

# Тема : Расчет разветвленной магнитной цепи

**Подготовил:**

Студент группы ОМД-13

Данилов В.С

**Проверила :**

Чернуха В.И.

# Расчет разветвленных магнитных цепей

Расчеты разветвленных магнитных цепей основаны на применении законов Кирхгофа для магнитных цепей.

Вследствие нелинейной связи между индукцией и напряженностью магнитного поля для ферромагнитных материалов расчеты таких цепей обычно ведутся графическими и итерационными методами аналогично методам расчета нелинейных электрических цепей.

При расчете магнитной цепи, как и при расчете электрической цепи, прежде всего нужно указать на схеме направления МДС, если известны направления токов и расположение обмоток, или задаться положительными направлениями МДС, если их нужно определить. Затем необходимо задаться положительными направлениями магнитных потоков, после чего можно переходить к составлению эквивалентной схемы и ее расчету.

# Последовательность расчета симметричных магнитных цепей.

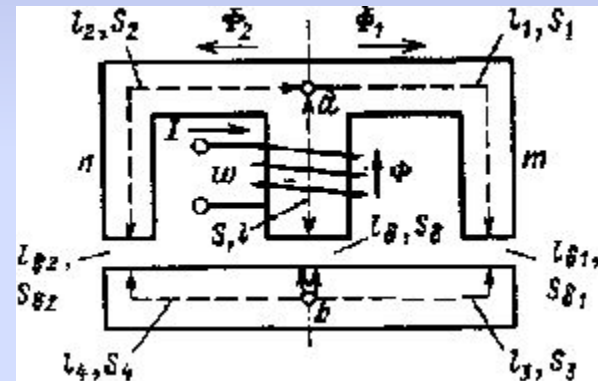
Предположим, что имеется разветвленная симметричная магнитная цепь некоторого электромагнитного устройства.

В силу симметрии магнитной цепи и выражения можно утверждать, что

$$\Phi_1 = \Phi_2 = \Phi/2.$$

Вследствие простого соотношения между магнитными потоками расчет разветвленных симметричных магнитных цепей производится практически в том же порядке, что и расчет неразветвленных магнитных цепей.

Обычно при расчете симметричную магнитную цепь делят мысленно на две одинаковые части по оси симметрии  $ab$  и производят расчет одной ее половины.



# Последовательность расчета несимметричных магнитных цепей.

Расчет несимметричных магнитных цепей производится графоаналитическим методом с использованием соотношения между магнитными потоками в разветвленных цепях, закона полного тока и вб. а. х., методика расчета которых была рассмотрена выше. В зависимости от исходных данных последовательность расчета несимметричных цепей несколько изменяется.

Рассмотрим в качестве примера последовательность расчета магнитной цепи, если требуется определить МДС  $I_1 w_1$  при заданной магнитной индукции  $B_{\delta 2}$  и известной МДС  $I_2 w_2$ .

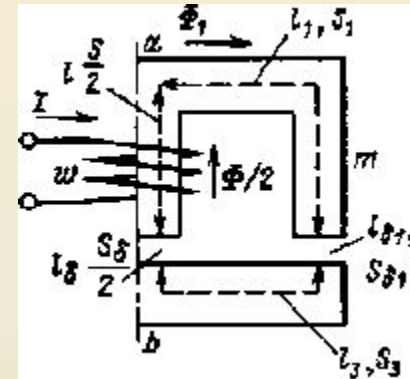
Зная  $B_{\delta 2}$ , нетрудно найти магнитный поток  $\Phi_2 = B_{\delta 2} S_{\delta 2'}$ , а затем подсчитать магнитное напряжение  $U_{mab}$ :

$$U_{mab} = I_2 w_2 - H_2 l_2 - H_{\delta 2} l_{\delta 2} - H_5 l_5.$$

Построив с помощью уравнения  $U_{mab} = H_3 l_3$  вб. а. х.  $\Phi_3(U_{mab})$  и зная магнитное напряжение  $U_{mab}$  легко определить магнитный поток  $\Phi_3$ .

Зная потоки  $\Phi_2$  и  $\Phi_3$ , найдем поток  $\Phi_1 = \Phi_3 - \Phi_2$ . После этого можно определить МДС  $I_1 w_1$ .

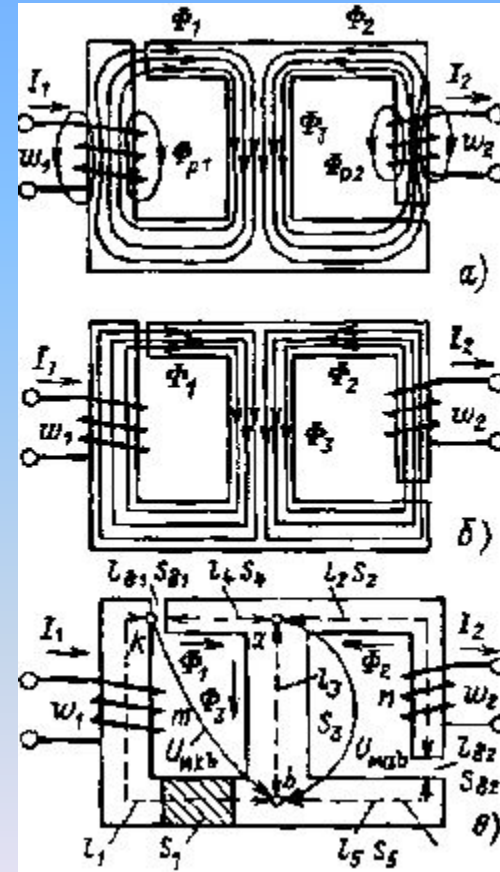
$$I_1 w_1 = H_1 l_1 + H_{\delta 1} l_{\delta 1} + H_4 l_4 + U_{mab}.$$



# Основные соотношения.

Когда в разветвленной магнитной цепи магнитные потоки возбуждаются одной обмоткой, направление их при заданном токе определяется однозначно по правилу правоходового винта. Если же для возбуждения потоков используется несколько обмоток, то магнитные потоки могут быть направлены поразному в зависимости от направлений и значений МДС обмоток, а также от параметров магнитопровода.

Рассмотрим в качестве примера возможные направления магнитных потоков в магнитной цепи изображенном на рисунке.



# Расчёты

При  $I_1 > 0$  и  $I_2 = 0$  магнитные потоки  $\Phi_1$  и  $\Phi_3$  будут направлены так, как показано на рисунке ( $\Phi_1 > 0$  и  $\Phi_3 > 0$ ), а поток  $\Phi_2$  — в противоположную сторону ( $\Phi_2 < 0$ ).

При  $I_1 = 0$  и  $I_2 > 0$  потоки  $\Phi_2 > 0$  и  $\Phi_3 > 0$ , а  $\Phi_1 < 0$ .

Изменяя  $I_1$  при  $I_2 = \text{const}$  или  $I_2$  при  $I_1 = \text{const}$ , можно получить  $\Phi_1 < > 0$  и  $\Phi_2 < > 0$ ; магнитный поток  $\Phi_3$  при любых токах  $I_1 > 0$  и  $I_2 > 0$  будет направлен так, как показано на рисунке.

Так как в каждой ветви разветвленной магнитной цепи магнитный поток имеет одно и то же значение, между магнитными индукциями, а также между напряжениями участков любой ветви существуют соотношения, полученные ранее для неразветвленной цепи.

# Рассмотрим соотношения между напряженностями, магнитными индукциями и потоками двух ветвей *amb* и *anb*, не содержащих обмоток

По закону полного тока для контуров *amba* и *anba* имеем

$$H_1 I_1 - U_{mab} = 0 \text{ и } H_2 I_2 - U_{mab} = 0.$$

Из полученных уравнений следует, что

$$(6.15)$$

$$H_1 / H_2 = I_2 / I_1.$$

Если  $I_1 = I_2$ , то независимо от площадей поперечного сечения  $S_1$  и  $S_2$ , а также марки ферромагнитных материалов ветвей получим  $H_1 = H_2$ . Если ветви выполнены из одинакового ферромагнитного материала, то при  $H_1 = H_2$  и

$B_1 = B_2$ . Магнитные потоки ветвей в случае  $B_1 = B_2$  будут равны лишь при равенстве площадей, так как  $\Phi_1 = B_1 S_1$ , а  $\Phi_2 = B_2 S_2$ .

Если в магнитной цепи  $I_1 > I_2$ , то согласно (6.15)  $H_1 < H_2$  и, следовательно,  $B_1 < B_2$ . Количественное соотношение между потоками зависит от соотношений между индукциями и площадями:

$$\Phi_1 = B_1 S_1; \Phi_2 = B_2 S_2. \text{ Может оказаться, например, что } \Phi_1 > \Phi_2 \text{ при } B_1 < B_2.$$

На соотношение напряженностей, магнитных индукций и потоков существенное влияние оказывают воздушные зазоры. Допустим, что во вторую ветвь введен воздушный зазор длиной  $l_\delta$ . Тогда

$$(6.16)$$

$$H_1 I_1 = H_2 I_2 + (H_\delta - H_2) l_\delta.$$

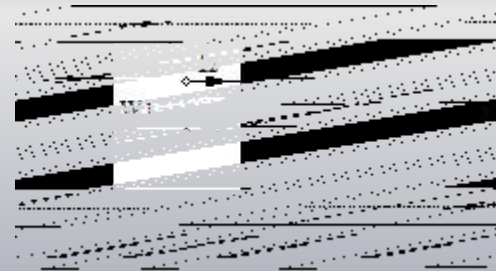
Так как обычно  $H_\delta \gg H_2$ , вместо (6.16) можно написать

$$H_1 I_1 = H_2 I_2 + H_\delta l_\delta,$$

откуда следует, что при  $I_1 = I_2$   $H_1 > H_2$ ; как правило,  $H_\delta l_\delta$  в несколько раз превышает  $H_2 I_2$ , поэтому напряженность  $H_2$  в ветви с воздушным зазором в несколько раз меньше напряженности  $H_1$ .

# Разветвленная магнитная цепь

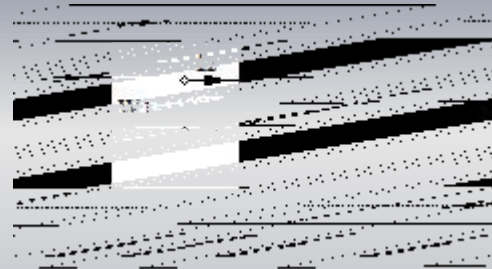
Пусть заданы кривая намагничивания  $B(H)$  ферромагнитного материала сердечника и геометрические размеры трехстержневого магнитопровода: длина воздушного зазора -  $d$ , м; длины -  $l_1, l_2, l_3$  м; площадь поперечного сечения магнитопровода -  $S$ , м<sup>2</sup>. Также полагаем известными числа витков обмоток на первом и втором стержнях  $w_1, w_2$  и намагничивающие токи  $I_1, I_2$ .





# Определим магнитные потоки $\Phi_1$ $\Phi_2$ $\Phi_3$ .

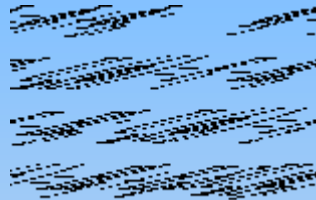
Магнитный поток в каждой ветви выразим в зависимости от общего магнитного напряжения  $U_M$  между узлами  $a$  и  $b$  магнитной схемы замещения. В соответствии с первым и вторым законами Кирхгофа магнитная схема замещения характеризуется следующими уравнениями:



# Эти уравнения решаются графически.

Для этого:

- произвольно задают значение магнитной индукции  $B$  и соответствующую ей напряженность  $H$  по заданной кривой намагничивания;
- по известной  $B$  определяют магнитные потоки  $\Phi_1$ ,  $\Phi_2$ ,  $\Phi_3$ ;



- по приведенным выше уравнениям рассчитывают магнитные напряжения  $U_{M1}$ ,  $U_{M2}$ ,  $U_{M3}$ ;
- производят аналогичный расчет для нескольких точек и строят зависимости  $U_M(\Phi_1)$ ,  $U_M(\Phi_2)$ ,  $U_M(\Phi_3)$ ;
- с учетом того, что  $\Phi_3 = \Phi_1 + \Phi_2$ , графически складывают характеристики  $U_M(\Phi_1)$  и  $U_M(\Phi_2)$  (суммируя ординаты кривых при одних и тех же значениях магнитного напряжения);
- точка пересечения суммарной кривой  $U_M(\Phi_1 + \Phi_2)$  с кривой  $U_M(\Phi_3)$  определяет поток  $\Phi_3$ ;
- чтобы найти потоки  $\Phi_1$ ,  $\Phi_2$  через найденную точку пересечения проводят прямую, параллельную оси магнитного напряжения  $U_M$ , до пересечения с кривыми  $U_M(\Phi_1)$  и  $U_M(\Phi_2)$ .

# Примечание.

В воздушных зазорах магнитных цепей различных устройств действует механическая сила, которая стремится уменьшить его до нуля и которая определяется по формуле Максвелла

где  $\Phi$  и  $B$  магнитный поток и индукция в воздушном зазоре.

