

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА**  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего  
образования  
«ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ПУТЕЙ СООБЩЕНИЯ  
Императора Александра 1»

Кафедра «Теоретические основы электротехники»

Контрольная работа

«РАСЧЕТ ЦЕПИ ПОСТОЯННОГО ТОКА. РАСЧЕТ ЛИНЕЙНОЙ  
ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЦЕПИ СИНУСОИДАЛЬНОГО ТОКА КОМПЛЕКСНЫМ  
МЕТОДОМ»

Вариант 3

Выполнил студент  
Группа АС-032-3  
Номер зачетной книжки: 07-032-06-АСз

А.В. Забалуев

Проверил

доц. Е.Б. Королева

## Содержание

1. Расчет цепи постоянного тока .....	3
2. Расчет линейной электрической цепи синусоидального тока комплексным методом .....	18
Список литературы .....	28

## 1. РАСЧЕТ ЦЕПИ ПОСТОЯННОГО ТОКА

Задана линейная электрическая цепь постоянного тока (рис. 1.1) и параметры ее элементов (табл. 1.1).

Линейная электрическая цепь постоянного тока

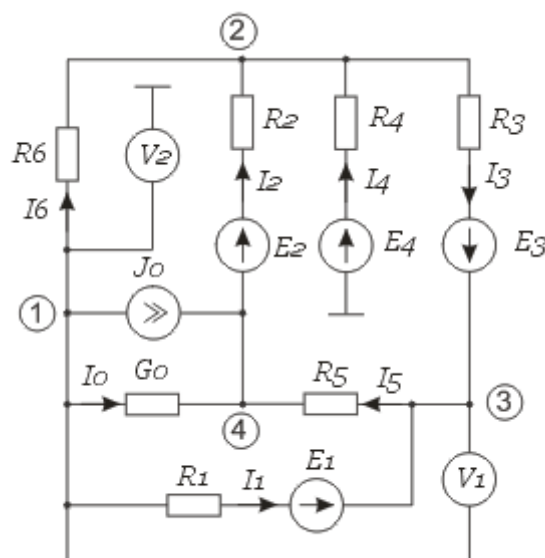


Рис. 1.1

Таблица 1.1

Параметры элементов линейной электрической цепи постоянного тока

№	$J_0$	$E_1$	$E_2$	$E_3$	$E_4$	$E_5$	$E_6$	$G_0$	$R_1$	$R_2$	$R_3$	$R_4$	$R_5$	$R_6$	$R_7$	$R_8$	$R_9$
	A	B	B	B	B	B	B	Cм	О	О	О	О	О	О	О	О	О
									м	м	м	м	м	м	м	м	м
3	1 0	22 0	11 0	11 0	22 0	22 0	11 0	0. 4	15	12	6	16	20	20	4	6	5

Требуется:

1. Рассчитать токи во всех ветвях методом узловых потенциалов.
2. Рассчитать токи во всех ветвях методом контурных токов, сравнить с результатами расчета по п.1.
3. Рассчитать показания вольтметров.
4. Проверить баланс мощности.
5. Рассчитать значения потенциалов точек соединения элементов внешнего контура цепи, построить потенциальную диаграмму. Выбрать оптимальную точку заземления.

6. Рассчитать значение тока в цепи указанной преподавателем методом эквивалентного источника тока.

7. Рассчитать значение тока в цепи указанной преподавателем методом эквивалентного источника ЭДС.

### 1.1 Расчет токов во всех ветвях цепи методом узловых напряжений

На рис. 1.2 изображена схема, по которой производим расчет. Она отличается от первоначальной тем, что в ней отсутствует ветвь, содержащая  $R_4$  и  $E_4$ , так как ток в этой ветви равен нулю, и отсутствуют ветви, содержащие вольтметры (внутреннее сопротивление вольтметра  $\rightarrow \infty$ ).

Произвольно зададимся положительными направлениями токов в ветвях и покажем их стрелками.

Цифрами 1, 2, 3, 4 на схеме (рис. 1.2) пронумеруем узлы. За базисный узел примем узел 1 и будем считать его потенциал равным нулю ( $\varphi_1 = 0$ ).

Схема расчета

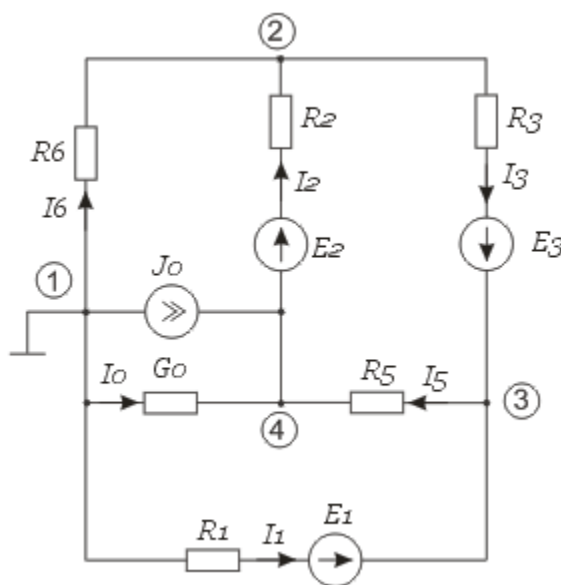


Рис. 1.2

Найдем потенциалы остальных узлов:

$$\left( \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \frac{1}{R_6} \right) \cdot \varphi_2 - \frac{1}{R_3} \cdot \varphi_3 - \frac{1}{R_2} \cdot \varphi_4 = E_2 \cdot \frac{1}{R_2} - E_3 \cdot \frac{1}{R_3}$$

$$-\frac{1}{R_3} \cdot \varphi_2 + \left( \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_3} + \frac{1}{R_5} \right) \cdot \varphi_3 - \frac{1}{R_5} \cdot \varphi_4 = E_1 \cdot \frac{1}{R_1} + E_3 \cdot \frac{1}{R_3}$$

$$-\frac{1}{R_2} \cdot \varphi_2 - \frac{1}{R_5} \cdot \varphi_3 + \left( \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_5} + G_O \right) \cdot \varphi_4 = -E_2 \cdot \frac{1}{R_2} + J_O$$

После расчета получим:

$$\frac{3 \cdot \varphi_2}{10} - \frac{\varphi_3}{6} - \frac{\varphi_4}{12} = -\frac{55}{6}$$

$$-\frac{\varphi_2}{6} + \frac{17 \cdot \varphi_3}{60} - \frac{\varphi_4}{20} = 33$$

$$-\frac{\varphi_2}{12} - \frac{\varphi_3}{20} + \frac{8}{15} \cdot \varphi_4 = \frac{5}{6}$$

$$\varphi_1 = 0 \text{ В} \quad \varphi_2 = 65.697 \text{ В} \quad \varphi_3 = 159.848 \text{ В} \quad \varphi_4 = 26.813 \text{ В}$$

По закону Ома для участка цепи, содержащего или не содержащего источник ЭДС, составим уравнения для нахождения токов во всех ветвях цепи.

Подставим в эти формулы численные значения и рассчитаем токи:

$$I_O = (\varphi_1 - \varphi_4) \cdot G_O = (0 - 26.813) \cdot 0.4 = -10.725 \text{ А}$$

$$I_1 = (\varphi_1 - \varphi_3 + E_1) \cdot \frac{1}{R_1} = (0 - 159.848 + 220) \cdot \frac{1}{15} = 4.01 \text{ А}$$

$$I_2 = (\varphi_4 - \varphi_2 + E_2) \cdot \frac{1}{R_2} = (26.813 - 65.697 + 110) \cdot \frac{1}{12} = 5.926A$$

$$I_3 = (\varphi_2 - \varphi_3 + E_3) \cdot \frac{1}{R_3} = (65.697 - 159.848 + 110) \cdot \frac{1}{6} = 2.641A$$

$$I_5 = (\varphi_3 - \varphi_4) \cdot \frac{1}{R_5} = (159.848 - 26.813) \cdot \frac{1}{20} = 6.652A$$

$$I_6 = (\varphi_1 - \varphi_2) \cdot \frac{1}{R_6} = (0 - 65.697) \cdot \frac{1}{20} = -3.285A$$

Токи  $I_0$  и  $I_6$  получились отрицательные, следовательно, их первоначально выбранное направление нужно поменять на противоположное.

Проверка токов производится по первому закону Кирхгофа:

$$-I_0 - I_1 - I_6 - J_0 = 0 \quad \text{Узел 1}$$

$$I_6 + I_2 - I_3 = 0 \quad \text{Узел 2}$$

$$I_1 + I_3 - I_5 = 0 \quad \text{Узел 3}$$

## 1.2 Расчет токов в ветвях цепи методом контурных токов

Расчет производится по схеме на рис. 1.3.  
Выберем независимые контуры и произвольно зададимся направлениями контурных токов ( $I_{k1}$ ,  $I_{k2}$ ,  $I_{k3}$ ) в них.

## Схема расчета

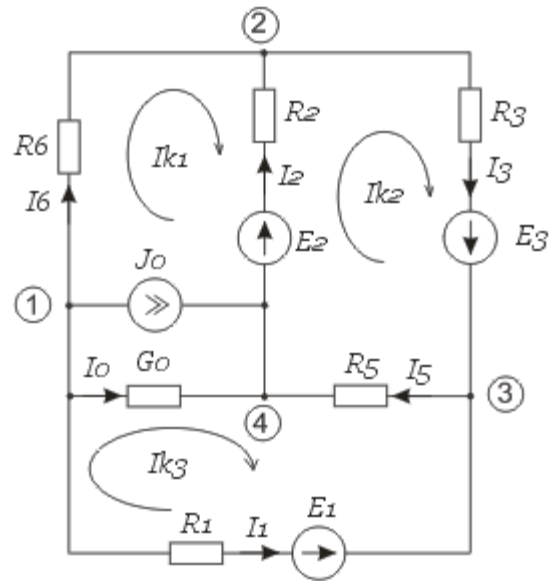


Рис.1.3

Уравнения для контурных токов:

$$\left(R_2 + R_6 + \frac{1}{G_0}\right) \cdot I_{k1} - R_2 \cdot I_{k2} - \frac{1}{G_0} \cdot I_{k3} = -E_2 - J_0 \cdot \frac{1}{G_0}$$

$$-R_2 \cdot I_{k1} + (R_2 + R_3 + R_5) \cdot I_{k2} - R_5 \cdot I_{k3} = E_2 + E_3$$

$$-\frac{1}{G_0} \cdot I_{k1} - R_5 \cdot I_{k2} + \left(\frac{1}{G_0} + R_1 + R_5\right) \cdot I_{k3} = -E_1 + J_0 \cdot \frac{1}{G_0}$$

Подставим численные значения

$$34.5 \cdot I_{k1} - 12 \cdot I_{k2} + -2.5 \cdot I_{k3} = -135$$

$$-12 \cdot I_{k1} + 38 \cdot I_{k2} - 20 \cdot I_{k3} = 220$$

$$-2.5 \cdot I_{k1} - 20 \cdot I_{k2} + 37.5 \cdot I_{k3} = -195$$

и решая систему, получим.

$$I_{k1} = -3.285 \text{ A} \quad I_{k2} = 2.642 \text{ A} \quad I_{k3} = -4.01 \text{ A}$$

Теперь найдем токи в ветвях как комбинации контурных токов:

$$I_O = I_{k3} - I_{k1} - J_O = -4.01 - (-3.285) - 10 = -10.725 \text{ A}$$

$$I_1 = -I_{k3} = 4.01 \text{ A}$$

$$I_2 = I_{k2} - I_{k1} = 2.642 - (-3.285) = 5.927 \text{ A}$$

$$I_3 = I_{k2} = 2.642 \text{ A}$$

$$I_5 = I_{k2} - I_{k3} = 2.642 - (-4.01) = 6.652 \text{ A}$$

$$I_6 = I_{k1} = -3.285 \text{ A}$$

### 1.3 Определение показаний вольтметров

Для определения показаний вольтметров  $V_1$  и  $V_2$  составим уравнения, используя второй закон Кирхгофа. Для этого выберем направления обхода контуров, в которые входят вольтметры и покажем их на рис. 1.4.



Схема цепи

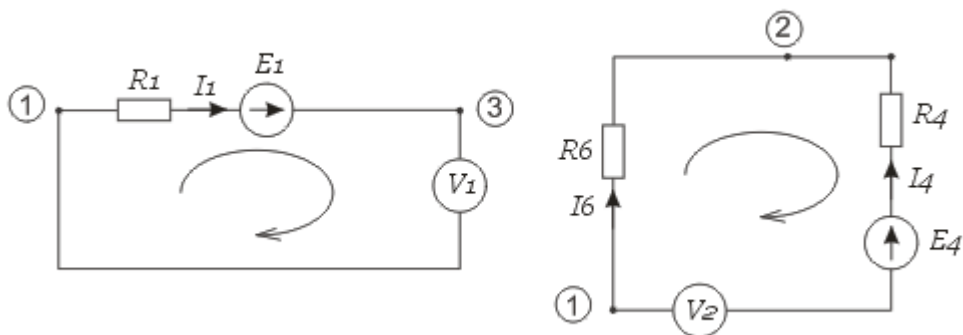


Рис. 1.4

$$U_{V1} = |E_1 - I_1 \cdot R_1| = |220 - 4.01 \cdot 15| = 159.85B$$

$$U_{V2} = |E_4 + I_6 \cdot R_6| = |220 + (-3.285) \cdot 20| = 154.3B$$

#### 1.4 Проверка баланса мощности

Составим уравнение для проверки баланса потребляемой и генерируемой мощностей в исследуемой цепи. Следует заметить, что если направление ЭДС источника и направление тока, протекающего через него, не совпадают, то данный источник ЭДС является потребителем мощности.

$$U_{JO} = -I_O \cdot \frac{1}{G_O} = 26.813 \text{ B}$$

$$E_1 \cdot I_1 + E_2 \cdot I_2 + E_3 \cdot I_3 + J_O \cdot U_{JO} = 2092.695 \text{ Bm}$$

$$I_O^2 \cdot \frac{1}{G_O} + I_1^2 \cdot R_1 + I_2^2 \cdot R_2 + I_3^2 \cdot R_3 + I_5^2 \cdot R_5 + I_6^2 \cdot R_6 = 2092.831 \text{ Bm}$$

Рассчитаем расхождение в получившихся значениях:

$$\delta = \frac{|P_{уст} - P_{пр}|}{P_{уст}} \cdot 100\% = \frac{|2092.695 - 2092.831|}{2092.695} \cdot 100\% = 0.006\%$$

Баланс мощностей в пределах погрешности соблюдается, что свидетельствует о достоверности рассчитанных значениях токов.

### 1.5 Расчет потенциалов в точках соединения элементов внешнего контура и построение потенциальной диаграммы

Буквами  $a, b, c, d, e$  на рис. 1.5 обозначим точки внешнего контура, для которых будем искать потенциалы. Потенциал земли принимается равным нулю ( $\varphi_a = 0$ ).

Схема цепи

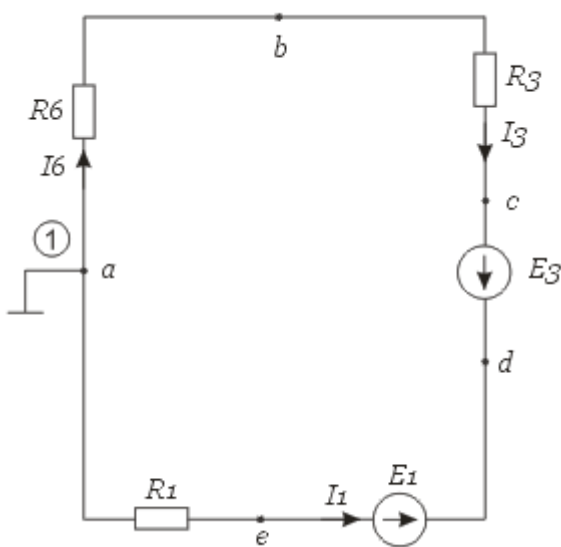


Рис. 1.5

$$\varphi_a = 0B$$

$$\varphi_b = \varphi_a - I_6 \cdot R_6 = 65.7 \text{ B}$$

$$\varphi_c = \varphi_b - I_3 \cdot R_3 = 49.854 \text{ В}$$

$$\varphi_d = \varphi_c + E_3 = 159.854 \text{ В}$$

$$\varphi_e = \varphi_d - E_1 = -60.146 \text{ В}$$

$$\varphi_a = \varphi_e + I_1 \cdot R_1 = 0.004 = 0 \text{ В}$$

Полученные значения потенциалов используем для построения потенциальной диаграммы (рис. 1.6). По оси абсцисс откладываем значения сопротивлений участков внешнего контура, причем значение сопротивления участка откладываем не от начала координат, а от значения сопротивления предыдущего участка. По оси ординат откладываем значения потенциалов точек внешнего контура, все значения откладываем от начала координат.

Потенциальная диаграмма

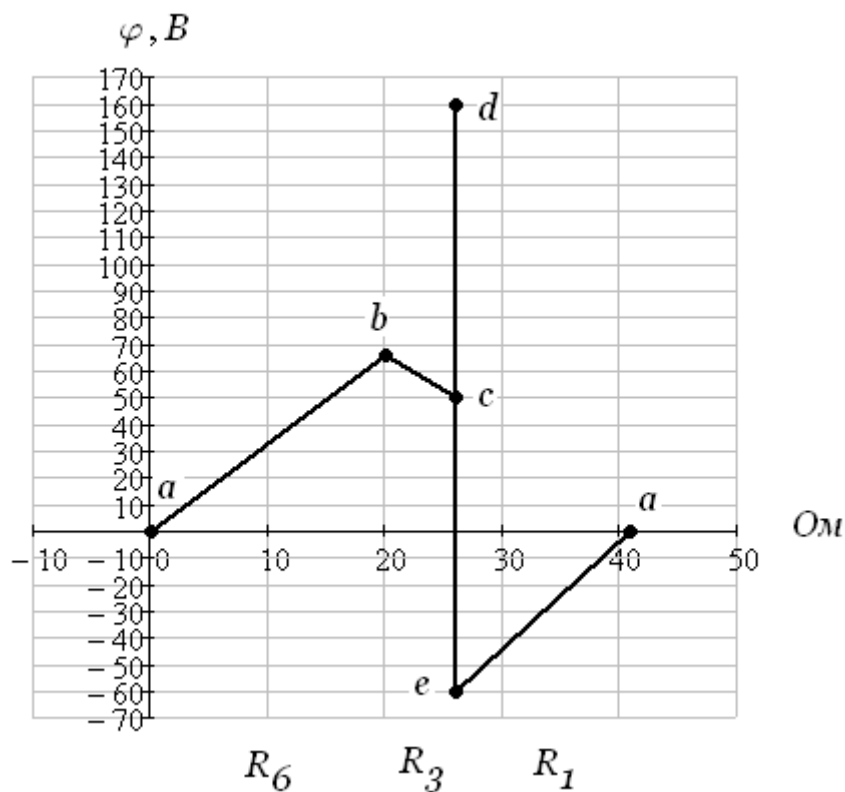


Рис. 1.6

Выбираем точку внешнего контура соединения с корпусом устройства - точка «а».

### 1.6 Расчет тока в сопротивлении $R_6$ методом эквивалентного источника тока

Расчетная схема показана на рис. 1.7.

Примечание: в схеме выполнено преобразование источника тока в источник ЭДС.

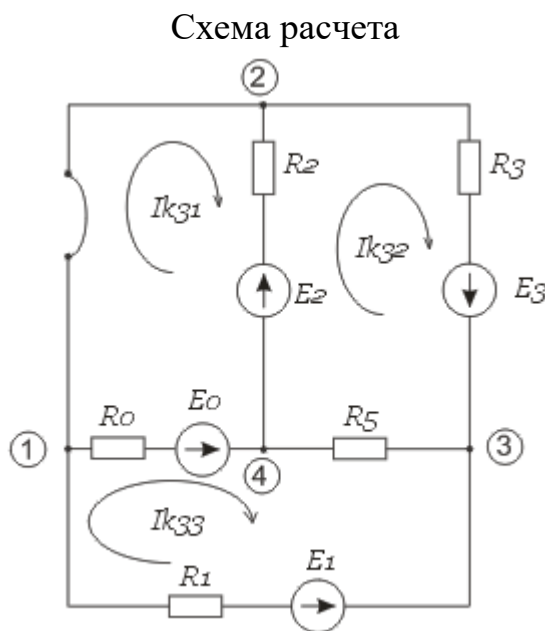


Рис. 1.7

$$R_O = \frac{1}{G_O} = 2.5 \text{ Ом} \quad E_O = J_O \cdot R_O = 25 \text{ В}$$

Решаем задачу по методу контурных токов. Система уравнений:

$$(R_2 + R_O) \cdot I_{k31} - R_2 \cdot I_{k32} - R_O \cdot I_{k33} = -E_2 - E_O$$

$$-R_2 \cdot I_{k31} + (R_2 + R_3 + R_5) \cdot I_{k32} - R_5 \cdot I_{k33} = E_2 + E_3$$

$$-R_0 \cdot I_{k31} - R_5 \cdot I_{k32} + (R_0 + R_1 + R_5) \cdot I_{k33} = -E_1 + E_0$$

После подстановки численных значений система уравнений принимает вид:

$$14.5 \cdot I_{k31} - 12 \cdot I_{k32} - 2.5 \cdot I_{k33} = -135$$

$$-12 \cdot I_{k31} + 38 \cdot I_{k32} - 20 \cdot I_{k33} = 220$$

$$-2.5 \cdot I_{k31} - 20 \cdot I_{k32} + 37.5 \cdot I_{k33} = -195$$

Решив систему уравнений, определим контурные токи в режиме короткого замыкания.

$$I_{k31} = -11.676 \text{ А} \quad I_{k32} = -1.452 \text{ А} \quad I_{k33} = -6.753 \text{ А}$$

Тогда ток эквивалентного источника тока равен.

$$J_{\Gamma} = I_{k31} = -11.676 \text{ А}$$

Определяем внутреннюю проводимость эквивалентного источника тока. Предварительно вычислим эквивалентное сопротивление. Расчетная схема после перевода исходной схемы в пассивный режим (источники ЭДС представляются их внутренними сопротивлениями, а источники тока вместе с ветвями, в которых они расположены, убираются) показана на рис. 1.8.

Схема расчета

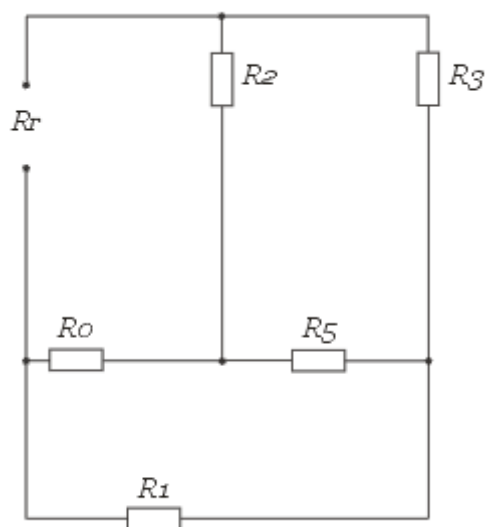


Рис. 1.8

Выполним эквивалентные преобразования (рис. 1.9).

Схема с эквивалентными преобразованиями

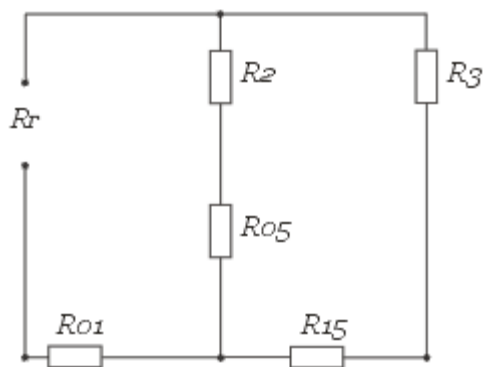


Рис. 1.9

$$R_{01} = \frac{R_0 \cdot R_1}{R_0 + R_1 + R_5} = 1 \text{ Ом}$$

$$R_{05} = \frac{R_0 \cdot R_5}{R_0 + R_1 + R_5} = 1.333 \text{ Ом}$$

$$R_{15} = \frac{R_1 \cdot R_5}{R_0 + R_1 + R_5} = 8 \text{ Ом}$$

$$R_{\Gamma} = R_{01} + \frac{(R_2 + R_{05}) \cdot (R_3 + R_{15})}{R_2 + R_{05} + R_3 + R_{15}} = 7.829 \text{ Ом}$$

$$G_{\Gamma} = \frac{1}{R_{\Gamma}} = 0.1277 \text{ См} \quad G_6 = \frac{1}{20} = 0.05 \text{ См}$$

Соответственно интересующий нас ток равен:

$$I_6 = \frac{J_{\Gamma}}{G_{\Gamma} + G_6} \cdot G_6 = \frac{-11.676}{0.1277 + 0.05} \cdot 0.05 = -3.285 \text{ А}$$

### 1.7 Расчет тока в сопротивлении $R_1$ методом эквивалентного источника ЭДС

Сопротивление эквивалентного генератора найдено ранее в решении по методу эквивалентного источника тока.

Исходную схему преобразуем к виду, показанному на рис. 1.10.

Схема расчета

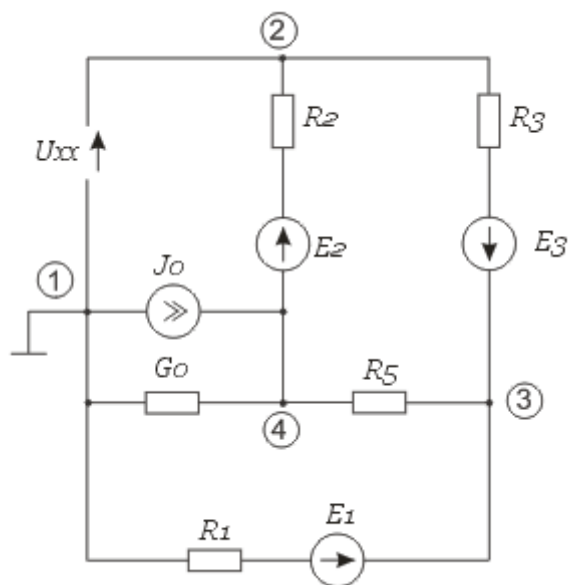


Рис. 1.10

Используем прежнюю систему уравнений для метода узловых потенциалов, только проводимость ветви №6 полагаем равной нулю.

$$\left( \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} \right) \cdot \varphi_2 - \frac{1}{R_3} \cdot \varphi_3 - \frac{1}{R_2} \cdot \varphi_4 = E_2 \cdot \frac{1}{R_2} - E_3 \cdot \frac{1}{R_3}$$

$$-\frac{1}{R_3} \cdot \varphi_2 + \left( \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_3} + \frac{1}{R_5} \right) \cdot \varphi_3 - \frac{1}{R_5} \cdot \varphi_4 = E_1 \cdot \frac{1}{R_1} + E_3 \cdot \frac{1}{R_3}$$

$$-\frac{1}{R_2} \cdot \varphi_2 - \frac{1}{R_5} \cdot \varphi_3 + \left( \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_5} + G_O \right) \cdot \varphi_4 = -E_2 \cdot \frac{1}{R_2} + J_O$$

После расчета получим:

$$\varphi_1 = 0 \text{ В} \quad \varphi_2 = 91.415 \text{ В} \quad \varphi_3 = 175.951 \text{ В} \quad \varphi_4 = 32.341 \text{ В}$$



Напряжение холостого хода:

$$U_{xx} = \varphi_1 - \varphi_2 = -91.415 \text{ В}$$

Отсюда ток в ветви №6 равен:

$$I_6 = \frac{U_{xx}}{R_{\Gamma} + R_6} = \frac{-91.415}{7.829 + 20} = -3.2854$$

## 2. РАСЧЕТ ЛИНЕЙНОЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЦЕПИ СИНУСОИДАЛЬНОГО ТОКА КОМПЛЕКСНЫМ МЕТОДОМ

Провести расчет линейной электрической цепи комплексным методом в соответствии со схемой, приведенными на рис. 2.1 и содержащими синусоидальные источники ЭДС и тока:

$$e(t) = E_m \cdot \sin(\omega \cdot t + \psi_e)$$

$$J(t) = J_m \cdot \sin(\omega \cdot t + \psi_J),$$

где  $e$  и  $i$  – мгновенные значения ЭДС и тока,  $E_m$  и  $I_m$  – амплитудные значения ЭДС и тока,  $\Psi_e$  и  $\Psi_i$  – начальные фазы ЭДС и тока соответственно;  $\omega$  – круговая частота;  $t$  – текущее время.  $\omega = 2\pi f$

Числовые данные параметров источников и элементов схем заданы в табл. 2.1.

Схема цепи

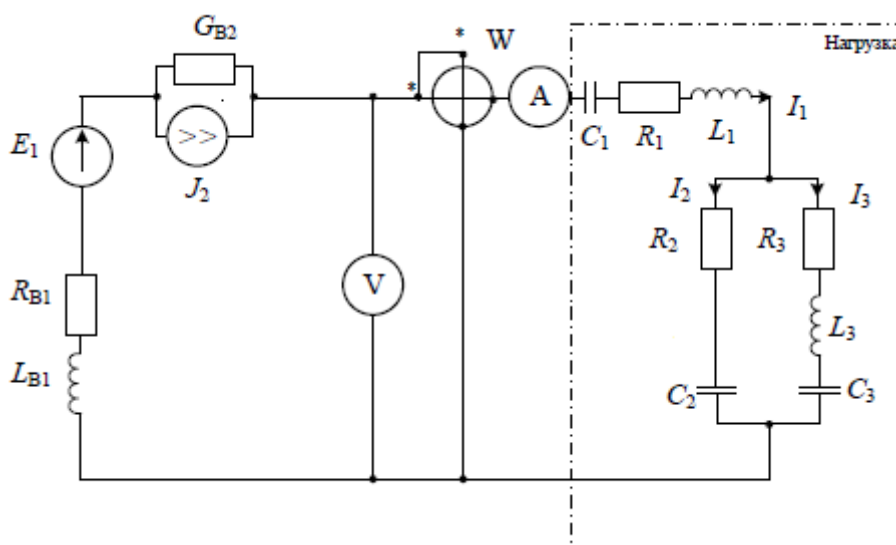


Рис. 2.1

Таблица 2.1

Параметры источников и элементов схемы

№	$E_{m1}$	$\Psi_{e1}$	$R_{B1}$	$X_{LB1}$	$J_{m2}$	$\Psi_{J2}$	$G_{B2}$	$R_1$	$L_1$	$C_1$	$R_2$	$L_2$	$C_2$	$R_3$	$L_3$	$C_3$	$f$
	В	град	Ом	Ом	А	град	См	Ом	мГн	мкФ	Ом	мГн	мкФ	Ом	мГн	мкФ	Гц
3	90	-40	4	5	40	35	0.3	5	0.2	3	12	0	3	15	0.3	2	5000

Требуется:

1. Рассчитать токи во всех ветвях приемника и напряжение на зажимах ветвей приемника. Провести проверку полученных значений по первому и второму законам Кирхгофа (для независимых узлов и контуров соответственно), при этом относительная погрешность проведенных расчетов не должна превышать 1 %.
2. Определить действующие значения токов во всех ветвях электрической цепи и напряжений на зажимах ветвей приемника.
3. Определить показания приборов: амперметра  $A$ , вольтметра  $V$  и ваттметра  $W$ .
4. Рассчитать активную, реактивную и полную мощности в комплексной форме, коэффициент мощности приемника. Проверить баланс мощностей.
5. На комплексной плоскости построить векторную диаграмму ЭДС, токов и напряжений. Проверить законы Кирхгофа.
6. Написать выражения для мгновенных значений тока ( $i$ ), напряжения ( $u$ ), активной ( $p_a$ ), реактивной ( $p_p$ ) и полной ( $p$ ) мощностей на зажимах приемника. Построить графики зависимостей этих величин от времени ( $t$ ).

2.1 Расчет токов во всех ветвях приемника и напряжения на зажимах ветвей приемника

Предварительно выполним эквивалентное преобразование схемы. Заменяем источник тока на эквивалентный источник ЭДС с внутренним сопротивлением  $R_{B2}$ .

$$\underline{J}_2 = \frac{J_m}{\sqrt{2}} \cdot e^{j \cdot 35^\circ} = 28.284 \cdot e^{j \cdot 35^\circ} = 23.169 + j \cdot 16.223A$$

$$\underline{E}_2 = \frac{\underline{J}_2}{G_{B2}} = \frac{28.284 \cdot e^{j \cdot 35^\circ}}{0.3} = 94.281 \cdot e^{j \cdot 35^\circ} = 77.23 + j \cdot 54.077V$$

$$R_{B2} = \frac{1}{G_{B2}} = 3.333 \text{ Ом}$$

Получили два последовательно соединенных источника ЭДС.

Заменяем их одним эквивалентным источником ЭДС  $E$ .

$$\underline{E}_1 = \frac{E_m}{\sqrt{2}} \cdot e^{-j \cdot 40^\circ} = 63.64 \cdot e^{-j \cdot 40^\circ} = 48.751 - j \cdot 40.907 B$$

$$\underline{E} = \underline{E}_1 + \underline{E}_2 = 125.981 + j \cdot 13.171 = 113.749 \cdot e^{j \cdot 53.15^\circ} B$$

Рассчитаем эквивалентное сопротивление приемника:

$$\omega = 2 \cdot \pi \cdot f = 2 \cdot 3.142 \cdot 5000 = 31415.937 \text{ рад/с}$$

$$X_{LB1} = \omega \cdot L_{B1} = 31415.937 \cdot 5 \cdot 10^{-3} = 157.08 \text{ Ом}$$

$$X_{L1} = \omega \cdot L_1 = 31415.937 \cdot 0.2 \cdot 10^{-3} = 6.283 \text{ Ом}$$

$$X_{C1} = \frac{1}{\omega \cdot C_1} = \frac{1}{31415.937 \cdot 3 \cdot 10^{-6}} = 10.61 \text{ Ом}$$

$$X_{C2} = \frac{1}{\omega \cdot C_2} = 10.61 \text{ Ом}$$

$$X_{L3} = \omega \cdot L_3 = 9.425 \text{ Ом}$$

$$X_{C3} = \frac{1}{\omega \cdot C_3} = 15.915 \text{ Ом}$$

$$\underline{Z}_1 = R_1 + j \cdot (X_{L1} - X_{C1}) = 5 - j \cdot 4.327 = 6.612 \cdot e^{-j \cdot 40.87^\circ} \text{ Ом}$$

$$\underline{Z}_2 = R_2 - j \cdot X_{C2} = 12 - j \cdot 10.61 = 16.018 \cdot e^{-j \cdot 41.48^\circ} \text{ Ом}$$

$$\underline{Z}_3 = R_3 + j \cdot (X_{L3} - X_{C3}) = 15 - j \cdot 6.491 = 16.344 \cdot e^{-j \cdot 23.4^\circ} \text{ Ом}$$

Рассчитаем полное сопротивление цепи:

$$\underline{Z}_{23} = \frac{\underline{Z}_2 \cdot \underline{Z}_3}{\underline{Z}_2 + \underline{Z}_3} = \frac{261.801 \cdot e^{-j \cdot 64.88^\circ}}{27 - j \cdot 17.101} = 8.192 \cdot e^{-j \cdot 32.53^\circ} = 6.906 - j \cdot 4.405 \text{ Ом}$$

$$\underline{Z}_{np} = \underline{Z}_1 + \frac{\underline{Z}_2 \cdot \underline{Z}_3}{\underline{Z}_2 + \underline{Z}_3} = 11.906 - j \cdot 8.732 = 16.613 \cdot e^{j \cdot 5.93^\circ} \text{ Ом}$$

$$\underline{Z}_B = R_{B1} + R_{B2} + j \cdot \omega \cdot L_{B1} = 7.333 + j \cdot 157.08 = 157.251 \cdot e^{j \cdot 87.33^\circ} \text{ Ом}$$

$$\underline{Z} = \underline{Z}_B + \underline{Z}_{np} = 19.239 + j \cdot 148.348 = 149.59 \cdot e^{j \cdot 82.61^\circ} \text{ Ом}$$

Результаты расчетов сведены в табл. 2.2.

Таблица 2.2

Результаты расчетов

Сопротивление	В алгебраической форме	В показательной форме
	Ом	
$\underline{Z}_B$	$7.333 + j \cdot 157.08$	$157.251 \cdot e^{j \cdot 87.33^\circ}$
$\underline{Z}_{np}$	$11.906 - j \cdot 8.732$	$16.613 \cdot e^{j \cdot 5.93^\circ}$
$\underline{Z}_1$	$5 - j \cdot 4.327$	$6.612 \cdot e^{-j \cdot 40.87^\circ}$
$\underline{Z}_2$	$12 - j \cdot 10.61$	$16.018 \cdot e^{-j \cdot 41.48^\circ}$
$\underline{Z}_3$	$15 - j \cdot 6.491$	$16.344 \cdot e^{-j \cdot 23.4^\circ}$

Продолжение табл.2.2

Сопротивление	В алгебраической форме	В показательной форме
$\underline{Z}$	$19.239 + j \cdot 148.348$	$149.59 \cdot e^{j \cdot 82.61^\circ}$
$X_{LB1}$	157.08	
$X_{L1}$	6.283	
$X_{C1}$	10.61	
$X_{C2}$	10.61	
$X_{L3}$	9.425	
$X_{C3}$	15.915	
$\frac{\underline{Z}_2 \cdot \underline{Z}_3}{\underline{Z}_2 + \underline{Z}_3}$	$6.906 - j \cdot 4.405$	$8.192 \cdot e^{-j \cdot 32.53^\circ}$

Рассчитаем токи в ветвях приемника:

$$\underline{I}_1 = \frac{\underline{E}}{\underline{Z}} = \frac{126.668 \cdot e^{j \cdot 5.97^\circ}}{149.59 \cdot e^{j \cdot 82.61^\circ}} = 0.847 \cdot e^{-j \cdot 76.64^\circ} = 0.196 - j \cdot 0.824 \text{ A}$$

$$\underline{I}_2 = \underline{I}_1 \cdot \frac{\underline{Z}_3}{\underline{Z}_2 + \underline{Z}_3} = \frac{0.847 \cdot e^{-j \cdot 76.64^\circ} \cdot 16.344 \cdot e^{-j \cdot 23.34^\circ}}{27 - j \cdot 17.101} = \dots$$

$$\dots = 0.434 \cdot e^{-j \cdot 67.63^\circ} = 0.165 - j \cdot 0.401 \text{ A}$$

$$\underline{I}_3 = \underline{I}_1 - \underline{I}_2 = 0.196 - j \cdot 0.824 - (0.165 - j \cdot 0.401) = \dots$$

$$\dots = 0.031 - j \cdot 0.423 = 0.424 \cdot e^{-j \cdot 85.81^\circ} \text{ A}$$

$$\underline{I}_1 - \underline{I}_2 - \underline{I}_3 = 0$$

## 2.2 Определение действующих значений токов во всех ветвях электрической цепи и напряжений на зажимах ветвей приемника

Рассчитаем напряжения на элементах цепи (рис. 2.2).

Схема цепи

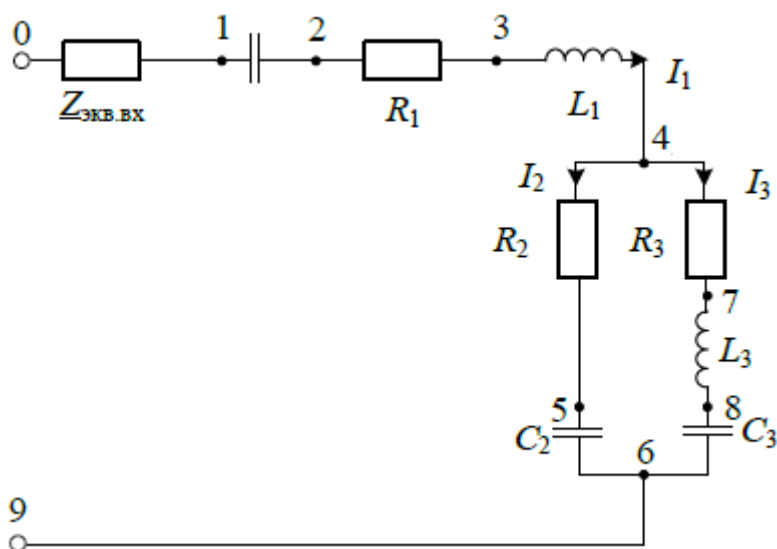


Рис. 2.2

$$\underline{U}_{O1} = \underline{I}_1 \cdot \underline{Z}_B = 130.871 + j \cdot 24.745 = 133.19 \cdot e^{j \cdot 10.71^\circ} \text{ B}$$

$$\underline{U}_{12} = \underline{I}_1 \cdot (-j \cdot X_{C1}) = -8.743 - j \cdot 2.08 = 8.987 \cdot e^{-j \cdot 166.62^\circ} \text{ B}$$

$$\underline{U}_{23} = \underline{I}_1 \cdot R_1 = 0.98 - j \cdot 4.12 = 4.235 \cdot e^{-j \cdot 76.62^\circ} \text{ B}$$

$$\underline{U}_{34} = \underline{I}_1 \cdot j \cdot X_{L1} = 5.177 + j \cdot 1.232 = 5.322 \cdot e^{j \cdot 13.38^\circ} B$$

$$\underline{U}_{45} = \underline{I}_2 \cdot R_2 = 1.98 - j \cdot 4.812 = 5.203 \cdot e^{-j \cdot 67.63^\circ} B$$

$$\underline{U}_{56} = \underline{I}_2 \cdot (-j \cdot X_{C2}) = -4.255 - j \cdot 1.751 = 4.601 \cdot e^{-j \cdot 157.63^\circ} B$$

$$\underline{U}_{47} = \underline{I}_3 \cdot R_3 = 0.465 - j \cdot 6.345 = 6.362 \cdot e^{-j \cdot 85.81^\circ} B$$

$$\underline{U}_{78} = \underline{I}_3 \cdot j \cdot X_{L3} = 3.987 + j \cdot 0.292 = 3.997 \cdot e^{j \cdot 4.19^\circ} B$$

$$\underline{U}_{86} = \underline{I}_3 \cdot (-j \cdot X_{C3}) = -6.732 - j \cdot 0.493 = 6.75 \cdot e^{-j \cdot 175.81^\circ} B$$

### 2.3 Определение показаний приборов

Определим показания приборов:

- амперметр показывает действующее значение тока  $I_I$

$$I_A = 0.847 A$$

- вольтметр показывает действующее значение напряжения на приемнике.

$$\underline{U}_{16} = \underline{U}_{12} + \underline{U}_{23} + \underline{U}_{34} + \underline{U}_{45} + \underline{U}_{56} = -4.86 - j \cdot 11.531 = 12.513 \cdot e^{-j \cdot 112.86^\circ} B$$

$$V = U_{16} = 12.513 B$$

- ваттметр показывает активную мощность, потребляемую приемником

$$P_a = I_1^2 \cdot R_1 + I_2^2 \cdot R_2 + I_3^2 \cdot R_3 = 8.542 Bm$$



## 2.4 Расчет мощности приемника

Рассчитаем мощности приемника:

$$P_a = U_{16} \cdot I_1 \cdot \cos(\varphi_{16} - \varphi_{iu}) = 12.513 \cdot 0.847 \cdot \cos[-112.856^\circ - (-76.62^\circ)] = 8.549 \text{ Вт}$$

$$Q_p = U_{16} \cdot I_1 \cdot \sin(\varphi_{16} - \varphi_{iu}) = 12.513 \cdot 0.847 \cdot \sin[-112.856^\circ - (-76.62^\circ)] = -6.265 \text{ вар}$$

$$\underline{S}_n = P_a + j \cdot Q_p = 8.549 - j \cdot 6.265 \text{ ВА}$$

$$S_n = \sqrt{8.549^2 + (-6.265)^2} = 10.599 \text{ ВА}$$

Коэффициент мощности равен:

$$\cos(\varphi) = \cos[-112.856^\circ - (-76.62^\circ)] = 0.807$$

Проверим баланс мощностей:

$$\underline{S}_\Gamma = \underline{E} \cdot \overline{\underline{I}}_1 = (125.981 + j \cdot 13.171) \cdot (0.196 + j \cdot 0.824) = 13.839 + j \cdot 106.39 \text{ ВА}$$

$$\underline{S}_\Gamma = 107.286 \cdot e^{j \cdot 82.59^\circ} \text{ ВА}$$

$$P_a = I_1^2 \cdot (R_{B1} + R_{B2} + R_1) + I_2^2 \cdot R_2 + I_3^2 \cdot R_3 = 13.802 \text{ Вт}$$

$$Q_p = I_1^2 \cdot (X_{LB1} + X_{L1} - X_{C1}) + I_2^2 \cdot (-X_{C2}) + I_3^2 \cdot (X_{L3} - X_{C3}) = 106.421 \text{ вар}$$

$$\underline{S}_{nom} = 107.312 \cdot e^{j \cdot 82.61^\circ}_{BA}$$

Расхождение между модулями полных мощностей равно:

$$\delta = \frac{107.312 - 107.286}{107.286} \cdot 100\% = 0.024\%$$

Расхождение между фазами полных мощностей нет (в пределах точности расчетов).

## 2.5 Построение векторной диаграммы токов и топографической диаграммы напряжений

По полученным величинам строим векторную диаграмму токов и топографическую диаграмму напряжений (рис. 2.3).

Векторная диаграмма токов и топографическая диаграмма напряжений

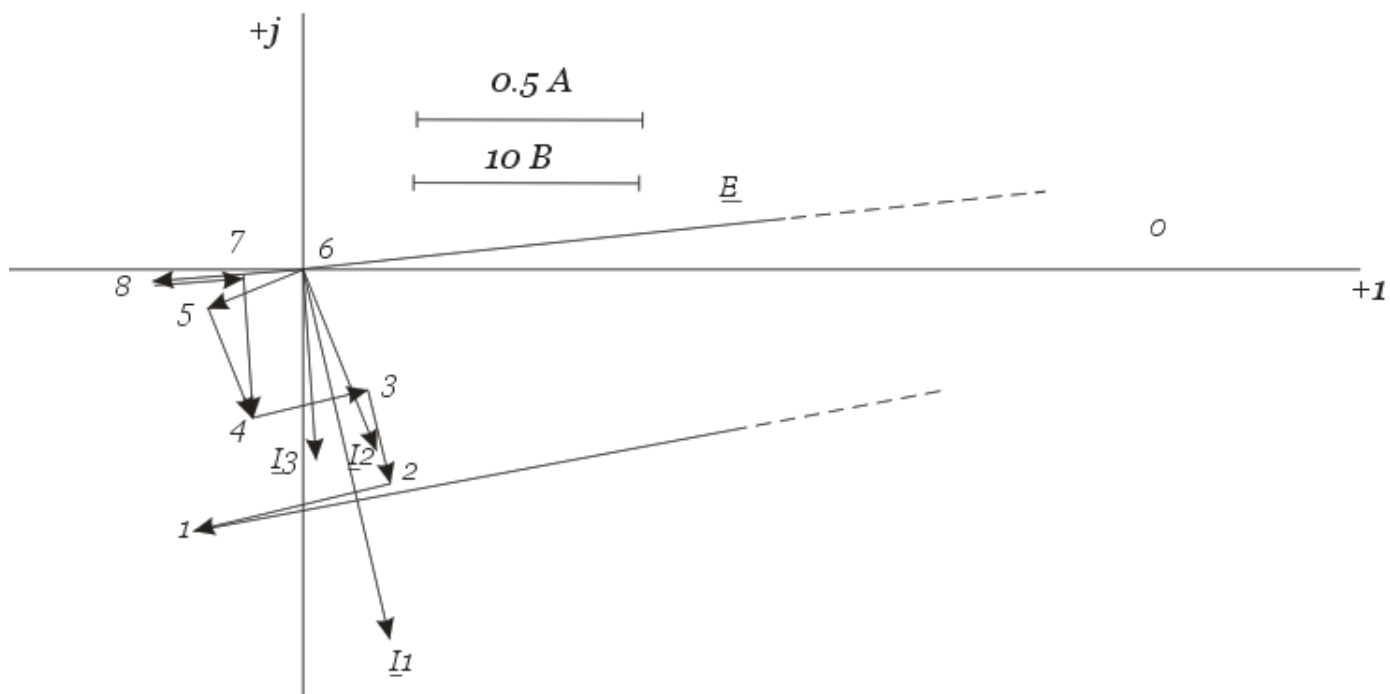


Рис. 2.3

## 2.6. Определение мгновенных значений величин

Запишем формулы для мгновенных значений величин:

$$i_1(t) = 4.401 \cdot \sqrt{2} \cdot \sin(\omega \cdot t - 76.62^\circ) A$$

$$u_{np}(t) = u_{16}(t) = 12.513 \cdot \sqrt{2} \cdot \sin(\omega \cdot t - 112.86^\circ) B$$

$$p_a(t) = i_1(t)^2 \cdot \operatorname{Re}(Z_{np}) = 17.083 \cdot \sin(\omega \cdot t - 76.6^\circ)^2$$

$$p_p(t) = i_1(t)^2 \cdot \operatorname{Im}(Z_{np}) = 12.529 \cdot \sin(\omega \cdot t + 103.4^\circ)^2$$

$$p(t) = u_{np}(t) \cdot i_1(t) = 8.549 - 10.599 \cdot \sin(2\omega \cdot t - 3.31^\circ)$$

Графики зависимостей величин от времени приведены на рис. 2.4.

График зависимостей величин от времени

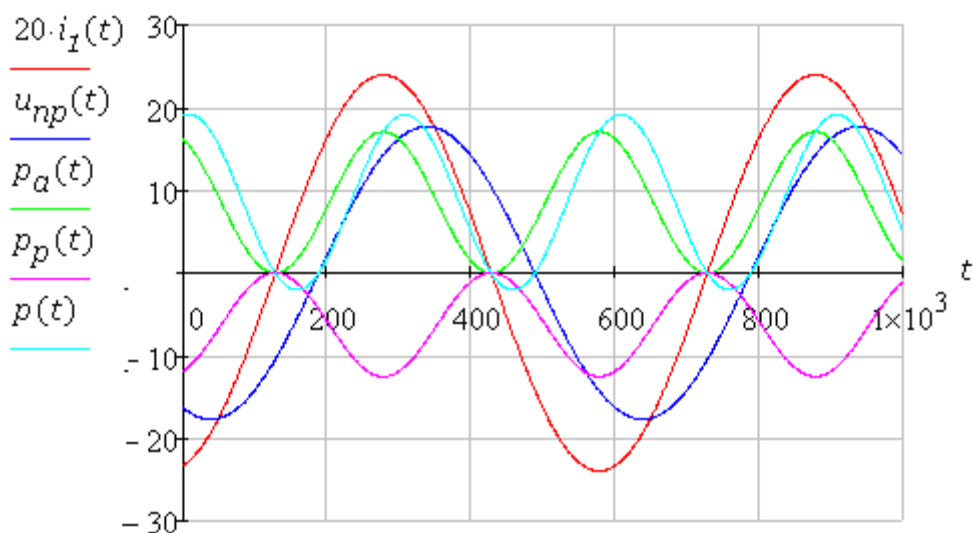


Рис. 2.4

### Список литературы

1. Нейман Л.Р., Демирчян К.С. Теоретические основы электротехники, т.І, Л., Энергоиздат, 1981, 536 с.
2. Исследование электрической цепи постоянного тока методом эквивалентного источника. Методические указания к лабораторной работе. – Л., ЛИИЖТ, 1985, 7с.