Урок 27 Самоіндукція. Індуктивність. Енергія магнітного поля

Мета уроку:

Навчальна: Розширити уявлення учнів про явище електромагнітної індукції; формувати знання про суть явища самоіндукції, закон самоіндукції, енергію магнітного поля.

Розвивальна. Розвивати вміння узагальнювати і систематизувати знання; з метою розвитку мислення розвивати вміння: пояснювати подібні матеріали; виявляти аналогії; розкривати загальне і конкретне; встановлювати закономірності; встановлювати головне, суттєве у матеріалі, що вивчається.

Виховна. Виховувати уважність, зібраність, спостережливість.

Тип уроку: урок вивчення нового матеріалу.

Наочність і обладнання: навчальна презентація, комп'ютер, підручник, прилади і матеріали для демонстрації явища самоіндукції.

Хід уроку

I. ОРГАНІЗАЦІЙНИЙ ЕТАП

II. АКТУАЛІЗАЦІЯ ОПОРНИХ ЗНАНЬ ТА ВМІНЬ

Джозеф Генрі (1797-1878) розробив електромагніти масою близько 10 кг, які здатні піднімати тіла масою до півтори тони. Створюючи різні електромагніти, в 1832 році Генрі виявив нове явище в електромагнетизмі – явище самоіндукції, яке, як виявилося, було окремим випадком прояву електромагнітної індукції.

Що таке самоіндукція?

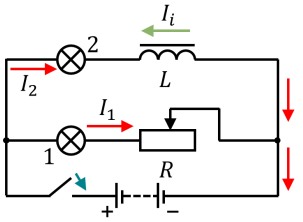
III. ВИВЧЕННЯ НОВОГО МАТЕРІАЛУ

1. Явище самоіндукції

Складемо електричне коло, яке складається з джерела струму, ключа, двох однакових лампочок, котушки з осердям і резистором, з електричним опором, рівним опору обмотки котушки.

Електричне коло замикають

Якщо ми замкнемо коло, то побачимо, що лампочка 1, з'єднана послідовно з реостатом, починає світитися практично моментально. А ось лампочка 2, з'єднана послідовно з котушкою, з помітним запізненням (в реальному часі близько однієї секунди).

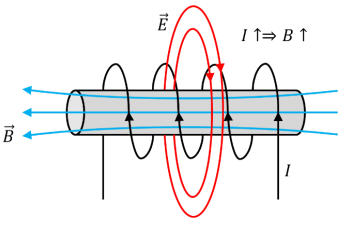


Проблемне питання

• Чому лампочка 2 починає світитися із запізненням?

Відразу після замкнення кола сила струму I в колі збільшується.

Усередині котушки виникає змінне магнітне поле, магнітна індукція $\vec{B}$ якого теж збільшується. Змінне магнітне поле створює *вихрове електричне поле* $\vec{E}$, яке в цьому випадку буде *протидіяти струму* в котушці (правило Ленца).

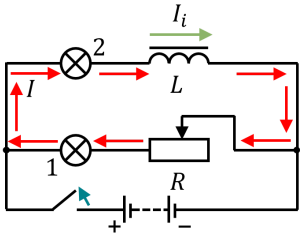


Саме тому сила струму в колі котушки (а отже, і в лампі 2) зростатиме не відразу, а поступово. Зрозуміло, що в провідниках, які підводять струм до лампи 1, також виникає вихрове електричне поле, але створена ним ЕРС є незначною.

Електричне коло розмикають

Проблемне питання

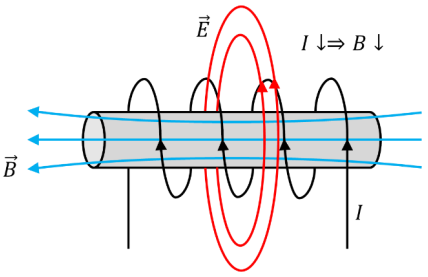
• Чому якщо коло розімкнути, то обидві лампи згаснуть одночасно, однак у момент розімкнення їхня яскравість на мить збільшиться?



Відразу після розімкнення кола сила струму I в колі зменшується.

Магнітна індукція $\vec{B}$ поля, створеного струмом, теж зменшується. Змінне магнітне поле створює *вихрове електричне поле* $\vec{E}$, яке в цьому випадку *підтримуватиме струм* у котушці (правило Ленца).

Здається, що лампа 2 повинна згаснути пізніше, ніж лампа 1, але обидві гаснуть одночасно! Річ у тім, що коло, яке складається із двох ламп, котушки і резистора, залишається замкненим. *Котушка* в цьому колі слугує *джерелом струму*: вихрове електричне поле, що виникло в котушці, підтримує в колі струм. Струм через котушку і лампу 2 продовжує йти в тому самому напрямку, а напрямок струму в лампі 1 і резисторі змінюється на протилежний.



Явище самоіндукції – це явище виникнення вихрового електричного поля в провіднику, в якому тече змінний електричний струм.

2. ЕРС самоіндукції

Самоіндукція – це окремий випадок явища електромагнітної індукції. Електрорушійну силу в цьому випадку називають ЕРС самоіндукції ε_{is}.

Електрорушійна сила самоіндукції ε_{is} – це електрорушійна сила індукції, що створюється в провіднику внаслідок зміни його власного магнітного поля.

$$\varepsilon_{is} = -\frac{\Delta\Phi}{\Delta t} = -\Phi'(t)$$

Магнітний потік прямо пропорційний магнітній індукції магнітного поля струму ($\Phi \sim B$); магнітна індукція прямо пропорційна силі струму в провіднику ($B \sim I$).

Магнітний потік прямо пропорційний силі струму в провіднику: $(\Phi = LI)$ (L – коефіцієнт пропорційності).

Зміна магнітного потоку прямо пропорційна зміні сили струму: $\Delta\Phi = L\Delta I$

Закон самоіндукції:

ЕРС самоіндукції прямо пропорційна швидкості зміни сили струму в провіднику.

$$\varepsilon_{is} = -L\frac{\Delta I}{\Delta t} \qquad \text{або} \qquad \varepsilon_{is} = -LI'(t)$$

Індуктивність L – фізична величина, яка характеризує провідник і чисельно дорівнює ЕРС самоіндукції, що виникає в провіднику в разі зміни сили струму на 1 ампер за 1 секунду.

$$L = \frac{|\varepsilon_{is}|}{|\Delta I|/\Delta t}$$

Одиниця індуктивності в СІ – **генрі:** $[L] = 1$ Гн

Індуктивність провідника дорівнює 1 генрі, *якщо в ньому виникає ЕРС самоіндукції* 1 В *у разі зміни сили струму на* 1 А *за* 1 с.

$$1 \text{ Гн} = \frac{1 \text{ В}}{1 \text{ А/с}}$$

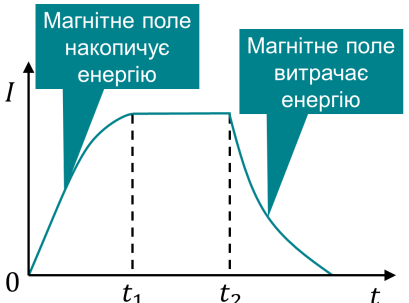
Індуктивність котушки залежить від: її розмірів і форми; кількості витків; наявності або відсутності сердечника.

Велику індуктивність мають обмотки генераторів і двигунів, тому під час розімкнення кола, коли сила струму швидко змінюється, ЕРС самоіндукції може сягнути такого значення, що відбудеться пробій ізоляції.

3. Енергія магнітного поля

Проблемне питання

• Звідки береться енергія, за рахунок якої протягом певного часу після відключення джерела живлення підтримується електричний струм у колі?



Енергія була накопичена в магнітному полі провідника (котушки) раніше.

1) джерело живлення починає працювати відразу після замикання кола, але струм у колі сягає максимального значення не миттєво. Це означає, що протягом інтервалу часу $0 - t_1$ енергія джерела витрачається ще на щось;

2) протягом інтервалу часу $0 - t_1$ біля котушки створюється досить помітне магнітне поле й окрім цього жодних змін не відбувається. Тобто енергія витрачається саме на створення магнітного поля.

Очевидно: чим більшої сили досяг струм у котушці (провіднику), тим більшою буде накопичена енергія. Енергія магнітного поля буде більшою і в разі більшої індуктивності L котушки, адже в такому випадку струм повільніше досягатиме максимального значення.

Точні розрахунки із застосуванням інтегрування дають таку **формулу для визначення енергії магнітного поля:**

$$W_{\text{м}} = \frac{LI^2}{2}$$

Енергія магнітного поля провідника зі струмом дорівнює половині добутку індуктивності провідника на квадрат сили струму в провіднику.

IV. ЗАКРІПЛЕННЯ НОВИХ ЗНАНЬ І ВМІНЬ

1. У цеху, де працюють верстати з електричними двигунами, виникла необхідність негайно вимкнути рубильник на електророзподільному щиті. Як це краще зробити: а) не вимикаючи верстати; б) тільки після попереднього вимкнення всіх верстатів?

Тільки після попереднього вимкнення всіх верстатів. Це роблять для того, щоб збільшити час розмикання кола, тим самим зменшити ЕРС самоіндукції.

2. Визначте магнітний потік, що пронизує котушку індуктивністю 0,3 Гн, якщо сила струму в ній дорівнює 2 А.

Дано:

$L = 0,3$ Гн

$I = 2$ А

$\Phi - ?$

Розв'язання

$$\Phi = LI$$

$$[\Phi] = \text{Гн}\cdot\text{А} = \frac{\text{В}}{\text{А/с}}\cdot\text{А} = \text{В}\cdot\text{с} = \text{Вб}$$

$$\Phi = 0,3\cdot 2 = 0,6\ (\text{Вб})$$

Відповідь: $\Phi = 0,6$ Вб.

3. Визначте індуктивність котушки, якщо внаслідок зміни сили струму в ній на 0,5 А протягом 0,4 с виникає ЕРС самоіндукції 2 В.

Дано:

$|\Delta I| = 0,5$ А

$\Delta t = 0,4$ с

$\varepsilon_{is} = 2$ В

$L - ?$

Розв'язання

$$\varepsilon_{is} = L\frac{|\Delta I|}{\Delta t} \quad => \quad L = \frac{\varepsilon_{is}\Delta t}{|\Delta I|}$$

$$[L] = \frac{\text{В}\cdot\text{с}}{\text{А}} = \frac{\text{В}}{\text{А/с}} = \text{Гн}$$

$$L = \frac{2\cdot 0,4}{0,5} = 1,6\ (\text{Гн})$$

Відповідь: $L = 1,6$ Гн.

4. Визначте енергію магнітного поля електромагніту з індуктивністю 5 Гн, якщо сила струму в його обмотці становить 3 А.

Дано:
$L = 5$ Гн

$I = 3$ А

$W_м - ?$

Розв'язання

$$W_м = \frac{LI^2}{2}$$

$$\left[W_м\right] = \text{Гн}\cdot\text{А}^2 = \frac{\text{В}}{\text{А/с}} \bullet \text{А}^2 = \text{В}\cdot\text{А}\cdot\text{с} = \text{Дж}$$

$$W_м = \frac{5\cdot 3^2}{2} = 22,5\ (\text{Дж})$$

Відповідь: $W_м = 22,5$ Дж.

5. Яку індуктивність має дротяна котушка, якщо зміна струму в ній від 4 А до 8 А за 0,1 с викликає ЕРС самоіндукції 5 В. Як при цьому змінюється енергія магнітного поля?

Дано:
$I_1 = 4$ А

$I_2 = 8$ А

$\Delta t = 0,1$ с

$\varepsilon_{is} = 5$ В

$L - ?$

$\Delta W_м - ?$

Розв'язання

$$\varepsilon_{is} = L\frac{|\Delta I|}{\Delta t} \quad => \quad L = \frac{\varepsilon_{is}\Delta t}{|\Delta I|} = \frac{\varepsilon_{is}\Delta t}{|I_2 - I_1|}$$

$$[L] = \frac{\text{В}\cdot\text{с}}{\text{А}-\text{А}} = \frac{\text{В}}{\text{А/с}} = \text{Гн}$$

$$L = \frac{5\cdot 0,1}{|8-4|} = 0,125\ (\text{Гн})$$

$$W_{м1} = \frac{LI_1^2}{2} \qquad W_{м2} = \frac{LI_2^2}{2}$$

$$\Delta W_м = W_{м2} - W_{м1} = \frac{L}{2}\left(I_2^2 - I_1^2\right)$$

$$\left[\Delta W_м\right] = \text{Гн}\cdot\left(\text{А}^2 - \text{А}^2\right) = \frac{\text{В}}{\frac{\text{В}}{\text{А/с}}} \bullet \text{А}^2 = \text{В}\cdot\text{А}\cdot\text{с} = \text{Дж}$$

$$\Delta W_м = \frac{0,125}{2} \bullet \left(8^2 - 4^2\right) = 3\ (\text{Дж})$$

Відповідь: $L = 125$ мГн; $\Delta W_м = 3$ Дж.

V. ПІДБИТТЯ ПІДСУМКІВ УРОКУ

Бесіда за питаннями

1. Опишіть дослід, який демонструє, що після замкнення кола, яке містить котушку індуктивності, струм у колі зростає поступово. Чим зумовлене це явище?

2. Дайте означення самоіндукції.

3. Сформулюйте закон самоіндукції.

4. Дайте означення індуктивності. Назвіть її одиницю в СІ.

5. Доведіть, що магнітне поле має енергію. За якою формулою її обчислюють?

6. Проведіть аналогію між масою та індуктивністю.

VI. ДОМАШНЄ ЗАВДАННЯ

Опрацювати § 14, Вправа № 14 (1, 2)

Додаткові задачі

1. Чому при ввімкненні електромагніту в електричне коло сила струму в ньому не відразу досягає максимального значення?

Унаслідок самоіндукції.

2. Чи виникає ЕРС самоіндукції в котушці, в якій існує постійний струм?

Ні.

3. Як зменшити індуктивність котушки із залізним осердям, не змінюючи габарити її обмотки (довжину й площу поперечного перерізу)?

Зменшити силу струму в обмотці або вийняти осердя.

4. Визначте індуктивність контуру, якщо при силі струму 5 А магнітний потік, створений цим струмом, становить 0,5 мВб.

Дано:

$I = 5$ А

$\Phi = 0,5$ мВб $= 5 \cdot 10^{-4}$ Вб

$L - ?$

Розв'язання

$$\Phi = LI \quad => \quad L = \frac{\Phi}{I}$$

$$[L] = \frac{\text{Вб}}{\text{А}} = \frac{\text{В} \cdot \text{с}}{\text{А}} = \frac{\text{В}}{\text{А/с}} = \text{Гн}$$

$$L = \frac{5 \cdot 10^{-4}}{5} = 1 \cdot 10^{-4} \text{ (Гн)}$$

Відповідь: $L = 0,1$ мГн.

5. Яка індуктивність котушки із залізним осердям, якщо протягом інтервалу часу 0,5 с сила струму в ній рівномірно змінилася від 10 до 5 А, а ЕРС самоіндукції, що виникла під час цього, склала 35 мВ?

Дано:

$\Delta t = 0,5$ с

$I_1 = 10$ А

$I_2 = 5$ А

$\varepsilon_{is} = 35$ мВ $= 3,5 \cdot 10^{-2}$ В

$L - ?$

Розв'язання

$$\varepsilon_{is} = L\frac{|\Delta I|}{\Delta t} \quad => \quad L = \frac{\varepsilon_{is}\Delta t}{|\Delta I|} = \frac{\varepsilon_{is}\Delta t}{|I_2 - I_1|}$$

$$L = \frac{3,5 \cdot 10^{-2} \cdot 0,5}{|5-10|} = 3,5 \cdot 10^{-3} \text{ (Гн)}$$

Відповідь: $L = 3,5$ мГн.

6. У котушці індуктивністю 30 мкГн сила струму дорівнює 0,6 А. Визначте середнє значення ЕРС самоіндукції, що виникне в котушці внаслідок зменшення сили струму до нуля протягом 120 мкс.

Дано:

$L = 30$ мГн $= 3 \cdot 10^{-2}$ Гн

$|\Delta I| = 0,6$ А

$\Delta t = 120$ мс $= 0,12$ с

$\varepsilon_{is} - ?$

Розв'язання

$$\varepsilon_{is} = L\frac{|\Delta I|}{\Delta t}$$

$$\varepsilon_{is} = 3 \cdot 10^{-2} \bullet \frac{0,6}{0,12} = 0,15 \text{ (В)}$$

Відповідь: $\varepsilon_{is} = 0,15$ В.

7. Коли іскрить рубильник: під час замикання або під час розмикання електричного кола? Якщо ж паралельно рубильнику під'єднати конденсатор, іскріння припиняється. Чому?

Рубильник іскрить під час розмикання.

8. При електрозварюванні застосовують стабілізатор – котушку зі сталевим осердям, яку вмикають послідовно з дугою. Чому така котушка забезпечує стійке горіння дуги?

Коливання струму викликає ЕРС самоіндукції, яка протидіє цим коливанням

9. Індуктивність котушки збільшилася в два рази, а сила струму зменшилася в два рази. Як при цьому змінилася енергія магнітного поля котушки?

Енергія зменшиться в 2 рази.

10. Як зміниться індуктивність котушки із залізним осердям при підвищенні температури?

Зменшиться.