

41-42 Расчёт магнитных цепей

6.5. Расчет неразветвленных магнитных цепей

Электрические и магнитные цепи подчиняются законам Кирхгофа. Аналогом тока в электрической цепи является магнитный поток в магнитной цепи, аналогом ЭДС – МДС, аналогом вольт-амперной характеристики – вебер-амперная характеристика.

Различают два типа задач по расчету неразветвленных магнитных цепей: определение МДС по заданному магнитному потоку и определение магнитного потока по заданной МДС.

Рассмотрим **первый тип** задачи на примере магнитной цепи (рис. 6.4).

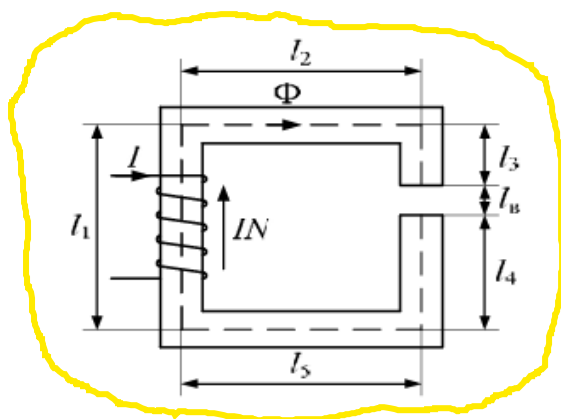


Рис. 6.4. Расчетная схема неразветвленной магнитной цепи.

l_1 – l_5 – длины средней линии участков магнитопровода;

l_b – длина воздушного зазора

Обычно заданы конфигурация и геометрические размеры магнитопровода (длина участков и площадь сечений), кривые намагничивания ферромагнитных материалов и магнитный поток или магнитная индукция в каком-либо сечении. Требуется определить МДС либо входящие в МДС ток или число витков.

Исходя из постоянства магнитного потока вдоль всей цепи по заданному магнитному потоку и сечениям находят значения магнитной индукции на каждом участке:

$$B_k = \Phi/S_k,$$

т. е. $B_1 = \Phi/S_1$; $B_2 = \Phi/S_2$; $B_3 = \Phi/S_3 = B_B = B_4$; $B_5 = \Phi/S_5$.

По кривым намагничивания определяют напряженность магнитного поля H_k для участков из ферромагнитного материала. Напряженность поля в воздушном зазоре H_B рассчитывают по формуле (6.7).

Искомую МДС определяют по второму закону Кирхгофа для контура вдоль средней линии магнитопровода:

$$IN = \sum H_k l_k,$$

или

$$IN = H_1 l_1 + H_2 l_2 + H_B l_B + H_4 l_4 + H_5 l_5.$$

Второй тип задачи – определение магнитного потока по заданной МДС – принципиально сводится к многократному повторению расчетов по алгоритму первого типа задачи, построению зависимости $\Phi(IN)$ и нахождению рабочей точки. Для этого задают значения магнитного потока Φ и находят соответствующие значения IN , как в предыдущей задаче, и строят зависимость $\Phi(IN)$. По заданной МДС определяют магнитный поток.

Решение задач первого и второго типа значительно упрощается при рассмотрении неразветвленной однородной магнитной цепи. Однородная магнитная цепь содержит замкнутый ферромагнитный сердечник, имеющий по всей длине одинаковые поперечное сечение и материал.

При заданном значении магнитного потока Φ и известной площади S поперечного сечения находят магнитную индукцию:

$$B = \frac{\Phi}{S}$$

По кривой намагничивания ферромагнитного материала $B(H)$ определяют напряженность H .

По второму закону Кирхгофа для магнитной цепи находят МДС:

$$IN = HI,$$

где l – длина магнитопровода, подсчитанная по средней линии.

При решении задач второго типа, когда задана МДС, согласно второму закону Кирхгофа находят напряженность

$$H = \frac{IN}{l}$$

По кривой намагничивания ферромагнитного материала $B(H)$ определяют магнитную индукцию B .

Магнитный поток находят из выражения

$$\Phi = BS.$$

Пример 6.2. В сердечнике (рис. 6.1, а) в воздушном зазоре должна быть магнитная индукция $B = 1$ Тл. Площадь сечения сердечника $S = 25 \text{ см}^2$, длина средней линии сердечника $l_{\text{ср}} = 0,5$ м, длина воздушного зазора $l_{\text{з}} = 0,5$ мм. Материал сердечника – литая сталь (кривые намагничивания приведены на рисунке 5.12). Определить ток в обмотке, имеющей 500 витков. Поток рассеяния $\Phi_{\text{р}}$ пренебречь.

Решение. Согласно второму закону Кирхгофа для магнитной цепи, МДС катушки

$$IN = H_{\text{ст}}l_{\text{ср}} + H_{\text{з}}l_{\text{з}},$$

где $H_{\text{ст}}$ – напряженность магнитного поля в стальном сердечнике;

$H_{\text{з}}$ – напряженность магнитного поля в воздушном зазоре.

В неразветвленной магнитной цепи во всех участках проходит один и тот же магнитный поток Φ , площадь сечения воздушного зазора $S_{\text{з}}$ и площадь сечения стального сердечника принимаем равными: $S_{\text{з}} = S_{\text{ст}} = S$.

Следовательно, магнитная индукция во всех сечениях магнитопровода одинаковая: $B_{\text{з}} = B_{\text{ст}} = B = 1$ Тл.

Напряженность в стальном сердечнике находим по кривой намагничивания литой стали (см. рис. 5.12):

$$H_{\text{ст}} = 750 \text{ А/м.}$$

Напряженность в воздушном зазоре находим по уравнению (6.7):

$$H_{\text{в}} = \frac{B}{\mu_0} = 0,8 \cdot 10^6 \cdot B = 0,8 \cdot 10^6 \cdot 1 = 0,8 \cdot 10^6 \text{ А/м.}$$

Подставляем найденные значения напряженностей в уравнение второго закона Кирхгофа и находим МДС катушки:

$$IN = 750 \cdot 0,5 + 0,8 \cdot 10^6 \cdot 5 \cdot 10^{-3} = 375 + 4000 = 4375 \text{ А.}$$

Ток в катушке

$$I = \frac{IN}{N} = \frac{4375}{500} = 8,75 \text{ А.}$$

6.6. Расчет разветвленных магнитных цепей

Наиболее распространены разветвленные магнитные цепи, содержащие два узла. Рассмотрим для примера расчет разветвленной магнитной цепи (рис. 6.5) методом двух узлов.

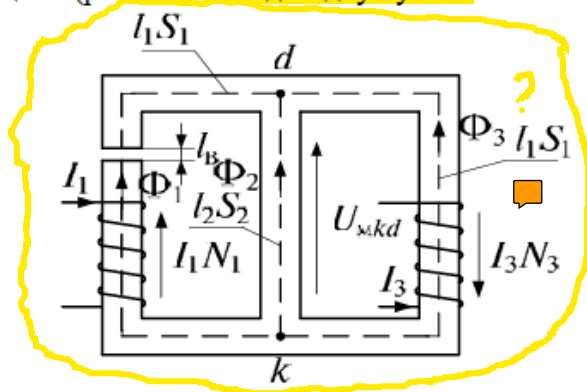


Рис. 6.5. Схема разветвленной магнитной цепи с двумя узлами

Заданы конфигурация магнитной цепи, геометрические размеры (длина каждой ветви сердечника l_1, l_2, l_3 , их сечения S_1, S_2, S_3 , длина воздушного зазора l_b), значения МДС $I_1 N_1$ и $I_3 N_3$, кривая намагничивания $B(H)$. Требуется определить магнитные потоки Φ_1, Φ_2, Φ_3 .

В схеме (см. рис. 6.5) определяют направления МДС I_1N_1 и I_3N_3 , пользуясь правилом правого винта. Произвольно выбирают и указывают направления магнитных потоков Φ_1 , Φ_2 , Φ_3 и магнитного напряжения между двумя узлами $U_{мкд}$ (рекомендуется их направить к одному узлу).

Сущность метода заключается в нахождении такого магнитного напряжения $U_{мкд}$, при котором выполняется первый закон Кирхгофа:

$$\Phi_1 + \Phi_2 + \Phi_3 = 0.$$

Для этого выражают напряжение $U_{мкд}$ через параметры каждой из ветвей, используя второй закон Кирхгофа:

$$U_{мкд} = H_1l_1 + H_B l_B - I_1N_1; \quad (6.8)$$

$$U_{мкд} = H_2l_2; \quad (6.9)$$

$$U_{мкд} = H_3l_3 + I_3N_3. \quad (6.10)$$

В соответствии с методикой, изложенной в п. 6.4, выполняют расчеты для построения вебер-амперных характеристик ветвей, т. е. зависимостей $\Phi_1(U_{мкд})$, $\Phi_2(U_{мкд})$, $\Phi_3(U_{мкд})$. Для этого задают значения магнитной индукции B (положительные и отрицательные) из кривой намагничивания и находят соответствующие значения напряженности H для ферромагнитных участков цепи. Напряженность в воздушном зазоре H_B определяют по формуле (6.7). Для каждого значения B находят магнитный поток Φ по уравнению (6.1) и магнитное напряжение $U_{мкд}$ по выражениям (6.8)–(6.10).

Расчеты удобно свести в таблицу.

По результатам расчетов строят в одной системе координат зависимости $\Phi_1(U_{мкд})$, $\Phi_2(U_{мкд})$ и $\Phi_3(U_{мкд})$ (рис. 6.6).

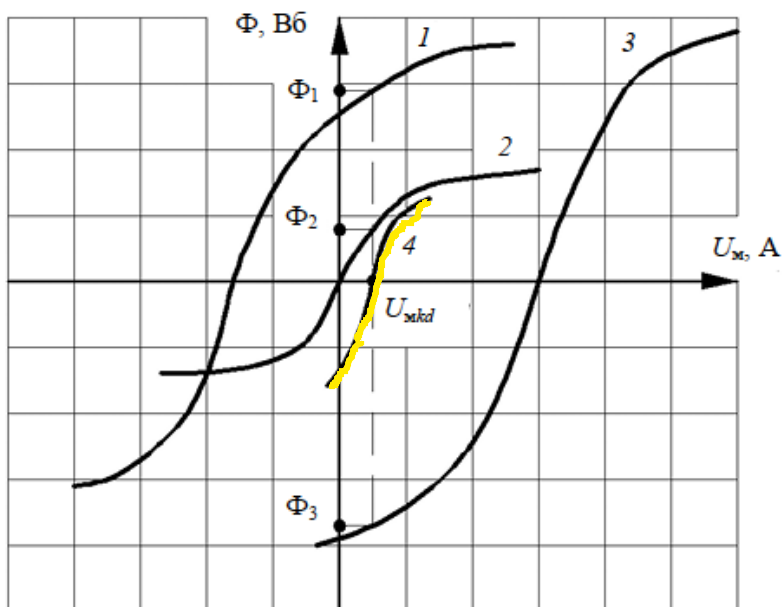


Рис. 6.6. Примерный вид расчетных вебер-амперных характеристик ветвей:
 1 – $\Phi_1(U_{mkd})$; 2 – $\Phi_2(U_{mkd})$; 3 – $\Phi_3(U_{mkd})$; 4 – $\underline{\Sigma\Phi(U_{mkd})}$

Поскольку вебер-амперные характеристики ветвей представляют собой функции одного и того же напряжения между двумя узлами для трех ветвей, то, задаваясь этим напряжением, можно суммировать магнитные потоки разных ветвей. Для облегчения поиска напряжения U_{mkd} , при котором $\Sigma\Phi = 0$, можно построить зависимость $(\Phi_1 + \Phi_2 + \Phi_3)(U_{mkd})$. Задаются несколькими значениями U_{mkd} , при которых наиболее вероятно получить сумму, равную нулю, и строят зависимость $\Sigma\Phi(U_{mkd})$ (см. рис. 6.6). Искомое значение U_{mkd} будет находиться в точке пересечения этой зависимости с горизонтальной осью.

Пользуясь найденным значением U_{mkd} , определяют магнитные потоки в каждой ветви, затем осуществляют проверку решения по первому закону Кирхгофа.



Вопросы и задачи для самоконтроля

1. Дайте определение магнитной цепи.
2. Запишите, чему равна магнитодвижущая (намагничивающая) сила.
3. Определите, чему равно падение магнитного напряжения на участке магнитной цепи.
4. Сформулируйте и запишите первый и второй законы Кирхгофа для магнитной цепи.
5. Запишите выражения закона Ома и магнитного сопротивления участка магнитной цепи.
6. Изложите последовательность расчета МДС неразветвленной однородной магнитной цепи при заданном магнитном потоке.
7. Изложите последовательность расчета магнитного потока неразветвленной однородной магнитной цепи при заданном значении МДС.
8. Катушка с сердечником имеет $N = 200$ витков. Сердечник кольцевой формы из литой стали. Площадь сечения сердечника $S = 12,5 \text{ см}^2$, радиус средней линии сердечника $R = 10 \text{ см}$. Кривая намагничивания литой стали приведена на рисунке 5.12. Определите, какой величины должен быть ток в обмотке, чтобы получить магнитный поток в сердечнике $\Phi = 1,5 \cdot 10^{-3} \text{ Вб}$. Ответ: $I \approx 4,4 \text{ А}$.
9. Определите магнитный поток в кольцевом сердечнике из электротехнической стали 1512, если длина средней линии сердечника $l = 80 \text{ см}$, сечение сердечника $S = 20 \text{ см}^2$, в катушке с числом витков $N = 200$ ток $I = 2 \text{ А}$. Кривая намагничивания электротехнической стали приведена на рисунке 5.12. Ответ: $\Phi \approx 2,16 \cdot 10^{-3} \text{ Вб}$.