

Задача 1.

Для линии без потерь, параметры которой заданы, определить:

1. Комплексные напряжения и ток в начале линии, а также коэффициент полезного действия.

2. Приняв заданную линию за линию без потерь ($R_0=0$ и $G_0=0$), построить график распределения действующего значения напряжения вдоль линии при заданной нагрузке и при холостом ходе линии или коротком замыкании на выходных зажимах, если напряжение на входе линии равно определенному в п.1.

$$f = 600 \text{ Гц}; l = 200 \text{ км}; l = 0.5 \cdot 200 = 100 \text{ км}$$

$$R_0 = 5.5 \frac{\text{Ом}}{\text{км}}; C_0 = 10 \cdot 10^{-9} \frac{\text{Ф}}{\text{км}}; L_0 = 3 \cdot 10^{-3} \frac{\text{Гн}}{\text{км}}; G_0 = 0.65 \cdot 10^{-6} \frac{\text{См}}{\text{км}};$$

$$U_2 = 60 \text{ В}; I_2 = 52.1 \cdot e^{j12^\circ 25'} \text{ мА}$$

Режим для п.2 - короткое замыкание.

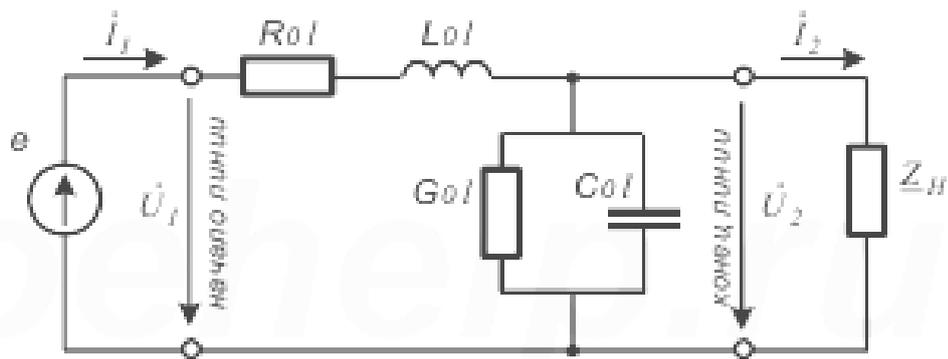


Рисунок 1. Схема длинной линии.

Заданный расчет производим в программе MathCad.

1. Расчет заданной линии:

Исходные данные: Первичные параметры длинной линии

$$R_0 := 5.5 \frac{\text{Ом}}{\text{км}} \quad L_0 := 3 \cdot 10^{-3} \frac{\text{Гн}}{\text{км}} \quad G_0 := 0.65 \cdot 10^{-6} \frac{\text{См}}{\text{км}} \quad C_0 := 10 \cdot 10^{-9} \frac{\text{Ф}}{\text{км}}$$

$$I_2 := 52.1 \cdot 10^{-3} \cdot e^{j \cdot 12.42 \cdot \text{deg}} \text{ А} \quad U_2 := 60 \text{ В} \quad l := 100 \text{ км} \quad f := 600 \text{ Гц}$$

$$\omega := 2 \cdot \pi \cdot f = 3.77 \times 10^3$$

1. Определяем вторичные параметры линии

$$Z_0 := R_0 + j \cdot \omega \cdot L_0 = 5.5 + 11.31i \quad Y_0 := G_0 + j \cdot \omega \cdot C_0 = 6.5 \times 10^{-7} + 3.77i \times 10^{-5}$$

$$\text{Постоянная распространения} \quad \gamma := \sqrt{Z_0 \cdot Y_0} = 5.069 \times 10^{-3} + 0.021i$$

$$\text{Коэффициент затухания} \quad \alpha := \text{Re}(\gamma) = 5.069 \times 10^{-3} \frac{\text{нп}}{\text{км}}$$

$$\text{Коэффициент фазы} \quad \beta := \text{Im}(\gamma) = 0.021 \frac{\text{рад}}{\text{км}}$$

Волновое сопротивление

$$Z_C := \sqrt{\frac{Z_0}{Y_0}} = 563.901 - 124.736i \quad |Z_C| = 577.532 \quad \arg(Z_C) = -12.473 \cdot \text{deg}$$

Напряжение и ток в начале линии

$$U_1 := \frac{U_2 + I_2 \cdot Z_C}{2} \cdot e^{\gamma \cdot l} + \frac{U_2 - I_2 \cdot Z_C}{2} \cdot e^{-\gamma \cdot l} = -43.551 + 56.184i$$

$$|U_1| = 71.087 \quad \arg(U_1) = 127.781 \cdot \text{deg}$$

$$I_1 := \frac{U_2 + I_2 \cdot Z_C}{2 \cdot Z_C} \cdot e^{\gamma \cdot l} - \frac{U_2 - I_2 \cdot Z_C}{2 \cdot Z_C} \cdot e^{-\gamma \cdot l} = -0.085 + 0.108i$$

$$|I_1| = 0.137 \quad \arg(I_1) = 128.007 \cdot \text{deg}$$

$$\text{Мощность в начале линии:} \quad S_1 := U_1 \cdot \bar{I}_1 = 9.764 - 0.039i \quad |S_1| = 9.764 \quad \arg(S_1) = -0.226 \cdot \text{deg}$$

$$\text{Мощность в конце линии:} \quad S_2 := U_2 \cdot \bar{I}_2 = 3.053 - 0.672i \quad |S_2| = 3.126 \quad \arg(S_2) = -12.42 \cdot \text{deg}$$

$$P_1 := \text{Re}(S_1) = 9.764 \text{ Вт} \quad P_2 := \text{Re}(S_2) = 3.053 \text{ Вт} \quad \text{КПД линии} \quad \eta := \frac{P_2}{P_1} = 0.313$$

В результате расчета получены значения напряжения и тока в начале линии:

$$\dot{U}_1 = 71.09 \cdot e^{j127.78^\circ} \text{ В}; \quad I_1 = 137 \cdot e^{j128.01^\circ} \text{ мА}$$

$$\text{КПД линии} \quad \eta = 0.313$$

Строим график распределения действующего значения напряжения.

$$U_1(y) := \left| \frac{U_2 + I_2 \cdot Z_C}{2} \cdot e^{\gamma \cdot y} + \frac{U_2 - I_2 \cdot Z_C}{2} \cdot e^{-\gamma \cdot y} \right|$$

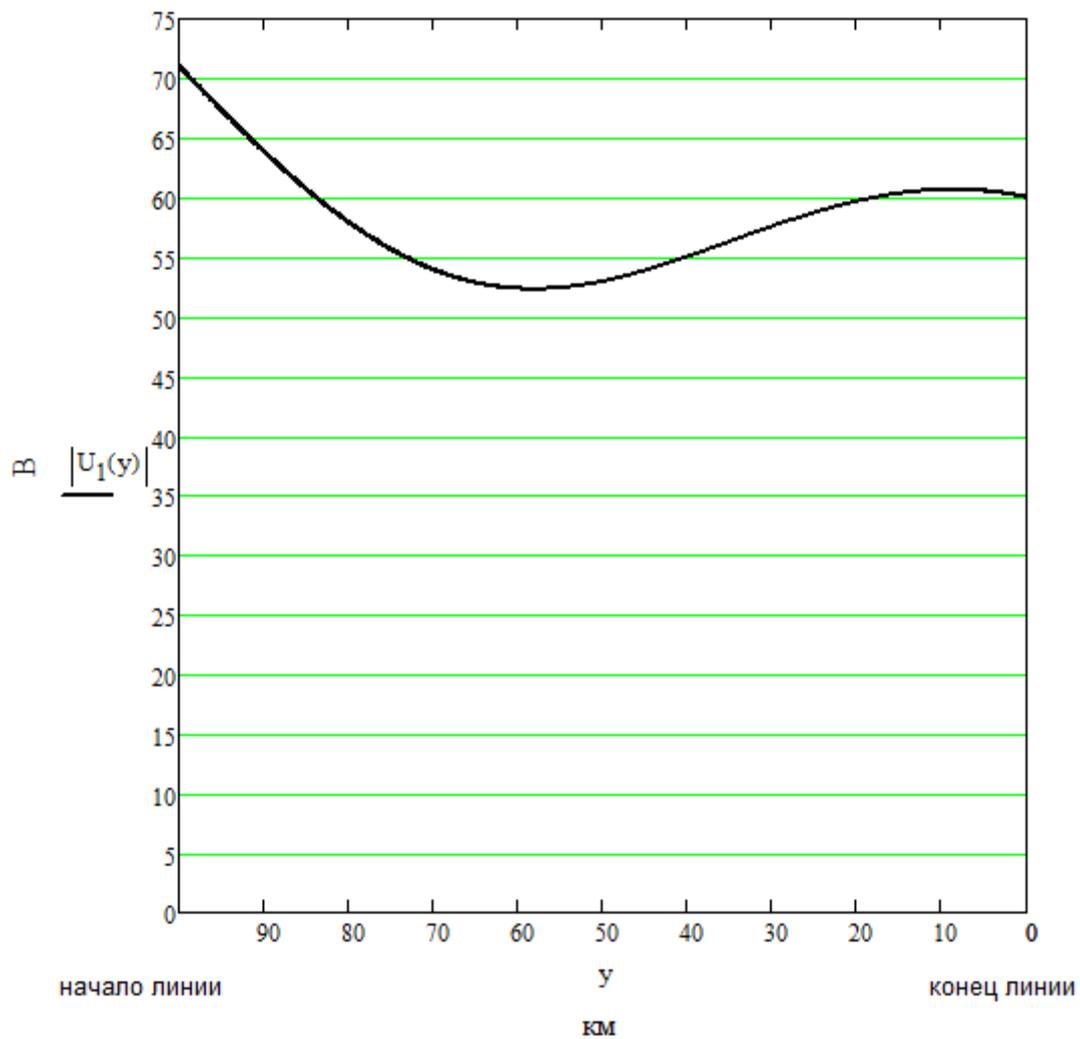


Рисунок 2. График распределения действующего значения напряжения вдоль линии.

2. Расчет для линии без потерь при коротком замыкании.

2. Расчет линии без потерь

Исходные данные: Первичные параметры длинной линии

$$L_0 := 3 \cdot 10^{-3} \frac{\text{Гн}}{\text{км}} \quad C_0 := 10 \cdot 10^{-9} \frac{\text{Ф}}{\text{км}}$$

$$U_1 := 71.09 \cdot e^{j \cdot 127.78 \cdot \text{deg}} \text{ А} \quad U_2 := 0 \text{ В} \quad l := 100 \text{ км} \quad f := 600 \text{ Гц}$$

$$\text{Волновое сопротивление} \quad Z_C := \sqrt{\frac{L_0}{C_0}} = 547.723 \quad \text{Ом}$$

$$\text{Коэффициент фазы} \quad \beta := 2 \cdot \pi \cdot f \cdot \sqrt{L_0 \cdot C_0} = 0.021$$

$$\text{Длина электромагнитной волны} \quad \lambda := \frac{2 \cdot \pi}{\beta} = 304.29 \quad \text{км}$$

$$\text{Ток в конце линии} \quad I_2 := \frac{U_1}{j \cdot (Z_C \cdot \sin(\beta \cdot l))} = 0.117 + 0.09i \quad \text{А}$$

$$|I_2| = 0.147 \quad \arg(I_2) = 37.78 \text{ deg}$$

Напряжение и ток в начале линии

$$U_1 := U_2 \cdot \cos(\beta \cdot l) + j \cdot I_2 \cdot Z_C \cdot \sin(\beta \cdot l) = -43.552 + 56.187i \quad |U_1| = 71.09 \quad \arg(U_1) = 127.78 \cdot \text{deg}$$

$$I_1 := I_2 \cdot \cos(\beta \cdot l) + j \cdot \frac{U_2}{Z_C} \cdot \sin(\beta \cdot l) = -0.055 - 0.043i \quad |I_1| = 0.07 \quad \arg(I_1) = -142.22 \cdot \text{deg}$$

В результате расчета получены значения напряжения и тока в начале линии:

$$\dot{U}_1 = 71.09 \cdot e^{j 127.78^\circ} \text{ В}; \quad I_1 = 70 \cdot e^{-j 142.22^\circ} \text{ мА}$$

$$\text{Ток в конце линии: } \dot{I}_2 = 147 \cdot e^{j 37.78^\circ} \text{ мА}$$

Строим график распределения действующего значения напряжения.

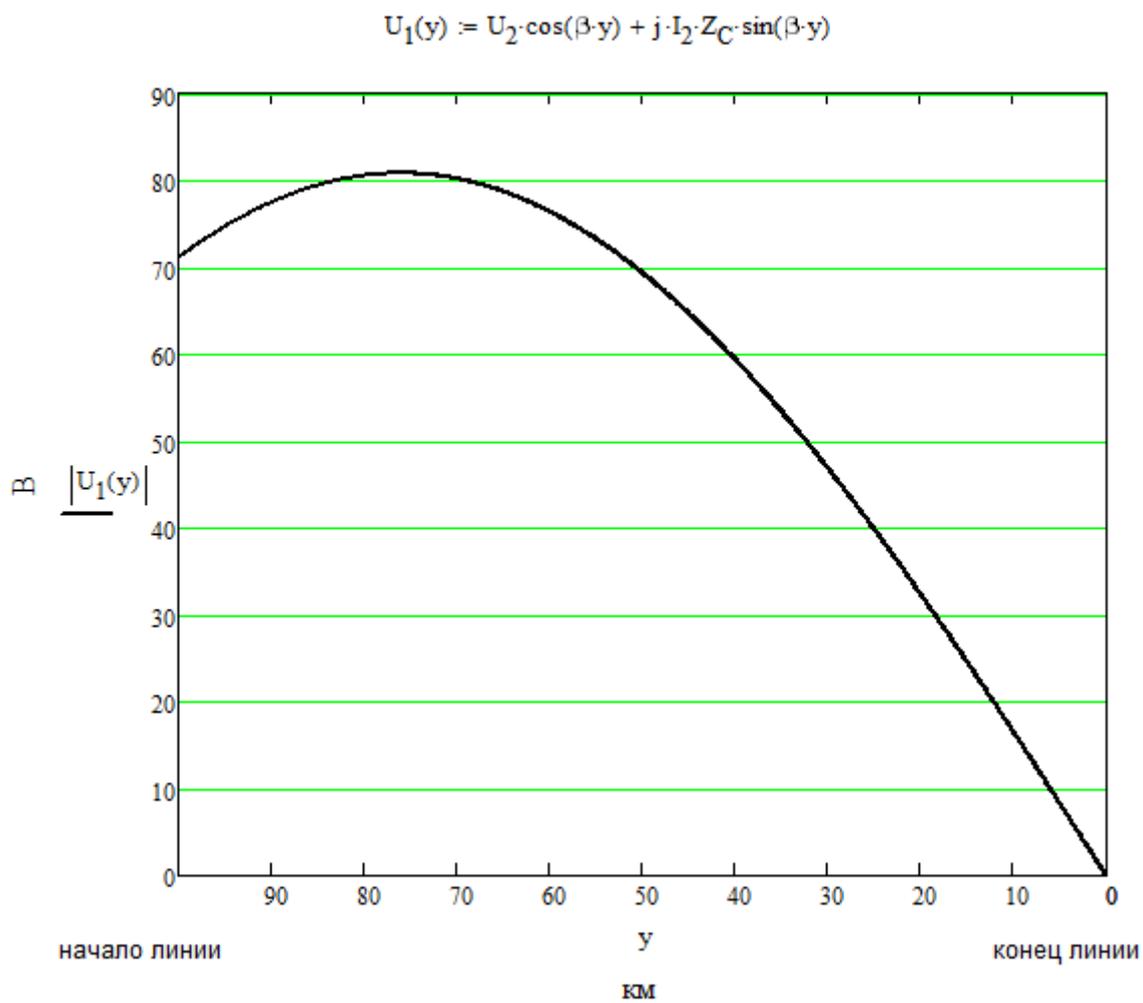


Рисунок 3. График распределения действующего значения напряжения вдоль линии без потерь.

Задача 2.

Методом последовательных приближений (методом итераций) рассчитать заданную электрическую цепь. В электрической цепи один из резисторов обладает нелинейным сопротивлением.

Определить:

1. Ток и напряжение на нелинейном элементе R_H при заданных параметрах цепи.
2. Токи в ветвях.

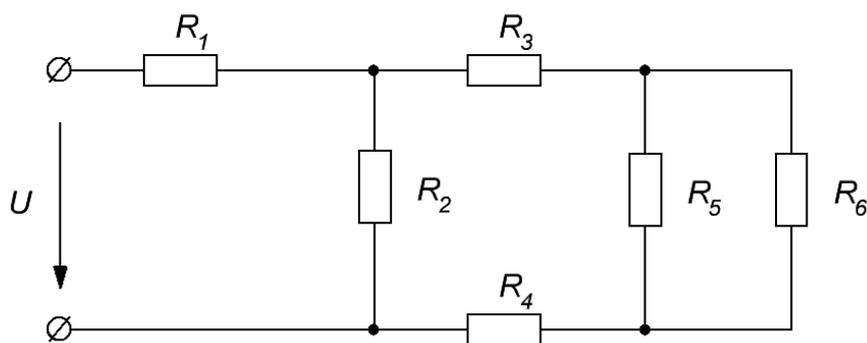


Рисунок 1. Общий вид заданной схемы.

Заданные параметры цепи:

$$U = 180 \text{ В}; R_1 = 61 \text{ Ом}; R_2 = R_H; R_3 = 35 \text{ Ом};$$

$$R_4 = 63 \text{ Ом}; R_5 = 80 \text{ Ом}; R_6 = \infty \text{ Ом}$$

Вольт-амперная характеристика нелинейного элемента.

| | | | | | | | | | | |
|------------------|---|-----|------|-----|------|------|-----|-----|-----|-----|
| $U_H, \text{ В}$ | 0 | 20 | 40 | 60 | 80 | 100 | 120 | 140 | 160 | 180 |
| $I_H, \text{ А}$ | 0 | 0.1 | 0.15 | 0.3 | 0.55 | 0.75 | 1.0 | 1.7 | 2.6 | 3.2 |

1. Составляем схему электрической цепи в соответствии с заданием по варианту. На схеме обозначаем токи в ветвях и задаем их направления.

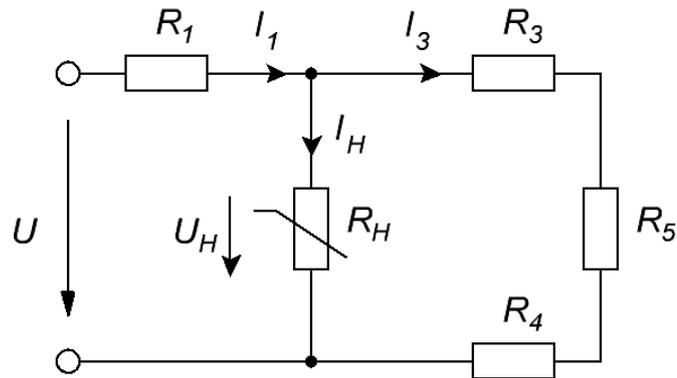


Рисунок 2. Расчетная схема цепи.

2. Для расчета параметров нелинейного сопротивления преобразовываем заданную схему к эквивалентному генератору относительно нелинейного сопротивления.

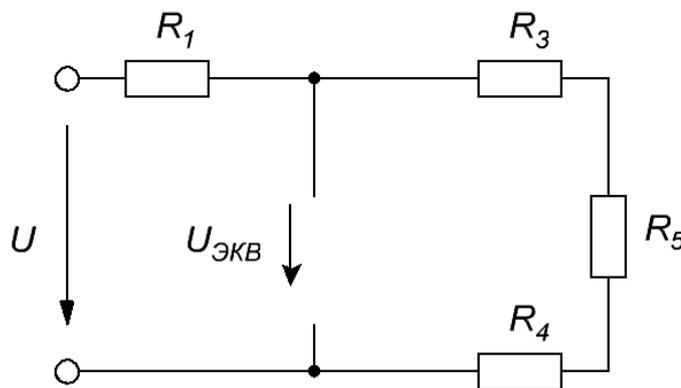


Рисунок 3. Схема для расчета параметров эквивалентного генератора.

Рассчитываем параметры эквивалентного генератора.

$$R_0 = R_3 + R_4 + R_5 = 35 + 63 + 80 = 178 \text{ Ом}$$

$$U_{\text{ЭКВ}} = \frac{U}{R_1 + R_0} \cdot R_0 = \frac{180}{61 + 178} \cdot 178 = 134.06 \text{ В}$$

$$R_{\text{ЭКВ}} = \frac{R_1 \cdot R_0}{R_1 + R_0} = \frac{61 \cdot 178}{61 + 178} = 45.43 \text{ Ом}$$

3. По заданным параметрам строим вольт-амперную характеристику нелинейного элемента.

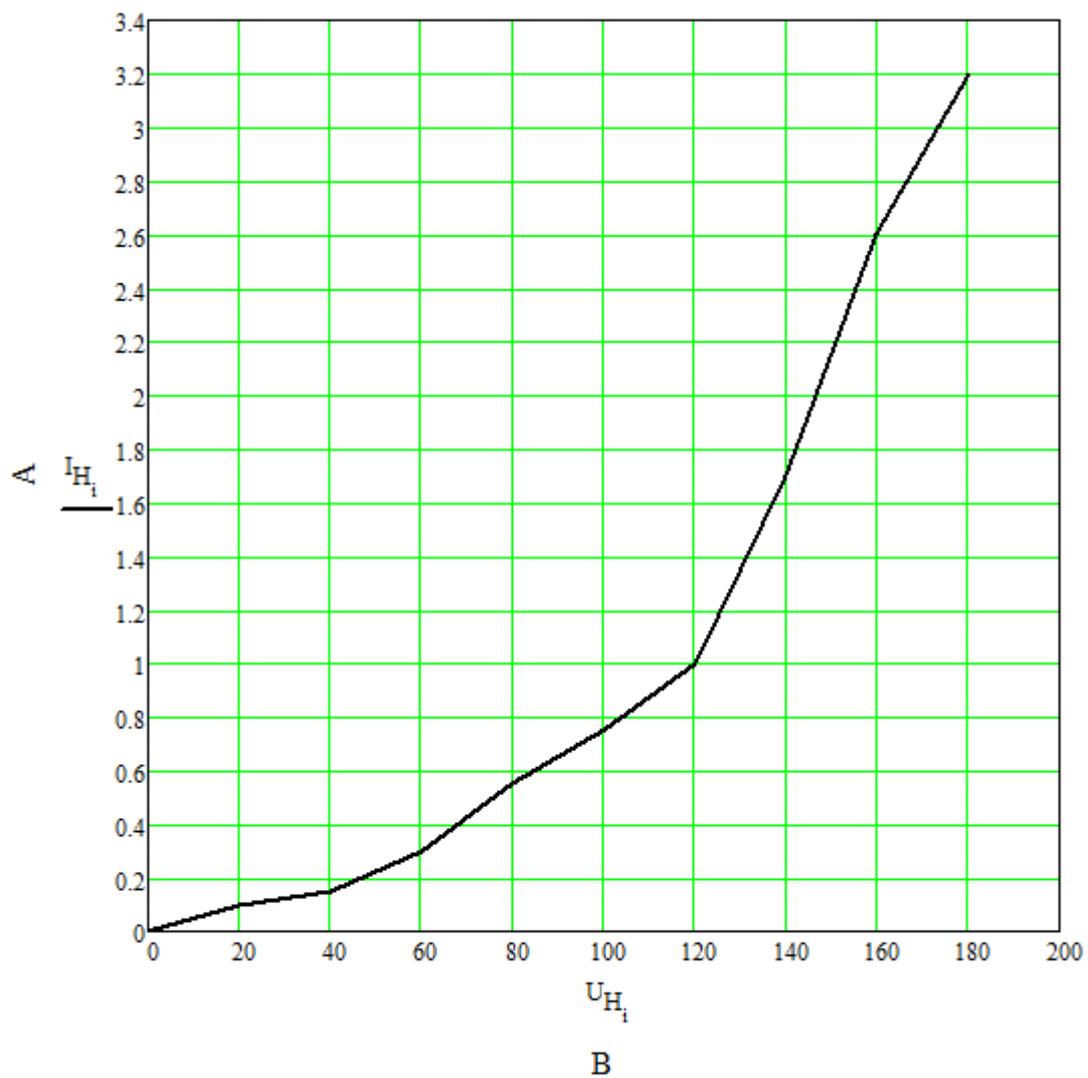


Рисунок 4. Вольт-амперная характеристика нелинейного сопротивления.

4. Для схемы эквивалентного генератора получим выражение, определяющее зависимость напряжения на нелинейном элементе от тока нелинейного элемента.

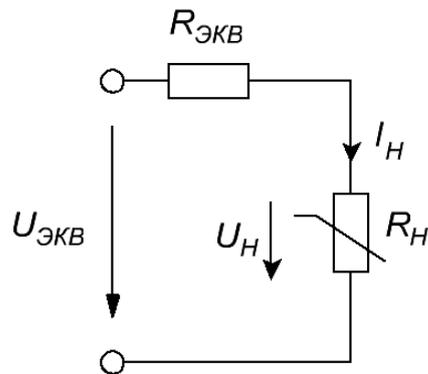


Рисунок 5. Схема эквивалентного генератора нелинейного сопротивления.

$$I_H = \frac{U_{\text{ЭКВ}} - U_H}{R_{\text{ЭКВ}}}; U_H = U_{\text{ЭКВ}} - I_H \cdot R_{\text{ЭКВ}}$$

5. Производим расчет цепи методом итераций.

Для нулевого приближения задаем ток нелинейного элемента: $I_{H(0)} = 1 \text{ A}$

Напряжение нелинейного элемента: $U_{H(1)} = 134.06 - 1 \cdot 45.43 = 88.63 \text{ B}$

По полученному значению, используя заданную вольт-амперную характеристику находим ток нелинейного элемента в первом приближении.

По характеристике значению $U_{H(1)} = 88.63 \text{ B}$ соответствуют интервалы значений: $U_a = 80 \text{ B}$; $U_b = 100 \text{ B}$; $I_a = 0.55 \text{ A}$; $I_b = 0.75 \text{ A}$

Ток нелинейного элемента:

$$I_{H(1)} = I_a + \frac{U_{H(1)} - U_a}{U_b - U_a} \cdot (I_b - I_a) = 0.55 + \frac{88.63 - 80}{100 - 80} \cdot (0.75 - 0.55) = 0.636 \text{ A}$$

Аналогичным образом, производим последующие итерации.

1-е приближение:

$$U_{H(2)} = 134.06 - 0.636 \cdot 45.43 = 105.15 \text{ B}$$

$$U_a = 100 \text{ B}; U_b = 120 \text{ B}; I_a = 0.75 \text{ A}; I_b = 1.0 \text{ A}$$

$$I_{H(2)} = I_a + \frac{U_{H(1)} - U_a}{U_b - U_a} \cdot (I_b - I_a) = 0.75 + \frac{105.15 - 100}{120 - 100} \cdot (1.0 - 0.75) = 0.814 \text{ A}$$

2-е приближение:

$$U_{H(3)} = 134.06 - 0.814 \cdot 45.43 = 97.06 \text{ B}$$

$$U_a = 80 \text{ B}; U_b = 100 \text{ B}; I_a = 0.55 \text{ A}; I_b = 0.75 \text{ A}$$

$$I_{H(3)} = I_a + \frac{U_{H(3)} - U_a}{U_b - U_a} \cdot (I_b - I_a) = 0.55 + \frac{97.06 - 80}{100 - 80} \cdot (0.75 - 0.55) = 0.721 \text{ A}$$

3-е приближение:

$$U_{H(4)} = 134.06 - 0.721 \cdot 45.43 = 101.32 \text{ B}$$

$$U_a = 100 \text{ B}; U_b = 120 \text{ B}; I_a = 0.75 \text{ A}; I_b = 1.0 \text{ A}$$

$$I_{H(4)} = I_a + \frac{U_{H(4)} - U_a}{U_b - U_a} \cdot (I_b - I_a) = 0.75 + \frac{101.32 - 100}{120 - 100} \cdot (1.0 - 0.75) = 0.767 \text{ A}$$

4-е приближение:

$$U_{H(5)} = 134.06 - 0.767 \cdot 45.43 = 99.24 \text{ B}$$

$$U_a = 80 \text{ B}; U_b = 100 \text{ B}; I_a = 0.55 \text{ A}; I_b = 0.75 \text{ A}$$

$$I_{H(5)} = I_a + \frac{U_{H(5)} - U_a}{U_b - U_a} \cdot (I_b - I_a) = 0.55 + \frac{99.24 - 80}{100 - 80} \cdot (0.75 - 0.55) = 0.742 \text{ A}$$

5-е приближение:

$$U_{H(6)} = 134.06 - 0.742 \cdot 45.43 = 100.33 \text{ B}$$

$$U_a = 100 \text{ B}; U_b = 120 \text{ B}; I_a = 0.75 \text{ A}; I_b = 1.0 \text{ A}$$

$$I_{H(6)} = I_a + \frac{U_{H(6)} - U_a}{U_b - U_a} \cdot (I_b - I_a) = 0.75 + \frac{100.33 - 100}{120 - 100} \cdot (1.0 - 0.75) = 0.754 \text{ A}$$

6-е приближение:

$$U_{H(7)} = 134.06 - 0.754 \cdot 45.43 = 99.8 \text{ В}$$

$$U_a = 80 \text{ В}; U_b = 100 \text{ В}; I_a = 0.55 \text{ А}; I_b = 0.75 \text{ А}$$

$$I_{H(7)} = I_a + \frac{U_{H(7)} - U_a}{U_b - U_a} \cdot (I_b - I_a) = 0.55 + \frac{99.8 - 80}{100 - 80} \cdot (0.75 - 0.55) = 0.748 \text{ А}$$

7-е приближение:

$$U_{H(8)} = 134.06 - 0.748 \cdot 45.43 = 100.08 \text{ В}$$

$$U_a = 100 \text{ В}; U_b = 120 \text{ В}; I_a = 0.75 \text{ А}; I_b = 1.0 \text{ А}$$

$$I_{H(8)} = I_a + \frac{U_{H(8)} - U_a}{U_b - U_a} \cdot (I_b - I_a) = 0.75 + \frac{100.08 - 100}{120 - 100} \cdot (1.0 - 0.75) = 0.751 \text{ А}$$

8-е приближение:

$$U_{H(9)} = 134.06 - 0.751 \cdot 45.43 = 99.97 \text{ В}$$

$$U_a = 80 \text{ В}; U_b = 100 \text{ В}; I_a = 0.55 \text{ А}; I_b = 0.75 \text{ А}$$

$$I_{H(9)} = I_a + \frac{U_{H(9)} - U_a}{U_b - U_a} \cdot (I_b - I_a) = 0.55 + \frac{99.97 - 80}{100 - 80} \cdot (0.75 - 0.55) = 0.75 \text{ А}$$

9-е приближение:

$$U_{H(10)} = 134.06 - 0.75 \cdot 45.43 = 99.99 \text{ В}$$

$$U_a = 80 \text{ В}; U_b = 100 \text{ В}; I_a = 0.55 \text{ А}; I_b = 0.75 \text{ А}$$

$$I_{H(10)} = I_a + \frac{U_{H(10)} - U_a}{U_b - U_a} \cdot (I_b - I_a) = 0.55 + \frac{99.99 - 80}{100 - 80} \cdot (0.75 - 0.55) = 0.75 \text{ А}$$

Так как при последней итерации получено:

$I_{H(9)} = I_{H(10)} = 0.75 \text{ А}; U_{H(9)} \approx U_{H(10)} \approx 100 \text{ В}$, то эти значения и будут рабочими параметрами нелинейного элемента в заданной цепи.

Таким образом, определено: $I_H = 0.75 \text{ А}; U_H = 100 \text{ В}$

6. По законам Кирхгофа определяем остальные токи исходной схемы:

$$I_1 = \frac{U - U_H}{R_1} = \frac{180 - 100}{61} = 1.311 \text{ A}$$

$$I_3 = \frac{U_H}{R_0} = \frac{100}{178} = 0.561 \text{ A}, \quad I_3 = I_4 = I_1 - I_H = 1.311 - 0.75 = 0.561 \text{ A}$$

Задача 3.

Рассчитать магнитную цепь постоянного тока методом двух узлов. Определить величины, указанные в соответствии с номером варианта.

Дано:

$$l_1 = 33.5 \text{ см}; s_1 = 7.6 \text{ см}^2; w_1 = 500; I_1 = 0.21 \cdot 0.85 = 0.1785 \text{ А};$$

$$l_2 = 12 \text{ см}; s_2 = 12 \text{ см}^2; w_2 = 600; I_2 = 0.05 \cdot 0.85 = 0.0425 \text{ А};$$

$$l_3 = 45 \text{ см}; s_3 = 11.3 \text{ см}^2; w_3 = 975; I_3 - \text{А};$$

$$\delta_1 - ; \delta_2 - ; \delta_3 - \text{ мм}; \text{ рисунок 2в}$$

Дополнительное условие: $\Phi_3 - \Phi_1 = 20 \cdot 10^{-5} \text{ Вб}$; Определить I_3, Φ_1

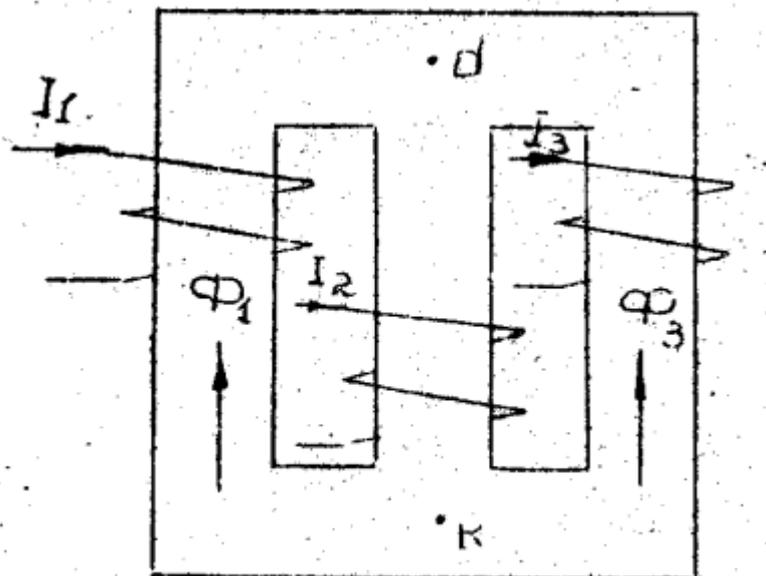


Рис. 2в

Рисунок 1. Заданная схема магнитной цепи.

Заданная кривая 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 | 1,37 | 1,6 |

Решение:

1. Изображаем эквивалентную схему магнитной цепи. Так как в условии задано отрицательное значение тока первой катушки, то на расчетной схеме показываем МДС катушки в обратном направлении, по сравнению с исходной схемой и в дальнейших расчетах ток этой катушки считаем положительным.

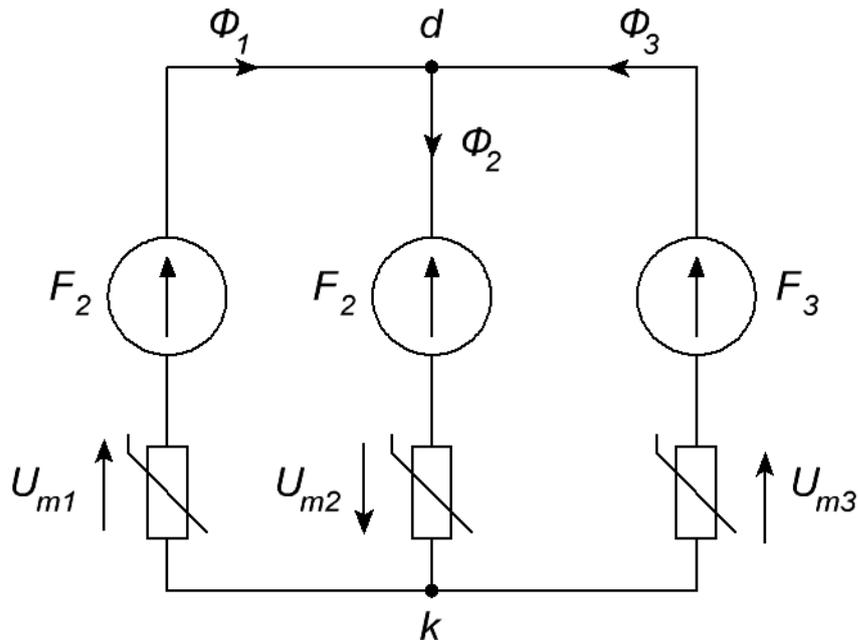


Рисунок 2. Расчетная схема магнитной цепи.

2. По полученной эквивалентной схеме составляем систему уравнений по законам Кирхгофа для магнитной цепи:

$$\begin{cases} \Phi_2 = \Phi_1 + \Phi_3; B_2 \cdot s_2 = B_1 \cdot s_1 + B_3 \cdot s_3 \\ U_{mdk} = F_1 - U_{m1} = I_1 \cdot w_1 - H_1 \cdot l_1 \\ U_{mdk} = F_2 + U_{m2} = I_2 \cdot w_2 + H_2 \cdot l_2 \\ U_{mdk} = F_3 - U_{m3} = I_3 \cdot w_3 - H_3 \cdot l_3 \end{cases}$$

Значения магнитодвижущих сил:

$$F_1 = I_1 \cdot w_1 = 0.1785 \cdot 500 = 89.25 \text{ A}; \quad F_2 = I_2 \cdot w_2 = 0.0425 \cdot 600 = 25.5 \text{ A}$$

3. Для определения магнитных потоков составляем расчетную таблицу и по ней строим характеристики:

1) $\Phi_1(U_{\text{mdk}})$; 2) $\Phi_2(U_{\text{mdk}})$ 3) $\Phi_3(U_{m3})$, 4) $\Phi_{11}(U_{\text{mdk}})$

| $H, \frac{A}{M}$ | $B, Tл$ | $\Phi_1,$ $Bб \cdot 10^{-5}$ | $\Phi_{11},$ $Bб \cdot 10^{-5}$ | U_{mdk}, A | $\Phi_2,$ $Bб \cdot 10^{-5}$ | U_{mdk}, A | $\Phi_3,$ $Bб \cdot 10^{-5}$ | U_{m3}, A |
|------------------|---------|---------------------------------|------------------------------------|---------------------|---------------------------------|---------------------|---------------------------------|---------------|
| | | $B \cdot s_1$ | $2 \cdot \Phi_1 + 20$ | $F_1 - H \cdot l_1$ | $B \cdot s_2$ | $F_2 + H \cdot l_2$ | $B \cdot s_3$ | $H \cdot l_3$ |
| 0 | 0 | 0 | 20 | 89,25 | 0 | 25,5 | 0 | 0 |
| 20 | 0,22 | 16,72 | 53,44 | 82,55 | 26,4 | 27,9 | 24,86 | 9 |
| 40 | 0,75 | 57 | 134 | 75,85 | 90 | 30,3 | 84,75 | 18 |
| 60 | 0,93 | 70,68 | 161,36 | 69,15 | 111,6 | 32,7 | 105,09 | 27 |
| 80 | 1,02 | 77,52 | 175,04 | 62,45 | 122,4 | 35,1 | 115,26 | 36 |
| 120 | 1,14 | 86,64 | 193,28 | 49,05 | 136,8 | 39,9 | 128,82 | 54 |
| 200 | 1,28 | 97,28 | 214,56 | 22,25 | 153,6 | 49,5 | 144,64 | 90 |
| 400 | 1,47 | 111,72 | 243,44 | -44,75 | 176,4 | 73,5 | 166,11 | 180 |
| 600 | 1,53 | 116,28 | 252,56 | -111,75 | 183,6 | 97,5 | 172,89 | 270 |
| 800 | 1,57 | 119,32 | 258,64 | -178,75 | 188,4 | 121,5 | 177,41 | 360 |
| 1200 | 1,6 | 121,6 | 263,2 | -312,75 | 192 | 169,5 | 180,8 | 540 |

В соответствии с условием: $\Phi_3 - \Phi_1 = 20 \cdot 10^{-5} Bб$. Тогда, из 1-го закона

Кирхгофа получаем: $\Phi_2 = \Phi_1 + \Phi_3 = \Phi_1 + \Phi_1 + 20 \cdot 10^{-5} = 2 \cdot \Phi_1 + 20 \cdot 10^{-5} = \Phi_{11}$

Точка пересечения графиков 2) $\Phi_2(U_{\text{mdk}})$ и 4) $\Phi_{11}(U_{\text{mdk}})$ (точка А) будет определять рабочий режим заданной магнитной цепи.

По точке А определяем рабочее межзловое напряжение $U_{\text{mdk}} = 65 A$.

При известном значении межзлового магнитного напряжения по графикам определяем значения магнитных потоков:

По линии 1) $\Phi_1(U_{\text{mdk}})$ $\Phi_1 = 75 \cdot 10^{-5} Bб$

По линии 2) $\Phi_2(U_{\text{mdk}})$ $\Phi_2 = 170 \cdot 10^{-5} Bб$

Соответственно, $\Phi_3 = \Phi_1 + 20 \cdot 10^{-5} = (75 + 20) \cdot 10^{-5} = 95 \cdot 10^{-5} Bб$

По линии 3) $\Phi_3(U_{m3})$ определяем, что при значении магнитного потока $\Phi_3 = 95 \cdot 10^{-5} Bб$ значение магнитного напряжения $U_{m3} = 22 A$

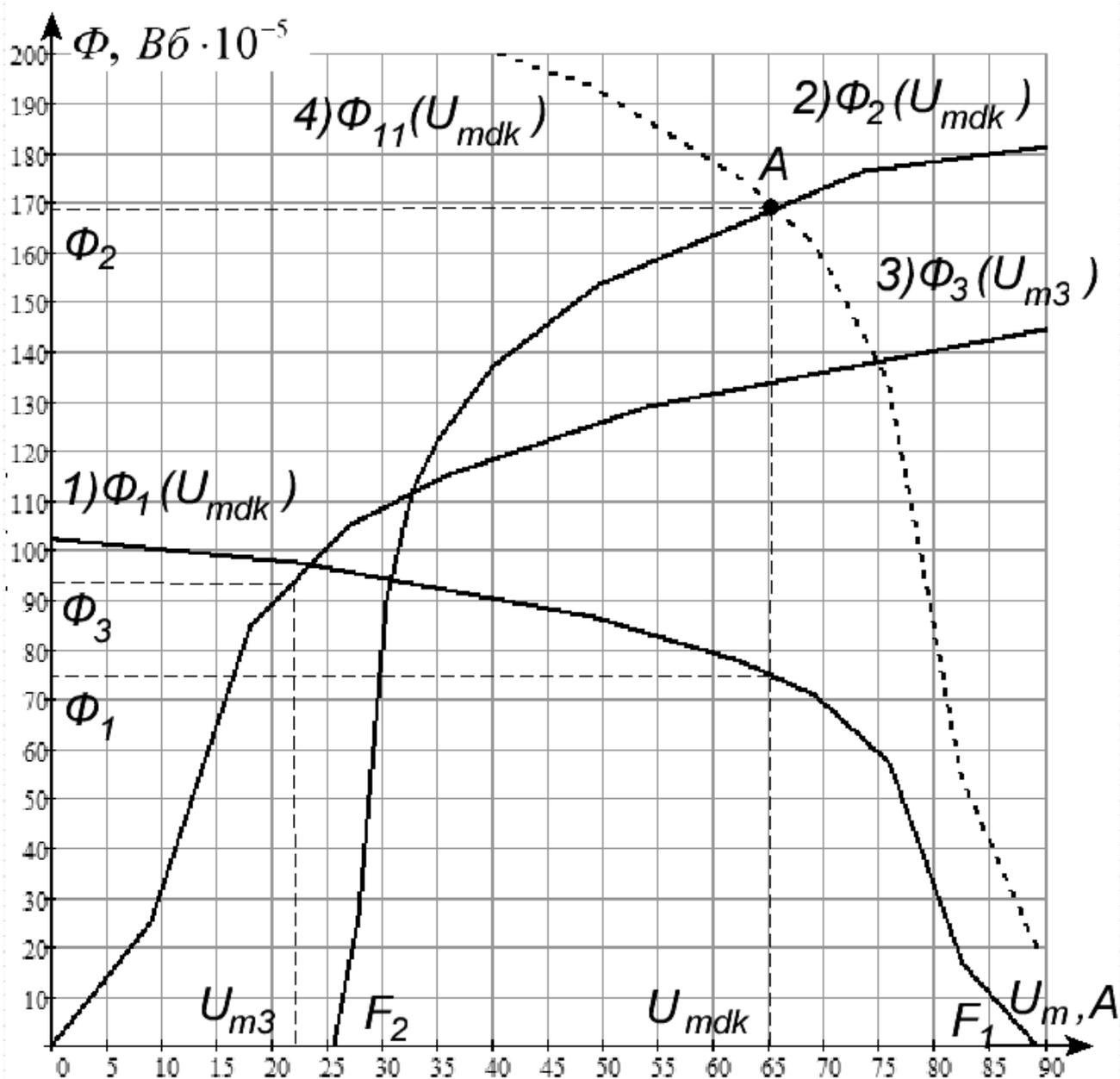


Рисунок 3. Графический расчет магнитной цепи методом двух узлов.

Из уравнения по 2-му закону Кирхгофа определяем:

$$U_{mdk} = F_3 - U_{m3}; F_3 = I_3 \cdot w_3 = U_{mdk} + U_{m3}$$

$$I_3 = \frac{U_{mdk} + U_{m3}}{w_3} = \frac{65 + 22}{975} = 0.089 \text{ A}$$

