

Задача 1

Расчет магнитной цепи постоянного тока

Магнитная цепь постоянного тока изображена на рис. 1.1.

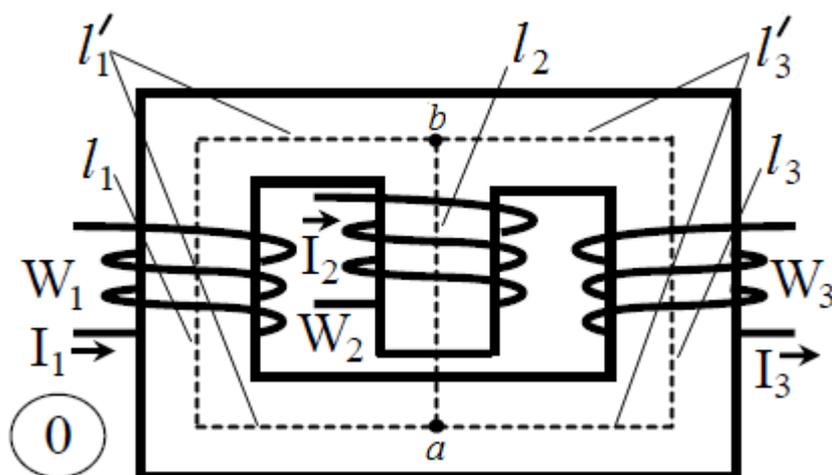


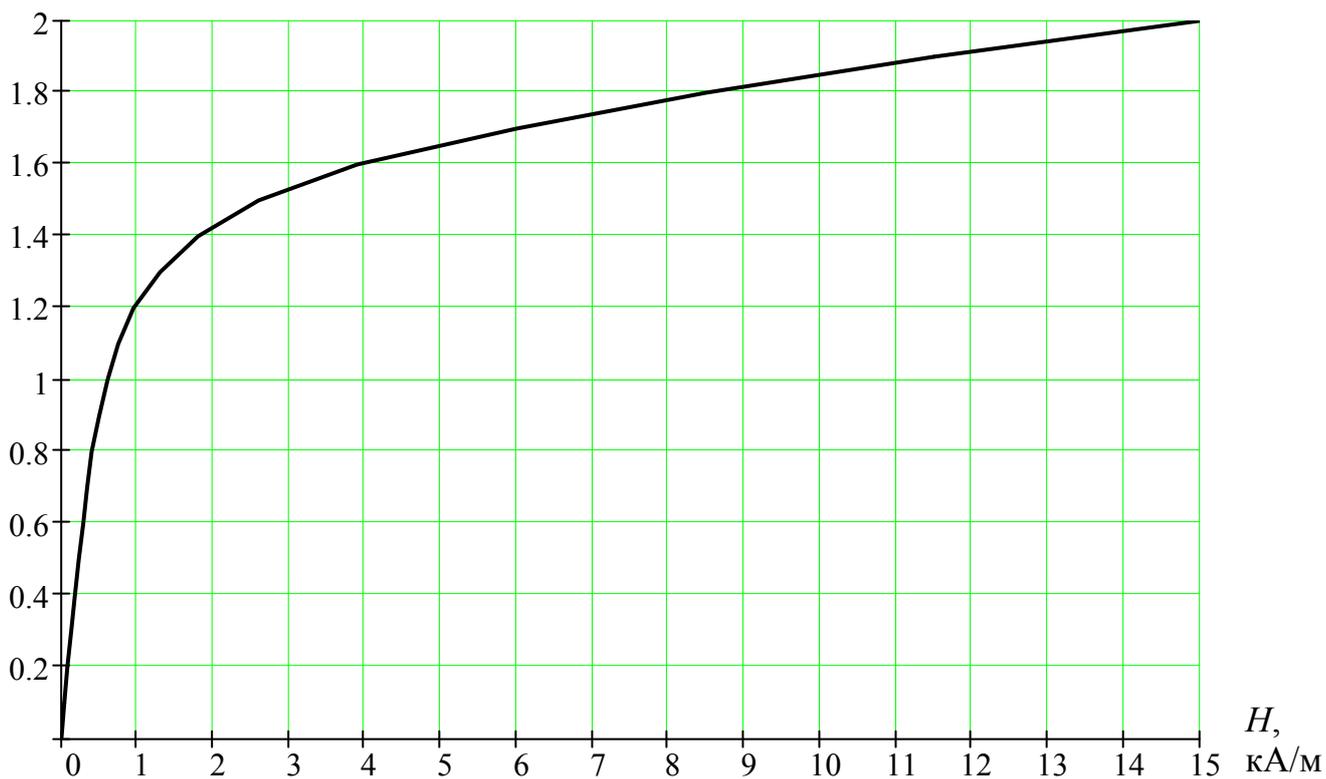
Рис. 1.1

Кривая намагничивания представлена в табл. 1.1.

Таблица 1.1
Кривая намагничивания магнитопровода

B , Тл	0	0,4	0,8	1,2	1,6	2
H , А/м	0	200	400	950	3900	15000

B , Тл



Величины токов, числа витков обмоток и геометрические размеры магнитной цепи (рис. 1.2) заданы в табл. 1.2.

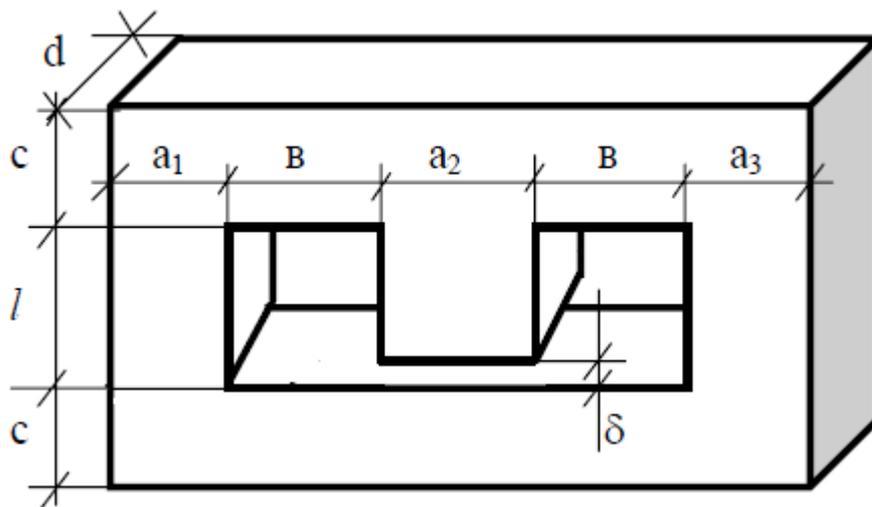


Рис. 1.2

Таблица 1.2

Величины токов, числа витков обмоток и геометрические размеры магнитной цепи
($d = 60$ мм)

Строка	$I_1,$	w_1	$I_2,$	w_2	$I_3,$	w_3	a_1	a_2	a_3	b	c	l	δ
	A		A		A		мм						
2	25	250	10	300	30	150	40	50	50	60	50	160	5

Определить магнитные потоки в стержнях и значение магнитной индукции в воздушном зазоре.

При расчете потоками рассеяния пренебречь.

1. Для определения магнитных потоков магнитную цепь разбивают на однородные участки, каждый из которых выполнен из определенного материала и имеет одинаковое поперечное сечение вдоль всей своей длины:

Стержень 1

$$l_1 = l + c = (160 + 50) \cdot 10^{-3} = 0.21 \text{ м};$$

$$S_1 = a_1 \cdot d = 40 \cdot 60 \cdot 10^{-6} = 2.4 \times 10^{-3} \text{ м}^2.$$

Ярмо 1

$$l'_1 = 2b + a_1 + a_2 = (2 \cdot 60 + 40 + 50) \cdot 10^{-3} = 0.21 \text{ м};$$

$$S'_1 = c \cdot d = 50 \cdot 60 \cdot 10^{-6} = 3 \times 10^{-3} \text{ м}^2.$$

Стержень 2

$$l_2 = l + c - \delta = (160 + 50 - 5) \cdot 10^{-3} = 0.205 \text{ м};$$

$$S_B = S_2 = a_2 \cdot d = 50 \cdot 60 \cdot 10^{-6} = 3 \times 10^{-3} \text{ м}^2.$$

Стержень 3

$$l_3 = l + c = (160 + 50) \cdot 10^{-3} = 0.21 \text{ м};$$

$$S_3 = a_3 \cdot d = 50 \cdot 60 \cdot 10^{-6} = 3 \times 10^{-3} \text{ м}^2.$$

Ярмо 3

$$l'_3 = 2b + a_3 + a_2 = (2 \cdot 60 + 50 + 50) \cdot 10^{-3} = 0.22 \text{ м};$$

$$S'_3 = c \cdot d = 50 \cdot 60 \cdot 10^{-6} = 3 \times 10^{-3} \text{ м}^2.$$

2. Схема замещения цепи (рис. 1.3)

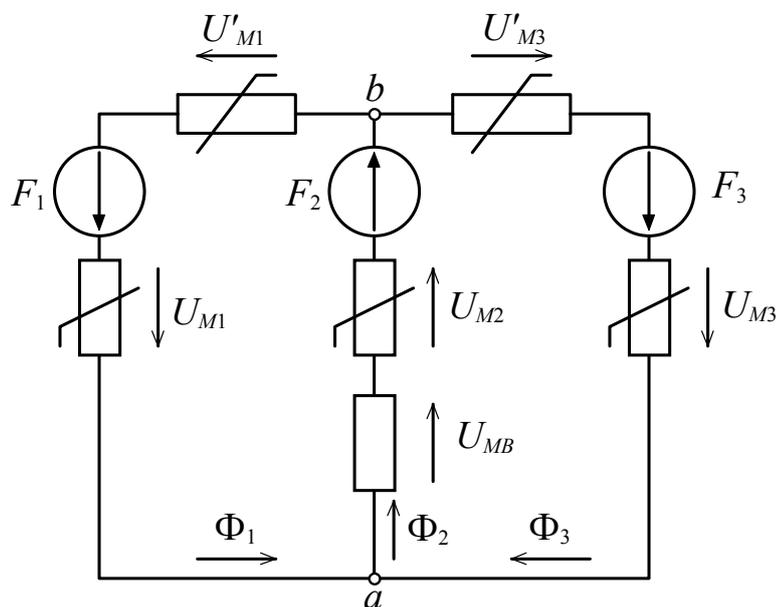


Рис. 1.3

3. Система уравнений по законам Кирхгофа

$$\begin{cases} \Phi_1 + \Phi_3 = \Phi_2; \\ U_{Mab} + H'_1 \cdot l'_1 + H_1 \cdot l_1 = F_1; \\ U_{Mab} - H_2 \cdot l_2 - H_B \cdot l_B = -F_2; \\ U_{Mab} + H'_3 \cdot l'_3 + H_3 \cdot l_3 = F_3. \end{cases} \quad (1)$$

4. Определим магнитные потоки в стержнях и значение магнитной индукции в воздушном зазоре.

Задаваясь различными значениями магнитной индукции в пределах 0 – 2 Тл, определим потоки в стержнях сердечника. По значениям магнитной индукции находим напряженность магнитного поля. Для ферромагнитных участков напряженность поля определяют по кривой намагничивания. Для воздушного зазора, по формуле

$$H = \frac{B}{4\pi \cdot 10^{-7}}.$$

Применяя уравнения, составленные по второму закону Кирхгофа, находим магнитное напряжение U_{Mab} между двумя узлами для каждого значения магнитного потока.

$$\begin{cases} U_{Mab1} = F_1 - H_1 \cdot l_1 - H'_1 \cdot l'_1; \\ U_{Mab2} = -F_2 + H_2 \cdot l_2 + H_B \cdot l_B; \\ U_{Mab3} = F_3 - H_3 \cdot l_3 - H'_3 \cdot l'_3, \end{cases} \quad (2)$$

где магнитодвижущие силы обмоток

$$F_1 = I_1 \cdot w_1 = 6250 \text{ А}, F_2 = I_2 \cdot w_2 = 3000 \text{ А}, F_3 = I_3 \cdot w_3 = 4500 \text{ А}.$$

Результаты вычислений занесем в таблицы 1.3 – 1.5 для ветвей 1 – 3.

Таблица 1.3

Расчетная таблица для ветви 1

B_1	H_1	Φ_1	$U_{M1} = H_1 \cdot l_1$	$B'_1 = \frac{\Phi_1}{S'_1}$	H'_1	$U'_{M1} = H'_1 \cdot l'_1$	$U_{Mab1} = F_1 - H_1 l_1 - H'_1 l'_1$
Тл	А/м	мВб	А	Тл	А/м	А	А
0	0	0	0	0	0	0	6250
0,4	200	0,96	42	0,32	140	29	6179
0,8	400	1,92	84	0,64	311	65	6101
1,2	950	2,88	200	0,96	564	118	5932
1,6	3900	3,84	819	1,28	1219	256	5175
2,0	15000	4,80	3150	1,60	3900	819	2281

Таблица 1.4

Расчетная таблица для ветви 2

B_2	H_2	Φ_2	$U_{M2} = H_2 \cdot l_2$	$U_{MB} = \frac{B_3 \cdot l_B}{4\pi \cdot 10^{-7}}$	$U_{Mab2} = -F_2 + H_2 \cdot l_2 + H_B \cdot l_B$
Тл	А/м	мВб	А	А	А
0	0	0	0	0	-3000
0,4	200	1,2	41	1592	-1367
0,8	400	2,4	82	3183	265
1,2	950	3,6	195	4775	1969
1,6	3900	4,8	800	6366	4166
2,0	15000	6,0	3075	7958	8033

Таблица 1.5

Расчетная таблица для ветви 3

B_3	H_3	Φ_3	$U_{M3} = H_3 \cdot l_3$	$B'_3 = \frac{\Phi_3}{S'_3}$	H'_3	$U'_{M3} = H'_3 \cdot l'_3$	$U_{Mab3} = F_3 - H_3 l_3 - H'_3 l'_3$
Тл	А/м	мВб	А	Тл	А/м	А	А
0	0	0	0	0	0	0	4500
0,4	200	1,2	42	0,4	180	40	4418
0,8	400	2,4	84	0,8	400	88	4328
1,2	950	3,6	200	1,2	950	209	4092
1,6	3900	4,8	819	1,6	3900	858	2823
2	15000	6	3150	2	15000	3300	-1950

На основании результатов вычислений строим графики зависимостей

$$\begin{aligned}
 \Phi_1 &= f(U_{Mab1}); \\
 \Phi_2 &= f(U_{Mab2}); \\
 \Phi_3 &= f(U_{Mab3}).
 \end{aligned}
 \tag{3}$$

Графики зависимостей (3) представлены на рисунке 1.4.

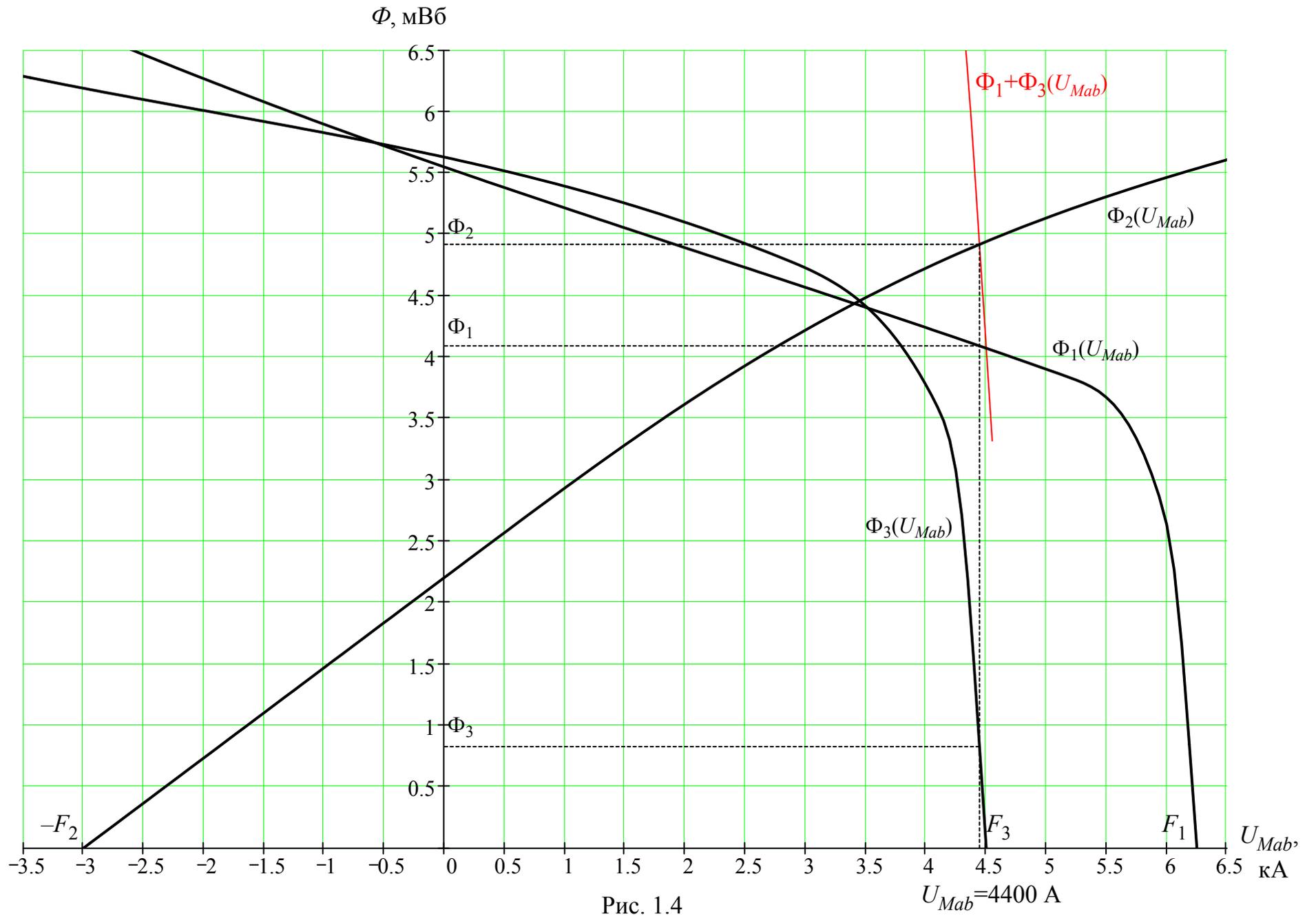


Рис. 1.4

По графикам (рис. 1.4) определяем то значение магнитного напряжения $U_{Mab} = 4400$ А, при котором выполняется первый закон Кирхгофа для магнитной цепи ($\Sigma\Phi = 0$). Потoki Φ_1 , Φ_2 , Φ_3 , соответствующие этому магнитному напряжению, являются искомыми величинами:

$$\Phi_1 = 4.1 \text{ мВб};$$

$$\Phi_2 = 4.9 \text{ мВб};$$

$$\Phi_3 = 0.8 \text{ мВб}.$$

Магнитную индукцию в воздушном зазоре рассчитаем по формуле

$$\begin{aligned} B_B = B_2 &= \frac{\Phi_2}{S_2} = \\ &= \frac{4.9 \cdot 10^{-3}}{3 \cdot 10^{-3}} = 1.6 \text{ Тл}. \end{aligned}$$

Задача 2

Расчет нелинейной цепи переменного тока, содержащей катушку с ферромагнитным сердечником

Задана электрическая цепь (рис.2.1), содержащая катушку с ферромагнитным сердечником.

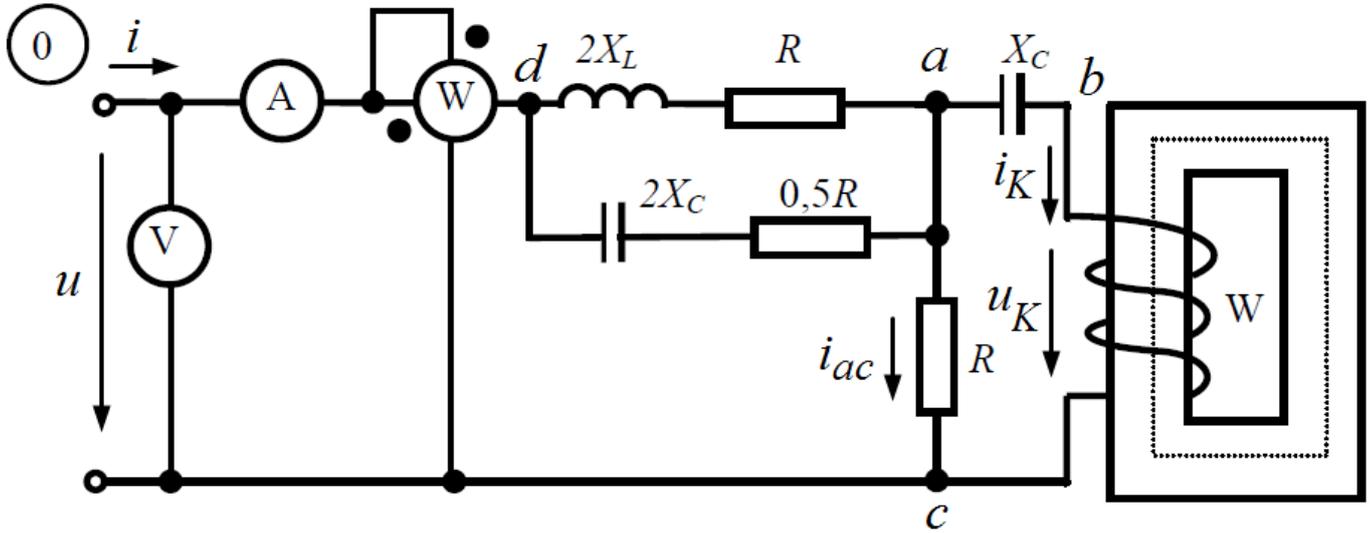


Рис. 2.1. Схема электрической цепи

Индукция магнитного поля в сердечнике изменяется по синусоидальному закону. Кривая намагничивания сердечника задается таблицей 2.1.

Таблица 2.1

Кривая намагничивания сердечника

B, Тл	0,6	0,8	1	1,2	1,4	1,6
H, А/м	120	160	250	500	1000	1800

Максимальная величина магнитной индукции $B_m = 1.4$ Тл

Длина средней магнитной линии $l = 0.6$ м

Поперечное сечение сердечника $S = 4 \times 10^{-4}$ м²

Параметры электрической цепи:

$R = 10$ Ом, $X_L = 80$ Ом, $X_C = 80$ Ом, $w = 1300$, $f = 60$ Гц.

Аппроксимирующее выражение кривой намагничивания:

$$H = a \cdot B + b \cdot B^3$$

Требуется:

1. Определить коэффициенты a и b аппроксимирующего выражения, выбрав на кривой намагничивания точки
 $H_1 = 250$ А/м; $B_1 = 1$ Тл; $H_2 = 1000$ А/м; $B_2 = 1,4$ Тл.
2. Построить в одних осях исходную кривую намагничивания и аппроксимирующую кривую.
3. Пренебрегая потоком рассеяния и потерями, определить закон изменения тока и напряжения источника. Построить гармоники тока и их графическую сумму в пределах одного периода основной гармоники.
4. Определить показания приборов, считая, что они имеют электродинамическую систему.

1. Определим коэффициенты a и b аппроксимирующего выражения $H = a \cdot B + b \cdot H^3$
Для этого выберем на кривой $B = f(H)$ две точки:

$$\begin{aligned} H_1 &= 250 \text{ А/м}; & B_1 &= 1 \text{ Тл}; \\ H_2 &= 1000 \text{ А/м}; & B_2 &= 1,4 \text{ Тл}. \end{aligned}$$

Запишем систему уравнений:

$$\begin{aligned} H_1 &= a \cdot B_1 + b \cdot H_1^3 \\ H_2 &= a \cdot B_2 + b \cdot H_2^3 \end{aligned}$$

Подставив числовые данные, получим:

$$\begin{aligned} 250 &= a \cdot 1 + b \cdot 1^3 \\ 1000 &= a \cdot 1,4 + b \cdot 1,4^3 \end{aligned}$$

Решив эти уравнения, найдем:

$$a = -234 \quad b = 484$$

Таким образом, аппроксимирующее выражение имеет вид (рис. 2.2):

$$H = -234B + 484B^3$$

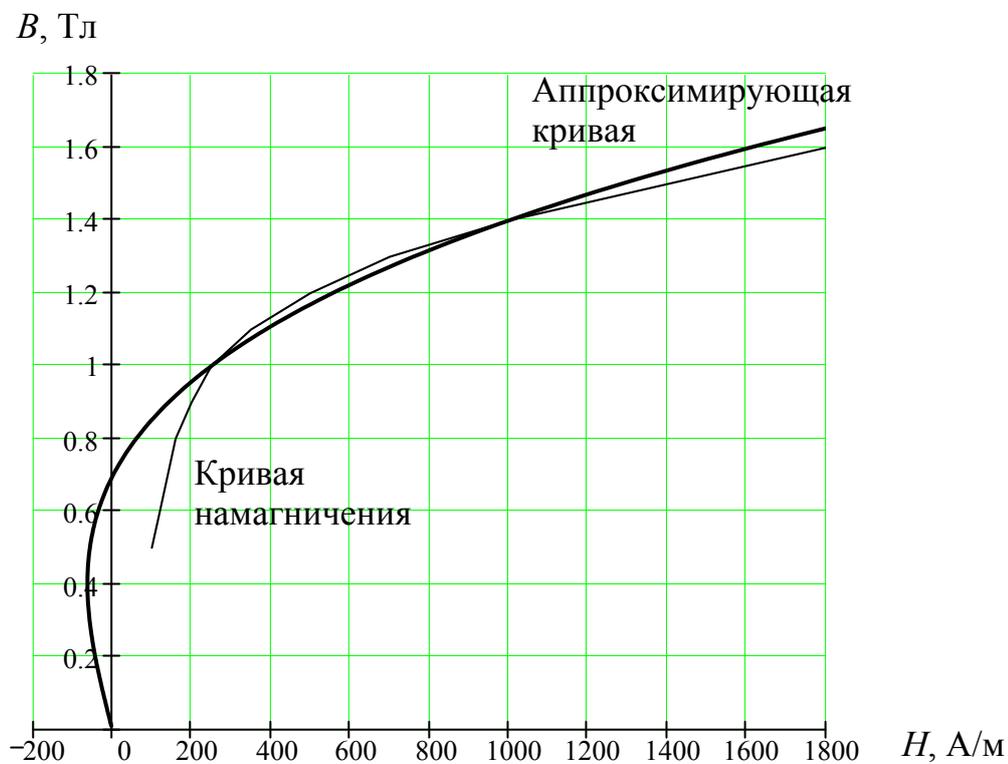


Рис. 2.2. Кривая намагничивания и аппроксимирующая кривая

2. Определим закон изменения напряжения и тока источника.

Магнитная индукция:

$$B = B_m \sin \omega t = 1.4 \cdot \sin \omega t, \text{ Тл}$$

Напряжение на катушке:

$$u_K = U_{Km} \sin \left(\omega t + \frac{\pi}{2} \right)$$

где

$$U_{Km} = \sqrt{2} U_K = \sqrt{2} \cdot 4.44 \cdot w \cdot f \cdot S \cdot B_m = \sqrt{2} \cdot 4.44 \cdot 1300 \cdot 60 \cdot 4 \cdot 10^{-4} \cdot 1.4 = 274.3 \text{ В}$$

Тогда

$$u_K = 274.3 \cdot \sin \left(\omega t + \frac{\pi}{2} \right) \text{ В}$$

Мгновенное значение тока катушки:

$$\begin{aligned} i_K &= \frac{H \cdot l}{w} = \frac{(a \cdot B + b \cdot B^3) l}{w} = \frac{(a \cdot B_m \sin \omega t + b \cdot B_m^3 \sin^3 \omega) l}{w} = \\ &= \frac{a \cdot B_m \cdot l}{w} \cdot \sin \omega t + \frac{b \cdot B_m^3 \cdot l}{w} \cdot \left(\frac{3 \sin \omega t - \sin 3 \omega t}{4} \right) = \\ &= \frac{-234 \cdot 1.4 \cdot 0.6}{1300} \cdot \sin \omega t + \frac{484 \cdot 1.4^3 \cdot 0.6}{4 \cdot 1300} \cdot (3 \sin \omega t - \sin 3 \omega t) = \\ &= 0.3085 \cdot \sin \omega t - 0.1532 \cdot \sin 3 \omega t, \text{ А} \end{aligned}$$

Составим уравнения Кирхгофа:

$$\begin{cases} \underline{U} = \underline{U}_{da} + \underline{U}_{ac} = \underline{Z}_{da} \underline{I} + \underline{Z}_{ab} \underline{I}_K + \underline{U}_K \\ \underline{I} = \underline{I}_K + \underline{I}_{ac} = \underline{I}_K + \frac{\underline{U}_{ac}}{\underline{Z}_{ac}} = \underline{I}_K + \frac{\underline{U}}{\underline{Z}_{ac}} \end{cases}$$

Комплексные сопротивления:

для первой гармоники:

$$\underline{Z}_{ab(1)} = -j \cdot X_C = -j 80 = 80 \cdot e^{-j 90^\circ} \text{ Ом}$$

$$\underline{Z}_{da(1)} = \frac{(R + j 2 X_L) \cdot (0.5 R - j 2 X_C)}{(R + j 2 X_L) + (0.5 R - j 2 X_C)} =$$

$$= \frac{(10 + j 2 \cdot 80) \cdot (0.5 \cdot 10 - j 2 \cdot 80)}{(10 + j 2 \cdot 80) + (0.5 \cdot 10 - j 2 \cdot 80)} = 1710 - 53.33j = 1711 \cdot e^{-j 1.79^\circ} \text{ Ом}$$

для третьей гармоники:

$$\underline{Z}_{ab(3)} = -j \cdot \frac{X_C}{3} = -j \frac{80}{3} = -26.667j = 26.667 \cdot e^{-j 90^\circ} \text{ Ом}$$

$$\begin{aligned} \underline{Z}_{da(3)} &= \frac{(R + j2 \cdot 3X_L) \cdot \left(0.5R - j2 \frac{X_C}{3}\right)}{(R + j2 \cdot 3X_L) + \left(0.5R - j2 \frac{X_C}{3}\right)} = \\ &= \frac{(10 + j2 \cdot 3 \cdot 80) \cdot \left(0.5 \cdot 10 - j \cdot 2 \cdot \frac{80}{3}\right)}{(10 + j2 \cdot 3 \cdot 80) + \left(0.5 \cdot 10 - j \cdot 2 \cdot \frac{80}{3}\right)} = 6.48 - 59.89j = 60.24 \cdot e^{-j 83.82^\circ} \text{ Ом} \end{aligned}$$

Напряжение на участке ab

$$\underline{U}_{abm(1)} = \underline{Z}_{ab(1)} \cdot \underline{I}_{Km(1)} = 80 \cdot e^{-j 90^\circ} \cdot 0.3085 = 24.68 \cdot e^{-j 90^\circ} = -24.68j \text{ В}$$

$$\begin{aligned} \underline{U}_{abm(3)} &= \underline{Z}_{ab(3)} \cdot \underline{I}_{Km(3)} = 26.667 \cdot e^{-j 90^\circ} \cdot (-0.1532) = \\ &= 4.09 \cdot e^{j 90^\circ} = 4.09j \text{ В} \end{aligned}$$

Напряжение на участке ac

$$\begin{aligned} \underline{U}_{acm(1)} &= \underline{U}_{abm(1)} + \underline{U}_{Km(1)} = \\ &= (-24.68j) + 274.3j = 249.6j = 249.6 \cdot e^{j 90^\circ} \text{ В} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \underline{U}_{acm(3)} &= \underline{U}_{abm(3)} + \underline{U}_{Km(3)} = \\ &= (4.09j) + 0 = 4.09j = 4.09 \cdot e^{j 90^\circ} \text{ В} \end{aligned}$$

Ток на участке ac

$$\underline{I}_{acm(1)} = \frac{\underline{U}_{acm(1)}}{\underline{Z}_{ac(1)}} = \frac{249.6 \cdot e^{j 90^\circ}}{10} = 24.96 \cdot e^{j 90^\circ} = 24.96j \text{ А}$$

$$\underline{I}_{acm(3)} = \frac{\underline{U}_{acm(3)}}{\underline{Z}_{ac(3)}} = \frac{4.09 \cdot e^{j 90^\circ}}{10} = 0.409 \cdot e^{j 90^\circ} = 0.409j \text{ А}$$

Ток источника (рис. 2)

$$\underline{I}_{m(1)} = \underline{I}_{acm(1)} + \underline{I}_{Km(1)} = (24.96j) + 0.309 = 0.31 + 24.96j = 24.96 \cdot e^{j 89.29^\circ} \text{ A}$$

$$\underline{I}_{m(3)} = \underline{I}_{acm(3)} + \underline{I}_{Km(3)} = (0.409j) + (-0.153) = -0.153 + 0.409j = 0.436 \cdot e^{j 110.56^\circ} \text{ A}$$

$$i(\omega t) = 24.96 \cdot \sin(\omega t + 89.29^\circ) + 0.436 \cdot \sin(3 \cdot \omega t + 110.56^\circ) \text{ A}$$

Напряжение источника

$$\begin{aligned} \underline{U}_{m(1)} &= \underline{U}_{dam(1)} + \underline{U}_{acm(1)} = \underline{I}_{m(1)} \cdot \underline{Z}_{da(1)} + \underline{U}_{acm(1)} = \\ &= (0.31 + 24.96j) \cdot (1710 - 53j) + (249.6j) = 1853 + 42915j = 42950 \cdot e^{j 87.52^\circ} \text{ В} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \underline{U}_{m(3)} &= \underline{U}_{dam(3)} + \underline{U}_{acm(3)} = \underline{I}_{m(3)} \cdot \underline{Z}_{da(3)} + \underline{U}_{acm(3)} = \\ &= (-0.153 + 0.409j) \cdot (6.5 - 59.9j) + (4.09j) = 23.5 + 15.9j = 28.4 \cdot e^{j 34.12^\circ} \text{ В} \end{aligned}$$

$$u(\omega t) = 42950 \cdot \sin(\omega t + 87.52^\circ) + 28.4 \cdot \sin(3 \cdot \omega t + 34.12^\circ) \text{ В}$$

3. Строим кривую тока источника (рис. 2.3)

$i(t)$, А

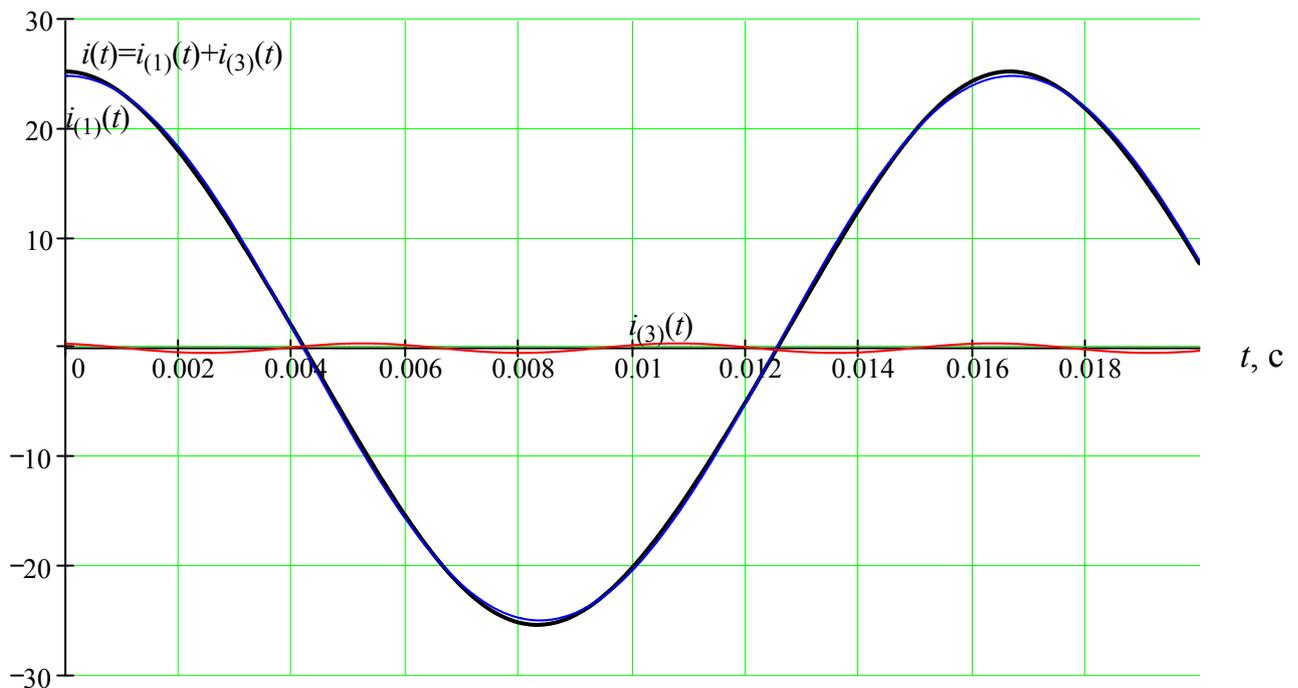


Рис. 2.3. Ток источника

4. Показания приборов:

$$U_V = \sqrt{\left(\frac{U_{m(1)}}{\sqrt{2}}\right)^2 + \left(\frac{U_{m(3)}}{\sqrt{2}}\right)^2} = \sqrt{\left(\frac{42950}{\sqrt{2}}\right)^2 + \left(\frac{28.4}{\sqrt{2}}\right)^2} = 30370 \text{ В}$$

$$I_A = \sqrt{\left(\frac{I_{m(1)}}{\sqrt{2}}\right)^2 + \left(\frac{I_{m(3)}}{\sqrt{2}}\right)^2} = \sqrt{\left(\frac{24.96}{\sqrt{2}}\right)^2 + \left(\frac{0.436}{\sqrt{2}}\right)^2} = 17.7 \text{ А}$$

$$P_W = P_{(1)} + P_{(3)} = U_{(1)} I_{(1)} \cos \varphi_{(1)} + U_{(3)} I_{(3)} \cos \varphi_{(3)} =$$

$$= \frac{42950}{\sqrt{2}} \cdot \frac{24.96}{\sqrt{2}} \cdot \cos(-1.77^\circ) + \frac{28.4}{\sqrt{2}} \cdot \frac{0.436}{\sqrt{2}} \cdot \cos(-76.43^\circ) = 5.36 \times 10^5 \text{ Вт.}$$

Задача 3

Расчет электрического поля в проводящей среде

На рисунке 3.1 показан полушаровый электрод, радиус которого равен $r = a$. Электрод предназначен для заземления металлической опоры линии электропередачи постоянного тока. Ток короткого замыкания линии стекает через заземлитель в землю и растекается по толще земли. Земля выполняет роль обратного провода для линии электропередачи.

Удельная проводимость земли $\gamma = 10^{-2}$ См/м.

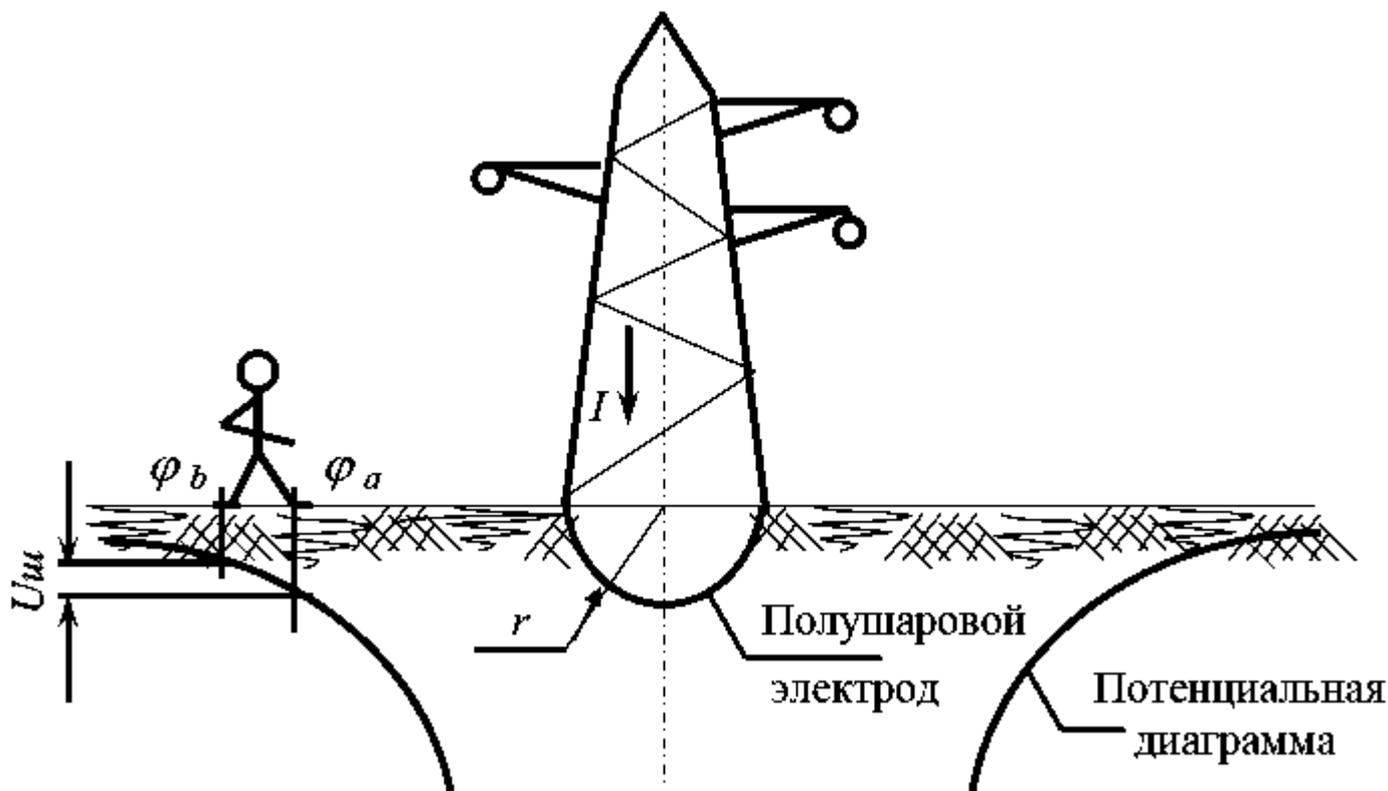


Рис. 3.1

Определить:

1. Плотность тока на расстоянии a_1 от центра полушарового электрода
2. Напряженность поля E на поверхности полусферы радиуса a_1 .
3. Сопротивление заземления полушарового электрода R .
4. Значения потенциалов в точках на поверхности земли на расстояниях a_1, a_2, a_3, a_4 от центра полушарового электрода
5. Шаговое напряжение на тех же расстояниях a_1, a_2, a_3, a_4 , от центра полушарового электрода, принимая среднюю длину шага $l_{\text{ш}} = 0.8$ м.
6. Опасную зону, т.е. радиус круга на поверхности земли с центром полушарового электрода. Радиус опасной зоны определить из условия техники безопасности, принимая, что шаговое напряжение на границе этой зоны не превышает 150В.

Численные значения величин, указанных в условии задачи

$$a = 0.25 \text{ м}, I = 1000 \text{ А}, a_1 = 0.4 \text{ м}, a_2 = 1.3 \text{ м}, a_3 = 5 \text{ м}, a_4 = 8 \text{ м}.$$

1. Плотность тока на расстоянии $a_1 = 0.4$ м от центра полушарового электрода можно определить по формуле

$$\delta = \frac{I}{2\pi \cdot a_1^2} = \frac{1000}{2 \cdot \pi \cdot 0.4^2} = 995 \text{ А/м}^2. \quad (3.1)$$

2. Применяя закон Ома в дифференциальной форме $\delta = \gamma E$, можно уравнение (3.1) представить в другом виде

$$\gamma \cdot E = \frac{I}{2\pi \cdot a^2}. \quad (3.2)$$

Из этого выражения находится напряженность электрического поля E на поверхности земли на расстоянии $a = 0.25$ м от центра полушарового электрода

$$E = \frac{I}{2\pi \cdot \gamma \cdot a^2} = \frac{1000}{2 \cdot \pi \cdot 10^{-2} \cdot 0.25^2} = 2.546 \times 10^5 \text{ В/м}. \quad (3.3)$$

3. Сопротивление заземления полушарового электрода находится по формуле:

$$R = \frac{1}{2\pi \cdot \gamma \cdot a} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot 10^{-2} \cdot 0.25} = 63.66 \text{ Ом}. \quad (3.4)$$

4. Значение потенциалов в точках на поверхности земли на расстоянии a_k от центра полушарового электрода находится из условия

$$\varphi_k = \int_{a_k}^{\infty} \vec{E} d\vec{a}. \quad (3.5)$$

Подставляем в выражение (3.5) значение напряженности электрического поля E (3.3). После преобразований получим расчетную формулу для определения потенциала в рассматриваемых точках

$$\varphi_k = \frac{I}{2\pi \cdot \gamma \cdot a_k}; \quad (3.6)$$

$$\varphi_1 = \frac{1000}{2 \cdot \pi \cdot 10^{-2} \cdot 0.4} = 3.98 \times 10^4 \text{ В};$$

$$\varphi_2 = \frac{1000}{2 \cdot \pi \cdot 10^{-2} \cdot 1.3} = 1.22 \times 10^4 \text{ В};$$

$$\varphi_3 = \frac{1000}{2 \cdot \pi \cdot 10^{-2} \cdot 5} = 3.18 \times 10^3 \text{ В};$$

$$\varphi_4 = \frac{1000}{2 \cdot \pi \cdot 10^{-2} \cdot 8} = 1.99 \times 10^3 \text{ В}.$$

5. Шаговое напряжение на расстоянии a_k от центра полушарового электрода может быть вычислено по формуле

$$U_{шk} = \frac{I}{2\pi \cdot \gamma} \left[\frac{1}{a_k} - \frac{1}{a_k + l_{ш}} \right] = \frac{I \cdot l_{ш}}{2\pi \cdot \gamma \cdot a_k (a_k + l_{ш})}. \quad (3.7)$$

Находим

$$U_{ш1} = \frac{1000 \cdot 0.8}{2 \cdot \pi \cdot 10^{-2} \cdot 0.4 \cdot (0.4 + 0.8)} = 26526 \text{ В};$$

$$U_{ш2} = \frac{1000 \cdot 0.8}{2 \cdot \pi \cdot 10^{-2} \cdot 1.3 \cdot (1.3 + 0.8)} = 4664 \text{ В};$$

$$U_{ш3} = \frac{1000 \cdot 0.8}{2 \cdot \pi \cdot 10^{-2} \cdot 5 \cdot (5 + 0.8)} = 439 \text{ В};$$

$$U_{ш4} = \frac{1000 \cdot 0.8}{2 \cdot \pi \cdot 10^{-2} \cdot 8 \cdot (8 + 0.8)} = 181 \text{ В}.$$

6. Радиус зоны опасности a_0 можно найти из условия, что шаговое напряжение на границах этой зоны не превышает 150 В, т.е.

$$U_{ш0} \leq 150 \text{ В} \quad (3.8)$$

Подставляя в это неравенство значение шагового напряжения $U_{ш0}$, получим

$$\frac{I}{2\pi\gamma} \left[\frac{1}{a_0} - \frac{1}{a_0 + l_{ш}} \right] \leq 150. \quad (3.9)$$

Это выражение после преобразования можно переписать в другом виде

$$a_0^2 + l_{ш} \cdot a_0 - \frac{I \cdot l_{ш}}{300\pi \cdot \gamma} = 0. \quad (3.10)$$

Решая численно уравнение (3.10)

$$a_0^2 + 0.8 \cdot a_0 - 84.883 = 0,$$

находим

$$(a_0)_1 = -9.6 \text{ м};$$

$$(a_0)_2 = 8.8 \text{ м};$$

Так как расстояние не может быть отрицательным, то радиус опасной зоны составляет 9 м.

Список литературы

1. Бессонов Л.А. Теоретические основы электротехники. – М.: "Энергия", 1996. – 425с.
2. Зевеке Г.В. и др. Основы теории цепей. – М.: "Энергия", 1975. – 750 с.
3. Шебес М. Р. Теория линейных цепей в упражнениях и задачах. – М.: "Высшая школа", 1987. – 450 с.