1.2. Електромагнетизм

Прочитайте і опрацюйте:

Л6, с. 59…83; Л10, с. 164…240.

Короткі теоретичні відомості та методичні вказівки:

1. Магнітне поле і його характеристика

Навколо провідника зі струмом виникає магнітне поле. Це поле впливає на магнітну стрілку, два провідники взаємодіють один з одним. Силова дія магнітного поля має й інші прояви. За класичною теорією електромагнетизму джерелами магнітного поля є електричні макро- та мікроструми.

Фарадеєм був запроваджений термін «магнітне поле». Згодом класичну теорію магнітного поля побудував Максвелл, а у XX сторіччі з'явилась квантова теорія магнітного поля.

Величина та напрям магнітного поля характеризуються його напруженістю *H.* Магнітне поле змінює стан середовища. Стан середовища, що змінився під впливом магнітного поля, характеризується магнітною індукцією *B.*

Магнітна індукція та напруженість зв'язані співвідношеннями

$$\frac{B}{H} = \mu_a ; \mu = \frac{\mu_a}{\mu_o} \qquad (1.2.1.)$$

де μ_a - абсолютна магнітна проникність, μ - відносна магнітна проникність, μ_o - магнітна стала.

За магнітними властивостями середовище буває феромагнітним ($\mu >> 1$), парамагнітним ($\mu \geq 1$), діамагнітним ($\mu < 1$).

2.Феромагнетики

У феромагнітних матеріалах магнітна проникність велика, та не стала. Ці матеріали намагнічуються в магнітному полі, тобто після закінчення дії магнітного поля вони зберігають магнітні властивості. Ці матеріали називаються феромагнетиками.

Магнітна проникність феромагнетиків не є сталою, тому використовується *крива намагнічування* (рис. 1.2.1). Кривою намагнічування називається залежність магнітної індукції від напруженості магнітного поля. Типова крива намагнічування має лінійну ділянку та ділянку насичення. Лінійну ділянку використовують при роботі феромагнетика у вимірювальних приладах, коли треба зберегти лінійну залежність магнітних властивостей матеріалу від напруженості магнітного поля.

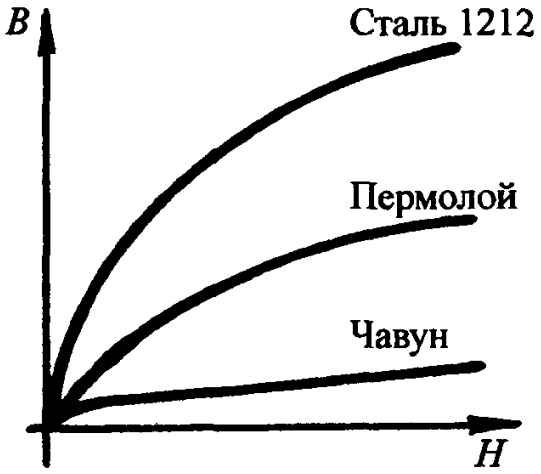


Рис. 7 3

Рис. 1.2.1

Ділянку насичення використовують у таких приладах, де феромагнетик має забезпечити постійну та максимальну магнітну індукцію (генератори постійного струму, двигуни тощо).

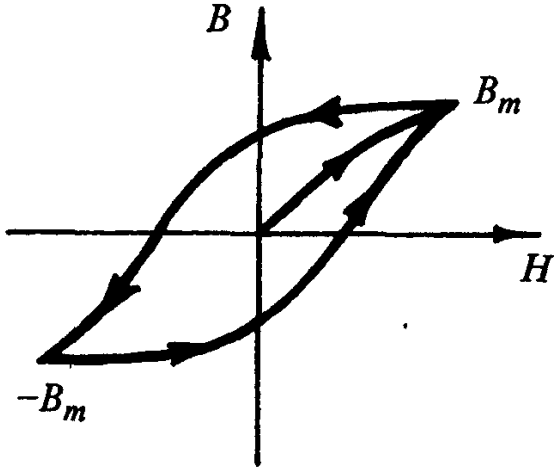


Рис. 7.4

Рис. 1.2.2

ого намагнічування феромагнетика, то можна
ис. 1.2.2) Форма та площа петлі залежить від
гістерезису визначаються характеристики

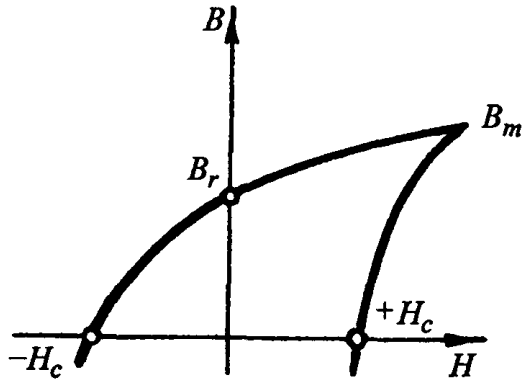


Рис 7.5

Рис. 1.2.3

феромагнітного матеріалу. Петля гістерезису визначається основними величинам (рис.1.2.3.):

а) індукцією насичення (B_m) максимальною індукцією, котру може забезпечити феромагнетик;

б) залишковою індукцією (B_r), котра встановлюється у феромагнетиці при вимкненні поля;

в) коерцитивною силою (H_c), тобто значенням напруженості поля, необхідного для розмагнічення феромагнетика (для встановлення індукції $B = 0$).

Площа петлі гістерезису пропорційна енергії, що витрачається на перемагнічування матеріалу. Коерцитивна сила характеризує спроможність матеріалу зберігати залишкову намагніченість.

В електротехнічних приладах застосовують холоднокатану електротехнічну сталь (марки 3412...3416), гарячекатану електротехнічну сталь (марки 1211,1212,1213,1311,1312,1313,1411,1412,1413,1511,1512, 1513, 1514) тощо.

Найпоширенішими є сплави типу ЮНДК (залізо, кобальт, нікель, алюміній) з великою коерцитивною силою.

Магнітні характеристики феромагнетиків погіршуються від механічних ударів і підвищення температури. Сталі магніти при цьому розмагнічуються.

3. Провідник із струмом в магнітному полі

Якщо провідник із струмом розташовано в магнітному полі, виникає електромагнітна сила (сила Лоренца), яка діє на цей провідник. Припустимо, що провідник довжиною l знаходиться у однорідному магнітному полі з індукцією B і напрям струму не перпендикулярний до вектора магнітної індукції (рис. 1.2.4). Величину електромагнітної сили можна знайти з визначення електромагнітної індукції :

$$F = B \cdot I \cdot l \qquad (1.2.2)$$

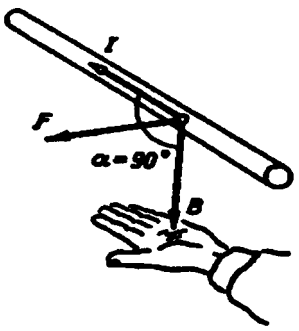


Рис 16.1

Рис.1.2.4

Напрям сили знаходять за *правилом лівої руки:* якщо розташувати долоню лівої руки так, щоб вектор магнітної індукції входив в неї і чотири витягнуті пальці були спрямовані за струмом, то відхилений під прямим кутом великий палець вкаже напрям сили.

Якщо кут *a* між напрямом струму і вектором індукції не дорівнює 90°, то сила *F* пропорційна sinα, тобто в цьому випадку:

$$F = B \cdot I \cdot l \cdot \sin\alpha \qquad (1.2.3)$$

Електромагнітні сили знаходять широке використання в техніці. Завдяки ним працюють електродвигуни, вимірювальні прилади тощо.

4. Електрон в магнітному полі

Розглянемо частинку з величиною заряду *Q,* яка рухається в однорідному магнітному полі із швидкістю *v* перпендикулярно до магнітних силових ліній. Цю частинку можна розглядати як частинку струму у провіднику, на який діє електромагнітна сила. Отже, і на заряджену частинку діятиме сила з боку магнітного поля. Спробуємо встановити величину цієї сили за вже відомою формулою (1.2.2).

Якщо замінити силу струму за визначенням $\left(I = \frac{Q}{t}\right)$ і врахувати, що швидкість *v*, одержимо:

$$F = B\frac{Q}{t}l = BQ\frac{l}{t} = BQv \qquad (1.2.4)$$

Таким чином, видно, що електромагнітна сила залежить від величини заряду та швидкості руху частинки. Напрям сили можна визначити за правилом лівої руки, якщо заряд частинки позитивний. Якщо ж заряд її негативний, напрям сили буде протилежний визначеному за правилом лівої руки.

Вплив магнітного поля на потік заряджених часток широко використовується в техніці для розподілу частинок з різними характеристиками, для фокусування електронних променів в електронно-променевих трубках тощо.

5. Електромагнітна індукція.

Як ми вже з'ясували раніше, на кожну заряджену частинку, що рухається у магнітному полі, діє електромагнітна сила. Напрям цієї сили визначається за правилом лівої руки.

Електромагнітні сили викликають переміщання електронів на один кінець провідника, утворюючи в ньому негативний заряд. На другому його кінці виникає позитивний заряд, бо електронів там не вистачає. Таким чином на кінцях провідника утворюється різниця потенціалів, або виникає електрорушійна сила (ЕРС) електромагнітної індукції.

Електрорушійна сила виникає також у контурі (котушці), якщо магнітний потік, зчеплений з ним, змінюється. При цьому напрям ЕРС буде позитивним (згідно з правилом свердлика), якщо магнітний потік зменшуватиметься, і негативним (протилежним), якщо потік збільшуватиметься. Ці явища були встановлені М. Фарадеєм у 1831 р. і одержали назву електромагнітної індукції.

Електромагнітною індукцією називається явище виникнення ЕРС у провіднику при перетині ним магнітного потоку, або в контурі при зміні зчепленого з ним магнітного потоку.

*Закон електромагнітної індукції для лінійного провідника***:** ЕРС, що виникає у провіднику при перетині ним магнітного потоку, дорівнює добутку магнітної індукції поля, швидкості та активної довжини провідника і залежить від кута між напрямами швидкості та магнітної індукції.

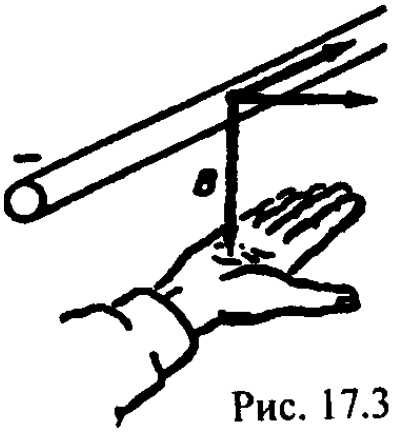


Рис. 17.3 *Рис. 1.2.5*

Напрям ЕРС визначається за *правилом правої руки* (рис. 1.2.5): якщо праву руку розташувати так, щоб силові лінії магнітного поля входили в долоню, а відхилений великий палець вказував напрям швидкості переміщання провідника, то витягнуті чотири пальці вкажуть напрям ЕРС.

Закон електромагнітної індукції для контуру: ЕРС електромагнітної індукції, що виникає в замкненому контурі при зміні зчепленого з ним магнітного потоку, дорівнює швидкості зміни потокозчеплення, взятої з від'ємним знаком.

6. Самоіндукція та взаємоіндукція.

Явище електромагнітної індукції, відбувалось у зовнішньому магнітному полі. Але ЕРС в контурі (котушці) виникає також при зміні його власного магнітного потоку, який, в свою чергу, змінюється при зміні струму в контурі.

Явище збудження ЕРС в контурі при зміні його власного магнітного потоку називається *самоіндукцією.*

ЕРС самоіндукції згідно із законом електромагнітної індукції залежить від швидкості зміни потокозчеплення самоіндукції: $\Psi_L = w \cdot \Phi = L \cdot i$

$$e = -\frac{d\Psi_L}{dt} = -L\frac{di}{dt} \qquad (1.2.5)$$

тобто залежить від швидкості зміни струму в контурі, протидіючи будь-якій його зміні. Коефіцієнт L (індуктивність) можна вважати показником магнітної інерційності електричного контуру (котушки).

Зрозуміло, що ЕРС буде також збуджуватися в контурі при зміні магнітного потоку (струму) в іншому контурі, який з ним магнітно зв'язаний .

Явище збудження ЕРС в одному контурі при зміні магнітного потоку іншого контуру називається *взаємоіндукцією.*

ЕРС взаємоіндукції, які виникають у магнітно зв'язаних контурах, залежать від швидкості зміни потокозчеплення взаємоіндукції, тобто від їх взаємної індуктивності та швидкості зміни струмів в контурах.

Явище взаємоіндукції широко використовується в техніці, наприклад, в електричних трансформаторах.

7. Вихрові струми.

Як було показано раніше, в замкненому контурі, який перетинається змінним магнітним потоком, виникає ЕРС електромагнітної індукції. Якщо контур провідний, то під впливом ЕРС в ньому протікає струм. Струми виникають у будь-яких провідних тілах, розташованих у змінному магнітному полі. Ці струми замикаються у контурах, площини яких перпендикулярні напряму магнітного потоку, і називаються *вихровими струмами*.

Наприклад, при проходженні змінного струму по котушці із суцільним осердям (рис. 1.2.6 а) в ньому будуть наводитися вихрові струми (показані штриховими лініями).

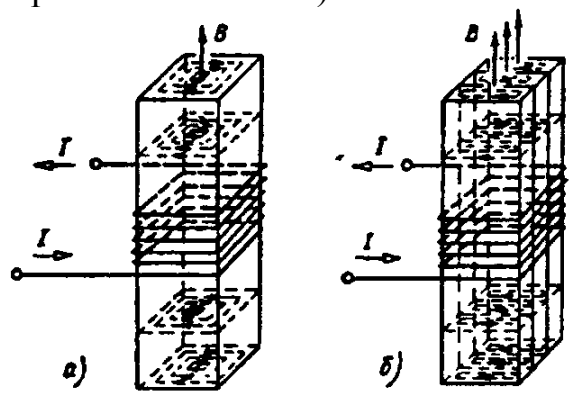


Рис. 18.2

Рис. 1.2.6

тне поле, яке послаблює магнітне поле котушки та розмагнічує осердя. Крім того, вихрові струми, нагріваючи осердя, викликають зміну його магнітних характеристик і непродуктивні втрати енергії, знижуючи ККД електромагнітних пристроїв. Ці втрати енергії називаються *втратами від вихрових струмів.*

Враховуючи величезну кількість трансформаторів, електродвигунів та інших електромагнітних пристроїв, що використовуються в народному господарстві, стає зрозумілим, яке важливе значення для збереження електроенергії має боротьба з вихровими струмами.

Але у ряді випадків вихрові струми використовуються в електротехніці, наприклад, у вимірювальних приладах індукційної системи, при індукційному нагріві та плавленні металів тощо.

Запам'ятайте:

Для зменшення вихрових струмів застосовуються:

1) магнітопроводи з листової електротехнічної сталі з домішкою кремнію, які мають збільшений питомий електричний опір;

2) магнітопроводи, виконані з окремих ізольованих один від одного листів сталі (рис. 10, б) товщиною 0,35-0,5 мм, внаслідок чого збільшується опір магнітопроводу для вихрових струмів.