

Явище електромагнітної індукції, закон Фарадея

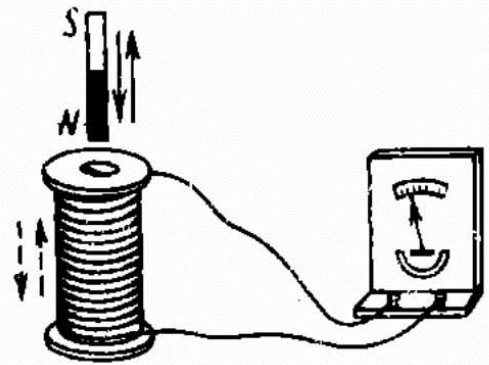
Явище електромагнітної індукції було відкрито Майклом Фарадеєм в 1831 році. Воно полягає у виникненні змінного *електричного поля в результаті зміни магнітного поля*. Це відкриття було першим кроком на шляху створення загальної теорії електричних і магнітних явищ – *класичної електродинаміки*, що було зроблено у 60-х роках XIX століття Джеймсом Клерком Максвеллом.

Нехай замкнений провідний контур L знаходиться в магнітному полі. При зміні магнітного потоку, що пронизує цей контур, в ньому виникає електричний струм. Цей струм називається індукційним, а явище виникнення – *явищем електромагнітної індукції*.

Так як магнітний потік визначається як $\Phi = BS \cos \alpha$, то його зміна може бути обумовлено зміною індукції поля B , площі контура S або його орієнтації відносно напрямку магнітного поля.

Відкриття Фарадея було зроблено в його знаменитому досвіді, коли він всувають плоский магніт в котушку, підключену до гальванометру (рис.1).

Під час руху магніту по ланцюгу протікав електричний струм і стрілка гальванометра відхилялася. При висуванні магніту стрілка відхилялася в протилежну сторону. Узагальнення результатів цього досвіду дозволило дати наведену вище формулювання явища електромагнітної індукції.



Розглянемо механізм виникнення ЕРС індукції. Візьмемо контур у вигляді прямокутної провідної рамки, одна із сторін якої – перемичка довжиною l – переміщується вздовж осі X паралельно самій собі зі швидкістю v , зберігаючи електричний контакт з двома іншими сторонами рамки (рис.2).

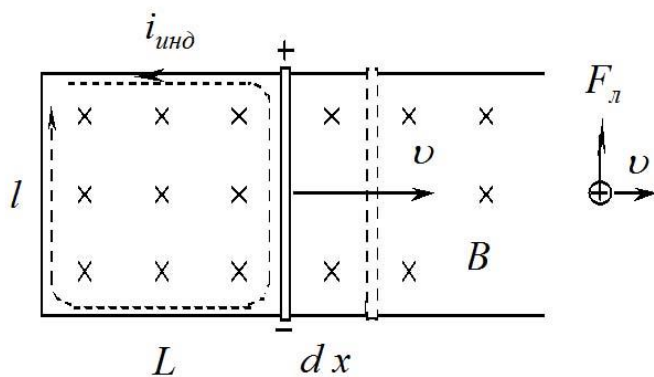


Рис.2

Вектор магнітної індукції \vec{B} перпендикулярний площині контуру і спрямований за площину креслення. При русі перемички наявні в ній вільні заряди – носії струму – рухаються разом з перемичкою і випробовують дію сили Лоренца $F_L = qvB$. В результаті цього заряди зміщуються вздовж

перемички і на її кінцях виникає різниця потенціалів. Таким чином, рухома перемичка виступає в ролі джерела ЕРС в контурі L . Роль сторонньої сили грає сила Лоренца. Напруженість створеного нею електричного поля

$$E_{\text{стор}} = \frac{F_l}{q} = vB.$$

Різниця потенціалів на кінцях перемички, тобто ЕРС індукції

$$\varepsilon_{\text{інд}} = E_{\text{стор}} \cdot l = Blv.$$

На рис.2 показано напрям індукційного струму $i_{\text{інд}}$. Воно протилежно позначеному пунктирною стрілкою напрямом обходу контуру, пов'язаного з напрямком магнітного поля \vec{B} правилом правого гвинта. Врахуємо це, поставивши знак "мінус" в правій частині:

$$\varepsilon_{\text{інд}} = -Blv.$$

Оскільки швидкість руху перемички $v = \frac{dx}{dt}$, "що закриває" нею за час dt площу $dS = l dx$, а магнітний потік через цю площу $d\Phi = B \cdot dS$, використовуючи ці зауваження отримаємо

$$\varepsilon_{\text{інд}} = -Blv = -\frac{Bl dx}{dt} = -\frac{B dS}{dt}.$$

Остаточнo маємо

$$\varepsilon_{\text{інд}} = -\frac{d\Phi}{dt}$$

Ця формула виражає закон електромагнітної індукції Фарадея: ЕРС індукції, що виникає в замкнутому контурі, дорівнює взятій з протилежним знаком швидкості зміни магнітного потоку, що пронизує цей контур.

Звернемо увагу на закон електромагнітної індукції з точки зору розмірності. Як було показано у четвертій лекції розмірність магнітного потоку $[\Phi] = \text{В} \cdot \text{с}$, таким чином ЕРС індукції вимірюється у вольтах,

$$[\varepsilon_{\text{інд}}] = \frac{[\Phi]}{[t]} = \frac{\text{В} \cdot \text{с}}{\text{с}} = \text{В},$$

тобто як і годиться для ЕРС.

Знак "мінус" висловлює правило Ленца, який встановлює напрям індукційного струму.

Правило Ленца

Розглянемо замкнутий провідний контур, що знаходиться в магнітному полі \vec{B} , яке змінюється з часом (рис.3). Напрямок обходу контуру, позначене на рисунку стрілкою, пов'язане з напрямком вектора \vec{B} правилом правого гвинта.

Нехай магнітне поле B зростає. Тоді $\frac{d\Phi}{dt} > 0$ і ЕРС індукції, згідно із законом Фарадея, негативна: $\varepsilon_{\text{інд}} < 0$. Індукційний струм $i_{\text{інд}}^{(1)}$ у цьому випадку тече в напрямку, протилежному напрямку обходу контуру (рис.3.а), а створене цим струмом магнітне поле $B_{\text{інд}}^{(1)}$ спрямоване проти зовнішнього поля \vec{B} , тобто перешкоджає його наростання.

Нехай тепер зовнішнє поле B убуває. Тоді $\frac{d\Phi}{dt} < 0$,

$\varepsilon_{\text{інд}} > 0$, а індукційний ток $i_{\text{інд}}^{(2)}$ тече в напрямку обходу

контур. Магнітне поле $B_{\text{інд}}^{(2)}$, створене індукційним струмом, спрямоване тепер в ту ж сторону, що і зовнішнє поле і перешкоджає його спадання (рис.3б).

Сформулюємо тепер правило Ленца:

індукційний струм, що виникає в замкнутому провідному контурі, завжди має такий напрям, що створюване ним магнітне поле перешкоджає зміні магнітного потоку, який викликає даний струм.

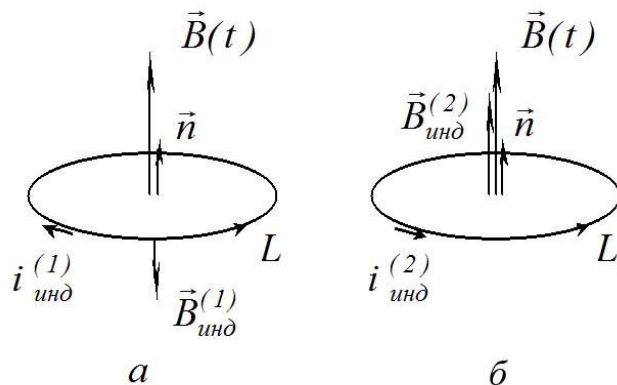


Рис.3

Застосування

Відзначимо той факт, що якщо магнітний потік перетинає рамку, що складається з N витків, то закон Фарадея приймає вигляд

$$\varepsilon_{\text{інд}} = -N \frac{d\Phi}{dt}.$$

Індукційний струм визначається за законом Ома

$$i_{\text{інд}} = \frac{\varepsilon_{\text{інд}}}{R} = -\frac{N}{R} \frac{d\Phi}{dt}.$$

Середнє значення струму $\langle i_{\text{інд}} \rangle = -\frac{N}{R} \frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$ і заряду $\langle \Delta q \rangle = -\frac{N}{R} \Delta\Phi$.

Обертання рамки в магнітному полі

За законом Фарадея

$$\varepsilon_{\text{інд}} = -\frac{d\Phi}{dt},$$

де для однорідного магнітного поля

$$\Phi = BS \cos \alpha.$$

У разі, якщо рамка обертається, то кут повороту залежить від часу наступним чином

$$\alpha = \omega t,$$

де ω - кутова швидкість обертання.

Тоді $\varepsilon_{\text{інд}} = -\frac{d}{dt}(BS \cos \omega t) = BS\omega \sin \omega t$.

Остаточно одержуємо $\varepsilon_{\text{інд}} = \varepsilon_{\text{max}} \sin \omega t$,

де $\varepsilon_{\text{max}} = BS\omega$ - максимальне значення ЕРС.

Для багатовиткової рамки $\varepsilon_{\text{інд}} = NBS\omega \sin \omega t$.

Отже $\varepsilon_{\text{max}} = NBS\omega$.

Даний метод отримання електричної енергії використовується практично у всіх електростанціях.

