

Вихрове електричне поле виникає в провіднику в разі зміни магнітного поля, в якому розташований провідник. Таке поле може бути створене й змінним струмом самого провідника, причому провідник не може «відрізнити» «своє» поле від «чужого». З'ясуємо, які виникають ефекти, якщо провідник перебуває у «своєму» змінному магнітному полі.

### 1. У чому полягає явище самоіндукції

Складемо електричне коло (рис. 14.1). Після замкнення кола лампа 1 спалахне практично відразу, а лампа 2 — з помітним запізненням. Якщо коло розімкнути, то обидві лампи згаснуть одночасно, однак у момент розімкнення їхня яскравість на мить збільшиться. Чому так відбувається?

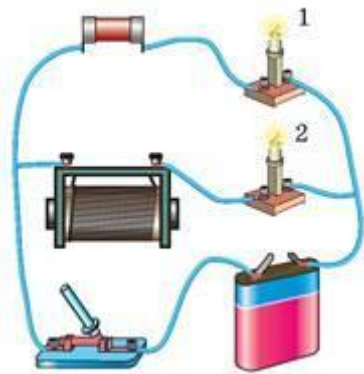
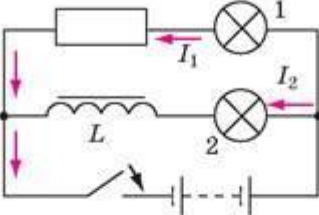
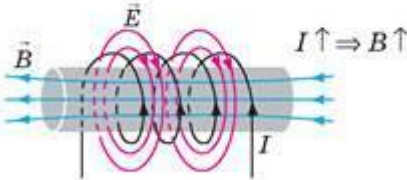
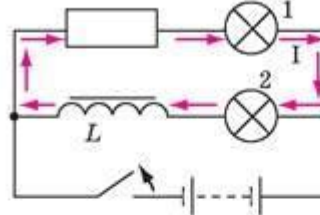
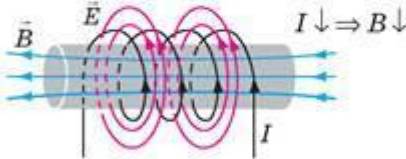


Рис. 14.1. Спостереження явища самоіндукції

| Коло замикають                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | Коло розмикають                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p>Відразу після замкнення кола сила струму <math>I</math> в колі збільшується.</p>  <p>Усередині котушки виникає змінне магнітне поле, магнітна індукція <math>\vec{B}</math> якого теж збільшується. Змінне магнітне поле створює вихрове електричне поле <math>\vec{E}</math>, яке в цьому випадку буде <i>протидіяти</i> струму в котушці (правило Ленца).</p>  <p>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.</p> | <p>Відразу після розімкнення кола сила струму <math>I</math> в колі зменшується.</p>  <p>Магнітна індукція <math>\vec{B}</math> поля, створеного струмом, теж зменшується. Змінне магнітне поле створює <i>вихрове електричне поле</i> <math>\vec{E}</math>, яке в цьому випадку <i>підтримуватиме</i> струм у котушці (правило Ленца).</p>  <p>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 <i>джерелом струму</i>: вихрове електричне поле, що виникло в котушці, підтримує в колі струм. Струм через котушку і лампу 2 продовжує йти в тому самому напрямку, а напрямку струму в лампі 1 і резисторі змінюється на протилежний.</p> |

Явище виникнення вихрового електричного поля в провіднику, в якому тече змінний електричний струм, називають явищем самоіндукції.

## 2. ЕРС самоіндукції. Індуктивність

Електрорушійну силу індукції, що створюється в провіднику внаслідок зміни його власного магнітного поля, називають електрорушійною силою самоіндукції  $E_{is}$ .

За законом Фарадея ЕРС самоіндукції прямо пропорційна швидкості зміни магнітного потоку:  $\mathcal{E}_{is} = -\frac{\Delta\Phi}{\Delta t} = -\Phi'(t)$ . Оскільки магнітний потік прямо пропорційний магнітній індукції магнітного поля струму ( $\Phi \sim B$ ), а магнітна індукція прямо пропорційна силі струму в провіднику ( $B \sim I$ ), то *магнітний потік прямо пропорційний силі струму в провіднику:  $\Phi = LI$*  ( $L$  — коефіцієнт пропорційності). Відповідно зміна магнітного потоку прямо пропорційна зміні сили струму:  $\Delta\Phi = L\Delta I$ .

Отже, **закон самоіндукції**:

ЕРС самоіндукції прямо пропорційна швидкості зміни сили струму в провіднику:

$$\mathcal{E}_{is} = -L \frac{\Delta I}{\Delta t}, \text{ або } \mathcal{E}_{is} = -LI'(t)$$

Коефіцієнт пропорційності  $L$  називають індуктивністю провідника.

**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:

$$L = \frac{|\mathcal{E}_{is}|}{|\Delta I|/\Delta t}$$

Одиниця індуктивності в СІ — **генрі**:  $[L] = 1 \text{ Гн (Н)}$ ; названа на честь американського фізика Джозефа Генрі (1797-1878), який у 1831 р. відкрив явище самоіндукції.

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

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

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.

**Зверніть увагу!**

**Індуктивність** — це характеристика провідника, тому вона не залежить ані від сили струму в провіднику, ані від ЕРС самоіндукції, що виникає в провіднику внаслідок зміни струму.

Індуктивність залежить:

- від магнітних властивостей середовища, в якому розташований провідник;
- розмірів і форми провідника (так, індуктивність прямого проводу набагато менша, ніж індуктивність того самого проводу, намотаного на олівець);
- наявності та форми осердя.

Наприклад, індуктивність соленоїда обчислюють за формулою:

$$L = \mu\mu_0 \frac{N^2 S}{l},$$

де  $\mu$  — магнітна проникність матеріалу, з якого виготовлено осердя (див. § 15);  $\mu_0$  — магнітна стала;  $N$  — кількість витків у соленоїді;  $l$  і  $S$  — відповідно довжина й площа поперечного перерізу соленоїда.

### 3. Як обчислити енергію магнітного поля

З'ясуємо, за рахунок якої енергії вихрове електричне поле підтримує струм у колі після відключення джерела живлення. Прості міркування приводять до висновку: енергія була накопичена в магнітному полі провідника (катушки) раніше. Дійсно (див. рис. 14.2):

- 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.

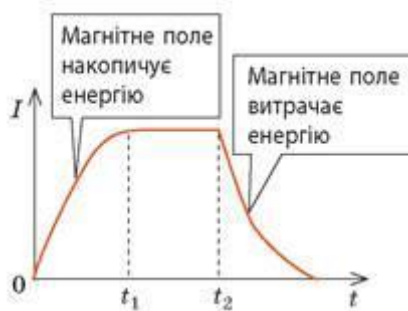


Рис. 14.2. Графік залежності сили струму в колі котушки від часу:  $t = 0$  — момент замкнення кола;  $t = t_2$  — момент розімкнення кола

*Зверніть увагу!*  
Індуктивність подібна до маси в механіці.

- Щоб зрушити тіло (надати йому швидкості), потрібно виконати роботу:

$$A = E_k = \frac{mv^2}{2};$$

чим більша маса тіла, тим більшу роботу треба виконати; під час гальмування тіло саме виконує роботу.

- Аналогічно для створення струму потрібно виконати роботу проти сил вихрового поля:

$$A = W_m = \frac{LI^2}{2};$$

чим більша індуктивність провідника, тим більшу роботу треба виконати; під час зменшення струму вихрове електричне поле саме виконує роботу.

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 ( $W_m$ ) магнітного поля:**

$$W_m = \frac{LI^2}{2}$$

