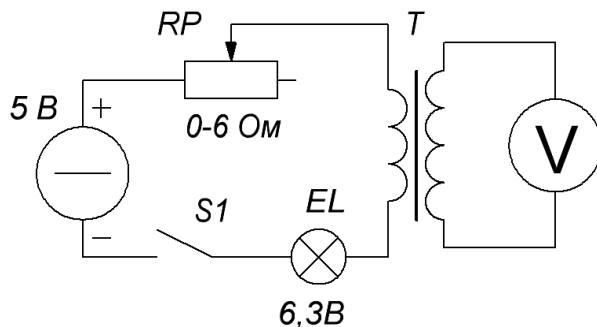


Рис. 31

Для цієї частини дослідю на демонстраційній дошці збирають електричне коло по схемі наведеній на рис. 31. В первинне коло вмикають 6-ти вольтову обмотку трансформатора, демонстраційний вольтметр підключають через відповідний модуль до 36-ти вольтової обмотки модуля з трансформатором. Повзунок реостата встановлюють в середнє положення.

Вмикають джерело живлення та замикають коло. Переміщенням повзунка реостата, змінюють силу струму в первинному колі, а отже, і напруженість магнітного поля котушки. Змінне по величині поле первинної обмотки спричинить індукційний струм у вторинній обмотці. Підключений в коло вторинної обмотки вольтметр із нулем посередині шкали показує зміну електрорушійної сили індукційного струму. Періодичне зміщення повзунка реостата вправо і вліво від середнього положення спричиняє змінний індукційний струм у вторинній обмотці трансформатора тієї ж частоти. Повторюють дослід при різних швидкості руху повзунка.

б) Знижувальний та підвищувальний трансформатори

Обладнання: джерело живлення 43008-У, із набору "Електродинаміка": модулі – джерела змінного струму, вимикача двопозиційного, вольтметра змінного струму, трансформатора; з'єднувальні провідники, блок живлення вимірювальних модулів 43009-У.

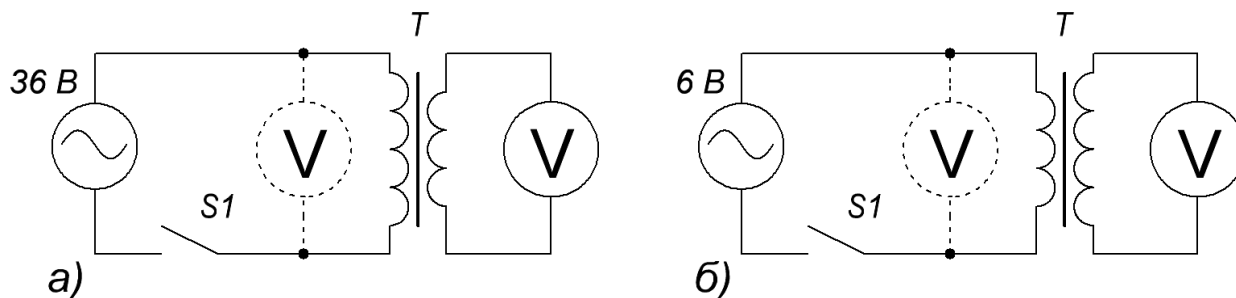


Рис. 32

Розглядаючи роботу трансформатора, важливо показати, що один і той же трансформатор можна використовувати як знижувальний так і підвищувальний.

Якщо на обмотку із більшою кількістю витків подати змінну напругу то на обмотці із меншою кількістю отримаємо нижчу напругу.

Для цього на демонстраційній дошці потрібно зібрати електричне коло, у відповідності до рис. 32, а. Модуль вольтметра змінного струму підключить до блока живлення 43009-У, та вмикається. 36-вольтова обмотка трансформатора відповідно підключається до мережі 36 В. Вимірювальний прилад спочатку підключають до первинної обмотки, демонструють напругу на ній і після чого підключають до вторинної і показують що вольтметр показує значно нижчу напругу близько 6 В.

Тепер, якщо на обмотку з меншою кількістю витків подати змінну напругу 6 В від джерела живлення 43008-У то трансформатор перетворюється на підвищувальний. Тепер на вторинній обмотці, яка має більшу кількість витків отримаємо напругу 36 В.

в) Робота трансформатора при холостому ході і під навантаженням

Обладнання: із набору "Електродинаміка": модулі – джерела змінного струму, вимикача двопозиційного, вольтметра і амперметра змінного струму, трансформатора, резистора 10, 5, 3 та 2 Ом ; з'єднувальні провідники.

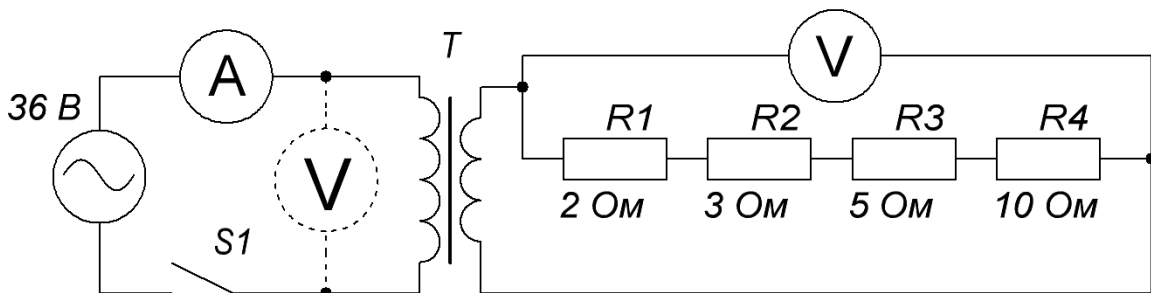


Рис. 33

На демонстраційній дошці складають електричне коло у відповідності до схеми рис. 33.

Спочатку спостерігають холостий хід трансформатора – тоді коли коло вторинної обмотки розімкнене.

Під'єднують вимірювальні модулі до блока живлення 43009-У, вмикають живлення.

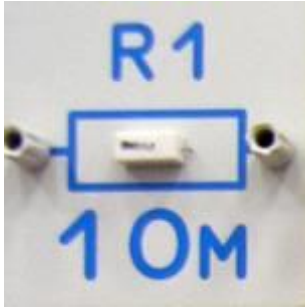
Вольтметр підключають до первинної обмотки замикають коло вимикачем. При цьому сила струму в первинній обмотці невелика а напруга на ній дорівнює напрузі мережі живлення, тобто близько 36 В. Далі вольтметр від'єднують та підключають його до вторинної обмотки трансформатора. При цьому прилад покаже напругу близько 6 В. У відповідності до рис. 20 у вторинне коло підключають навантаження із чотирьох послідовно з'єднаних резисторів, сумарний опір навантаження 20 Ом. Звертають увагу учнів на те, що при підключенні навантаження напруга на клеммах вторинної обмотки дещо зменшилась, а струм у первинній обмотці зріс. Пропонують учням за законом Ома розрахувати струм у вторинній обмотці, знаючи опір навантаження та напругу на ньому. Замкнувши провідником послідовно з'єднані резистори 2 і 3 Ом, зменшують опір навантаження до 15 Ом. При цьому струм у первинній обмотці зростає, а напруга у вторинній – знову зменшилась. Зменшивши опір навантаження, шляхом заколючування трьох резисторів 2 3 та 5 Ом, до 10 Ом спостерігають подальше зменшення напруги у вторинній обмотці та збільшення струму в первинній. Таким чином учні впевнюються, що споживання енергії первинною обмоткою трансформатора визначається віддачею енергії у вторинне коло.

ЛІТЕРАТУРА

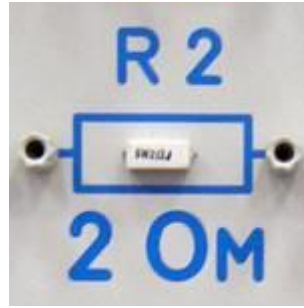
1. Прокопенко. М. М. Опис лабораторних занять із набірним полем «Школяр». Житомир 2007. - 80 с.
2. Перечни учебной техники и наглядных средств обучения для общеобразовательной школы: Сб. перечней по образовательным областям и предметным дисциплинам / М. Издательство «Педагогика», 2011, – 418 с.
3. Фізика, 8 кл.: Підручник для серед. загальноосвіт. шк. / Є. В. Коршак, О. І. Ляшенко, В. Ф. Савченко. – К.: Ірпінь: ВТФ "Перун", 2000. – 192 с.
4. Фізика, 10 кл.: Підручник для середньої загальноосвітньої школи / Є. В. Коршак, О. І. Ляшенко, В. Ф. Савченко. – К.: Ірпінь: ВТФ "Перун", 2003. – 296 с.
5. Гончаренко С. У. Фізика: Пробн. навч. посібник для. ліцеїв та класів природничо-наукового профілю. 10 клас.– К.: Освіта, 1995. – 430 с.
6. Перышкин, Л. В. Физика. 8 кл. : учеб. для общеобразоват. учреждений / А. В. Перышкин. — 13-е изд., стереотип. — М. : Дрофа, 2010. — 191, [1]с. : ил.
7. Касьянов В. А. Физика. 11 кл.: Учебн. для общеобразоват. учреждений. — 4-е изд., стереотип. — М.: Дрофа, 2004. — 416 с: ил., 8 л. цв. вкл.
8. Демонстрационный эксперимент по физике в средней школе. Ч. 1. Механика, молекулярная физика, основы электродинамики. Под ред. А. А. Покровского. Изд. 3-е, перераб. М., «Просвещение», 1978. –351с.
9. Демонстрационный эксперимент по физике в средней школе. Ч. 2. Колебания и волны, оптика, физика атома. Под ред. А. А. Покровского. Изд. 3-е, перераб. М., «Просвещение», 1979. –287с.
10. Шахмаев Н. М. и др. Физический эксперимент в средней школе: Колебания и волны. Квантовая физика / Н. М. Шахмаев, Н. И. Павлов, В. И. Тышук.— М.: Просвещение, 1991.— 223 с.
11. Коршак Е. В. Напівпровідники в демонстраційному фізичному експерименті. – К.: «Радянська школа», 1967. – 127 с.
12. Коршак Е. В. Коливання і хвилі. – К.: Радянська школа, 1974. – 120 с.
13. Цілінко М. Г. Саморобні електронні прилади в навчальному експерименті: Посібник для вчителя – К.: Радянська школа, 1990. – 141 с.
14. Хорошавин С. А. Техника и технология демонстрационного эксперимента.– М.: Просвещение, 1978. – 174 с.
15. Горев. Л. А. Занимательные опыты по физике в 6-7 классах средней школы. Кн. Для учителя.– М. : Просвещение, 1985. – 175 с.
16. Шпрокхоф. Г. Эксперимент по курсу элементарной физики. Часть 5. Электричество.– М. : Просвещение, 1967. – 344 с.

ДОДАТОК

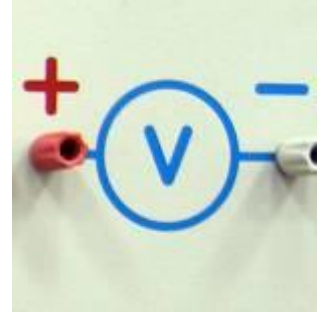
Перелік модулів за функціональним призначенням демонстраційного набору «Електродинаміка»



Модуль з резистором R1
Номінал: 1 Ом



Модуль з резистором R2
Номінал: 2 Ом



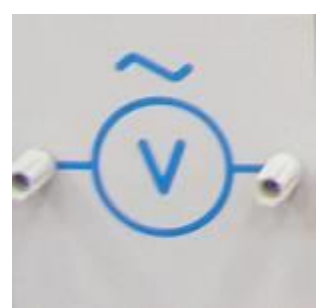
Модуль підключення вольтметра постійного струму



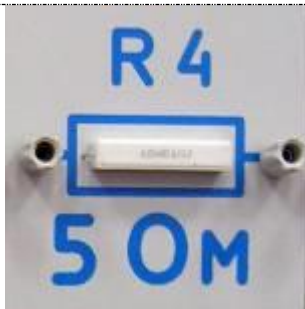
Модуль з резистором R3
Номінал: 3 Ом



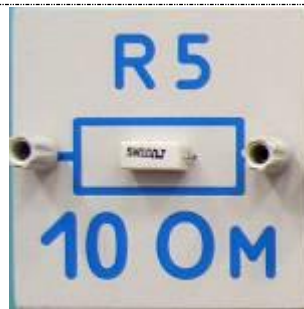
Модуль підключення котушки індуктивності L2



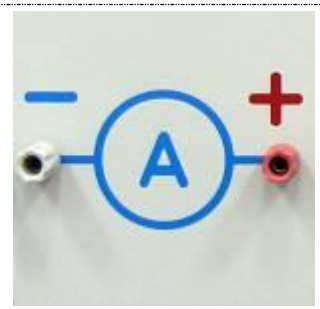
Модуль підключення вольтметра змінного струму



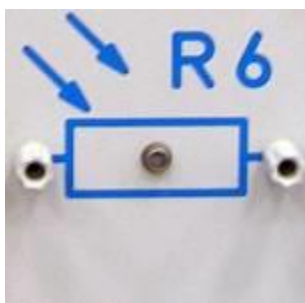
Модуль з резистором R4
Номінал: 5 Ом



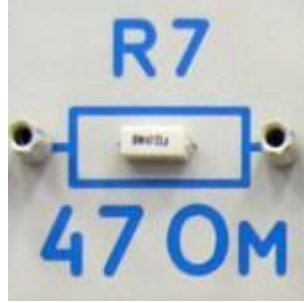
Модуль з резистором R5
Номінал: 10 Ом



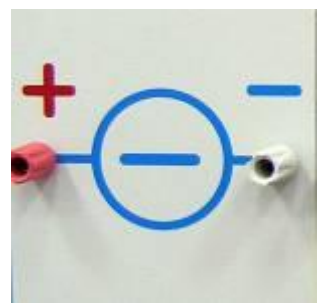
Модуль підключення амперметра постійного струму



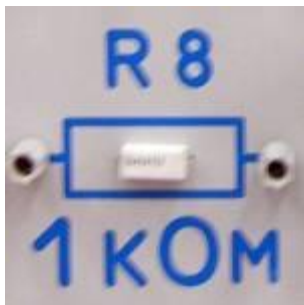
Модуль з фоторезистором R6



Модуль з резистором R7
Номінал: 47 Ом



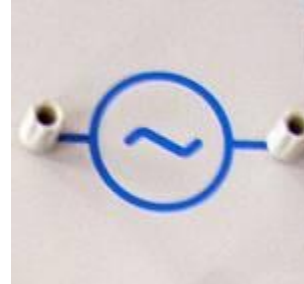
Модуль підключення джерела постійного струму



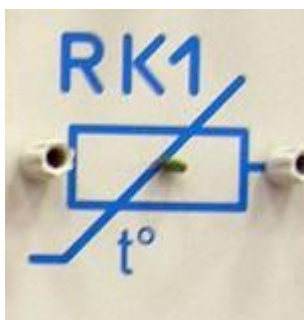
Модуль з резистором R8
Номинал: 1 кОм



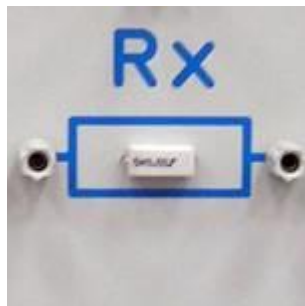
Модуль з резистором R9
Номинал: 470 Ом



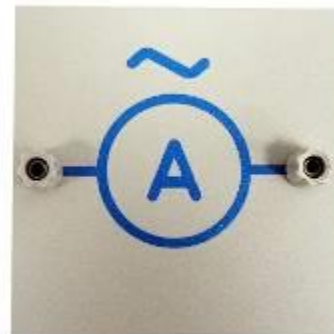
Модуль підключення
джерела змінного струму



Модуль з терморезистором RK1
Номинал: 470 Ом



Модуль з резистором Rx
Номинал: 8 Ом



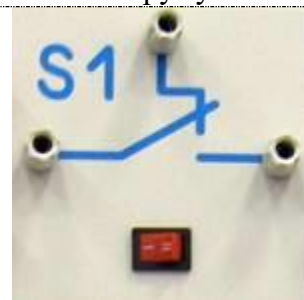
Модуль підключення
амперметра змінного
струму



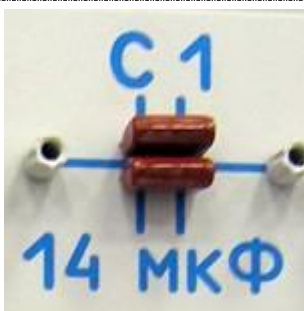
Модуль з реостатом
Номинал: 0-6 Ом



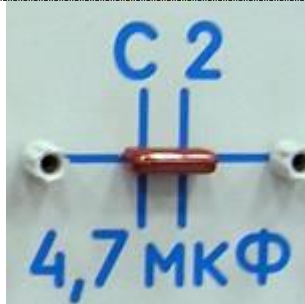
Модуль з потенціометром RP1
Номинал: 1 кОм



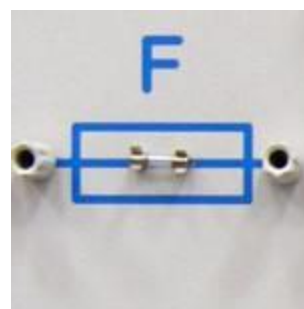
Модуль з вимикачем
двопозиційним S1



Модуль з конденсатором C1
Номинал: 14 мкФ



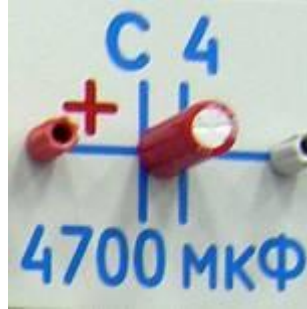
Модуль з конденсатором C2
Номинал: 4,7 мкФ



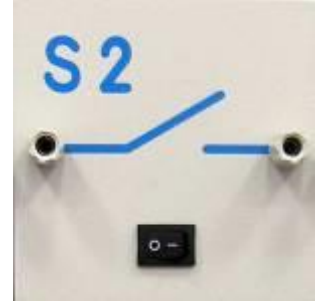
Модуль з запобіжником



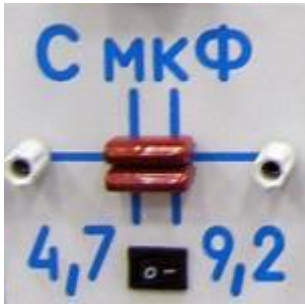
Модуль з конденсатором С3
Номинал: 2200 мкФ



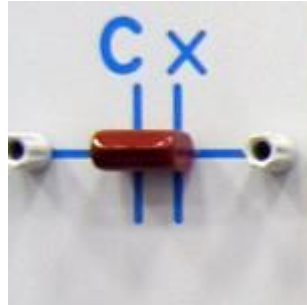
Модуль з конденсатором С4
Номинал: 4700 мкФ



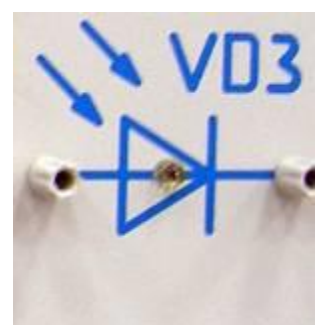
Модуль з перемикачем на
два напрями S2



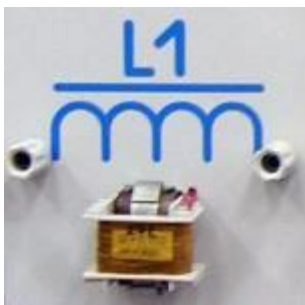
Модуль з конденсатором С5
Номинал: 4,7/9,2 мкФ



Модуль з конденсатором Сx
Номинал: 6,8 мкФ



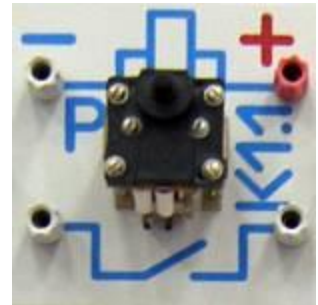
Модуль з фотодиодом VD3



Модуль з катушкою
індуктивності L1
Номинал: 0,22 Гн



Модуль з трансформатором TP1
Номинал: 36/6 В



Модуль з реле K1



Модуль з лампою розжарювання
Номинал: 3,5В; 0,26А



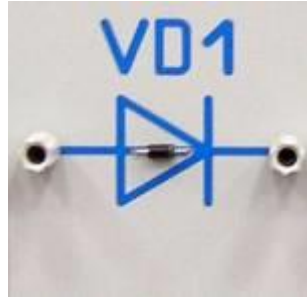
Модуль з лампою розжарювання
Номинал: 6,3В; 0,3А



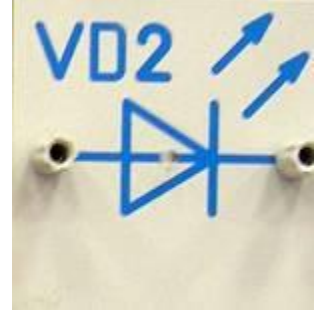
Модуль з транзистором VT1
Номинал: p-n-p, Ge



Модуль з неонову лампою



Модуль з діодом VD1,
діод – кремнієвий (Si)



Модуль з світлодіодом VD2



Модуль з набором провідників



Модуль з електровакуумною лампою