Лекция 4. Электромагнетизм. Магнитные цепи

4.1. Магнитное поле и его параметры

Магнитное поле — особый вид материи, возникающий вокруг проводников с током и постоянных магнитов. Оно действует на движущиеся заряды и магниты.

- Магнитная индукция (B) — силовая характеристика поля. Единица — тесла (Тл).
- Магнитный поток (Φ) — поток вектора B через площадь S: $\Phi = B \times S \times \cos \alpha$. Единица — вебер (Вб).
- Напряжённость магнитного поля (H) — характеристика, не зависящая от среды. Единица — А/м.
- Магнитная проницаемость (μ) — показывает, во сколько раз поле в среде сильнее, чем в вакууме. $\mu = \mu_0 \times \mu_r$, где $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7}$ Гн/м.

4.2. Правило буравчика и правило левой руки

Правило буравчика (для определения направления магнитного поля вокруг проводника): если буравчик ввинчивать по направлению тока, то направление вращения рукоятки укажет направление магнитных линий.

Правило левой руки (для определения силы, действующей на проводник с током в магнитном поле): если левую руку расположить так, чтобы магнитные линии входили в ладонь, а четыре пальца — по направлению тока, то отогнутый большой палец покажет направление силы (силы Ампера).

$$F = B \times I \times L \times \sin \alpha \quad \text{— сила Ампера [Н]}$$

4.3. Закон электромагнитной индукции (закон Фарадея)

ЭДС индукции, возникающая в контуре, равна скорости изменения магнитного потока через этот контур:

$$\mathcal{E} = -d\Phi/dt \quad [В]$$

Знак «минус» — правило Ленца: индукционный ток всегда направлен так, чтобы противодействовать причине, его вызвавшей.

ЭДС самоиндукции — ЭДС, возникающая в катушке при изменении собственного тока:

$$\mathcal{E}_L = -L \times dI/dt, \text{ где } L \text{ — индуктивность [Гн]}$$

4.4. Магнитные цепи

Магнитная цепь — устройство, по которому замыкается магнитный поток. Состоит из магнитопровода (обычно из ферромагнитного материала) и катушки с током, создающей магнитодвижущую силу (МДС).

$$F = I \times w \quad [А], \text{ где } w \text{ — число витков катушки}$$

Закон Ома для магнитной цепи:

$$\Phi = F / R_м, \text{ где } R_м = L / (\mu \times S) \text{ — магнитное сопротивление}$$

4.5. Намагничивание и гистерезис

Ферромагнетики (железо, сталь, кобальт, никель) усиливают магнитное поле. При намагничивании магнитная индукция растёт по кривой намагничивания, затем наступает магнитное насыщение.

При уменьшении напряжённости поля индукция не возвращается по той же кривой — это явление называется магнитным гистерезисом. Остаточная индукция B_r — индукция при H = 0. Коэрцитивная сила H_c — напряжённость, необходимая для размагничивания.

- Магнитомягкие материалы (электротехническая сталь) — узкая петля, легко намагничиваются и размагничиваются. Для сердечников трансформаторов и двигателей.
- Магнитотвёрдые материалы — широкая петля, сохраняют намагниченность. Для постоянных магнитов.

4.6. Практика электромонтёра

- Принцип работы трансформатора, электродвигателя, генератора — основан на электромагнитной индукции.
- Катушка с железным сердечником имеет значительно бóльшую индуктивность, чем без сердечника.
- При размыкании цепи с катушкой (реле, контактор) возникает ЭДС самоиндукции, которая может давать искру — для защиты ставят искрогасящие RC-цепи или диоды.
- Шихтование магнитопровода (набор из тонких листов) уменьшает вихревые токи и нагрев.