

Електромагнітне поле

Б.9.3.1 Магнітне поле струму

1. Навколо будь-якого провідника зі струмом, навколо будь-якої рухомої зарядженої частинки або тіла існує магнітне поле.

2. Лінії, вздовж яких у магнітному полі розташовуються вісі маленьких магнітних стрілок (або залізні ошурки), називають силовими лініями магнітного поля.

3. Силові лінії магнітного поля є замкненими кривими.

4. За напрям силових ліній магнітного поля взятий напрям, що показує північний полюс магнітної стрілки у кожній точці поля.

5. Магнітні силові лінії магнітного поля прямого провідника зі струмом являють собою концентричні кола, центри яких знаходяться на провіднику, й розміщені в площині, перпендикулярної до провідника.

6. Напрямок магнітних силових ліній магнітного поля, що існує навколо прямого провідника зі струмом, можна визначити за правилом свердлика.

Б.9.3.2 Електромагніт

1. Котушка зі струмом, як і постійний магніт, має два полюси – північний і південний.

2. Магнітне поле котушки зі струмом діє тим сильніше, чим більша сила струму у витках і чим більша кількість витків припадає на одиницю довжини котушки.

3. Дія магнітного поля котушки зі струмом різко збільшується у разі внесення в неї залізного стержня.

Котушку з уміщеним у неї залізним осердям називають електромагнітом.

Б.9.3.3 Постійні магніти. Магнітне поле Землі.

1. Властивості постійних магнітів:

- різні частини магніту по-різному притягують залізні предмети; найбільше притягують полюси магнітів;

- магніт завжди має два полюси: північний і південний і не може бути магніту з одним полюсом;

- різноименні полюси магнітів притягуються, а однойменні – відштовхуються;

- підвішений на нитці магніт розміщується так, що вказує напрям на північ і на південь;

- Земля є велетенським магнітом.

2. Силові лінії магнітних полів, що створюються постійними магнітами, завжди замкнені, як і в котушці зі струмом.

Поза магнітом ці лінії виходять з північного полюса і входять у південний, замикаючись у середині магніту.

3. Південний магнітний полюс Землі знаходиться на півночі, але він не збігається

точно з північним географічним полюсом.

Північний магнітний полюс Землі міститься поблизу південного географічного полюса.

Б.11.5.1 Магнітне поле струму

1. У випадку однакового напрямку струмів провідники притягуються, якщо ж струми протилежного напрямку – провідники відштовхуються.

Взаємодія провідників із струмами пояснюється тим, що навколо них існують магнітні поля і на кожен провідник із струмом діє магнітне поле іншого провідника.

2. Магнітне поле – це вид матерії, за допомогою якого здійснюється взаємодія електричних струмів, коли вони знаходяться на відстані.

3. Магнітне поле створюється лише рухомими зарядами і діє лише на рухомі заряджені тіла та не чинить жодного впливу на нерухомі заряджені частинки.

4. Лінії вздовж яких у магнітному полі розташовуються вісі маленьких магнітних стрілок, називають силовими лініями магнітного поля. Силу лінію проводять так, що дотична до неї у будь-якій її точці вказує на напрям сили, яка діє в цій точці на північний полюс магнітної стрілки.

5. Магнітні силові лінії завжди замкнуті. Це свідчить про те, що в природі не існує “магнітних зарядів”.

Б.9.3.4 Дія магнітного поля на провідник із струмом

1. Якщо помістити провідник із струмом у магнітне поле, то на нього діятиме сила, яку називають силою Ампера.

2. Напрямок сили Ампера можна визначити за правилом лівої руки.

3. Сила Ампера тим більша, чим сильніше поле магніту і чим більша сила струму в провіднику. Вона також залежить від розміщення провідника в магнітному полі.

Б.11.5.2 Сила Ампера

1. Сила F , яка діє в магнітному полі на провідник із струмом, прямо пропорційна силі струму I , довжині провідника l , синусу кута α між напрямками струму і силових ліній і залежить від магнітного поля.

$$F = B \cdot I \cdot l \cdot \sin \alpha .$$

2. Множник B у цій формулі виражає залежність сили від того магнітного поля, в якому знаходиться провідник із струмом.

3. Якщо провідник розміщений перпендикулярно до силових ліній поля ($\alpha = 90^\circ$), формула набуває вигляду:

$$F = B \cdot I \cdot l .$$

Ця формула була виведена А.Ампером і називається вона законом Ампера, а силу F , яка діє на провідник зі струмом у магнітному полі, називають силою Ампера.

Б.11.5.3 Магнітна індукція

1. Для кожної точки магнітного поля відношення сили Ампера до добутку сили

струму на довжину провідника є величина стала, не залежить від властивостей провідника, внесеного в поле. Ця величина є силовою характеристикою магнітного поля і називається магнітною індукцією.

$$B = \frac{F}{I \cdot l}.$$

2. Магнітна індукція в даній точці поля вимірюється силою, яка діє на одиницю довжини провідника, вміщеного в цю точку перпендикулярно до силових ліній, якщо сила струму в провіднику дорівнює одиниці.

3. Магнітна індукція – векторна величина. Напрямок вектора магнітної індукції збігається з дотичною до силових ліній поля.

4. В СІ магнітна індукція вимірюється в тесла (Тл):

$$1\text{Тл} = 1 \frac{\text{Н}}{\text{А} \cdot \text{м}}.$$

5. Силові лінії магнітного поля (лінії індукції) проводяться з такою густиною, щоб кількість ліній, які перетинають одиницю поверхні, перпендикулярну до них, була пропорційною значенню магнітної індукції в даній частині поля.

6. Магнітне поле, в якому магнітна індукція у всіх його точках однакова, називається однорідним.

Лінії індукції однорідного магнітного поля є паралельними прямими, розташованими на однакових відстанях одна від одної.

Б.11.5.4 Магнітний потік

1. Магнітним потоком Φ через площадку S , розташовану перпендикулярно до ліній індукції, називають величину, що дорівнює добутку магнітної індукції B на її площу S :

$$\Phi = B \cdot S.$$

2. Якщо магнітна індукція $\vec{B}$ не перпендикулярна до площадки S , то магнітний потік дорівнює:

$$\Phi = BS \cos \alpha,$$

де α – кут між вектором $\vec{B}$ і перпендикуляром, встановленим до площадки S .

3. В СІ магнітний потік вимірюється у веберах (Вб):

$$1\text{Вб} = 1\text{Тл} \cdot \text{м}^2.$$

4. Робота магнітних сил дорівнює добуткові сили струму на зміну магнітного потоку через контур обмежений провідником:

$$A = I \cdot (\Phi_2 - \Phi_1) = I \cdot \Delta \Phi.$$

Б.11.5.5 Сила Лоренца

1. Сила, що діє на заряджену частинку, яка рухається в магнітному полі, пропорційна зарядові частинки, швидкості її переміщення та індукції магнітного поля:

$$F_L = e \cdot v \cdot B \cdot \sin \alpha,$$

де α – кут між векторами магнітної індукції і швидкості руху частинки.

Ця сила називається силою Лоренца.

2. Якщо заряджена частинка влітає в однорідне магнітне поле так, що її швидкість руху перпендикулярна до силових ліній, то вона описуватиме коло.

3. Напрямок сили Лоренца можна визначити, скориставшись правилом лівої руки (треба лише завжди враховувати знак заряду частинки).

Б.11.5.6 Магнітні властивості речовини

1. Усі речовини в магнітному полі намагнічуються, тобто стають джерелами магнітного поля.

2. У кожному атомі чи молекулі рухаються замкнутими орбітами електрони і цей рух електронів еквівалентний за своїми магнітними властивостями замкнутому струмові звичайного провідника. Тому атоми і молекули мають магнітні властивості.

3. Якщо речовина не намагнічена, то електронні струми розташовані в ній хаотично і сумарна їх магнітна дія дорівнює нулеві.

Намагнічену речовину можна розглядати як систему мікроскопічних орієнтованих струмів.

4. Результуюче магнітне поле в середовищі є сумою полів, створюваних струмом і намагніченим середовищем, і тому не дорівнює полю у вакуумі.

5. Величину, що показує у скільки разів магнітна індукція в речовині більша за магнітну індукцію, створювану цим самим струмом у вакуумі, називають відносною магнітною проникністю деякої речовини:

$$\mu = \frac{B}{B_0}.$$

6. Залежно від значення відносної магнітної проникності всі речовини можна розділити на дві групи: 1) парамагнетики ($\mu > 1$); 2) діамагнетики ($\mu < 1$).

Б.11.5.7 Феромагнетики

1. Є речовини в яких при звичайних температурах μ набагато більша за одиницю, які дістали назву феромагнетиків.

2. У феромагнетиках внутрішнє магнітне поле може в сотні й тисячі разів перевищувати зовнішнє магнітне поле.

3. Характерною ознакою феромагнетиків є складна залежність індукції внутрішнього поля намагніченого феромагнетика від індукції зовнішнього поля намагнічуючих струмів.

4. Є така температура яка має назву точки Кюрі, вище якої феромагнітні

властивості речовини зникають.

Електромагнітна індукція

Б.11.1.1 Явище електромагнітної індукції

1. Явища в змінних у часі магнітних і електричних полях дістали назву явищ електромагнітної індукції.

2. У провіднику, з'єднаному з гальванометром, що рухається в магнітному полі і перетинає лінії магнітної індукції, виникає електричний струм, який називається індукційним

3. Індукційний електричний струм виникає при зміні магнітного потоку через площу, обмежену будь-яким провідним контуром.

Б.11.1.2 Індукційне електричне поле

1. Змінне магнітне поле супроводжується виникненням у навколишньому просторі індукційного електричного поля.

Це поле ніяк не пов'язане з наявністю в даній частині простору провідника. Наявність провідника лише дає змогу виявити це поле за збудженим ним електричним струмом.

2. Індукційне електричне поле створює ЕРС у замкнутому контурі, отже, його робота по переміщенню зарядів замкнутим шляхом не дорівнює нулю.

3. Лінії напруженості індукційного електричного струму є замкнутими лініями – вони ніби охоплюють магнітне поле. Це поле називають вихровим електричним полем.

4. Індукційне (вихрове) електричне поле характеризується його напруженістю і роботою, яку виконує поле (точніше, сила, яка діє збоку поля на заряд) при переміщенні в ньому електричного заряду.

Б.11.1.3 Закон електромагнітної індукції

1. Основний закон електромагнітної індукції формулюється так: ЕРС індукції прямо пропорційна швидкості зміни магнітного потоку через площу контуру замкнутого провідника

$$\xi_i = \left| \frac{\Delta \Phi}{\Delta t} \right|.$$

2. Під час збудження ЕРС індукції сторонні сили діють у всіх точках контуру, площа якого пронизується змінним магнітним потоком.

3. Якщо у змінне поле внести котушку з n витків, то ЕРС індукції буде в n раз більша

$$\xi_i = \left| \frac{\Delta \Phi}{\Delta t} \right|$$

4. ЕРС індукції створює в замкнутому контурі опором R індукційний електричний струм. Він, як і будь-який електричний струм, підкоряється закону Ома:

$$I = \frac{\xi}{R} = \frac{1}{R} \cdot \left| \frac{\Delta \Phi}{\Delta t} \right|.$$

5. Загальне правило визначення напрямку індукційного струму називається правилом Ленца: індукційний струм у замкнутому контурі має такий напрям, що створений ним магнітний потік через площу, обмежену контуром, прагне компенсувати ту зміну магнітного потоку, яка викликає даний струм.

Б.11.1.4 Рух провідника у незмінному магнітному полі

1. Під час руху провідника у магнітному полі, що не змінюється з часом, швидкість якого напрямлена під кутом до вектора магнітної індукції, виникає ЕРС індукції.

2. Роль сторонніх сил відіграє сила Лоренца, яка діє на вільні заряджені частинки, що рухаються разом з провідником у магнітному полі.

3. ЕРС, яка виникає в провіднику під час його руху в магнітному полі, прямо пропорційна його довжині, швидкості руху, магнітній індукції і синусу кута між векторами швидкості і магнітної індукції:

$$\xi_i = B \cdot l \cdot v \cdot \sin \alpha.$$

4. Напрямок індукційного струму в прямолінійному провіднику під час руху в магнітному полі можна визначити за правилом правої руки: якщо праву руку розмістити вздовж провідника так, що лінії магнітної індукції входили у долоню, а відігнутий великий палець показував напрям руху провідника, то витягнуті чотири пальці вкажуть напрям струму у провіднику.

Б.11.1.5. Самоіндукція. Індуктивність

1. Виникнення ЕРС в провіднику при зміні сили струму в ньому самому називається самоіндукцією.

2. Явище самоіндукції пояснюється тим, що провідник зі струмом міститься у власному магнітному полі і, якщо це поле змінюється, то в провіднику має збуджуватись ЕРС індукції.

3. Магнітний потік через площу, обмежену контуром струму, пропорційний силі струму:

$$\Phi = L \cdot I$$

коефіцієнт L називається індуктивністю провідника або його коефіцієнтом самоіндукції.

4. ЕРС самоіндукції в полі пропорційна швидкості зміни сили струму в цьому полі:

$$\xi_c = -L \cdot \frac{\Delta I}{\Delta t}.$$

5. Індуктивність – це фізична величина, що чисельно дорівнює ЕРС самоіндукції, яка виникає в полі при зміні сили струму на 1А за 1с.

В СІ індуктивність вимірюється в генрі (Гн):

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

Індуктивність контуру можна розглядати як міру його інертності відносно зміни сили струму в ньому.

Б.11.1.6 Енергія магнітного поля

1. Явище електромагнітної індукції ґрунтується на взаємних перетвореннях енергії електричного струму і магнітного поля.

2. Магнітне поле котушки зі струмом має енергію:

$$W_M = \frac{1}{2} \cdot L \cdot I^2.$$

Змінний струм

Б.11.2.4 Змінний струм

1. Змінний струм – це по суті вимушені коливання електричних зарядів у провіднику під дією прикладеної змінної ЕРС.

2. Коли в однорідному магнітному полі рівномірно обертається провідний контур, то в ньому збуджується ЕРС, яка змінюється за законом:

$$\xi = \xi_m \cdot \sin \omega \cdot t.$$

Під час замикання цього контуру на зовнішнє коло, в колі йтиме синусоїдальний змінний струм:

$$i = \frac{\xi}{R} = \frac{\xi_m}{R} \cdot \sin(\omega \cdot t + \varphi) = I_m \cdot \sin(\omega \cdot t + \varphi).$$

3. Змінний струм є гармонічним коливанням. Тому його характеристики мають назви: ξ_m – амплітуда електрорушійної сили; I_m – амплітуда сили струму; ω – циклічна частота; ωt – фаза струму.

Змінний струм характеризується також періодом T і частотою ν , причому

$$\omega = \frac{2\pi}{T} = 2\pi\nu.$$

Б.11.2.5 Діючі значення напруги і сили струму

1. В колі змінного синусоїдального струму напруга і сила струму весь час змінюються. Характеристиками такого струму є діючі значення сили струму і напруги.

2. Середня за період потужність змінного струму дорівнює відношенню сумарної енергії, яка надійшла в коло за період, до тривалості періоду.

Середня потужність за період дорівнює:

$$\bar{P} = \frac{1}{2} \cdot I_m \cdot U_m.$$

3. Змінний струм характеризується не амплітудними значеннями, а значеннями в $\sqrt{2}$ раз меншими, тобто:

$$I = \frac{I_m}{\sqrt{2}} \quad \text{і} \quad U = \frac{U_m}{\sqrt{2}}, \quad \text{то} \quad \bar{P} = I \cdot U.$$

Значення I і U дістали назву діючих значень сили струму і напруги відповідно.

4. Шкали вимірювальних приладів змінного струму (амперметри і вольтметри) градуйовані саме в цих значеннях.

Б.11.2.6 Трансформатор

1. Перетворення змінного струму певної частоти, при якому напруга підвищується або зменшується в кілька разів практично без втрат потужності, здійснюється за допомогою трансформаторів.

2. У найпростішому випадку трансформатор складається з двох котушок (обмоток), навітих на замкнуте залізне осердя.

Одна з обмоток – первинна – вмикається до джерела змінної напруги.

3. Принцип дії трансформатора: під час проходження первинною обмоткою змінного струму в осерді виникає змінний магнітний потік; оскільки магнітний потік існує практично лише всередині осердя й однаковий у всіх перерізах, то в кожному витку вторинної обмотки виникає ЕРС індукції.

4. Якщо первинна обмотка має n_1 витків, а вторинна n_2 , то ЕРС індукції в обмотках прямо пропорційна кількості витків в них:

$$\frac{\xi_1}{\xi_2} = \frac{n_1}{n_2} = k$$

5. Коефіцієнтом трансформації k трансформатора називається відношення напруги на затискачах первинної обмотки до напруги на затискачах його вторинної

обмотки при холостому ході (при розімкненому колі вторинної обмотки).

6. У підвищувальному трансформаторі $k < 1$, у знижувальному – $k > 1$.

7. При постійному навантаженні вторинної обмотки

$$\frac{I_2}{I_1} \approx \frac{U_1}{U_2} \approx \frac{\xi_1}{\xi_2} = \frac{n_1}{n_2} = \frac{1}{k}.$$