61 Законы магнитных цепей

Сумма вошедших в объём и вышедших из него магнитных потоков равна нулю.

При охвате замкнутой поверхностью S нескольких сечений магнитопровода

$$\sum \Phi = 0. \qquad (6.2)$$

Уравнение (6.2) выражает *первый закон Кирхгофа*: алгебраическая сумма магнитных потоков в любом узле магнитной цепи равна нулю. При этом потоки, направленные к узлу, принимают положительными, а потоки, направленные от узла, – отрицательными. Значит, первый закон Кирхгофа можно сформулировать иначе: сумма магнитных потоков, подтекающих к узлу, равна сумме магнитных потоков, утекающих от узла:

$$\sum \Phi_{п} = \sum \Phi_{у}.$$

Одним из основных законов, используемых при расчете магнитной цепи, является *закон полного тока*. Он формулируется следующим образом: циркуляция вектора напряженности магнитного поля $\vec{H}$ по замкнутому контуру равна алгебраической сумме токов, охватываемых этим контуром:

$$\oint \vec{H} d\vec{l} = \sum I. \qquad (6.3)$$

Положительное направление интегрирования $d\vec{l}$ связано с положительным направлением тока I правилом правоходового винта. Если контур интегрирования будет пронизывать обмотку катушки с числом витков N, по которой проходит ток I, то $\sum I = IN$. Значит, выражение (6.3) можно представить в следующем виде:

$$\oint \vec{H} d\vec{l} = IN.$$

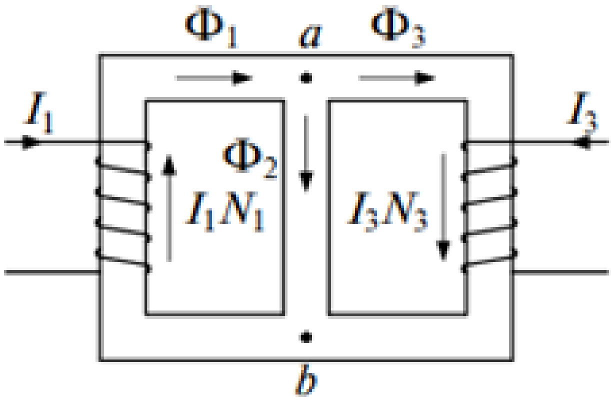
Таким образом, закон полного тока представляет собой *второй закон Кирхгофа*: алгебраическая сумма падений магнитного напряжения вдоль любого замкнутого контура равна алгебраической сумме МДС вдоль того же контура:

$$\sum U_{м} = \sum F \text{ или } \sum Hl = \sum IN. \qquad (6.4)$$

Перед тем как записать уравнения по законам Кирхгофа, следует указать направления МДС, произвольно выбрать положительные направления магнитных потоков в ветвях и направления обхода контуров.

Если направление магнитного потока на некотором участке сов-падает с направлением обхода, то падение магнитного напряжения этого участка входит в левую часть уравнения (6.4) со знаком «+», если встречно ему, то со знаком «–». Аналогично, если МДС совпадает с направлением обхода, она входит в правую часть уравнения (6.4) со знаком «+», в противном случае – со знаком «–».

Пример 6.1. Составить систему уравнений по законам Кирхгофа для разветвленной магнитной цепи



Решение. Укажем направления МДС I_1N_1 и I_3N_3, используя правило правоходового винта. Произвольно выберем и укажем на схеме положительные направления магнитных потоков. Обход по контурам – по часовой стрелке.

По первому закону Кирхгофа необходимо составить одно уравнение (на одно меньше числа узлов), по второму закону Кирхгофа – два уравнения, чтобы общее число уравнений было равно числу ветвей. Получим систему уравнений:

$$\begin{cases} \Phi_1 - \Phi_2 - \Phi_3 = 0; \\ H_1 l_1 + H_2 l_2 = I_1 N_1; \\ -H_2 l_2 + H_3 l_3 = I_3 N_3. \end{cases}$$

6.3. Закон Ома для участка магнитной цепи

Пусть на участке магнитной цепи, не содержащем МДС, проходит магнитный поток Ф. Напряженность магнитного поля

$$H = \frac{B}{\mu_а} = \frac{Ф}{S\mu_а},$$

где S – площадь сечения магнитопровода;

$\mu_а$ – абсолютная магнитная проницаемость материала.

Магнитное напряжение на участке

$$U_м = Hl = \frac{Фl}{S\mu_а} = ФR_м, \qquad (6.5)$$

где l – длина участка магнитопровода;

$R_м = \dfrac{l}{S\mu_a}$ – магнитное сопротивление. (нелинейное)

С учетом уравнения (6.5) в общем случае можно записать выражение второго закона Кирхгофа:

$$\sum U_м = \sum ФR_м = \sum IN,$$

а также выразить *закон Ома* для участка магнитной цепи:

$$Ф = \frac{U_м}{R_м} = \frac{U_м S\mu_а}{l}. \qquad (6.6)$$

Вследствие того, что магнитное сопротивление $R_м$ зависит от абсолютной магнитной проницаемости среды $\mu_а$, которая в свою очередь зависит от напряженности магнитного поля, непосредственно пользоваться выражением закона Ома для расчетов сложно. Однако уравнение (6.6) наглядно показывает, какие параметры влияют на магнитный поток и качественно характеризуют работу магнитной цепи. Очевидно, что расчет можно вести по закону Ома при $\mu_а$ = const.