МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«УЛЬЯНОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Д. С. Александров

УЧЕБНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКАЯ РАБОТА СТУДЕНТОВ

Учебное пособие
по дисциплине
«Учебно-исследовательская работа студентов»

Ульяновск
УлГТУ
2014

УДК 004: 378 (075)
ББК 73 я7
А46

Рецензент гендиректор ЗАО «Прометей», канд. техн. наук
Свиридов Ю. П.

Рецензент гендиректор ОАО «Униптимаш», канд. техн. наук
Быстрицкий В. Е.

Утверждено редакционно-издательским советом университета в качестве учебного пособия

Александров, Д. С.
А46 Учебно-исследовательская работа студентов : учебное пособие / Д. С. Александров. – Ульяновск : УлГТУ, 2014. – 151 с.

ISBN 978-5-9795-1348-5

Составлено в соответствии с программой курса «Учебно-исследовательская работа студентов».

Пособие предназначено для студентов специальности «Электроснабжение». Оно поможет освоить форму научного подхода решения возникших проблем при написании рефератов, курсовых и выпускных квалификационных работ. В нём характеризуются особенности научного подхода при изучении дисциплин по специальности «Электроснабжение». Излагаются технология написания работы и литературного обзора к ней. Рассматриваются вопросы оформления и приводятся примеры конкретных работ.

Предназначена для бакалавров специальности 13.03.02 «Электроснабжение».

Работа подготовлена на кафедре «Электроснабжение».

УДК 004: 378 (075)
ББК 73 я7

ISBN 978-5-9795-1348-5

© Александров Д. С., 2014
© Оформление. УлГТУ, 2014

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ 4

ГЛАВА 1. СОДЕРЖАНИЕ И НАЗНАЧЕНИЕ УЧЕБНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ РАБОТЫ СТУДЕНТОВ 5
1.1. Назначение учебно-исследовательской работы студентов 5
1.2. Организация и содержание дисциплины УИРС 6

ГЛАВА 2. УЧЕБНЫЕ РАБОТЫ И МЕТОДЫ РАБОТЫ С ИСТОЧНИКАМИ 9
2.1. Рефераты 9
2.2. Курсовые работы 15
2.3. Выпускные квалификационные работы 18
2.4. Методы работы с источниками 25
2.5. Общий подход к решению нетиповых задач 28

ГЛАВА 3. ОФОРМЛЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ РАБОТ 30

ГЛАВА 4. ПУБЛИЧНОЕ ВЫСТУПЛЕНИЕ 46

ЗАКЛЮЧЕНИЕ 51

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК 52

Приложение А[1]
Пример написания реферата источника информации 53

Приложение Б
Пример написания учебного реферата 54

Приложение В
Пример оформления курсовой работы 77

Приложение Г
Пример оформления доклада 142

[1] Приложения А, Б, В, Г отделены друг от друга маркировочной линией _____, которая необходима для отличия Приложений учебно-методического пособия от приложений второго уровня, включающие приложения материалов самих Приложений

ВВЕДЕНИЕ

Ранее высшая школа в сфере подготовки инженеров была ориентирована в основном на массовый выпуск узких специалистов, способных выполнять стереотипные задания по созданию и обеспечению функционирования техники и технологий. В современных условиях бурного развития научно-технического прогресса, интенсивного увеличения объёма научной и научно-технической информации, быстрой сменяемости и потребности систематического обновления знаний особое значение приобретает подготовка в высшей школе высококвалифицированных специалистов, имеющих высокую общенаучную и профессиональную подготовку, способных к самостоятельной творческой работе, к внедрению в производственный процесс новейших и прогрессивных результатов. Сегодня требуется специалист-новатор, инициативный, широкообразованный, непрерывно совершенствующийся, реализующий творческий подход во всех сферах его деятельности.

В условиях подготовки инженера с повышенным творческим потенциалом требуется и новый методический подход, который должен быть основан на более глубокой и целостной личностной ориентации, направленной на развертывание внутренне присущих человеческому индивиду творческих способностей. Сформировать у человека творческий подход к выполняемому делу, к жизни – это задача в первую очередь самого человека. Роль высшей школы в этом случае заключается в том, чтобы показать человеку направление движения, развития своей личности на основе использования элементов творческой философии. Как это сделать?

Во многом здесь могут помочь студенту такие курсы лекций, как «Учебно-исследовательская работа студентов».

Основная цель пособия – помочь студентам освоить форму творческого подхода при написании рефератов, курсовых и выпускных квалификационных работ (далее **дипломных** работ). Предлагаемые материалы являются учебным пособием по дисциплине «Учебно-исследовательская работа студентов», которая предусмотрена учебным планом при подготовке студентов по специальности «Электроснабжение». В ней показана специфика творческого подхода по сравнению с житейски – эмпирическим познанием и диагностическим обследованием, характеризуются элементы понятийного аппарата творческой работы, раскрываются её этапы, рассматриваются вопросы оформления работы.

Такой подход представляется оправданным, поскольку различные виды обязательно выполняемых работ (реферат, курсовая или дипломная работы) имеют единый язык и различаются лишь объёмом информации и соотношением трёх составляющих: **умения получать и осмысленно, творчески применять информацию.**

ГЛАВА 1. СОДЕРЖАНИЕ И НАЗНАЧЕНИЕ УЧЕБНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ РАБОТЫ СТУДЕНТОВ

1.1. Назначение учебно-исследовательской работы студентов

Подготовку в высшей школе высококвалифицированных специалистов можно обеспечить наряду с изучением общеобразовательных и специальных дисциплин, дополнительным освоением таких дисциплин, как учебно-исследовательская работа и научно-исследовательская работы студентов.

Научно-исследовательская работа студентов (НИРС).

Эта дисциплина связана с понятием науки. Основной формой *человеческого* познания является наука. Наука в наши дни становится всё более значимой и существенной составной частью той реальности, которая нас окружает и в которой нам, так или иначе, надлежит ориентироваться, жить и действовать. Дадим определение науки.

Наука – форма духовной деятельности человека по выработке, систематизации и проверке знаний.

Итак, непосредственной целью науки является получение *новых* знаний и *систематизация знаний*. Научным является не всякое знание, а лишь *достоверное*, хорошо проверенное и обоснованное. Отсюда следует – занятие НИРС распространяется не на всех студентов, а лишь выразивших желание заниматься этой деятельностью.

Учебно-исследовательская работа студентов (УИРС) отличается целями, которые перед ней ставятся и формами достижения целей.

Основными целями УИРС являются приобретение:

– навыков и выработка внутренней потребности систематического получения знаний, в том числе накопления систематизации и анализа информации;

– умения применения полученных знаний для решения не только текущих задач, но и задач нестандартного характера;

– умения анализа результатов исследования, формулировать выводы и вырабатывать рекомендации по совершенствованию того или иного вида деятельности.

На основании определённых основных целей дадим определение УИРС.

УИРС – форма совершенствования учебного процесса, направленная на умение приобретать, применять приобретённые знания и принимать рациональные решения по результатам выполненной работы.

На основании данного определения УИРС видно основное отличие УИРС от НИРС. УИРС – усвоение, применение существующих знаний и

принятие рациональных решений, а НИРС – получение новых знаний. Кроме того, УИРС, как форма совершенствования учебного процесса, касается каждого студента.

Из вышесказанного можно сделать заключение, что УИРС – это начальная *обязательная* ступень творческого подхода к учебному процессу, а в будущем к творческому подходу производственной деятельности. НИРС является следующей более высокой ступенью творческого развития личности и не является обязательной для всех студентов. Более того, можно утверждать – без освоения УИРС маловероятна успешная деятельность в области НИРС.

1.2. Организация и содержание дисциплины УИРС

В организационном плане учебно-исследовательская работа студентов подразделяется на УИРС, включаемую в учебный процесс, и УИРС, выполняемую во внеучебное время.

Учебно-исследовательская работа студентов, включаемая в учебный процесс, осуществляется в следующих формах:

- лекции;
- практические занятия,

и изучается на начальных курсах. На старших курсах студенты выполняют УИРС во внеучебное время.

На первом этапе УИРС, *включаемая в учебный процесс* в форме практической деятельности, предусматривает выполнение обязательных работ: домашних заданий, лабораторных работ, рефератов, курсовых и дипломных проектов (работ) всеми студентами без исключения. То есть на первом этапе происходит ознакомление студентов с основами и элементами учебных исследований, развиваются навыки самостоятельной работы по углублённому изучению фундаментальных наук. «Открывают» для себя известные знания, составляющие часть программного материала какой-либо дисциплины (раздела, темы), и применяют их к решению каких-либо учебных или прикладных задач. Следует подчеркнуть, что вопреки сложившемуся мнению [1–13], предметом учебно-исследовательской работы студентов является не обязательно специально включаемые преподавателем элементы учебных исследований в перечисленные работы. Само выполнение работ без элементов учебных исследований подразумевает не только использование знаний, приобретённых на лекциях по данному предмету, но и необходимость в дополнительной информации, отражающей специфику выполняемых работ. Тем самым достигается выполнение первой цели УИРС – умение самостоятельного приобретения необходимых знаний. Кроме того, выполнение перечисленных работ требует привлечения знаний, полученных при изучении других дисциплин, а это

уже неизбежно предполагает выработку навыков применения знаний. Поэтому решается вторая задача УИРС – умение пользоваться уже приобретёнными знаниями.

УИРС, *включаемая в учебный процесс*, может предусматривать выполнение разовых работ отдельными студентами. Например, выполнение конкретных нетиповых заданий учебно-исследовательского характера в период производственной или учебной практики отдельными студентами.

Учебно-исследовательская работа студентов, ***не*** *включаемая в учебный процесс*, осуществляется *во внеучебное время* в следующих формах:

– индивидуальная работа по утверждённой тематике с закреплённым преподавателем;
– участие в студенческих конференциях и студенческих олимпиадах;
– участие в деятельности научных кружков;
– участие в проведении хоздоговорных и научно-исследовательских работ кафедры.

То есть на втором этапе студенты включаются непосредственно в учебно-исследовательскую работу, проводимую на кафедрах. Им поручаются конкретные теоретические и практические разработки. Как правило, эти исследования ведутся в рамках общепрофессиональных и специальных дисциплин. Основной формой УИРС, осуществляемой во внеучебное время, является индивидуальная работа по утверждённой тематике с закреплённым преподавателем. Содержание УИРС определяется заданием, которое составляется руководителем. Количество и содержание этапов зависит от конкретного направления и характера работы. Обязательными этапами, как правило, являются проработка литературы, а также анализ полученных результатов, формирование выводов и рекомендаций, составление отчёта. Этап проработки литературы включает в себя поиск информационных материалов, их изучение и анализ, формулирование выводов. На самостоятельную проработку обычно выносятся разделы описательного характера, хорошо изложенные в учебниках.

Для самостоятельной работы предлагается изучение правил оформления учебно-исследовательской работы, представления результатов работ на студенческой научной конференции и специализированного программного обеспечения.

Классификация УИРС по различным признакам.

По характеру выполняемых исследований УИРС подразделяется на:

– теоретические исследования;
– информационный поиск и реферирование;
– разработку методов, алгоритмов и программ.

По направлению деятельности УИРС подразделяется на:

– методологическую;

– прикладную;
– научно-исследовательскую.

Методологическое направлению деятельности УИРС предполагает, прежде всего, выработку навыков применения своих знаний путём теоретического исследования.

Прикладное направление деятельности УИРС предполагает непосредственное применение знаний и навыков:

– при выполнении хоздоговорных работ;
– связанных с учебным процессом – совершенствование лабораторных стендов, написание методических указаний по пользованию ими;
– при создании виртуальных лабораторных работ, программ для учебного процесса.

По средствам реализации УИРС подразделяется на:

– теоретические исследования;
– изобретательскую деятельность;
– экспериментальную деятельность, связанная либо с наблюдением (пассивный эксперимент), либо с экспериментом (наличие средств эксперимента для создания искусственных условий эксперимента).

ГЛАВА 2. УЧЕБНЫЕ РАБОТЫ И МЕТОДЫ РАБОТЫ С ИСТОЧНИКАМИ

2.1. Рефераты

2.1.1. Классификация рефератов по назначению

Обучение в вузе организуется посредством аудиторных занятий (лекций, семинарских и практических, зачётов и экзаменов), практики, а также самостоятельной работы студентов и слушателей, выполняющих реферативные, курсовые и дипломные работы, которые представляют собой учебно-исследовательские формы обучения, основанные на индивидуальной самостоятельной деятельности каждого обучающегося.

Реферат учебный – это самостоятельная письменная работа, кратко излагающая исследование какой-либо проблемы на основе изучения и переработки теоретического или экспериментального материала.

Назначение реферирования источников информации в учебном процессе заключается в выработке навыков и умения приобретать знания посредством освоения приёмов, методов и средств работы с источниками информации.

В реферате не пересказывается, не копируется содержание изучаемых источников, а осуществляется систематизация, анализ и обобщение материала. При наличии двух и более реферируемых источников дополнительно производится сравнение основных положений источников информации. Объектом реферирования является научная или производственная литература.

Кроме учебных рефератов имеются другие по назначению рефераты.

Реферат источника информации – это краткое изложение содержания документа или его части, включающее основные фактические сведения и выводы, необходимые для первоначального ознакомления с документом и определения целесообразности обращения к нему.

Под источником информации обычно понимают книгу или её главы, журнальную статью. Современные требования к реферату:

- точность и объективность в передаче сведений;
- полнота отображения основных элементов содержания;
- доступность восприятия текста реферата, как по содержанию, так и по форме.

В реферате источника информации указываются пути и методы исследования вопроса, приводятся основные фактические данные, излагаются выводы автора, показывается, что нового вносит реферируемый материал

в теорию или практику. Реферат позволяет в такой мере ознакомиться с содержанием произведения печати, что читателю становится ясно, найдёт ли он в этом материале ответ на интересующие его вопросы.

Цель реферата источника информации не только сообщить о содержании реферируемой работы, но и дать представление о вновь возникших проблемах в соответствующей отрасли науки или производства. Объектом реферирования является только научная или производственная литература.

Существуют требования и к объёму реферата источника информации [15]. Например, в Реферативном журнале средний объём реферата – 1000 печатных знаков и может колебаться в пределах – от 500 до 2500 знаков.

Иногда реферат публикуется вместе с реферируемым текстом. Но чаще всего – отдельно от него. В этом случае реферат сопровождается библиографическим описанием реферируемого документа.

Пример оформления реферата источника информации приведён в **Приложении А**.

Далее под термином «реферат» будут пониматься рефераты учебного процесса.

2.1.2. Структура реферата

Общая структура реферата, как и любого документа подобного рода, должна соответствовать требованиям нормативной документации [14].
В общем случае документ состоит из трёх основных частей: титульного листа, текстовой части и приложений. Внутренняя структура титульного листа определена ГОСТ 2. 105–95. Внутренняя структура текстовой части реферата должна быть следующей: введение, собственно сама текстовая часть (содержание), результаты сравнения основных положений реферируемых источников информации (в случае реферирования двух и более источников), заключения и библиографического списка. Приложение формируется по мере ссылки на него в текстовой части реферата.

Титульный лист

Титульный лист – первая страница реферата, содержащая, прежде всего, основные сведения по документу в целом. Титульный лист включают в общую нумерацию страниц. Номер страницы на титульном листе не проставляют.

Расположение основных сведений на титульном листе не должно быть произвольным и должно соответствовать требованиям ГОСТ 2. 105–95. Основную информацию следует располагать в центральной части титульного листа и выделять размером шрифта основной текстовой части.

К основной информации относится:

– *заглавие* (название темы реферата). Пишется всегда прописными буквами. Слова «тема» или «на тему» не пишутся;

– *сведения об авторе и руководителе*. Указываются фамилии, инициалы имени и отчества студента и его руководителя. Для студента приводится обозначение учебной группы.

Кроме основных сведений на титульном листе располагается следующая дополнительная информация:

– *надзаголовочные данные*. Наименования университета, факультета и кафедры;

– *подзаголовочные данные*. Это сведения, относящиеся к заглавию, уточняющие его, то есть наименование работы «Реферат» и наименование дисциплины «Учебно-исследовательская работа»;

– *город, год написания и сдачи реферата*. Эти данные располагаются в нижней части титульного листа в непосредственной близости нижней части рамки.

Надзаголовочные данные, город и год написания имеют размер шрифта на два пункта меньше, чем шрифт основной текстовой части.

Введение

Введение – это вступительная часть реферата, помещаемая перед основным текстом. *Введение* должно содержать следующие элементы:

– очень краткий анализ практических достижений в той области, которой посвящен реферат;

– общий обзор опубликованных работ, рассматриваемых в реферате;

– цель данной работы;

– принципы, положенные в основу работы.

Объём введения 1–2 страницы при рекомендуемом объёме реферата 10–15 страниц.

Текстовая часть

В ходе работы над рефератом и изучении источников информации, настоятельно рекомендуется выполнять рабочие записи. Например, выполнить выписки и хотя бы часть источников информации законспектировать. Но разные источники не одинаковы и по степени глубины проработки интересуемых вопросов, а также не одинаковы по стилю изложения. Рабочие записи – это только материал, который нужно осмыслить, привести в определённую систему и, что очень важно, правильно изложить. То есть изложить материал в строгой логической последовательности, грамотно и, соблюдая единый стиль.

Логическая последовательность достигается соблюдением обязательных правил. В текст реферата включаются все заголовки, приведённые на странице, следующей сразу за титульным листом. Фактически – это план реферата, но именованный «Содержание».

Язык изложения реферата не должен копировать стиль реферируемых источников, а следует выработать свой собственный стиль, который, по мнению автора, соответствует характеру реферируемого материала.

Грамотность – черта сугубо индивидуальная. Недопустимо написания работы корявым языком, с массой орфографических, синтаксических и стилистических ошибок, да ещё вдобавок грязной, неряшливо оформленной.

Рекомендуемый объём текстовой части реферата – (8–10) страниц при объёме реферата 10–15 страниц.

Результаты сравнения основных положений реферируемых источников информации

(при наличии двух и более источников)

Сравнение основных положений реферируемых источников информации следует, прежде всего, по принципам, положенным в основу работы. То есть тем критериям, которые отражены во введении. Кроме основных принципов можно проводить сравнение основных положений по дополнительным критериям, которые, по мнению автора, являются существенными для углубленного понимания рассматриваемого вопроса. Рекомендуемый объём результатов сравнения основных положений реферата примерно 1 страница при объёме реферата 10–15 страниц.

Заключение

Заключение подводит итог работы. Оно содержит перечень основных выводов, полученных в соответствии с поставленными целями и на основании принципов, положенных в основу работы. Здесь необходимо кратко, но с выверенной логической последовательностью изложить в порядке хода работы промежуточные результаты и выводы. Затем обобщить их и сформулировать окончательный общий вывод по всей работе. Основные выводы в тексте заключения излагаются в форме пронумерованных по пунктам тезисов (основных мыслей), формулировка которых должна быть предельно чёткой, ясной, краткой и логически безупречной. Заключение может содержать предложения по дальнейшей разработке вопроса.

Заключение по объёму всегда должно быть меньше введения. Рекомендуемый объём заключения реферата примерно 1 страница при объёме реферата 10–15 страниц.

Библиографический список

Порядок расположения в списке источников информации изложен в главе «Оформление результатов работ».

Приложение

Приложение формируется исходя из соображений освобождения текстовой части от громоздкой по объёму изложения информации, затеняющей основной текст и вызывающей трудности его восприятия. В Приложении размещают информацию второстепенного характера, например, справочную информацию.

Пример написания учебного реферата

В качестве демонстрационного примера написания учебного реферата, приведённого в **Приложение Б**, представлен реферат на тему «Сравнение эффективности применения систем компьютерной математики Derive и Mathcad в учебном процессе».

2.1.3. Основные этапы работы над учебным рефератом

Работа над рефератом приносит пользу, если имеет место серьёзное отношение к его написанию и соблюдаются все необходимые требования.

В организационном плане написание реферата представляет собой процесс, распределённый во времени и по этапам. Все этапы работы могут быть сгруппированы в три основные: подготовительный, исполнительский и заключительный.

Подготовительный этап включает в себя поиски литературы по определённой теме с использованием различных библиографических источников; выбор литературы в библиотеке; определение круга справочных пособий для последующей работы по теме; использование Интернет-ресурсов.

Исполнительский этап включает в себя чтение книг (других источников) и ведение записей прочитанного материала.

Заключительный этап включает в себя обработку имеющихся материалов, написание реферата и составление списка использованной литературы.

Написание реферата. Начальная часть работы включает в себя: подбор необходимой литературы по теме реферата, изучение рассматриваемого вопроса по различным источникам, составление плана, выписок, а также, при необходимости, тезисов и конспектов. В результате удаётся собрать большой материал. Но это только исходный материал реферата. Первона-

чальная задача данного этапа – систематизация и переработка знаний. Систематизировать полученный материал – значит привести его в определённый порядок, который соответствовал бы намеченному плану реферата.

Переработка знаний может быть репродуктивной (воссоздающей) или продуктивной (творческой).

При репродуктивной переработке на первом плане – соответствие преобразованного материала его исходному содержанию, зафиксированному в первоисточниках, документах, монографиях, статьях, учебниках, текстах лекций и т. п. При ней часть материала воспроизводится точно, буквально, а часть – видоизменено, то есть своими словами. Репродуктивная переработка исходного материала требуется, прежде всего, для подготовки выступлений по отдельным вопросам, например, при сдаче зачётов, экзаменов.

В продуктивной (творческой) переработке главное внимание уделяется новизне содержания, анализу его ценности с учётом уже имеющихся достижений в определённой области знаний. В условиях обучения и выработке навыков приобретения новых знаний, о которых шла речь выше, она требуется при подготовке теоретических докладов, рефератов, курсовых и дипломных работ.

С точки зрения логики реферат есть доказательство или опровержение какой-то главной мысли (тезиса). В общем виде такое доказательство, чаще всего, носит индуктивный или дедуктивный характер.

При индуктивном построении реферата (от частного к общему) сначала называют факты, затем делают из них выводы, а обобщая выводы, приходят к формулировке тезиса, то есть главного положения.

При дедуктивном построении (от общего к частному) поступают наоборот – сначала формулируют тезис (основную идею, мысль), потом приводят факты, его подтверждающие, а затем делают частные выводы.

Выбор того или иного способа построения реферата зависит от многих факторов, начиная от темы и кончая своими привычками и склонностями. Конкретные рекомендации и советы в этом плане даёт преподаватель, под руководством которого пишется реферат.

Приступая к написанию реферата, располагая разнообразным материалом, необходимо принимать во внимание требования к содержанию реферата и критерии его оценки. Обычно рефераты и доклады в рамках учебного процесса оцениваются по следующим основным критериям:

– актуальность содержания, высокий теоретический уровень, глубина и полнота анализа факторов, явлений, проблем, относящихся к теме;
– информационная насыщенность, новизна, оригинальность изложения вопросов;
– простота и доходчивость изложения;
– структурная организованность, логичность, грамматическая правиль-

ность и стилистическая выразительность;

– убедительность, аргументированность, практическая значимость и теоретическая обоснованность предложений и выводов, сделанных в реферате.

2.2. Курсовые работы

2.2.1. Определение и назначение курсовой работы

Следующей по сложности формой учебно-исследовательской работы, основанной на индивидуальной самостоятельной деятельности каждого обучающегося, является курсовая работа (проект).

Курсовая работа – это самостоятельная письменная работа, излагающая достаточно обстоятельно переработку теоретического материала изучаемой дисциплины на конкретной задаче и включающая в себя обязательное применения знаний по ранее изученным дисциплинам.

Курсовая работа выполняется на более высоком, чем реферат, уровне и относится к *основной* форме, а не к вспомогательной форме учебно-исследовательской работы. *Назначение* курсовой работы в учебном процессе заключается не только в выработке навыков и умения приобретать знания по изучаемой дисциплине. Цель ставится шире – освоение приёмов, методов и средств *применения* знаний, ранее полученных при изучении других дисциплин. Курсовая работа носит комплексный характер и строится на освоении большего объёма информации и с помощью более сложных методов.

2.2.2. Структура курсовой работы

Общая структура курсовой работы, как и документа подобного рода, должна соответствовать требованиям нормативной документации [14].

В общем случае курсовая работа, как и реферат, состоит из трёх основных частей: титульного листа, текстовой части и приложений. Внутренняя структура титульного листа определена ГОСТ 2. 105–95. Внутренняя структура текстовой части реферата должна быть следующей: содержание, задание, введение, текстовая часть в соответствии с заданием, заключение и библиографический список. Приложение формируется по мере ссылки на него в текстовой части курсовой работы.

Титульный лист

Титульный лист – первая страница курсовой работы, содержащая,

прежде всего, основные сведения по документу в целом, должна быть такой же, как у реферата. Титульный лист включают в общую нумерацию страниц. Номер страницы на титульном листе не проставляют. Расположение основных сведений на титульном листе не должно быть произвольным и должно соответствовать требованиям ГОСТ 2. 105–95.

Введение

Введение – это вступительная часть курсовой работы, помещаемая перед основным текстом. Введение может быть представлено в курсовой работе и должно содержать следующие элементы:

- цель данной работы;
- принципы, положенные в основу работы.

Объём введения 1–2 страницы при рекомендуемом объёме курсовой работы 30–100 страниц.

Текстовая часть

В ходе работы над курсовой работой и изучении источников информации, рекомендуется выполнять рабочие записи. Например, выполнить выписки и хотя бы часть источников информации законспектировать. Но разные источники не одинаковы и по степени глубины проработки интересуемых вопросов, а также не одинаковы по стилю изложения. Рабочие записи – это только материал, который нужно осмыслить, привести в определённую систему и, что очень важно, правильно изложить. То есть изложить материал в строгой логической последовательности, грамотно и, соблюдая единый стиль.

Логическая последовательность достигается соблюдением обязательных правил. В текст курсовой работы включаются все заголовки, приведённые на странице, следующей сразу за титульным листом. Фактически – это план курсовой работы, но именованный «Содержание».

Грамотность – черта сугубо индивидуальная. Недопустимо написания работы корявым языком, с массой орфографических, синтаксических и стилистических ошибок, да ещё вдобавок грязной, неряшливо оформленной.

Рекомендуемый объём текстовой части курсовой работы в совокупности с Приложением – (25–90) страниц при объёме курсовой работы 30–100 страниц.

Заключение

Заключение подводит итог работы. Оно содержит перечень основных выводов полученных в соответствии с поставленными целями и на осно-

вании принципов, положенных в основу работы. Здесь необходимо кратко, но с выверенной логической последовательностью изложить в порядке хода работы промежуточные результаты и выводы. Затем обобщить их и сформулировать окончательный общий вывод по всей работе. Основные выводы в тексте заключения излагаются в форме пронумерованных по пунктам тезисов (основных мыслей), формулировка которых должна быть предельно чёткой, ясной, краткой и логически безупречной.

Заключение по объёму всегда должно быть меньше введения. Рекомендуемый объём заключения курсовой работы примерно 1 страница при объёме курсовой работы 30–100 страниц.

Библиографический список

Порядок расположения в списке источников информации изложен в главе «Оформление результатов работ».

Приложение

Приложение формируется исходя из соображений освобождения текстовой части от громоздкой по объёму изложения информации затеняющей основной текст и вызывающей трудности его восприятия. В Приложении также размещают информацию второстепенного характера, например, справочную информацию. Если в Приложении нет необходимости, оно может отсутствовать, так как не является обязательной частью дипломной работы.

Пример курсовой работы

В **Приложение В** представлен сокращённый пример курсовой работы на тему «Расчёт тока короткого замыкания в сети низкого напряжения».

Из приложения видно, что для успешного написания курсовой работы необходимо не только освоение изучаемой дисциплины «Электромагнитные переходные процессы в электроэнергетических системах», но и умение применения ранее полученных знаний по следующим нескольким дисциплинам.

Математический анализ – разделы: дифференциальные уравнения, комплексные числа.

Аналитическая геометрия – раздел векторная алгебра.

Физика – раздел электромагнетизм.

Теоретические основы электротехники – методы расчёта электрических цепей: узлового напряжения и его частный случай – метод двух узлов, комплексный метод расчёта синусоидальных цепей. Кроме того, раздел

трёхфазных электрических цепей.

Электрические машины – разделы: трансформаторы и синхронные, асинхронные электродвигатели.

Информатика – системы компьютерной математики.

2.2.2. Основные этапы работы над курсовой работой

Курсовая работа приносит пользу, если имеет место серьёзное отношение к её написанию и соблюдаются все необходимые требования.

Важно не только формально выполнить весь комплекс вычислений, соблюдая график выполнения работы и другие необходимые требования. Следует осознано применять полученные ранее знания, а также досконально понять основы изучаемой дисциплины, что послужит хорошим фундаментом для последующего успешного освоения новых предметов.

В организационном плане написание курсовой работы представляет собой процесс, распределённый во времени и по этапам. Все этапы работы могут быть сгруппированы в три основные: подготовительный, исполнительский и заключительный.

Подготовительный этап включает в себя обеспечение библиографическими источниками информации по изучаемой теме и по вопросам ранее полученных знаний и применяемых в курсовой работе. При этом используется библиотека и Интернет-ресурсы.

Исполнительский этап включает в себя изучение, проработку источников информации и ведение рабочих записей прочитанного материала таких, как план, выписки, а также, при необходимости, тезисов и конспектов. Исходный материал систематизируется. Систематизировать полученный материал – значит привести его в определённый порядок, который соответствовал бы намеченному плану курсовой работы. В соответствии с заданием производят необходимые расчёты.

Заключительный этап включает в себя обработку имеющихся материалов, оформление курсовой работы и составление списка использованной литературы.

2.3. Выпускные квалификационные работы

2.3.1. Определение и назначение дипломной работы

Высшей формой учебно-исследовательской деятельности студента в вузе, которая завершает подготовку специалиста и на основе которой они аттестуются как подготовленные к работе специалисты, является дипломная работа (проект).

Дипломная работа – это самостоятельная письменная работа, демонстрирующая не только способность студента приобретать знания, а, прежде всего, демонстрирующая умение и навыки применения полученных за всё время обучения знаний.

Дипломная работа выполняется на более высоком, чем курсовая работа, уровне и относится к *основной* форме учебно-исследовательской работы. Содержание дипломной работы показывает уровень общетеоретической и профессиональной подготовки студента. Поэтому *назначение* дипломной работы в учебном процессе заключается в демонстрации умения и навыков применения полученных за всё время обучения знаний. В случае необходимости – освоение новых областей знаний. Дипломная работа носит комплексный характер и строится на освоении большего объёма информации и с помощью более сложных методов.

2.3.2. Структура дипломной работы

Общая структура дипломной работы, как документа подобного рода, должна соответствовать требованиям нормативной документации [14].

Подробное содержание дипломной работы должно включать в себя:

- титульный лист;
- задание к дипломной работе;
- реферат;
- содержание (оглавление);
- введение;
- текстовая часть;
- заключение;
- библиографический список;
- приложения.

Титульный лист

Титульный лист – первая страница дипломной работы, содержащая, прежде всего, основные сведения по документу в целом, должна быть такой же, как у реферата или курсовой работы. Титульный лист включают в общую нумерацию страниц. Номер страницы на титульном листе не проставляют. Расположение основных сведений на титульном листе не должно быть произвольным и должно соответствовать требованиям
ГОСТ 2. 105–95.

Задание к дипломной работе

Задание для дипломной работы оформляется на типовом бланке, подписывается дипломником, руководителем и утверждается заведующим кафедрой. Задание включает: тему дипломной работы; срок сдачи законченной работы; исходные данные; перечень подлежащих разработки вопросов; перечень графического материала; консультанты по проекту, если таковые требуются; дата выдачи задания.

Реферат

Реферат (источника информации – диплома) должен содержать:

– сведения об объёме работы (страниц), количестве иллюстраций (рисунков), таблиц, приложений, использованных библиографических источников, графического материала;
– перечень ключевых слов;
– текст реферата.

Перечень ключевых слов характеризует основное содержание дипломной работы и включает от 5 до 15 слов в именительном падеже, написанных через запятую прописными буквами.

Оптимальный объём текста реферата (1500–2000) печатных знаков (примерно 1 страница). Текст реферата должен отражать тему, предмет, характер и цель работы, перечень рассмотренных вопросов и полученные результаты.

Номера страниц на «задании к дипломной работе» и «реферате к дипломной работе» не ставятся. В общую нумерацию страниц включается только «реферат».

Содержание

В содержании последовательно перечисляются заголовки дипломной работы: введение, номера и заголовки разделов, подразделов, заключение, список использованных источников и приложения с указанием номера страницы, на которой помещён каждый заголовок.

Все заголовки разделов в содержании записывают прописными буквами полужирным шрифтом. Заголовки **под**разделов записывают строчными буквами обычным шрифтом.

Последнее слово каждого заголовка соединяют отточием с соответствующим номером страницы, на которой расположен заголовок. Номер страницы проставляют справа арабской цифрой без буквы «с» (сокращение слова страница) и знаков препинания.

Слово «содержание» записывают в виде заголовка (симметрично тексту) прописными буквами полужирным шрифтом.

Введение

Введение – это вступительная часть дипломной работы, помещаемая перед основным текстом. По сравнению с аналогичным разделом курсовой работы введение дипломной работы должно быть написано более обстоятельно. Введение включает в себя обоснование выбора темы, определяемого её актуальностью; формируются проблема и круг вопросов, необходимых для её решения; определяется цель работы и задачи, подлежащие решению для раскрытия темы; указываются объект разработки, используемые методы анализа и литературные источники.

Объём введения порядка трёх страниц при рекомендуемом объёме дипломной работы не менее 120 страниц печатного текста.

Текстовая часть

В ходе работы над дипломной работой и изучении источников информации рекомендуется выполнять рабочие записи. Например, выполнить выписки и хотя бы часть источников информации законспектировать.
Но разные источники не одинаковы и по степени глубины проработки интересуемых вопросов, а также не одинаковы по стилю изложения. Рабочие записи – это только материал, который нужно осмыслить, привести в определённую систему и, что очень важно, правильно изложить. То есть изложить материал в строгой логической последовательности, грамотно и, соблюдая единый стиль.

Логическая последовательность достигается соблюдением обязательных правил. В текст дипломной работы включаются все заголовки, приведённые на странице, следующей сразу за титульным листом. Фактически – это план дипломной работы, но именованный «Содержание».

Грамотность – черта сугубо индивидуальная. Недопустимо написания работы корявым языком, с массой орфографических, синтаксических и стилистических ошибок, да ещё вдобавок грязной, неряшливо оформленной.

Рекомендуемый объём текстовой части дипломной работы в совокупности с Приложением не менее 90 % страниц при объёме дипломной работы не менее 120 страниц.

Заключение

Заключение подводит итог работы. Заключение очень важная её часть, поскольку именно заключение содержит общие выводы, сделанные студентом по результатам проведённой работы. Оно содержит перечень основных выводов полученных в соответствии с поставленными целями и на основании принципов, положенных в основу работы. Здесь необходимо кратко, но с выверенной логической последовательностью изложить в по-

рядке хода работы промежуточные результаты и выводы. Затем обобщить их и сформулировать окончательный общий вывод по всей работе. Наконец, показать его в контексте складывающихся перспектив и дальнейшей разработке представленной тематики. Основные выводы в тексте заключения излагаются в форме *пронумерованных* по пунктам тезисов (основных мыслей), формулировка которых должна быть предельно чёткой, ясной, краткой и логически безупречной.

Заключение по объёму всегда должно быть меньше введения. Рекомендуемый объём заключения дипломной работы примерно 1–2 страницы при объёме дипломной работы не менее 120 страниц.

Библиографический список

Порядок расположения в списке источников информации изложен в главе «Оформление результатов работ».

Приложения

Приложение формируется исходя из соображений освобождения текстовой части от громоздкой по объёму изложения информации, затеняющей основной текст и вызывающей трудности его восприятия. В Приложении также размещают информацию второстепенного характера, например, справочную информацию. Если в Приложении нет необходимости, оно может отсутствовать, так как не является обязательной частью дипломной работы.

2.3.3. Основные этапы работы над дипломной работой

Дипломная работа приносит пользу, если имеет место серьёзное отношение к её написанию и соблюдаются все необходимые требования. Важно не только формально выполнить весь комплекс вычислений, соблюдая график выполнения работы и другие необходимые требования. Следует осознано, а не механически применять полученные за время учёбы знания.

В организационном плане написание дипломной работы представляет собой процесс, распределённый во времени и по этапам. Все этапы работы могут быть сгруппированы в четыре основные: выбор темы, подготовительный, исполнительский и заключительный.

Выбор темы

Тема – наиболее компактная форма выражения содержания всей работы, отражающая её сущность.

Выбор темы является ответственным этапом подготовки дипломной работы. От её правильного выбора в значительной степени зависит успешность защиты.

Следует иметь в виду, что темы делятся на две большие группы – типовые и нетиповые дипломные работы.

Тематика типовых дипломных работ разрабатывается кафедрой и предполагает написание либо стандартной работы среднего уровня без особых затрат времени и сил, либо откровенно несложных, браться за которые могут студенты, нацеленные не на учёбу, а на получение диплома с минимумом усилий.

Нетиповые дипломные работы требуют очень серьезной и глубокой работы на базе уже имеющейся основательной общей теоретической подготовки по своей специальности, приобретённой за время учёбы.

При всём при этом оценка работы, написанной на тему любой из перечисленных категорий, осуществляется по одной и той же пятибалльной шкале. Нераскрытую работу по трудоёмкой теме в лучшем случае оценят на «хорошо», а блестящую, но менее трудоёмкую тему оценят на «отлично».

Итак, при выборе темы дипломной работы целесообразно руководствоваться следующими практическими положениями:

1. Чтобы правильно выбрать тему, необходимо хорошо понять, какая тема является посильной и желанной, а для этого необходимо верно оценить свои силы и возможности.

Если студент хорошо знает, чего он хочет, достаточно теоретически подготовлен и уверен в своих силах. Если интересует какая-то конкретная проблема и имеется желание попробовать свои силы в её исследовании, то в таком случае ясно, какую тему выбрать: её диктует конкретный интерес. Поэтому такие студенты могут браться за типовые и нетиповые дипломные работы по своему выбору.

Если сформировались определённые интеллектуальные амбиции и нет определённости с тем, что в будущей специальности интересно, то можно взяться за ту тему, которую советуют товарищи или руководитель. Самоутверждение их волнует гораздо больше, нежели тема как таковая. Поэтому, не смотря на советы, необходимо осторожно отнестись к возможному выбору нетиповой дипломной работы. Таким же рекомендациям необходимо следовать студентам, мечтающим посвятить себя служению науке. Необходимо помнить – мечты могут стать реальностью лишь при достаточной теоретической подготовке и наличие навыков исследовательской работы.

Если не ставится цель дальнейшего обучения, профессионального роста или отсутствует возможность уделять достаточно времени из-за необходимости одновременно с учебой подрабатывать, то в целях минимизации усилий по написанию работы выбирается такая типовая тема, которая

потребует минимума усилий на расчётную часть, эксперимент и оформление результатов работы.

2. Не следует браться за навязываемую извне тему, когда к ней, что называется, не лежит душа. В большинстве случаев хорошо получается только та работа, которая является желанной или на худой случай не испытывается отвращение.

3. Темы более общего плана проще для написания, чем узкоспециализированные. Такие темы, как правило, легче даются студентам с широким общим кругозором и хорошей культурой письменной речи. Если такие качества отсутствуют, следует взяться за узкую тему и детально её разработать.

4. Если выбор темы диктуется не просто интересом и желанием, а ограничен стремлением работать с конкретным преподавателем и на определённой кафедре. От руководителя многое зависит. Часто бывает, что выбрать руководителя важнее, чем тему. И если приходится выбирать тему не просто, а «в комплекте» с руководителем, лучше, чтобы приоритетным был выбор руководителя, пусть даже это приведёт к некоторой корректировке темы. Выбирая руководителя, следует помнить, что здесь важно всё: и психологическая совместимость, и его профессиональная, и научная компетентность, и готовность тратить на вас время и силы. Существуют руководители, главный принцип которых заключается в том, чтобы «не мешать» студенту методом проб и ошибок раскрыть тему. С точки зрения творчества это очень продуктивная позиция, но не всякому студенту она подойдёт. Малоинициативный, но добросовестный и исполнительный студент будет чувствовать, что ему чего-то недостаёт.

Другой способ руководства заключается в усиленной опеке студента, заботливом снабжении его информацией и частых встречах для консультаций. Это оптимальный вариант руководителя для всех студентов, кроме тех, кто хочет и может идти своим путём уже в студенческие годы. С таким руководителем возможно осилить любую тему. Очень важно, чтобы совместимость в части методов достижения цели совпадала. Если, к примеру, руководитель предпочитает старые проверенные решения, классические формулировки, а студент по своему складу склонен к нестандартным решениям, то совместная деятельность, скорее всего, кончится «разводом». Поэтому студент при выборе руководителя должен понять, какой тип руководителя нужен именно ему, и соответственно иметь с ним дело.

5. Нетиповая тема должна полностью определять всё содержание и строение работы. Как правило, в процессе написания выявляются новые особенности рассматриваемого вопроса. Порой возникают довольно продуктивные отвлечения от основной темы, а сама формулировка темы часто конкретизируется и немного меняется. Лучше подкорректировать тему под уже написанный текст, чем переписывать текст до тех пор, пока он, нако-

нец, идеально совпадёт с утверждённой темой. Поэтому формулировка темы должна допускать возможность корректировки.

Дальнейшие этапы работы

Подготовительный этап включает в себя обеспечение библиографическими источниками информации по изучаемой теме и по вопросам ранее полученных знаний и применяемых в дипломной работе. При этом используется библиотека, Интернет-ресурсы и информация, представляемая преподавателем.

Исполнительский этап включает в себя изучение, проработку источников информации и ведение рабочих записей прочитанного материала таких, как план, выписки, а также, при необходимости, тезисов и конспектов. Исходный материал систематизируется по отдельным разделам дипломной работы. Систематизировать полученный материал – значит привести его в определённый порядок, который соответствовал бы намеченному плану дипломной работы. В соответствии с заданием производят необходимые расчёты.

Заключительный этап включает в себя обработку имеющихся материалов, изложение результатов исследования, формулирование выводов, внесение исправлений, литературная обработка рукописи и оформление дипломной работы.

2.4. Методы работы с источниками

Полное прочтение книги с первой до последней страницы занимает много времени, и под конец работы с ней детали и подробности забываются. Следовательно, нужно не только читать, но и письменно фиксировать основные идеи и вообще всё ценное в содержании книги. А для этого необходимо овладеть начальными навыками работы с текстом, которые могут приобретать следующие основные формы: составление плана, конспектирование, выписки и тезисы

2.4.1. План

План – первооснова, каркас работы, определяющий *последовательность* изложения материала.

План является наиболее краткой и поэтому самой доступной и распространённой формой рабочих записей содержания исходного источника информации. План представляет собой перечень основных вопросов, рассматриваемых в источнике. План может быть *простым* и *развёрнутым*.

Отличие состоит в степени детализации содержания и, соответственно, в объёме представляемого материала.

Простой план состоит из общих заголовков, относящихся к крупным частям текста.

Развернутый план включает в себя не только общие заголовки, но более детальные логические членения изучаемого материала. Например, в виде подразделов и пунктов. Сразу составить правильно сложный план затруднительно. Рекомендуется начинать с составления простого плана, а затем его совершенствовать, обогащая схему изложения в деталях. Можно вначале составить подробный простой план, а затем продумать соотношение пунктов и превратить его в сложный.

Преимущество плана перед другими рабочими записями состоит в следующем:

– оперативности и глубине проникновения в сущность построения источника информации и, следовательно, более простом ориентировании в его содержании;

– обеспечении наилучшим образом раскрытия логики мысли автора, упрощении понимания главных моментов источника;

– возможности быстрее обычного вспомнить прочитанное при последующем возвращении к нему;

– удобстве нахождения в источнике нужных мест, фактов, цитат.

2.4.2. Конспектирование

Конспект – краткая запись содержания *всего* исходного текста, приспособленная к задачам учебно-исследовательской работы.

Конспект включает в себя заимствования наиболее примечательных мест в сочетании с планом источника, а также сжатый анализ записанного материала и выводы по нему.

Используют три типа конспектов: *плановый*, *текстуальный* и *тематический*.

Плановый конспект выполняется на основе заранее составленного плана из интересующих вопросов и затем кратко своими словами излагается то, что сообщает по этому поводу источник информации. В него попадает не всё содержание книги, а только то, что необходимо для написания работы. Всю книгу при этом можно не читать, а лишь выбирать в ней нужные для конспектирования места. Это помогает сэкономить время.

Текстуальный тип конспекта полностью состоит из цитат[2] одного источника, то есть не пересказывается своими словами текст источника. Просто заносятся в тетрадь интересующие мысли автора его же словами.

[2] Цитата – краткое высказывание автора. Цитата полностью воспроизводится с целью доказательства какой-либо его мысли или утверждения

Этот способ удобен тем, что впоследствии при написании самой работы все необходимые прямые цитаты будут под рукой.

Тематический конспект концентрирует в себе материал по одной теме нескольких источников. В этом смысле тематический конспект имеет сходство с рефератом, отличаясь от последнего меньшей степенью структурированности записей. Материал излагается в последовательности, наилучшим образом позволяющей раскрыть содержание темы. Составление тематического конспекта – весьма серьезная творческая работа. Ей должно предшествовать изучение всей подобранной для раскрытия данной темы литературы. Такие конспекты обычно составляются для более глубокого изучения той или иной проблемы при подготовке к написанию более серьезной письменной работы.

2.4.3. Выписки

Выписки – *небольшие* фрагменты текста, приспособленные к задаче учебно-исследовательской работы.

Выписки – это дословные и близкие к дословным записи об излагаемых в источнике информации фактах, когда из всего текста выбирается только то, что относится к изучаемой теме или косвенно с ней связано. Они записываются в форме отдельных, не связанных друг с другом единой логикой записей. Это наиболее простая и несамодостаточная форма работы с текстом. Достоинство выписок:

– имеют свойство постепенно накапливаться в виде «полуфабриката», который может быть впоследствии не раз использован при создании других письменных работ по сходной тематике;

– отлично сочетаются в работе с другими записями.

2.4.4. Тезисы

Тезисы – краткие формулировки *основных* положений содержания источника информации.

Отличие тезисов от обычных выписок состоит в следующем:

– тезисы формулируют все *основные* положения источника информации, выписки формулируют любое положение (основное или второстепенное) лишь бы оно было бы приспособлено к задаче учебно-исследовательской работы;

– тезисам присуща значительно более высокая степень концентрации материала;

– в тезисах отмечается преобладание выводов над общими рассуждениями.

Тезисы подразделяются на основные, простые и сложные.

Основные тезисы представляют собой конечный результат, представленный в оригинальном тексте. Это чёткое, лаконичное изложение в пронумерованных пунктах главных идей, содержащихся в источнике информации, с небольшим добавлением обобщений.

Простые тезисы – почти дословный перечень главных (для каждой из частей оригинального текста и для всего текста в целом) мыслей автора. Эти тезисы отличаются сравнительной краткостью и прямотой изложения. Основное предназначение простых тезисов – облегчить понимание сути оригинального текста, а при последующей переработке простых и сложных тезисов – получение основных тезисов.

Сложные тезисы (другое название – развёрнутые) представляют собой более подробные формулировки тех же идей, которые отражены простыми тезисами.

2.4.5. Организация базы данных

Важно не только тщательно обработать материал, почерпнутый из источников, но и правильно организовать его хранение. Удобнее всего хранить создавшуюся базу данных в форме картотеки – специально организованной системы файлов. Разместить их нужно как в предметном каталоге – по рубрикам. В наименовании к файлу указывается тема, а в самом файле – фамилия автора, название книги, выходные данные, номера использованных страниц. База данных должна быть систематизирована и сохраняться в полном порядке, иначе теряет смысл её хранения. Хорошая организация базы данных и порядок в ней позволяют легко пользоваться в работе над собственным текстом, при оформлении библиографических ссылок и списка литературы.

2.5. Общий подход к решению нетиповых задач

Кроме таких форм учебно-исследовательской работы, как реферативные, курсовые и дипломные работы, могут быть предусмотрены учебным процессом нетиповые формы. Например, специально предлагаемые для решения нетиповые задачи, где студенту необходимо отрабатывать навыки применения полученных знаний для их решения.

Общим подходом плодотворного аналитического решения задач является подход *системного* характера. Системный подход к решению задач – это объективно существующая завершённая целостность последовательно выполняемых этапов решения задачи, необходимая для:

- ясного понимания технологии решения (пооперационных действий);
- достижения поставленной цели.

Такой системой может служить следующий перечень этапов:

1. Постановка задачи и необходимые исходные данные.

2. Выбор *общего* метода решения поставленной задачи.

3. Выбор *частного* метода решения поставленной задачи.

4. Доскональное понимание сути частного метода решения поставленной задачи.

5. Изучение исследуемого процесса на *качественном* уровне во всех деталях. Использование всей доступной и достоверной информации, а также личного опыта.

6. Принятие допущений с целью получения адекватной и простой математической модели исследуемого процесса.

7. Получение математической модели исследуемого процесса.

8. Преобразование полученной математической модели исследуемого процесса к удобной для последующего анализа форме, если это возможно.

9. Решение математической модели. Желательно использование систем компьютерной математики.

10. Проверка полученного решения каким-либо способом, например, путём сопоставления с другими моделями аналогичных процессов. Наиболее убедительной проверкой адекватности модели является сравнение результатов моделирования с экспериментом.

11. Анализ полученных решений.

12. Выводы и рекомендации в части практического применения.

Следует подчеркнуть, что оптимальное решение задачи возможно при условии выполнения ***всех*** этапов, начиная с 1-го по 12-й этапы включительно. Особо следует подчеркнуть важность 4-го этапа – доскональное понимание частного метода решения поставленной задачи и 5-го этапа – изучение исследуемого процесса на качественном уровне. Пренебрежение этими этапами приводит в лучшем случае к нерациональному решению задачи, а в худшем случае к неверному результату.

ГЛАВА 3. ОФОРМЛЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ РАБОТЫ

3.1. Общие положения

Реферат, курсовая и дипломная работа или проект должны представляться в сброшюрованном виде либо в твёрдых обложках или папках согласно требованиям кафедры. Текст работ должны соответствовать требованиям ГОСТ 2.105–95. Кроме того, при написании данной главы использовались Правила оформления рукописей для издания в УлГТУ [13].

Текст работ печатается на одной стороне писчей бумаги белого цвета формата А4 (210×297 мм) с максимальном количеством строк на странице – 42±3. Межстрочный интервал –1.

Размер шрифта (кегль) основного текста – 14 пунктов, дополнительного – 12 пт. К дополнительному тексту относят:

- нумерационный заголовок (Таблица 4.1);
- название таблицы;
- текстовую часть таблицы;
- примеры;
- примечания;
- расшифровку рисунка, который поясняет его.

Для набора формул следует использовать размеры шрифтов:

- основной – кг. 14;
- крупный индекс – кг. 9;
- мелкий индекс – кг. 7;
- крупный символ – кг. 18;
- мелкий символ – кг. 14.

При наборе рекомендуется использовать основные системные гарнитуры шрифтов: Arial или Times New Roman.

Текст набирается с соблюдением следующих правил:

Не допускается автонумерация в главах и абзацах (всё набирается вручную); два и более пробела между символами.

При наборе должны различаться тире и дефисы; используются кавычки «ёлочки», а не "лапки";

Между инициалами и после них (перед фамилией) ставится неразрывный пробел.

Правила сокращений слов и словосочетаний устанавливаются ГОСТ Р 7.0.12–2011. Библиографическая запись. Сокращение слов и словосочетаний на русском языке. Общие требования и правила.

Допускается сокращать:

- т. е. – то есть;
- и т. д. – и так далее;

- и т. п. – и тому подобное (после перечисления);
- и др. – и другие;
- и пр. – и прочие;
- см. – смотри (при повторной ссылке);
- напр. – например;
- в., вв., гг. – при датах;
- г., д., обл., с. – при географических названиях;
- г-жа, г-н, т. – при фамилии и названиях;
- гл., п., подп., разд., рис., с., см., ср., табл. – при ссылках;
- млн, млрд, тыс., экз. – при числах в цифровой форме;
- гр. – гражданин.

Не допускаются сокращения:

т. о. – таким образом; т. н. – так называемый; т. к. – так как.

Не допускается применять индексы стандартов (т. е ГОСТ), технических условий (т. е. ТУ) и других нормативных и технических документов без регистрационного номера. Не допускается отрывать индексы стандартов от цифровой формы значения этих величин, т. е. нельзя переносить на следующую строку.

В специальной литературе допускается употребление без расшифровки только сокращений, понятных читателю: ЭДС, КПД, ЭВМ и т. п. Другие сокращения должны быть расшифрованы при первом упоминании в тексте или приводиться в отдельном списке условных сокращений.

Форма сокращений по всей работе должна быть одинакова.

Рекомендуется устанавливать следующие размеры полей:

левое = правому = верхнему = 2 см; нижнее = 2,5 см,

при нумерации страниц внизу.

Расположение номеров страниц внизу и по центру.

В одной строке должно быть 60±2 знака (пробел – один знак).

3.1. Физические величины

С 1 января 1980 года во всех видах работ следует применять только единицы физических величин СИ (Международной системы единиц).

Наименования, обозначения и правила применения физических величин должны соответствовать ГОСТ 8.417–2002 «ГСИ. Единицы величин».

В работе для каждой физической величины применяется одно (основное) условное буквенное обозначение. При большом количестве физических величин можно использовать запасные обозначения. В работе нельзя применять одни и те же буквы для условного обозначения разных величин или разные буквы – для обозначения одной и той же величины.

Приоритет применения основных условных обозначений физических величин в следующем порядке – латинский алфавит, греческий и русский алфавит.

Русские наименования единиц физических величин набирают строчными буквами прямым шрифтом (100 м), а единиц, названных в честь ученых, – прямым с прописной буквы, если наименование этой единицы указывается при цифре, т. е. в сокращенной форме (1 Вт); без цифрового значения все единицы следует писать полностью и со строчной буквы (несколько ватт).

Единицы, образующие произведение, соединяются дефисом. Соединение при помощи гласных «о» и «е» не допускается: киловатт-час, а не киловаттчас.

Единицы, представляющие собой дробь, пишутся с предлогом «на»: джоуль на килограмм, а зависимости от времени – с предлогом «в»: километр в час.

При необходимости образования кратных и дольных единиц используются приставки, пишущиеся слитно с исходной единицей, например, килоампер. Обозначения приставок пишутся со строчной или прописной буквы в зависимости от правила написания приставки:

мОм; кОм; МОм; кА; кВ; МВт.

Между последней цифрой числа и обозначением единицы следует оставлять неразрывный пробел, в том числе перед °С и %:

10 мОм; 200 кОм; 500 МОм; 5 кА; 1 МВт; 35кВ; 20 °С; 10 %.

Точка в конце сокращенных обозначений единиц не ставится, за исключением сокращения слов, не являющихся самостоятельными единицами:

80 тыс. руб.; 10 руб./(год. км).

Обозначение физических величин нельзя отрывать от цифровой формы значения этих величин, то есть нельзя переносить на следующую строку.

Числовые значения с допуском или с предельными отклонениями при сочетании с обозначением единицы физической величины требуется заключить в скобки либо обозначение единицы поставить и после числового значения и после допуска или предельного отклонения:

(10±0,1) кВ; 10 м ± 0,1 м.

При записи допускаемых отклонений у последней значащей цифры и числа, и отклонения должен быть одинаковый разряд:

17,0±0,2; 12,13±0,70.

При интервале и перечне числовых значений одной физической величины обозначение единицы физической величины ставят только после завершающей цифры:

от 50 до 100 м; 50–100 м; значение напряжения 5, 10, 15 кВ.

Не допускается размещение обозначений единиц физических величин в одной строке с формулами, выражающими зависимости между величинами, или между числовыми значениями, представленными в буквенной форме.

Разрешается ставить обозначения единиц в пояснениях величин к формулам

$$U = 25 \cdot IR,$$

где U – напряжение, кВ; I – ток, кА; R – сопротивление, Ом.

Буквенные обозначения единиц, входящих в произведение, рекомендуется отделять точками на средней линии, как знаками умножения:

кВ·А; Ом·м; $А^2$·с.

В буквенных обозначениях отношений единиц в качестве знака деления должна применяться только одна черта: косая или горизонтальная. При перенесении косой черты в знаменателе обозначения единиц заключаются в скобки:

руб./год; кг/$см^2$; Вт·ч/°С; $А^2$·с/$мм^2$; Н/(м·$мм^2$).

Согласно принципу единообразия единица физической величины одного и того же параметра в пределах всей работы должна быть постоянной.

ФОРМУЛЫ

Набор математических формул должен быть во всей работе единообразным по применению шрифтов и знаков, способу выключки формул, набранных отдельными строками (в красную строку, в левый край, с заданным отступом от левого края), по применению индексов, линеек.

Формулы, состоящие из одного символа (I, U, R) или символа с одним регистром ($I_{ном}$, $U_б$, $R_{доб}$), набираются в программе набора. Сложные формулы, состоящие из символов с несколькими регистрами, например

$$i = \frac{U_{\max}}{Z_{\Sigma К}} \sin(\omega t + \alpha - \varphi_K) + \sin(\alpha - \varphi_K) e^{-\frac{t}{T_а}},$$

набираются в Microsoft Equation или Math Type. Не допускается замена латинских и греческих букв сходными по начертанию русскими, а также знаки умножения (×) буквой **х**.

Числа и дроби в формулах должны быть набраны прямым шрифтом. Также прямым шрифтом набирают и латинские обозначения функций, общие значения величин (sin, tg, log, max, min, const и т. д.).

Знаки математических действий и относительные значения величин (+, –, ×, /, =, % и т. д.) отбиваются от смежных символов и чисел (фиксированный пробел). Знаки положительности или отрицательности значения величин набираются слитно с последующим числом.

Перенос в формулах допускается делать:

– в *первую* очередь на знаках соотношений (=, ≈, <, > и др.);
– во *вторую* очередь – на отточии (**...**), на знаках сложения и вычитания (+, –);
– в *последнюю* очередь – на знаке умножения в виде косого креста (×)

$$\mathbf{1})\quad i = \frac{U_{\max}}{Z_{\Sigma\mathrm{K}}}\sin(\omega t + \alpha - \varphi_{\mathrm{K}}) + \sin(\alpha - \varphi_{\mathrm{K}})e^{-\frac{t}{T_{\mathrm{a}}}} =$$

$$= \frac{230}{10}\sin\left(\omega t + \frac{\pi}{2} - \varphi_{\mathrm{K}}\right) + \sin\left(\frac{\pi}{2} - \varphi_{\mathrm{K}}\right)e^{-\frac{t}{0{,}01}};$$

$$\mathbf{2})\quad i = \frac{U_{\max}}{Z_{\Sigma\mathrm{K}}}\sin(\omega t + \alpha - \varphi_{\mathrm{K}}) +$$

$$+ \sin(\alpha - \varphi_K)e^{-\frac{t}{T_{\mathrm{a}}}};$$

$$\mathbf{3})\quad i = \frac{U_{\max}}{Z_{\Sigma\mathrm{K}}}\sin(\omega t + \alpha - \varphi_K) + \sin(\alpha - \varphi_K) \times$$

$$\times e^{-\frac{t}{T_{\mathrm{a}}}}.$$

Перенос на знаке деления не допускается.

Математический знак, на котором разрывается формула при переносе, обязательно должен быть повторен в начале второй строки.

При переносе формул нельзя отделять индексы и показатели степени от символов, к которым они относятся. Нельзя также отделять выражения, содержащиеся под знаком интеграла, логарифма, суммы, произведения, от самих знаков.

Небольшие формулы, не имеющие самостоятельного значения, набираются внутри строк текста. Наиболее важные формулы, все нумерованные формулы, а также длинные и громоздкие формулы, содержащие знаки суммирования, произведения и т. п., набирают отдельными строками. Нумеровать следует наиболее важные формулы, на которые приводятся ссылки в последующем тексте.

Следует знать и правила пунктуации в тексте с формулами. Формулы включаются в предложение как его равноправный элемент. Поэтому в конце формулы и в тексте перед ними знаки препинания ставят в соответствии с правилами пунктуации.

В зависимости от объёма издания и его структуры используется *сквозная* и *индексационная* нумерация формул, таблиц, рисунков.

Индексационная нумерация применяется, как правило, при делении текста на главы и параграфы. В каждой работе следует соблюдать принцип единообразия, т. е. использовать одинаковую нумерацию для всех рядов данного издания рубрик, иллюстраций, таблиц, формул. В малообъёмных работах обычно применяется сквозная нумерация.

В индексационном номере сначала арабскими цифрами указывается номер главы (раздела), затем (после точки) порядковый номер формулы в данной главе. Номер формул заключается в круглые скобки и выравнивается по правому краю. Номер, не умещающийся в строке формулы, рас-

полагают в следующей строке ниже формул. Место номера при переносе формулы – на уровне последней строки. Несколько небольших формул, составляющих единую группу, помещают в одну строку и объединяют одним номером. Для нумерации группы формул, расположенных отдельными строками, справа от этой группы ставят фигурные скобки, охватывающие по высоте все формулы. При отсутствии парантеза номер также помещают напротив середины группы формул. Если формула представляет собой дробь, номер набирается на уровне горизонтальной делительной черты. Разновидности приведённой ранее основной формулы допускается нумеровать той же арабской цифрой и прямой строчной буквой русского алфавита, набираемой слитно с цифрой: (17а), (17б).

Промежуточные формулы, не имеющие самостоятельного значения и приводимые лишь для вывода основных формул, нумеруются строчными буквами русского алфавита: (а), (б) и т. д.

Формулы, следующие одна за другой и не разделённые текстом, отделяют запятой или точкой с запятой. Указанные знаки препинания помещают непосредственно за формулами до их номера. Знаки препинания между формулами при парантезе ставят внутри парантеза. Двоеточие перед формулами ставят:

– после обобщающего слова;
– если этого требует построение текста.

Последовательность расшифровки буквенных обозначений (экспликации) должна соответствовать последовательности расположения этих обозначений в формуле. После формулы перед экспликацией ставят запятую, затем с новой строки без отступа от левого края набирается слово «где» (без двоеточия).

За ним следует обозначение первой величины, после тире – её расшифровка и далее через запятую единица измерения. Все элементы располагаются в строку. В конце каждого элемента расшифровки ставят точку с запятой, а в конце последнего – точку.

Если правая часть формулы является дробью, то сначала поясняют обозначения величин, помещенных в числителе, в том же порядке, что и в формуле, а затем – в знаменателе. Элементы экспликации рекомендуется располагать в подбор (подряд).

$$i = \frac{U_{\max}}{Z_{\Sigma\mathrm{K}}}\sin(\omega t + \alpha - \varphi_K) + \sin(\alpha - \varphi_K)e^{-\frac{t}{T_{\mathrm{a}}}};$$

$$Z_{\Sigma\mathrm{K}} = \sqrt{R_{\Sigma\mathrm{K}}^2 + X_{\Sigma\mathrm{K}}^2}\,,$$

где i – мгновенное значение тока;

$U_{\max}$ – действующее значение среднего номинального напряжения;

$Z_{\mathrm{K}\Sigma}$ – модуль (полное) сопротивления электрической цепи;

ω – угловая частота;

t – текущее время;

α – начальная фаза напряжения в момент времени $t = 0$;

$\varphi_{\text{К}}$ – угол сдвига между током и напряжением электрической цепи;

$T_{\text{а}} = X_{\text{К}\Sigma}/(\omega \cdot R_{\text{К}\Sigma})$ – постоянная времени электрической цепи;

$X_{\text{К}\Sigma}$ – суммарное индуктивное сопротивление электрической цепи;

$R_{\text{К}\Sigma}$ – суммарное активное сопротивление электрической цепи.

В формулах допускается использовать все виды скобок – круглые, квадратные и фигурные. Высота скобок должна быть достаточной, чтобы охватывать находящееся в них выражение.

Знак корня должен охватывать все элементы подкоренного выражения. При написании многострочных дробей основная линия должна быть длиннее линий других дробей, входящих в данную формулу.

$$i = \begin{cases} 0 & \textit{при } t \leq 0; \\ \dfrac{U_{\max}}{Z_{\Sigma\text{К}}} \sin(\omega t + \alpha - \varphi_K) & \textit{при } 0 < t \leq 6\pi; \\ \dfrac{U_{\max}}{Z_{\Sigma\text{К}}} \sin(\omega t + \alpha - \varphi_K) + \sin(\alpha - \varphi_K) e^{-\frac{t}{T_{\text{а}}}} & \textit{при } 6\pi < t. \end{cases} \quad (3.2)$$

Основным знаком умножения является *точка* на средней линии. Она ставится:

а) между числовыми сомножителями:

$$10 \cdot 55;$$

б) для выделения какого-либо сомножителя:

$$3 \cdot 6xy \cdot z;$$

в) для записи скалярного произведения векторов:

$$\text{a} \cdot \text{c};$$

г) между аргументом тригонометрической функции и буквенным обозначением:

$$a \cos x \cdot c \sin y;$$

д) между знаком радикала и сомножителем:

$$\sqrt{y} \cdot a \sin x.$$

Точка как знак умножения не ставится:

а) между числом и буквенными символами: $5ab$;

б) перед скобками и после них:

$$(b + c)(a - f).$$

Косой крест «×» в качестве знака умножения ставят:

а) при указании размеров:

$$40 \times 4 \text{ мм}^2;$$

б) при записи векторного произведения:

$$\text{a} \times \text{b};$$

в) при переносе формулы на знаке умножения:

$$\text{y} = (x + 4) \times$$
$$\times (x + 7)^2.$$

Многоточие применяется при пропуске членов в ряду суммирования, вычитания или равенства. При этом знаки операции ставятся и перед многоточием, и после него:

$$f(x_1, x_2, \dots, x_n) = a_0 + a_1x_1 + \dots + a_nx_n.$$

РУБРИКАЦИЯ И ССЫЛКИ НА РУБРИКИ

Рубрикация должна отражать структуру работы. Чем больше объём работы и чем сложнее её структура, тем больше, как правило, уровней рубрик.

В учебных отчётах и пояснительных записках рекомендуется применять *индексационную* рубрикацию для рубрик всех степеней. Желательно, чтобы число номеров в индексе не превышало трёх.

Заголовки 1-й ступени (основные) выполняются прописными буквами полужирного или светлого начертания

ГЛАВА 1. СОДЕРЖАНИЕ И НАЗНАЧЕНИЕ УЧЕБНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ РАБОТЫ СТУДЕНТОВ

Заголовки 2-й и 3-й ступеней – строчными буквами полужирного или светлого начертания. Причём полужирное начертание предпочтительней светлого; прописные буквы – предпочтительней строчных букв.

1.1. Назначение учебно-исследовательской работы студентов

или иначе

1.1. Назначение учебно-исследовательской работы студентов

Шрифтовые выделения помогают определить смысловую соподчинённость рубрик при отсутствии *индексационной* рубрикации в небольших по объёму изданиях, в которых присутствуют заголовки только одной или двух ступеней и нет ссылок на рубрики в тексте. Индексационная рубрикация удобна именно для ссылок на рубрики в тексте.

Компьютерная подготовка работы позволяет сделать различные выделения в тексте (смысловые, логические, справочные, структурные). При этом по всей работе необходимо выдерживать единую систему выделений одинаковых смысловых структур (внутритекстовые рубрики, логические усилении справочно-терминологические выделения и т. п.).

В *рубрикационных* заголовках, вынесенных отдельной строкой, точка не ставится (если заголовок состоит из нескольких предложений, то точка не ставится в конце последнего). Не допускаются переносы в словах, а также отрыв предлога или союза от относящегося к нему слова. Если заголовок состоит из двух предложений, их разделяют точкой. Рекомендуется смысловое деление заголовка.

Текст работы делится на разделы, которые нумеруются арабскими цифрами. После номера раздела ставят точку.

Тексты разделов делят на подразделы, которые нумеруют в пределах каждого раздела двумя арабскими цифрами, разделёнными точкой. Первая цифра – номер раздела, вторая цифра – номер подраздела. В конце номера подраздела ставят точку: «3.5.» (пятый подраздел третьего раздела).

При необходимости подразделы делят на пункты. Пункты – на подпункты. Номер пункта состоит из номера раздела, подраздела и пункта, разделённых точками. Например, «2.1.3.». Аналогично нумеруются подпункты («2.1.3.3.»).

Обязательные структурные элементы работы:

СОДЕРЖАНИЕ, ОГЛАВЛЕНИЕ, ВВЕДЕНИЕ, ПРЕДИСЛОВИЕ, ЗАКЛЮЧЕНИЕ, БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК, ПРИЛОЖЕНИЯ,

не нумеруются.

После заголовков подразделов следует стремиться, чтобы дальнейший текст работы в конце страницы был не менее 3–4 строчек. Размещение заголовка раздела в конце страницы не допускается.

ТАБЛИЦЫ

Цифровой материал, как правило, оформляют в виде таблиц.

Основные требования к содержанию и оформлению таблиц – существенность, полнота показателей, характеризующих процесс, предмет или явление, чёткость и ясность представления, экономичность, единообразие.

Ширина таблицы не должна быть больше полосы набора текста.

Заголовок таблицы должен отражать её содержание, быть точным, кратким. Заголовок следует помещать над таблицей без точки в конце.

Размещать таблицу следует после первой ссылки на неё в тексте, но не далее следующей страницы, причём так, чтобы *она читалась без поворота листа или с поворотом по часовой стрелке*. Ссылка должна органически входить в текст, а не выделяться в самостоятельную фразу, повторяющую тематический заголовок таблицы (табл. 1.1).

Таблицы нумеруются двумя числами, например,

Таблица 1.1,

что означает вторая таблица первого раздела. Ссылка в тексте на таблицу даётся по типу (табл. 1.1 или таблица 1.1). Если в тексте таблица единственная, номер не присваивается, а даётся, лишь ссылка (см. таблицу).

Таблица 1.1

Погонные *фазные* сопротивления $R_{ПГ}$ и $X_{ПГ}$ кабелей
на номинальное напряжение $U_н$ до 1 кВ

s, мм^2	6	10	16	25	35	50	70	95	120	150
$R_{ПГ}$, мОм/м	5,063	3,038	1,899	1,215	0,868	0,608	0,434	0,320	0,253	0,202
$X_{ПГ}$, мОм/м	0,094	0,088	0,084	0,072	0,068	0,066	0,065	0,064	0,064	0,063

Примечания:
1. ***s*** – номинальное сечение фазной жилы кабеля.
2. Значения сопротивлений $R_{ПГ}$ определены при температуре жил кабеля равной номинальной температуре окружающей среды $\theta_{Н.О}$ = 15 °С (кабель проложен в земле, а температура грунта соответствует летнему значению)

Нумерационный заголовок (Таблица 1.1) располагается с правой стороны листа над таблицей. Название помещают на следующей строке по центру.

Чаще всего таблица состоит из следующих элементов:

– порядковый номер и тематический заголовок;
– боковик;
– заголовки вертикальных граф (головка);
– горизонтальные и вертикальные графы (основная часть);
– примечания.

Если в тексте только одна таблица, то номер ей не присваивается и слово «таблица» не пишется.

При переносе таблицы на следующую страницу головка не повторяется. В этом случае пронумеровывают графы и повторяют их нумерацию на следующей странице. Вместо тематического заголовка пишут «Продолжение табл. 1.2». Если таблица продолжается на трёх и более страницах, на последней странице пишут «Окончание табл. 1.2».

Таблица .1.2

Основные параметры низковольтных асинхронных двигателей МА3–МА6
и параметры питающих кабелей

Тип	Параметры асинхронных двигателей								Параметры кабелей	
	$U_Н$, В	$P_Н$, кВт	$\cos\varphi_Н$	$\eta_Н$	$I_П$	$M_П$	$\boldsymbol{M_М}$	$\boldsymbol{s_Н}$, **%**	s, мм^2	l, м
				о.е.						
1	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**	**11**
4А132s4	380 или **660**	7,5	0,87	0,950	7,5	2,2	3,0	2,4	10/**6**	20
4А132m2		11	0,90			1,7	2,8	2,3	16/**10**	25
4А160m6		15			6,0	1,2	2,0	2,6	25/**16**	30
4А160m4		18,5			7,0	1,4	2,3	2,2	25/**16**	20
4А200m6		22		0,900	6,5	1,3	2,4	2,3	35/**25**	25
4А20016		30	0,91	0,910				2,1	50/**25**	30
4А200m2		37		0,915	7,5	1,4	2,5	1,9	50/**35**	35
4А250s6		45			6,5	1,2	2,1	1,4	70/**35**	25

.....

На новой странице приводят окончание табл. 1.2.

Окончание табл. 1.2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
4А250m6	380 или **660**	55	0,92	0,920		1,3		1,3	95/**50**	20
4А250s2		75		0,900	7,5	1,2	2,5	1,4	120/**70**	25
4А250m4		90		0,915	7,0		2,3	1,3	150/**95**	35
4А280s4		110		0,920	6,0		2,0	2,3	185/**95**	30
4А280m2		132			7,0		2,2	2,0	2·120/**150**	25
4А315s4		160		0,950	6,5	1,3		1,4	2·150/**185**	30
4А355m2		315		0,945		1,2		1,0	2·185/**240**	45

Примечания:

1. Обозначение параметров асинхронных двигателей следующее:
   - $U_Н$ – номинальное напряжение двигателя равно номинальному напряжению сети;
   - $P_Н$ – номинальная активная мощность на валу двигателя;
   - $\cos\varphi_Н$ – номинальный коэффициент мощности;
   - $\eta_Н$ – номинальный КПД;
   - $I_П$ – номинальная кратность пускового тока по отношению к номинальному току двигателя;
   - $M_П$ – номинальный начальный пусковой момент;
   - $M_М$ – номинальный максимальный вращающий момент;
   - $s_Н$ – номинальное скольжение;
   - $n_Н$ – номинальная частота вращения.
2. s, l – соответственно обозначение сечения жилы и длины кабелей, питающих двигатели.
3. Сечение жилы кабеля (s) – в числителе при $U_Н$ = 380 В, в знаменателе при $U_Н$ = **660** В.

Заголовки граф и строк следует писать с прописной буквы, а подзаголовки граф – со строчной буквы. В конце заголовков и подзаголовков таблиц точки не ставят. Таблицы, как правило, по контуру ограничивают линиями. Разделять заголовки и подзаголовки боковика и граф диагональными линиями не допускается.

Заголовки вертикальных граф выравнивать сверху по центру. Заголовки боковика выравнивать по левому краю.

Данные таблицы в числовой форме выравнивать по центру. Данные таблицы, представляемые словесно выравнивать по левому краю.

Кроме перечисленных требований к оформлению таблиц в случае ограниченной площади ячеек допускается следующие отступления от выше -перечисленных правил.

Не ставить пробел между значением физических величин и их размерностью. В формулах не ставить пробел между отдельными членами соединёнными знаками математических действий (+, –, ×, =).

Применять дефис вместо тире, знака «−» и знака «–».

Заменять индексы, представленные строчными буквами на индексы прописной формы.

Заголовки граф и боковика, подзаголовки граф, содержащие наименования величин, заменять на общепринятые обозначения с последующей расшифровкой в примечании.

ИЛЛЮСТРАТИВНЫЙ МАТЕРИАЛ

(чертежи, схемы, фотографии, технические рисунки, диаграммы, графики)

Иллюстрации (рисунки) должны наглядно демонстрировать содержание работы, помогать быстрее и глубже воспринимать его. Каждая имеющаяся иллюстрация должна отвечать тексту, а текст – иллюстрации. Все иллюстрации должны быть пронумерованы. Обычно используется сквозная или индексационная (подглавная) нумерация. Если рисунок один, то он не нумеруется. Ссылка на него делается словом «рисунок» без сокращений, а под самим рисунком ничего не пишется.

Рисунок необходимо помещать на той же полосе или на развороте, что и ссылка на него.

Ссылка на рисунок состоит из *условного названия* и *порядкового номера* с необходимым контекстным оборотом речи. Например, «Как видно из рис. 3.3»; «... представлен на рисунке 5.1». Можно делать ссылку в круглых скобках, например, (рис. 5). Сокращение «см.», включённое в состав ссылки «см. рис. 3.3», используется при повторной ссылке на рисунок.

Рисунок состоит собственно из рисунка и условного названия иллюстрации, то есть порядкового номера и буквенного или словесного обозначения её части. Например, рис. 1, *д*. Каждая иллюстрация снабжается подрисуночной подписью.

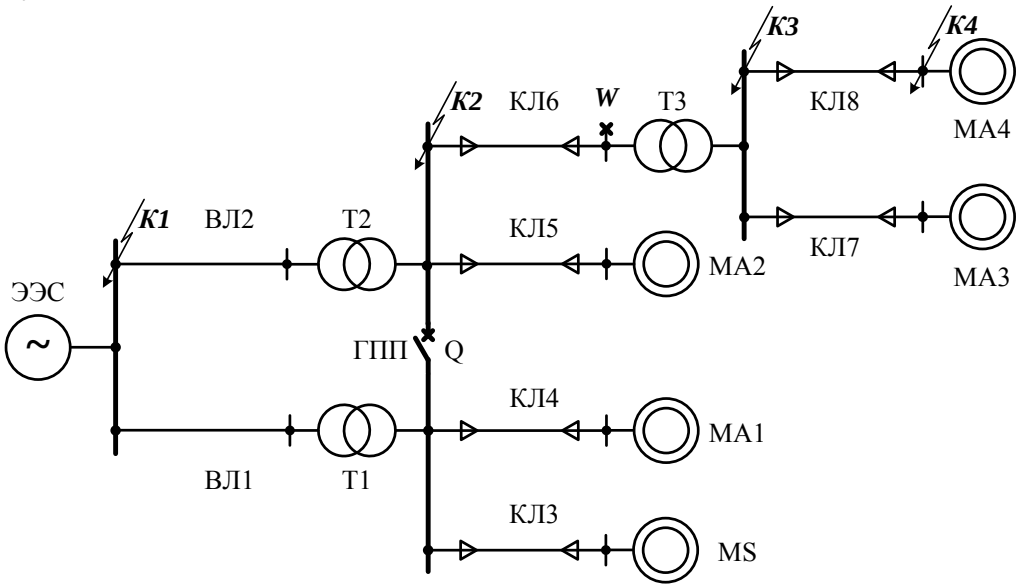


Рис. 1. Общая расчётная схема системы электроснабжения:
(***К1–К4***) – точки коротких замыканий; ***W*** – точка построения векторных диаграмм при двухфазном КЗ в точке ***К3***; ГПП – главная понизительная подстанция; Q – секционный выключатель

Подпись под иллюстрацией обычно имеет четыре основных элемента:

– наименование графического сюжета, обозначаемое сокращенно словом «Рис.»;

– порядковый номер иллюстрации, который указывается без знака № арабскими цифрами «Рис. 3.3.»;

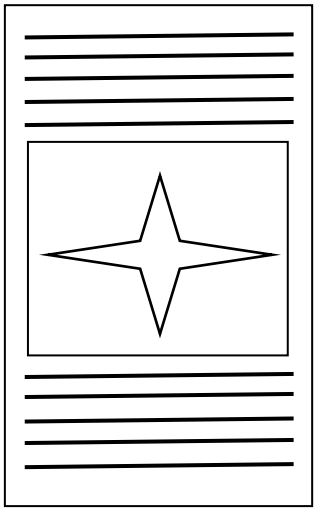
– тематический заголовок иллюстрации (после точки с большой буквы);

– экспликацию (расшифровку рисунка), которая поясняет рисунок. Перед ней ставиться знак двоеточие. Между элементами экспликации точка с запятой.

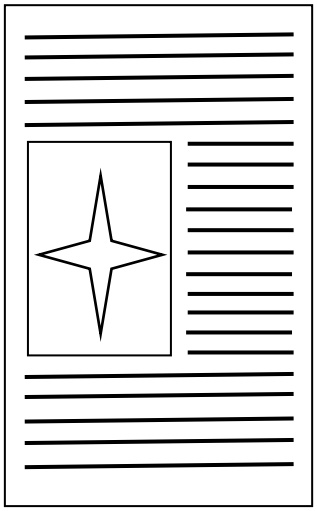
Необходимо выдерживать единое оформление подрисуночных подписей. Подрисуночные подписи должны быть под самим рисунком либо рядом (зависит от способа расположения иллюстрации). Пример оформления иллюстраций

Рекомендуемые способы размещения иллюстраций:

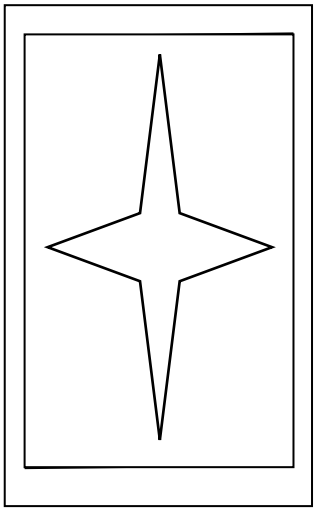
Способы размещения иллюстраций



Закрытый
или в разрез полосы
(внутри текста полосы)



«В оборку»
(текст обрамляет
иллюстрацию)



Полосной
(рисунок занимает
всю полосу)

На рисунке изображение иллюстрации обозначено значком – ✧.

Иллюстрация не должна завершать текст.

ПРИЛОЖЕНИЯ

Приложение – дополнительные к основному тексту материалы справочного, документального или иного характера. В приложении помещаются громоздкая или справочная информация с целью обеспечения воспринимаемости основной текстовой части работы.

В тексте документа на все приложения должны быть даны ссылки. Приложения располагают в порядке ссылок на них в тексте документа.

Приложения обозначают заглавными буквами русского алфавита, начиная с А, за исключением букв **Ё**, **З**, **Й**, **О**, **Ч**, **Ь**, **Ы**, **Ъ**. После слова «Приложение» следует буква, обозначающая его последовательность.

Каждое приложение следует начинать с новой страницы с указанием наверху по центру страницы слова «Приложение» и его обозначения. Приложение должно иметь тематический заголовок (обозначает, каково содержание данного приложения), который записывают с прописной буквы отдельной строкой.

По ГОСТ 2.105–95 [14] формулы, таблицы, иллюстрации, помещаемые в приложениях, должны нумероваться отдельной нумерацией арабскими цифрами в пределах каждого приложения с добавлением перед каждой цифрой обозначения приложения, например:

формула (В.1); Таблица Б.3; Рисунок А.3.

Приложения должны иметь общую с остальной частью документа сквозную нумерацию страниц.

Нумерация разделов, подразделов, пунктов и подпунктов приложения должно выполняться по тем же правилам, что и для основной текстовой части. Отличие заключается в обязательном добавлении перед номером буквы обозначения приложения, например,

В1; В1.3; В1.3.4; В1.3.4.6.

Все приложения должны быть перечислены в содержании документа (при наличии) с указанием их номеров и заголовков.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

В конце работы помещается библиографический список, все указанные в нем источники должны быть приведены в алфавитном порядке. Через интервал после русскоязычного списка должен быть приведён также в алфавитном порядке – иноязычный, а после – Интернет-ресурсы.

Библиографическое описание любого источника осуществляется на языке его издания.

В библиографическом списке приводятся только источники, на которые автор ссылается в тексте. Ссылки на неопубликованные работы не допускаются. Внутри текста ссылки на библиографию приводятся в квадратных скобках.

Если в тексте приводится прямая цитата, заключенная в кавычки, то обязательно должна быть указана страница, на которой эта цитата находится в цитируемом источнике.

Правила библиографического описания

Библиографический список должен включать все использованные источники, которые следует располагать в алфавитном порядке или по мере упоминания в тексте. Запись необходимо давать в соответствии с требованиями составления ГОСТ 7.1–2003. Библиографическая запись. Библиографическое описание документа. Общие требования и правила составления [6].

Описание книги одного автора

Ануфриев, А. Ф. Научное исследование. Курсовые, дипломные и диссертационные работы / А. Ф. Ануфриев. – М. : Ось – 99, 2004. – 112 с.

Описание книги двух авторов

Залесский, А. М. Тепловые расчёты электрических аппаратов / А. М. Залесский, Кукеков Г. А. – Л. : Энергия, 1967. – 378 с.

Описание книги трёх авторов

Алексеев, Ю. В. Научно-исследовательские работы (курсовые, дипломные, диссертации) / Ю. В. Алексеев, В. П. Казачинский., Н. С. Никитина: общая методология, методика подготовки и оформления. – М. : Издательство Ассоциации строительных вузов, 2006. – 120 с.

Описание книги четырёх авторов

Переходные процессы в электроэнергетических системах : учебник / И. П. Крючков, В. А. Старшинов, Ю. П. Гусев, М. В. Пиратов. – М. : Издательский дом МЭИ, 2008. – 416 с.

Описание книги пяти и более авторов

Переходные процессы в системах электроснабжения : учебник / В. Н. Винославский, Г. Г. Пивняк, Л. И. Несен и др. – К. : Выща шк. Головное изд-во, 1989. – 422 с.

Описание книги под редакцией

Основы теории электрических аппаратов / под ред. И. С. Таева. – М. : Высш. шк.,1987. – 275 с.

Описание методических указаний

СО 34.20.808–13. Методические указания по расчёту токов короткого замыкания в сети напряжением до 1 кВ электростанций и подстанций с учётом влияния электрической дуги / сост. М. А. Шиша. – Новосибирск : ОРГРЭС, 1993. – 24 с.

Описание учебного пособия

Аверчинков, В. И. Основы научного творчества / В. И. Аверчинков, Ю. А. Малахов : учеб. пособие. – Брянск : БГТУ, 2000. – 179 с.

Описание статьи из сборника, книги

Мещеряков, В. П. Расчёт наибольшей отключающей способности дугогасительной решётки / В. П. Мещеряков // Электрические аппараты и электротехнические комплексы и системы : Международная научно-практическая конференция (Россия, г. Ульяновск, 22 – 25 мая 2012 года). В 2 т. Т.1. – Ульяновск : УлГТУ, 2011. – С. 3–13.

Описание статьи из журнала

Петров, В. М. О влиянии бытовых электроприёмников на работу смежных электротехнических устройств / В. М. Петров, Е. Ф. Щербаков, М. В. Петрова // Промышленная энергетика. – 1998. – № 4. – С. 7–10.

Описание стандартов

ГОСТ 2.105 – 95. Общие требования к текстовым документам. – М. : Стандартинформ, 1996. – 74 с.

Пример расстановки интервалов между знаками

␣ – обозначение одного интервала.

Шкляр␣М.␣Ф.␣Основы␣научных␣исследований.␣Учеб.␣посо-

бие. ␣–␣2-е изд. ␣–␣ М. ␣:␣Издательско-торговая␣корпорация

␣ «Дашков␣и␣Кº», ␣2009. ␣–␣244␣ с.

В случае затруднений составления библиографического описания следует обращаться в научно-библиографический отдел библиотеки университета.

ГЛАВА 4. ПУБЛИЧНОЕ ВЫСТУПЛЕНИЕ

4.1. Порядок написания доклада. Подготовка доклада

Рефераты, курсовые и дипломные работы (проекты) должны защищаться. Защита работ включает в себя доклад и ответ на вопросы по теме работы.

Доклад – публичное выступление на определённую тему, а также *письменное* изложение содержания этого выступления.

Общеизвестно, что обстоятельное изложение основных результатов работы возможно, если имеется письменное оформление доклада по ним. Рассмотрим основные правила написания доклада. Рекомендуемый порядок написания доклада состоит из следующих этапов:

– составление *плана* доклада;

– формирование *чернового варианта* доклада на основании плана доклада (с обязательным указанием раздела плана доклада и раскрытием его содержания);

– формирование *окончательного варианта* текста доклада на основании чернового варианта.

Подготовке доклада предшествует составление плана. В план доклада рекомендуется включать следующие разделы:

– 1. **Постановку задачи** и её **актуальность** (практическое значение).

– 2. **Современное состояние рассматриваемого вопроса** (в той части, которая касается конкретной задачи) и место решаемой задачи в общей проблеме.

– 3. **Цель работы.**

– 4. **Задачи,** которые надо решить для достижения поставленной цели.

– 5. **Исходные материалы,** привлечённые для выполнения работы.

– 6. **Метод** исследования, использованный в работе.

– 7. Полученные **результаты и их анализ.**

– 8. **Практическое значение** полученных результатов.

Кратко, чётко и ясно изложить основные результаты работы в письменной форме за один заход, как правило, не удаётся. Рекомендуется готовить доклад не менее чем в два этапа. Сначала формируется подробный *черновой вариант* доклада на основании плана доклада (с обязательным указанием раздела плана доклада и раскрытием его содержания). Обычно при таком подходе первый вариант доклада содержит в смежных разделах повторение отдельных положений. Кроме того, в текст доклада неизбежно включается излишняя информация. Поэтому возникает потребность в написании *окончательного варианта* текста доклада, где выполняется согласование разделов и удаляется излишняя информация с целью получения воспринимаемого изложение темы доклада. Всё это должно направлено

на решение основной задачи – **обосновать, доказать представляемые результаты работы.**

При этом объём материала должен быть таким, чтобы имелась возможность, с одной стороны, обстоятельно изложить основные результаты работы, а с другой стороны, не превысить установленный регламент времени. То есть должен соблюдаться принцип «золотой середины». Более того, репетирование доклада позволяет обрести устойчивую внутреннюю психологическую уверенность при изложении в аудитории с непривычной обстановкой и перед многочисленными слушателями. Такой подход гарантирует успешность обстоятельного изложения сути дела при непредвиденных обстоятельствах, в том числе от «неудобных» вопросов слушателей при последующем обсуждении доклада. Дополнительно внутренняя психологическая уверенность также приобретается за счёт углубленной проработки содержания затрагиваемого материала и смежной с ним тематики.

Достаточность объёма доклада должна определяться хронометрированием времени выступления при неоднократным репетировании перед представлением его аудитории. Тем самым отрабатывается возможность чёткого, краткого, но обстоятельного изложения затрагиваемой темы за установленный промежуток времени. Желание дать максимум информации в ограниченное время приводит к спешке. Выступление оказывается смазанным, недоходчивым, аудитория его плохо воспринимает, и в результате теряется интерес и к докладчику, и к представляемой работе. В случае нехватки времени следует пересмотреть доклад – убрать всё второстепенное, избавиться от лишних эпитетов, вводных оборотов – там, где без них можно обойтись. Сделав первоначальные сокращения, прочитать текст снова. Если опять не удаётся уложиться в регламент, значит, нужно что-то радикально менять в структуре текста:

– сократить объём вводной части (сделать так, чтобы обеспечивалось быстрый переход к главному);

– сжать основную часть, в заключительной части убрать всё, кроме выводов, которые следует пронумеровать и изложить тезисно, то есть, выделяя главные мысли и сделав их максимально чёткими и краткими.

Следуют в этом направлении до тех пор, пока не получится текст, который можно без усилий представить, оставаясь в рамках регламента.

Хронометраж выступления желательно делать по магнитофонной записи. Недостатки собственного выступления особенно заметны, когда есть возможность услышать его «со стороны». При этом следует обратить особое внимание на типичные ошибки при выступлении:

1. Злоупотребление иностранной терминологией и понятиями, усложняющими восприятие главной мысли;

2. Наличие слов-паразитов: «вот», «значит», «так сказать» и т. д.;

3. Чрезмерная громкость голоса или слишком тихий голос. Слушатели достаточно быстро либо не воспринимают такую речь, либо устают от напряжённого состояния восприятия доклада;

4. Построение сложных предложений, в которых количество слов превышает 14–15. Такие фразы не воспринимаются, смысл прячется за сложными грамматическими конструкциями. Мысли должны быть ясно выраженными, без усложнения излишними эпитетами, придаточными предложениями и деепричастными оборотами. В устном докладе содержание работы необходимо излагать по возможности короткими, чёткими фразами.

5. Монотонная интонация, без акцентов на значимых моментах доклада.

Иллюстрации к докладу **(**чертежи, графики, таблицы**)** во время выступления служат наглядным и убедительным приёмом восприятия аудиторией результатов работы. Следует помнить – текст и иллюстрации должны подкреплять друг друга. Они должны быть легко воспринимаемым. То есть яркими с минимумом графической информации буквенной или цифровой, отражающей самое необходимое. Не следует писать длинных подрисуночных подписей и определений. Необходимо широко использовать общеизвестные или разрешённые нормативной документацией сокращения. Кроме того, иллюстрации необходимо выполнять на больших листах плотной бумаги, крупно и ярко, чтобы слушатели без напряжения могли бы видеть изображенную графическую информацию. При наличии иллюстраций необходимо репетирование доклада проводить с их помощью или их копиями.

Желательно неоднократно прорепетировать текст доклада перед зеркалом. Это позволит отработать необходимые манеры и поведение во время выступления. Стоять следует лицом или вполоборота к предполагаемой аудитории. Поза и движения должны быть непринужденными и естественными. Непринужденность не означает развязность, панибратское отношение к слушателям или поведение «учителя» перед учениками. Не стоит часто переминаться с ноги на ногу, но и не следует застывать в одной позе. Не следует размахивать руками, пытаясь «помочь» изложить суть доклада.

В **Приложении Г** представлена рекомендуемая технология оформления доклада на примере доклада по реферату, представленного в **Приложении Б**.

4.2. Представление доклада аудитории

4.2.1. Доклад аудитории должен представляться с соблюдением ряда правил.

Излагать доклад следует в устной форме, а не «по бумажке», то есть читать. Устная форма выступления, безусловно, обеспечивает большие возможности восприятия содержания доклада, нежели его прочтение. Поэтому устное представление доклада должно быть доминирующим, а чтение «по бумажке» должно применяться в виде исключения.

Во время выступления необходимо быть сдержанным – не кричать в микрофон (а при отсутствии микрофона говорить негромко и нетихо). Не следует размахивать руками, делать резкие движения, вытирать пот носовым платком, отворачиваться от аудитории, обращаясь к потолку или окнам. Необходимо ***смотреть в глаза слушателям***. Каждый будет думать, что вы обращаетесь именно к нему, а значит, будет более внимательно, не отвлекаясь слушать выступление. Пристальный взгляд на одно и то же выбранное в рядах слушателей лицо обаяния докладчику не прибавляет.

При наличии иллюстраций объяснять изображенную на них графическую информацию следует с помощью указки, стоя рядом с доской. Естественно, при этом нельзя поворачиваться лицом к доске и спиной к аудитории. Если по какой-либо причине иллюстрации при подготовке доклада не были выполнены, а потребность в представлении графической информации существует, то, в крайнем случае, можно на скорую руку начертить и мелом на доске, но это уже худший вариант.

К внешнему виду и поведению докладчика во время выступления предъявляются определённые требования. *Во-первых*, одежда и общий облик выступающего должны быть достаточно скромными и серьезными. Желательно для юношей это костюм с белой рубашкой и галстуком, или, если уж очень жарко, белая рубашка и галстук без пиджака. Девушкам не следует увлекаться слишком яркой и вызывающей косметикой, однако умеренный макияж и аккуратная красивая прическа не помешают. Не стоит приходить на защиту в одежде «ресторанной», пляжной и дачной моды, а также в одежде, отражающей религиозные предпочтения. *Во-вторых*, не следует приходить на защиту в плохо выглаженной или несвежей одежде, с небрежной прической, в пыльной или грязной обуви. Внешний вид не должен вызывать отталкивающего чувства.

Выступление должно завершаться выводами: «следовательно...», «таким образом...». Заключительная фраза выступления стандартна: «Доклад закончен*, благодарю за внимание».*

4.2.2. Окончание доклада ознаменует обсуждение его слушателями, которые имеют право задать интересующие их вопросы по содержанию работы. Обсуждение должно происходить с соблюдением норм этики.

Прежде всего, данное требование относится к докладчику. Поэтому при ответах на вопросы слушателей необходимо быть максимально собранным, сдержанным и не выражать своих эмоций, даже в случае нелепых на взгляд докладчика заданных вопросах. Необходимо стараться понять суть вопроса, а не с ходу выразить тем или иным способом своё неудовлетворение. Если на поставленный вопрос отсутствует ответ, то не следует теряться и отмалчиваться. В данном положении лучше что-либо ответить, заведомо зная, что ответ неверен, чем просто отмолчаться или признаться в своей несостоятельности.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Если вы приступили к чтению «Заключения», значит – просмотрели «учебное пособие» и, возможно, даже использовали его. Это уже радует и обнадёживает, что оно написано не напрасно.

В практике вузовской работы часто приходится сталкиваться с недооценкой учебно-исследовательской деятельности студента, особенно – роли технологии этой деятельности. Немало фактов слепого, совершенно бездумного переписывания чужих работ без их переработки, то есть того, что уже ранее выполнили другие студенты, заимствования текстов из Интернета и других примеров, характеризующих снижение роли учебно-исследовательской деятельности во всей системе подготовки специалистов.

Преподаватели вузов за последнее десятилетие приняли эти правила игры, навязанные недобросовестными студентами, и вынуждены снижать планку требований к рефератам, курсовым и дипломным работам. Всё это недопустимо ухудшает качество подготовки, превращая её в набор некоторых знаний и делая её узкопрагматичной, не способствующей развитию личности студента, как специалиста. Это сказывается на качестве профессиональной деятельности организаций, занимающихся вопросами электроснабжения.

Сегодня есть все условия, чтобы усовершенствовать управление самостоятельной деятельностью студентов вуза.

1. Достаточно глубоко разработана технология самой исследовательской деятельности.

2. Исследовательская деятельность и умения составляют методологическую культуру специалиста, а она нужна и определяет качество профессиональной деятельности на любом рабочем месте, в любом учреждении, а не только в энергетике.

3. Преподаватели вузов тоже смертельно устали уступать низкому качеству исследовательских работ студентов и готовы повысить свои требования.

Перед выпускником вуза, будущим специалистом, непременно встанет задача начинать заново изучать возникшую проблему и искать способ её решения, вот тогда ему и понадобятся знания и умения поисково-исследовательской деятельности. Их он и получает при выполнении реферата, курсовой и дипломной работ.

Поэтому можно утверждать – без успешного освоения дисциплины «Учебно-исследовательская работа студента» реального, а не формального становления специалиста фактически **невозможно**!

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Ануфриев, А. Ф. Научное исследование. Курсовые, дипломные и диссертационные работы / А. Ф. Ануфриев. – М. : Ось – 99, 2004. – 112 с.

2. Аверчинков, В. И. Основы научного творчества: учеб. пособие / В. И. Аверчинков, Ю. А. Малахов. – Брянск, БГТУ, 2000. – 179 с.

3. Алексеев, Ю. В. Научно-исследовательские работы (курсовые, дипломные, диссертации): учебное пособие / Ю. В. Алексеев, В. П. Казачинский, Н. С. Никитина: общая методология, методика подготовки и оформления. – М. : Издательство Ассоциации строительных вузов, 2006. – 120 с.

4. Шкляр, М. Ф. Основы научных исследований: учеб. пособие / М. Ф. Шкляр. – 2-е изд. – М. : Издательско-торговая корпорация «Дашков и К°», 2009. – 244 с.

5. Кожухар, В. М. Практикум по основам научных исследований: учеб. пособие / В. М. Кожухар. – М. : Изд-во АСВ, 2008. – 112 с.

6. ГОСТ 7.1 – 2003. Библиографическая запись. Библиографическое описание документа. Общие требования и правила составления. – М. : Стандартинформ, 2006. – 74 с.

7. ГОСТ 7.9 – 95. Реферат и аннотация. Общие требования. – Минск, 1995.

8. ГОСТ 7.0.11 – 2011. Диссертация и автореферат диссертации. структура и правила оформления. – Минск, 2011.

9. Рыжков, И. Б. Основы научных исследований и изобретательства: учеб. пособие / И. Б. Рыжков. – Санкт-Петербург : Издательство «Лань», 2013. – 224 с.

10. Воблый, К. Г. Организация труда научного работника / К. Г. Воблый. – Киев, 1998. – 199 с.

11. Научные работы: Методика подготовки и оформления / Авт. – сост. И. Н. Кузнецов.– 2-е изд., перераб. и доп. – Минск, 2000. – 544 с.

12. Новиков, А. М. Как работать над диссертацией / А. М. Новиков. – М., 1994. – 143 с.

13. Правила оформления рукописей для издания в УлГТУ. Основные положения / составитель М. В. Теленкова. – Ульяновск : УлГТУ, 2011. – 35 с.

14. ГОСТ 2.105 – 95. Общие требования к текстовым документам. – М. : Стандартинформ, 1996. – 74 с.

Приложение А

Пример оформления реферата источника информации

Характерным примером реферата источника информации может служить следующий реферат, приведённый в реферативном журнале

Щебенюк, Л. А. 14.07.22 Е. 77. Перегрузочная способность как показатель надёжности силовых кабелей с пластмассовой изоляцией в системах электропотребления / Л. А. Щебенюк, Т. Ю. Антонец // Реферативный журнал 22. Энергетика. – №7. – С.45. – М. : 2014.

Выполнен анализ публикаций и исследований в области нагрузочной способности силовых кабелей современных конструкций. Предложена модель определения предельно допустимого коэффициента перегрузки силового кабеля в послеаварийном режиме при ограниченной критической температуре кабеля, устанавливающего выбор возможных нестационарных режимов нагрузки кабеля для конкретной системы электроснабжения. Критическая температура задаётся исходя из характеристик кабельных пластмасс.

Приложение Б

Пример написания учебного реферата

Ниже приведён учебный реферат на примере сравнения эффективности применения систем компьютерной математики Derive и Mathcad в учебном процессе. При изучении содержания приложения следует уделить главное внимание технологии написания, а не тематике реферата.

Рисунки текстовой части и приложения выполнены в MS Visio. Приложения примера оформления реферата выполнены с помощью системы компьютерной математики Derive и Mathcad. Поэтому форматирование приложения представлено так, как принято в этих системах компьютерной математики.

Продолжение прил. Б

Ульяновский государственный технический университет

Энергетический факультет

Кафедра «Электроснабжение»

ПОИСК ЭКСТРЕМУМА ФУНКЦИИ

Реферат
по дисциплине «Учебно-исследовательская работа студентов»

(вариант **19**)

Работу выполнил:

студент группы Эбд–11 /З. Э. Иванов/

Работу принял /Д. С. Александров/

Ульяновск
2014

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ 57

1. ПОИСК ЭКСТРЕМУМОВ ФУНКЦИИ В Derive 59

2. ПОИСК ЭКСТРЕМУМОВ ФУНКЦИИ В Mathcad 60

3. РЕЗУЛЬТАТЫ СРАВНЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ СИСТЕМ КОМПЬЮТЕРНОЙ МАТЕМАТИКИ Derive и Mathcad 61

4. ЗАКЛЮЧЕНИЕ 62

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК 63

Приложение **А**
Derive. Поиск экстремумов функции одной переменной $y(x)$ 64

Приложение **Б**
Derive. Поиск экстремумов функции двух переменных $z(x, y)$ 69

Приложение **В**
Mathcad. Поиск экстремумов функции одной переменной $y(x)$ 71

Приложение **Г**
Mathcad. Поиск экстремумов функции двух переменных $z(x, y)$ 75

ВВЕДЕНИЕ

Анализ и общий обзор источников информации, используемый в реферате.

Появление систем компьютерной математики [1–7] обусловлено всей логикой развития вычислительных методов в науке и практике, общим для которых (с момента появления компьютеров) является незыблемость сложившихся этапов решения любой прикладной задачи: постановка, выбор алгоритма решения, составление программы, тестирование (как правило, весьма трудоёмкое) и, наконец, собственно расчёты.

Большие затраты времени на освоение возможностей компьютеров и программирования долгое время создавали своеобразное «узкое горло» в обозначенной выше цепочке решения практических задач.

Настоящим ответом на этот вызов следует считать создание систем компьютерной математики (СКМ) типа **Mathcad**, **Derive** и других, которые работают по принципу – задал вопрос, получил ответ. Хотя надо отметить невозможность полного отказа от необходимости программирования отдельных задач в пределах возможностей СКМ.

Такие системы позволяли использовать возможности развитых численных методов без классической процедуры программирования и в то же время предоставляли инженеру удобную для его работы среду. СКМ позволяет:

– перейти от «точечных» расчётов режимов работы объекта исследования к «процессным» расчётам, когда расчёт выполняется во всём диапазоне изменения параметров;

– освоить более высокий уровень сложности решения задач, что позволяет получать детализированное представление об исследуемом объекте;

– оформлять отчёт по проведённой работе аккуратно и в соответствии с требованиями нормативной документации.

Проблема выбора необходимой для расчётов математической системы, которая встаёт на сегодняшний день перед студентами, очевидна, и, чаще всего, она определяется разрекламируемостью какого-либо пакета математических программ, чем их функциональными возможностями.

Целью данной работы является нахождение оптимальной системы компьютерной математики, способной решать различного рода задачи, встающие перед студентами в ходе процесса обучения.

В настоящее время наиболее известными и применяемыми в процессе обучения являются такие СКМ, как **Mathcad** и **Derive**. Они позволяют решать задачи аналитическими и численными методами. Объём решаемых

этими системами задач обширен, а время их решения очень мало, это позволяет повысить эффективность решения студентами весьма широкого круга математических и научно-технических задач в процессе обучения.

Документы **Mathcad**, в том числе и программы, комментарии, результаты вычислений и графики, имеют естественный для научно-технической литературы вид. Однако при вводе математических выражений в этой системе пользователь должен постоянно следить за соблюдением правил ввода специальных математических символов, а также за правилами редактирования формул.

Система **Derive** удачно сочетает возможности проведения численных и символьных вычислений с простотой и требовательностью к используемой технике. Данная СКМ обеспечивает решение задач в диалоговом режиме.

Derive по сравнению с другими СКМ обеспечивает наибольшую производительность расчётов за счёт:

– оперирования не функциями, а специальными метками, которые позволяют чрезвычайно просто использовать ранее введённые исходные данные и функции;

– удачным подбором главного меню, оптимальным содержанием панели инструментов и панелей символов.

Производительность расчётов наиболее ярко проявляется не в единичных примерах, а при выполнении объёмной работы такой, как, например, курсовая работа, проект, диплом.

Данная СКМ позволяет оперативно строить графики зависимостей и производить их анализ. При этом диалоговое окно построения графиков жестко связано с основным окном программы, что позволяет редактировать полученные результаты непосредственным образом, затрачивая минимум времени. Форматирование графиков системы **Derive** оставляет желать лучшего.

Некоторые авторы также выделяют такие особенности, присущие математической системе **Derive**, как простота в изучении, устойчивость к ошибкам вычислительного процесса, высокая достоверность решения задач, а также вывод решения через общеизвестные математические функции.

Цели реферирования.

Основной целью реферирования является освоение технологии данного способа получения знаний на примере оценки эффективности СКМ **Derive** и **Mathcad**.

Дополнительной целью реферирования является приобретение навыков самостоятельного изучения материала источников информации с целью последующего применения в процессе обучения.

Принципы, положенные в основу работы.

Оценка эффективности СКМ **Derive** и **Mathcad** будет осуществляться по следующим критериям:

– производительности;

– универсальности в части возможности использования в численных расчётах и символических операциях;

– качества форматирования текста и графических зависимостей.

1. ПОИСК ЭКСТРЕМУМОВ ФУНКЦИИ В Derive

1.1. Поиск экстремумов функции одной переменной *y*(*x*)

Поиск экстремумов функций выполняется на примерах:

– полинома четвёртой степени

$$y(x) = x^4 + ax^3 + bx^2 + cx + d;$$

– функции вида

$$y = \sin(x)/x,$$

приведён в Приложении **А**.

В качестве методов нахождения экстремума исследуемой функции использовались следующие методы:

– производной от заданной функции;

– скользящего курсора (команда **trace plots** панели инструментов 2D графического окна).

Наиболее производительным является метод скользящего курсора по сравнению с методом производной, который позволяет получать координаты экстремума очень оперативно и с высокой точностью. В случае необходимости уточнение значений координат можно воспользоваться графической лупой. Кроме того, этот метод является универсальным в части возможности применения для нахождения значений координат экстремума функции любого вида – дифференцируемых и недифференцируемых, имеющих один экстремум или большое количество экстремумов.

Метод производной не позволяет определять необходимое количество значений абсцисс экстремумов в случае периодического характера функции, поэтому он не нашёл применение при анализе этого вида функций. Кроме того, он не пригоден в случае наличия скачков, разрывов и переломов функций, то есть при отсутствии дифференцируемости их.

1.2. Поиск экстремумов функции <u>двух</u> переменных *z*(*x*, *y*)

Поиск экстремумов функций выполняется на примере функции вида

$$z = \sin(x) \cdot e^{(-x^2-y^2)},$$

приведён в Приложении **Б**.

В качестве методов нахождения экстремума исследуемой функции использовался метод скользящих плоскостей взаимоперпендикулярных осям **x** и **y** (команда **Plot Tracing** панели инструментов 3D графического окна). Данный метод был выбран в силу очевидности таких его достоинств, как:

– высокая производительность;
– точность определения значений;
– простота применения;
– универсальность в части возможности использования его для нахождения значений координат экстремума функции любого вида – дифференцируемой и недифференцируемой, имеющей один экстремум или большое количество экстремумов.

Метод производной не использовался из-за таких присущих ему недостатков, как:

– низкая производительность;
– возможность применения только для анализа дифференцируемых и непериодических функций на экстремум.

2. ПОИСК ЭКСТРЕМУМОВ ФУНКЦИИ В Mathcad

2.1. Поиск экстремумов функции <u>одной</u> переменной *y*(*x*)

Поиск экстремумов функций выполняется на примерах:

– полинома четвёртой степени

$$y(x) = x^4 + ax^3 + bx^2 + cx + d;$$

– функции вида

$$y = \sin(x)/x$$

приведён в Приложении **В**.

В качестве методов нахождения экстремума исследуемой функции использовались следующие методы:

– производной (используется встроенная функция **root**);
– нахождения экстремума с помощью встроенных функций **maximize** и **minimize.**

Данные методы были выбраны в силу дифференцируемости исследуемых функций.

Использование метода *производной* (встроенная функция **root)** позволяет находить абсциссы экстремумов значительно быстрее, чем с помощью встроенных функций **maximize** и **minimize.** В последнем случае для успешного нахождения абсцисс экстремумов необходимо построить график и, ориентируясь на него, подбирать исходные значения абсцисс процедуры расчёта.

Следует отметить принципиальную возможность нахождения с помощью встроенных функций **maximize** и **minimize** экстремумов исследуемой периодической функции.

Mathcad позволяет находить координаты экстремума недифференцируемых исследуемых функций, имеющих скачки и переломы, с помощью встроенной функции **Minerr**.

2.2. Поиск экстремумов функции <u>двух</u> переменных $z(x, y)$

Поиск экстремумов функций выполняется на примере исследуемой функции вида

$$z = \sin(x) \cdot e^{(-x^2-y^2)},$$

приведён в Приложении **Г**.

В качестве метода нахождения экстремума исследуемой функции использовался метод контурного графика, который позволяет получить приближённые значения координат экстремумов. Данный метод был выбран в силу его высокой производительности. Недостатком метода является низкая точность определения значений координат экстремума. Особенно это относится к значению координаты ***z*.**

Метод производной не использовался из-за таких присущих ему недостатков, как:

– низкая производительность;

– возможность применения только для анализа дифференцируемых функций на экстремум.

3. РЕЗУЛЬТАТЫ СРАВНЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ СИСТЕМ КОМПЬЮТЕРНОЙ МАТЕМАТИКИ Derive и Mathcad

3.1. Сравнивая две системы СКМ в части нахождения значений координат экстремума, можно утверждать, что **Derive** несомненно превосходит по производительности и удобству вычислений СКМ **Mathcad** функций любого вида, если применяется метод скользящего курсора (2D графика)

или метод скользящих плоскостей (3D графика). Точность при этом обеспечивается вполне достаточной для практических целей (инженерных расчётов).

3.2. В части применения аналитических методов **Derive** уступает **Mathcad** при исследовании периодических функций. Кроме того, в СКМ **Derive** не предусмотрен аналитический анализ недифференцируемых исследуемых функций, имеющих скачки, разрывы и переломы. В то же время **Mathcad** позволяет находить экстремумы таких исследуемых функций с помощью встроенной функции **Minerr**.

3.3. Качество форматирования текста примерно одинаково, но форматирование текста в **Derive** несколько уступает качеству форматирования в **Mathcad.** Преимуществом **Derive** является более высокая производительность печатанья текста за счёт отсутствия необходимости ручной установки текстовых областей и размещения в главном окне.

3.4. Качество форматирования 2D графиков в **Derive** значительно уступает качеству форматирования в **Mathcad.** Что касается 3D графиков, то **Derive** обеспечивает в ряде случаев лучшее представление графиков, чем **Mathcad.**

Дополнительным преимуществом **Mathcad** является возможность анимации графиков.

4. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

4.1. Исследование функций на предмет наличия экстремумов в СКМ **Derive** и **Mathcad** позволило получить первоначальное представление о технологии реферировании источников информации с целью освоение данного способа *самостоятельного* приобретения знаний.

4.2. **Derive** по сравнению с **Mathcad** обеспечивает наибольшую производительность расчётов за счёт:

– удачного подбора главного меню, оптимального содержания панели инструментов главного и графического окон, а также панелей символов;

– применения простых в использовании и достаточно точных методов решения задач;

– оперирования в процессе расчётов не функциями, а специальными метками, которые позволяют чрезвычайно просто использовать ранее введённые исходные данные и функции.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Половко, А. М. Derive для студента / А. М. Половко. – СПб. : БХВ–Петербург, 2005. – 352 с.

2. Дьяконов, В. П. Системы компьютерной алгебры Derive: Самоучитель и руководство пользователя / В. П. Дьяконов. – М. : СОЛОН-Р, 2002. – 320 с.

3. Макаров, Е. Г. Инженерные расчёты в Mathcad 14 / Е. Г. Макаров. – СПб. : Питер, 2007. – 592 с.

4. Кирьянов, Д. В. Самоучитель Mathcad 13 / Д. В. Кирьянов. – СПб. : БХВ–Петербург, 2006. – 528 с.

5. Татарников, О. Обзор программ для символьной математики

6. Программа Mathcad и её использование: http://bibliofond.ru. (Дата обращения: 21.08.2014).

7. Mathcad − Сравнительная характеристика: http://chinapads.ru/c/s/mathcad − sravnitelnaya harakteristika. (Дата обращения: 21.08.2014).

Derive v. 6.10

Приложение **А**

Поиск экстремумов функции одной переменной *y*(*x*)

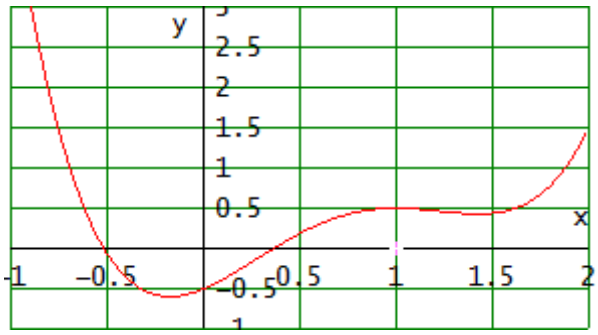
А.1. Рассмотрим полином 4-й степени

$$y = x^4 + a\cdot x^3 + b\cdot x^2 + c\cdot x + d.$$

А.1.1. Построим график полинома 4-й степени при следующих значениях коэффициентов:

$$a = -3;\quad b = 2;\quad c = 1;\quad d = -0.5;$$

#1: $y = x^4 - 3\cdot x^3 + 2\cdot x^2 + x - 0.5$



А.1.2. Первый метод нахождения экстремума исходной функции – метод производной от заданной функции.

Находим экстремумы, используя производную

#2: $y = x^4 - 3\cdot x^3 + 2\cdot x^2 + x - 0.5$

#3: $\frac{d}{dx}(x^4 - 3\cdot x^3 + 2\cdot x^2 + x - 0.5)$

#4: $4\cdot x^3 - 9\cdot x^2 + 4\cdot x + 1$

#5: $\mathrm{SOLVE}(4\cdot x^3 - 9\cdot x^2 + 4\cdot x + 1, x)$

#6: $x = \frac{5}{8} - \frac{\sqrt{41}}{8} \vee x = \frac{\sqrt{41}}{8} + \frac{5}{8} \vee x = 1$

#7: $x = -0.1753905296 \vee x = 1.425390529 \vee x = 1$

Подставляем в исходное уравнение и получаем значение функции, соответствующее экстремумам

#8: $x \cdot 1 = -0.1753905293$

#9: $y = x^4 - 3 \cdot x^3 + 2 \cdot x^2 + x - 0.5$

#10: $y \cdot 1 = (-0.1753905293)^4 - 3 \cdot (-0.1753905293)^3 +$

$+ 2 \cdot (-0.1753905293)^2 + (-0.1753905293) - 0.5$

#11: $y \cdot 1 = -0.596734558$

#12: $x \cdot 2 = 1$

#13: $y = x^4 - 3 \cdot x^3 + 2 \cdot x^2 + x - 0.5$

#14: $y \cdot 2 = 1^4 - 3 \cdot 1^3 + 2 \cdot 1^2 + 1 - 0.5$

#15: $y \cdot 2 = 0.5$

#16: $x \cdot 3 = 1.425390529$

#17: $y = x^4 - 3 \cdot x^3 + 2 \cdot x^2 + x - 0.5$

#18: $y \cdot 3 = 1.425390529^4 - 3 \cdot 1.425390529^3 + 2 \cdot 1.425390529^2 +$

$+ 1.425390529 - 0.5$

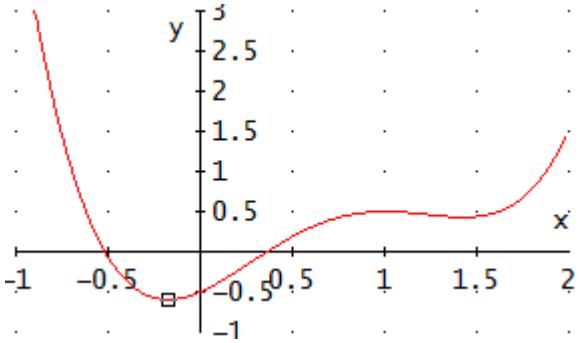
#19: $y \cdot 3 = 0.4287658081$

А.1.3. Второй метод нахождения экстремума функции с использованием возможности панели инструментов графического окна – команда **trace plots.**

С этой целью устанавливаем маркер, отображаемый квадратом, в точке экстремума. Считываем координаты в левой части строки состояния системы – **cross:** ***x, y***, тогда, когда значение функции максимально или минимально. Экстремум функции определяем посредством оперирования клавишами ← ↑ ↓ → на клавиатуре.

В случае необходимости уточнения используем графическую лупу панели инструментов графического окна.

#20: $y = x^4 - 3\cdot x^3 + 2\cdot x^2 + x - 0.5$



Таким образом, получаем координаты экстремумов:

- x1 = -0,1745283; y1 = 0,5967318;
- x2 = 1; y2 = 0,5;
- x3 = 1,424528; y3 = 0,4287668.

Сравнивая с точными вычислениями, приходим к выводу о достаточно хорошем совпадении.

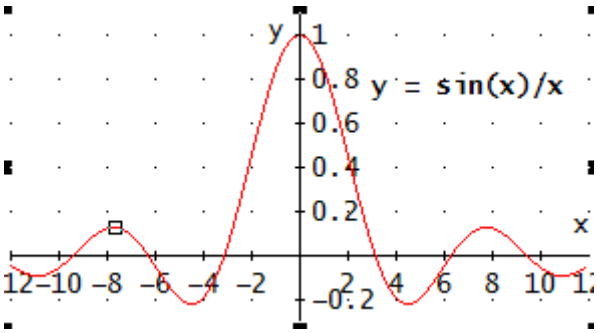
А.2. Рассмотрим трансцендентную функцию следующего вида

#21: $y = \frac{SIN(x)}{x}$

А.2.1. Построим график исходной функции y = sin(x)/x.

2.2. Первый метод нахождения экстремума исходной функции – метод производной от заданной функции.

#22: $y = \frac{SIN(x)}{x}$



#23: $\frac{d}{dx}\left(y = \frac{SIN(x)}{x}\right)$

#24: $\frac{COS(x)}{x} - \frac{SIN(x)}{x^2} = 0$

#25: $SOLVE\left(\frac{COS(x)}{x} - \frac{SIN(x)}{x^2}, x, Real\right)$

#26: $x = \pm\infty \vee x = 0$

Функция **SOLVE** может найти только один корень производной исходной функции.

Непосредственная подстановка даѐт неопределѐнность **0/0**

#27: $x \cdot 1 = 0$

#28: $y = \frac{SIN(x)}{x}$

Находим значение наибольшего максимума исходной функции, переходя к пределу

#29: $\lim_{x \to 0}\left(y = \frac{SIN(x)}{x}\right)$

#30: $y \cdot 1 = 1$

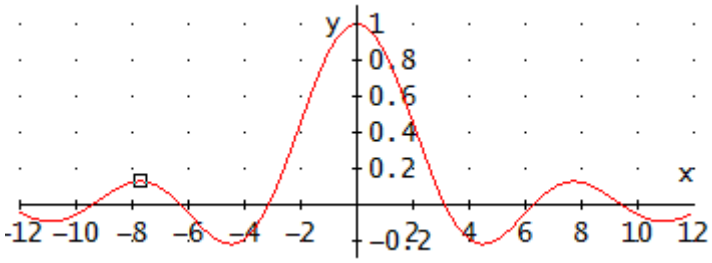
Отсюда видно, что, используя производную, невозможно получить все корни. Поэтому следует применить универсальный графический метод нахождения корней.

А.2.3. Второй метод нахождения экстремума функции с использованием возможности панели инструментов графического окна – команда **trace plots.**

С этой целью устанавливаем маркер, отображаемый квадратом, в точки экстремума. Считываем координаты в левой части строки состояния системы – **cross:** ***x, y***, тогда, когда значение функции максимально или минимально. Экстремум функции определяем посредством оперирования клавишами ←↑↓→ на клавиатуре.

В случае необходимости уточнения используем графическую лупу панели инструментов графического окна.

$$\#31:\quad y = \frac{\mathrm{SIN}(x)}{x}$$



Таким образом, получаем координаты экстремумов:

Наибольший максимум:

$$x1 = 0; \quad y1 = 1.$$

Локальные максимумы.

Координаты экстремумов при отрицательных значениях аргумента ***x* < 0**:

- x2 = –4,490566; y1 = –0,2172327;
- x3 = –7,716981; y2 = 0,1283702;
- x4 = –10,90566; y3 = –0,4287668

Координаты экстремумов при положительных значениях аргумента ***x* > 0**:

- x2 = 4,490566; y1 = –0,2172327;
- x3 = 7,716981; y2 = 0,1283702;
- x4 = 10,90566; y3 = –0,4287668

Derive v. 6.10

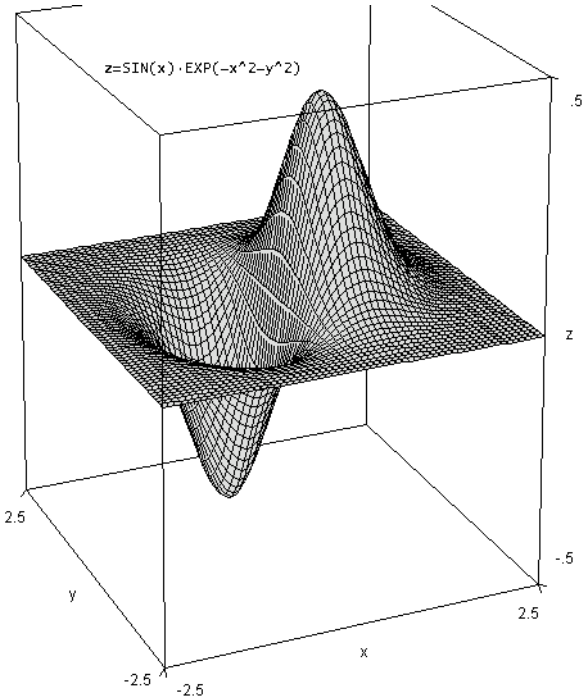
Приложение **Б**

Поиск экстремумов функции двух переменных *z*(*x*, *y*)

Б.1. Рассмотрим следующую функцию

#1: $$z = \mathrm{SIN}(x)\cdot e^{-x^2-y^2}$$

Б.1.1. Построим график функции



Б.1.2. Найдём экстремумы функции, используя возможности панели инструментов графического окна с помощью команды **Plot Tracing.**

Устанавливаем количество ячеек графика. Наводим стрелку мыши на построенный график и выводим диалоговое окно **Edit, Delite.** По умолчанию при нажатии команды **Edit** установлено в окне **Number of panels** 20 ячеек. С целью увеличения точности определения координат экстремума устанавливаем количество ячеек не менее 50.

Далее используем диалоговое окно **Plot Tracing.** С этой целью устанавливаем стрелку мыши в точку пересечения интересуемой ячейки. Считываем координаты в левой части строки состояния системы – **cross:**
x, y, ***z*** тогда, когда значение функции максимально или минимально. Экс-

тремум функции определяем посредством оперирования клавишами ←↑↓→ на клавиатуре.

```
                      2    2
#2:                 - x  - y
      z = SIN(x)·e
```

Таким образом, получаем координаты экстремумов:

Максимум:

x1 = +0,7; y1 = 0; z1 = +0,39466.

Минимум:

x2 = –0,7; y1 = 0; z1 = –0,39466.

Отсюда видно, что экстремумы симметричны относительно нулевой плоскости.

Mathcad v.14

Приложение **В**

Поиск экстремумов функции одной переменной *y*(*x*)

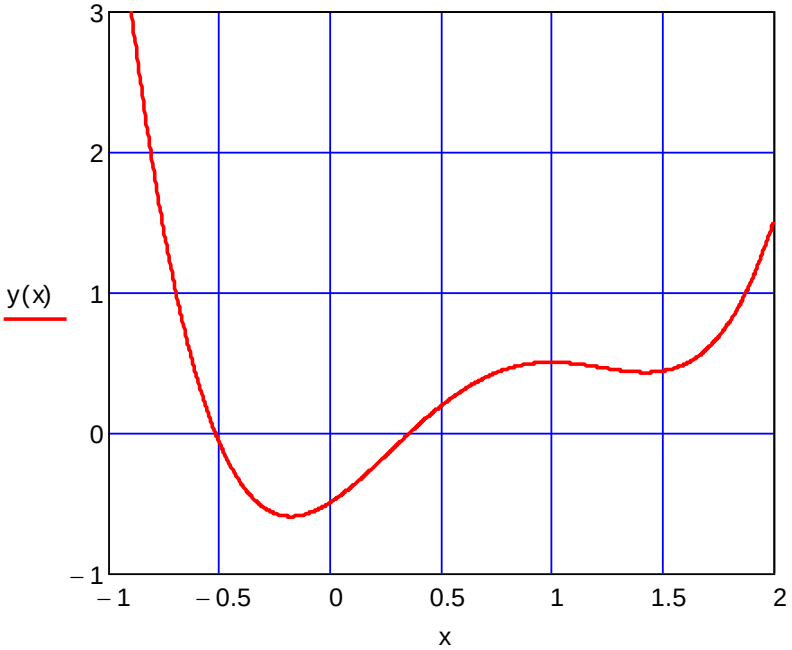
В.1. Рассмотрим полином 4-й степени

y = x^4 + a·x^3 + b·x^2 + c·x + d.

В.1.1. Построим график полинома 4-й степени при следующих значениях коэффициентов:

a = −3; b = 2; c = 1; d = −0.5;

$$y(x) := x^4 - 3\cdot x^3 + 2\cdot x^2 + x - 0.5$$



В.1.2. Первый метод нахождения экстремума – метод производной от заданной функции. Используем функцию **root**.

$$\mathrm{root}\left(\frac{d}{dx}y(x), x, -1, 2\right) \rightarrow \begin{pmatrix} 1 \\ \frac{5}{8} - \frac{\sqrt{41}}{8} \\ \frac{\sqrt{41}}{8} + \frac{5}{8} \end{pmatrix}$$

$$\mathrm{root}\left(\frac{d}{dx}y(x),x,0.5,1.2\right) = \begin{pmatrix} 1 \\ \frac{5}{8} - \frac{\sqrt{41}}{8} \\ \frac{\sqrt{41}}{8} + \frac{5}{8} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 \\ -0.175 \\ 1.425 \end{pmatrix}$$

В.1.3. Второй метод нахождения экстремума с помощью функций **maximize** и **minimize.**

Значения абсцисс экстремумов следующие:

$x := 2$ $\qquad$ $x0 := \mathrm{Maximize}(y,x) = 1$

$x := 2$ $\qquad$ $x1 := \mathrm{Minimize}(y,x) = -0.17539053$

$x := 4$ $\qquad$ $x2 := \mathrm{Minimize}(y,x) = 1.42538893$

Значения ординат экстремумов следующие:

$y(-0.175) = -0.59673398$

$y(1) = 0.5$

$y(1.425) = 0.42876602$

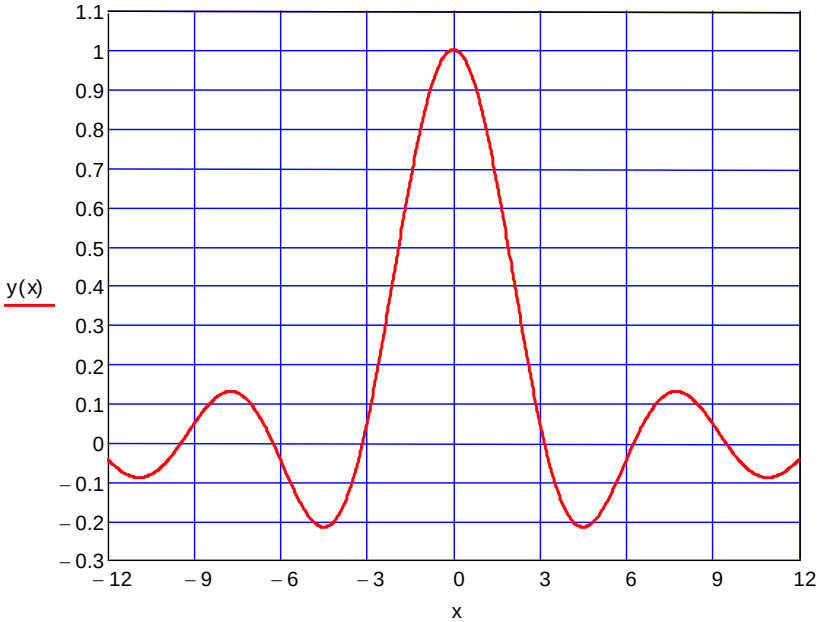
$\mathrm{root}\left(\frac{d}{dx}y(x),x,-6,-4\right) = -4.493$ $\quad$ $x2 := -4.493$ $\quad$ $y(-4.493) = -0.217$

В.2. Рассмотрим следующую функцию

$$y = \sin(x)/x$$

В.2.1. Построим график функции

$$y(x) := \frac{\sin(x)}{x}$$



В.2.2. Первый метод нахождения экстремума – метод *производной* от заданной функции. Используем функцию **root.**

Координаты наибольшего максимума

$$\mathrm{root}\left(\frac{d}{dx}y(x),x,7,8\right) = 7.725 \qquad x6 := 7.725 \qquad y(7.725) = 0.128$$

Координаты экстремумов при отрицательных значениях аргумента ***x* < 0:**

$$\mathrm{root}\left(\frac{d}{dx}y(x),x,-6,-4\right) = -4.493 \qquad x2 := -4.493 \qquad y(-4.493) = -0.217$$

$$\mathrm{root}\left(\frac{d}{dx}y(x),x,-8,-7\right) = -7.725 \qquad x3 := -7.725 \qquad y(-7.725) = 0.128$$

$$\mathrm{root}\left(\frac{d}{dx}y(x),x,-11,-10\right) = -10.904 \qquad x4 := -10.904 \qquad y(-10.904) = -0.091$$

Координаты экстремумов при положительных значениях аргумента ***x* > 0:**

$$\mathrm{root}\left(\frac{d}{dx}y(x),x,4,6\right) = 4.493 \qquad x5 := 4.493 \qquad y(4.493) = -0.217$$

$$\mathrm{root}\left(\frac{d}{dx}y(x),x,-12,12\right) = 0 \qquad x1 := 0 \qquad y(0) = 1$$

$$\mathrm{root}\left(\frac{d}{dx}y(x),x,10,11\right) = 10.904 \qquad x7 := 10.904 \qquad y(10.904) = -0.091$$

В.2.3. Второй метод нахождения экстремума с помощью функций **maximize** и **minimize.**

Координаты наибольшего максимума:

$$x := 2 \qquad x0 := \mathrm{Maximize}(y,x) = 0 \qquad y(0) = 1$$

Координаты экстремумов при отрицательных значениях аргумента ***x* < 0:**

$$x := -2 \qquad x1 := \mathrm{Minimize}(y,x) = -4.493 \qquad y(-4.493) = -0.217$$

$$x := -18 \qquad x2 := \mathrm{Maximize}(y,x) = -7.725 \qquad y(-7.725) = 0.128$$

$$x := -40 \qquad x3 := \mathrm{Minimize}(y,x) = -10.904 \qquad y(-10.904) = -0.091$$

Координаты экстремумов при положительных значениях аргумента ***x* > 0:**

$x := 2$ $\quad x1 := \text{Minimize}(y, x) = 4.493$ $\quad y(4.493) = -0.217$

$x := 18$ $\quad x2 := \text{Maximize}(y, x) = 7.725$ $\quad y(7.725) = 0.128$

$x := 40$ $\quad x3 := \text{Minimize}(y, x) = 10.904$ $\quad y(10.904) = -0.091$

Mathcad v.14

Приложение **Г**

Поиск экстремумов функции двух переменной *z*(*x*, *y*)

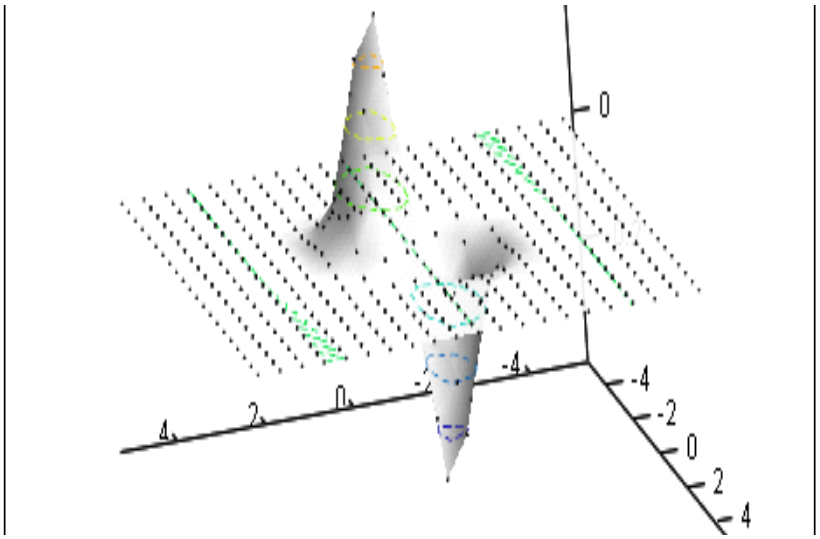
Г.1. Рассмотрим следующую функцию двух переменных

z = sin(x)·e^(- x^2 - y^2).

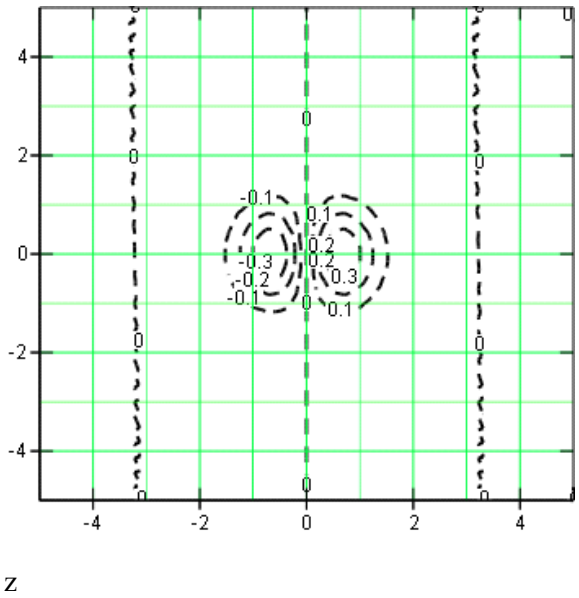
Г.1.1. Построим график функции двух переменных

$$z(x,y) := \left[\sin(x)\cdot e^{\left(-x^2-y^2\right)}\right]$$

График поверхности функции двух переменных имеет вид



Контурный график функции двух переменных имеет вид



Г.1.2. Используя *контурный график*, можно получить приближѐнные значения координат экстремумов:

Максимум:

$$x1 \approx +0{,}7; \quad y1 \approx 0; \quad z1 \approx +0{,}3.$$

Минимум:

$$x2 \approx -0{,}7; \quad y1 \approx 0; \quad z1 \approx -0{,}39466.$$

Отсюда видно, что координаты экстремумов определяются весьма приблизительно.

Приложение В

Пример оформления курсовой работы

В.1. Общие положения

Отчѐт по курсовой работе содержит три основные части:

1) титульный лист;
2) текстовую часть;
3) приложения.

Назначение титульного листа – дать основные сведения о представляемой работе и показать, что предъявляемая информация является документом. Содержание и оформление титульного листа регламентируется нормативными документами.

Назначение текстовой части – представление задания и результатов расчѐта токов КЗ в краткой и легко воспринимаемой форме. Поэтому текстовая часть не должна содержать громоздкую информацию, затрудняющую еѐ восприятие, каковой является расчѐтная часть отчѐта. Текстовая часть должна содержать разделы:

– исходные данные (расчѐтную схему системы электроснабжения и параметры еѐ элементов);
– перечень и условия задач;
– результаты расчѐта по курсовой работе;
– библиографический список.

Назначение приложения – представление громоздкой информации. Изложение информации осуществляется в порядке ссылки на неѐ в текстовой части отчѐта.

Отчѐт должен быть выполнен и оформлен в соответствии с требованиями ГОСТ 2.105–95, других нормативных и методических документов, приведѐнных в библиографическом списке.

В.2. Пример оформление отчёта

Ниже приведѐн пример оформления отчѐта. Титульный лист и текстовая часть выполнены в MS Word. Рисунки текстовой части и приложения выполнены в MS Visio. Приложения выполнены с помощью системы компьютерной математики Derive. Поэтому форматирование приложения представлено так, как принято в этой системе компьютерной математики. Порядок расчѐта токов КЗ приводится несколько в сокращѐнном виде.

Ульяновский государственный технический университет
Энергетический факультет
Кафедра «Электроснабжение»
Дисциплина: «Переходные процессы в системе электроснабжения»

Расчёт аварийных режимов в системе электроснабжения промышленного предприятия

Отчѐт по курсовой работе
(вариант **04**)

Работу выполнил

студент группы Эбд–31 /З. Э. Иванов/

Работу принял /Д. С. Александров/

Ульяновск
2014

СОДЕРЖАНИЕ

1. ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ 80

2. ЗАДАНИЕ НА КУРСОВУЮ РАБОТУ 83

3. РЕЗУЛЬТАТЫ РАСЧЁТА ПО КУРСОВОЙ РАБОТЕ 85

Приложение **А**
Задача 1. Расчѐт параметров трѐхфазного и двухфазного тока КЗ в точке ***К3*** и трѐхфазного тока КЗ в точке ***К4*** в именованных единицах 86

Приложение **Б**
Задача **1**. Расчѐт параметров однофазного тока КЗ в точках ***К3*** и ***К4*** в именованных единицах 112

Приложение **В**
Задача **1**. Расчѐт действующего значения периодической составляющей двухфазного и однофазного тока КЗ в точке ***К3*** методом симметричных составляющих 120

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК 141

1. ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ

1.1. Принципиальная схема системы электроснабжения промышленного предприятия (СЭС ПП, или сокращѐнно СЭС) для расчѐта аварийных режимов – токов короткого замыкания (КЗ), приведена на рис. 1. *Демонстрационный* пример принципиальной схемы системы электроснабжения представляет собой несколько видоизменѐнную **IV**-ю схему заданий на курсовые работы.

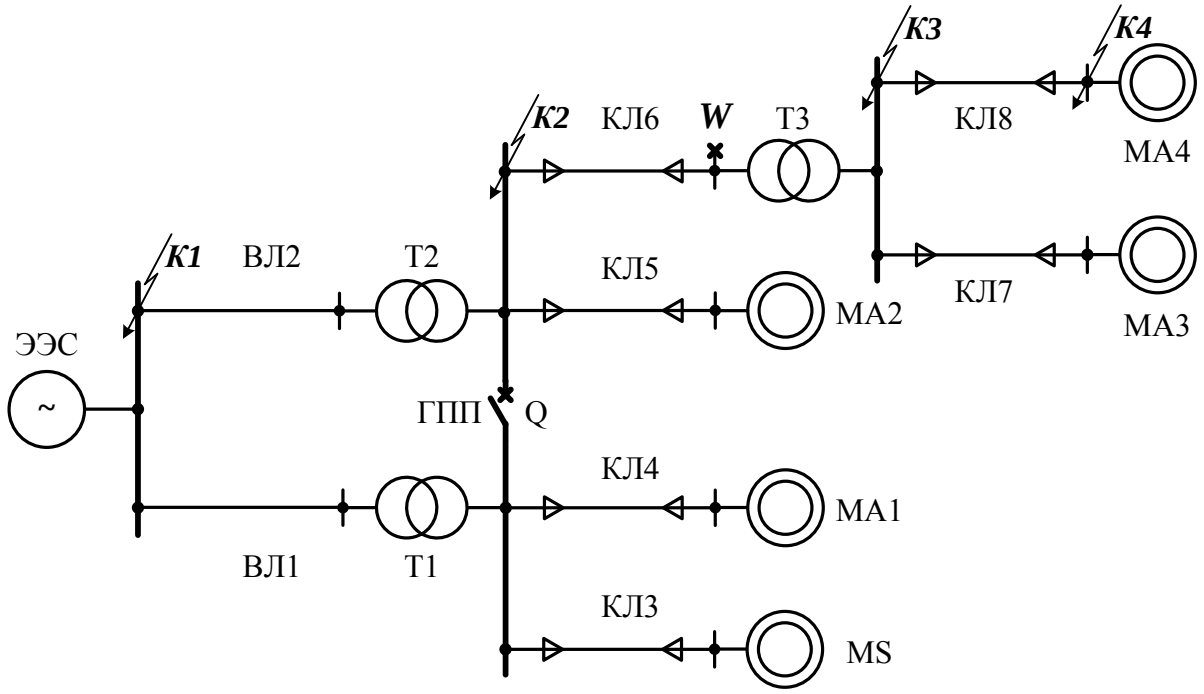


Рис. 1. Принципиальная схема системы электроснабжения:
(***К1–К4***) – точки коротких замыканий; ***W*** – точка построения векторных диаграмм при двухфазном КЗ в точке ***К3***; ГПП – главная понизительная подстанция; Q – секционный выключатель

Точка КЗ ***К4*** выбирается *дополнительно* к точкам КЗ ***К1-К3***, представленным на расчѐтной схеме СЭС. Принцип выбора места КЗ ***К4*** – наименьшая номинальная мощность асинхронного электродвигателя.
В данном примере наименьшую номинальную мощность имеет асинхронный электродвигатель МА4 (**МА4** – типа 4А315s4 $P_Н$ = 0,16 МВт). Значит, точка КЗ ***К4*** находится на выводах электродвигателя МА4.

1.2. Наименование и исходные данные элементов СЭС приведены в табл. 1.

1.3. Дополнительные сопротивления в сети **до 1000 В**.

Таблица 1

ЭЭС: $S_К^{(3)} = \sqrt{3}\cdot U_{НС}\cdot I^{(3)}_К =$ $= 2100$ МВА, где $U_{НС} = 110$ кВ - номинальное напряжение системы; $I^{(3)}_К$ - ток трёхфазного КЗ	**Т1, Т2:** (ТРДН-25000/110) $S_Н = 25$ МВА; $U_{ВН} = 115$ кВ; $U_{НН}$ = **10,5*** кВ; $u_К = 10{,}5$ %; $\Delta P_К = 0{,}12$ МВт; Yн/Δ - схема соединения обмоток	**Т3:**[2]*(ТМ-2500/10) Y/Yн и Δ/Yн - схема соединения обмоток; $S_Н = 2{,}5$ МВА; $U_{ВН} = 10$ кВ; $U_{НН} = 0{,}4$ кВ; $u_К = 5{,}5$ %; $\Delta P_К = 0{,}025$ МВт; $Z_{П.Y/YH} = 25{,}30$ мОм; $Z_{П.\Delta/YH} = 10{,}56$ мОм	
MS[3]*: (СТД-5000) $P_Н = 5$ МВт; $U_Н = 10$ кВ; $I_П = 7{,}22$; $\cos\varphi_Н = 0{,}9$; $\eta_Н = 0{,}975$; $M_П = 2{,}07$	**МА1, МА2**[4]*: (2АЗМ-3200) $P_Н = 3{,}2$ МВт; $U_Н = 10$ кВ; $I_П = 5{,}2$; $\cos\varphi_Н = 0{,}91$; $\eta_Н = 0{,}968$; $M_П = 0{,}9$	**МА3:** (4А355m2) $P_Н = 0{,}315$ МВт; $U_Н = 0{,}38$ кВ; $I_П = 6{,}5$; $\cos\varphi_Н = 0{,}92$; $\eta_Н = 0{,}945$; $M_П = 1{,}2$	**МА4:** (4А315s4) $P_Н = 0{,}16$ МВт; $U_Н = 0{,}38$ кВ; $I_П = 6{,}5$; $\cos\varphi_Н = 0{,}92$; $\eta_Н = 0{,}945$; $M_П = 1{,}3$
ВЛ1, ВЛ2: $F = 95$ мм^2; $l = 40$ км; $R_{ПГ} = 0{,}306$ Ом/км; $X_{ПГ} = 0{,}434$ Ом/км	**КЛ3**[5]*: ***m* = 2**; $F = 150$ мм^2; $l = 0{,}45$ км; $R_{ПГ} = 0{,}206$ Ом/км; $X_{ПГ} = 0{,}079$ Ом/км; $I_С = 1{,}36$ А/км	**КЛ4, КЛ5:** $m = 1$; $F = 185$ мм^2; $l = 0{,}4$ км; $R_{ПГ} = 0{,}167$ Ом/км; $X_{ПГ} = 0{,}077$ Ом/км; $I_С = 1{,}50$ А/км	**КЛ6:** $m = 1$; $F = 120$ мм^2; $l = 0{,}5$ км; $R_{ПГ} = 0{,}258$ Ом/км; $X_{ПГ} = 0{,}081$ Ом/км; $I_С = 1{,}23$ А/км
КЛ7[5]*: ***m* = 2**; $F = 185$ мм^2; $l = 45$ м; $R_{ПГ} = 0{,}167$ мОм/м; $X_{ПГ} = 0{,}063$ мОм/м; $Z_{П.ПГ} = 0{,}37$ мОм/м	**КЛ8**[5]*: ***m* = 2**; $F = 150$ мм^2; $l = 30$ м; $R_{ПГ} = 0{,}206$ мОм/м; $X_{ПГ} = 0{,}063$ мОм/м; $Z_{П.ПГ} = 0{,}45$ мОм/м	-	-

Примечания:

***** – Номинальное напряжение обмотки низкого напряжения трансформатора в **данном** примере. В конкретной задаче, чаще всего, $U_{НН}$ = **6,6** кВ или $U_{НН}$ = **11** кВ !!!

[2]* – Параметры *нулевой* последовательности **Т3.** При схеме соединения обмоток $Y/Y_Н$ $R_{Т0} = 8{,}8$ мОм и $X_{Т0} = 16{,}3$ мОм. При схеме соединения обмоток $\Delta/Y_Н$ $R_{Т0} = R_{Т1}$ и $X_{Т0} = X_{Т1}$.

[3]* – Синхронный электродвигатель до возникновения КЗ работал в *номинальном* режиме.
с *перевозбуждением*.

[4]* – Асинхронные электродвигатели до возникновения КЗ работал в *номинальном* режиме.

[5]* – Погонные параметры кабельной линии **КЛ3** $R_{ПГ}$, $X_{ПГ}$, $I_С$, $Z_{ППГ}$, и кабельных линий **КЛ7**, **КЛ8**: $R_{ПГ}$, $X_{ПГ}$, $Z_{ППГ}$ даны для одного кабеля при количестве кабелей в линии ***m* = 2**

Номинальное напряжение сети низкого напряжения в данном примере $U_{нс}$ = 380 В.

1.3.1. *Трёхфазное* КЗ – $\boldsymbol{K^{(3)}}$. Метод *электрической цепи*.

На **I**-й ступени (РУНН п/ст – точка КЗ ***К3***) $\boldsymbol{X_{доп}}$ **= 1 мОм** и $\boldsymbol{R_{доп}}$ **= 1 мОм.**

На **II**-й ступени (НКУ ближайшее к п/ст – точка КЗ ***К4***) для всей цепи до места КЗ, включая **I**-ю ступень, общее значение $\boldsymbol{R_{доп}}$ **= 5 мОм**.

Дополнительное сопротивление в ветви с *асинхронным двигателем* МАЗ не учитывается из-за незначительного его вклада в общее сопротивление ветви.

1.3.2. *Двухфазное* КЗ – $\boldsymbol{K^{(2)}}$.

1.3.2.1. Метод *электрической цепи*.

Специального учѐта дополнительных сопротивлений не требуется.

1.3.2.2. Метод *симметричных составляющих*.

На **I**-й ступени (РУНН п/ст – точка КЗ ***К3***)

$$\boldsymbol{X_{доп1} = X_{доп2} = X_{доп} = 1\ мОм} \text{ и } \boldsymbol{R_{доп1} = R_{доп2} = R_{доп} = 1\ мОм},$$

где $\boldsymbol{X_{доп1}}$, $\boldsymbol{R_{доп1}}$ – соответственно индуктивное и активное сопротивление *прямой последовательности*;

$\boldsymbol{X_{доп2}}$, $\boldsymbol{R_{доп2}}$ – соответственно индуктивное и активное сопротивление *обратной последовательности*;

$\boldsymbol{X_{доп}}$, $\boldsymbol{R_{доп}}$ – соответственно индуктивное и активное сопротивление для *трёхфазного* тока КЗ.

1.3.3. *Однофазное* КЗ – $\boldsymbol{K^{(1)}}$.

1.3.3.1. Метод *модулей*.

На **I**-й ступени (РУНН п/ст – точка КЗ ***К3***) $\boldsymbol{Z_{доп}}$ **= 2 мОм**.

На **II**-й ступени (НКУ ближайшее к п/ст – точка КЗ ***К4***) для всей цепи до места КЗ, включая **I**-ю ступень общее значение $\boldsymbol{Z_{доп}}$ **= 10 мОм**.

1.3.3.2. Метод *симметричных составляющих*.

а) *Прямая* и *обратная* последовательности на **I**-й ступени (РУНН п/ст – точка КЗ ***К3***)

$$\boldsymbol{X_{доп1} = X_{доп2} = X_{доп} = 1\ мОм} \text{ и } \boldsymbol{R_{доп1} = R_{доп2} = R_{доп} = 1\ мОм},$$

где $\boldsymbol{X_{доп1}}$, $\boldsymbol{R_{доп1}}$ – соответственно индуктивное и активное сопротивление *прямой последовательности*;

$\boldsymbol{X_{доп2}}$, $\boldsymbol{R_{доп2}}$ – соответственно индуктивное и активное сопротивление *обратной последовательности*;

$\boldsymbol{X_{доп}}$, $\boldsymbol{R_{доп}}$ – соответственно индуктивное и активное сопротивление для *трёхфазного* тока КЗ.

б) *Нулевая* последовательность на на **I**-й ступени (РУНН п/ст – точка КЗ ***К3***) $\boldsymbol{X_{доп.0}}$ **= 4 мОм** и $\boldsymbol{R_{доп.0}}$ **= 4 мОм**.

2. ЗАДАНИЕ НА КУРСОВУЮ РАБОТУ

2.1. Задача 1

2.1.1. Форма расчѐта и расчѐтная схема к задаче **1**.

2.1.1.1. Расчѐт токов КЗ задачи **1** следует выполнить для начального момента времени $t = 0$ в ***именованных единицах***, то есть представить:

– ЭДС источников напряжения, [В];
– напряжения, [В];
– сопротивления элементов схемы замещения, [мОм];
– токи КЗ, [кА].

2.1.1.2. Расчѐтная схема СЭС к *реальной* задаче **1** выделена *пунктиром***.** Остальные элементы расчѐтной схемы СЭС *отсутствуют*.

Демонстрационный пример схемы к задаче **1**, составленный на основании схемы СЭС (см. рис. 1), приведѐн на рис. 2.

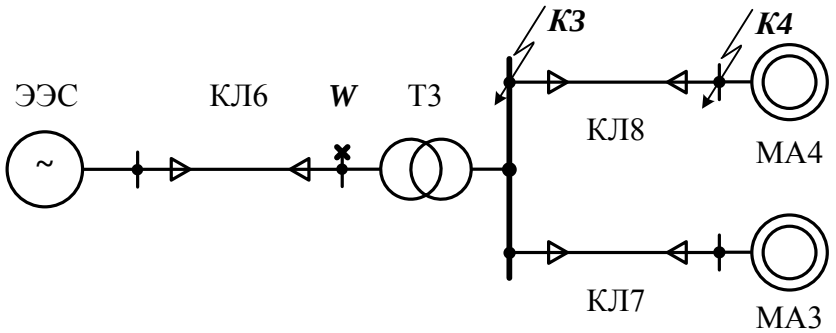


Рис. 2. Расчѐтная схема к задаче **1**:
КЗ и ***К4*** – точки коротких замыканий в сети $U_{НС}$ = 380 В;
W – точка построения векторных диаграмм при двухфазном КЗ в точке ***КЗ***

2.1.1.3. Исходные данные элементов СЭС взять из табл. 1. *Дополнительное* условие к задаче **1** – мощность КЗ на шинах ЭЭС принять равной $S_к^{(3)} = \sqrt{3}\cdot U_{нс}\cdot I^{(3)}_к = \infty$.

2.1.2. Расчѐтные точки КЗ:

– ***КЗ*** на шинах низкого напряжения понижающего силового трансформатора с номинальными напряжениями обмоток 10/0,4 кВ;

– ***К4*** на выводах асинхронного электродвигателя с *наименьшей* номинальной мощностью (**МА4** – типа 4А315s4 с $P_н$ = 0,16 МВт);

2.1.3. Метод, режим тока КЗ, перечень необходимых расчѐтов, методические указания и последовательность выполняемых расчѐтов.

Необходимо произвести для выделенной части СЭС (см. рис. 2) следующие расчѐты:

1). Определить действующее значение периодической составляющей *трёхфазного* тока КЗ – $I^{(3)}$ и ударный ток $i_у$ методом *электрической цепи* в точке ***К3***.

Режим тока КЗ – *максимальный*.

Построить волновые и векторные диаграммы при начальной фазе ЭДС источника питания: α[3] = 0° и α = 90°. На соответствующей волновой диаграмме обозначить мгновенное значение тока, равное значению ударного тока $i_у$.

2). Определить действующее значение периодической составляющей *трёхфазного* тока КЗ методом *электрической цепи* – $I^{(3)}$ в точке ***К4***.

Режим тока КЗ – *максимальный*.

3). Определить действующее значение периодической составляющей *двухфазного* тока КЗ – $I^{(2)}$ методом *электрической цепи* и методом *симметричных составляющих* в точке ***К3***.

Режим тока КЗ – *максимальный*.

Построить, используя метод симметричных составляющих, векторные диаграммы токов и напряжений в точке ***К3*** и на выводах обмотки высокого напряжения силового трансформатора (точка ***W***). Построение векторных диаграмм токов и напряжений в точке ***К3*** выполнить при начальной фазе ЭДС источника питания равного α = 90°.

4). Определить действующее значение периодической составляющей *однофазного* тока КЗ – $I^{(1)}$ методом *полных сопротивлений* и методом *симметричных составляющих* в точке ***К3***. Определение значений $I^{(1)}$ выполнить, принимая схему и группу соединений обмоток трансформатора – Д/У$_н$–11 и У/У$_н$–12.

Определение тока методом *полных сопротивлений* следует выполнять в *минимальном* режиме тока КЗ.

Определение тока методом *симметричных составляющих* следует выполнять в *максимальном* режиме тока КЗ.

Построить, используя метод *симметричных составляющих*, векторные диаграммы токов и напряжений в точке ***К3*** при начальной фазе ЭДС источника питания равного α = 90°.

5). Определить действующее значение периодической составляющей *однофазного* тока КЗ – $I^{(1)}$ методом *полных сопротивлений* в точке ***К4***. Определение значений $I^{(1)}$ выполнить, принимая схему и группу соединений обмоток трансформатора **Т4** – Д/У$_н$–11 и У/У$_н$–12.

Режим тока КЗ – *минимальный*.

2.1.4. Построение векторных диаграмм выполнить без учѐта предшествующей нагрузки, влияния электродвигателей и масштабных коэффициентов.

---

[3] Мгновенное значение ЭДС источника питания определяется выражением $e = E_m\sin(\omega t + \alpha)$, где α – начальная фаза ЭДС в момент времени t = 0, или иначе угол включения

3. РЕЗУЛЬТАТЫ РАСЧЁТА ПО КУРСОВОЙ РАБОТЕ

3.1. Результаты расчѐта приводят в табл. 2

Таблица 2

Точка КЗ	Вид КЗ	Значение токов в фазах, кА				Применяемый метод расчѐта тока КЗ
		А		**В**	**С**	
		I_A	$i_у$	I_B	I_C	
К3	$К^{(3)}$	52,6	95,1	52,6	52,6	Метод электрической цепи
	$К^{(2)}$	-	-	$45,6^3$	$45,6^3$	
	$К^{(1)}$	$39,8/21,1^2$	-	-	-	Метод полных сопротивлений
	$К^{(2)}$	-	-	43,0	43,0	Метод симметричных составляющих
	$К^{(1)}$	$39,3/21,6^2$	-	-	-	
К4	$К^{(3)}$	23,5	33,5	23,5	23,5	Метод электрической цепи
	$К^{(1)}$	$10,8/8,7^2$	-	-	-	Метод полных сопротивлений

Примечания:

1. Значение тока однофазного КЗ на землю $I_C^{(1)}$ в сети с изолированной нейтралью дано в амперах.
2. В числителе приведено значение однофазного тока КЗ при схеме соединения обмоток трансформатора $Д/У_Н$, а в знаменателе при схеме соединения обмоток $У/У_Н$.
3. Значение тока КЗ от ЭЭС без учѐта тока КЗ от электродвигателя.
4. Режим *максимального тока* КЗ – по положениям позиций № 1, 2 и 4–6 № 3–11.
5. I_A, I_B, I_C – действующие значения периодической составляющей тока КЗ, кА.
   $i_у$ – ударный ток КЗ, кА

Derive v. 6.10

Приложение **А**

Задача 1

Расчёт параметров *трёхфазного* и *двухфазного* КЗ в точке *К3*
и *трёхфазного* тока КЗ в точке *К4*
в *<u>именованных</u>* единицах

НАСТРОЙКА РЕЖИМОВ ВЫЧИСЛЕНИЙ

Устанавливается режим слова при вводе переменных с 2-я и более знаками.

```
#1:   InputMode := Word
```

Устанавливается режим вывода результатов вычислений с 10-ю значащими разрядами.

```
#2:   NotationDigits := 10
```

Устанавливается возможность режима вычислений выражений в месте их расположения, а не в конце всего отчёта при каждом вычислении.

```
#3:   Precision := Approximate
```

Устанавливается форма вывода данных

```
#4:   Notation := Scientific
```

А.1. ЦЕЛЬ, УСЛОВИЯ И ПОРЯДОК РАСЧЁТА ТРЁХФАЗНОГО ТОКА КЗ

А.1.1. Произвести расчёт параметров ***Iк, iу трёхфазного*** тока КЗ в точках ***К3*** и ***К4*** при следующих условиях:

- для начального момента времени $t = 0$;
- в режиме *<u>максимального</u> тока*;
- мощность трèхфазного КЗ на шинах системы (ЭЭС) SK^(3) = ∞;
- ЭЭС присоединена непосредственно к кабельной линии КЛ4;
- методом ***электрической цепи***.

А.1.2. Порядок расчёта трёхфазного тока КЗ методом электрической цепи

1. Составляется однолинейная расчётная схема сети задачи **1**, содержащая источник питания (ЭЭС) в предположении бесконечной мощности КЗ на его выводах, высоковольтную кабельную линию, трансформатор, низковольтную кабельную сеть и асинхронный двигатель.

2. Из методических указаний выбирается наименование электрооборудования, требуемый перечень исходных данных и контрольные точки расчёта тока КЗ.

3. На основании заданной расчётной схемы составляется схема замещения относительно точки КЗ.

Источник питания (ЭЭС) вводится в схему замещения идеальным источником напряжения с ЭДС, равной $E = 1{,}05U_н$ (по условию задачи **1** мощность трёхфазного КЗ на выводах источника питания равна бесконечности $S_К^{(3)} = \infty$).

Высоковольтная кабельная линия, трансформатор, низковольтная кабельная сеть вводятся в схему замещения их индуктивными и активными сопротивлениями.

Асинхронный двигатель вводится в схему замещения реальным источником напряжения, характеризуемого ЭДС, индуктивным и активным сопротивлением.

В схему замещения также вводится дополнительное сопротивление, обусловленное неучтёнными сопротивлениями распределительных устройств низкого напряжения п/ст и низковольтных комплектных устройств.

4. Представление значения величин в *именованных* единицах: ЭДС, напряжений, [**В**]; сопротивлений, [**мОм**]; токов КЗ, [**кА**].

5. Выполняется преобразование исходной схемы замещения к эквивалентной схеме замещения.

6. Определяется модуль результирующего сопротивления до точки КЗ

$$Z = \sqrt{(R^2 + X^2)}.$$

7. Находится действующее значение периодической составляющей тока КЗ

#5: $$I_К^{(3)} = \frac{1.05 \cdot u_н}{Z_\Sigma}$$

8. Определяется ударный ток КЗ

$$i_у = \sqrt{2} \cdot I_К \cdot k_у,$$

где $I_К$ – значение *периодической* составляющей тока КЗ;

$k_у = 1 + e^{(-0{,}01/T_а)}$ – ударный коэффициент, здесь $T_а$ – постоянная

времени затухания апериодической составляющей тока КЗ

$$T_a = X\ /(\omega R\ ).$$

9. Строятся волновые и векторные диаграммы для начальных фаз напряжения $\boldsymbol{\alpha = 0°}$ и $\boldsymbol{\alpha = 90°}$.

А.2. РАСЧЁТ ПАРАМЕТРОВ $I_{К3}$, $i_у$ ТРЁХФАЗНОГО ТОКА КЗ В ТОЧКЕ *К3*

А.2.1. Расчётная схема и схемы замещения для расчёта тока КЗ в точке ***К3*** приведены на рис. А.1.

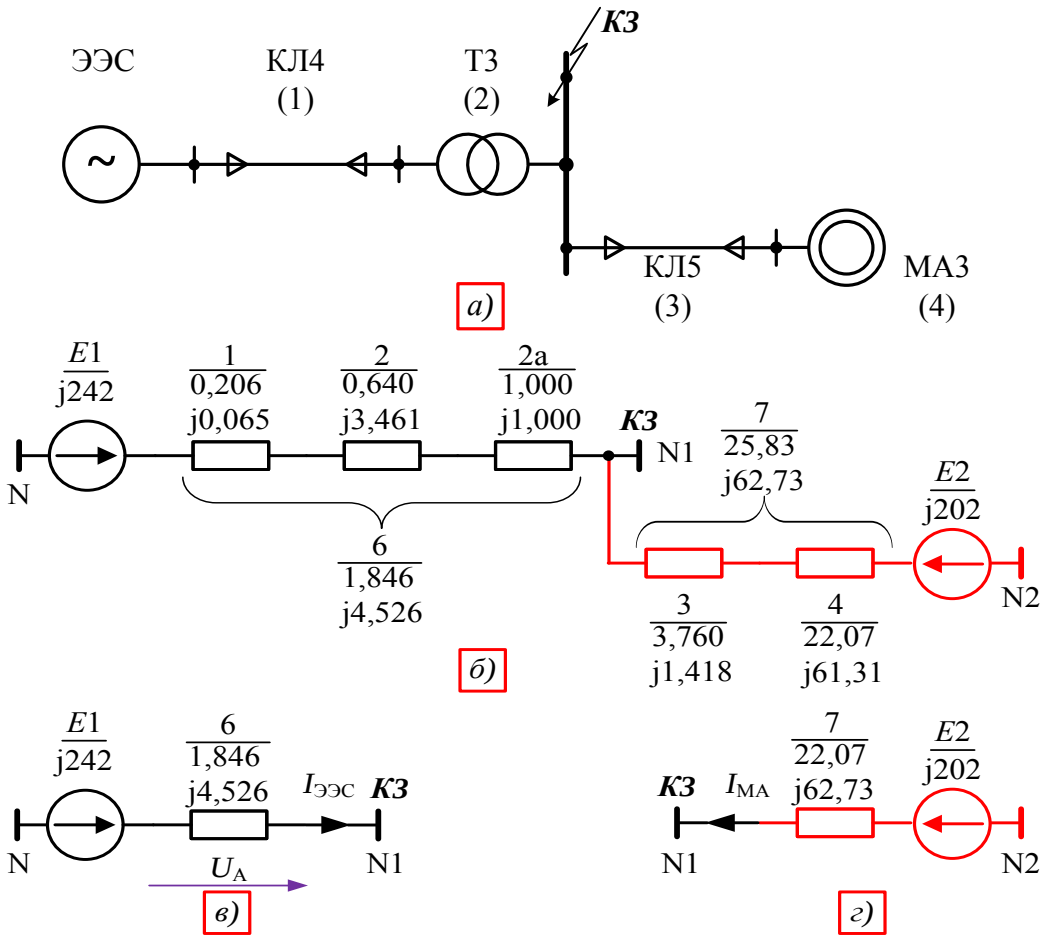


Рис. А.1. Расчѐтная схема системы электроснабжения (а), схема замещения для расчѐта тока трѐхфазного КЗ в точке ***К3*** (б), эквивалентная схема замещения цепи ЭЭС (в) и эквивалентная схема замещения цепи асинхронного электродвигателя МА3 (г):

N, N2, N1 – нейтральные точки источников питания и места КЗ

А.2.2. Расчёт значений элементов схемы замещения

А.2.2.1. Параметры источника напряжения **Е1** (E1 и XЭЭС)

А.2.2.1.1. ЭДС источника напряжения Е1

#6: $$E1 = \frac{uср \cdot н}{\sqrt{3} \cdot kт} = \frac{10500}{\sqrt{3} \cdot 25}$$

где $k_т = U_{вн}/U_{нн}$ – коэффициент трансформации трансформатора **Т3**, здесь $U_{вн}$ – номинальное напряжение обмотки высокого напряжения; $U_{нн}$ – номинальное напряжение об мотки низкого напряжения.

#7: $$E1 = 242.487113 \cdot [В]$$

А.2.2.1.2. Сопротивление источника напряжения *по условию задачи* **1** равно нулю XЭЭС = 0 и RЭЭС = 0, так как мощность трёхфазного КЗ на выводах **ЭЭС** принимается бесконечной.

А.2.2.2. Параметры кабельной линии **КЛ4** (R1 и X1)

#8: $$r1 = \frac{rпг4 \cdot l}{kт^2} = \frac{0.258 \cdot 500}{25^2}$$

#9: $$r1 = \frac{0.258 \cdot 500}{25^2}$$

#10: $$r1 = 0.2064 \cdot [мОм]$$

#11: $$X1 = \frac{Xпг4 \cdot l}{kт^2} = \frac{0.081 \cdot 500}{25^2}$$

#12: $$X1 = \frac{0.081 \cdot 500}{25^2}$$

#13: $$X1 = 0.0648 \cdot [мОм]$$

А.2.2.3. Параметры трансформатора **Т3** (*R*2 и *X*2)

А.2.2.3.1. Значение модуля сопротивления трансформатора (*Z*2)

$$\#14:\quad Z2 = \frac{uк \cdot uнн^2}{100 \cdot sн} = \frac{5.5 \cdot 0.4^2 \cdot 10^3}{100 \cdot 2.5}$$

$$\#15:\quad Z2 = \frac{5.5 \cdot 0.4^2 \cdot 10^3}{100 \cdot 2.5}$$

$$\#16:\quad Z2 = 3.52 \cdot [мОм]$$

А.2.2.3.2. Значения параметров трансформатора (*R*2 и *X*2)

$$\#17:\quad r2 = \frac{\Delta Pкз \cdot uнн^2}{sн^2} = \frac{0.025 \cdot 10^3 \cdot 0.4^2}{2.5^2}$$

$$\#18:\quad r2 = \frac{0.025 \cdot 10^3 \cdot 0.4^2}{2.5^2}$$

$$\#19:\quad r2 = 0.64 \cdot [мОм]$$

$$\#20:\quad X2 = \sqrt{(Z2^2 - r2^2)} = \sqrt{(3.52^2 - 0.64^2)}$$

$$\#21:\quad X2 = \sqrt{(3.52^2 - 0.64^2)}$$

$$\#22:\quad X2 = 3.461329224 \cdot [мОм]$$

А.2.2.4. Значение дополнительного сопротивления на <u>**I**-й ступени</u> распределения энергии (точка КЗ ***К4***) принимается равным
*R*2а = 1 мОм и *X*2а = 1 мОм.

Примечание. – Правила выбора значения дополнительного сопротивления в зависимости от номинального напряжения сети $U_н$ при КЗ на **I**-й ступени распределения

энергии (точка КЗ ***КЗ***).

В случае сети с $U_н$ = 380 В дополнительное сопротивление при КЗ на шинах п/ст при трѐхфазном КЗ принимается равным $r_{доп}$ = 1 мОм и $X_{доп}$ = 1 мОм.

Если расчѐт тока КЗ выполняется в сети с $U_н$ = 660 В, то дополнительное сопротивление при КЗ на шинах п/ст принимается равным $r_{доп} = \sqrt{3}$ мОм (в корень из трѐх раз большим, чем в сети с $U_н$ = 380 В) и $X_{доп}$ = 1 мОм.

А.2.2.5. Параметры ветви источника питания (см. рис. А.1, *в*): **ЭЭС–КЛ4–Т3** (*R*6 и *X*6)

#23: $X6 = X1 + X2 + X2a = 0.0648 + 3.461329224 + 1$

#24: $X6 = 4.526129223 \cdot [мОм]$

#25: $r6 = r1 + r2 + r2a = 0.2064 + 0.64 + 1$

#26: $r6 = 1.8464 \cdot [мОм]$

#27: $Z6 = \sqrt{(r6^2 + X6^2)} = \sqrt{(1.8464^2 + 4.526129223^2)}$

#28: $Z6 = 4.888255179 \cdot [мОм]$

А.2.3. Расчёт тока КЗ в точке *КЗ* от ЭЭС

А.2.3.1. Действующее значение периодической составляющей тока в точке ***КЗ*** от **ЭЭС**

#29: $Iээс = \frac{E1}{Z6} = \frac{242.487113}{4.888255179} = 49.60606681$

#30: $Iээс = 49.60606681 \cdot [кА]$

А.2.3.2. Значение ударного тока в точке ***КЗ*** от **ЭЭС**

#31: $iyЭЭС = \sqrt{2} \cdot IЭЭС \cdot (1 + e^{-0.01/(X6/(\omega \cdot r6))}) =$

$= \sqrt{2} \cdot 49.60606681 \cdot (1 + e^{-0.01/(4.526129223/(314 \cdot 1.8464))})$

#32: $iyЭЭС = \sqrt{2} \cdot 49.60606681 \cdot (1 + e^{-0.01/(4.5261292/(314 \cdot 1.8464))})$

#33: $iyЭЭС = 89.64057306 \cdot [кА]$

А.2.4. Волновые и векторные диаграммы ЭДС, напряжений и токов от ЭЭС при трёхфазном КЗ в точке *К3*

А.2.4.1. Угол сдвига фаз φ между напряжением источника питания, либо ЭДС источника питания и периодической составляющей тока КЗ ***I*ЭЭС** любой из фаз цепи в *радианах*

$$\#34:\quad \phi = \mathrm{ATAN}\left(\frac{X6}{r6}\right) = \mathrm{ATAN}\left(\frac{4.526129223}{1.8464}\right)$$

$$\#35:\quad \phi = \mathrm{ATAN}\left(\frac{X6}{r6}\right) = \mathrm{ATAN}\left(\frac{4.526129223}{1.8464}\right)$$

$$\#36:\quad \phi = 1.183461863\cdot[\text{рад}]$$

Угол сдвига фаз φ между напряжением источника питания и периодической составляющей тока КЗ в *градусах*

$$\#37:\quad \phi = \phi\cdot[\text{рад}]\cdot\frac{180}{\pi} = 1.183461863\cdot\frac{180}{\pi}$$

$$\#38:\quad \phi = 67.80736996^\circ$$

А.2.4.2. Волновые и векторные диаграммы для начальной фазы напряжения источника питания $\boldsymbol{\alpha = 0^\circ}$ в фазе **А** цепи.

А.2.4.2.1. Волновые диаграммы в фазах **А**, **В**, **С**

Фаза А

$$\#39:\ iA = \sqrt{2}\cdot Iээс\cdot \mathrm{SIN}(\omega t-\phi) - \sqrt{2}\cdot Iээс\cdot \mathrm{SIN}(-\phi)\cdot e^{-t/(X6/(\omega\cdot r6))} =$$

$$= \sqrt{2}\cdot 49.60606681\cdot \mathrm{SIN}(314\cdot t - \phi) -$$

$$- \sqrt{2}\cdot 49.60606681\cdot \mathrm{SIN}(-\phi)\cdot e^{-t/(4.526129223/(314\cdot 1.8464))}$$

$$\#40:\quad iA = \sqrt{2}\cdot 49.60606681\cdot \mathrm{SIN}(314\cdot t - 1.183461863) -$$

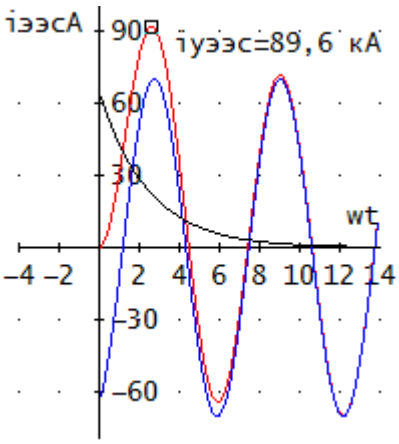
$$- \sqrt{2}\cdot 49.60606681\cdot \mathrm{SIN}(-1.183461863)\cdot e^{-t/(4.526129/(314\cdot 1.8464))}$$

#41: $\mathrm{IF}(0 < \omega t < 7\cdot\pi,\ \sqrt{2}\cdot 49.60606681\cdot \mathrm{SIN}(\omega t - 1.183461863) - \sqrt{2}\cdot 49.60606681\cdot \mathrm{SIN}(-1.183461863)\cdot e^{-\omega t/(4.526129/1.8464)})$

#42: $\mathrm{IF}(0 < \omega t < 7\cdot\pi,\ \sqrt{2}\cdot 49.60606681\cdot \mathrm{SIN}(\omega t - 1.183461863))$

#43: $\mathrm{IF}(0 < \omega t < 7\cdot\pi,\ -\sqrt{2}\cdot 49.60606681\cdot \mathrm{SIN}(-1.183461863)\times e^{-\omega t/(4.526129/1.8464)})$

Значение ударного тока ***i*уЭЭС** определяем посредством специального маркера **[]** графического окна Derive.



<u>Фаза В</u>

#44: $iB = \sqrt{2}\cdot Iээс\cdot \mathrm{SIN}\left(\omega t - \frac{\pi\cdot 2}{3} - \phi\right) - \sqrt{2}\cdot Iээс\cdot \mathrm{SIN}\left(-\frac{\pi\cdot 2}{3} - \phi\right)\times e^{-\omega t/(X6/r6)} = \sqrt{2}\cdot 49.60606681\cdot \mathrm{SIN}\left(\omega t - \frac{\pi\cdot 2}{3} - 1.183461\right) - \sqrt{2}\cdot 49.6060668\cdot \mathrm{SIN}\left(-\frac{\pi\cdot 2}{3} - 1.183461\right)\cdot e^{-\omega t/(4.5261/1.8464)}$

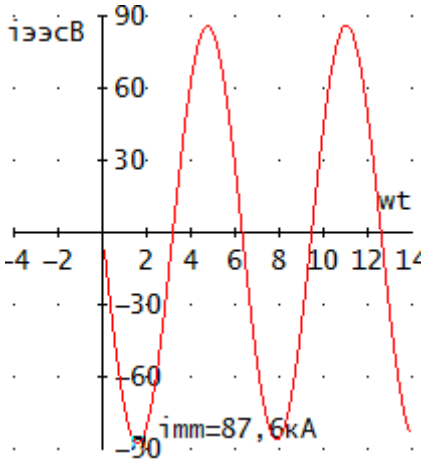
#45: $iB = \sqrt{2}\cdot 49.60606681\cdot \mathrm{SIN}\left(\omega t - \frac{\pi\cdot 2}{3} - 1.183461\right) -$

$$-\sqrt{2}\cdot 49.6060668\cdot SIN\left(-\frac{\pi\cdot 2}{3}-1.183461\right)\cdot e^{-\omega t/(4.5261/1.8464)}$$

$$\#46:\ IF\left(0<\omega t<7\cdot\pi,\ \sqrt{2}\cdot 49.60606\cdot SIN\left(\omega t-\frac{\pi\cdot 2}{3}-1.183461\right)-\right.$$

$$\left.-\sqrt{2}\cdot 49.60606\cdot SIN\left(-\frac{\pi\cdot 2}{3}-1.183461\right)\cdot e^{-\omega t/(4.526129/1.8464)}\right)$$

Определение максимального мгновенного значения тока КЗ ***imm*** выполнятся посредством специального маркера **[]** графического окна Derive



<u>Фаза С</u>

$$\#47:\ iC=\sqrt{2}\cdot Iээс\cdot SIN\left(\omega t+\frac{\pi\cdot 2}{3}-\phi\right)-\sqrt{2}\cdot Iээс\cdot SIN\left(\frac{\pi\cdot 2}{3}-\phi\right)\times$$

$$\times e^{-\omega t/(X6/r6)}=\sqrt{2}\cdot 49.6060668\cdot SIN\left(\omega t+\frac{\pi\cdot 2}{3}-1.18346186\right)-$$

$$-\sqrt{2}\cdot 49.6060668\cdot SIN\left(+\frac{\pi\cdot 2}{3}-1.1834618\right)\cdot e^{-\omega t/(4.526129/1.8464)}$$

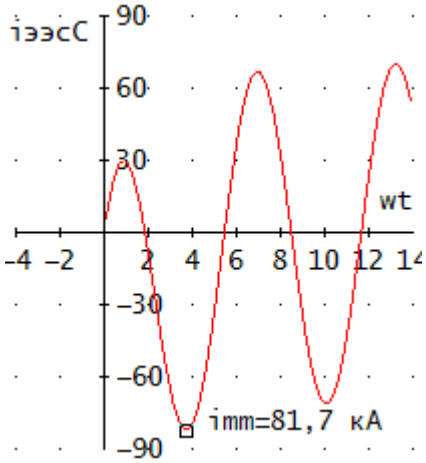
$$\#48:\ iC=\sqrt{2}\cdot 49.6060668\cdot SIN\left(\omega t+\frac{\pi\cdot 2}{3}-1.1834618\right)-$$

$$- \sqrt{2}\cdot 49.6060668\cdot \mathrm{SIN}\left(\frac{\pi\cdot 2}{3} - 1.1834618\right)\cdot e^{-\omega t/(4.52612/1.8464)}$$

$$\#49:\ \mathrm{IF}\left(0 < \omega t < 7\cdot\pi,\ \sqrt{2}\cdot 49.6060668\cdot \mathrm{SIN}\left(\omega t + \frac{\pi\cdot 2}{3} - 1.1834618\right) - \right.$$

$$\left. - \sqrt{2}\cdot 49.6060668\cdot \mathrm{SIN}\left(\frac{\pi\cdot 2}{3} - 1.18346186\right)\cdot e^{-\omega t/(4.5261292/1.8464)}\right)$$

Определение максимального мгновенного значения тока КЗ ***i*mm** выполняется посредством специального маркера **[]** графического окна Derive



А.2.4.2.2. Векторная диаграмма для начальной фазы напряжения источника питания **α = 0°** или ЭДС источника питания в фазе **А** электрической цепи приведена на рис. А.2.

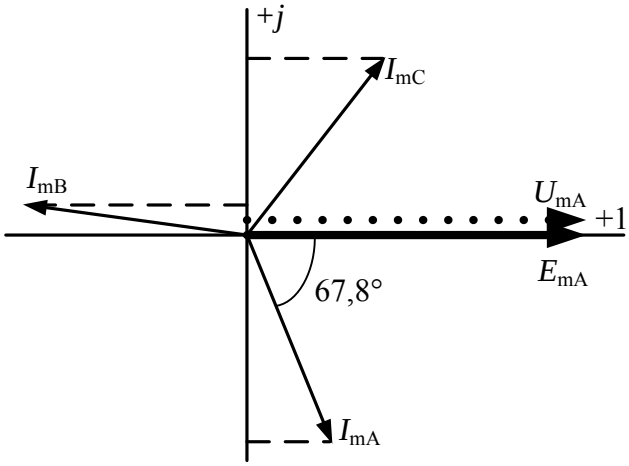


Рис. А.2. Векторная диаграмма при начальной фазе напряжения **α = 0°**

А.2.4.3. Волновые и векторные диаграммы для начальной фазы напряжения источника питания **α = 90°** в фазе электрической цепи **А.**

А.2.4.3.1. Волновые диаграммы в фазах **А**, **В**, **С**.

а). Угол сдвига фаз между током и напряжением φ в *радианах* и *градусах* остаётся таким же, как и при начальной фазе напряжения **α = 0°**

#50: $\phi = 1.183461863 \cdot [\text{рад}]$

#51: $\phi = 67.80736996°$

б). Волновые диаграммы в фазах **А**, **В**, **С**

Фаза А

#52: $iA = \sqrt{2} \cdot I_{ээс} \cdot SIN(\omega t + \alpha - \phi) - \sqrt{2} \cdot I_{ээс} \cdot SIN(\alpha - \phi) \times$

$$\times e^{-t/(X6/(\omega \cdot r6))} = \sqrt{2} \cdot 49.6060668 \cdot SIN\left(314 \cdot t + \frac{\pi}{2} - 1.1834618\right) -$$

$$- \sqrt{2} \cdot 49.6060668 \cdot SIN\left(\frac{\pi}{2} - 1.1834618\right) \cdot e^{-t/(4.5261/(314 \cdot 1.8464))}$$

#53: $$iA = \sqrt{2} \cdot 49.6060668 \cdot SIN\left(314 \cdot t + \frac{\pi}{2} - 1.1834618\right) -$$

$$- \sqrt{2} \cdot 49.6060668 \cdot SIN\left(\frac{\pi}{2} - 1.1834618\right) \cdot e^{-t/(4.5261/(314 \cdot 1.8464))}$$

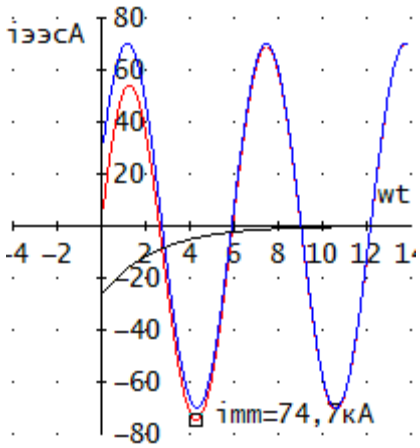
#54: $$IF\left(0 < \omega t < 7 \cdot \pi,\ \sqrt{2} \cdot 49.6060668 \cdot SIN\left(\omega t + \frac{\pi}{2} - 1.1834618\right) -\right.$$

$$\left. - \sqrt{2} \cdot 49.6060668 \cdot SIN\left(\frac{\pi}{2} - 1.1834618\right) \cdot e^{-\omega t/(4.5261/1.8464)}\right)$$

#55: $$IF\left(0 < \omega t < 7 \cdot \pi,\ \sqrt{2} \cdot 49.6060668 \cdot SIN\left(\omega t + \frac{\pi}{2} - 1.1834618\right)\right)$$

$$\#56:\quad IF\left(0 < \omega t < 7\cdot\pi,\ -\sqrt{2}\cdot 49.6060668\cdot SIN\left(\frac{\pi}{2} - 1.1834618\right)\times e^{-\omega t/(4.5261/1.8464)}\right)$$

Определение максимального мгновенного значения тока КЗ ***imm*** выполняется посредством специального маркера **[]** графического окна Derive



<u>Фаза В</u>

$$\#57:\quad iB = \sqrt{2}\cdot Iээс\cdot SIN\left(\omega t + \frac{\pi}{2} - \frac{\pi\cdot 2}{3} - \phi\right) - \sqrt{2}\cdot Iээс\cdot SIN\left(\frac{\pi}{2} - \frac{\pi\cdot 2}{3} - \phi\right)\cdot e^{-\omega t/(X6/r6)} = \sqrt{2}\cdot 49.6060668\cdot SIN\left(\omega t + \frac{\pi}{2} - \frac{\pi\cdot 2}{3} - 1.1834618\right) - \sqrt{2}\cdot 49.60606681\cdot SIN\left(\frac{\pi}{2} - \frac{\pi\cdot 2}{3} - 1.1834618\right)\cdot e^{-\omega t/(4.5261/1.8464)}$$

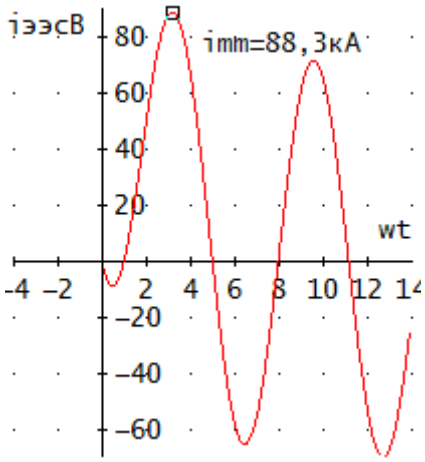
$$\#58:\quad iB = \sqrt{2}\cdot 49.6060668\cdot SIN\left(\omega t + \frac{\pi}{2} - \frac{\pi\cdot 2}{3} - 1.1834618\right) -$$

$$- \sqrt{2}\cdot 49.6060668\cdot \mathrm{SIN}\left(+\frac{\pi}{2} - \frac{\pi\cdot 2}{3} - 1.1834618\right) \times$$

$$\times\ e^{-\omega t/(4.526129223/1.8464)}$$

$$\#59:\quad \mathrm{IF}\left(0 < \omega t < 7\cdot\pi,\ \sqrt{2}\cdot 49.60606681\cdot \mathrm{SIN}\left(\omega t + \frac{\pi}{2} - \frac{\pi\cdot 2}{3} - 1.183461863\right) - \sqrt{2}\cdot 49.60606681\cdot \mathrm{SIN}\left(+\frac{\pi}{2} - \frac{\pi\cdot 2}{3} - 1.183461863\right)\cdot e^{-\omega t/(4.526129223/1.8464)}\right)$$

Определение максимального мгновенного значения тока КЗ ***i*mm** выполняется посредством специального маркера **[]** графического окна Derive.



<u>Фаза С</u>

$$\#60:\quad ic = \sqrt{2}\cdot \mathrm{Iээс}\cdot \mathrm{SIN}\left(\omega t + \frac{\pi}{2} + \frac{\pi\cdot 2}{3} - \phi\right) - \sqrt{2}\cdot \mathrm{Iээс}\cdot \mathrm{SIN}\left(\frac{\pi}{2} + \frac{\pi\cdot 2}{3} - \phi\right)\cdot e^{-\omega t/(X6/r6)} = \sqrt{2}\cdot 49.6060668\cdot \mathrm{SIN}\left(\omega t + \frac{\pi}{2} + \right.$$

$$+\frac{\pi\cdot 2}{3}-1.1834618\Big)-\sqrt{2}\cdot 49.6060668\cdot \mathrm{SIN}\Big(\frac{\pi}{2}+\frac{\pi\cdot 2}{3}-$$

$$-1.1834618\Big)\cdot e^{-\omega t/(4.5261/1.8464)}$$

$$\#61:\quad ic=\sqrt{2}\cdot 49.6060668\cdot \mathrm{SIN}\Big(\omega t+\frac{\pi}{2}+\frac{\pi\cdot 2}{3}-1.1834618\Big)-$$

$$-\sqrt{2}\cdot 49.6060668\cdot \mathrm{SIN}\Big(\frac{\pi}{2}+\frac{\pi\cdot 2}{3}-1.1834618\Big)\cdot e^{-\omega t/(4.5261/1.8464)}$$

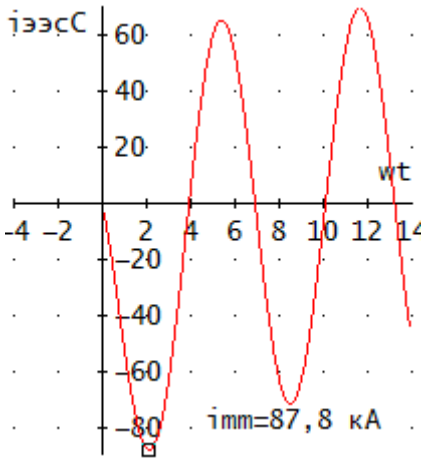
$$\#62:\quad \mathrm{IF}\Big(0<\omega t<7\cdot\pi,\ \sqrt{2}\cdot 49.6060668\cdot \mathrm{SIN}\Big(\omega t+\frac{\pi}{2}+\frac{\pi\cdot 2}{3}-$$

$$-1.1834618\Big)-\sqrt{2}\cdot 49.6060668\cdot \mathrm{SIN}\Big(\frac{\pi}{2}+\frac{\pi\cdot 2}{3}-$$

$$-1.183461863\Big)\cdot e^{-\omega t/(4.5261/1.8464)}\Big)$$

Определение максимального мгновенного значения тока КЗ ***i*mm** выполняется посредством специального маркера **[]** графического окна Derive

А.2.4.3.2. Векторная диаграмма для начальной фазы напряжения источника питания **α = 90°** в фазе электрической цепи **А** приведена на рис. А.3.



А.2.5. Расчёт параметров ветви асинхронного двигателя МА3–КЛ5

А.2.5.1. Параметры кабельной линии **КЛ5** (*R*3 и *X*3)

$$\#63:\quad r3 = \frac{rпг5 \cdot l}{2} = \frac{0.167 \cdot 45}{2}$$

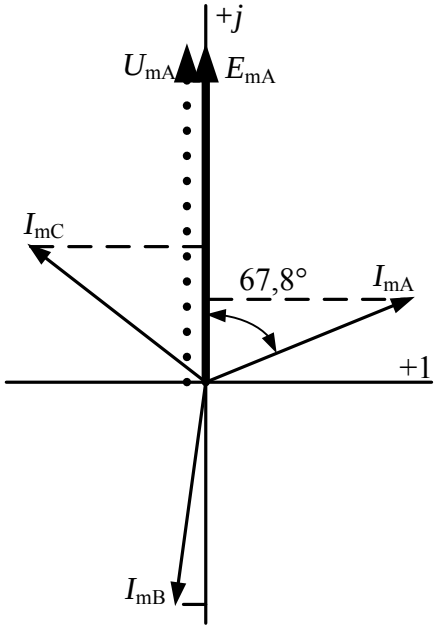


Рис. А.3. Векторная диаграмма при начальной фазе напряжения $\boldsymbol{\alpha}$ = **90°**

$$\#64:\quad r3 = \frac{0.167 \cdot 45}{2}$$

$$\#65:\qquad r3 = 3.7575 \cdot [мОм]$$

$$\#66:\quad X3 = \frac{Xпг5 \cdot l}{2} = \frac{0.063 \cdot 30}{2}$$

$$\#67:\quad X3 = \frac{0.063 \cdot 45}{2}$$

$$\#68:\qquad X3 = 1.4175 \cdot [мОм]$$

А.2.5.2. Параметры асинхронного двигателя **МА3** (*E*2, *R*4 и *X*4).

А. 2.5.2.1. Приближённое значение ЭДС *E*2

#69: $E2 = (uн - Iн \cdot X'' \cdot sinφн) \cdot \frac{uн}{\sqrt{3}} = \left(uн - Iн \cdot \frac{1}{Iп} \cdot sinφн\right) \cdot \frac{uн}{\sqrt{3}} =$

$$= \left(1 - 1 \cdot \left(\frac{1}{6.5} \cdot 0.3919\right)\right) \cdot \frac{380}{\sqrt{3}}$$

#70: $E2 = \left(1 - 1 \cdot \left(\frac{1}{6.5} \cdot 0.3919\right)\right) \cdot \frac{380}{\sqrt{3}}$

#71: $E2 = 206.1653858 \cdot [В]$

А.2.5.2.2. Значение индуктивного сопротивления (*X*4)

#72: $X4 = X'' \cdot \frac{uн^2}{sном} = \frac{1}{kп} \cdot \frac{uн^2}{sном} = \frac{1}{6.5} \cdot \frac{0.38^2 \cdot 10^3}{\frac{0.315}{0.945 \cdot 0.92}}$

#73: $X4 = \frac{1}{6.5} \cdot \frac{0.38^2 \cdot 10^3}{\frac{0.315}{0.945 \cdot 0.92}}$

#74: $X4 = 61.31446153 \cdot [мОм]$

А.2.5.2.3. Значение активного сопротивления *R*4, определяемого по приближённой формуле ГОСТ 28249–93 (*R* = 0,36·*X*") равно

#75: $r4 = 0.36 \cdot X4 = 0.36 \cdot 61.31446153$

#76: $r4 = 22.07320615 \cdot [мОм]$

А.2.5.3. Эквивалентные параметры ветви **КЛ5–МА3** (*R*7, *X*7, *Z*7) с асинхронным электродвигателем (см. рис. А.1, *г*).

Дополнительным сопротивлением в цепи с асинхронным двигателем *не учитывается* из-за их незначительного вклада в суммарное сопротивление данной ветви.

#77: $r7 = r3 + r4 = 3.7575 + 22.07320615$

#78: $r7 = 3.7575 + 22.07320615$

#79: $r7 = 25.83070615 \cdot [мОм]$

#80: $X7 = X3 + X4 = 1.4175 + 61.31446153$

#81: $X7 = 1.4175 + 61.31446153$

#82: $X7 = 62.73196152 \cdot [мОм]$

#83: $Z7 = \sqrt{(r7^2 + X7^2)} = \sqrt{(25.83070615^2 + 62.73196152^2)}$

#84: $Z7 = \sqrt{(25.83070615^2 + 62.73196152^2)}$

#85: $Z7 = 67.84190722 \cdot [мОм]$

А.2.6. Расчёт параметров тока КЗ *I*МА и *i*у в точке *КЗ* от асинхронного двигателя МА3

А.2.6.1. Действующее значение периодической составляющей тока

#86: $IMA = \frac{E2}{X7} = \frac{206.1653858}{67.84190722}$

#87: $IMA = \frac{206.1653858}{67.84190722}$

#88: $IMA = 3.038909049 \cdot [кА]$

А.2.6.2. Значение ударного тока

#89: $iyMA = \sqrt{2} \cdot IMA \cdot (1 + e^{-0.01/(X7/(\omega \cdot r7))}) = \sqrt{2} \cdot 3.038909049 \cdot (1 + e^{-0.01/(62.73196152/(314 \cdot 25.83070615))})$

#90: $iyMA = \sqrt{2} \cdot 3.038909049 \cdot (1 + e^{-0.01/(62.73196/(314 \cdot 25.83070))})$

#91: $iyMA = 5.477220015 \cdot [кА]$

А.2.7. Расчёт параметров *I*КЗ, *i*у трёхфазного тока КЗ в точке *КЗ*

Расчёт параметров трёхфазного тока КЗ в точке ***КЗ*** осуществляется приближённо посредством *арифметического* сложения значений токов от СЭС и асинхронного двигателя. Значение тока КЗ будет несколько завышено. Зато такой подход позволяет выявить вклад асинхронного двигателя в значение общего тока КЗ.

А.2.7.1. Действующее значение периодической составляющей тока

```
#92:  IКЗ = Iээс + IМА = 49.60606681 + 3.038909049

#93:  IКЗ = 49.60606681 + 3.038909049

#94:                        IКЗ = 52.64497585·[кА]
```

А.2.7.2. Значение ударного тока

```
#95:  iуКЗ = iуЭЭС + iуМА = 89.64057306 + 5.477220015

#96:  iуКЗ = 89.64057306 + 5.477220015

#97:                        iуКЗ = 95.11779307·[кА]
```

А.2.8. Выводы по расчёту параметров трёхфазного тока КЗ *I*КЗ, *i*у в точке *КЗ*:

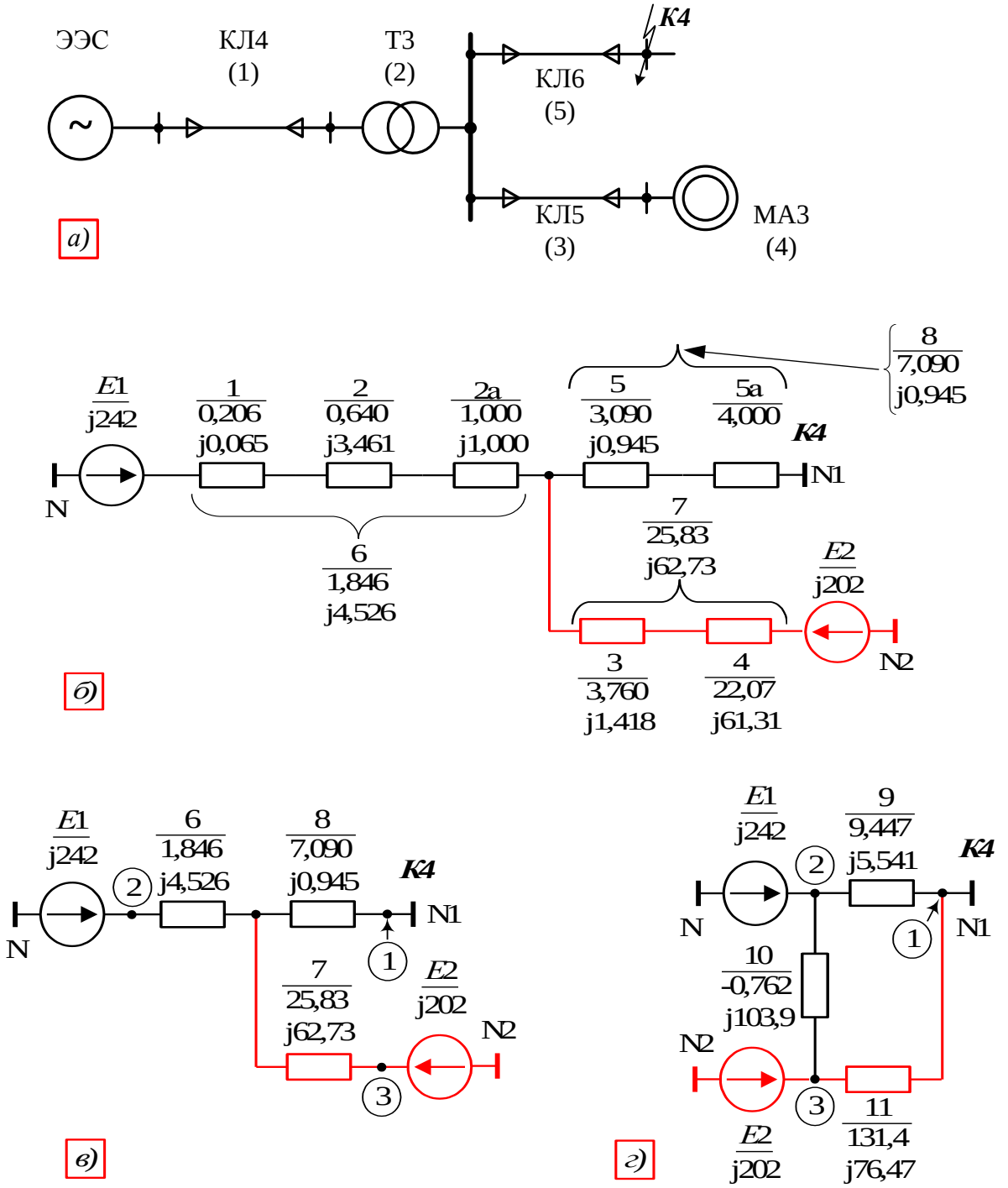
1. Основной составляющей параметров трёхфазного тока КЗ является составляющая, обусловленная ЭЭС – ***I*ЭЭС** и ***i*уЭЭС**.

2. Влияние асинхронного двигателя на параметры тока КЗ зависит от соотношения индуктивных сопротивлений ветви с **ЭЭС** *X*6 и индуктивного сопротивления ветви с асинхронным двигателем *X*7, так как значение ЭДС этих ветвей отличаются не более чем на 10 %. Следовательно, ориентируясь на результаты проведённых расчётов, когда вклад асинхронного двигателя **МА3** составляет (5–6) % от тока КЗ **ЭЭС**, а соотношение полных мощностей трансформатора **Т3** и асинхронного двигателя **МА3** равно $S_{НТ3}/S_{НМА3} = 6{,}9$, можно утверждать, что учёт асинхронного двигателя следует выполнять, если соотношение полных мощностей трансформатора **Т3** и асинхронного двигателя **МА3** не более $\boldsymbol{S_{НТ3}/S_{НМА3} \leq 3}$. В этом случае вклад асинхронного двигателя будет превышать 10 % от тока КЗ **ЭЭС**.

3. Ударный ток ***i*у** имеет место при начальной фазе напряжения $\boldsymbol{\alpha = 0°}$.

А.3. РАСЧЁТ ДЕЙСТВУЮЩЕГО ЗНАЧЕНИЯ ПЕРИОДИЧЕСКОЙ СОСТАВЛЯЮЩЕЙ ТОКА КЗ В ТОЧКЕ *К4*

А.3.1. Расчётная схема и схемы замещения приведены на рис. А.4.



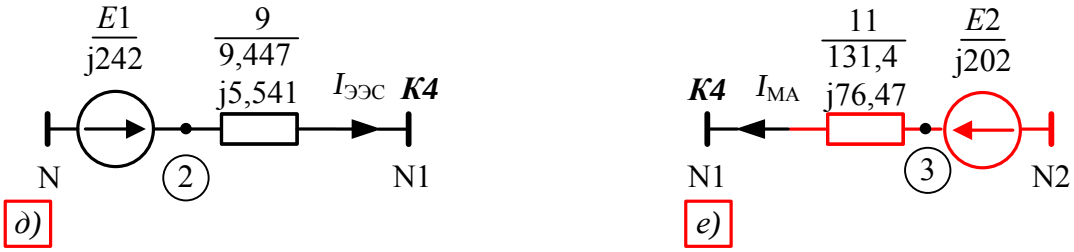


Рис. А.4. Расчѐтная схема системы электроснабжения (а), схема замещения для расчѐта тока трѐхфазного КЗ в точке ***К4*** (б), эквивалентная **не**преобразованная схема замещения (в), преобразованная эквивалентная схема замещения (г), эквивалентная схема замещения цепи ЭЭС (д) и эквивалентная схема замещения цепи асинхронного электродвигателя **МА3** (е):

1, 2, 3 – узлы преобразованной схемы замещения;

N, N2, N1 – нейтральные точки источников питания и места КЗ

А.3.2. Расчёт значений элементов схемы замещения

А.3.2.1. Значения параметров **КЛ6** (*R*5 и *X*5)

$$\#98:\quad r5 = \frac{rпг6 \cdot l}{2} = \frac{0.206 \cdot 30}{2}$$

$$\#99:\quad r5 = \frac{0.206 \cdot 30}{2}$$

$$\#100:\qquad r5 = 3.09 \cdot [мОм]$$

$$\#101:\quad X5 = \frac{Xпг6 \cdot l}{2} = \frac{0.063 \cdot 30}{2}$$

$$\#102:\quad X5 = \frac{0.063 \cdot 30}{2}$$

$$\#103:\qquad X5 = 0.945 \cdot [мОм]$$

А.3.2.2. Параметры ветви – линия **КЛ6–*R*5а**.

Значение дополнительного сопротивления по отношению ко **II**-й ступени распределения энергии (точка КЗ ***К4***) принимается равным ***R*5а = 5 мОм,** и учитывать ранее включённое в схему замещения дополнительное сопротивление ***R*2а = 1 мОм** не следует**!**

Примечание. – Правила выбора значения дополнительного сопротивления в зависимости от номинального напряжения сети $U_н$ при КЗ на **II**-й ступени распределения энергии (точка КЗ ***К4***).

Если расчѐт тока КЗ выполняется в сети с $U_н$ = 380 В, то дополнительное сопротивление всей ветви при трѐхфазном КЗ принимается равным $r_{доп}$ = 5 мОм, и учитывать ранее включѐнное в схему замещения дополнительное сопротивление $r_{доп}$ = 1 мОм не следует!

В случае расчѐта тока КЗ в сети с $U_н$ = 660 В дополнительное сопротивление следует принимать равным по отношению к месту КЗ $r_{доп} = 5\sqrt{3}$ мОм (в корень из трѐх раз большим, чем в сети с $U_н$ = 380 В).

Значение сопротивления ветви **КЛ6–*R*доп.5а+5** с учётом *R*доп.**I** = 1 мОм (*R*5а = 5 – 1 = 4 мОм) определится по выражению

```
#104: r8 = r5 + r5a = 3.09 + 4

#105: r8 = 3.09 + 4

#106:                          r8 = 7.09·[мОм]

#107:                       X8 = X3 = 0.945·[мОм]
```

А.3.3. Преобразование схемы замещения

А.3.3.1. Преобразуем звезду **Y** сопротивлений под порядковыми номерами 6–8–7 в эквивалентный треугольник **Δ** [2] относительно узлов цепи 1, 2, 3 (см. рис. А.4, *в* и *г*) и находим комплексы сопротивлений треугольника

$$Z9 = Z21,\ Z10 = Z23,\ Z11 = Z31.$$

А.3.3.1.1. Для удобства преобразований **Y** в **Δ** с использованием формул, приводимых в справочных материалах, вводим обозначение узловых сопротивлений звезды *Z*1, *Z*2, *Z*3

```
#108: Z1 = Z8 = 7.09 + i·0.945

#109: Z2 = Z6 = 1.8464 + i·4.526129223

#110: Z3 = Z7 = 25.83070615 + i·62.73196152
```

А.3.3.1.2. Преобразуем звезду **Y** сопротивлений под порядковыми номерами 6–8–7 в эквивалентный треугольник **Δ** относительно узлов цепи 1, 2, 3 с использованием введённых обозначение узловых сопротивлений звезды *Z*1, *Z*2, *Z*3

$$\#111:\ Z21 = Z1 + Z2 + \frac{Z2 \cdot Z1}{Z3} = 7.09 + i \cdot 0.945 + 1.8464 +$$

$$+ i \cdot 4.526129223 + \frac{(7.09 + i \cdot 0.945) \cdot (1.8464 + i \cdot 4.526129223)}{25.83070615 + i \cdot 62.73196152}$$

$$\#112:\ Z21 = 7.09 + i \cdot 0.945 + 1.8464 + i \cdot 4.526129223 +$$

$$+ \frac{(7.09 + i \cdot 0.945) \cdot (1.8464 + i \cdot 4.526129223)}{25.83070615 + i \cdot 62.73196152}$$

$$\#113:\ Z21 = Z9 = 9.4470347 + 5.5408906 \cdot i = 10.952074 \cdot e^{i \cdot 30.3925}$$

$$\#114:\ Z31 = Z1 + Z3 + \frac{Z1 \cdot Z3}{Z2} \cdot Z21 = 7.09 + i \cdot 0.945 + 25.83070615 +$$

$$+ i \cdot 62.73196152 + \frac{(7.09 + i \cdot 0.945) \cdot (25.830706 + i \cdot 62.731961)}{1.8464 + i \cdot 4.526129223}$$

$$\#115:\ Z31 = 7.09 + i \cdot 0.945 + 25.83070615 + i \cdot 62.73196152 +$$

$$+ \frac{(7.09 + i \cdot 0.945) \cdot (25.83070615 + i \cdot 62.73196152)}{1.8464 + i \cdot 4.526129223}$$

$$\#116:\ Z31 = Z11 = 131.36202 + 76.47024 \cdot i = 151.99894 \cdot e^{i \cdot 30.2051}$$

$$\#117:\ Z23 = Z2 + Z3 + \frac{Z2 \cdot Z3}{Z1} = Z21 = 1.8464 + i \cdot 4.526129223 +$$

$$+ 25.83070615 + i \cdot 62.7319615 +$$

$$+ \frac{(1.8464 + i \cdot 4.526129223) \cdot (25.83070615 + i \cdot 62.73196152)}{7.09 + i \cdot 0.945}$$

$$\#118:\ Z23 = 1.8464 + i\cdot 4.526129223 + 25.83070615 + i\cdot 62.7319615 + \frac{(1.8464 + i\cdot 4.526129223)\cdot(25.83070615 + i\cdot 62.73196152)}{7.09 + i\cdot 0.945}$$

$$\#119:\quad Z23 = Z10 = -0.7623570555 + 103.8753968\cdot i$$

А.3.3.1.3. Результат преобразований.

В результате преобразований получили отдельно схему замещения цепи **ЭЭС** и отдельно схему замещения цепи асинхронного электродвигателя (см. рис. А.4, *д* и *е*). Сопротивление *Z*10 не влияет на значение тока КЗ, поскольку приняли допущение о неизменности напряжения на выводах источников питания. Поэтому в схеме рис. А.6, *г* ЭДС *E*1 и *E*2 относятся к идеальным источникам напряжения.

А.3.4. Расчёт параметров трёхфазного тока КЗ *I*ЭЭС, *i*у в точке *К4* от ЭЭС

А.3.4.1. Действующее значение периодической составляющей тока

$$\#120:\ Iээс = \frac{E1}{Z9} = \frac{242.487113}{9.447034713 + 5.540890653\cdot i}$$

$$\#121:\ Iээс = \frac{242.487113}{9.447034713 + 5.540890653\cdot i}$$

$$\#122:\quad Iээс = 19.09815447 - 11.2014816\cdot i$$

Модуль комплекса тока КЗ от **ЭЭС**

$$\#123:\quad |Iээс| = 22.14074737\cdot[кА]$$

А.3.4.2. Значение ударного тока

$$\#124:\ iуЭЭС = \sqrt{2}\cdot IЭЭС\cdot(1 + e^{-0.01/(X9/(\omega\cdot r9))}) =$$

$$= \sqrt{2}\cdot 22.140747\cdot(1 + e^{-0.01/(5.540890/(314\cdot 9.4470347))})$$

$$\#125:\ iуЭЭС = \sqrt{2}\cdot 22.140747\cdot(1 + e^{-0.01/(5.540890/(314\cdot 9.447034))})$$

#126: $iyЭЭС = 31.45988446 \cdot [кА]$

А.3.5. Расчёт параметров *I*ЭЭС, *i*y трёхфазного тока КЗ в точке *К4* от асинхронного электродвигателя МА3

А.3.5.1. Действующее значение периодической составляющей тока

#127: $IMA = \frac{E2}{Z11} = \frac{206.1653858}{131.3620208 + 76.47024198 \cdot i}$

#128: $IMA = \frac{206.1653858}{131.3620208 + 76.47024198 \cdot i}$

#129: $IMA = 1.172207351 - 0.6823812492 \cdot i$

Модуль комплекса тока КЗ от асинхронного электродвигателя **МА3**

#130: $|IMA| = 1.356360661 \cdot [кА]$

А.3.5.2. Значение ударного тока

#131: $iyMA = \sqrt{2} \cdot IMA \cdot (1 + e^{-0.01/(X11/(\omega \cdot r11))}) =$

$= \sqrt{2} \cdot 1.356360661 \cdot (1 + e^{-0.01/(76.4702/(314 \cdot 131.3620)})$

#132: $iyMA = \sqrt{2} \cdot 1.356360661 \cdot (1 + e^{-0.01/(76.4702/(314 \cdot 131.3620)})$

#133: $iyMA = 1.926899838 \cdot [кА]$

А.3.6. Расчёт параметров трёхфазного тока КЗ *I*К3, *i*y в точке *К4*

Расчёт параметров трёхфазного тока КЗ в точке ***К4*** осуществляем приближённо посредством *арифметического* сложения значений токов от **СЭС** и асинхронного двигателя. Значение тока КЗ будет несколько завышено. Такой подход позволяет выявить вклад асинхронного двигателя в значение общего тока КЗ.

А.3.6.1. Действующее значение периодической составляющей тока

#134: $IK4 = Iээс + IMA = 22.14074737 + 1.356360661$

```
#135: IK4 = 22.14074737 + 1.356360661

#136:                    IK4 = 23.49710803·[кА]
```

А.3.6.2. Значение ударного тока

```
#137: iyK4 = iyЭЭС + iyMA = 31.45988446 + 1.926899838

#138: iyK4 = 31.45988446 + 1.926899838

#139:                    iyK4 = 33.38678429·[кА]
```

А.3.7. Выводы по расчёту параметров трёхфазного тока КЗ *I*К4, *i*у в точке *К4*:

1. Основной составляющей параметров трёхфазного тока КЗ также, как при КЗ в точке ***К3***, является составляющая, обусловленная **ЭЭС**, ***I*ЭЭС** и ***i*уЭЭС**.

2. Влияние асинхронного двигателя на параметры тока КЗ зависит от соотношения индуктивных сопротивлений ветви с **ЭЭС** ***X*9** и индуктивного сопротивления ветви с асинхронным двигателем ***X*11**, так как значение ЭДС этих ветвей отличаются не более чем на 10 %. Следовательно, ориентируясь на результаты проведённых расчётов, когда вклад асинхронного двигателя **МА3** большой номинальной мощности составляет (5–6) % от тока КЗ **ЭЭС**, а соотношение модулей сопротивлений ветви асинхронного двигателя **МА3** и ветви **ЭЭС** равно $Z_{МА3}/Z_{ЭЭС} \approx 14$, можно утверждать, что учёт асинхронного двигателя следует выполнять, если соотношение модулей сопротивлений ветви **ЭЭС** и ветви асинхронного двигателя **МА3** не более $Z_{МА3}/Z_{ЭЭС} \leq 6$. В этом случае вклад асинхронного двигателя будет превышать 10 % от тока КЗ **ЭЭС**.

3. Наличие даже короткой линии (**КЛ6**, l = 30 м сечением одной фазы 2×150 мм^2) приводит к значительному ограничению тока КЗ. Действующее значение тока КЗ (точка ***К4***) уменьшается примерно в *два* раза по сравнению с током КЗ на шинах п/ст (точка ***К3***). Значение ударного тока КЗ (точка ***К4***) уменьшается примерно в *три* раза по сравнению с током КЗ на шинах п/ст (точка ***К3***).

Ударный ток значимо отличается от амплитудного значения периодической составляющей тока КЗ на шинах понизительной п/ст.

А.4. РАСЧЁТ ДЕЙСТВУЮЩЕГО ЗНАЧЕНИЯ ПЕРИОДИЧЕСКОЙ СОСТАВЛЯЮЩЕЙ ТОКА ДВУХФАЗНОГО КЗ В ТОЧКЕ *КЗ* МЕТОДОМ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЦЕПИ

А.4.1. Значение тока КЗ

#140: $IK3^2 = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot IK3^3 = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot 52.64497585$

#141: $IK3^2 = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot 52.64497585$

#142: $IK3^2 = 45.59188646 \cdot [кА]$

А.4.2. Вывод по расчёту *двухфазного* тока КЗ в точке *КЗ*:

Значение тока при ***двухфазном*** КЗ всегда меньше, чем при ***трёхфазном*** КЗ примерно на 15 %, то есть в √3/2 раз при условии соответствия источников напряжения требованиям источников бесконечной мощности.

Derive v. 6.10

Приложение **Б**

Задача 1

Расчёт действующего значения периодической составляющей *однофазного* тока КЗ в точках *К3* и *К4*
в *<u>именованных</u>* единицах

НАСТРОЙКА РЕЖИМОВ ВЫЧИСЛЕНИЙ

Устанавливается режим слова при вводе переменных с двумя и более знаками.

```
#1:   InputMode := Word
```

Устанавливается режим вывода результатов вычислений с 10-ю значащими разрядами.

```
#2:   NotationDigits := 10
```

Устанавливается возможность режима вычислений выражений в месте их расположения, а не в конце всего отчѐта при каждом вычислении.

```
#3:   Precision := Approximate
```

Устанавливается форма вывода данных

```
#4:   Notation := Scientific
```

Б.1. ЦЕЛЬ, УСЛОВИЯ И ПОРЯДОК РАСЧЁТА ОДНОФАЗНОГО ТОКА КЗ

Б.1.1. Расчёт действующего значения периодической составляющей тока при *однофазном* КЗ в точках ***К3***, ***К4*** выполнить при следующих условиях:

- для произвольного момента времени ***t***;
- в режиме *<u>минимального тока</u>*;
- мощность трѐхфазного КЗ на шинах системы (ЭЭС) SK^(3) = ∞;
- ЭЭС присоединена непосредственно к трансформатору Т3;
- ***методом модулей***.

Необходимо отметить, что кроме метода модулей существуют и другие методы расчёта однофазных токов КЗ, например, метод электрической цепи.

Б.1.2. Порядок расчёта тока КЗ методом модулей

1. Составляется однолинейная расчётная схема сети задачи **1**, содержащая: источник питания (ЭЭС) в предположении бесконечной мощности КЗ на его выводах, трансформатор, низковольтный кабель. Высоковольтную кабельную линию в однолинейную расчётную схему сети не включают.

2. Из методических указаний выбирается наименование электрооборудования, требуемый перечень исходных данных и контрольные точки расчёта тока КЗ.

3. На основании заданной расчётной схемы составляется схема замещения и приводится путём преобразований к эквивалентной схеме замещения относительно точки КЗ.

Источник питания (ЭЭС) вводится в схему замещения идеальным источником напряжения с ЭДС, равной $E = U_{нф}$ (по условию задачи **1** мощность трёхфазного КЗ на выводах источника питания равна бесконечности $S_К^{(3)} = \infty$).

Трансформатор, низковольтную кабельную линию распределительные устройства вводят в схему замещения их полными сопротивлениями, соответствующими условиям расчёта.

4. Представление значения величин в *именованных* единицах: ЭДС, напряжений, [**В**]; сопротивлений, [**мОм**]; токов КЗ, [**кА**].

5. Определяется модуль результирующего сопротивления до точки КЗ арифметическим сложением соответствующих составляющих модулей отдельных элементов – трансформатора, низковольтного кабеля и распределительного устройства

#5: $$Z_\Sigma = Z_{т/3} + \sum(Z_i) + Z_{доп}$$

6. Определяется действующее значение периодической составляющей тока

#6: $$I_К^{1} = \frac{u_н}{Z_{т/3} + \sum(Z_i) + Z_{доп}},$$

где $I_К^{(1)}$ – ток однофазного КЗ, кА;

$U_н$ – номинальное *фазное* напряжение сети, В;

$Z_Т$ – модуль комплекса сопротивления трансформатора (значение $\boldsymbol{Z}_Т$

не рассчитывается, а берётся из справочных материалов), мОм;

$Z_i = Z_{п.уд.i} \cdot l_i$ – модуль комплекса сопротивления цепи фаза-нуль i-го участка сети (i-й линии), мОм:

здесь $Z_{п.уд.i} \cdot l_i$ – полное удельное сопротивление i-й линии, мОм/м;

l_i – длина i-й линии, м;

n – количество участков низковольтной сети (линий);

$Z_{доп}$ – дополнительное сопротивление, обусловленное, прежде всего, неучтёнными сопротивлениями распределительных устройств низкого напряжения п/ст и низковольтных комплектных устройств. На **I**-й ступени распределения энергии дополнительное сопротивление $\boldsymbol{Z_{доп}}$ должно носить индуктивный характер. На **II**-й ступени распределения энергии дополнительное сопротивление $\boldsymbol{Z_{доп}}$ должно носить активный характер.

Б.2. РАСЧЁТ ДЕЙСТВУЮЩЕГО ЗНАЧЕНИЯ ПЕРИОДИЧЕСКОЙ СОСТАВЛЯЮЩЕЙ ТОКА ОДНОФАЗНОГО КЗ В ТОЧКЕ *КЗ*

Б.2.1. Принципиальная схема и схемы замещения для расчёта тока КЗ в точке ***КЗ*** приведены на рис. Б.1

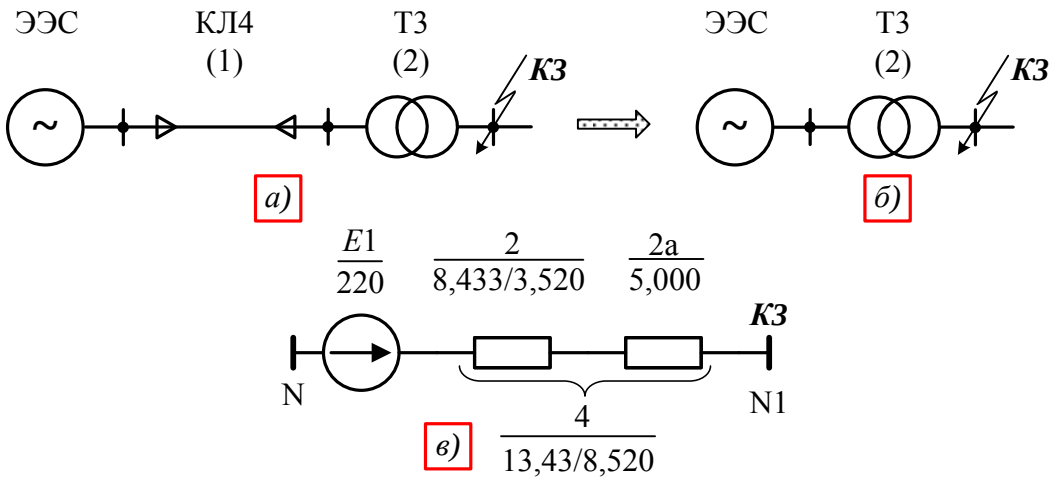


Рис. Б.1. Принципиальная схема системы электроснабжения (а); расчѐтная схема метода полных сопротивлений для определения тока однофазного КЗ в точке ***КЗ*** (б); схема замещения (в):
N и N1 – нейтральные точки источника питания и места КЗ

Б.2.2. Расчёт значений элементов схемы замещения и значение однофазных токов КЗ

Б.2.2.1. ЭДС источника напряжения бесконечной мощности $E1$ в соответствии с методикой расчёта методом модулей принимается равной $E1 = U_{нф} = 220$ В. Сопротивление источника напряжения *по условию задачи* **1** равно нулю $X_{ЭЭС} = 0$, так как мощность трёхфазного КЗ на выводах ЭЭС принимается бесконечной.

Б.2.2.2. Значение полного сопротивления трансформатора **Т3**, взятое из справочной таблицы исходных данных, равно: при схеме соединения обмоток трансформатора **Y/Yн** $Z_{пТ3} = 25{,}3$ мОм, а при схеме соединения обмоток трансформатора **Δ/Yн** $Z_{пТ3} = 10{,}56$ мОм. Соответственно расчётное сопротивление в схеме замещения $Z2 = Z_{пТ3}/3$ в зависимости от схемы соединения обмоток трансформатора будет равно

$$\#7: \quad Z2 = \frac{ZT3 \cdot y \cdot yн}{3} = \frac{25.3}{3}$$

$$\#8: \quad Z2 = 8.433333333 \cdot [мОм]$$

$$\#9: \quad Z2 = \frac{ZT3 \cdot \Delta \cdot yн}{3} = \frac{10.56}{3}$$

$$\#10: \quad Z2 = 3.52 \cdot [мОм]$$

Б.2.2.3. Значение дополнительного сопротивления на **I**-й ступени распределения энергии, обусловленное распределительным устройством низкого напряжения п/ст (точка КЗ ***К3***), принимается равным ***Z*2а = 2 мОм**.

Примечание. – Правила выбора значения дополнительного сопротивления в зависимости от номинального напряжения сети $U_н$ при однофазном КЗ на **I**-й ступени распределения энергии (точка КЗ ***К3***).

В случае сети с $U_н = 380$ В дополнительное сопротивление при КЗ на шинах п/ст при однофазном КЗ принимается равным $Z_{доп} = 2$ мОм.

Если расчѐт тока КЗ выполняется в сети с $U_н = 660$ В, то дополнительное сопротивление при КЗ на шинах также принимается равным $Z_{доп} = 2$ мОм.

Б.2.2.4. Значение модуля расчётного сопротивления ***Z*4** до точки ***К3*** и схеме соединения обмоток трансформатора **Т3 Y/Yн** равно

$$\#11: \quad Z4 \cdot y \cdot yн = z2 + z2a = 8.433333333 + 2$$

#12: $z4 = 10.43333333 \cdot [мОм]$

Б.2.2.5. Значение модуля расчётного сопротивления ***Z4*** до точки ***К3*** и схеме соединения обмоток трансформатора **Т3 Δ/Yн** равно

#13: $z4 \cdot \Delta \cdot ун = z2 + z2a = 3.52 + 2$

#14: $z4 = 5.52 \cdot [мОм]$

Б.2.2.6. Действующее значение периодической составляющей тока однофазного КЗ и схеме соединения обмоток трансформатора **Т3 Y/Yн**

#15: $IK3 = \frac{E1}{Z4} = \frac{220}{10.43333333}$

#16: $IK3 = 21.08626198 \cdot [кА]$

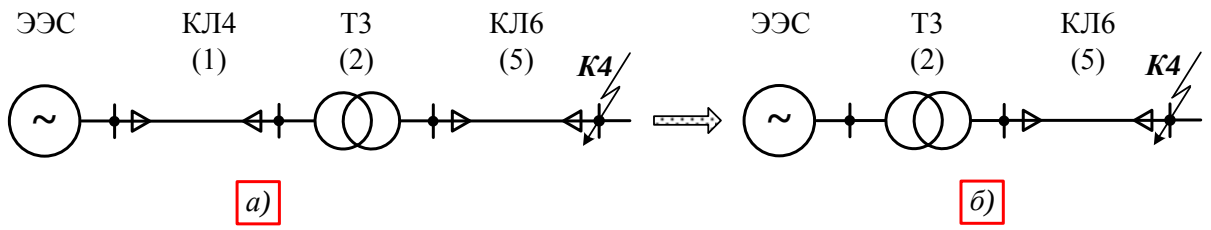
Б.2.2.7. Действующее значение периодической составляющей тока и однофазного КЗ и схеме соединения обмоток трансформатора **Т3 Δ/Yн**

#17: $IK3 = \frac{E1}{Z4} = \frac{220}{5.52}$

#18: $IK3 = 39.85507246 \cdot [кА]$

Б.3. РАСЧЁТ ДЕЙСТВУЮЩЕГО ЗНАЧЕНИЯ ПЕРИОДИЧЕСКОЙ СОСТАВЛЯЮЩЕЙ ТОКА ОДНОФАЗНОГО КЗ В ТОЧКЕ *К4*

Б.3.1. Принципиальная схема и схемы замещения для расчёта тока КЗ в точке ***К4*** приведены на рис. Б.2.



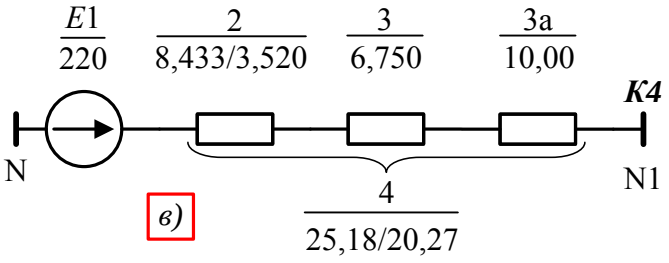


Рис. Б.2. Принципиальная схема системы электроснабжения (а); расчѐтная схема метода полных сопротивлений для определения тока однофазного КЗ в точке ***К4*** (б); схема замещения (в):
N и N1 – нейтральные точки источника питания и места КЗ

Б.3.2. Расчёт значения вновь вводимых элементов схемы замещения и значение однофазных токов КЗ

Б.3.2.1. Значение модуля сопротивления кабельной линии **КЛ6** (*Z*3)

$$\#19:\quad Z3 = \frac{Zпу6 \cdot l}{2} = \frac{0.45 \cdot 30}{2}$$

#20: Z3 = 6.75·[мОм]

Б.3.3.2. Значение дополнительного сопротивления на **II**-й ступени распределения энергии, обусловленное распределительным устройством низкого напряжения п/ст (точка КЗ ***К4***), принимается равным
***Z*3а = 10 мОм**.

Примечание. – Правила выбора значения дополнительного сопротивления в зависимости от номинального напряжения сети $U_н$ при КЗ на **II**-й ступени распределения энергии (точка КЗ ***К4***).

В случае сети с $U_н$ = 380 В дополнительное сопротивление при КЗ на шинах п/ст при однофазном КЗ принимается равным $Z_{доп}$ = 10 мОм.

Если расчѐт тока КЗ выполняется в сети с $U_н$ = 660 В, то дополнительное сопротивление при однофазном КЗ на шинах принимается равным $Z_{доп} = 10\sqrt{3}$ мОм (в корень из трѐх раз большим, чем в сети с $U_н$ = 380 В).

Б.3.3.3. Значение модуля расчётного сопротивления ***Z*4** до точки ***К4*** и схеме соединения обмоток трансформатора **Т3 Y/Yн**

#21: Z4·у·ун = Z2 + Z3 + Z3a = 8.433333333 + 6.75 + 10

#22: Z4·у·ун = 8.433333333 + 6.75 + 10

#23: Z4·ун·у = 25.18333333·[мОм]

Б.3.3.4. Значение модуля расчётного сопротивления ***Z*4** до точки ***КЗ*** и схеме соединения обмоток трансформатора **Т3 Δ/Yн**

#24: $Z4 \cdot \Delta \cdot ун = Z2 + Z3 + Z3a = 3.52 + 6.75 + 10$

#25: $Z4 \cdot \Delta \cdot ун = 3.52 + 6.75 + 10$

#26: $Z4 \cdot \Delta \cdot ун = 20.27 \cdot [мОм]$

Б.3.3.4. Действующее значение периодической составляющей тока однофазного КЗ и схеме соединения обмоток трансформатора **Т3 Y/Yн**

#27: $IK3^{1} = \frac{E1}{Z4} = \frac{220}{25.18333333}$

#28: $IK3^{1} = 8.735936465 \cdot [кА]$

Б.3.3.5. Действующее значение периодической составляющей тока однофазного КЗ и схеме соединения обмоток трансформатора **Т3 Δ/Yн** равно

#29: $IK3^{1} = \frac{E1}{Z4} = \frac{220}{20.27}$

#30: $IK3^{1} = 10.85347804 \cdot [кА]$

Б.4. ВЫВОДЫ ПО РАСЧЁТУ ОДНОФАЗНОГО ТОКА КЗ МЕТОДОМ МОДУЛЕЙ

1. Влияние схемы соединения обмоток понижающего силового трансформатора на значение тока КЗ наибольшее при КЗ на шинах распределительного устройства низкого напряжения п/ст (точка ***КЗ***).

2. По мере увеличения электрической удалённости от п/ст (точка ***К4***) влияние схемы соединения обмоток понижающего силового трансформатора на значение тока КЗ уменьшается.

3. Метод модулей по сравнению с методом электрической цепи значительно проще и производительнее при практическом применении для расчёта токов однофазного КЗ.

4. Недостаток метода модулей заключается в меньшей точности ре-

зультата расчёта на **II**-й ступени распределения энергии, если электрическая цепь содержит соразмерные значения активного и индуктивного сопротивлений последовательно включённых элементов СЭС. В этом случае предпочтительным является применение метода электрической цепи.

5. Другой недостаток метода модулей заключается в невозможности построения векторных и волновых диаграмм.

Derive v. 6.10

Приложение **В**

Задача 1

Расчёт действующего значения периодической составляющей *двухфазного* и *однофазного* тока КЗ в точке *К3* методом симметричных составляющих в *именованных* единицах

НАСТРОЙКА РЕЖИМОВ ВЫЧИСЛЕНИЙ

Устанавливается режим слова при вводе переменных с двумя и более знаками.

```
#1:   InputMode := Word
```

Устанавливается режим вывода результатов вычислений с 10-ю значащими разрядами.

```
#2:   NotationDigits := 10
```

Устанавливается возможность режима вычислений выражений в месте их расположения, а не в конце всего отчёта при каждом вычислении.

```
#3:   Precision := Approximate
```

Устанавливается форма вывода данных

```
#4:   Notation := Scientific
```

В.1. ЦЕЛЬ, УСЛОВИЯ И ПОРЯДОК РАСЧЁТА ДВУХФАЗНОГО И ОДНОФАЗНОГО ТОКА КЗ

В.1.1. Произвести расчёт действующего значения периодической составляющей ***двухфазного*** и ***однофазного*** тока КЗ при следующих условиях:

- в режиме *максимального тока*;
- мощность трѐхфазного КЗ на шинах системы (ЭЭС) SK^(3) = ∞;
- ЭЭС присоединена непосредственно к кабельной линии КЛ4;
- пренебречь влиянием асинхронного электродвигателя **МАЗ** на ток КЗ;
- ***методом симметричных составляющих***.

В.1.2. Порядок расчёта тока КЗ методом симметричных составляющих

1. Составляется однолинейная расчётная схема сети задачи **1**, содержащая источник питания (ЭЭС), высоковольтную кабельную линию, трансформатор.

2. Из методических указаний [1] выбирается наименование электрооборудования, требуемый перечень исходных данных.

3. На основании заданной расчётной схемы составляется эквивалентная комплексная схема замещения для данного вида КЗ.

Источник питания (**ЭЭС**) вводят в схему замещения идеальным источником напряжения с ЭДС, равной $E = 1{,}05U_н$ (по условию задачи **1** мощность трёхфазного КЗ на выводах источника питания равна бесконечности $S_К^{(3)} = \infty$).

Высоковольтную кабельную линию, трансформатор вводят в комплексную схему замещения их индуктивными и активными сопротивлениями соответствующих последовательностей.

В схему замещения в каждую последовательность также вводят дополнительное сопротивление, обусловленное неучтённым сопротивлением распределительного устройства низкого напряжения п/ст.

4. Представление значения величин в *именованных* единицах: ЭДС, напряжений, [**В**]; сопротивлений, [**мОм**]; токов КЗ, [**кА**].

5. Определяется комплекс результирующего сопротивления комплексной схемы замещения, складывая соответствующие составляющие

$$Z = (R_1 + R_2 + R_0) + j(X_1 + X_2 + X_0),$$

где R_1, R_2, R_0, X_1, X_2, X_0 – соответственно суммарные активные и индуктивные сопротивления прямой, обратной и нулевой последовательностей.

6. Определяется комплекс периодической составляющей тока КЗ прямой последовательности $\boldsymbol{I}_{К1}$. При этом общепринято ориентировать вектор ЭДС в фазе А по мнимой оси **+j** комплексной плоскости. То есть принимается начальная фаза ЭДС $\boldsymbol{\alpha = 90°}$

#5:

$$I_{к1} = \frac{i \cdot E}{Z_\Sigma},$$

где $i = \sqrt{(-1)}$ – мнимая единица;

$E = 1{,}05U_н$ – значение ЭДС источника напряжения.

7. По известному соотношению для данного вида несимметрии между током прямой последовательности и реальным током в повреждённых фазах определяется периодическая слагающая тока КЗ $\boldsymbol{I}_К$

$$I_К = m \cdot I_{К1},$$

где m – коэффициент, характеризующий рассматриваемый вид КЗ.

8. Строится векторная диаграмма для начальной фазы напряжения $\boldsymbol{\alpha = 90°}$.

В.2. РАСЧЁТ ДЕЙСТВУЮЩЕГО ЗНАЧЕНИЯ ПЕРИОДИЧЕСКОЙ СОСТАВЛЯЮЩЕЙ ДВУХФАЗНОГО ТОКА КЗ

В.2.1. Расчётная схема, схемы замещения прямой и обратной последовательностей, комплексная схема замещения приведены на рис. В.1.

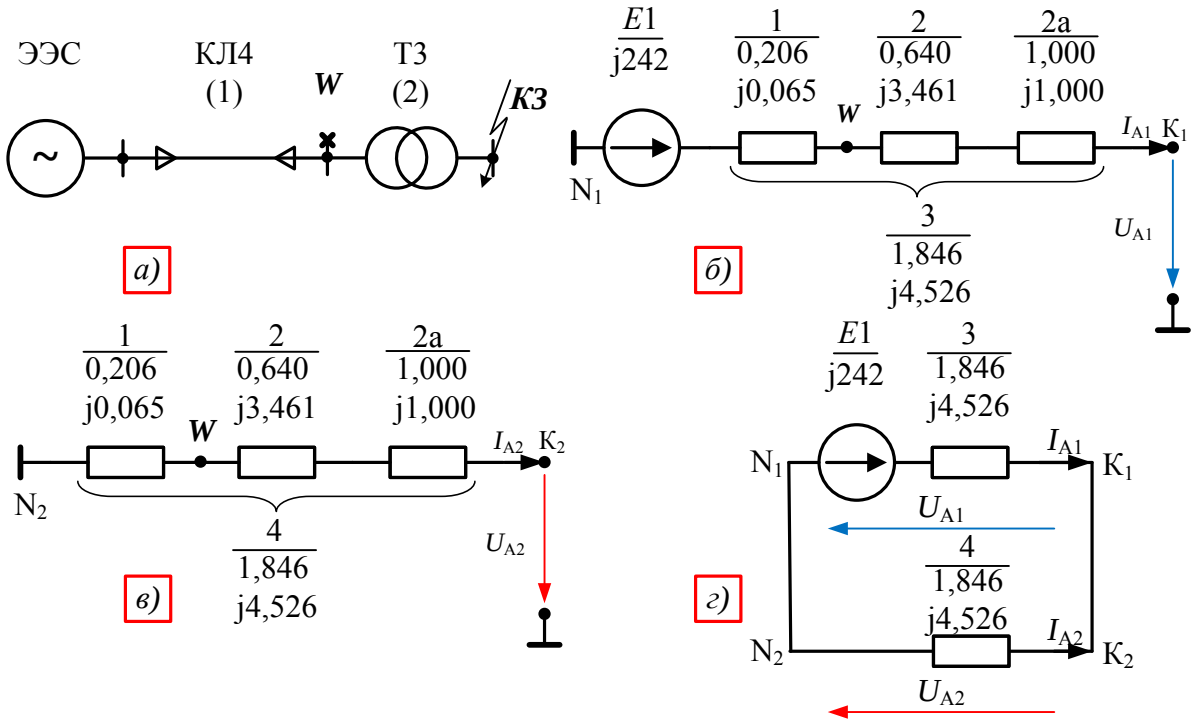


Рис. В.1. Расчѐтная схема системы электроснабжения (а), схемы замещения прямой последовательности (б) и обратной последовательности (в), комплексная схема двухфазного КЗ (г) в точке ***КЗ***:

W – точка построения векторной диаграммы напряжения; N_1 и N_2 – соответственно начало схемы прямой и обратной последовательностей; $К_1$ и $К_2$ – соответственно конец схемы прямой и обратной последовательностей; $I_{А1}$ и $I_{А2}$ – соответственно токи прямой и обратной последовательностей; $U_{А1}$ и $U_{А2}$ – соответственно напряжения прямой и обратной последовательностей в месте КЗ

В.2.2. Значения элементов комплексной схемы замещения

В.2.2.1. Значения ЭДС источника питания ($E1$) и сопротивлений ($R1$, $X1$, $R2$, $X2$) схемы замещения *прямой* последовательности

(см. рис. В.1, *б*) получены ранее (см. Приложение А)

```
#6:                    E1 = 242.487113·[В]

#7:                    r1 = 0.2064·[мОм]

#8:                    X1 = 0.0648·[мОм]

#9:                    r2 = 0.64·[мОм]

#10:                   X2 = 3.461329224·[мОм]
```

Значение дополнительного сопротивления *прямой* последовательности на **I**-й ступени распределения энергии, обусловленного распределительным устройством низкого напряжения п/ст в цепи **ЭЭС–КЛ4–Т3**, питаемой от ЭЭС, принимаются равными $R2а = 1$ мОм и $X2а = 1$ мОм.

Примечание. – Правила выбора значения дополнительного сопротивления *прямой* последовательности в зависимости от номинального напряжения сети $U_н$ при двухфазном КЗ на **I**-й ступени распределения энергии (точка КЗ ***К3***).

В случае сети с $U_н = 380$ В дополнительное сопротивление *прямой* последовательности при КЗ на шинах п/ст при двухфазном КЗ принимается равным $r_{доп} = 1$ мОм и $X_{доп} = 1$ мОм.

Если расчѐт тока КЗ выполняется в сети с $U_н = 660$ В, то дополнительное сопротивление *прямой* последовательности при двухфазном КЗ на шинах п/ст принимается равным $r_{доп} = \sqrt{3}$ мОм (в корень из трѐх раз большим, чем в сети с $U_н = 380$ В) и $X_{доп} = 1$ мОм.

В.2.2.2. Значения сопротивлений ($R1$, $X1$, $R2$, $X2$) схемы замещения *обратной* последовательности (см. рис. В.1, *в*) равны соответствующим сопротивлениям прямой последовательности. ЭДС источника питания в схеме замещения *обратной* последовательности отсутствует, поэтому значения сопротивлений обратной последовательности равны

```
#11:                   r1 = 0.2064·[мОм]

#12:                   X1 = 0.0648·[мОм]

#13:                   r2 = 0.64·[мОм]

#14:                   X2 = 3.461329224·[мОм]

#15:                   r2a = rдоп = 1·[мОм]

#16:                   X2a = Xдоп = 1·[мОм]
```

Значение дополнительного сопротивления *обратной* последовательности на **I**-й ступени распределения энергии, обусловленного распределительным устройством низкого напряжения п/ст в цепи **ЭЭС–КЛ4–Т3**, питаемой от ЭЭС, принимаются равными $R2а = 1$ мОм и $X2а = 1$ мОм.

Примечание. – Правила выбора значения дополнительного сопротивления *обратной* последовательности при двухфазном КЗ в зависимости от номинального напряжения сети $U_н$ при КЗ на **I**-й ступени распределения энергии (точка КЗ ***К3***).

В случае сети с $U_н = 380$ В дополнительное сопротивление *обратной* последовательности при КЗ на шинах п/ст при двухфазном КЗ принимается равным $r_{доп} = 1$ мОм и $X_{доп} = 1$ мОм.

Если расчѐт тока КЗ выполняется в сети с $U_н = 660$ В, то дополнительное сопротивление *обратной* последовательности при двухфазном КЗ на шинах п/ст принимается равным $r_{доп} = \sqrt{3}$ мОм (в корень из трѐх раз большим, чем в сети с $U_н = 380$ В) и $X_{доп} = 1$ мОм.

В.2.2.3. Эквивалентные значения сопротивлений схемы замещения *прямой* последовательности ($R3$, $X3$) и эквивалентные значения сопротивлений схемы замещения *обратной* последовательности ($R4$, $X4$)

#17: $r3 = r4 = r1 + r2 + r2a = 0.2064 + 0.64 + 1$

#18: $r3 = r4 = 1.8464 \cdot [мОм]$

#19: $X3 = X4 = X1 + X2 + X2a = 0.0648 + 3.461329224 + 1$

#20: $X3 = 4.526129223 \cdot [мОм] \wedge X4 = 4.526129223 \cdot [мОм]$

В.2.3. Симметричные составляющие и значение тока двухфазного КЗ

В.2.3.1. Ток *прямой* последовательности ***I*А1** в фазе **А** в соответствии с комплексной схемой замещения (см. рис. В.1, *г*)

#21: $$Ia1 = \frac{E1}{r3 + X3 \cdot i + r4 + X4 \cdot i} = \frac{242.487113 \cdot i}{2 \cdot (1.8464 + 4.526129223 \cdot i)}$$

#22: $$Ia1 = \frac{242.487113 \cdot i}{2 \cdot (1.8464 + 4.526129223 \cdot i)}$$

#23: $Ia1 = (22.96560432 + 9.368643654 \cdot i) \cdot [кА]$

В.2.3.2. Модуль и фаза комплекса тока прямой последовательности ***I*А1**

В.2.3.2.1. Модуль комплекса тока прямой последовательности

#24: $|Ia1| = |22.96560432 + 9.368643654 \cdot i|$

#25: $|Ia1| = 24.80303339 \cdot [кА]$

В.2.3.2.2. Фаза комплекса тока прямой последовательности $\psi 1$

#26: $PHASE(Ia1) = PHASE(22.96560432 + 9.368643654 \cdot i)$

#27: $\psi 1 = 0.3873344634 \cdot [рад]$

Фаза $\psi 1$ в градусах

#28: $\psi 1 = \dfrac{0.3873344634 \cdot 180}{\pi}$

#29: $\psi 1 = 22.19263001°$

В.2.3.3. Угол сдвига фаз $\varphi 1$ между напряжением прямой последовательности U_{A1} и током прямой последовательности I_{A1}

#30: $\phi 1 = 90° - 22.19263001°$

#31: $\phi 1 = 67.80736998°$

В.2.3.4. Ток *обратной* последовательности I_{A2} в фазе **А** находится с помощью комплексной схемы замещения (см. рис. В.1, *г*)

#32: $Ia2 = -Ia1 = (-22.96560432 - 9.368643654 \cdot i) \cdot [кА]$

В.2.3.5. Ток двухфазного КЗ $I_{К3}$ в фазах В и С определяется использованием соотношения между током прямой I_{A1} последовательности и током двухфазного КЗ

#33: $IК3b = IК3c = m \cdot Ia1 = \sqrt{3} \cdot Ia1 = \sqrt{3} \cdot 24.80303339$

#34: $IК3b = 42.96011401 \cdot [кА] \wedge IК3c = 42.96011401 \cdot [кА]$

В.2.4. Векторные диаграммы токов и напряжений в точке *К3*

В.2.4.1. Комплексы токов и напряжений симметричных составляющих.

В.2.4.1.1. Комплексы токов симметричных составляющих были найдены ранее

#35: $Ia1 = (22.96560432 + 9.368643654 \cdot i) \cdot [кА]$

#36: $Ia2 = -Ia1 = (-22.96560432 - 9.368643654 \cdot i) \cdot [кА]$

В.2.4.1.2. Из комплексной схемы замещения (см. рис. В.1, *г*) находятся симметричные составляющие напряжения в месте КЗ

#37: $ua1 = ua2 = Ia1 \cdot Z4 = (22.96560432 + 9.368643654 \cdot i) \cdot (1.8464 + 4.526129223 \cdot i)$

#38: $ua1 = ua2 = (22.96560432 + 9.368643654 \cdot i) \cdot (1.8464 + 4.526129223 \cdot i)$

#39: $ua1 = -5.727117898 \cdot 10^{-9} + 121.2435564 \cdot i \cdot [В] \wedge ua2 = (-5.727117898 \cdot 10^{-9} + 121.2435564 \cdot i) \cdot [В]$

#40: $ua1 = 121.2435564 \cdot i \cdot [В] \wedge ua2 = 121.2435564 \cdot i \cdot [В]$

Отсюда видно, что симметричные составляющие комплексов напряжения U_{A1} и U_{A2} фактически представляются мнимыми составляющими и совпадают по фазе с ЭДС E_1.

В.2.4.2. Векторные диаграммы (рис. В.2) для начальной фазы **α = 90°** ЭДС или $\boldsymbol{U_{A1}}$ в фазе электрической цепи **А**.

В.2.5. Векторные диаграммы токов и напряжений в точке *W* при КЗ в точке *КЗ*

В.2.5.1. Построение векторных диаграмм в точке ***W*** (рис. В.2).

Трансформатор **Т3** имеет схему соединения обмоток и группу соединения → **Δ/Yн–11**.

В.3.5.1.1. Симметричные составляющие тока напряжения в точке ***W***.

На рис. В.3 представлены расчётная схема и схемы замещения прямой, обратной последовательностей.

а). Ранее определили ток прямой и обратной последовательностей

#41: $Iw1 = Ia1 = 22.96560432 + 9.368643654 \cdot i \cdot [кА]$

#42: $Iw2 = Ia2 = -22.96560432 - 9.368643654 \cdot i \cdot [кА]$

б). Напряжение прямой и обратной последовательностей в точке ***W***,

фаза **А**

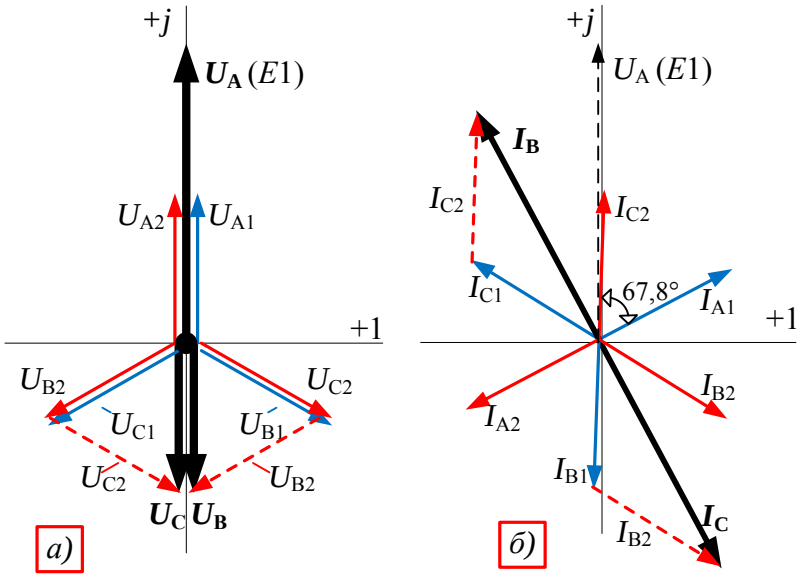


Рис. В.2. Векторные диаграммы напряжений (а) и токов (б) при двухфазном КЗ в точке ***КЗ***

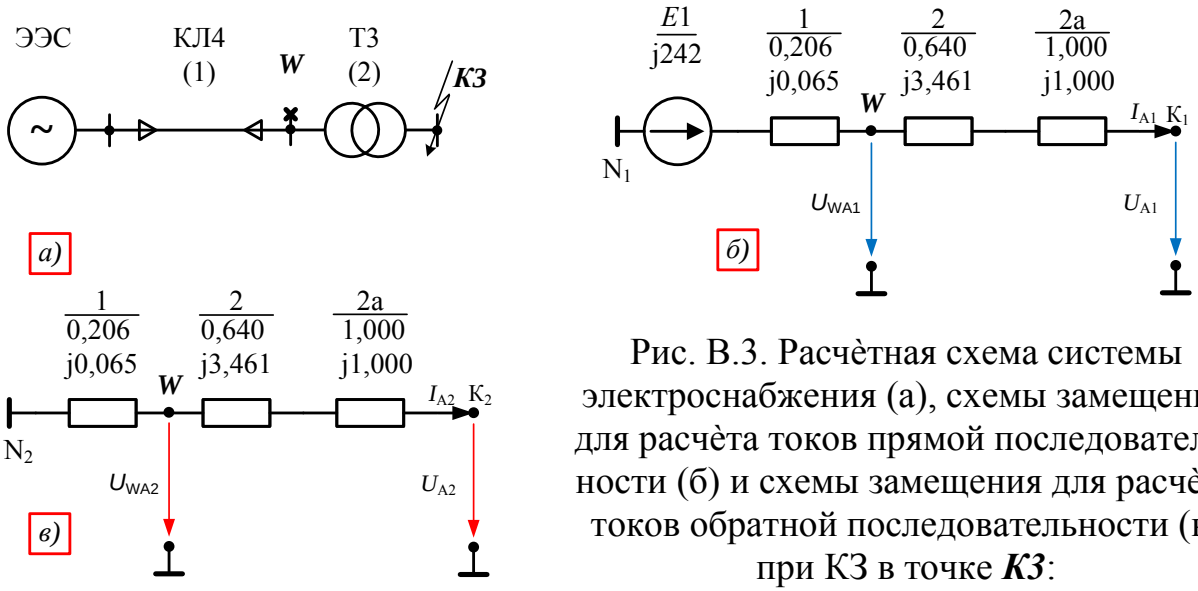


Рис. В.3. Расчѐтная схема системы электроснабжения (а), схемы замещения для расчѐта токов прямой последовательности (б) и схемы замещения для расчѐта токов обратной последовательности (в) при КЗ в точке ***КЗ***:

W – точка построения векторной диаграммы напряжения

б1). Напряжение *прямой* последовательности в точке ***W***

```
#43:  uw1 = E1 – Ia1·Z1 = 242.487113·i – (22.96560432 +
        + 9.368643654·i)·(0.2064 + 0.0648·i)
#44: uw1 = 242.487113·i – (22.96560432 + 9.368643654·i)·(0.2064 +
```

$+ 0.0648 \cdot i)$

#45: $uw1 = (-4.133012622 + 239.0652537 \cdot i) \cdot [B]$

Модуль комплекса напряжения прямой последовательности

#46: $|uw1| = |-4.133012622 + 239.0652537 \cdot i|$

#47: $|uw1| = 239.1009772 \cdot [B]$

б2). Напряжение *обратной* последовательности в точке ***W***

#48: $uw2 = - Ia2 \cdot Z1 = Ia1 \cdot Z1 = (22.96560432 + 9.368643654 \cdot i) \times$

$\times (0.2064 + 0.0648 \cdot i)$

#49: $uw2 = (22.96560432 + 9.368643654 \cdot i) \cdot (0.2064 + 0.0648 \cdot i)$

#50: $uw2 = (4.133012622 + 3.42185921 \cdot i) \cdot [B]$

Модуль комплекса напряжения обратной последовательности

#51: $|uw2| = |4.133012622 + 3.42185921 \cdot i|$

#52: $|uw2| = 5.365716521 \cdot [B]$

Из сравнения модулей напряжения прямой последовательности ***U*W1** и напряжения обратной последовательности ***U*W2** в точке ***W*** можно сделать вывод о возможности пренебрежения напряжением обратной последовательности при построении векторной диаграммы. Кроме того, можно пренебречь действительной частью комплекса напряжения прямой последовательности. Поэтому приближённо напряжение в точке ***W*** равно

#53: $uw1 \cdot \approx \cdot 239.1 \cdot i \cdot [B]$

В.2.5.1.2. На рис. В.4, *а* и *б* представлены векторные диаграммы токов и напряжений в точке ***W*** при схеме и группе соединения обмоток трансформатора **Т3 Δ/Yн–11**. Для сравнения представлены также векторные диаграммы в точке ***К3*** (рис. В.4, *в* и *г*).

При построении векторных диаграмм в точке ***W***, схеме и группе соединения обмоток трансформатора **Т3 Δ/Yн–11** учитывается то обстоятельство, что при переходе со стороны низкого напряжения трансформатора **Т3** на сторону

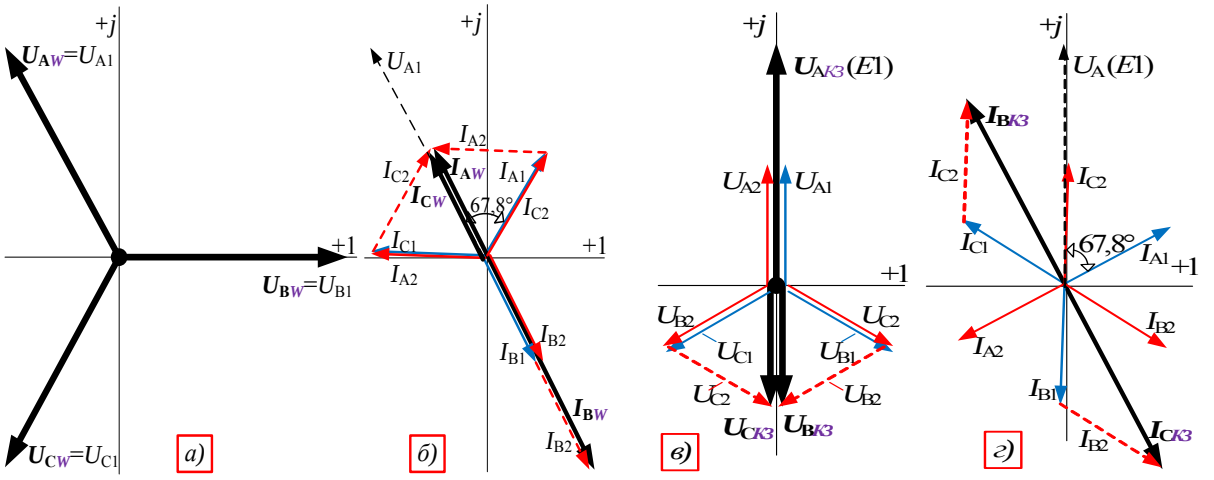


Рис. В.4. Векторные диаграммы напряжений (а) и токов (б) в точке ***W***; векторные диаграммы напряжений (в) и токов (г) в точке ***КЗ*** при схеме соединения обмоток трансформатора Т3 **Д/Yн–11**

высокого напряжения составляющие токов и напряжений прямой последовательностей поворачиваются на 30 ° в *положительном* направлении (против часовой стрелки), а составляющие токов и напряжений обратной последовательностей поворачиваются на 30 ° в *отрицательном* направлении.

В.2.5.1.3. На рис. В.5, *а* и *б* представлены векторные диаграммы токов и напряжений в точке ***W*** при схеме и группе соединения обмоток трансформатора **Т3 Y/Yн–12**. Для сравнения представлены также векторные диаграммы в точке ***КЗ***.

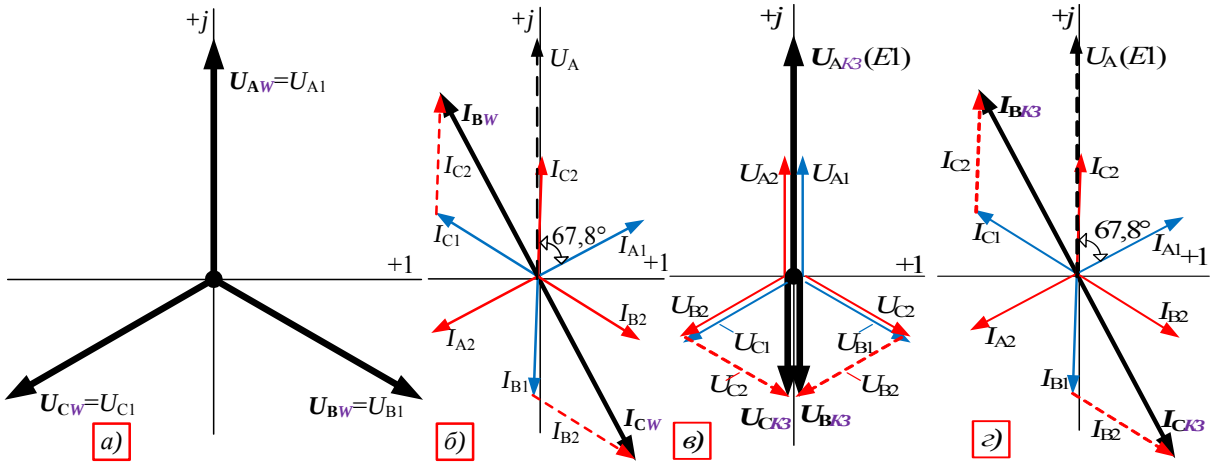


Рис. В.5. Векторные диаграммы напряжений (а) и токов (б) в точке ***W***; векторные диаграммы напряжений (в) и токов (г) в точке ***КЗ*** при схеме соединения обмоток трансформатора Т3 **Y/Yн–12**

При построении векторных диаграмм в точке ***W***, схеме и группе соединения обмоток трансформатора **Т3 Y/Yн–12** учитывается то обстоятельство, что при переходе со стороны низкого напряжения трансформатора **Т3** на сторону высокого напряжения составляющие токов и напряжений прямой последовательностей не имеют сдвига по фазе.

В.2.6. Выводы по расчёту *двухфазного* тока КЗ *I*КЗ в точке *КЗ* методом *симметричных составляющих*:

1. Имеет место полное совпадение действующего значения периодической составляющей двухфазного тока КЗ ***I*КЗ** в точке ***КЗ*** полученного методом *непосредственного расчёта электрической цепи* и методом *симметричных составляющих*.

2. Расчёт значений периодической составляющей двухфазного тока КЗ методом электрической цепи намного проще, чем методом симметричных составляющих.

3. Не смотря на то обстоятельство, что метод *электрической цепи* по сравнению с методом *симметричных составляющих* значительно проще в применении и производительнее его, но с методологической точки зрения значительно уступает. Метод *симметричных составляющих* позволяет понять внутреннюю природу факторов, влияющих на ток двухфазного КЗ.

4. По мере удаления от места КЗ происходит «симметрирование» значений тока и напряжения за счёт уменьшения значений величин обратной последовательности и увеличения величин прямой последовательности.

В.3. РАСЧЁТ ДЕЙСТВУЮЩЕГО ЗНАЧЕНИЯ ПЕРИОДИЧЕСКОЙ СОСТАВЛЯЮЩЕЙ ОДНОФАЗНОГО ТОКА КЗ

В.3.1. Расчётная схема, схемы замещения прямой, обратной и нулевой последовательностей приведены на рис. В.6.

В.3.2. Расчёт значений элементов комплексной схемы замещения

В.3.2.1. Значения ЭДС источника питания и сопротивлений схемы замещения *прямой* последовательности (см. рис. В.6, *б*) получены ранее при расчёте тока двухфазного КЗ в точке ***КЗ***

```
#54:                    E1 = 242.487113·[В]

#55:                    r1 = 0.2064·[мОм]

#56:                    X1 = 0.0648·[мОм]
```

```
#57:                    r2 = 0.64·[мОм]

#58:                    X2 = 3.461329224·[мОм]

#59:                    r2a = rдоп = 1·[мОм]

#60:                    X2a = Xдоп = 1·[мОм]
```

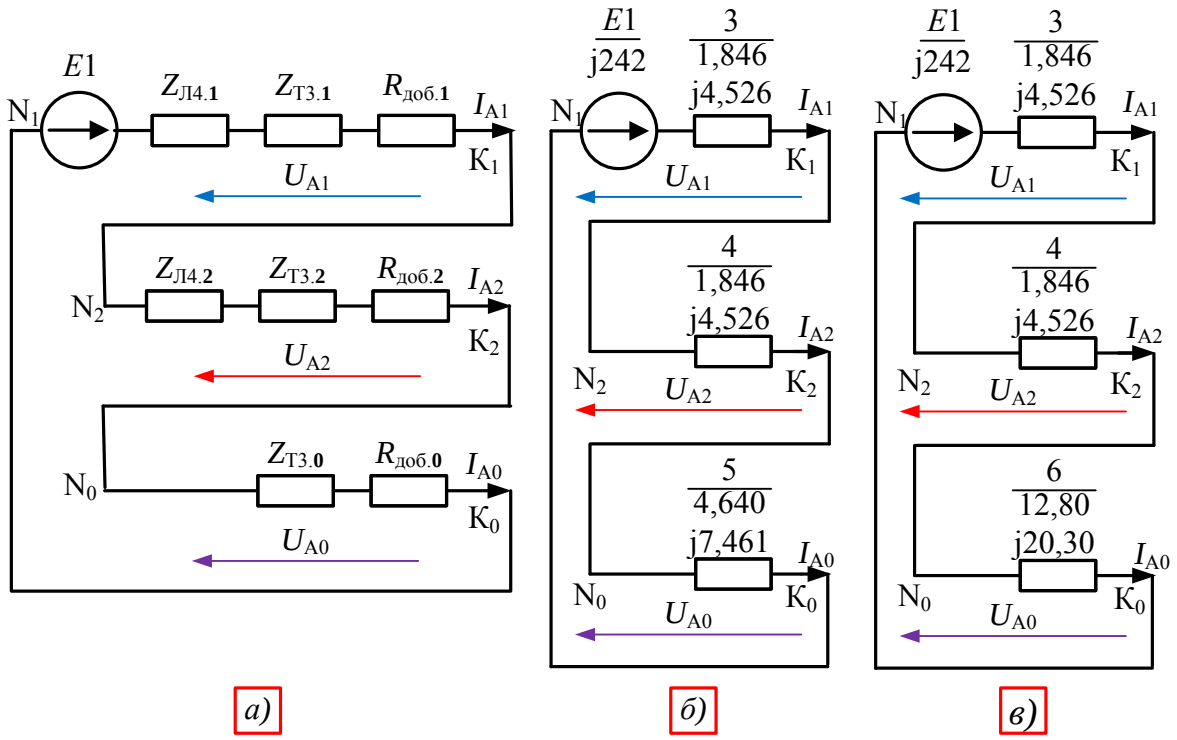


Рис. В.6. Комплексные схемы однофазного КЗ:
а – полная комплексная схема замещения; *б* – комплексная схема замещения при схеме соединения Т3 **Д/Yн–11**; *в* – комплексная схема замещения при схеме соединения Т3 **У/Yн–12**; N_1, N_2, N_0 – соответственно начало схемы прямой, обратной и нулевой последовательностей ; K_1, K_2, K_0 – соответственно конец схемы прямой, обратной и нулевой последовательностей; I_{A1}, I_{A2}, I_{A2} – соответственно токи прямой, обратной и нулевой последовательностей; U_{A1} и U_{A2} – соответственно напряжения прямой, обратной и нулевой последовательностей в месте КЗ; *X*3, *X*4, *X*5 (*X*6) – соответственно эквивалентные индуктивные сопротивления прямой, обратной и нулевой последовательностей относительно точки КЗ

Значение дополнительного сопротивления *прямой* последовательности при однофазном КЗ на **I**-й ступени распределения энергии, обусловленного распределительным устройством низкого напряжения п/ст в цепи **ЭЭС–КЛ4–Т3**, питаемой от ЭЭС, принимаются равными *R*2а = 1 мОм и *X*2а = 1 мОм.

Примечание. – Правила выбора значения дополнительного сопротивления *прямой* последовательности в зависимости от номинального напряжения сети $U_н$ при однофазном КЗ на **I**-й ступени распределения энергии (точка КЗ ***К3***).

В случае сети с $U_н$ = 380 В дополнительное сопротивление *прямой* последовательности при КЗ на шинах п/ст при однофазном КЗ принимается равным $r_{доп}$ = 1 мОм и $X_{доп}$ = 1 мОм.

Если расчѐт тока КЗ выполняется в сети с $U_н$ = 660 В, то дополнительное сопротивление *прямой* последовательности при однофазном КЗ на шинах п/ст принимается равным $r_{доп} = \sqrt{3}$ мОм (в корень из трѐх раз большим, чем в сети с $U_н$ = 380 В) и $X_{доп}$ = 1 мОм.

В.3.2.2. Значения сопротивлений схемы замещения *обратной* последовательности (см. рис. В.6, *в*) равны соответствующим сопротивлениям прямой последовательности. ЭДС источника питания в схеме замещения *обратной* последовательности отсутствует, поэтому значения сопротивлений обратной последовательности равны

```
#61:                    r1 = 0.2064·[мОм]

#62:                    X1 = 0.0648·[мОм]

#63:                    r2 = 0.64·[мОм]

#64:                    X2 = 3.461329224·[мОм]

#65:                    r2a = rдоп = 1·[мОм]

#66:                    X2a = Xдоп = 1·[мОм]
```

Значение дополнительного сопротивления *обратной* последовательности при однофазном КЗ на **I**-й ступени распределения энергии, обусловленного распределительным устройством низкого напряжения п/ст в цепи **ЭЭС–КЛ4–Т3**, питаемой от ЭЭС, принимаются равными
R2а = 1 мОм и X2а = 1 мОм.

Примечание. – Правила выбора значения дополнительного сопротивления *обратной* последовательности в зависимости от номинального напряжения сети $U_н$ при однофазном КЗ на **I**-й ступени распределения энергии (точка КЗ ***К3***).

В случае сети с $U_н$ = 380 В дополнительное сопротивление *обратной* последовательности при КЗ на шинах п/ст при однофазном КЗ принимается равным $r_{доп}$ = 1 мОм и $X_{доп}$ = 1 мОм.

Если расчѐт тока КЗ выполняется в сети с $U_н$ = 660 В, то дополнительное сопротивление *прямой* последовательности при однофазном КЗ на шинах п/ст принимается равным $r_{доп} = \sqrt{3}$ мОм (в корень из трѐх раз большим, чем в сети с $U_н$ = 380 В) и $X_{доп}$ = 1 мОм.

В.3.2.3. Параметры элементов схемы замещения *нулевой* последовательности.

В.3.2.3.1. ЭДС источника питания Е1 и сопротивление линии **КЛ4** ($R1$ и $X1$) в схеме замещения *нулевой* последовательности (см. рис. В.6, *г* и *д*) отсутствуют, так как отсутствуют пути протекания токов нулевой последовательности по высоковольтной части системы электроснабжения с номинальным напряжением сети $U_н$ = 10 кВ.

В.3.2.3.2. Значение дополнительного сопротивления *нулевой* последовательности при однофазном КЗ на **I**-й ступени распределения энергии, обусловленного распределительным устройством низкого напряжения п/ст в цепи **ЭЭС–КЛ4–Т3**, питаемой от ЭЭС, принимаются равными
$R2а$ = 4 мОм и $X2а$ = 4 мОм.

Примечание. – Правила выбора значения дополнительного сопротивления *нулевой* последовательности в зависимости от номинального напряжения сети $U_н$ при однофазном КЗ на **I**-й ступени распределения энергии (точка КЗ ***КЗ***).

В случае сети с $U_н$ = 380 В дополнительное сопротивление *нулевой* последовательности при КЗ на шинах п/ст при однофазном КЗ принимается равным $r_{доп}$ = 4 мОм и $X_{доп}$ = 4 мОм.

Если расчѐт тока КЗ выполняется в сети с $U_н$ = 660 В, то дополнительное сопротивление *нулевой* последовательности при однофазном КЗ на шинах п/ст принимается равным $r_{доп} = 4\cdot\sqrt{3}$ мОм (в корень из трѐх раз большим, чем в сети с $U_н$ = 380 В) и $X_{доп}$ = 4 мОм.

В.3.2.3.3. Значение сопротивлений нулевой последовательности трансформатора **Т3** со схемой и группой соединения обмоток → **Δ/Yн–11** равно значению сопротивления прямой последовательности

```
#67:                    rт0 = 0.64·[мОм]

#68:                    Xт0 = 3.461·[мОм]
```

В.3.2.3.4. Значение сопротивлений трансформатора **Т3** нулевой последовательности со схемой и группой соединения обмоток **Y/Yн–12** определяется по справочным данным последовательности

```
#69:                    rт0 = 8.8·[мОм]

#70:                    Xт0 = 16.4·[мОм]
```

В.3.3. Определение эквивалентных значений сопротивлений схем замещения *прямой, обратной* и *нулевой* последовательностей. Формирование комплексной схемы замещения

В.3.3.1. Эквивалентное значение сопротивления схемы замещения *прямой* последовательности ($R3$ и $X3$)

```
#71:  r3 = r1 + r2 + r2a = 0.2064 + 0.64 + 1

#72:                          r3 = 1.8464·[мОм]

#73:  X3 = X1 + X2 + X2a = 0.0648 + 3.461329224 + 1

#74:                       X3 = 4.526129223·[мОм]
```

В.3.3.2. Эквивалентное значение сопротивления схемы замещения *обратной* последовательности ($R4$ и $X4$)

```
#75:  r4 = r1 + r2 + r2a = 0.2064 + 0.64 + 1

#76:                          r4 = 1.8464·[мОм]

#77:  X4 = X1 + X2 + X2a = 0.0648 + 3.461329224 + 1

#78:                       X4 = 4.526129223·[мОм]
```

В.3.3.3. Эквивалентное значение сопротивления схемы замещения *нулевой* последовательности при схеме и группе соединения обмоток трансформатора **Т3 Δ/Yн–11** ($R5$ и $X5$)

```
#79:  r5 = r2 + r2a = 0.64 + 4

#80:                           r5 = 4.64·[мОм]

#81:  X5 = X2 + X2a = 3.461329224 + 4

#82:                       X5 = 7.461329224·[мОм]
```

В.3.3.4. Эквивалентное значение сопротивления схемы замещения *нулевой* последовательности при схеме и группе соединения обмоток трансформатора **Т3 Y/Yн–11** ($R6$ и $X6$)

```
#83:  r6 = r2 + r2a = 8.8 + 4

#84:                           r6 = 12.8·[мОм]
```

#85: $X6 = X2 + X2a = 16.3 + 4$

#86: $X6 = 20.3 \cdot [мОм]$

В.3.3.5. Формирование комплексных схем замещения.
На рис. В.7 представлены необходимые по условию задачи комплексные схемы замещения.

В.3.4. Симметричные составляющие и действующее значение тока однофазного КЗ в точке *КЗ*

В.3.4.1. Симметричные составляющие и значение тока однофазного КЗ при схеме соединения обмоток трансформатора **Т3 Δ/Yн–11.**

В.3.4.1.1. Ток *прямой* последовательности $\boldsymbol{I}_{\mathbf{A1}}$ в фазе **А**

#87: $$Ia1 = \frac{E1}{r3 + X3 \cdot i + r4 + X4 \cdot i + r5 + X5 \cdot i} =$$

$$= \frac{242.487113 \cdot i}{2 \cdot (1.8464 + 4.526129223 \cdot i) + 4.64 + 7.461329224 \cdot i}$$

#88: $$Ia1 = \frac{242.487113 \cdot i}{2 \cdot (1.8464 + 4.526129223 \cdot i) + 4.64 + 7.461329224 \cdot i}$$

#89: $Ia1 = (11.70398333 + 5.905860938 \cdot i) \cdot [кА]$

В.3.4.1.2. Модуль и фаза комплекса тока прямой последовательности $\boldsymbol{I}_{\mathbf{A1}}$

а) Модуль комплекса тока прямой последовательности

#90: $|Ia1| = |11.70398333 + 5.905860938 \cdot i| \cdot [кА]$

#91: $|Ia1| = 13.10963078 \cdot [кА]$

б) Фаза $\boldsymbol{\psi_1}$ комплекса тока прямой последовательности в *радианах*

#92: $PHASE(Ia1) = PHASE(11.70398333 + 5.905860938 \cdot i)$

#93: $PHASE(Ia1) = \psi 1 = 0.4673229414 \cdot [рад]$

Фаза комплекса тока прямой последовательности в *градусах*

#94: $PHASE(Ia1) = \psi 1 = 0.4673229414 \cdot \frac{180}{\pi}$

#95: $\psi 1 = 26.77563221°$

В.3.4.1.3. Угол сдвига фаз $\boldsymbol{\varphi 1}$ между напряжением прямой последовательности $\boldsymbol{U}_{\mathbf{A1}}$ и током прямой последовательности $\boldsymbol{I}_{\mathbf{A1}}$

#96: $\phi 1 = 90° - 26.77563221°$

#97: $\phi 1 = 63.22436778°$

В.3.4.1.4. Ток *обратной* последовательности $\boldsymbol{I}_{\mathbf{A2}}$ в фазе **А** находится из комплексной схемы замещения (см. рис. В.7, *б*)

#98: $Ia2 = Ia1 = (11.70398333 + 5.905860938 \cdot i) \cdot [кА]$

В.3.4.1.5. Ток *нулевой* последовательности $\boldsymbol{I}_{\mathbf{A0}}$ в фазе **А** находится из комплексной схемы замещения (см. рис. В.7, *б*)

#99: $Ia0 = Ia1 = (11.70398333 + 5.905860938 \cdot i) \cdot [кА]$

В.3.4.1.6. Комплексы напряжений симметричных составляющих $\boldsymbol{U}_{\mathbf{A1}}$, $\boldsymbol{U}_{\mathbf{A2}}$ и $\boldsymbol{U}_{\mathbf{A0}}$.

а). Напряжение *прямой* последовательности $\boldsymbol{U}_{\mathbf{A1}}$ в фазе **А**

#100: $ua1 = E1 - Z3 \cdot Ia1 = 242.487113 \cdot i - (1.8464 +$

$+ 4.526129223 \cdot i) \cdot (11.70398333 + 5.905860938 \cdot i)$

#101: $ua1 = 242.487113 \cdot i - (1.8464 + 4.526129 \cdot i) \cdot (11.703983 +$

$+ 5.905860 \cdot i)$

#102: $ua1 = (5.120454957 + 178.6087903 \cdot i) \cdot [B]$

а1). *Модуль* комплекса напряжения прямой последовательности

#103: $|ua1| = |5.120454957 + 178.6087903 \cdot i|$

#104: $|ua1| = 178.6821732 \cdot [B]$

а2). *Фаза* комплекса напряжения прямой последовательности $\boldsymbol{\psi}_{\mathbf{U1}}$

#105: PHASE(ua1) = PHASE(5.120454957 + 178.6087903·i)

#106: ψu1 = 1.542135627·[рад]

Фаза комплекса напряжения прямой последовательности в *градусах*

#107: PHASE(ua1) = ψu1 = $1.542135627 \cdot \frac{180}{\pi}$

#108: ψu1 = 88.35786286°

б). Напряжение *обратной* последовательности ***U*A2** в фазе **A**

#109: ua2 = – Z4·Ia1 = – (1.8464 + 4.526129223·i)·(11.70398333 +
+ 5.905860938·i)

#110: ua2 = – (1.8464 + 4.526129223·i)·(11.70398333 +
+ 5.905860938·i)

#111: ua2 = (5.120454957 – 63.87832261·i)·[В]

б1). *Модуль* комплекса напряжения обратной последовательности

#112: |ua2| = |5.120454957 – 63.87832261·i|

#113: |ua2| = 64.08322056·[В]

б2). *Фаза* комплекса напряжения обратной последовательности ***ψ*U2** в *радианах*

#114: PHASE(ua2) = PHASE(5.120454957 – 63.87832261·i)

#115: ψu2 = – 1.490807848·[рад]

Фаза комплекса напряжения обратной последовательности в *градусах*

#116: PHASE(ua1) = ψu2 = $- 1.490807848 \cdot \frac{180}{\pi}$

#117: ψu2 = – 85.41699775°

в). Напряжение *нулевой* последовательности ***U*A0** в фазе**A**

#118: ua0 = – Z5·Ia1 = – (4.64 + 7.461329224·i)·(11.70398333 +

+ 5.905860938·i)

#119: ua0 = – (4.64 + 7.461329224·i)·(11.70398333 + 5.905860938·i)

#120: ua0 = (–10.24090984 – 114.7304676·i)·[B]

в1). *Модуль* комплекса напряжения нулевой последовательности

#121: |ua0| = |–10.24090984 – 114.7304676·i|

#122: |ua0| = 115.1866156·[B]

в2). *Фаза* комплекса напряжения нулевой последовательности ***ψ*U0** в *радианах*

#123: PHASE(ua0) = PHASE(–10.24090984 – 114.7304676·i)

#124: ψu0 = – 1.659820989·[рад]

Фаза комплекса напряжения нулевой последовательности в *градусах*

$$\#125:\ \mathrm{PHASE}(ua0) = \psi u0 = -1.659820989\cdot\frac{180}{\pi}$$

#126: ψu0 = – 95.10073741°

В.3.4.1.7. Проверка правильности определения комплексов напряжений симметричных составляющих ***U*A1**, ***U*A2** и ***U*A0**

#127: ua1 = 5.120454957 + 178.6087903·i = – (ua2 + ua0) =

= ((5.120454957 – 63.87832261·i) + (–10.24090984 – 114.7304676·i))

#128: – (ua2 + ua0) = – ((5.120454957 – 63.87832261·i) +

+(–10.24090984 – 114.7304676·i))

#129: – (ua2 + ua0) = 5.120454882 + 178.6087902·i

Из сравнения напряжения прямой последовательности с напряжения-

ми обратной и нулевой последовательностей видно, что имеет место совпадение до 5-го разряда после запятой.

В.3.4.1.8. Построение векторных диаграмм токов и напряжений в точке ***К3*** при схеме соединения обмоток трансформатора **Т3 Δ/Ун-11** представлено на рис. В.7.

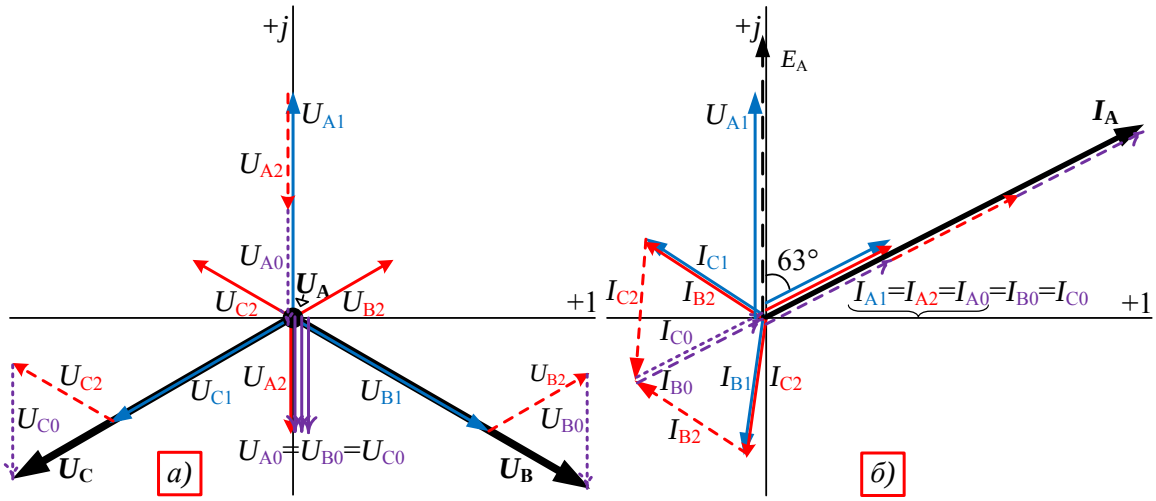


Рис. В.7. Векторные диаграммы напряжений (а)
и токов (б) при однофазном КЗ в точке ***К3***

На основании векторной диаграммы (см. рис. В. 7, *б*) токов видно, что в силу равенства значений токов прямой, обратной и нулевой последовательностей результирующее значение тока в фазе электрической цепи **А** в 3 раза больше значения тока любой последовательности.

В.3.4.1.9. Действующее значение тока *однофазного* КЗ ***I*К3** в фазе **А** электрической цепи находится использованием соотношения между током прямой последовательности ***I*А1** и током однофазного КЗ. Схема соединения обмоток трансформатора **Т3 Δ/Yн–11**

```
#130: Iк3A = m·Ia1 = 3·Ia1 = 3·13.10963078

#131:                    Iк3A = 39.32889233·[кA]
```

В.3.4.2. Симметричные составляющие и значение тока однофазного КЗ в точке ***К3*** при схеме соединения обмоток трансформатора **Т3 Y/Yн–12.**

В.3.4.2.1. Ток *прямой* последовательности ***I*А1** в фазе **А**

$$\#132:\ Ia1 = \frac{E1}{r3 + X3\cdot i + r4 + X4\cdot i + r6 + X6\cdot i} =$$

$$= \frac{242.487113 \cdot i}{2 \cdot (1.8464 + 4.526129223 \cdot i) + 12.8 + 20.3 \cdot i}$$

$$\#133:\ Ia1 = \frac{242.487113 \cdot i}{2 \cdot (1.8464 + 4.526129223 \cdot i) + 12.8 + 20.3 \cdot i}$$

#134: $Ia1 = (6.278888761 + 3.528057534 \cdot i) \cdot [кА]$

В.3.4.2.2. Модуль комплекса тока прямой последовательности ***I*А1**

#135: $|Ia1| = |6.278888761 + 3.528057534 \cdot i| \cdot [кА]$

#136: $|Ia1| = 7.202196473 \cdot [кА]$

В.3.4.2.3. Действующее значение тока *однофазного* КЗ ***I*КЗ** в фазе **А** находится использованием соотношения между током прямой последовательности ***I*А1** и током однофазного КЗ. Схема соединения обмоток трансформатора **ТЗ Y/Yн–11**

#137: $Iк3A = m \cdot Ia1 = 3 \cdot Ia1 = 3 \cdot 7.202196473$

#138: $Iк3A = 21.60658941 \cdot [кА]$

В.3.5. Выводы по расчёту однофазного тока КЗ методом симметричных составляющих:

1. Схема соединения обмоток силового трансформатора значимо влияет на значение однофазного тока КЗ.

2. Дополнительное сопротивление значимо влияет на значение однофазного тока КЗ. Поэтому его следует учитывать.

3. Несмотря на то обстоятельство, что метод *модулей* по сравнению с методом *симметричных составляющих* значительно проще и производительнее его, но с методологической точки зрения значительно уступает. Метод *симметричных составляющих* позволяет понять внутреннюю природу факторов, влияющих на ток однофазного КЗ.

4. Метод *симметричных составляющих* и метод *модулей* дают фактически один и тот же результат расчёта, если характер результирующего сопротивления носит один и тот же характер (в данном примере превалирующий индуктивный характер).

Окончание прил. В

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Переходные процессы в системах электроснабжения : учебник / В. Н. Винославский, Г. Г. Пивняк, Л. И. Несен и др.; под ред. В. Н. Винославского. – К. : Выща шк. Головное изд-во, 1989. – 422 с.

2. Куликов, Ю. А. Переходные процессы в электрических системах: учеб. пособие / Ю. А. Куликов. – Изд. 2-е, испр. и доп. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2006. – 284 с.

3. Расчёт коротких замыканий и выбор электрооборудования : учеб. пособие для студ. высш. учеб. заведений / И. П. Крючков, Б. Н. Неклепаев, В. А. Старшинов и др.; под ред. И. П. Крючкова и В. А. Старшинова. – 2-е изд., стер. – М. : Издательский центр «Академия», 2006. – 416 с.

4. Переходные процессы в электроэнергетических системах : учебник / И. П. Крючков, В. А. Старшинов, Ю. П. Гусев, М. В. Пиратов; под ред. И. П. Крючкова. – М. : Издательский дом МЭИ, 2008. – 416 с.

5. Короткие замыкания и несимметричные режимы электроустановок: учеб. пособие для студентов вузов / И. П. Крючков, В. А. Старшинов, Ю. П. Гусев, М. В. Пиратов. – М. : Издательский дом МЭИ, 2008. – 472 с.

6. Расчёт аварийных режимов в системе электроснабжения промышленного предприятия : методические указания к курсовой работе по дисциплине «Переходные процессы в электроэнергетических системах» для студентов специальности 14021165 «Электроснабжение» / сост. Н. Ю. Егорова. – Ульяновск : УлГТУ, 2009. – 39 с.

7. Андреев, В. А. Короткие замыкания и перегрузки в сетях напряжением до 1 кВ и защита от них: учеб. пособие / В. А. Андреев, В. Ф. Шишкин. – Ульяновск: УлГТУ, 1996. – 88 с.

Приложение Г

Пример оформления доклада

Г1. ЧЕРНОВОЙ ВАРИАНТ ДОКЛАДА

Г.1.1. Необходимость чернового варианта доклада диктуется требованием наиболее полного отражения не только основных, но и второстепенных результатов проведённой работы. Доклад рекомендуется писать в соответствии с планом оформления докладов. Поэтому в черновом варианте доклада каждый пункт плана следует рассматривать как самостоятельный, и раскрывать подробно, не обращая внимание на неизбежное дублирование части сведений в смежных пунктах. Также не следует ограничивать объём доклада возможным регламентом времени 5–10 мин.

Г.1.2. Тема доклада:

«**Поиск экстремума функции с применением систем компьютерной математики**».

Доклад посвящён решению вопроса выбора системы компьютерной математики (СКМ) – **Derive** или **Mathcad** в качестве основной для выполнения работ, предусмотренных учебным процессом, например:

- домашних заданий;
- курсовых проектов (работ);
- дипломных проектов,

на основании анализа эффективности поиска экстремума функций с помощью упомянутых СКМ.

1. Постановка задачи и её актуальность (практическое значение)

В работе освещается проблема выбора системы компьютерной математики (СКМ), пригодной для выполнения работ, предусмотренных учебным процессом. В качестве интересуемого перечня СКМ выбраны две системы – **Derive** и **Mathcad**, наиболее часто упоминаемые в Интернете, а соответственно более перспективные в учебном процессе.

Наряду с упомянутыми СКМ существуют ряд других систем, например, MuPAD, MatLAB, Maple, Mathematica и такие свободно распространяемые, как Scilab, Maxima. Поэтому проблема выбора необходимой для расчётов математической системы, которая встаёт на сегодняшний день перед студентами, очевидна и, чаще всего, она определяется *разрекламируемостью* какой-либо пакета математических программ, чем их *требуемыми* для учебного процесса функциональными возможностями.

Основные требования к функциональным возможностям СКМ обусловлены особенностями работ, выполняемыми студентами, и условиями, в которых выполняются эти работы. К этим требования можно отнести:

– большой объём вычислительной работы, как правило, несложного с точки зрения математики, характера;

– отсутствие необходимости «математической» точности результатов расчётов;

– малый бюджет времени на освоение СКМ и выполнение работы.

Следовательно, используемая СКМ должна удовлетворять следующим требованиям:

– производительности расчётов;

– оперативности построения и анализ графических зависимостей;

– универсальности в части возможности использования в расчётах не только численных операций, но и символьных операций;

– простоты освоения.

Данная тема весьма ***актуальна***, поскольку повышение эффективности образования непосредственно связано с внедрением новых методов обучения, каковыми являются компьютерные методы. Реальной основой компьютеризации учебного процесса является применение СКМ – незаменимого средства активизации обучения по многим дисциплинам.

Такое положение обусловлено возможностями СКМ, поскольку позволяет:

– использовать развитые численные методы без обязательного использования классической процедуры программирования;

– перейти от «точечных» расчётов параметров и режимов работы объекта исследования к «процессным» расчётам, когда расчёт выполняется во всём диапазоне изменения параметров;

– освоить более высокий уровень сложности решения задач, что открывает возможности получения детализированного представления об исследуемом объекте;

– широко представлять результаты расчёта в наглядной графической форме.

2. Современное состояние рассматриваемого вопроса

Материалом анализа **состояния рассматриваемого вопроса** послужили источники информации [1–7] – см. библиографический список Приложения Б.

В настоящее время сложилось следующее мнение по поводу данной проблемы.

Наиболее разрекламированным из двух систем Mathcad и Derive является **Mathcad**. Считают [4–6] (см. библиографический список Приложения Б), что:

– главное его преимущество по сравнению с другими СКМ – простота и удобство использования;

– документы, получаемые в этой системе, в том числе и программы, комментарии, результаты вычислений и графики, имеют естественный для научно-технической литературы вид.

СКМ **Derive** [5] относят к «маленькой» математической системе, нетребовательной к аппаратным ресурсам персонального компьютера. При этом обязательно подчёркиваются её недостатки по сравнению с такими математическими системами, как Maple и Mathematica – малое количество функций и правил аналитических преобразований, возможностей машинной графики.

Следует отметить недостатки в позиции и аргументации авторов упомянутых работ. Нельзя сравнивать достоинства и недостатки СКМ исключительно по их функциональным возможностям без учёта требований, которые выдвигает характер и условия применения работ, так как достоинства СКМ для одного круга задач в то же самое время могут стать серьёзными недостатками для другого круга задач.

Обобщая сказанное, можно сделать вывод, что выбор математической системы должен быть осуществлён, прежде всего, на основании вышесформулированных требованиях к СКМ, а не их функциональных возможностях.

3. Цель работы

Целью данной работы является нахождение оптимальной по своим функциональным возможностям и быстроте освоения системы компьютерной математики из двух рассматриваемых – **Mathcad** и **Derive**, способной решать различного рода задачи, встающие перед студентами в ходе процесса обучения.

4. Задачи, которые надо решить для достижения поставленной цели

Для решения поставленной цели необходимо проанализировать СКМ **Mathcad** и **Derive** на предмет максимального соответствия следующим требованиям:

– производительности расчётов;

– оперативности построения и анализа графических зависимостей;

– универсальности в части возможности использования в расчётах и символьных операциях;

– простоты в изучении.

5. Исходные материалы, привлечённые для выполнения работы

Для выполнения работы были привлечены системы компьютерной математики **Mathcad** и **Derive** в части нахождения значений экстремума функций.

6. Метод решения задачи, использованный в работе

Общий **метод** решения задачи заключается в сравнении результата нахождения экстремумов характерных функциональных дифференцируемых зависимостей монотонного или периодического характера с помощью системы компьютерной математики **Mathcad** и **Derive**.

В качестве частного метода нахождения экстремумов функциональных зависимостей в обоих СКМ использовался метод производной функции.

Дополнительно в СКМ **Mathcad** нахождение экстремума функций выполнялось с помощью частного метода встроенных функций **maximize** и **minimize** (2D графики) и контурного графика (3D графики)**.**

Дополнительно в СКМ **Derive** нахождение экстремума функций выполнялось с помощью частного метода скользящего курсора (2D графики) и скользящих плоскостей (3D графики).

Поиск экстремумов функций <u>одной</u> переменной $y(x)$ производился на примерах:

– полинома четвёртой степени

$$y(x) = x^4 + ax^3 + bx^2 + cx + d;$$

– функции вида

$$y = \sin(x)/x.$$

Поиск экстремумов функций <u>двух</u> переменных $z(x, y)$ производится на примере исследуемой функции вида

$$z = \sin(x) \cdot e^{(-x^2-y^2)}.$$

7. Полученные результаты и их анализ

Сравнивая две системы СКМ в части нахождения значений координат экстремума можно утверждать, что **Derive**, несомненно, превосходит по производительности и удобству вычислений СКМ **Mathcad** функций любого вида**,** если применяется метод скользящего курсора (2D графика) или метод скользящих плоскостей (3D графика). Точность при этом обеспечивается вполне достаточная для практических целей (инженерных расчётов).

В части применения аналитических методов **Derive** уступает **Mathcad** при исследовании периодических функций. Кроме того, в СКМ **Derive** не

предусмотрен аналитический анализ недифференцируемых исследуемых функций, имеющих скачки, разрывы и переломы. В то же время **Mathcad** позволяет находить экстремумы таких исследуемых функций с помощью встроенной функции **Minerr**.

Качество форматирования текста примерно одинаково, но форматирование текста в **Derive** несколько уступает качеству форматирования в **Mathcad.** Преимуществом **Derive** является более высокая производительность печатанья текста за счёт отсутствия необходимости ручной установки текстовых областей и размещения в главном окне.

Качество форматирования 2D графиков в **Derive** значительно уступает качеству форматирования в **Mathcad.** Что касается 3D графиков, то **Derive** обеспечивает в ряде случаев лучшее представление графиков, чем **Mathcad.**

Дополнительным преимуществом **Mathcad** является возможность анимации графиков.

Производительность построения графиков заметно больше в СКМ **Derive** по сравнению с СКМ **Mathcad**.

По универсальности в части возможности использования как в расчётах, так и в символьных операциях **Derive** значительно опережает **Mathcad**.

По части простоты в изучения **Derive** также значительно опережает **Mathcad,** благодаря меньшему количеству функций и правил преобразований.

8. Практическое значение полученных результатов

Derive по сравнению с **Mathcad** обеспечивает:

– наибольшую производительность расчётов;
– оперативность построения и анализ графических зависимостей;
– универсальность в части возможности использования в расчётах и символьных операциях;
– простоту в изучении.

Тем не менее, качество форматирования 2D графиков в **Derive** значительно уступает качеству форматирования в **Mathcad**. Кроме того, **Mathcad** в отличие от **Derive** значительно более интегрирован с программами пакета Microsoft Office, такими, как Word и Visio.

Таким образом, для учебного процесса студентами можно рекомендовать применение в качестве *основной* системы компьютерной математики **Derive**, а в качестве *дополнительной* СКМ использовать **Mathcad**.

Г.2. ОКОНЧАТЕЛЬНЫЙ ВАРИАНТ ДОКЛАДА

Г.2.1. *Окончательный вариант* доклада.

Окончательный вариант доклада выполняют на основе предварительного варианта доклада. С этой целью берут за основу предварительный вариант и его редактируют, так, чтобы текст доклада представлял собой единое целое без повторения одних и тех же по смыслу отдельных частей. Объём доклада должен быть таким, что бы отрепетированный доклад можно было представить в течение регламентированного времени, которое обычно ограничено 5–10 мин.

Г.2.2. Тема доклада:

«Поиск экстремума функции с применением систем компьютерной математики».

Доклад посвящён решению вопроса выбора системы компьютерной математики (СКМ) – **Derive** или **Mathcad** в качестве основной для выполнения работ, предусмотренных учебным процессом:

– домашних заданий;
– курсовых проектов (работ);
– дипломных проектов,

на основании анализа эффективности поиска экстремума функций с помощью упомянутых СКМ.

В работе освещается проблема выбора системы компьютерной математики (СКМ), пригодной для выполнения работ, предусмотренных учебным процессом. В качестве интересуемого перечня СКМ выбраны две системы – **Derive** и **Mathcad**, наиболее часто упоминаемые в Интернете, а соответственно более перспективные в учебном процессе.

Наряду с упомянутыми СКМ существует ряд других систем, например, MuPAD, MatLAB, Maple, Mathematica и такие свободно распространяемые, как Scilab, Maxima. Поэтому проблема выбора необходимой для расчётов математической системы, которая встаёт на сегодняшний день перед студентами, очевидна, и, чаще всего, она определяется разрекламируемостью какой-либо пакета математических программ, чем их *требуемыми* для учебного процесса функциональными возможностями.

Основные требования к функциональным возможностям СКМ обусловлены особенностями работ, выполняемыми студентами, и условиями, в которых выполняются эти работы. К этим требования можно отнести:

– большой объём вычислительной работы, как правило, несложного с точки зрения математики, характера;

отсутствие необходимости «математической» точности результатов расчётов;

– малый бюджет времени на освоение СКМ и выполнение работы.

Следовательно, используемая СКМ должна удовлетворять следующим требованиям:

– производительности расчётов;

– оперативности построения и анализа графических зависимостей;

– универсальности в части возможности использования в расчётах и символьных операциях;

– простоте в изучении.

Данная тема весьма ***актуальна***, поскольку повышение эффективности образования непосредственно связано с внедрением новых методов обучения, каковыми являются компьютерные методы. Реальной основой компьютеризации учебного процесса является применение СКМ – незаменимое средство активизации обучения по многим дисциплинам.

Такое положение обусловлено возможностями СКМ, поскольку позволяет:

– использовать развитые численные методы без обязательного использования классической процедуры программирования;

– перейти от «точечных» расчётов параметров и режимов работы объекта исследования к «процессным» расчётам, когда расчёт выполняется во всём диапазоне изменения параметров;

– освоить более высокий уровень сложности решения задач, что открывает возможности получения детализированного представления об исследуемом объекте;

– широко представлять результаты расчёта в наглядной графической форме.

Материалом анализа **состояния рассматриваемого вопроса** послужили источники информации [1–7] – см. библиографический список Приложения Б.

В настоящее время сложилось следующее мнение по поводу данной проблемы.

Наиболее разрекламированным из двух систем Mathcad и Derive является **Mathcad**. Считают [4–6] – см. библиографический список Приложения Б, что:

– главное его преимущество по сравнению с другими СКМ – простота удобство использования;

– документы, получаемые в этой системе, в том числе и программы, комментарии, результаты вычислений и графики, имеют естественный для научно-технической литературы вид.

СКМ **Derive** [5] относят к «маленькой» математической системе нетребовательной к аппаратным ресурсам персонального компьютера. При этом обязательно подчёркиваются её недостатки по сравнению с такими математическими системами, как Maple и Mathematica – малое количество функций и правил аналитических преобразований, возможностей машинной графики.

Следует отметить недостатки в позиции и аргументации авторов упомянутых работ. Нельзя сравнивать достоинства и недостатки СКМ исключительно по их функциональным возможностям без учёта требований, которые выдвигает характер и условия применения работ, так как достоинства СКМ для одного круга задач в то же самое время могут стать серьёзными недостатками для другого круга задач.

Обобщая сказанное, можно сделать вывод, что выбор математической системы должен быть осуществлён, прежде всего, на основании вышесформулированных требованиях к СКМ, а не на их функциональных возможностях.

Целью данной работы является нахождение оптимальной по своим функциональным возможностям и быстроте освоения системы компьютерной математики из двух рассматриваемых – **Mathcad** и **Derive**, способной решать различного рода задачи, встающие перед студентами в ходе процесса обучения.

Для решения поставленной цели необходимо проанализировать СКМ **Mathcad** и **Derive** на предмет максимального соответствия следующим требованиям:

– производительности расчётов;
– оперативности построения и анализа графических зависимостей;
– универсальности в части возможности использования в расчётах и символьных операциях;
– простоты в изучении.

Общий **метод** решения задачи заключается в сравнении результата нахождения экстремумов характерных функциональных дифференцируемых зависимостей монотонного или периодического характера с помощью системы компьютерной математики **Mathcad** и **Derive**.

В качестве частного метода нахождения экстремумов функциональных зависимостей в обоих СКМ использовался метод производной функции.

Дополнительно в СКМ **Mathcad** нахождение экстремума функций выполнялось с помощью частного метода встроенных функций **maximize** и **minimize** (2D графики) и контурного графика (3D графики)**.**

Дополнительно в СКМ **Derive** нахождение экстремума функций выполнялось с помощью частного метода скользящего курсора (2D графики)

и скользящих плоскостей (3D графики).

Поиск экстремумов функций одной переменной $y(x)$ производился на примерах:

– полинома четвёртой степени

$$y(x) = x^4 + ax^3 + bx^2 + cx + d;$$

– функции вида

$$y = \sin(x)/x.$$

Поиск экстремумов функций двух переменных $z(x, y)$ производится на примере исследуемой функции вида

$$z = \sin(x) \cdot e^{(-x^2-y^2)}.$$

Сравнивая две системы СКМ в части нахождения значений координат экстремума, можно утверждать, что **Derive**, несомненно, превосходит по производительности и удобству вычислений СКМ **Mathcad** функций любого вида, если применяется метод скользящего курсора (2D графика) или метод скользящих плоскостей (3D графика). Точность при этом обеспечивается вполне достаточной для практических целей (инженерных расчётов).

В части применения аналитических методов **Derive** уступает **Mathcad** при исследовании периодических функций. Кроме того, в СКМ **Derive** не предусмотрен аналитический анализ недифференцируемых исследуемых функций, имеющих скачки, разрывы и переломы. В то же время **Mathcad** позволяет находить экстремумы таких исследуемых функций с помощью встроенной функции **Minerr**.

Качество форматирования текста примерно одинаково, но форматирование текста в **Derive** несколько уступает качеству форматирования в **Mathcad.** Преимуществом **Derive** является более высокая производительность вывода на печать текста за счёт отсутствия необходимости ручной установки текстовых областей и размещения в главном окне.

Качество форматирования 2D графиков в **Derive** значительно уступает качеству форматирования в **Mathcad.** Что касается 3D графиков, то **Derive** обеспечивает в ряде случаев лучшее представление графиков, чем **Mathcad.**

Дополнительным преимуществом **Mathcad** является возможность анимации графиков.

Производительность построения графиков заметно больше в СКМ **Derive** по сравнению с СКМ **Mathcad**.

По универсальности в части возможности использования, как в расчётах, так и в символьных операциях **Derive** значительно опережает **Mathcad**.

По части простоты в изучения **Derive** также значительно опережает **Mathcad,** благодаря меньшему количеству функций и правил преобразований.

Практическое значение полученных результатов заключается в следующем. **Derive** по сравнению с **Mathcad** обеспечивает:

– наибольшую производительность расчётов;
– оперативность построения и анализ графических зависимостей;
– универсальность в части возможности использования в расчётах и символьных операциях;
– простоту в изучении.

Тем не менее, качество форматирования 2D графиков в **Derive** значительно уступает качеству форматирования в **Mathcad**. Кроме того, **Mathcad** в отличие от **Derive** значительно более интегрирован с программами пакета Microsoft Office, такими, как Word и Visio.

Таким образом, для учебного процесса студентами можно рекомендовать применение в качестве *основной* системы компьютерной математики **Derive**, а в качестве *дополнительной* СКМ использовать **Mathcad**.

Учебное издание

АЛЕКСАНДРОВ Дмитрий Степанович

УЧЕБНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКАЯ РАБОТА СТУДЕНТОВ

Учебное пособие

Редактор Н. А. Евдокимова

ЛР №020640 от 22.10.97.
Подписано в печать 26.12.2014. Формат 60×84/16.
Усл. печ. л. 8,84. Тираж 50 экз. Заказ 71. ЭИ № 539.

Ульяновский государственный технический университет
432027, г. Ульяновск, ул. Северный Венец, д. 32.

ИПК «Венец» УлГТУ, 432027, г. Ульяновск, ул. Сев. Венец, д. 32.