

Министерство образования Российской Федерации
Балтийский Государственный технический университет «Военмех»
Кафедра электротехники

ЭЛЕКТРОТЕХНИКА

ДОМАШНИЕ И КУРСОВЫЕ ЗАДАНИЯ

Под редакцией П.А. Галайдина

Санкт-Петербург
2006

Составители: *А. П. Лысенко, И. К. Желанкина, С. А. Гусев, С. Г. Костенко, Л. Ф. Погромская, Э. Л. Мальц, Ю. Н. Мустафаев, Л.А. Чередниченко, Тораманян О.С.*
Подготовка к переизданию: *С. А. Гусев, Ю. Н. Мустафаев*

УДК 621.313 (07)
Э10

Электротехника: Домашние и курсовые задания /Под ред. П. А. Галайдина; Балт. гос. техн. ун-т, 2-е испр. изд. СПб, 2006, 79 с.

Настоящие методические указания содержит описание восьми заданий по расчету электрических и магнитных цепей. Задания снабжены подробными методическими указаниями по их выполнению и оформлению. Приведены способы решения некоторых задач с помощью прикладной программы MathCAD.

Предназначено для студентов, изучающих курсы «Теоретические основы электротехники», «Основы теории цепей», «Общая электротехника», «Электротехника и электроника».

УДК 621.313 (07)
Э10

Рецензент: канд. техн. наук, доцент кафедры Н1 *Е. Б. Коротков*

*Утверждено
редакционно-издательским
советом университета*

Правила оформления домашнего задания и курсовой работы

В состав работы входят: титульный лист, оглавление, постановка задачи, введение, основная часть, заключение, список литературы.

Титульный лист содержит

- полное наименование министерства, учебного заведения;
- название вида документа;
- название темы;
- сведения об исполнителе (Ф.И.О. студента, номер группы, подпись),
- сведения о преподавателе (руководителе) (Ф.И.О., ученая степень, ученое звание, подпись);
- наименование места и года выполнения.

Оглавление должно содержать перечень структурных элементов задания с указанием номеров страниц:

- введение;
- постановка задачи;
- главы, параграфы, пункты, подпункты;
- заключение;
- приложения;
- список литературы.

Постановка задачи включает схему цепи, исходные данные и определяемые физические величины.

Во *введении* приводятся цель работы и методы достижения цели.

В *основной части* приводятся основные расчеты, пояснения, графические построения.

В *заключении* приводятся выводы, характеризующие в сжатом виде итоги проделанной работы.

Приложения включают реализации алгоритмов на ПК.

Список литературы. Библиографические описания документов в списке литературы оформляются в соответствии с требованиями ГОСТ 7.1, ГОСТ 7.16, ГОСТ 7.34, ГОСТ 7.40. Библиографические описания документов располагают в алфавитном порядке по первым их элементам - авторским заголовкам (фамилии и инициалы авторов) или по основным заглавиям.

**Задание 1. РАСЧЕТ УСТАНОВИВШЕГОСЯ ПРОЦЕССА В
ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЦЕПИ СИНУСОИДАЛЬНОГО ТОКА С ОДНИМ
ИСТОЧНИКОМ ЭДС**

Постановка задачи

В цепи, представленной на рис. 1.1, действует источник (один из пяти возможных) синусоидальной ЭДС $e(t) = E_m \sin(\omega t + \psi)$ В.

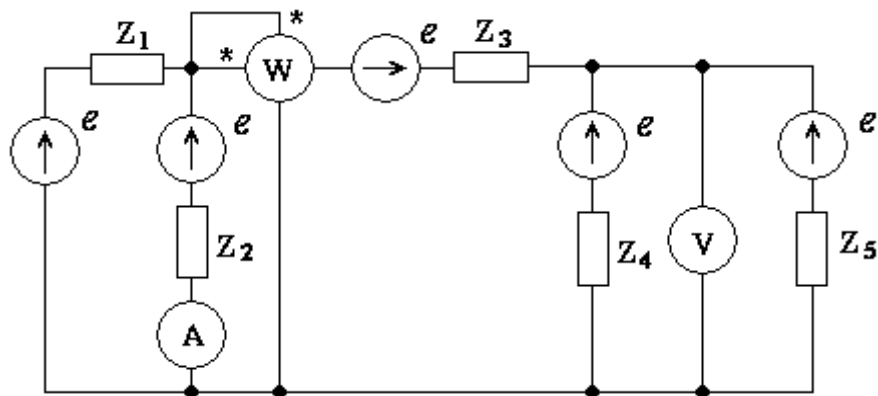


Рис. 1.1

Амплитуда ЭДС $E_m=179$ В, начальная фаза дана в табл. 1.1. При заданной частоте ω модули сопротивлений элементов цепи $z_1=40$ Ом, $z_2=30$ Ом, $z_3=40$ Ом, $z_4=50$ Ом, $z_5=60$ ом.

Характер и нумерация сопротивлений заданы в табл.1.1 и 1.2. соответственно.

Таблица 1. 1

Вариант	Характер сопротивлений					ψ, град
	Z1	Z2	Z3	Z4	Z5	
1	R	X _L	X _C	R	X _L	0
2	X _L	X _C	R	X _L	R	30
3	X _C	R	X _L	R	X _L	60
4	R	X _L	R	X _L	X _C	120
5	X _L	R	X _L	X _C	R	180
6	X _L	R	X _C	X _L	R	-10
7	X _L	X _C	R	R	X _L	-40

Вариант	Характер сопротивлений					ψ , град
8	X_C	R	X_L	X_L	R	-70
9	R	X_L	R	X_C	X_L	-110
10	R	X_L	R	R	X_C	-150
11	X_L	R	R	X_L	X_C	20
12	X_C	X_L	X_L	R	R	50
13	R	R	X_C	X_L	X_L	80
14	R	X_L	X_L	X_C	X_L	120
15	X_L	R	R	R	X_C	150
16	X_C	R	R	X_L	X_L	-20
17	X_L	X_C	X_L	R	R	-50
18	X_C	X_L	R	R	X_L	-80
19	X_L	R	R	X_C	X_L	90
20	R	R	X_C	X_C	X_L	-180
21	X_L	R	X_C	R	X_L	60
22	R	X_C	X_L	R	X_L	-60
23	X_C	X_L	R	X_L	R	35
24	R	X_L	X_L	R	X_C	40
25	X_L	X_L	R	X_C	R	15
26	X_L	X_L	X_C	R	X_C	-65
27	R	X_L	X_C	X_L	R	20
28	R	X_L	X_L	X_C	R	50
29	R	X_C	X_L	R	X_C	-50
30	X_C	R	R	X_L	R	25

Таблица 1.2

Вариант	Нумерация сопротивлений				
1	Z_1	Z_2	Z_3	Z_4	Z_5
2	Z_2	Z_3	Z_4	Z_5	Z_1
3	Z_3	Z_4	Z_5	Z_1	Z_2
4	Z_4	Z_5	Z_1	Z_2	Z_3
5	Z_5	Z_1	Z_2	Z_3	Z_4
6	Z_1	Z_3	Z_2	Z_5	Z_4
7	Z_3	Z_2	Z_5	Z_4	Z_1
8	Z_2	Z_5	Z_4	Z_1	Z_3
9	Z_5	Z_4	Z_1	Z_3	Z_2
10	Z_4	Z_1	Z_3	Z_2	Z_5
11	Z_1	Z_5	Z_2	Z_4	Z_3
12	Z_5	Z_2	Z_4	Z_3	Z_1
13	Z_2	Z_4	Z_3	Z_1	Z_5

Номер варианта состоит из трех чисел, например 25-7-1. Первое и второе числа указывают номера строк в табл. 1.1 и 1.2 соответственно. Третье число указывает номер ветви, в которой включен источник ЭДС (остальные ЭДС отсутствуют, т.е. закорочены).

Для указанного варианта 25-7-1 $Z_3 = jX_L = j40$ Ом, $Z_2 = jX_L = j30$ Ом, $Z_5 = R = 60$ Ом, $Z_4 = -jX_C = -j50$ Ом, $Z_1 = R = 40$ Ом, $\psi = 15^\circ$, источник включен в первую ветвь.

Содержание задания

1. Рассчитать токи и напряжения на всех участках цепи по законам Кирхгофа в комплексной форме с помощью прикладной математической программы (MathCAD, MathLab и др).

2. Рассчитать токи и напряжения на всех участках цепи методом эквивалентных преобразований.
3. Построить векторные диаграммы токов и напряжений.
4. Проверить баланс активных и реактивных мощностей. Допустимая погрешность выполнения баланса мощностей 2%.
5. Определить показания измерительных приборов: амперметра, вольтметра и ваттметра.
6. Методом эквивалентного генератора определить ток в одной из ветвей схемы (номер ветви задается преподавателем).

Методические указания.

Рассмотрим ход выполнения задания на примере варианта 30-13-1. Изображение каждого элемента на схеме должно соответствовать его характеру (R, L, C).

В соответствии с указанным вариантом исходная схема показана на рис 1.2.

Комплексы сопротивлений элементов имеют значения $Z_1 = j40$ Ом, $Z_2 = -j30$ Ом,

$Z_3 = 40$ Ом, $Z_4 = 50$ Ом, $Z_5 = 60$ Ом, комплекс действующего значения ЭДС

$$\dot{E} = \frac{E_m}{\sqrt{2}} \cdot e^{j\psi} = 127e^{j25^\circ} = 115,1 + j53,67 \text{ В.}$$

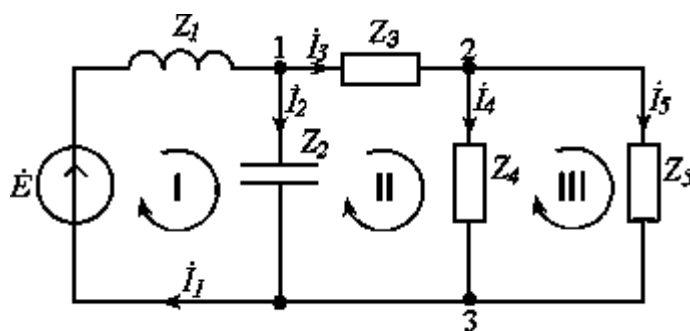


Рис.1.2

1. Расчет цепи по законам Кирхгофа.

Выбираем направления токов в ветвях и направления обхода контуров. Цепь содержит пять ветвей и три узла. Система уравнений для комплексов действующих значений токов и напряжений включает 5 уравнений, два из которых составлены по I и три по II законам Кирхгофа:

$$\begin{cases} \dot{I}_1 - \dot{I}_2 - \dot{I}_3 = 0, \\ \dot{I}_3 - \dot{I}_4 - \dot{I}_5 = 0, \\ Z_1 \dot{I}_1 + Z_2 \dot{I}_2 = \dot{E}, \\ -Z_2 \dot{I}_2 + Z_3 \dot{I}_3 + Z_4 \dot{I}_4 = 0, \\ -Z_4 \dot{I}_4 + Z_5 \dot{I}_5 = 0. \end{cases} \quad (1.1)$$

Подставляя данные, запишем систему уравнений (1.1) в матричной форме $[A] \times [I] = [F]$:

$$\begin{bmatrix} 1 & -1 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & -1 & -1 \\ j40 & -j30 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & j30 & 40 & 50 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -50 & 60 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} \dot{I}_1 \\ \dot{I}_2 \\ \dot{I}_3 \\ \dot{I}_4 \\ \dot{I}_5 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 115,1 + j53,67 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}, \quad (1.2)$$

где квадратная матрица $[A]$ – обобщенная матрица коэффициентов, $[I]$ – вектор-столбец токов ветвей цепи, $[F]$ – вектор-столбец входных воздействий.

Составленное матричное уравнение (1.2) решаем с помощью прикладной программы

MathCAD: $[I] = [A]^{-1} \times [F]$

$$I = \begin{pmatrix} 5.988 - 3.224i \\ 6.194 - 0.462i \\ -0.206 - 2.762i \\ -0.112 - 1.507i \\ -0.094 - 1.255i \end{pmatrix}$$

Напряжения на элементах определяем по закону Ома в комплексной форме.

2. Расчет электрической цепи методом эквивалентных преобразований.

С помощью метода эквивалентных преобразований находим эквивалентные сопротивления участков цепи и входное сопротивление цепи. При оформлении работы следует привести все промежуточные схемы, полученные при эквивалентных преобразованиях, с графическим отображением характера элементов.

Все результаты следует записывать в показательной и в алгебраической формах.

$$Z_{45} = \frac{Z_4 Z_5}{Z_4 + Z_5} = \frac{50 \cdot 60}{50 + 60} = 27,27 \text{ Ом}$$

$$Z_{345} = Z_3 + Z_{45} = 40 + 27,27 = 67,27 \text{ Ом}$$

$$Z_{2345} = \frac{Z_2 Z_{345}}{Z_2 + Z_{345}} = \frac{(-j30) \cdot 67,27}{-j30 + 67,27} = 27,40 e^{-j65,96^\circ} = 11,16 - j25,02 \text{ Ом}$$

$$Z_{\text{ex}} = Z_{12345} = Z_1 + Z_{2345} = j40 + 11,16 - j25,02 = 11,16 + j14,98 = 18,68 e^{j53,31^\circ} \text{ Ом.}$$

По закону Ома

$$\dot{I}_1 = \frac{\dot{E}}{Z_{\text{ex}}} = \frac{127 e^{j25^\circ}}{18,68 e^{j53,31^\circ}} = 6,798 e^{-j28,31^\circ} = 5,985 - j3,224 \text{ А.}$$

Тогда

$$\dot{U}_1 = Z_1 \dot{I}_1 = j40 \cdot 6,798 e^{-j28,31^\circ} = 40 e^{j90^\circ} \cdot 6,798 e^{-j28,31^\circ} = 271,9 e^{j61,69^\circ} = 128,9 + j239,4 \text{ В.}$$

Дальнейший расчет проводится по закону Ома.

$$\dot{U}_2 = Z_{2345} \cdot \dot{I}_1 = 27,40 e^{-j65,96^\circ} \cdot 6,798 e^{-j28,31^\circ} = 186,3 e^{-j94,27^\circ} = -13,87 - j185,8 \text{ В}$$

$$\dot{I}_2 = \frac{\dot{U}_2}{Z_2} = \frac{186,3 e^{-j94,27^\circ}}{30 e^{-j90^\circ}} = 6,209 e^{-j4,27^\circ} = 6,192 - j0,4623 \text{ А}$$

$$\dot{I}_3 = \frac{\dot{U}_2}{Z_{345}} = \frac{186,3 e^{-j94,27^\circ}}{67,27} = 2,769 e^{-j94,27^\circ} = -0,2062 - j2,761 \text{ А.}$$

Проверка: $\dot{I}_1 = \dot{I}_2 + \dot{I}_3$ – первый закон Кирхгофа для I узла выполняется.

$$\dot{U}_3 = Z_3 \cdot \dot{I}_3 = 40 \cdot 2,769 e^{-j94,27^\circ} = 110,76 e^{-j94,27^\circ} = -8,247 - j110,45 \text{ В}$$

$$\dot{U}_4 = \dot{U}_5 = Z_{45} \cdot \dot{I}_3 = 27,27 \cdot 2,769 e^{-j94,27^\circ} = 75,51 e^{-j94,27^\circ} = -5,622 - j75,30 \text{ В}$$

$$\dot{I}_4 = \frac{\dot{U}_4}{Z_4} = \frac{75,51e^{-j94,27^\circ}}{50} = 1,510e^{-j94,27^\circ} = -0,1124 - j1,506 \text{ A,}$$

$$\dot{I}_5 = \frac{\dot{U}_5}{Z_5} = \frac{75,51e^{-j94,27^\circ}}{60} = 1,259e^{-j94,27^\circ} = -0,09374 - j1,255 \text{ A.}$$

Проверка: $\dot{I}_3 = \dot{I}_4 + \dot{I}_5$ – первый закон Кирхгофа для II узла выполняется.

Найденные в п. 2 значения комплексных величин токов и напряжений на всех участках цепи в алгебраической и показательной форме, а также их мгновенные значения приведены в табл.1.3. Сравниваем их с результатами расчета п.1.

Таблица 1.3

Расчетная величина		Комплексные значения		Мгновенные значения
		Алгебраическая форма	Показательная форма	
\dot{I}_1	A	$5,985 - j3,224$	$6,798e^{-j28,31^\circ}$	$i_1(t) = 9,614 \sin(\omega t - 28,31^\circ)$
...
\dot{I}_5	A	$-0,09374 - j1,255$	$1,259e^{-j94,27^\circ}$	$i_5(t) = 1,780 \sin(\omega t - 94,27^\circ)$
\dot{U}_1	B	$129,0 + j239,4$	$271,9e^{j61,68^\circ}$	$u_1(t) = 384,5 \sin(\omega t + 61,68^\circ)$
...
\dot{U}_5	B	$-5,622 - j75,30$	$75,51e^{-j94,27^\circ}$	$u_5(t) = 106,8 \sin(\omega t - 94,27^\circ)$

3. Построение векторной диаграммы токов и напряжений.

Для построения векторной диаграммы (рис 1.3) используют алгебраическую форму представления комплексов действующих значений токов и напряжений. Векторные диаграммы токов и напряжений должны удовлетворять уравнениям (1.2), составленным по законам Кирхгофа. Построения выполняют на миллиметровке, используя масштабы, соответствующие ГОСТ. Желательно токи и напряжения выделять разными цветами.

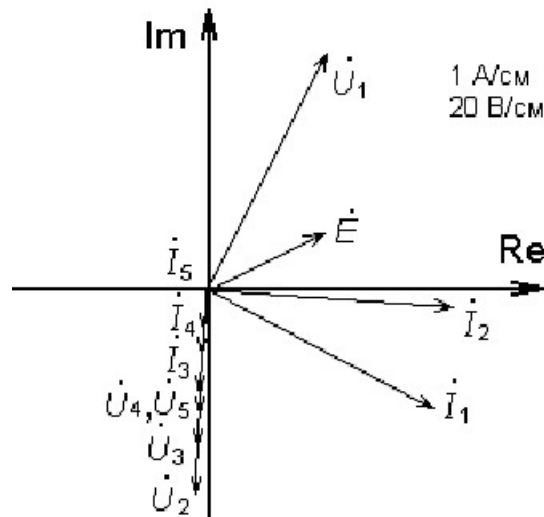


Рис. 1.3

4. Проверка баланса активных и реактивных мощностей.

Проверка баланса мощностей выполняется с помощью уравнения

$$\dot{E} I_{уст}^* = \sum_{k=1}^5 Z_k I_k^2,$$

где $I_{уст}^*$ – сопряженный комплекс тока ветви, в которую включен источник, \dot{E} – комплекс э.д.с. источника, Z_k, I_k – комплексное сопротивление и действующее значение тока в ветви k .

Для рассмотренного варианта: $I_{уст}^* = I_1^* = 6,798e^{j28,31^\circ}$ А.

Определяем комплекс полной мощности источника:

$$\underline{S}_{уст} = \dot{E} I_{уст}^* = P_{уст} + jQ_{уст} = 127e^{j25^\circ} \cdot 6,798e^{j28,32^\circ} = 863,3e^{j53,31^\circ} = 515,8 + j692,3 \text{ ВА.}$$

Определяем комплекс полной мощности приемников цепи:

$$\begin{aligned} \underline{S}_{np} &= \sum_{k=1}^5 Z_k I_k^2 = P_{np} + jQ_{np} = j40 \cdot 6,798^2 + (-j30) \cdot 6,209^2 + 40 \cdot 2,769^2 + 50 \cdot 1,510^2 + 60 \cdot 1,25^2 \\ &= 515,8 + j692,0 \text{ (ВА)}, \quad P_{np} = 516 \text{ (Вт)}, \quad Q_{np} = 692 \text{ ВАр.} \end{aligned}$$

Проводим оценку выполнения баланса:

$$\delta P = \frac{|P_{уст} - P_{нр}|}{P_{уст}} \cdot 100\% = \frac{|515,8 - 515,8|}{515,8} \cdot 100\% = 0\% ;$$

$$\delta Q = \frac{|Q_{уст} - Q_{нр}|}{Q_{уст}} \cdot 100\% = \frac{|692,3 - 692,0|}{692,3} \cdot 100\% = 0,04\% .$$

Полученные расхождения находятся в пределах заданной погрешности.

5. Определение показаний приборов.

Амперметр показывает действующее значение тока $I_2 = I_A = 6,209$ А, вольтметр – действующее значение напряжения $U_4 = U_v = 75,51$ В.

Показание ваттметра определяется произведением действующих значений напряжения и тока на соответствующих обмотках прибора на косинус угла сдвига фаз между ними:

$$P_w = U_2 I_3 \cos(\bar{U}_2, \bar{I}_3) = 186,3 \cdot 2,769 \cdot \cos 0^\circ = 515,9 \text{ Вт.}$$

6. Расчет тока \dot{I}_2 методом эквивалентного генератора.

Этот метод применяют при определении тока только в одной из ветвей сложной электрической цепи. При этом остальная часть цепи заменяется эквивалентным активным двухполюсником, называемым эквивалентным генератором (см. рис.1.4). Параметрами эквивалентного генератора являются ЭДС $\dot{E}_{ЭГ}$ и внутреннее сопротивление $Z_{ЭГ}$.

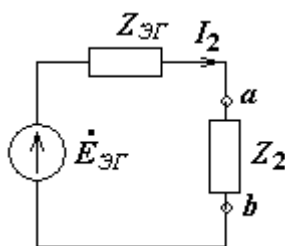


Рис.1.4.

В процессе расчета определяют ЭДС эквивалентного генератора $\dot{E}_{ЭГ} = \dot{U}_{xx}$, где \dot{U}_{xx} – напряжение на зажимах разомкнутой ветви ab (в рассматриваемом случае Z_2), и внутреннее сопротивление эквивалентного генератора $Z_{ЭГ}$, равное эквивалентному сопротивлению цепи по отношению к зажимам ab . Ток в ветви рассчитывают по формуле

$$\dot{I}_2 = \dot{E}_{\text{ЭГ}} / (Z_{\text{ЭГ}} + Z_2).$$

6.1 Определение ЭДС эквивалентного генератора (рис.1.5а).

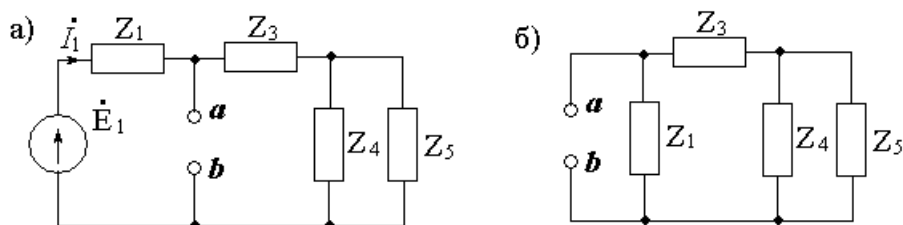


Рис.1.5

Ток источника в режиме холостого хода (ветвь 2 разомкнута) равен:

$$\dot{I}_1 = \frac{\dot{E}}{Z_1 + Z_{345}} = \frac{127e^{j25^\circ}}{j40 + 67,27} = \frac{127e^{j25^\circ}}{78,26e^{j30,74^\circ}} = 1,623e^{-j5,74^\circ} \text{ А,}$$

где $Z_{345} = Z_3 + Z_{45} = 40 + 27,27 = 67,27 \text{ Ом}$

Э.д.с. эквивалентного генератора

$$\dot{E}_{\text{ЭГ}} = \dot{U}_{ab_{xx}} = Z_{345} \cdot \dot{I}_1 = 67,27 \cdot 1,623e^{-j5,74^\circ} = 109,2e^{-j5,74^\circ} \text{ В}$$

6.2 Определение внутреннего сопротивления эквивалентного генератора (рис.1.5 б).

Внутреннее сопротивление эквивалентного генератора относительно точек *a* и *b*

$$Z_{ab} = Z_{\text{ЭГ}} = \frac{Z_1 Z_{345}}{Z_1 + Z_{345}} = \frac{j40 \cdot 67,27}{j40 + 67,27} = 34,38e^{j59,26^\circ} = 17,57 + j29,55 \text{ Ом.}$$

Искомый ток определяется (рис 1.4)

$$\dot{I}_2 = \frac{\dot{E}_{\text{ЭГ}}}{Z_{\text{ЭГ}} + Z_2} = \frac{109,2e^{-j5,74^\circ}}{17,57 + j29,55 - j30} = \frac{109,2e^{-j5,74^\circ}}{17,58e^{-j1,47^\circ}} = 6,212e^{-j4,27^\circ} \text{ А.}$$

Результаты расчетов, выполненных различными методами, практически совпадают.

В заключении следует привести краткие выводы по выполненному расчету.