

КОМПЮТЕРНА ПІДТРИМКА ДЕМОНСТРАЦІЙНОГО ЕКСПЕРИМЕНТУ З ДОСЛІДЖЕННЯ ВЛАСТИВОСТЕЙ ЕЛЕКТРИЧНИХ КІЛ

Литвинов Ю.В.,

доцент кафедри фізики,

Харківський Національний педагогічний Університет ім. Г.С. Сковороди

Вивчення властивостей електричних кіл та явищ, пов'язаних з протіканням електричного струму ускладнюється через відсутність зорової інформації про об'єкти дослідження. Автоматизація вимірювань та обробки результатів експерименту дає викладачеві можливість посилити доказову базу під час викладення нового матеріалу за рахунок демонстрації результатів натурного експерименту у графічному вигляді.

Изучение свойств электрических цепей и явлений, связанных с протеканием электрического тока осложняется из-за отсутствия зрительной информации об объектах исследования. Автоматизация измерений и обработки результатов эксперимента дает преподавателю возможность усилить доказательную базу во время изложения нового материала за счет демонстрации результатов натурного эксперимента в графическом виде.

Studying the properties of electric circuits and phenomena associated with the electric current is complicated by the lack of visual information about objects of study. Automation of measurements and processing the results of the experiment gives the teacher an opportunity to strengthen the evidence base at the time of presentation of new material by demonstrating the results of field experiment in graphical form.

Електрика – важливий розділ фізики. Демонстрації з електрики, що призводять до перетворень електричної енергії на тепло, випромінювання, механічні рухи описані багатьма авторами і добре розроблені. Однак, окремі теми є більш складними для розуміння. На відміну від механіки, де поняття маси, сили, швидкості та ін., мають предметний характер, основні поняття електрики не формуються за рахунок безпосереднього сприйняття органами чуття людини. Нестационарні процеси, що відбуваються в електричних колах, невидимі, а зв'язки між параметрами не є очевидними. Незважаючи на досконалість та простоту теоретичного матеріалу, студенти і учні невпевнено пояснюють сутність процесів що відбуваються в реальних електричних колах.

Методичним розробкам з постановки та проведення навчальних експериментів з електрики присвячено велику кількість наукових робіт. Класичні демонстрації процесів в електричних колах здійснюються з допомогою застарілих засобів вимірювання та відображення результатів. Обчислення даних та побудова графіків вимагає великих витрат часу, тому і не відповідають вимогам сучасної освіти. Відсутність зорового сприйняття досліджуваних явищ (заряд, електричний струм, магнітне поле тощо) компенсують з допомогою інтерактивних моделей [1]. Інтерактивні моделі доповнюють теоретичний матеріал і можуть входити до складу електронних підручників [2] та електронних бібліотек, доступних на освітніх сайтах [3]. Однак, пояснення навчального матеріалу з використанням моделей, без проведення натурного експерименту не виглядає переконливим. Знання, отримані у такий спосіб носять формальний характер. Автоматизація процесів вимірювання та обробки результатів експерименту дає можливість компенсувати цей недолік за рахунок



вимірювання кількісних характеристик досліджуваних процесів та їх подання у вигляді графіків [4].

Мета роботи - розробити і навести приклади демонстрацій, що пояснюють перехідні процеси у лінійних електричних колах.

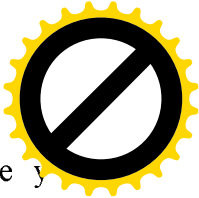
Загальні зауваження: Всі досліди проводились з використанням комп'ютерного вимірювального комплексу «Навчальна лабораторія «ІТМ». Його основою є комп'ютер, електронний блок та програмне забезпечення. Тому, при переліку приладів та матеріалів, необхідних для постановки і проведення демонстрацій ми не будемо вказувати ці постійні складові. Слід пам'ятати, що параметри компонентів електричних схем, що використовують для складання електричних схем можуть значно відрізнятись від вказаних на корпусі. У демонстраціях не обов'язково використовувати компоненти високого класу точності, а лише потрібно виміряти їх параметри перед проведенням досліду. Точність вимірювання та якість графіків будуть кращими, якщо використовувати весь діапазон вимірювання датчиків, що досягається шляхом підбору компонентів електричного кола, напругою джерела сигналу та самого датчика. Порівняння даних обчислення за формулами та отриманих за результатами вимірювання, є опорою в доказовій базі викладення матеріалу. Чим більше співпадатимуть результати вимірювань та обчислень за формулами, тим переконливіше виглядатиме демонстрація. До того ж, під час демонстрації доводиться нехтувати похибками, щоб не відволікати увагу від основної мети. Тому, всі похибки при проведенні експерименту необхідно звести до мінімуму. У роботі не розглядалося питання налагоджень вимірювального комплексу, оскільки докладну інформацію з цього приводу можна знайти у інструкції з експлуатації. Способи використання даних вимірювання показано на прикладі першої демонстрації.

Демонстрація процесів заряду – розряду конденсатора.

Демонстрацію проводять для з'ясування характеру зв'язку між струмом у колі заряду та напругою на конденсаторі. Безпосередньо, за результатами досліду можна спостерігати графіки залежностей струму і напруги у часі в процесі заряду – розряду конденсатора та визначити їх кількісні характеристики. Наявність даних вимірювань полегшує перехід до аналітичної форми опису вказаних процесів.

Обладнання: датчик «вольтметр» 0 ± 12 В; датчик «амперметр» 0 ± 100 мА (або 0 ± 10 мА); конденсатор 10-1000 мкФ, або демонстраційна батарея конденсаторів 0-60,5 мкФ; магазин опорів 0,01 Ом-100 кОм або резистори на панелях; джерело живлення постійного струму регульоване. 0-12 В.; дроти з клемми; Ємність конденсатора у нашому випадку дорівнювала $C = 1050$ мкФ, опір резистора $R = 675$ Ом. Період вимірювання встановлено 200 мкс.

Проведення експерименту. Зберемо установку за схемою, показаною на рис. 1. У вихідному стані ключ К знаходиться у положенні 1. Після переведення ключа у положення 2, у колі потече електричний струм. Оскільки у початковий момент часу конденсатор повністю розряджений ($U_c = 0$), то у колі потече максимальний струм, величина якого визначається величинами ЕРС-Е та опору резистора R : $I = (E - U_c) / R$ Із збільшенням напруги на конденсаторі, струм зменшуватиметься. Коли напруга на конденсаторі зрівняється з ЕРС



джерела, струм зменшиться до 0. Переведемо ключ у положення 1. Струм потече у зворотному напрямку, а напруга на конденсаторі зменшуватиметься до повного розряду конденсатора. Графіки залежностей струму та напруги від часу в процесі заряду-розряду конденсатора показано на рисунку 1

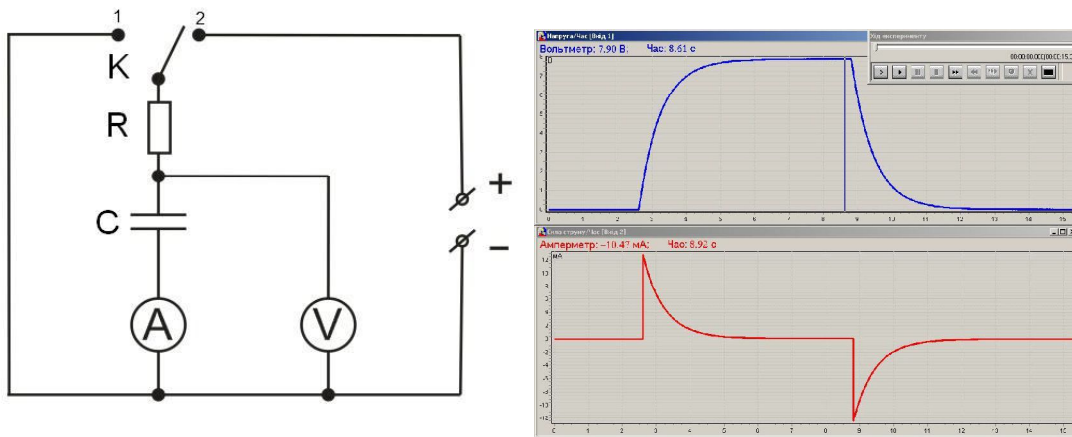


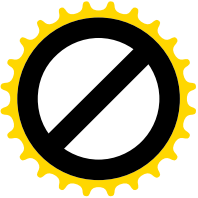
Рис. 1. Електрична схема установки для дослідження процесів заряду-розряду конденсатора та результати вимірювань.

Струм у колі заряду – розряду конденсатора. Порівняємо значення струму, обчислені за формулами з результатами вимірювань. Максимальний струм на початку процесу заряджання визначається як $I_{max} = \frac{\mathcal{E} - U_c}{R} = \frac{8,61 \text{ В}}{675 \text{ Ом}} = 0,01276 \text{ А}$. (Напруга на конденсаторі в момент замикання кола $U = 0$). Сила струму за даними вимірювань (рисунок 1) також становила 12,76 мА.

Величина заряду конденсатора. Обчислимо максимальний заряд, що накопичується конденсатором. Оскільки, за визначенням, ємність $C = Q/U_c$, запишемо: $Q = CU_c$. За даними вимірювань, напруга зарядженого конденсатора дорівнює ЕРС джерела живлення - $U_c = 8,61 \text{ В}$. Значення заряду становитиме: $Q = 8,61 \text{ В} \times 1,050 \times 10^{-3} \text{ Ф} = 0,00904 \text{ Кл}$.

Визначимо величину заряду конденсатора за результатами вимірювань. Виділимо на графіку ділянку, що відповідає процесу зарядки конденсатора. За визначенням, сила струму, це швидкість перетікання заряду через переріз провідника. $I = Q / t$. Звідси $Q = It$. Однак, сила струму у нашому випадку не є сталою величиною. Розглянемо ділянку графіку (рис. 2). Очевидно, що заряд Q конденсатора дорівнюватиме площі фігури, обмеженої кривою заряду та відрізками паралельними осям часу та струму. Експортуємо дані в електронні таблиці Excel. Оскільки період вимірювання дорівнює 200 мкс, можна вважати, що струм за цей проміжок часу змінюється на незначну величину. Площа фігури складатиметься з площі прямокутників, що визначаються періодом вимірювання (вісь X) та середнім значенням сили струму (вісь Y) під час кожного акту вимірювання. На практиці, процедуру обчислення можна спростити. Отримайте суму всіх значень струму та помножьте її на період вимірювання. У нашому випадку значення величини заряду становить 0,00909 Кл, що практично збігається з результатами обчислень.

Порівняємо сталу часу RC кола за даними вимірювань та обчислень.



За визначенням, стала часу RC кола, це проміжок часу, необхідний для зменшення струму з максимального значення до $I = \frac{I_{\max}}{e} = \frac{12,76}{2,72} = 4,69$ мА. На графіку знаходимо точки на осі часу, що відповідають значенням струму 12,76 мА та 4,69 мА. На осі X, цим точкам відповідають значення 2,61 та 3,32 с., звідси $\tau = 0,71$ с.

Обчислимо значення τ : $\tau = RC = 675 \text{ Ом} \times 1050 \times 10^{-6} \text{ Ф} = 0,70875 \text{ с}$.

Енергія конденсатора. За визначенням, енергія конденсатора $W = \frac{CU_c^2}{2}$. Підставимо значення ємності конденсатора та напруги на ньому і отримаємо: $W = 0,0389$ Дж. Визначимо енергію, підставляючи знайдене за даними експерименту значення заряду: $W = \frac{QU_c}{2} = 0,0391$ Дж. Обидва способи знаходження енергії конденсатора дають схожий результат.

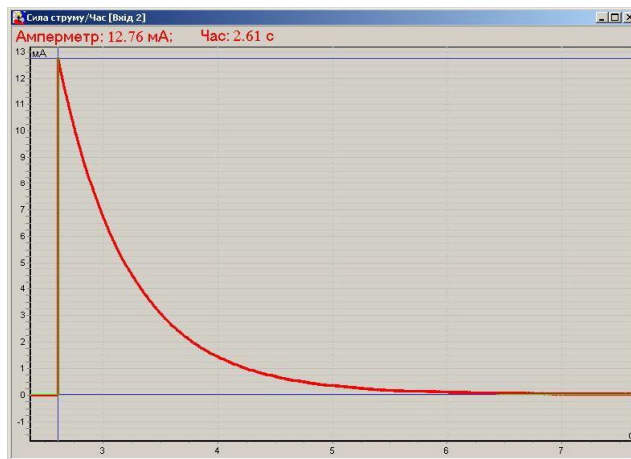


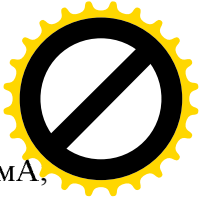
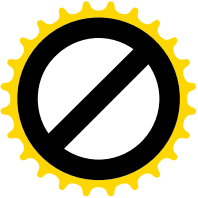
Рис. 2. Графік струму у колі заряду конденсатора.

Завдання: Змінюйте ступінчато величину опору в колі, кожного разу проводячи вимірювання. Як буде змінюватися форма кривої заряду конденсатора при збільшенні (зменшенні) опору? Повторіть завдання змінюючи ємність конденсатора. Проведіть дослід, змінюючи напругу джерела струму. Чи залежить ємність конденсатора від параметрів кола, в яке його підключено? Чи витрачається енергія при протіканні струму через резистор? Як обчислити цю енергію?

Рекомендації: Для збереження масштабу графіків, встановіть режим вимірювання за амплітудою вимірюваного сигналу та обмежте час вимірювання (5-10) с. Ключ переводьте в положення 1 (розряд) тільки після зупинки процесу вимірювання. При таких налагодженнях процес вимірювання починатиметься під час замикання кола заряду, а зупинятиметься по закінченню встановленого часу.

Конденсатор у колі змінного струму.

Демонстрацію проводять для з'ясування характеру зв'язку між струмом у колі та напругою на конденсаторі при протіканні змінного струму.



Обладнання: датчик «вольтметр» 0 ± 12 В; датчик «амперметр» 0 ± 10 мА; демонстраційна батарея конденсаторів $0-60,5$ мкФ; магазин опорів $0,01 \text{ Ом}-100$ або резистори на панелях; генератор сигналів ГЦ 3.1 або аналогічний з можливістю автоматичної зміни частоти у межах $0 - 1$ мГц; дроти з клемми. Період вимірювання встановіть 200 мкс; час вимірювання - 1 с.

Зберіть електричне коло за схемою, як показано на рисунку 3. Встановіть частоту генератора 50 Гц. Амплітуду сигналу оберіть такою, щоб струм і напруга не були максимальними. Проведіть вимірювання. Виділіть на графіку одне повне коливання напруги (графік струму змініть масштаб автоматично), як показано на рис. 3. Зверніть увагу на зсув фаз між струмом у колі та напругою на конденсаторі.

Завдання: Проведіть вимірювання, плавно змінюючи частоту коливань генератора. Як зміняться величини струму та напруги у колі? Проаналізуйте результати вимірювання, зіставте з результатами попереднього досліду. Проведіть серії з декількох вимірювань, змінюючи дискретно частоту, амплітуду сигналу та величини ємності і опору. Як змінюються величини струму в колі і напруги на конденсаторі при зміні одного з параметрів? Чи змінюється різниця фаз між коливаннями струму в колі та напруги на клеммах конденсатора? Від чого вона залежить?

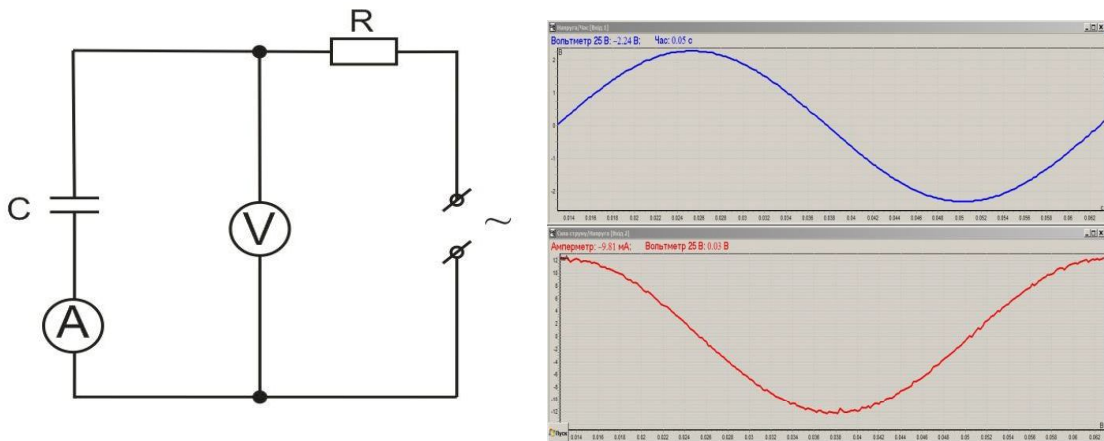


Рис. 3. Конденсатор у колі змінного струму. Електрична схема установки та результати вимірювання.

Перехідні процеси в колах з індуктивністю.

Демонстрацію проводять для з'ясування характеру зв'язку між напругою, підключеною до клем котушки, та струмом при замиканні та розмиканні кола.

Обладнання: датчик «вольтметр» 0 ± 12 В; датчик «амперметр» 0 ± 100 мА; магазин опорів $0,01 \text{ Ом}-100$ кОм або резистори на панелях (2 комплекти); діод на панелі; джерело живлення постійного струму регульоване. $0-12$ В; дросельна котушка (3600 витків) з осердям з набору шкільного комплексу розбірного трансформатора; дроти з клемми. Період вимірювання встановлено 200 мкс, час вимірювання в межах $0,3 - 1$ с.

Зберемо схему, як показано на рисунку 4 без елементів, вказаних пунктиром. Резистор R_1 обмежує максимальний струм у колі. У початковому стані ключ K розімкнено. При замиканні ключа на клеммах котушки з'являється напруга. Величина напруги у нашому експерименті – 5 В, опори резисторів R_1 та R_2 однакові і дорівнюють 675 Ом.

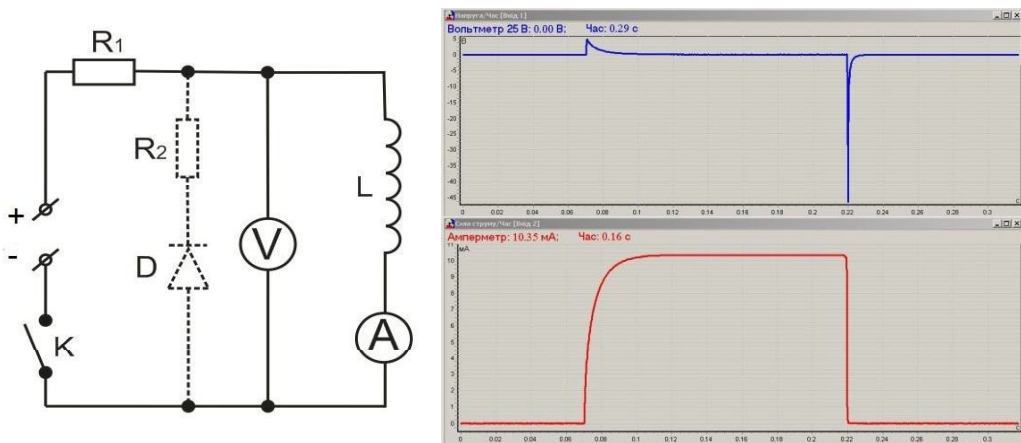
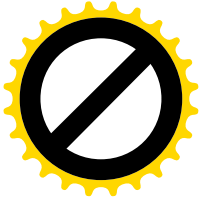
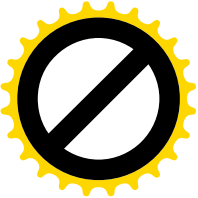


Рис. 4. Електрична схема демонстраційної установки та результати вимірювань. На верхньому графіку відображено зміну напруги на клеммах котушки, а на нижньому – струму, під час замикання – розмикання електричного кола.

Як видно з результатів дослідження, струм збільшується із затримкою відносно напруги на клеммах котушки (рис. 4). Струм у котушці, зумовлений зовнішнім джерелом ЕРС призводить до виникнення магнітного потоку який породжує ЕРС самоіндукції протилежного знаку, що у свою чергу гальмує зростання струму. Розмикання кола призводить до миттєвого зникнення струму у колі (і миттєвого зменшення магнітного потоку), на клеммах котушки виникає ЕРС зворотної полярності. Її величина може сягати дуже великих значень. Змінимо схему дослідження. Для цього підключимо елементи позначені на схемі пунктиром. При замиканні кола живлення ця ланка кола ніяк не впливає на процеси, що там відбуваються. Однак, при розмиканні кола, як ми бачили в попередньому прикладі, виникає ЕРС зворотного напрямку. Діод буде зміщено у прямому напрямку, що призведе до появи струму у колі. Для встановлення симетрії зростання та зменшення струму при замиканні – розмиканні кола, послідовно з діодом включено резистор, R_2 аналогічний R_1 . Результати вимірювань показано на рис. 5.

Як бачимо, при розмиканні ключа, струм не зникає миттєво, а величина зворотної напруги на клеммах дорівнює напрузі джерела живлення що підводилась до котушки для створення магнітного поля. Дано пояснення отриманих результатів. В момент замикання ключа, напруга на клеммах встановлюється такою, як на клеммах джерела струму. Струм у котушці зростає і породжує зростаючий магнітний потік.

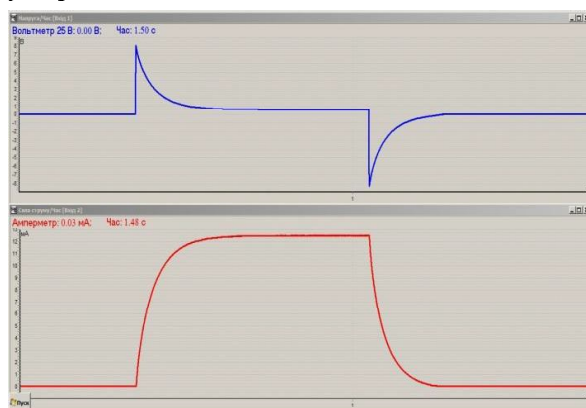
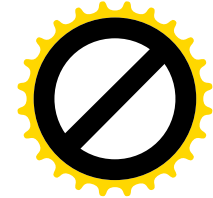
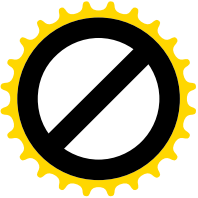


Рис. 5. Графіки зміни напруги (верхній) та струму (нижній) у колі з котушкою індуктивності (з елементами замикання кола струму, зумовленого зворотною ЕРС).

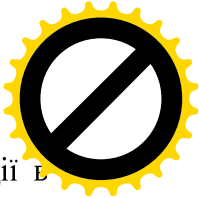
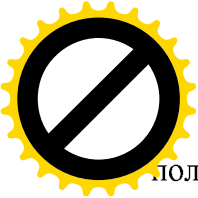


В свою чергу, магнітний потік, проходячи через витки котушки, породжує ЕРС самоіндукції протилежної полярності. Швидкість зростання струму у колі (і магнітного потоку) зменшується при наближенні до максимального значення, обмеженого величиною опору резистора R . Напряга ж на клеммах котушки зменшується. Коли струм у котушці сягне максимальної величини, енергія магнітного поля стане максимальною, а ЕРС самоіндукції зникне. Оскільки у колі тече струм, мінімальна напруга на клеммах котушки за даними вимірювання становить близько 0,5 В. При розмиканні кола живлення, на клеммах котушки виникає ЕРС зворотної полярності. Через діод та резистор коло замикається і в ньому тече струм. Цей струм гальмує зменшення магнітного потоку. Якщо порівняти графіки заряду – розряду конденсатора та намагнічування – розмагнічування котушки, можна виявити схожість вигляду графіків. Закон зміни напруги у колі з конденсатором подібний до закону зміни струму у колі з котушкою теж справедливо і для струму у колі з конденсатором і напругою у колі з котушкою. Відмінність у тому, що конденсатор накопичує заряд, який може зберігатися достатньо довго. Магнітне поле, не може існувати без струму, що його створив. Залишається відкритим питання: як залежить магнітний потік від струму у колі? Адже факт, що магнітний потік зростає пропорційно струму, не є очевидним. Зазначимо, що вимірювання безпосередньо величини магнітного потоку, тим більше у динамічному режимі, складна технічна проблема. Однак, можна виміряти індукцію магнітного поля. На рис. 6 показано залежності струму у колі котушки та індукції магнітного поля від часу. Слід наголосити, що на величину ЕРС самоіндукції впливає не величина магнітного потоку, а швидкість його зміни. Тому, при збільшенні струму до максимуму, магнітна індукція теж сягає максимального значення, магнітний потік стає сталим, а ЕРС самоіндукції зникає.



Рис. 6. Зміна струму у котушці індуктивності (нижній графік) та індукції магнітного поля (верхній графік) від часу.

Завдання: Проаналізуйте результати вимірювань. Проведіть вимірювання для різних значень опору у колі і величини індуктивності. Індуктивність змінюйте, підключаючи секції котушки у такому порядку: 3600, 2400, 1200 витків. Обчисліть величину активного опору котушки (за даними графіку). Які перетворення енергії відбуваються при замиканні – розмиканні кола у першому та другому варіанті демонстрації? За яких умов існує магнітне



поле навколо котушки? Проведіть вимірювання залежності величини магнітної індукції в обраній точці від струму у котушці. Як пов'язані ці параметри?

Котушка індуктивності у колі змінного струму.

Демонстрацію проводять для з'ясування характеру зв'язку між струмом у колі та напругою на клеммах котушки індуктивності при протіканні змінного струму.

Обладнання: датчик «вольтметр» 0 ± 12 В; датчик «амперметр» 0 ± 10 мА; дросельна котушка (3600 витків) від шкільного розбірного трансформатора; магазин опорів $0,01 \text{ Ом} - 100 \text{ кОм}$ або резистори на панелях; генератор сигналів ГЦ 3.1 або аналогічний з можливістю автоматичної зміни частоти у межах $0 - 1$ мГц; дроти з клемми. Період вимірювання встановіть 200 мкс; час вимірювання - 1с.

Зберіть електричне коло за схемою, показаною на рис. 7. Встановіть частоту генератора 50 Гц. Амплітуду сигналу оберіть такою, щоб струм і напруга не були максимальними. Проведіть вимірювання. Виділіть на графіку одне повне коливання напруги. Зверніть увагу на зсув фаз між напругою на клеммах котушки та струмом у колі.

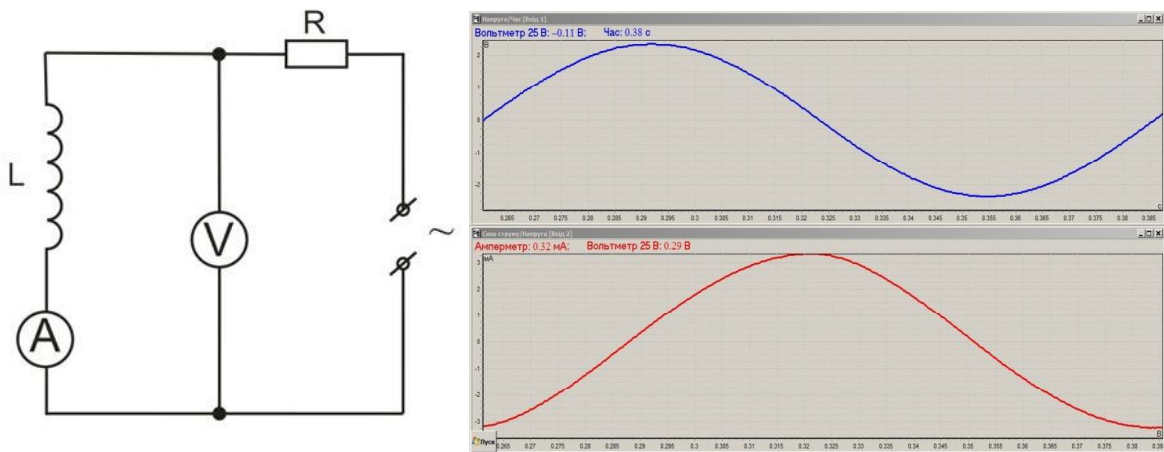


Рис. 7. Графіки зміни напруги (верхній) та струму (нижній) у колі з котушкою індуктивності.

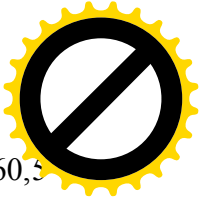
Завдання: Проаналізуйте результати вимірювання, зіставте з результатами попереднього дослідження. Проведіть наступне вимірювання, плавно зменшуючи частоту коливань генератора. Проведіть серії з декількох вимірювань, змінюючи дискретно частоту, амплітуду сигналу та величини індуктивності і опору. Як змінюються величини напруги на клеммах котушки і струму в колі при зміні одного з параметрів? Чи змінюється різниця фаз між коливаннями напруги на клеммах котушки та струму у колі? Від чого вона залежить?

Паралельний коливальний контур.

Розглянемо процеси у більш складній системі - паралельному коливальному контурі за різних умов збудження коливань:

- вільні коливання, збуджені за рахунок енергії електричного поля конденсатора;
- вільні коливання, збуджені магнітною енергією котушки індуктивності;
- вимушені коливання з використанням зовнішнього джерела змінного струму.

Збудження коливань у паралельному контурі за рахунок енергії електричного поля конденсатора. Зберемо схему, як показано на рисунку (8). До установки входять: деталі з комплексу шкільного розбірного трансформатора (осердя, дросельна котушка 3600



зитків); джерело постійного струму регульоване; ключ; батарея конденсаторів 0,5 – 60,5 мкФ; датчик напруги ± 12 В; датчик струму ± 100 мА; дроти з клеммами. Зарядимо конденсатор від джерела постійного струму (ключ К у положенні 2). Після перемикання ключа у положення 1, конденсатор почне розряджатися. Графік залежності струму від напруги вільних затухаючих коливань у контурі, збуджених за рахунок енергії конденсатора показано на рис. 8.

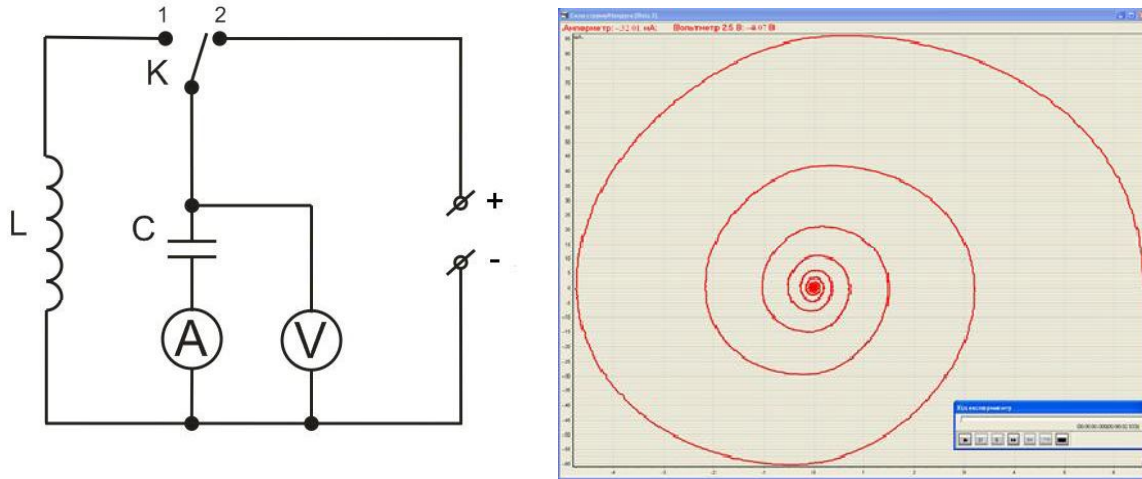
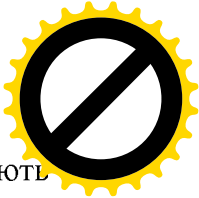
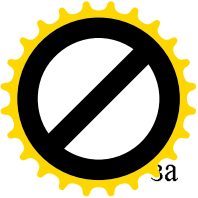


Рис. 8. Збудження коливань за рахунок енергії конденсатора. Електрична схема установки та результати вимірювань

(Залежність електричного струму у коливальному контурі від напруги).

По осі абсцис відображено значення напруги на контурі а по осі ординат – струм у колі контуру. На початку процесу розряджання конденсатора струм у колі мав би бути найбільшим ($U_c = 6,5$ В). Але, розряд здійснюється через котушку індуктивності. Збільшення струму у котушці стримується самоіндукцією. В результаті, струм у колі зростатиме повільно, конденсатор розряджатиметься, а його енергія перетворюватиметься на енергію магнітного поля котушки. Струм у колі сягне максимального значення в момент повного розряду конденсатора ($U_c = 0$, $I = 86$ мА), тобто вся енергія електричного поля конденсатора повністю перетвориться на енергію магнітного поля котушки. З цього моменту струм у колі зменшуватиметься. Магнітне поле котушки теж зменшуватиметься, а явище самоіндукції призведе до появи ЕРС самоіндукції протилежної полярності та перешкоджатиме моментальному зменшенню струму. Коли струм зникне, обкладки конденсатора матимуть максимальний, однак протилежний початковому, заряд ($U = -4,8$ В; $I = 0$). Енергія ж магнітного поля повністю перетвориться на енергію електричного поля. Далі знову почнеться розряд конденсатора, з тією різницею, що струм матиме напрямок, протилежний початковому. Коли конденсатор повністю розрядиться, струм сягне свого від'ємного максимуму, а напруга зменшиться до нульового значення ($U = 0$; $I = -40$ мА). Наступне зменшення струму знов призведе до зміни полярності ЕРС, конденсатор знов зарядиться до максимальної напруги, а струм у колі зникне ($U=3,3$ В; $I=0$). Процес перетворення енергії у колі матиме періодичний характер. Цикл перетворення енергії і повернення у початковий стан називають періодом власних коливань коливального контуру. Такі коливання називають вільними або власними. Затухання коливань відбувається



за рахунок того, що дроти, з яких складено схему та виготовлено котушку, мають електричний опір, тож частина енергії витрачається на нагрівання дротів (діелектричні, магнітні втрати можна вважати незначними). За даними вимірювань можна визначити період коливань, енергію електричного та магнітного полів, а також частку енергії, що розсіюється у вигляді тепла.

Завдання. Визначте, яка кількість (частка) енергії втрачається контуром за одне повне коливання? Змініть параметри котушки та конденсатора. Як змінився період коливань?

Збудження вільних коливань у коливальному контурі за рахунок енергії магнітного поля котушки. До установки входять: деталі з комплекту шкільного розбірного трансформатора (осердя, дросельна котушка 3600 витків, котушка мережева); джерело постійного струму регульоване; ключ; батарея конденсаторів 0,5 – 60,5 мкФ; датчик напруги ± 12 В; датчик струму ± 100 мА; дроти з клемми.

На рис. 9 показано електричну схему установки та результати вимірювань залежності сили струму у колі контуру від напруги на ньому. Дросельна котушка L2 включається в коло коливального контуру, а мережева котушка L1 у коло джерела постійного струму. Включимо джерело струму. Замикання ключа К призведе до намагнічування осердя котушки. При цьому у контурі виникнуть вільні коливання, що швидко згаснуть. Отже, осердя трансформатора залишатиметься намагніченим, а магнітний потік буде сталим, оскільки струм у колі котушки буде незмінним. Розмикання ключа розірве електричне коло, струм миттєво зникне.

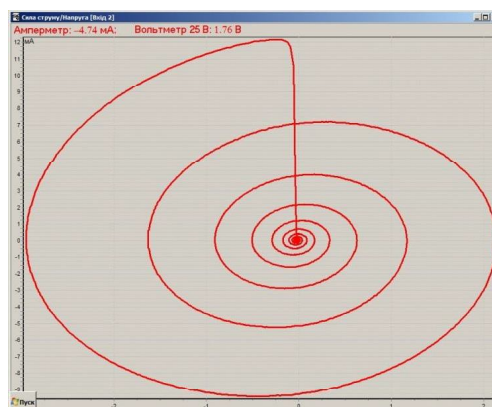
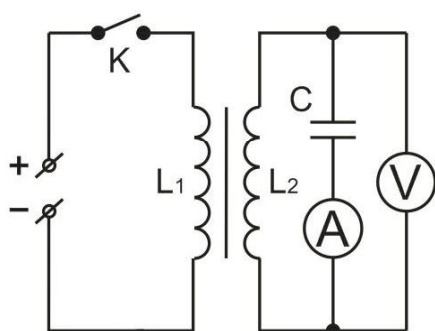
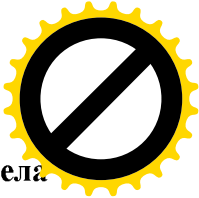
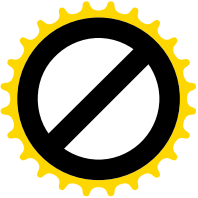


Рис. 9. Збудження коливань за рахунок енергії котушки індуктивності. Електрична схема установки та результати вимірювань (Залежність електричного струму у коливальному контурі від напруги).

Вся енергія магнітного поля піде на створення коливань у контурі. Як і в попередній демонстрації, коливання є затухаючими. Коливальний процес починається з моменту, коли напруга на клеммах конденсатора відсутня. Відключення струму у колі намагнічування призводить до виникнення ЕРС самоіндукції, конденсатор починає заряджатися, а струм сягає максимальної величини.

Завдання. Чому змінилася форма графіку у порівнянні з попереднім експериментом? Що відбудеться, якщо змінити полярність підключення котушки підмагнічування? Поясніть. Проведіть вимірювання, змінивши полярність підключення котушки підмагнічування.



Вимушені коливання в контурі за рахунок енергії зовнішнього джерела змінного струму.

Для демонстрації необхідні прилади та обладнання: генератор сигналів ГЦ 3.1 або аналогічний з можливістю автоматичної зміни частоти у межах 0 – 1 мГц; деталі з комплекту шкільного розбірного трансформатора (осердя, дросельна котушка 3600 витків); батарея конденсаторів 0,5 – 60,5 мкФ; датчик напруги ± 12 В; датчик струму ± 100 мА; резистор з опором в межах 3,3 – 10 кОм; панель з клемми; дроти з клемми. Схему установки показано на рис. 10.

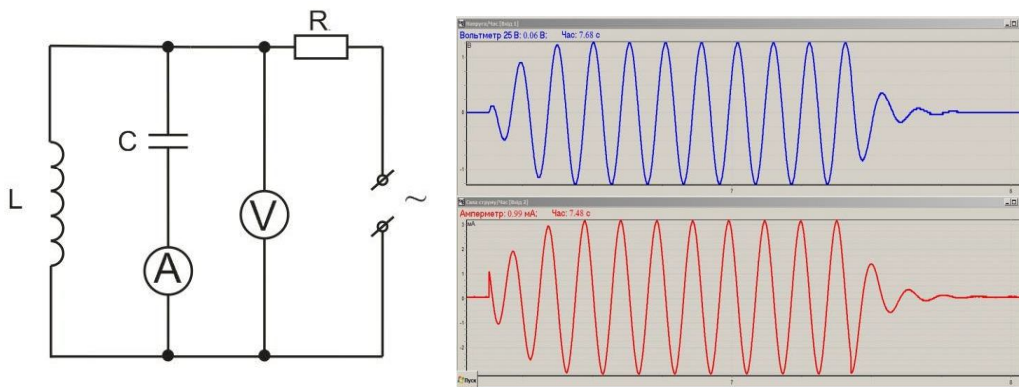


Рис. 10. Електрична схема установки для дослідження вимушених коливань та залежність електричного струму і напруги у коливальному контурі від часу.

До початку демонстрації слід визначити резонансну частоту контуру. Оскільки вона лежить у межах одиниць – десятків Гц, встановіть межі частотного діапазону генератора 0 – 20 Гц, включіть режим вимірювання та, слідкуючи за зміною амплітуди коливань, визначте резонансну частоту. Демонстрацію вимушених коливань у контурі почніть на резонансній частоті. На рисунку 10 показано результати вимірювання. Як бачимо, амплітуда коливань повільно збільшується при підключенні, та зменшується після відключення генератора.

Завдання. Проведіть дослід , збільшивши (зменшивши). частоту генератора. Поясніть результати вимірювань.

Резонанс у паралельному коливальному контурі.

Для демонстрації необхідні прилади та обладнання: генератор сигналів ГЦ 3.1 або аналогічний з можливістю автоматичної зміни частоти у межах 0 – 1 мГц; датчик піковий вольтметр - 2,5 В; датчик частотомір; котушка індуктивності 0,1 - 10 мГн; конденсатори ємністю 0,01-1 мкФ ; резистор з опором в межах 3,3 – 10 кОм; панель з клемми; монтажні дроти. Схему установки та її фото показано на рис. 11 Резонансна частота досліджуваного коливального контуру визначається формулою $\nu = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$ і міститиметься в межах десятків кілогерц.

Діапазон зміни частоти генератора слід обирати таким чином, щоб на початку і в кінці діапазону зміна частоти не впливала на амплітуду сигналу. У нашому випадку резонансна частота складала 31,19167 кГц. Генератор встановлено на качання частоти в межах 22 – 40 кГц. Швидкість зміни частоти – 100 Гц/с. Процес вимірювання відбувався протягом 40 секунд. Амплітуда сигналу відображається на осі «У», частота – на осі «Х». За результатом експерименту отримуємо криву, що відповідає залежності амплітуди напруги на контурі від частоти зовнішнього сигналу. Наявність цифрового дисплею, забезпечує зоровий



контроль поточного значення частоти, і впевненість, що частота змінюється у заданих межах. Після визначення резонансної частоти коливального контуру слід з'ясувати, які фактори впливають на саму резонансну частоту, та форму резонансної кривої.

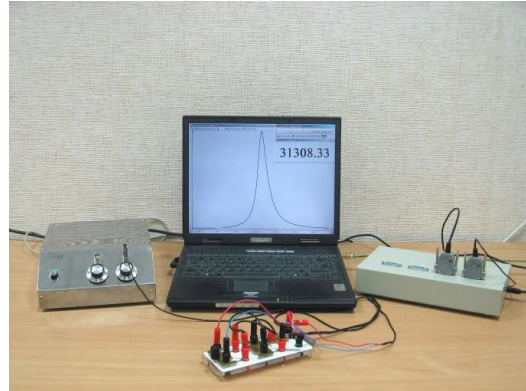
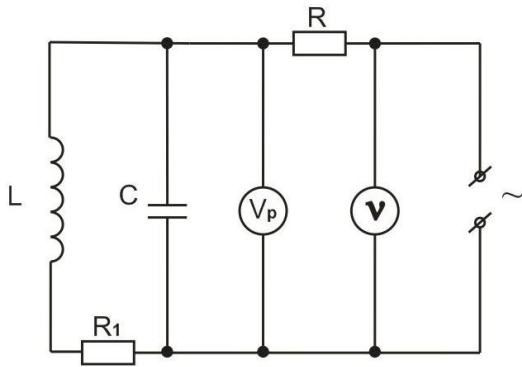


Рис. 11. Електрична схема та зовнішній вигляд установки для дослідження параметрів компонентів електричних кіл.

Завдання. Повторіть вимірювання, змінюючи амплітуду сигналу генератора; ємність конденсатора; індуктивність котушки. Підключіть паралельно та в коло контуру резистори з опором в межах 1 – 100 кОм. Дослідіть, як впливатиме на форму та амплітуду резонансної кривої величина цих елементів.

Висновки.

Вивчення явищ, що відбуваються у електричних колах базується на глибокому розумінні елементарних процесів, що лежать у їх основі. Автоматизація експерименту, і обробки результатів вимірювань дозволяє зробити демонстрації більш інформативними та встановити природній зв'язок між процесами, що визначають властивості складних систем. Відображення результатів експерименту у графічному вигляді сприяє полегшенню розуміння навчального матеріалу. Наявність даних вимірювань кількісних характеристик, отриманих під час проведення демонстрацій полегшує перехід до аналітичної форми опису вказаних процесів.

Список використаної літератури

1. Повышение эффективности наглядности при использовании динамических компьютерных моделей // Теоретические проблемы физического образования. - С.-Петербург: Образование, 1996. - 87 с.
2. "Фізика 11 клас" Навчальне програмне забезпечення з фізики для 11 кл. загальноосвітніх навчальних закладів. Розробка ЗАТ "Транспортні системи".
3. <http://phet.colorado.edu/en/simulations/category/physics>
4. ИКТ в предметной области. Часть V. Физика: Методические рекомендации / Под ред. В.Е. Фрадкина. – СПб, ГОУ ДПО ЦПКС СПб «Региональный центр оценки качества образования и информационных технологий», 2010. – 83 с.