

По данным, выполнить следующее:

1. Рассчитать магнитную цепь методом двух узлов и определить величины I_3 , Φ_1
2. Для принятых в п.1 положительных направлений магнитных потоков и заданного направления МДС составить систему уравнений по законам Кирхгофа.

Схематическое изображение магнитопровода с размещением намагничивающих катушек, способа их намотки на сердечник и положительных направлений токов в них приведены на рисунке.

Приняты следующие обозначения: l – длина средней магнитной линии одной ветви магнитной цепи; l_δ – длина воздушного зазора (его положение в магнитной цепи дано на схемах магнитопроводов); S – сечение участков магнитопровода; w – число витков катушек; I – постоянный ток в катушке.

Обозначения величин даются с индексами, которые указывают, к какой ветви магнитной цепи относится та или иная величина; индекс 1 – к левой магнитной ветви, 2 – к средней ветви, 3 – к правой ветви.

Магнитные свойства стали, из которой изготовлены магнитопроводы, определяются кривой намагничивания:

H, А/м	20	40	60	80	120	200	400	600	800	1200
B, Тл	0,22	0,75	0,93	1,02	1,14	1,28	1,47	1,53	1,57	1,6

Дано:

$$l_1 = 19 \text{ см} = 0,19 \text{ м};$$

$$l_2 = 6,5 \text{ см} = 0,065 \text{ м};$$

$$l_3 = 15 \text{ см} = 0,15 \text{ м};$$

$$S_1 = 8,1 \text{ см}^2;$$

$$S_2 = 5,1 \text{ см}^2;$$

$$S_3 = 3,2 \text{ см}^2;$$

$$w_1 = 300$$

$$w_2 = 210$$

$$w_3 = 150$$

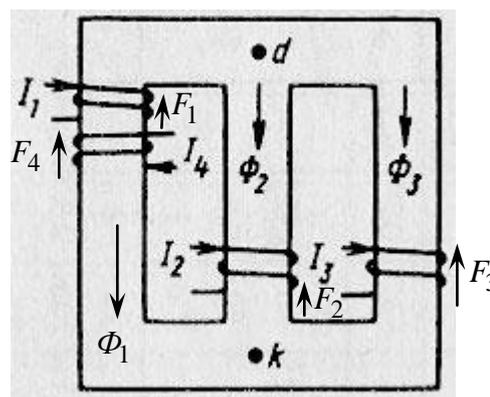
$$w_4 = 165$$

$$I_1 = 0,15 \text{ А}$$

$$I_2 = 0,1 \text{ А}$$

$$I_4 = 0,1 \text{ А}$$

$$\Phi_2 - \Phi_3 = 20 \times 10^{-5} \text{ Вб}$$



Решение

1) Вычислим магнитные потоки во всех ветвях

Направления магнитных потоков во всех ветвях выберем к узлу «к». В соответствии с указанными направлениями тока в обмотках w_1 , w_2 , w_3 и w_4 , и учитывая правило правоходного буравчика, направления создаваемых МДС во всех обмотках будут к узлу «d»

$$F_1 = I_1 w_1 = 0,15 \cdot 300 = 45 \text{ A}$$

$$F_2 = I_2 w_2 = 0,1 \cdot 210 = 21 \text{ A}$$

$$F_4 = I_4 w_4 = 0,1 \cdot 165 = 16,5 \text{ A}$$

Запишем уравнения для магнитного напряжения между узлами по каждой ветви в отдельности:

$$\begin{cases} U_{mdk1} = H_1 l_1 + F_1 + F_4 \\ U_{mdk2} = H_2 l_2 + F_2 \\ U_{mdk3} = H_3 l_3 + F_3 \end{cases}$$

Примем, на данном этапе $F_3=0$, тогда подставив числовые значения система уравнений примет вид:

$$\begin{cases} U_{mdk1} = H_1 l_1 + 45 + 16,5 \\ U_{mdk2} = H_2 l_2 + 21 \\ U_{mdk3} = H_3 l_3 + 0 \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} U_{mdk1} = H_1 l_1 + 61,5 \\ U_{mdk2} = H_2 l_2 + 21 \\ U_{mdk3} = H_3 l_3 \end{cases}$$

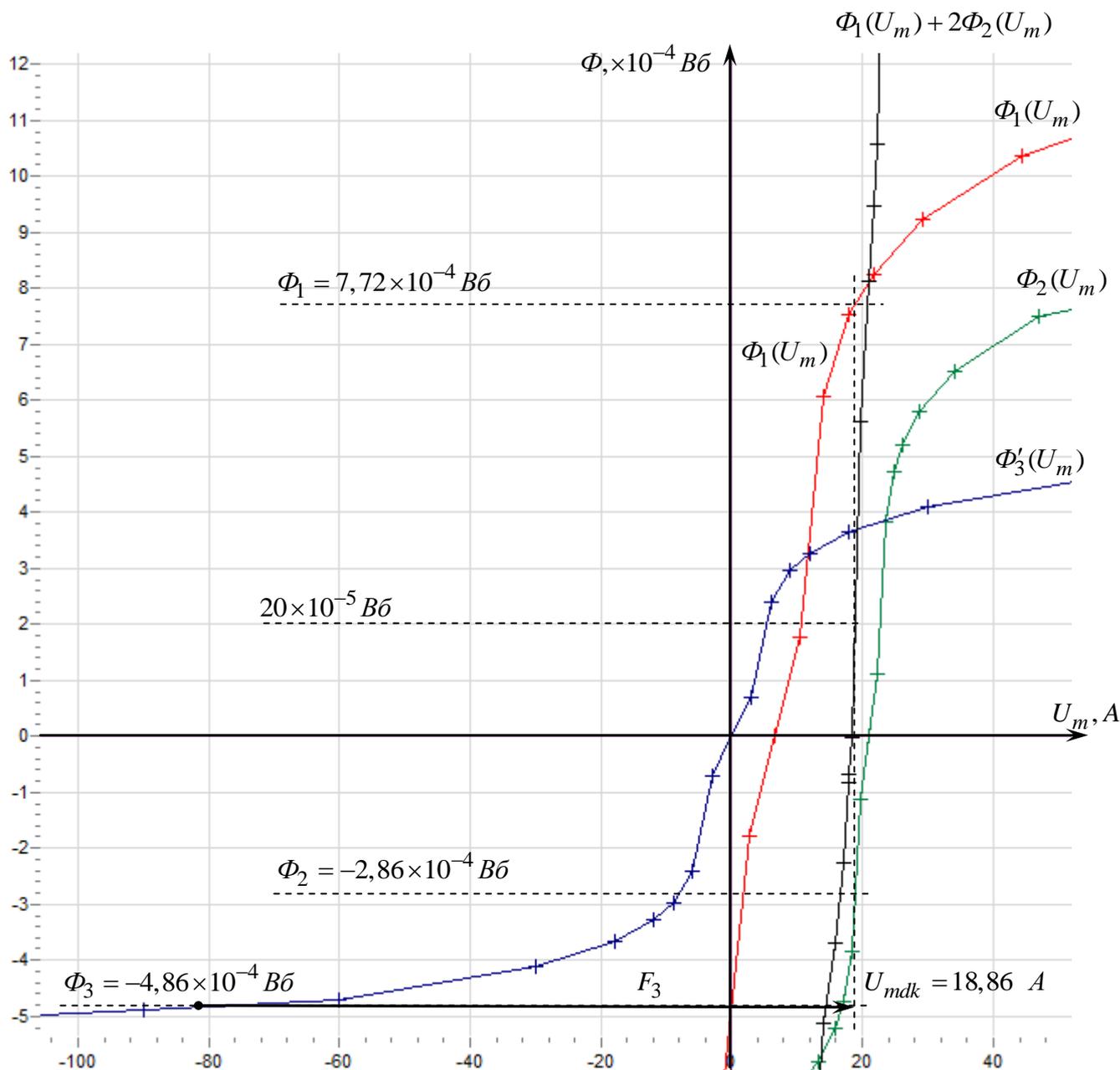
Далее выполним расчет вебер-амперных характеристик ветвей в таблице. Расчет выполним для 10 точек кривой намагничивания.

H, А/м	B, Тл	$H_1 l_1$, А	U_{mdk1} , А	$\Phi_1 = BS_1$, $\times 10^{-4}$ Вб	$H_2 l_2$, А	U_{mdk2} , А	$\Phi_2 = BS_2$, $\times 10^{-4}$ Вб	$H_3 l_3$, А	U_{mdk3} , А	$\Phi_3 = BS_3$, $\times 10^{-4}$ Вб
20	0,22	3,8	65,3	1,782	1,3	22,3	1,122	3	3	0,704
40	0,75	7,6	69,1	6,075	2,6	23,6	3,825	6	6	2,4
60	0,93	11,4	72,9	7,533	3,9	24,9	4,743	9	9	2,976
80	1,02	15,2	76,7	8,262	5,2	26,2	5,202	12	12	3,264
120	1,14	22,8	84,3	9,234	7,8	28,8	5,814	18	18	3,648
200	1,28	38	99,5	10,368	13	34	6,528	30	30	4,096
400	1,47	76	137,5	11,907	26	47	7,497	60	60	4,704
600	1,53	114	175,5	12,393	39	60	7,803	90	90	4,896
800	1,57	152	213,5	12,717	52	73	8,007	120	120	5,024
1200	1,6	228	289,5	12,96	78	99	8,16	180	180	5,12

Вебер амперные характеристики ветвей намагничивания.

По данным таблицы построим кривые зависимости магнитных потоков в ветвях от магнитного напряжения между узлами $\Phi_1(U_m)$, $\Phi_2(U_m)$ и $\Phi_3(U_m)$

Кривая $\Phi_3'(U_m)$ показана для принятого в начале условия $F_3=0$. Реальная же кривая $\Phi_3(U_m)$ при каком то определенном значении F_3 , будет иметь ту же форму но сдвинута по оси абсцисс.



Также построим кривую $\Phi_1(U_m) + 2\Phi_2(U_m)$, являющуюся суммой ординат кривых $\Phi_1(U_m)$, $\Phi_2(U_m)$ и $\Phi_2(U_m)$

Кривая $\sum \Phi(U_m) = \Phi_1(U_m) + \Phi_2(U_m) + \Phi_3(U_m)$ в точке U_{mdk} пересекает ось абсцисс (в соответствии с 1-м законом Кирхгофа для магнитной цепи). В этой же точке должно выполняться заданное условие:

$$\Phi_2 - \Phi_3 = 20 \times 10^{-5} = 2 \times 10^{-4} \text{ Bб}$$

или

$$\Phi_2(U_{mdk}) - \Phi_3(U_{mdk}) = 2 \times 10^{-4} \text{ Bб} \Rightarrow \Phi_3(U_{mdk}) = \Phi_2(U_{mdk}) - 2 \times 10^{-4}$$

получаем:

$$\Phi_1(U_{mdk}) + \Phi_2(U_{mdk}) + \Phi_3(U_{mdk}) = 0$$

$$\Phi_1(U_{mdk}) + \Phi_2(U_{mdk}) + \Phi_2(U_{mdk}) - 2 \times 10^{-4} = 0$$

$$\Phi_1(U_{mdk}) + 2\Phi_2(U_{mdk}) = 2 \times 10^{-4}$$

Из графика видно, что это условие выполняется в точке: $U_{mdk} = 18,86 \text{ А}$.

В которой:

$$\Phi_1 = \Phi_1(U_{mdk}) = 7,72 \times 10^{-4} \text{ Вб}$$

$$\Phi_2 = \Phi_2(U_{mdk}) = -2,86 \times 10^{-4} \text{ Вб}$$

$$\Phi_3 = \Phi_3(U_{mdk}) = -4,86 \times 10^{-4} \text{ Вб}$$

Из графика получим значение сдвига по оси абсцисс F_3 графика $\Phi_3'(U_m)$ для получения искомого графика $\Phi_3(U_m)$, который в найденной точке $U_{mdk} = 18,86 \text{ А}$ должен принимать значение $\Phi_3(U_{mdk}) = -4,86 \times 10^{-4} \text{ Вб}$:

$$F_3 = 18,86 - (-84,4) = 103,26 \text{ А}$$

Найдем силу тока в 3-й ветви:

$$F_3 = I_3 w_3 \Rightarrow I_3 = \frac{F_3}{w_3} = \frac{103,26}{150} = 0,6884 \text{ А}$$

2) Для принятых в п.1 положительных направлений магнитных потоков и заданного направления МДС составить систему уравнений по законам Кирхгофа

Система уравнений по законам Кирхгофа для магнитных цепей:

$$\begin{cases} \Phi_1 + \Phi_2 + \Phi_3 = 0 \\ H_1 l_1 - H_2 l_2 = F_2 - F_1 - F_4 \\ H_2 l_2 - H_3 l_3 = F_3 - F_2 \end{cases}$$