Лекция 7. Магнитные материалы. Ферромагнетизм

7.1. Магнитные свойства материалов

Магнитные материалы классифицируются по величине магнитной проницаемости (μ) и характеру взаимодействия с внешним магнитным полем:

- Диамагнетики — слабо намагничиваются против поля (μ < 1): медь, серебро, водород.
- Парамагнетики — слабо намагничиваются по полю (μ > 1): алюминий, платина, воздух.
- Ферромагнетики — сильно намагничиваются по полю (μ >> 1): железо, никель, кобальт и их сплавы.

Ферромагнетики — основной класс магнитных материалов в электротехнике. Магнитная проницаемость ферромагнетиков может достигать десятков тысяч. Они способны сохранять намагниченность после снятия внешнего поля.

7.2. Основные магнитные характеристики

Магнитная индукция (B) — плотность магнитного потока в материале. Измеряется в теслах (Тл). В технической стали может достигать 1,5–2,0 Тл.

Напряжённость магнитного поля (H) — сила, создающая магнитный поток. Измеряется в А/м. Зависит от тока и числа витков обмотки.

Магнитная проницаемость (μ) — отношение индукции к напряжённости: $\mu = B/(\mu_0 \cdot H)$, где $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$ Гн/м — магнитная постоянная.

Кривая намагничивания — зависимость B от H. При увеличении H индукция растёт, но затем наступает магнитное насыщение — дальнейшее увеличение H не приводит к росту B.

Гистерезис — отставание изменения индукции от изменения напряжённости поля. При циклическом перемагничивании образуется петля гистерезиса. Площадь петли пропорциональна потерям энергии на перемагничивание.

Остаточная индукция (B_r) — индукция в материале после снятия внешнего поля. Коэрцитивная сила (H_c) — напряжённость обратного поля, необходимая для полного размагничивания. Эти параметры определяют, будет ли материал магнитомягким или магнитотвёрдым.

7.3. Потери в магнитных материалах

При работе в переменном магнитном поле в ферромагнетиках возникают потери энергии, которые нагревают материал. Различают два вида потерь:

- Потери на гистерезис — энергия, затрачиваемая на перемагничивание (площадь петли гистерезиса). Зависят от частоты и материала.
- Потери на вихревые токи — нагрев материала токами, которые индуцируются в самом материале переменным магнитным полем. Уменьшаются увеличением удельного сопротивления материала и его утончением (шихтование).

Для уменьшения потерь на вихревые токи сердечники трансформаторов и двигателей набирают из тонких листов электротехнической стали (0,35–0,5 мм), изолированных друг от друга лаком. Чем тоньше листы и выше частота, тем меньше потери. На высоких частотах применяют ферриты — полупроводниковые магнитные материалы с высоким удельным сопротивлением.