

Електромагнітна індукція.

1. Закон електромагнітної індукції.
2. Правило Ленца.
3. ЕРС самоіндукції.
4. Енергія магнітного поля.

У 1831 році англійський фізик М. Фарадей експериментально відкрив важливе явище, яке стало широко використовуватись в техніці.

Якщо провідник рухати в магнітному полі так, щоб він перетинав магнітні силові лінії, то на його кінцях виникає різниця потенціалів. Це пояснюється тим, що кожний вільний електрон провідника, рухаючись разом з провідником, створює своєрідний елементарний електричний струм у просторі. При цьому виникає взаємодія елементарних струмів з магнітним полем і виникає механічна сила, що штовхає вільні електрони провідника до його кінця.

Сили, що діють на електрони, які рухаються в магнітному полі, були відкриті голландським фізиком Г.А. Лоренцом.

Вона визначається за формулою:

$$F = eBv \sin \alpha$$

де F – сила Лоренцо, e – заряд електрона, B – магнітна індукція, v – швидкість руху електрона, α – кут між напрямом руху електрона і напрямом магнітної індукції поля.

Під впливом сил Лоренцо, діючих на провідник, що рухається, на кінці А утворюється надмір електронів, тобто негативний потенціал, а на кінці Б – недостача електронів, тобто позитивний потенціал. Так виникає електрорушійна сила, яка називається індукованою.

Явищем електромагнітної індукції називається виникнення ЕРС у провіднику при перетинанні провідником магнітних силових ліній або при зміні величини магнітного потоку, пронизуючого контур.

Напрямок індукованої ЕРС у провіднику, що рухається в магнітному полі, визначається за правилом правої руки: якщо долоню правої руки розмістити в магнітному полі так, щоб магнітні силові лінії входили в долоню, а відігнутий великий палець був напрямлений у бік руху провідника, то випрямлені чотири пальці покажуть напрям ЕРС, індукованої у провіднику.

Для визначення напрямку ЕРС, індукованої в контурі або в котушці, що виникає при зміні магнітного потоку в них, використовується **правило Ленца**: індукована ЕРС завжди напрямлена так, що своїм струмом і магнітним потоком протидіє причині, що її викликала.

Якщо визначити полярність котушки від індукційного струму, то легко **визначити напрям струму**. Для цього користуються **правилом накладання правої руки на котушку**: якщо долоню правої руки розмістити так, щоб великий палець був напрямлений у бік північного полюса котушки, то випрямлені чотири пальці покажуть напрям індукційного струму у витках котушки.

Величина індукованої ЕРС при переміщенні провідника в магнітному полі визначається за формулою

$$e = Blv \sin \alpha$$

e – індукована ЕРС, В; v – швидкість руху провідника, м/с; l – довжина провідника, м; α – кут між напрямом вектора магнітної індукції і напрямом руху провідника, градус.

Коли індукована ЕРС виникає в контурі або в середині котушки за рахунок магнітного потоку, що змінюється, то величина ЕРС залежить від швидкості зміни магнітного потоку і визначається за формулою

$$e = - \frac{d\Phi}{dt}$$

де e – індукована ЕРС, В; $d\Phi = \Phi_1 - \Phi_2$ – приріст магнітного потоку, Вб; $dt = t_1 - t_2$ – приріст часу; $d\Phi / dt$ – швидкість зміни магнітного потоку, Вб/с.

Знак «мінус» відображує фізичну суть правила Ленца, тобто протидію індукованої ЕРС причині, що її викликала.

Взагалі електромагнітна індукція – це явище перетворення механічної енергії в електричну.

Якщо через котушку проходить струм, то утворюється магнітний потік Φ , зчеплений з витками котушки N . Якщо всі магнітні лінії зчеплені з усіма витками котушки, то потокозчеплення виражається формулою:

$$\psi = N\Phi, \text{ де } \psi - \text{потокозчеплення, Вб.}$$

Якщо магнітний потік змінюється, то зміна потокозчеплення визначається так: $d\psi = Nd\Phi$

Тоді індуковану ЕРС можна виразити через потокозчеплення:

$$e = - \frac{d\psi}{dt} = - N \frac{d\Phi}{dt}$$

Закон електромагнітної індукції виражається так:

Електрорушійна сила, що індукується в замкненому контурі при зміні зчепленого з ним магнітного потоку, дорівнює швидкості зміни потокозчеплення.

Якщо за допомогою потенціометра змінювати напругу, що подається на тороїдну котушку, то під час зміни величини струму в обмотці котушки змінюється магнітний потік, і тому в котушці індукуватиметься ЕРС, що називається ЕРС самоіндукції.

Самоіндукцією називається явище виникнення в провіднику або в котушці електрорушійної сили, яка утворюється внаслідок зміни власного струму і створеного ним магнітного потоку.

Явище самоіндукції — це окремий випадок електромагнітної індукції, воно спостерігається в усіх електричних колах, де змінюється величина струму. В колах змінного струму ЕРС самоіндукції виникає безперервно, а в колах постійного струму — тільки в трьох випадках, а саме:

– при замиканні кола, оскільки струм у колі зростає від нуля до деякої величини, що визначається за законом Ома;

– при розмиканні кола, оскільки струм зменшується від існуючої величини до нуля;

– при зміні величини струму за допомогою реостата або потенціометра.

Напрямок ЕРС самоіндукції визначається за правилом Ленца, тобто при збільшенні величини струму в колі виникає ЕРС самоіндукції, протилежна за напрямом до струму, так, що протидіє його зростанню, яке є причиною виникнення ЕРС.

Для визначення величини ЕРС самоіндукції користуються формулою, за якою визначається величина ЕРС електромагнітної індукції, що виникає у котушці при зміні магнітного потоку:

$$e = - \frac{d\psi}{dt} = - N \frac{d\Phi}{dt}$$

Згідно із законом Ома для магнітного кола постійного струму

$$\Phi = \frac{\mu N_a S I}{l}$$

Для змінного струму формула має вигляд:

$$\Phi = \frac{\mu N_a S di}{l}$$

де di – приріст струму, $d\Phi$ – приріст магнітного потоку. Підставимо значення $d\Phi$ у формулу для e :

$$e = - \mu \frac{d\Phi}{dt} = - \mu \frac{N \frac{d(N_a S di)}{dt}}{l}$$

Звідси дістанемо формулу для визначення величини ЕРС самоіндукції у котушці:

$$e_L = - \frac{N^2 \mu S}{l} \frac{di}{dt}$$

де e_L – ЕРС самоіндукції, В; N – кількість витків котушки; μ_a – абсолютна магнітна проникність, Гн/м; S – площа поперечного перерізу котушки, м²; l – довжина котушки, м; di/dt – швидкість зміни струму в котушці, А/с.

У формулі для e_L величина $N^2 \mu_a S / l$ є сталою, позначається буквою L і називається коефіцієнтом самоіндукції або індуктивністю. Одиницею індуктивності є Генрі (Гн).

ЕРС самоіндукції у котушці визначається за формулою:

$$e_L = -L \frac{di}{dt}$$

Звідси величина ЕРС самоіндукції прямо пропорційна швидкості зміни струму та індуктивності котушки.

В системі магніто-зв'язаних котушок ЕРС, що виникає у витках другої котушки від зміни магнітного потоку першої котушки, називається ЕРС взаємоіндукції.

Явище виникнення ЕРС в провідниках, розміщених поблизу інших провідників, по яких проходить змінний у часі електричний струм, називається взаємоіндукцією. ЕРС взаємоіндукції утворюватиметься також при замиканні та розмиканні кола першої котушки тому, що при цьому теж відбувається зміна струму і його магнітного потоку від нуля до сталої величини і від сталої величини до нуля.

Явище електромагнітної індукції широко застосовується у техніці, наприклад на електростанціях в генераторах великої потужності, які перетворюють механічну енергію в електричну. Це явище застосовують також у пристроях, що працюють з досить малими потужностями (звукознімачі електропрогравачів, які забезпечують відтворення грампластинок; магнітофони; електродинамічні мікрофони). Потужності, що розвиваються у цих пристроях, вимірюються долями мікроват.