

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ
ФЕДЕРАЦИИ**

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«ТУЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Институт высокоточных систем им. В.П. Грязева

Кафедра «Электроэнергетика»

**Методические указания
по выполнению курсовой работы**

учебной дисциплины (модуля)

«Современные информационные технологии»

Уровень профессионального образования:
высшее образование – бакалавриат

Направление (специальность) подготовки:
13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника»

Профиль (специализация) подготовки:
«Электроснабжение»
«Электрооборудование и электрохозяйство предприятий, организаций и
учреждений»

Квалификация выпускника: бакалавр

Форма обучения: (заочная)

Тула 2023 г.

Методические указания по выполнению курсовой работы учебной дисциплины (модуля) «Информатика» разработаны доцентом Ю.И.Гореловым и обсуждена на заседании кафедры «Электроэнергетика» института высокоточных систем им. В.П. Грязева,

1 Цель и задачи выполнения курсовой работы

Настоящие методические указания служат пособием для студентов, выполняющих курсовую работу по Современным информационным технологиям. Целью курсовой работы является получение студентами практических навыков по моделированию электроэнергетических процессов на персональных компьютерах с использованием программного средства MATCAD.

2 Основные требования к курсовой работе

2.1 Тематика курсовой работы

Курсовая работа посвящена расчету режимов линейных электрических схем постоянного и переменного тока, а также трехфазных систем в симметричных и несимметричных режимах с использованием программного средства MATCAD.

2.2 Правила оформления пояснительной записки к курсовой работе

Структура пояснительной записки

Пояснительная записка проекта (работы) должна содержать:

- а) титульный лист;
- б) задание;
- в) аннотацию;
- в) содержание;
- д) введение (содержит обоснование актуальности темы);
- е) основную часть в соответствии с утвержденным кафедрой заданием;
- ж) заключение (содержит краткие выводы по результатам выполненной работы и рекомендации по её использованию);
- и) список использованных источников;
- к) приложения.

Оформление содержания

3.1. Содержание пояснительной записки не может быть заменено перечнем вопросов и задач, решаемых в курсовой работе. **Не допускается** в качестве содержания использовать «последовательность» выполнения проекта

3.2 Содержание включает введение, наименование всех разделов, подразделов, пунктов (если они имеют наименование), заключение, список

использованных источников и наименование приложений с указанием номеров страниц, с которых начинаются эти элементы работы.

Правила оформления пояснительной записки

Общие положения

Текстовые документы (титульный лист, задание, пояснительная записка) должны выполняться на листах белой бумаги формата А4 (210х297 мм) по ГОСТ 2.301 – 68 на одной стороне листа. Допускается применение отдельных листов формата А3 (297х420 мм) в последующих страницах текста.

Текст записки следует печатать, соблюдая следующие размеры полей: правое – 10 мм, верхнее -15 мм, левое 30мм, нижнее – 20 мм.

Титульные листы пояснительных записок должны выполняться в соответствии с требованиями кафедры.

Пояснительная записка должна быть сброшюрована в папку формата А4.

Текстовые документы пояснительной записки выполняются печатным способом через полтора интервала шрифтом черного цвета кегль 14.

Разрешается использовать компьютерные возможности акцентирования внимания на определенных терминах, заголовках разделов, формулах, теоремах, применяя шрифты разной гарнитуры.

Страницы пояснительной записки нумеруются арабскими цифрами, проставляемыми в правом верхнем углу без точки. Первым листом пояснительной записки является титульный лист, который включается в общую нумерацию листов записки, но номер на нем не ставится.

Нумерация страниц приложений должна быть сквозной.

Опечатки, опiski и орфографические неточности, обнаруженные в процессе подготовки текста, допускается исправлять подчисткой или закрашиванием белой краской и нанесением на том же месте исправленного текста (графики) машинописным способом или черными чернилами, пастой или тушью – рукописным способом.

Построение текста

Текст следует делить на разделы, подразделы, пункты и подпункты.

Разделы должны иметь порядковую нумерацию в пределах всего текста, за исключением приложений.

Разделы, подразделы, пункты и подпункты следует нумеровать арабскими цифрами и записывать с абзацного отступа.

Подразделы должны иметь порядковые номера в пределах каждого раздела. Номера подразделов состоят из номера раздела и подраздела, разделенных точкой.

Пункты должны иметь порядковый номер в пределах каждого подраздела.

Если раздел состоит из одного подраздела, то ***подраздел не нумеруется. Если подраздел состоит из одного пункта, то пункт не нумеруется.***

Внутри пунктов или подпунктов могут быть приведены перечисления. Перед каждым перечислением следует ставить дефис или, при необходимости, ссылки в тексте на одно из перечислений, строчную букву (за исключением ё, з, г, о, ь, й, ы, ь) после которой ставится скобка.

Для дальнейшей детализации перечислений необходимо использовать арабские цифры, после которых ставится скобка, а запись производится с абзацного отступа.

Разделы, подразделы должны иметь заголовки. Пункты, как правило, заголовков не имеют. Заголовки должны четко и кратко отражать содержание разделов, подразделов.

Заголовки разделов, подразделов и пунктов следует печатать с абзацного отступа с прописной буквы без точки в конце, не подчеркивая.

Если заголовок состоит из двух предложений, их разделяют точкой.

Номера и заголовки разделов следует печатать шрифтом большим, чем текст. **Каждый раздел текста рекомендуется начинать с новой страницы.**

Разделы «Содержание», «Введение», «Заключение», «Список использованных источников» не нумеруются.

Расстояние между заголовками и последующим текстом 10мм., а между последней строкой текста и последующим заголовком 15мм.

Иллюстрации

Иллюстрации (чертежи, графики, схемы, фотографии и т. п.) следует располагать в тексте непосредственно после текста, в котором они упоминаются впервые, или на следующей странице. Иллюстрации, помещаемые в тексте, должны соответствовать требованиям ГОСТов ЕСКД.

Иллюстрации следует нумеровать арабскими цифрами сквозной нумерацией или в пределах раздела, например, «Рис. 1» или «Рис. 1.1». Слово «Рис.» и наименование помещают после поясняющих данных и располагают посередине строки.

Иллюстрации каждого приложения обозначают отдельной нумерацией арабскими цифрами с добавлением перед цифрой обозначения приложения. Пример – Рис. А.3.

Иллюстрационные материалы, выполняемые на кальке или полученные в процессе проектирования с выходов ЭВМ, контрольно-измерительных приборов, а также фотографии, могут быть наклеены на листы.

На электрических схемах около каждого элемента должны быть приведены его позиционные обозначения в соответствии с требованиями ГОСТ 2.702 – 75*.

Условные буквенные обозначения механических, химических, математических и других величин, а также условные графические обозначения должны соответствовать установленным стандартам.

В тексте записки перед обозначением параметра дают его пояснение.

Формулы и уравнения

Расчетные формулы должны записываться в общем виде.

Пояснения значений символов и числовых коэффициентов следует приводить непосредственно под формулой в той же последовательности, в какой они даны в формуле. Первую строчку объяснения начинают без абзацного отступа со слова *«где» без двоеточия после него*. Значение каждого символа и числового коэффициента следует давать с новой строки, располагая символы один под другим.

Для всех символов и коэффициентов после пояснения их значения должны быть указаны, через запятую, их размерности в системе СИ.

Уравнения и формулы следует выделять из текста свободными строками. Выше и ниже каждой формулы должно быть оставлено не менее одной строки. Если уравнение не умещается в одну строку, оно должно быть перенесено после знака равенства (=) или после знаков плюс (+), минус (-), умножения (x) или деления (:). При этом знак в начале следующей строки повторяется.

Формулы следует нумеровать порядковой нумерацией в пределах всего текста (допускается нумерация формул в пределах раздела) арабскими цифрами в круглых скобках, расположенными в крайнем правом положении на строке.

Ссылки в тексте на номер формулы дают в круглых скобках.

Допускается выполнение формул и уравнений рукописным способом черными чернилами.

После записи формулы и пояснения значений ее символов подставляют значения входящих в нее параметров в той последовательности, в какой они приведены в формулах, и, наконец, приводится результат вычисления.

Расчеты в общем случае должны содержать:

- постановку задачи расчета (с указанием, что требуется определить при расчете);
- эскиз изделия или расчетную схему, которые могут быть выполнены в произвольном масштабе, обеспечивающем четкое представление о задаче расчета;
- данные для расчета;
- расчеты (для выбора основных параметров);
- заключение (с выводами по полученным результатам).

Таблицы

Цифровой материал, как правило, оформляют в виде таблиц.

Номер таблицы следует помещать над таблицей справа. Заголовок и слово «Таблица» начинают с прописной буквы. Заголовок не подчеркивают. При переносе части таблицы название помещают только над первой частью таблицы. Над другими частями пишут слова «Продолжение табл. 1».

Таблицу следует располагать непосредственно после текста, в котором она упоминается впервые, или на следующей странице.

При ссылке в тексте следует писать слово «таблица» с указанием ее номера.

Заголовки граф и строк таблицы следует писать с прописной буквы в единственном числе, а подзаголовки граф – со строчной буквы, если они составляют одно предложение с заголовком, или с прописной буквы, если они имеют самостоятельное значение. В конце заголовков и подзаголовков таблиц точки не ставят. Диагональное деление головки таблицы не допускается.

Графу «№ п/п» в таблицу не включают. При необходимости нумерации показателей или других данных порядковые номера указывают в боковике таблицы перед их наименованием.

Таблицы слева, справа и снизу, как правило, ограничивают линиями. Допускается применять размер шрифта в таблице меньший, чем в тексте. Оформление таблиц должно соответствовать ГОСТ 1.5 – 93 и ГОСТ 2.105 – 95.

Список использованных источников

Список использованных источников должен быть составлен в соответствии с требованиями ГОСТ 7.1 – 84.

Сведения об источниках следует располагать в порядке появления ссылок на источники в тексте, нумеровать арабскими цифрами без точки и печатать с абзацного отступа.

Ссылки в тексте на использованные источники следует давать в виде арабских цифр, заключенных в квадратные скобки, указывающих порядковый номер источника по списку, например: [5], [18]. При необходимости указываются страницы книги, статьи или другого источника, с которых взяты используемые сведения или формулы, например: [18, с.21-25].

Образец титульного листа к курсовой работе
**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ
ФЕДЕРАЦИИ**

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«ТУЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Институт высокоточных систем им. В.П. Грязева
Кафедра «Электроэнергетика»

**Пояснительная записка
к курсовой работе
на тему «Расчет параметров электрических цепей
постоянного и переменного тока в пакете MathCad»
учебной дисциплины (модуля)
«Современные информационные технологии»**

Направление (специальность) подготовки:
13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника»

Выполнил ст. группы _____

Проверил _____

Тула 2023 г.

3. Задание на курсовую работу

Задание на курсовую работу состоит из двух заданий, которые необходимо выполнить в системе MatCad;

1. Математическое моделирование установившегося режима работы цепей постоянного тока

2. Математическое моделирование установившегося режима работы однофазных цепей синусоидального тока

Номер варианта каждого из заданий соответствует номеру варианта, представленного в личном кабинете студента.

1. Математическое моделирование установившегося режима работы цепей постоянного тока

Постановка задачи № 1

Рассчитать установившейся режим работы разветвленной линейной цепи постоянного тока. Выполнить проверку решения. Составить баланс мощности.

Математическую модель электрической цепи составить с использованием законов Кирхгофа. Задачу решить двумя методами: 1) в матричной форме; 2) с использованием блока решений.

Выбор схемы и ее параметров производится в соответствии с вариантом по таблицам 1.1 и 1.2.

Таблица 1.1 – Варианты схемы электрической цепи

Вариант	Схема	Вариант	Схема
1		2	
3		4	

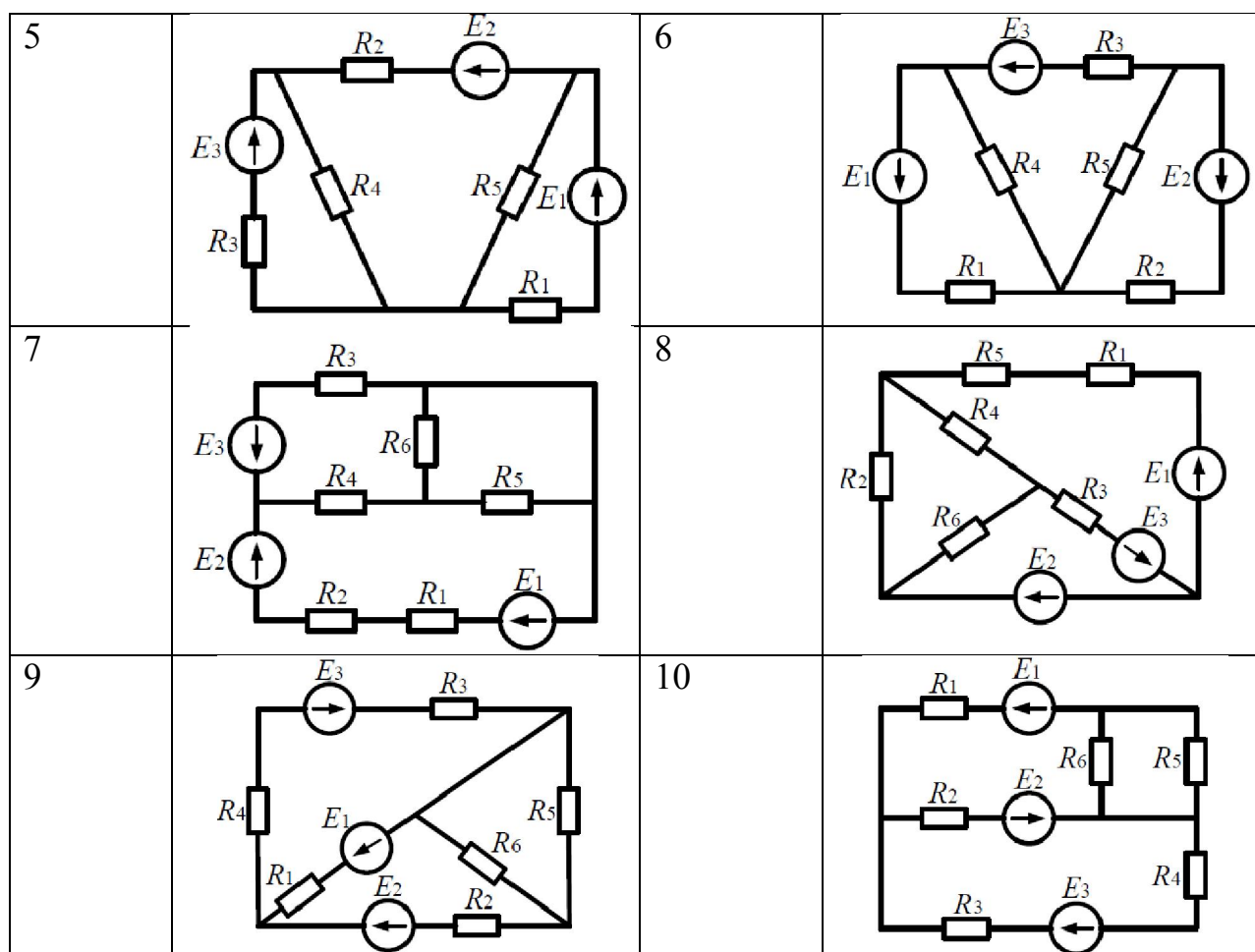


Таблица 1.2 – Параметры источников энергии и резисторов

Вариант	E_1 , В	E_2 , В	E_3 , В	R_1 , Ом	R_2 , Ом	R_3 , Ом	R_4 , Ом	R_5 , Ом	R_6 , Ом
1	50	30	20	4	2	8	9	15	7
2	120	10	15	6	3	7	8	20	3
3	50	75	30	2	8	10	5	12	5
4	100	50	25	8	10	23	2	11	9
5	10	20	80	10	4	20	8	3	11
6	70	60	100	4	15	12	3	10	20
7	40	20	115	15	20	11	2	7	12
8	50	10	95	20	35	10	12	5	19
9	110	15	120	14	12	6	4	9	15
10	60	65	40	10	5	3	2	8	12

Методические указания к выполнению задания № 1

Рассмотрим пример решения поставленной задачи для электрической цепи с параметрами: $E_1 = 50$ В, $E_2 = 30$ В, $E_3 = 20$ В, $R_1 = 4$ Ом, $R_2 = 2$ Ом, $R_3 = 8$ Ом, $R_4 = 9$ Ом, $R_5 = 15$ Ом, $R_6 = 7$ Ом, схема которой приведена на рисунке 1.1.

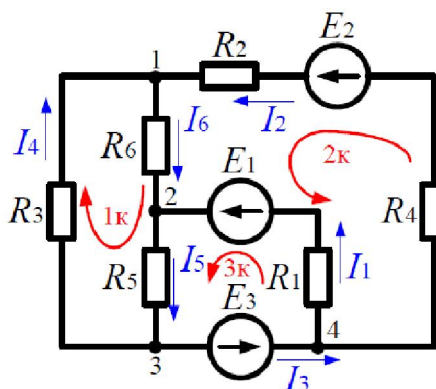


Рисунок 1.1 – Схема цепи постоянного тока

Для решения этой задачи необходимо:

- задать условно положительные направления токов;
- выбрать направления обхода контуров;
- составить математическую модель установившегося режима работы по законам Кирхгофа.

При составлении системы уравнений следует придерживаться ряда принципов:

- направления искомых токов целесообразно выбирать одинаковым с направлением ЭДС;
- уравнения Кирхгофа записывать в виде, близком к матричному (номера столбцов должны совпадать с номерами токов ветвей; индексы токов нарастают слева направо; при отсутствии элемента ставится ноль).

Последующий переход к матричной форме (матрицы R и E) и ее использование для решения системы линейных алгебраических уравнений (СЛАУ) очевиден, и как показывает практика, выполняется безошибочно.

Из матричной алгебры известно, что вектор решения СЛАУ (для нашего случая вектор токов ветвей) определяется следующим выражением:

$$I_{\text{зк}} = R^{-1}E$$

где R^{-1} – инвертированная матрица коэффициентов системы (вектор проводимостей ветвей);

E – вектор свободных членов системы уравнений (вектор значений ЭДС);

$I_{\text{зк}}$ – вектор решения (искомые токи ветвей).

На рисунке 1.2 приведен матричный способ решения поставленной задачи. Проверка полученных результатов проведена по законам Кирхгофа с использованием панели булевой алгебры. Если утверждение истинно (левые и правые части каждого уравнения равны), то результат – «логическая единица», если утверждение ложно (равенство не выполняется), то результат – «логический ноль».

Выполненная проверка найденных токов, а также баланс мощности приведены на рисунке 1.3.

ORIGIN := 1

Дано:

ЭДС источников: $E_1 := 50 \text{ В}$ $E_2 := 30 \text{ В}$ $E_3 := 20 \text{ В}$

Сопротивления ветвей: $R_1 := 4 \text{ Ом}$ $R_2 := 2 \text{ Ом}$ $R_3 := 8 \text{ Ом}$ $R_4 := 9 \text{ Ом}$ $R_5 := 15 \text{ Ом}$

Система уравнений по законам Кирхгофа:

$$I_2 + I_4 - I_6 = 0$$

$$I_1 - I_5 + I_6 = 0$$

$$-I_3 - I_4 + I_5 = 0$$

$$I_4 \cdot R_3 + I_5 \cdot R_5 + I_6 \cdot R_6 = 0$$

$$-I_1 \cdot R_1 + I_2 \cdot (R_2 + R_4) + I_6 \cdot R_6 = E_2 - E_1$$

$$I_1 \cdot R_1 + I_5 \cdot R_5 = E_3 + E_1$$

Матричная форма записи:

$$R := \begin{pmatrix} 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & -1 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & -1 & 1 \\ 0 & 0 & -1 & -1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & R_3 & R_5 & R_6 \\ -R_1 & R_2 + R_4 & 0 & 0 & 0 & R_6 \\ R_1 & 0 & 0 & 0 & R_5 & 0 \end{pmatrix} \text{ Ом} \quad E := \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ E_2 - E_1 \\ E_3 + E_1 \end{pmatrix} \text{ В}$$

Расчет токов ветвей:

$$I_{\text{зк}} := R^{-1} \cdot E \quad I_{\text{зк}} = \begin{pmatrix} 5.51 \\ 1.658 \\ 7.168 \\ -3.971 \\ 3.197 \\ -2.313 \end{pmatrix} \text{ А}$$

Рисунок 1.2 – Расчет цепи матричным способом

Проверка по законам Кирхгофа:

$$I_{\text{зк}_2} + I_{\text{зк}_4} - I_{\text{зк}_6} = 0 \rightarrow 1$$

$$I_{\text{зк}_1} - I_{\text{зк}_5} + I_{\text{зк}_6} = 0 \rightarrow 1$$

$$-I_{\text{зк}_3} - I_{\text{зк}_4} + I_{\text{зк}_5} = 0 \rightarrow 1$$

$$I_{\text{зк}_4} \cdot R_3 + I_{\text{зк}_5} \cdot R_5 + I_{\text{зк}_6} \cdot R_6 = 0 \rightarrow 1$$

истина

$$-I_{\text{зк}_1} \cdot R_1 + I_{\text{зк}_2} \cdot (R_2 + R_4) + I_{\text{зк}_6} \cdot R_6 = E_2 - E_1 \rightarrow 1$$

$$I_{\text{зк}_1} \cdot R_1 + I_{\text{зк}_5} \cdot R_5 = E_3 + E_1 \rightarrow 1$$

Баланс мощности

Мощности источников:

$$P_{\text{ист}} := E_1 \cdot I_{\text{зк}_1} + E_2 \cdot I_{\text{зк}_2} + E_3 \cdot I_{\text{зк}_3}$$

$$P_{\text{ист}} = 468.608 \text{ Вт}$$

Мощности потребителей:

$$P_{\text{потр}} := (I_{\text{зк}_1})^2 \cdot R_1 + (I_{\text{зк}_2})^2 \cdot (R_2 + R_4) + (I_{\text{зк}_4})^2 \cdot R_3 + (I_{\text{зк}_5})^2 \cdot R_5 + (I_{\text{зк}_6})^2 \cdot R_6$$

$$P_{\text{потр}} = 468.608 \text{ Вт}$$

Рисунок 1.3 – Проверка решения и расчет баланса мощности

Альтернативой решению систем в матричной форме в системе *MathCAD* является так называемый *solve block* (блок решения). Он удобен тем, что при его использовании уравнения записываются в обычной форме, а также тем, что позволяет решать нелинейные уравнения и вводить ограничительные условия для определяемого решения. Блок решения

применяется как для нахождения численного решения, так и для отыскания решения в символьном виде. Вычислительный блок имеет следующую структуру:

- 1) начало блока (задается с помощью ключевого слова *Given*);
- 2) тело блока (входят все уравнения и ограничения);
- 3) конец блока (выражения с функциями *Find* или *Minerr*).

В блоке решений функцию *Find* используют для нахождения точного решения, а функцию *Minerr* – в случае поиска приближенного решения.

Поскольку составленную систему уравнений решаем численно (решение находится итерационным методом), то перед началом блока решений необходимо задать начальные условия, т.е. начальные значения искомых величин. При записи уравнений вместо строгого равенства используется знак «логического равенства». Расчет цепи постоянного тока с помощью блока решений показан на рисунке 1.4.

Начальные условия (начальные приближения)

$$I1 := 0 \quad I2 := 1 \quad I3 := -1 \quad I4 := 0.5 \quad I5 := 1 \quad I6 := 0$$

Given

$$I4 - I6 + I2 = 0$$

$$I1 + I6 - I5 = 0$$

$$I5 - I4 - I3 = 0$$

$$I4 \cdot R3 + I6 \cdot R6 + I5 \cdot R5 = 0$$

$$I2 \cdot (R2 + R4) + I6 \cdot R6 - I1 \cdot R1 = E2 - E1$$

$$I5 \cdot R5 + I1 \cdot R1 = E3 + E1$$

Искомые токи

$$I := \text{Find}(I1, I2, I3, I4, I5, I6)$$

Начало блока

Тело блока

Конец блока

$$I = \begin{pmatrix} 5.51 \\ 1.658 \\ 7.168 \\ -3.971 \\ 3.197 \\ -2.313 \end{pmatrix} \text{ A}$$

Рисунок 1.4 – Расчет цепи с помощью блока решений

Анализ рассчитанных токов цепи, полученных прямым решением уравнений и с помощью блока решений (рисунок 1.5), позволяет сделать вывод об их совпадении.

Сравнение результатов рассчитанных токов

$$I = \begin{pmatrix} 5.51 \\ 1.658 \\ 7.168 \\ -3.971 \\ 3.197 \\ -2.313 \end{pmatrix} \quad I_{\text{эк}} = \begin{pmatrix} 5.51 \\ 1.658 \\ 7.168 \\ -3.971 \\ 3.197 \\ -2.313 \end{pmatrix}$$

Рисунок 1.5 – Сравнение рассчитанных токов цепи

2. Математическое моделирование установившегося режима работы однофазных цепей синусоидального тока

Постановка задачи № 2

Рассчитать установившейся режим работы разветвленной линейной цепи однофазного синусоидального тока частотой 50 Гц. Задачу решить с размерными переменными, используя функцию *lsolve*. Определить показание ваттметра. Составить баланс мощности. Построить векторную диаграмму токов.

Выбор схемы и ее параметров производится в соответствии с вариантом по таблицам 2.1 и 2.2.

Таблица 2.1 – Варианты схемы электрической цепи

Вар.	Схема	Вар.	Схема
1		2	
3		4	
5		6	

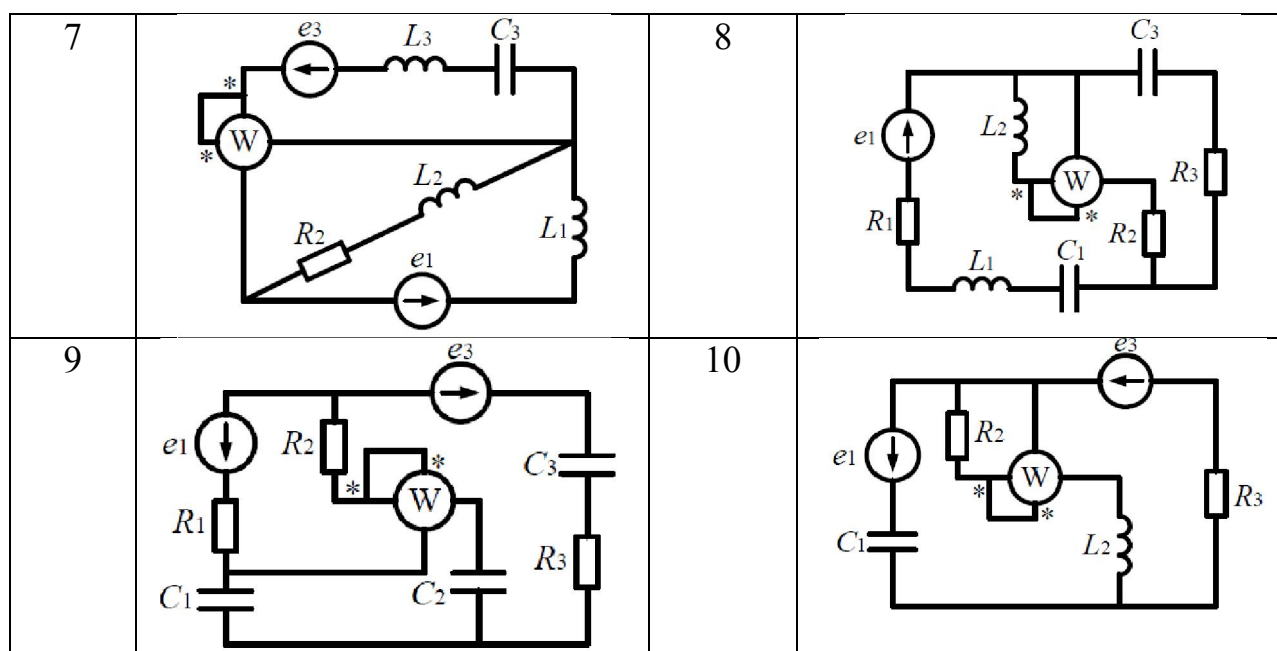


Таблица 2.2–Параметры источников энергии и резисторов

Вар.	$L1$	$L2$	$L3$	$C1$	$C2$	$C3$	$R1$	$R2$	$R3$	$\dot{E}1$	$\dot{E}2$	$\dot{E}3$
	<i>мГн</i>			<i>мкФ</i>			<i>Ом</i>			<i>В</i>		
1	12	20	16	100	23	45	10	15	22	250 – 25j	110 + 20j	90j
2	10	15	22	80	11	12	14	20	47	250 – 110j	54 – 43j	43 + 56j
3	27	23	18	40	23	10	34	24	35	290 + 65j	110 – 67j	110 – 45j
4	3	21	60	37	29	17	29	25	22	390 – 45j	280	10 + 300j
5	14	30	21	17	16	20	15	14	2	420 + 53j	43 + 56j	11 – 420j
6	7	12	19	39	110	28	19	94	9	345 – 62j	49 – 200j	50j
7	9	77	13	10	42	18	43	30	20	256 + 89j	112 + 12j	23 – 68j
8	13	14	22	22	43	98	18	90	11	315 – 57j	34 – 80j	90 – 21j
9	9	11	12	24	13	115	82	91	25	400 + 100j	90j	34 + 67j
10	16	18	45	23	40	16	28	15	29	215 – 67j	211 – 23j	45 – 89j

Методические указания к выполнению задания № 2

Рассмотрим пример решения задачи для электрической цепи переменного тока с параметрами: $\dot{E}_1 = 76 + j56$ В, $\dot{E}_3 = 67 - j21$ В, $L_1 = 16$ мГн, $R_2 = 2$ Ом, $L_2 = 30$ мГн, $C_2 = 16$ мкФ, $R_3 = 9$ Ом, $C_3 = 20$ мкФ, схема которой приведена на рисунке 24.1.

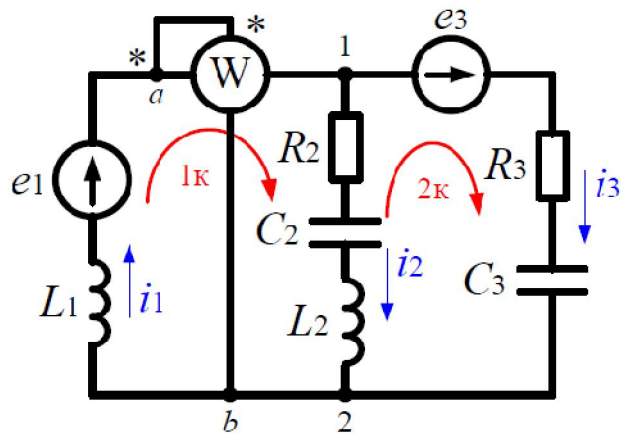


Рисунок 2.1–Схема цепи переменного тока

В *MathCAD* встроено большое количество единиц измерения, с помощью которых создаются размерные переменные. Сделано это для упрощения инженерных и физических расчетов.

Для создания размерной переменной, определяющей, например, параметр ЭДС в первой ветви $E_1 = 76 + j56$ В, необходимо, во-первых, ввести выражение, присваивающее переменной E_1 значение $76 + j56$, во-вторых, символ умножения «*», и, в-третьих, латинскую букву «V». Поскольку все символы, обозначающие единицы измерения, зарезервированы и имеют предустановленные значения (связанные с размерностью), то литера V будет распознана *MathCAD* как единица напряжения(потенциала)–«вольт».

Следует отметить, что если ранее переменная V, была переопределена присвоением ей какого-либо значения, то восприниматься как единица напряжения она уже не будет.

Вставить единицу измерения можно не только вручную, но и при помощи средств *MathCAD*. Для этого необходимо:

1) выбрать команду **Insert** → **Unit** (Вставка → Единица измерения), либо нажать на стандартной панели инструментов пиктограмму , либо сочетание клавиш «Ctrl» + «U»;

2) в открывшемся диалоговом окне в списке **Unit** (Единица измерения) выбрать нужную единицу измерения вольт(V);

3) нажать кнопку **OK**.

Если возникают трудности с поиском конкретной единицы измерения величины (вольт, киловольт и т.п.), но задана переменная (в нашем случае это ЭДС), то можно выбрать ее в списке **Dimension** (Размерность) диалогового окна **Insert Unit** (Вставка единицы измерения). Тогда в списке **Unit** (Единица измерения) появятся допустимые для этой величины единицы измерений, из которых необходимо выбрать нужную (рисунок 2.2).

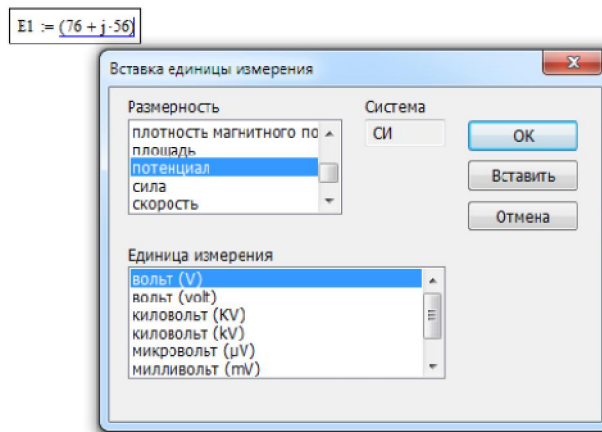


Рисунок 2.2–Вставка единиц измерения размерной величины

На рисунке 2.3 приведены параметры цепи переменного тока, заданные в *MathCAD* с учетом размерности переменных.

$\text{ORIGIN} := 1$

Задание мнимой единицы $j := \sqrt{-1}$

Параметры цепи

$f := 50 \cdot \text{Hz}$

Модуль и начальная фаза (в градусах) ЭДС:

$E1 := (76 + j \cdot 56) \cdot \text{V}$

$|E1| = 94.403 \text{ V}$

$\arg(E1) = 36.384 \cdot \text{deg}$

$E3 := (67 - j \cdot 21) \cdot \text{V}$

$|E3| = 70.214 \text{ V}$

$\arg(E1) = 36.384 \cdot \text{deg}$

$L1 := 16 \cdot \text{mH}$

$R2 := 2 \cdot \text{ohm}$

$L2 := 30 \cdot \text{mH}$

$C2 := 16 \cdot \mu\text{F}$

$R3 := 9 \cdot \text{ohm}$

$C3 := 20 \cdot \mu\text{F}$

Рисунок 2.3 – Исходные данные цепи

Методы расчета цепей однофазного синусоидального тока аналогичны методам расчета цепей постоянного тока, отличие состоит лишь в том, что расчет производится в комплексных значениях.

В *MathCAD* рассчитать токи цепи в матричной форме записи можно с использованием встроенной функции ***lsolve***.

lsolve(A, B) – решает систему линейных алгебраических уравнений вида $A \cdot X = B$, выдавая решение – вектор X . Аргументами функции являются:

A – матрица коэффициентов размерности $n \times n$ (матрица комплексных сопротивлений);

B – вектор свободных членов размерности n (вектор ЭДС);

X – вектор решений (искомые токи).

Необходимо отметить, что при решении рассматриваемой задачи, размерность следует проставлять не только в исходных данных, но и в матрице коэффициентов.

Расчет токов цепи и определение показаний ваттметра приведены на рисунке 2.4. На рисунке 2.5 приведены расчеты балансов активной, реактивной и комплекса полной мощностей.

Рассчитываем реактивные сопротивления:

$$\omega := 2 \cdot \pi \cdot f$$

$$XL1 := \omega \cdot L1 = 5.027 \, \Omega \quad XL2 := \omega \cdot L2 = 9.425 \, \Omega \quad XC2 := \frac{1}{\omega \cdot C2} = 198.944 \, \Omega \quad XC3 := \frac{1}{\omega \cdot C3} = 159.155 \, \Omega$$

Система уравнений по законам Кирхгофа:

$$I1 - I2 - I3 = 0$$

$$I1 \cdot (j \cdot XL1) + I2 \cdot (R2 + j \cdot XL2 - j \cdot XC2) = E1$$

$$I2 \cdot (R3 - j \cdot XC3) - I2 \cdot (R2 + j \cdot XL2 - j \cdot XC2) = E3$$

Решение с использованием функции *Isolve*:

Формируем матрицы для определения токов по законам Кирхгофа:

Матрица коэффициентов	Матрица свободных членов	Искомые токи
$Z := \begin{bmatrix} 1 \cdot ohm & -1 \cdot ohm & -1 \cdot ohm \\ j \cdot XL1 & R2 + j \cdot XL2 - j \cdot XC2 & 0 \\ 0 & -(R2 + j \cdot XL2 - j \cdot XC2) & R3 - j \cdot XC3 \end{bmatrix}$	$E := \begin{bmatrix} 0 \\ E1 \\ E3 \end{bmatrix}$	$I := \text{Isolve}(Z, E) \quad I = \begin{bmatrix} -0.485 + 1.394i \\ -0.304 + 0.441i \\ -0.181 + 0.933i \end{bmatrix}$

Модули и начальные фазы (в градусах) векторов токов:

$$\begin{aligned} |I_1| &= 1.476 \, \text{A} & \arg(I_1) &= 109.186 \, \text{deg} \\ |I_2| &= 0.536 \, \text{A} & \arg(I_2) &= 124.542 \, \text{deg} \\ |I_3| &= 0.97 \, \text{A} & \arg(I_3) &= 100.777 \, \text{deg} \end{aligned}$$

Определим показания ваттметра

Напряжение между точками "a" и "b" в соответствии с включением обмоток напряжения ваттметра:

$$U := E1 - I_1 \cdot j \cdot XL1 = (83.007 + 58.438i) \, \text{V}$$

1 способ:

Начальные фазы напряжения и тока через ваттметр:

$$\varphi_u := \arg(U) = 35.146 \, \text{deg} \quad \varphi_i := \arg(I_1) = 109.186 \, \text{deg}$$

Угол сдвига фаз между напряжением и током:

$$\varphi := \varphi_u - \varphi_i$$

Показания ваттметра:

$$P_w := |U| \cdot |I_1| \cdot \cos(\varphi) = 41.199 \, \text{W}$$

2 способ:

$$P_w := \operatorname{Re}(U \cdot \bar{I}_1) = 41.199 \, \text{W}$$

где $\bar{I}_1$ - вектор, сопряженный вектору тока I_1

Рисунок 2.4 – Расчет цепи

Баланс мощностей

$$\varphi_{u1} := \arg(E1) = 36.384 \, \text{deg}$$

$$\varphi_{u3} := \arg(E3) = -17.403 \, \text{deg}$$

$$\varphi_{i1} := \arg(I_1) = 109.186 \, \text{deg}$$

$$\varphi_{i3} := \arg(I_3) = 100.777 \, \text{deg}$$

$$\phi1 := \varphi_{u1} - \varphi_{i1} = -72.802 \, \text{deg}$$

$$\phi3 := \varphi_{u3} - \varphi_{i3} = -2.063$$

Активная мощность источников $P_{и}$ и приемников $P_{п}$ электрической энергии:

$$P_{и} := |E1| \cdot |I_1| \cdot \cos(\phi1) + |E3| \cdot |I_3| \cdot \cos(\phi3) = 9.04 \, \text{W}$$

$$|P_{и}| = 9.04 \, \text{W}$$

$$\arg(P_{и}) = 0 \, \text{deg}$$

$$P_{п} := (|I_3|)^2 \cdot R3 + (|I_2|)^2 \cdot R2 = 9.04 \, \text{W}$$

$$|P_{п}| = 9.04 \, \text{W}$$

$$\arg(P_{п}) = 0 \, \text{deg}$$

Реактивная мощность источников $Q_{и}$ и приемников $Q_{п}$ электрической энергии:

$$Q_{и} := |E1| \cdot |I_1| \cdot \sin(\phi1) + |E3| \cdot |I_3| \cdot \sin(\phi3) = -193.132 \, \text{W}$$

$$|Q_{и}| = 193.132 \, \text{W}$$

$$\arg(Q_{и}) = 180 \, \text{deg}$$

$$Q_{п} := (|I_1|)^2 \cdot XL1 + (|I_2|)^2 \cdot (XL2 - XC2) - (|I_3|)^2 \cdot (XC3) = -193.132 \, \text{W}$$

$$|Q_{п}| = 193.132 \, \text{W}$$

$$\arg(Q_{п}) = 180 \, \text{deg}$$

Комплексная мощность источников $S_{и}$ и приемников $S_{п}$ электрической энергии:

$$S_{и} := E1 \cdot \bar{I}_1 + E3 \cdot \bar{I}_3 = (9.04 - 193.132i) \, \text{W}$$

$$|S_{и}| = 193.343 \, \text{W}$$

$$\arg(S_{и}) = -87.32 \, \text{deg}$$

$$S_{п} := (|I_1|)^2 \cdot j \cdot XL1 + (|I_2|)^2 \cdot (R2 + j \cdot XL2 - j \cdot XC2) + (|I_3|)^2 \cdot (R3 - j \cdot XC3) = (9.04 - 193.132i) \, \text{W}$$

$$|S_{п}| = 193.343 \, \text{W}$$

$$\arg(S_{п}) = -87.32 \, \text{deg}$$

Вывод: Баланс активных и реактивных мощностей выполняется

Рисунок 2.5 – Балансы мощностей

Построение векторной диаграммы токов сводится к построению прямых линий, проходящих через начальную и конечную точки каждого вектора. Начальной точкой для всех векторов является нулевая точка, конечной – значение комплексного числа, соответствующего значению тока. Таким образом, необходимо сформировать массивы (вектора) и на графике откладывать по оси абсцисс действительные(реальные), а по оси ординат – мнимые части комплексных значений токов. Построение векторной диаграммы токов приведено на рисунке 2.6.

Задание векторов токов:

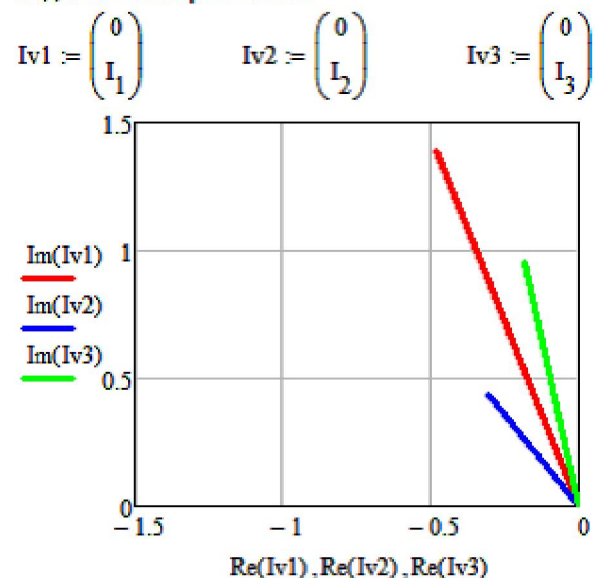


Рисунок 2.6–Векторная диаграмма токов

Литература

- 1.Очков В.Ф. Mathcad 14 для студентов, инженеров и конструкторов БХВ - Петербург 2007
- 2.Очков В.Ф. Мультимедийный обучающий курс по Mathcad 13. Курс создан на фирме Мультимедиа Технологии – (495) 673-76-92, www.mmt-dl.ru
3. Интернет- форум exponenta.ru/Mathcad.
4. Прянишников, В. А. Электротехника и ТОЭ в примерах и задачах : практ. пособие / В. А. Прянишников, Е. А. Петров, Ю. М. Осипов ; под общ. ред. В. А. Прянишникова .— СПб : КОРОНА-Век, 2008 .— 334 с. : ил.