



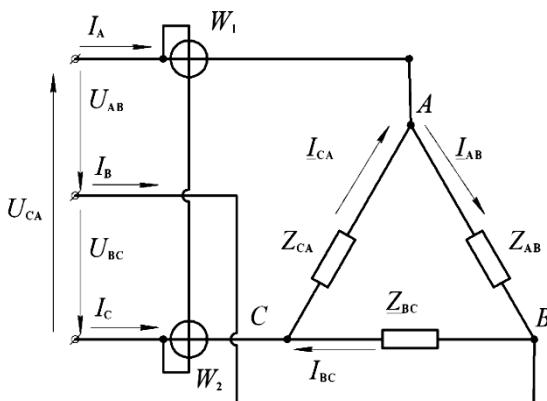
Министерство сельского хозяйства
Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего
профессионального образования
«Самарская государственная
сельскохозяйственная академия»

Кафедра «Электрификация
и автоматизация АПК»

С. И. Васильев

ЭЛЕКТРОТЕХНИКА И ЭЛЕКТРОНИКА

Методические указания
для выполнения курсового проекта



Кинель
РИЦ СГСХА
2015

УДК 631.371 (07)
ББК 31.21
В-19

Васильев, С. И.

В-19 Электротехника и электроника : методические указания для выполнения курсового проекта / С. И. Васильев. – Кинель : РИЦ СГСХА, 2015. – 53 с.

В учебном издании представлены краткие теоретические сведения по тематике курсового проектирования, т.е. вопросы, касающиеся законов линейных электрических цепей, их структуры, свойств, режимов работы и методов расчета, а также методов преобразования электрических схем.

Методические указания для выполнения курсового проекта предназначены для студентов, обучающихся по направлению «Агроинженерия», профилю подготовки «Электрооборудование и электротехнологии».

Оглавление

Предисловие	4
1 Общие требования к организации курсового проектирования	7
2 Основные требования к оформлению курсового проекта	9
3 Примерная тематика курсового проектирования	11
4 Краткие теоретические сведения	13
5 Примеры решения заданий курсового проекта	30
5.1 Пример расчета линейной электрической цепи постоянного тока	30
5.2 Пример расчета линейной электрической цепи переменного однофазного синусоидального тока	34
5.3 Пример расчета линейной электрической цепи переменного синусоидального трехфазного тока	38
Рекомендуемая литература	46
Приложения	47

Предисловие

Учебное издание предназначено для студентов, изучающих курс «Электротехника и электроника», который необходим для дальнейшего освоения специальных дисциплин.

В процессе изучения и освоения новой учебной дисциплины особое значение имеет этап самостоятельной работы студентов.

Одним из основных видов самостоятельной работы студентов является курсовое проектирование. При изучении дисциплины «Электротехника и электроника» студенту выдается индивидуальное задание на курсовой проект согласно варианту. В процессе выполнения задания студент прорабатывает теоретический материал, производит необходимые расчеты, строит электрические схемы, промежуточные схемы для выполнения расчетов, векторные, потенциальные и топографические диаграммы и графики.

При прохождении данного этапа студент учится работать с технической литературой, искать решения поставленных инженерных задач, организовывать самостоятельную работу.

Курсовой проект затрагивает основные аспекты теории и методов расчета линейных электрических цепей синусоидального тока, с которыми придется столкнуться будущему инженеру в процессе работы по специальности.

Основными задачами курсового проектирования являются:

- ✓ Закрепление и более глубокое усвоение теоретических знаний.
- ✓ Приобретение навыков и освоение методов технического расчета сложных электрических цепей и их проектирования.
- ✓ Развитие навыков самостоятельной работы при выборе методов расчета и творческой инициативы при решении конкретных задач.
- ✓ Развитие навыков поиска и самостоятельной работы с технической литературой.
- ✓ Подготовка к освоению будущих дисциплин специальности.

Задание на курсовой проект представляет собой инженерную задачу, результаты решения которой, должны быть изложены в виде расчетно-пояснительной записки (РПЗ) и графической части, оформленной на одном листе бумаги формата А1.

РПЗ курсового проекта должна содержать исходное задание, решение инженерной задачи с необходимыми пояснениями,

главную и промежуточные электрические схемы, а также промежуточного или неосновного графического материала, представленного векторными и потенциальными диаграммами, графиками и т.д. На отдельном листе графической части (формат А1) должны быть представлены только основные графические материалы, требуемые в задании на курсовой проект.

В процессе курсового проектирования у студентов формируются определенные профессиональные компетенции. В частности, при выполнении курсового проекта по дисциплине «Электротехника и электроника», формируется профессиональная компетенция: *способность решать инженерные задачи с использованием основных законов механики, электротехники, гидравлики, термодинамики и тепломассообмена*; знанием устройства и правил эксплуатации гидравлических машин и теплотехнического оборудования.

Формирует данную профессиональную компетенцию, в процессе решения поставленной инженерной задачи, студент самостоятельно под руководством преподавателя (руководителя), опираясь на данные методические указания и рекомендуемую литературу.

Подготовленный и правильно оформленный курсовой проект, допускается (руководителем курсового проектирования) к его публичной защите. Если курсовой проект решен или оформлен неверно, то он возвращается студенту на доработку [1].

В процессе публичной защиты своего курсового проекта, студент перед комиссией (в составе не менее трех человек) и присутствующими излагает основные результаты курсового проекта, полученные в ходе решения, использованные методы решения и т.д.

Далее студенту предстоит ответить на вопросы членов комиссии и присутствующих.

По результатам защиты студенту выставляется оценка, которая заносится в зачетную книжку и зачетно-экзаменационную ведомость.

Курсовой проект может быть снят с защиты, если будет выявлена фальсификация результатов или плагиат [1]. В этом случае студенту выдается новое задание с другим вариантом.

Оценка, по результатам защиты курсового проекта, выставляется в дифференциальном виде («отлично», «хорошо», «удовлетворительно» и «не удовлетворительно»).

Оценка **«отлично»** выставляется студенту, проявившему все-сторонне-систематические и глубокие знания материала по теме курсового проекта, умение свободно решать задачи, свободное владение навыками чтения и построения графиков и диаграмм. Курсовой проект, при этом, оформлен с соблюдением всех требований нормативной документации.

Оценка **«хорошо»** выставляется студенту, проявившему систематические и достаточно-глубокие знания материала по теме курсового проекта, умение решать задачи, но испытывающему незначительные затруднения, при этом. Проявившему владение навыками чтения и построения графиков и диаграмм, но допускающему незначительные ошибки, которые, в при этом, не искажают общей картины ответа. Курсовой проект, в целом, оформлен с соблюдением всех требований нормативной документации, но имеются незначительные отклонения от требований, неточности в обозначениях, символах, индексах, орфографические ошибки.

Оценка **«удовлетворительно»** выставляется студенту, проявившему, в целом, систематические, но не глубокие знания материала по теме курсового проекта, допускающего незначительные ошибки при его изложении, умение решать задачи, но испытывающему значительные затруднения, при этом. Проявившему владение навыками чтения и построения графиков и диаграмм, но допускающему существенные ошибки, которые, в при этом, не искажают суть ответа. Курсовой проект, в целом, оформлен с соблюдением всех требований нормативной документации, но имеются значительные отклонения от требований, существенные неточности в обозначениях, символах, индексах, грубые орфографические ошибки.

Оценка **«неудовлетворительно»** выставляется студенту, обнаружившему пробелы в знаниях основного материала по теме курсового проекта, допустившему принципиальные ошибки при его выполнении и ответах на вопросы, проявившему неумение самостоятельно решать задачи, или не владение навыками чтения и построения графиков и диаграмм. Курсовой проект оформлен со значительными нарушениями требований нормативной документации, присутствуют принципиальные ошибки.

1 Общие требования к организации курсового проектирования

Организация работы в курсовом проектировании регламентируется нормативной документацией, в частности Положением о курсовом проектировании (СМК 04-30-2013) [1].

Согласно нормативной документации к выполнению курсового проекта предъявляются следующие требования [1]:

- быть выполненным на достаточном теоретическом уровне;
- включать анализ не только теоретического, но и эмпирического материала;
- основываться на результатах самостоятельного исследования, если этого требует тема;
- иметь обязательные самостоятельные выводы в заключении работы;
- иметь необходимый объем;
- быть оформленным по стандарту и выполненным в указанные сроки.

Разработка курсового проекта должна проводиться строго в определенные календарные сроки.

Работа в курсовом проектировании состоит из трех этапов: подготовительного, рабочего и заключительного [1].

На подготовительном этапе студент:

- определяет цель, задачи, структуру и методы исследования;
- осуществляет поиск теоретической и эмпирической информации (работа с каталогами, составление списка литературы, работа с книгой, выписки, тезисы, конспектирование, ксерокопирование важного и интересного материала, разработка программы и инструментария социологического исследования) и определяет ее объем;
- тщательно систематизирует отобранный материал, изучает его и подготавливает краткую историографию проблемы исследования;
- составляет план курсового проекта.

На рабочем этапе студент:

- выполняет черновой вариант работы и высказывает свое мнение по рассматриваемым вопросам;
- работает над выводами по разделам и подразделам;
- оформляет научно-справочный аппарат работы (сквозные

ссылки, список литературы).

На заключительном этапе студент:

- исправляет работу в соответствии с замечаниями руководителя;
- выполняет окончательный вариант проекта с учетом требований научного оформления;
- представляет проект научному руководителю на отзыв;
- сдает курсовой проект на защиту.

РПЗ курсового проекта должна иметь определенную структуру, так же определяемую нормативной документацией.

Она должна иметь следующую примерную структуру:

- титульный лист (прил. 1);
- задание на курсовой проект (прил. 2);
- реферат (прил. 3);
- оглавление (прил. 4);
- введение;
- основную часть (главы, параграфы, разделы, пункты);
- выводы и предложения;
- список использованной литературы и источников;
- приложения.

Отдельно оформляется лист графической части формата А1.

Титульный лист должен содержать: название профильного министерства, ВУЗа и кафедры, на которой выполняется проект; наименование типа и тематики выполняемой работы; номер индивидуального варианта; Ф.И.О. лиц, выполнивших и принявших проект и др.

Задание на курсовой проект должно содержать все необходимые сведения: схемы и исходные данные для выполнения проекта.

Задание выдается руководителем курсового проектирования по данной дисциплине, лично каждому студенту.

Реферат – это краткое точное изложение содержания работы, включающее основные сведения и выводы, а также сокращения, используемые в документе. Рекомендуемый объем текста реферата 1 страница.

В *оглавлении* перечисляют заголовки разделов, подразделов, список литературы, приложения и указывают страницы, на которых они начинаются.

Во *введении* указывают основную цель и задачи курсового

проекта, описывают условия задания, разрабатываемую схему и область возможного применения полученных результатов.

Содержание основной части проекта должно соответствовать полученному заданию, порядку решения, изложенному в данных методических указаниях и использовать нормы, стандарты и правила обозначения используемых величин, принятых в электротехнике (согласно ГОСТ 8.417-2002 «Единицы величин» (введен в действие с 1.09.2003 г)).

Выполнение расчетов должно сопровождаться пояснениями, необходимыми обоснованиями для каждой искомой величины.

Выводы и предложения должны содержать краткие выводы по выполненной работе в целом и по каждому пункту расчета в отдельности, анализ представленной электрической схемы и ее функциональности, результаты решения поставленных во введении задач. Также должен быть приведен подробный анализ полученных графиков и диаграмм. Должны быть определены возможные основные направления для дальнейшего исследования проблемы в выпускной квалификационной работе. Рекомендуемый объем 1-2 страницы.

Список использованной литературы и источников должен содержать перечень литературных источников, используемых студентом при выполнении курсового проекта (не менее пяти наименований). Список использованной литературы и источников оформляется согласно ГОСТ 7.1-2003 «Библиографическая запись. Библиографическое описание».

В приложение можно вынести дополнительные промежуточные решения и схемы, не требуемые в данных методических указаниях, а также решение задачи каким-либо дополнительным методом по желанию студента. Так же можно представить распечатки решений, выполненных на компьютере с использованием специализированных программ.

2 Основные требования к оформлению курсового проекта

Оформление завершенного курсового проекта должно соответствовать требованиям, изложенным в Положении о курсовом проектировании (СМК 04-30-2013) [1].

Оформление курсового проекта должно соответствовать

ГОСТ (ГОСТ 7.1-2003 «Библиографическая запись. Библиографическое описание», ГОСТ 7.82-2001 «Библиографическая запись. Библиографическое описание электронных ресурсов», ГОСТ Р 7.0.11-2011 «Диссертация и автореферат диссертации. Структура и правила оформления», ГОСТ 7.12-93 «Библиографическая запись. Сокращение слов на русском языке. Общие требования и правила», ГОСТ 2.105-95«ЕСКД. Общие требования к текстовым документам».

РПЗ курсового проекта выполняется рукописным или машинописным способом (с использованием ПК), на стандартных листах белой бумаги формата А4. Записи или распечатки выполняются только на одной стороне листа.

При решении задачи формулы сначала приводятся в общем виде (в символьных выражениях), а после необходимых преобразований вводятся соответствующие числовые значения.

Необходимо указывать размерность, как всех исходных величин, так и полученных результатов. Исходные и промежуточные электрические схемы выполняются либо вручную, карандашом с использованием чертежных инструментов, либо с использованием специализированных программ на ПК. Графики, векторные, топографические и потенциальные диаграммы выполняются только с использованием специализированных программ «КОМПАС» или «AutoCad». Распечатки с данных программ вкладываются в приложения к РПЗ.

Все таблицы и рисунки, приведенные в РПЗ должны иметь названия и сквозную нумерацию.

Подписуночная надпись выполняется с выравниванием по центру страницы (пример оформления приведен в приложении 2).

Слово «Таблица» пишется без сокращений и размещается по правому краю страницы над названием таблицы, размещенным по центру страницы (пример оформления приведен в приложении 2).

Размеры полей страниц: левое – 30 мм, правое – 10 мм, верхнее – 15 мм, нижнее – 20 мм. Нумерация листов выполняется внизу страницы по центру. Номер страницы на титульном листе не ставится, но в общей нумерации учитывается. Шрифт – «Times New Roman». Размер шрифта (кегель) – 14 пт. Междустрочный интервал – полуторный. Абзацный отступ – 1,25 см. Стиль текста – «Обычный». Размер шрифта подписуночной надписи – 12 пт.

Нумерация формул в данном курсовом проекте выполняется в

сквозном виде.

Формула размещается с выравниванием по центру страницы, а ее номер, размещается по правому краю страницы, в строке формулы. Номер формулы заключается в круглые скобки.

Каждая формула от предыдущего и последующего текста отделяется одной пропущенной строкой.

Элементы формул выполняются курсивом (наклонным шрифтом), а индексы данных элементов без курсива.

Если РПЗ выполняется с использованием ПК, то формулы набираются только с использованием встроенного в программу «Word» редактора формул «Equation».

Завершенная РПЗ курсового проекта скрепляется скоросшивателем и предоставляется руководителю курсового проектирования для проверки. Далее, если курсовой проект выполнен и оформлен надлежащим образом, происходит его публичная защита перед комиссией.

3 Примерная тематика курсового проектирования

1. Расчет линейной электрической цепи постоянного тока методом законов Кирхгофа.

2. Расчет линейной электрической цепи постоянного тока методом Контурных токов.

3. Расчет линейной электрической цепи постоянного тока, соединенной по мостовой схеме, методом Контурных токов.

4. Расчет линейной электрической цепи постоянного тока, соединенной по мостовой схеме, методом Узловых потенциалов.

5. Расчет линейной электрической цепи постоянного тока методом Узловых потенциалов.

6. Расчет линейной электрической цепи синусоидального тока методом Контурных токов.

7. Расчет линейной электрической цепи синусоидального тока методом Узловых потенциалов.

8. Расчет линейной электрической цепи синусоидального тока, соединенной по мостовой схеме, методом Контурных токов.

9. Расчет линейной электрической цепи синусоидального тока, соединенной по мостовой схеме, методом Узловых потенциалов.

10. Расчет сложной линейной электрической цепи постоянного

11. Расчет линейной электрической цепи синусоидального трехфазного тока, соединенной по схеме «звезда-звезда» с нулевым проводом, с нагрузкой по фазам типа $Z-L$, $Z-C$, $Z-R$.

13. Расчет линейной электрической цепи синусоидального трехфазного тока, соединенной по схеме «звезда-звезда» без нулевого провода, с нагрузкой по фазам типа $Z-C$, $Z-R$, $Z-L$.

14. Расчет линейной электрической цепи синусоидального трехфазного тока, соединенной по схеме «звезда-звезда» без нулевого провода, с нагрузкой по фазам типа $Z-L$, $Z-L$, $Z-C$.

15. Расчет линейной электрической цепи синусоидального трехфазного тока, соединенной по схеме «звезда-звезда» без нулевого провода, с нагрузкой по фазам типа $Z-C$, $Z-L$, $Z-L$.

16. Расчет линейной электрической цепи синусоидального трехфазного тока, соединенной по схеме «звезда-звезда» без нулевого провода, с нагрузкой по фазам типа $Z-L$, $Z-C$, $Z-C$.

17. Расчет линейной электрической цепи синусоидального трехфазного тока, соединенной по схеме «звезда-звезда» с нулевым проводом, с нагрузкой по фазам типа $Z-L$, $Z-C$, $Z-R$.

18. Расчет линейной электрической цепи синусоидального трехфазного тока, соединенной по схеме «звезда-звезда» с нулевым проводом, с нагрузкой по фазам типа $Z-R$, $Z-L$, $Z-C$.

19. Расчет линейной электрической цепи синусоидального трехфазного тока, соединенной по схеме «звезда-звезда» с нулевым проводом, с нагрузкой по фазам типа $Z-C$, $Z-R$, $Z-L$.

20. Расчет линейной электрической цепи синусоидального трехфазного тока, соединенной по схеме «звезда-звезда» с нулевым проводом, с нагрузкой по фазам типа $Z-L$, $Z-L$, $Z-C$.

21. Расчет линейной электрической цепи синусоидального трех-фазного тока, соединенной по схеме «звезда-звезда» с нулевым проводом, с нагрузкой по фазам типа $Z-C$, $Z-L$, $Z-L$.

22. Расчет линейной электрической цепи синусоидального трехфазного тока, соединенной по схеме «звезда-звезда» с нулевым проводом, с нагрузкой по фазам типа $Z-L$, $Z-C$, $Z-C$.

23. Расчет линейной электрической цепи синусоидального трехфазного тока, соединенной по схеме «звезда-треугольник», с на-

грузкой по фазам типа $Z-L$, $Z-C$, $Z-R$.

24. Расчет линейной электрической цепи синусоидального трехфазного тока, соединенной по схеме «звезда-треугольник», с нагрузкой по фазам типа $Z-R$, $Z-L$, $Z-C$.

25. Расчет линейной электрической цепи синусоидального трехфазного тока, соединенной по схеме «звезда-треугольник», с нагрузкой по фазам типа $Z-C$, $Z-R$, $Z-L$.

26. Расчет линейной электрической цепи синусоидального трехфазного тока, соединенной по схеме «звезда-треугольник», с нагрузкой по фазам типа $Z-L$, $Z-L$, $Z-C$.

4 Краткие теоретические сведения

Тематика курсового проектирования по дисциплине «Электротехника и электроника» охватывает вопросы, касающиеся расчета параметров схем замещения линейных электрических цепей различного рода токов.

К расчету предложены разветвленные электрические цепи постоянного, синусоидального (переменного) однофазного и синусоидального трехфазного токов.

Для составления эквивалентных схем замещения используются следующие определения:

Ветвь – это участок цепи, расположенный между двумя узлами, составленный из последовательно соединенных элементов, по которому протекает один и тот же ток.

Узел – это точка цепи, где сходятся три или более ветвей.

Контур – это замкнутый путь, проходящий по нескольким ветвям (две и более ветвей) (рис. 1).

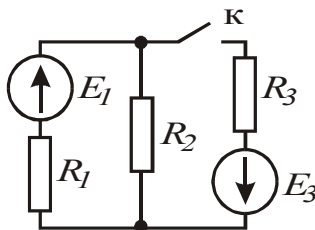


Рис. 1. Электрическая схема контуров

Контур называется **независимым**, если в его состав входит хотя бы одна ветвь, ранее не вошедшая ни в один другой контур. В схеме на рисунке 1, при замкнутом ключе имеем три контура, но лишь два из них независимы.

Основополагающим законом для любой электрической цепи является закон Ома, который имеет две разновидности, в зависимости от наличия источника ЭДС на рассчитываемом участке.

Закон Ома для участка цепи, не содержащего ЭДС:

$$I = U/R, \text{ Ом.} \quad (4.1)$$

Рассмотрим участок цепи с ЭДС (рис. 2).

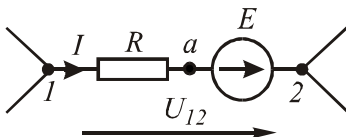


Рис. 2. Участок линейной цепи, содержащий ЭДС

Из состава сложной электрической цепи выделим ветвь, содержащую источник энергии и потребитель. Для определенности примем, что направление тока и источника ЭДС совпадают. При условно выбранных положительных направлениях тока и ЭДС в ветви рассчитаем потенциалы точек:

$$\varphi_1 > \varphi_a \Rightarrow \varphi_1 - \varphi_a = IR, \quad (4.2)$$

$$\varphi_2 > \varphi_a \Rightarrow \varphi_2 - \varphi_a = E. \quad (4.3)$$

Вычтем из уравнения (4.2) уравнение (4.3) и тогда получим:

$$\varphi_1 - \varphi_2 = IR - E = U_{12};$$

$$I = \frac{U_{12} + E}{R}. \quad (4.4)$$

Полученное выражение представляет собой закон Ома для участка цепи, содержащего источник ЭДС. В случае несовпадения направления тока в ветви с направлениями напряжения и ЭДС перед ними появляется знак «минус».

Законы Кирхгофа

Первый закон Кирхгофа – алгебраическая сумма токов в узле равна нулю:

$$\sum_{k=1}^n I_k = 0, \quad (4.5)$$

где k – номер ветви;

n – общее количество ветвей, шт.

Второй закон Кирхгофа – алгебраическая сумма падений напряжений вдоль замкнутого контура равна алгебраической сумме ЭДС, действующих в этом контуре:

$$\sum_{k=1}^n I_k R_k = \sum_{k=1}^n E_k. \quad (4.6)$$

Второй закон Кирхгофа работает как для замкнутого, так и для разомкнутого контура.

Уравнение баланса мощностей:

$$\sum_{k=1}^n I_k^2 R_k = \sum_{k=1}^n E_k I_k. \quad (4.7)$$

Уравнение баланса мощности является модификацией закона сохранения энергии для электрических цепей. Это базовое уравнение для проверки правильности выполненных расчетов тех или иных цепей.

В левой части этого уравнения стоит арифметическая сумма мощностей, которые выделяются на сопротивлениях от токов, которые по ним протекают. В правой части – мощность, отданная источниками в сеть.

При этом возможна такая ситуация, когда одно из слагаемых суммы справа может оказаться отрицательным. Это будет означать, что в данной ситуации источник становится потребителем. Она возникает в случае, когда ток, протекающий по источнику, направлен встречно направлению ЭДС.

Цепи однофазного синусоидального тока

Мгновенное значение любой синусоидальной функции: напряжения, тока, ЭДС и т.д. может быть представлено выражением вида:

$$u(t) = U_m \sin(\omega t + \psi), \quad (4.8)$$

где U_m – амплитуда, В (наибольшее значение функции за период T) (рис. 3);

$(\omega t + \psi)$ – фаза колебания;

ω – круговая (циклическая) частота колебания, с^{-1} ;

ψ – начальная фаза, которая показывает смещение синусоиды относительно начала координат вправо или влево.

Связь между данными величинами следующая:

$$T = 1/f, \text{ с}; f = 1/T, \text{ Гц}; \omega = 2\pi f = 2\pi/T, \text{ с}^{-1}. \quad (4.9)$$

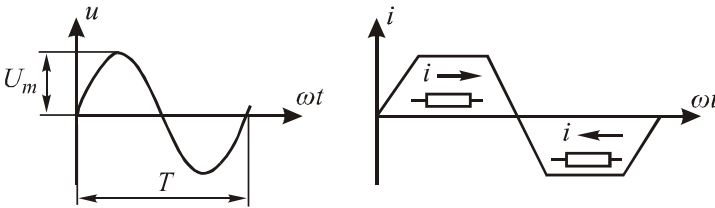


Рис. 3. Примеры изображения периодических функций

Сопротивление R в цепи синусоидального тока

Пусть по сопротивлению (рис. 4) протекает синусоидальный ток с начальной фазой равной нулю.

$$i = I_m \sin \omega t. \quad (4.10)$$

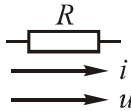


Рис. 4. Условно положительные направления тока и напряжения на сопротивлении

Определим падение напряжения, действующее на зажимах сопротивления на основании закона Ома:

$$u = i R = I_m R \sin \omega t = U_m \sin \omega t. \quad (4.11)$$

Полученный результат показывает, что напряжение изменяется в фазе с током (рис. 5).

Определим функцию мгновенной мощности, потребляемую R .

$$p = iu = I_m U_m \sin^2 \omega t = \frac{I_m U_m}{2} (1 - \cos 2\omega t) = UI (1 - \cos 2\omega t). \quad (4.12)$$

Отсюда получим

$$p = UI(1 - \cos 2\omega t). \quad (4.13)$$

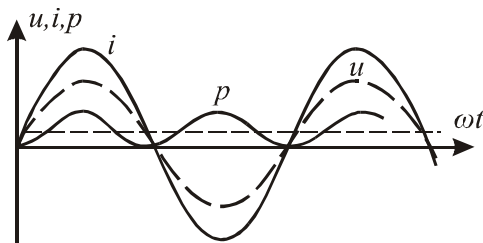


Рис. 5. Графики мгновенных значений напряжения, тока и мощности на сопротивлении

Из графика мгновенной мощности следует, что она неотрицательна и меняется с удвоенной частотой.

Для оценки потребляемой приемником мощности вводят понятие средней мощности за период:

$$P = \frac{1}{T} \int_0^T p dt = \frac{1}{T} \int_0^T U_m I_m \sin^2 \omega t dt = \frac{U_m I_m}{2} = U \cdot I. \quad (4.14)$$

Индуктивность L

Пусть через индуктивность протекает синусоидальный ток (рис. 6):

$$i = I_m \sin \omega t. \quad (4.15)$$

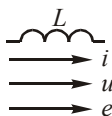


Рис. 6. Условно положительные направления тока, напряжения и ЭДС самоиндукции

Определим падение напряжения на индуктивности u_L . На основании закона электромагнитной индукции:

$$\begin{aligned}\varepsilon_L &= -L \frac{di}{dt} = -\omega L I_m \cos \omega t = \omega L I_m \sin(\omega t - \pi/2) = \\ &= X_L I_m \sin(\omega t - \pi/2),\end{aligned}\quad (4.17)$$

где X_L – индуктивное (реактивное) сопротивление, Ом.

Напряжение на индуктивном элементе составит

$$u_L = -e_L = U_m \sin(\omega t + \pi/2). \quad (4.18)$$

Из данного выражения следует, что напряжение на индуктивности опережает ток на 90° .

Мгновенная мощность на индуктивности (рис. 7):

$$p = ui = (U_m I_m \sin 2\omega t)/2 = UI \sin 2\omega t. \quad (4.19)$$

Среднее значение мощности за период:

$$P = \frac{1}{T} \int_0^T p dt = 0. \quad (4.20)$$

Для оценки запасенной в индуктивности энергии магнитного поля вводят понятие реактивной (индуктивной) мощности:

$$Q_L = UI = I^2 X_L. \quad (4.21)$$

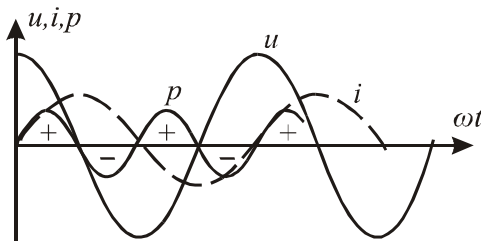


Рис. 7. Графики мгновенных значений напряжения, тока и мощности на индуктивности

Из графика мгновенной мощности следует, что положительная полуволна мощности соответствует потреблению энергии из сети, а отрицательная – ее возврату в сеть.

Энергия, потребляемая индуктивностью, работы не совершает.

Ёмкостный элемент C

В отличие от постоянного тока, переменный ток проводится емкостным элементом (конденсатором) (рис. 8).

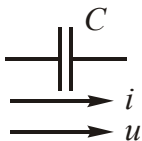


Рис. 8. Условно положительные направления тока и напряжения на емкости

Пусть через емкость протекает синусоидальный ток $i = I_m \sin \omega t$.

Для емкости заряд равен:

$$q = CU. \quad (4.22)$$

Для линейного конденсатора $C = \text{const}$, поэтому

$$i = C \frac{du_C}{dt}. \quad (4.23)$$

Отсюда

$$u = \frac{1}{C} \int i dt = \frac{1}{C} \int I_m \sin \omega t \cdot dt = -\frac{I_m}{\omega C} \cos \omega t = I_m X_C \sin(\omega t - \frac{\pi}{2}), \quad (4.24)$$

где X_C – емкостное сопротивление, Ом.

Ток в ёмкости опережает приложенное напряжение на угол 90° , также можно считать, что напряжение отстаёт от тока на 90° .

Определим мгновенную мощность:

$$p = ui = UI \sin 2\omega t. \quad (4.25)$$

Описанные мгновенные функции представлены на рисунке 9.

Среднее значение мощности за период равно нулю:

$$P = \frac{1}{T} \int_0^T p dt = \frac{1}{T} \int_0^T \frac{U_m I_m}{2} \sin 2\omega t \cdot dt = 0. \quad (4.26)$$

Таким образом, идеальная емкость не потребляет из сети мощность. Для оценки запасенной в емкости энергии электрического поля вводят понятие реактивной мощности, равной:

$$Q_C = UI = I^2 X_C. \quad (4.27)$$

График функции мгновенной мощности представлен на рисунке 9. Здесь в момент когда $p > 0$, энергия идёт на создание электрического поля, а в момент когда $p < 0$, происходит возврат энергии.

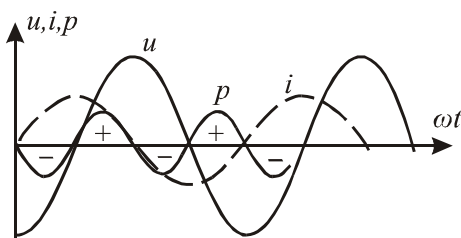


Рис. 9. Графики мгновенных значений тока, напряжения и мощности на емкости

Векторная диаграмма – диаграмма векторов на комплексной плоскости, построенная с учетом их взаимной ориентации по фазе.

Если вектора вращаются на плоскости с одинаковыми частотами ω , то их взаимное положение не меняется, это свойство позволяет исключить из рассмотрения сам факт их вращения, то есть принимать момент времени равный $t = 0$ с.

В качестве примера на рисунке 10 изображена операция умножения некоторого вектора $\dot{I}$ на оператор поворота j .

Пусть модуль $|\dot{I}| = 10$ А. Его положение на комплексной плоскости зависит от значения аргумента. Значениям $\psi = 0, 90^\circ$,

и минус 90° соответствуют комплексные числа $\dot{I}^{(1)}$; $\dot{I}^{(2)}$; $\dot{I}^{(3)}$:

$$\dot{I}^{(1)} = 10e^{j0^\circ} = 10; \dot{I}^{(2)} = 10e^{j90^\circ} = j10; \dot{I}^{(3)} = 10e^{-j90^\circ} = -j10.$$

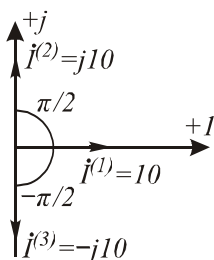


Рис. 10. Умножение вектора на $+j$ и $-j$

Применение законов Кирхгофа для расчета разветвленных цепей

Продemonстрируем этот метод на примере схемы на рисунке 11. В этой схеме 6 ветвей, то есть 6 токов, поэтому необходимо составить для их определения 6 уравнений.

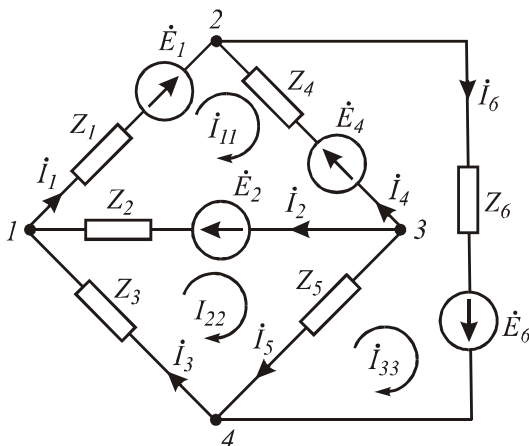


Рис. 11. Разветвленная цепь с несколькими источниками ЭДС

Для составления уравнений зададимся произвольно положительными направлениями токов.

Уравнения по первому закону Кирхгофа:

$$\begin{aligned} 1^{\text{ый}} \text{ узел: } -\dot{I}_1 + \dot{I}_2 + \dot{I}_3 &= 0; \\ 2^{\text{ой}} \text{ узел: } \dot{I}_1 + \dot{I}_4 - \dot{I}_6 &= 0; \\ 3^{\text{ий}} \text{ узел: } -\dot{I}_3 + \dot{I}_5 + \dot{I}_6 &= 0. \end{aligned} \quad (4.28)$$

Если просуммировать уравнения, то получим $\dot{I}_2 + \dot{I}_5 + \dot{I}_6 = 0$, то есть уравнение для четвертого узла является избыточным, следовательно, по первому закону Кирхгофа составляем $Y - 1$ уравнений, где Y – число узлов схемы.

Остальные $K = B - (Y - 1)$ уравнения составляем по второму закону Кирхгофа, где K – число независимых контуров, B – число ветвей. Направления обхода контуров – произвольны:

$$\begin{cases} \dot{E}_1 + \dot{E}_2 - \dot{E}_4 = \dot{I}_1 Z_1 + \dot{I}_2 Z_2 - \dot{I}_4 Z_4, \\ -\dot{E}_2 = -\dot{I}_2 Z_2 + \dot{I}_3 Z_3 + \dot{I}_5 Z_5, \\ \dot{E}_4 + \dot{E}_6 = \dot{I}_4 Z_4 - \dot{I}_5 Z_5 + \dot{I}_6 Z_6. \end{cases} \quad (4.29)$$

Для уменьшения объема работ по расчету схемы применяют искусственные методы расчета.

Метод контурных токов

Этот метод применим для расчета любых цепей. Он базируется на уравнениях, составленных по второму закону Кирхгофа. В схеме выделяются независимые контуры, и в каждом контуре протекает свой так называемый контурный ток.

Произвольно выбираются направления контурных токов в независимых контурах (рис. 11).

$$\begin{cases} \dot{I}_{11}(R_1 + R_2 + R_4) - \dot{I}_{22}R_2 - \dot{I}_{33}R_4 = \dot{E}_1 + \dot{E}_2 - \dot{E}_4 \\ -\dot{I}_{11}R_2 + \dot{I}_{22}(R_2 + R_3 + R_5) - \dot{I}_{33}R_5 = -\dot{E}_2 \\ -\dot{I}_{11}R_4 - \dot{I}_{22}R_5 + \dot{I}_{33}(R_4 + R_5 + R_6) = \dot{E}_4 + \dot{E}_6. \end{cases} \quad (4.30)$$

Используя матричный метод расчета, можем записать:

$$\dot{I}_{ii} = \frac{\Delta_{i1}}{\Delta} \dot{E}_{11} + \frac{\Delta_{i2}}{\Delta} \dot{E}_{22} + \dots + \frac{\Delta_{in}}{\Delta} \dot{E}_{nn} , \quad (4.31)$$

Собственное сопротивление контура – сумма сопротивлений, входящих в состав контура (для первого контура: $R_1 + R_2 + R_3$).

Смежные сопротивления – сопротивления на границах контуров (R_2 и R_4 – для первого контура).

$\dot{E}_{nn}$ – сумма всех ЭДС контура.

Тогда для первого уравнения сокращенная запись формулы будет иметь вид

$$\dot{I}_{11}Z_{11} + \dot{I}_{22}Z_{12} + \dot{I}_{33}Z_{13} = \dot{E}_{11} . \quad (4.32)$$

В ветвях, которые не граничат с другими контурами, реальные токи будут такими: $\dot{I}_1 = \dot{I}_{11}$; $\dot{I}_6 = \dot{I}_{33}$; $\dot{I}_3 = \dot{I}_{22}$.

Токи ветвей, находящихся на границах контуров рассчитываются методом суммирования соответствующих контурных токов:

$$\dot{I}_2 = \dot{I}_{11} - \dot{I}_{22}; \quad \dot{I}_4 = \dot{I}_{11} - \dot{I}_{33}; \quad \dot{I}_5 = \dot{I}_{22} - \dot{I}_{33}. \quad (4.33)$$

Метод узловых потенциалов

Метод базируется на первом законе Кирхгофа. Неизвестными для метода являются узловые потенциалы. Потенциал одного из узлов принимают равным нулю. Такое предположение допустимо, так как ток каждой ветви зависит не от абсолютных значений потенциалов узлов, а от разности потенциалов, приложенной к ветви.

Пусть потенциал узла «4» равен нулю (рис. 11). Произвольно выберем направления токов в ветвях и составим уравнения для остальных узлов на основании первого закона Кирхгофа:

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{«1 узел»}: \dot{I}_2 + \dot{I}_3 - \dot{I}_1 = 0, \\ \text{«2 узел»}: \dot{I}_1 + \dot{I}_4 - \dot{I}_6 = 0, \\ \text{«3 узел»}: \dot{I}_4 - \dot{I}_2 - \dot{I}_5 = 0. \end{array} \right. \quad (4.34)$$

Токи в ветвях на основании закона Ома выражаются:

$$\dot{I} = \frac{\pm \dot{U}_{ab} \pm \dot{E}}{Z}, \quad (4.35)$$

где $\dot{U}_{ab}$ – напряжение на зажимах ветви, В ($\dot{U}_{ab} = \dot{\phi}_a - \dot{\phi}_b$);

Знаки перед $\dot{U}_{ab}$ и $\dot{E}$ выбираются в зависимости от того, совпадает или не совпадает направление тока $\dot{I}$ с положительными направлениями $\dot{U}_{ab}$ и $\dot{E}$.

Тогда токи ветвей будут равны:

$$\begin{aligned} \dot{I}_1 &= (\dot{\phi}_1 - \dot{\phi}_2 + \dot{E}_1)Y_1, \\ \dot{I}_2 &= (\dot{\phi}_3 - \dot{\phi}_1 + \dot{E}_2)Y_2, \\ \dot{I}_3 &= (\dot{\phi}_4 - \dot{\phi}_1)Y_3 = -\dot{\phi}_1Y_3, \\ \dot{I}_4 &= (\dot{\phi}_2 - \dot{\phi}_3 - \dot{E}_4)Y_4, \\ \dot{I}_5 &= (\dot{\phi}_3 - \dot{\phi}_4)Y_5 = \dot{\phi}_3Y_5, \\ \dot{I}_6 &= (\dot{\phi}_2 + \dot{E}_6)Y_6. \end{aligned}$$

Найденные уравнения подставляются в исходную систему уравнений, составленную по первому закону Кирхгофа. Делаются несложные алгебраические преобразования, после чего получаем новую систему уравнений относительно неизвестных потенциалов:

$$\begin{cases} \dot{\phi}_1(Y_1 + Y_2 + Y_3) - \dot{\phi}_2Y_1 - \dot{\phi}_3Y_2 = -\dot{E}_1Y_1 + \dot{E}_2Y_2 \\ -\dot{\phi}_1Y_1 + \dot{\phi}_2(Y_1 + Y_4 + Y_6) - \dot{\phi}_3Y_4 = \dot{E}_1Y_1 + \dot{E}_4Y_4 - \dot{E}_6Y_6 \\ -\dot{\phi}_1Y_2 - \dot{\phi}_2Y_4 + \dot{\phi}_3(Y_2 + Y_4 + Y_5) = -\dot{E}_2Y_2 - \dot{E}_4Y_4. \end{cases} \quad (4.36)$$

Разберем структуру любого уравнения, например, первого. Потенциал первого узла $\dot{\phi}_1$ умножается на сумму проводимостей всех ветвей, образующих данный узел: $Y_1 + Y_2 + Y_3$. Со знаком минус записываются слагаемые вида: $\dot{\phi}_kY_{1k}$, где Y_{1k} – проводимость k -ой ветви, входящей в узел 1, $\dot{\phi}_k$ – потенциал соседнего (смежного) узла.

В правой части уравнения слагаемые вида $\dot{E}_i Y_i$ записываются со знаком плюс в том случае, если источник ЭДС направлен к рассматриваемому узлу, в противном случае – со знаком минус.

Найденные потенциалы могут иметь различные знаки. С этими знаками значения потенциалов подставляются в уравнения для нахождения токов.

Наряду с однофазными источниками существуют источники энергии, количество фаз у которых составляет две, три, четыре и т.д., и которые характеризуются тем, что ЭДС этих фаз имеют одинаковую частоту, но сдвинуты друг относительно друга на некоторую одинаковую фазу. Такие генераторы называются многофазными и электрические цепи с такими источниками называются многофазными.

Соединение фаз генератора и приемника четырехпроводной звездой

При соединении фаз генератора звездой все концы или начала соединяют в одну общую точку. На рисунке 12 показана несвязанная трехфазная система, в которой каждая фаза генератора и приемника образует отдельную электрическую цепь и поэтому для связи генератора и приемника требуется 6 проводов. При соединении звездой количество проводов уменьшится до 4-х. Причем провод, соединяющий общие (нейтральные или нулевые) точки фаз генератора N и приемника n называется нейтральным или нулевым и, соответственно, ток, протекающий по этому проводу $\dot{I}_N$, называется нулевым или нейтральным. Остальные провода, соединяющие фазы генератора и приемника, называются линейными.

Токи, протекающие по фазам генератора или приемника, называются фазными токами.

Токи, протекающие по проводам, соединяющим генератор и приемник, называются линейными.

Напряжение между началом и концом фазы генератора или приемника называется фазным.

Напряжение между двумя фазами или линиями называется линейным.

Для этого способа соединения между линейными и фазными параметрами цепи существует следующее соотношение:

$$\dot{I}_\phi = \dot{I}_\lambda.$$

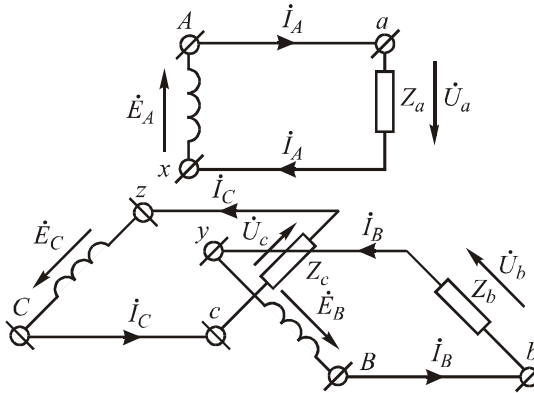


Рис. 12. Схема несвязанной трехфазной системы

Установим взаимосвязь между комплексами линейных и фазных напряжений источника. В дальнейших рассуждениях фазные ЭДС заменим напряжениями на фазах источника.

$$\dot{U}_A - \dot{U}_{AB} - \dot{U}_B = 0;$$

$$\dot{U}_{AB} = \dot{U}_A - \dot{U}_B;$$

$$\dot{U}_{BC} = \dot{U}_B - \dot{U}_C;$$

$$\dot{U}_{CA} = \dot{U}_C - \dot{U}_A.$$

Графическое представление полученных величин на комплексной плоскости, представляет собой топографическую диаграмму напряжений (рис. 13).

Выберем любой равнобедренный треугольник, образованный двумя фазными и линейным напряжениями, и опустим перпендикуляр из вершины N на основание. Перпендикуляр является медианой и биссектрисой.

На основании топографической диаграммы получим:

$$\frac{U_L}{2} = U_\phi \cos 30^\circ = U_\phi \frac{\sqrt{3}}{2}, \quad (4.37)$$

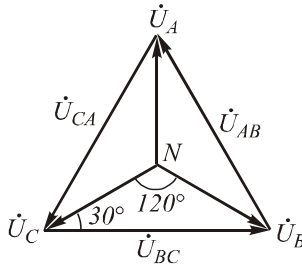


Рис. 13. Топографическая диаграмма фазных и линейных напряжений

То есть

$$U_L = \sqrt{3}U_\phi.$$

Частным случаем такого соединения является соединение «звезда-звезда» без нулевого провода.

Соединение фаз генератора и приемника треугольником

Вторым основополагающим способом соединения является соединение типа «треугольник-треугольник» (рис. 14).

Для соединения треугольником существует следующее соотношение:

$$U_L = U_\phi$$

Установим взаимосвязь между фазными и линейными токами:

$$\dot{I}_A = \dot{I}_{ab} - \dot{I}_{ca};$$

$$\dot{I}_B = \dot{I}_{bc} - \dot{I}_{ab};$$

$$\dot{I}_C = \dot{I}_{ca} - \dot{I}_{bc}.$$

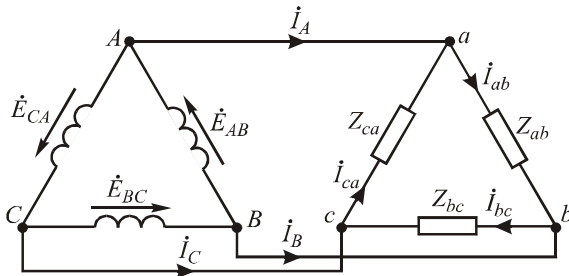


Рис. 14. Соединение «треугольник-треугольник»

Построим векторную диаграмму токов и напряжений приемника (рис. 15).

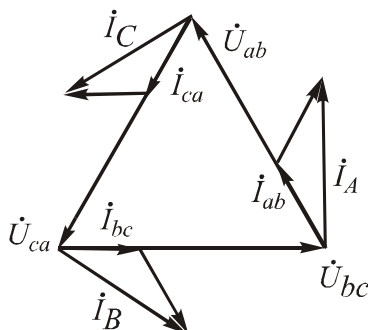


Рис. 15. Векторная диаграмма токов трехфазной цепи при соединении приемников «треугольником» при симметричной нагрузке

Рассмотрев любой треугольник токов, можно аналогично напряжениям при соединении звездой, сделать вывод (только для симметричной нагрузки):

$$\dot{I}_L = \sqrt{3} \dot{I}_\phi.$$

Помимо вышеназванных существуют и комбинированные способы соединения: «звезда-треугольник», «треугольник-звезда».

Симметричная нагрузка

Нагрузка считается симметричной, если комплексные сопротивления ее фаз равны: $Z_a = Z_b = Z_c$.

а) четырехпроводная звезда.

Для простоты в качестве сопротивлений фаз нагрузки будем рассматривать активные сопротивления ($Z_a = Z_b = Z_c = Z_\phi = R_\phi$). Наличие нулевого провода делает одинаковыми потенциалы узлов N и n ($Y_N = \infty$), значит $U_{nN} = 0$. При этом фазные токи равны, а фазные напряжения на нагрузке будут полностью повторять фазные напряжения генератора. Для фазы A :

$$\dot{I}_A = (\dot{U}_A - \dot{U}_{nN})Y_a \Rightarrow \dot{I}_A = \dot{U}_A Y_a \Rightarrow \dot{U}_a = \dot{I}_A R_a = \dot{U}_A. \quad (4.38)$$

Аналогично для фаз B и C :

$$\begin{aligned}\dot{I}_B &= \dot{U}_B Y_b, \\ \dot{I}_C &= \dot{U}_C Y_c, \\ \dot{I}_N &= \dot{I}_A + \dot{I}_B + \dot{I}_C = 0.\end{aligned}$$

Исходя из этого, построим топографическую диаграмму фазных напряжений и векторную диаграмму токов (рис. 16).

б) трехпроводная звезда.

$$Z_N = \infty; Y_N = 0;$$

$$\dot{U}_{nN} = \frac{g_\phi (\dot{U}_A + \dot{U}_B + \dot{U}_C)}{3g_\phi} = 0. \quad (4.39)$$

Поэтому, как и в четырехпроводной схеме, фазы приемника работают независимо друг от друга и нулевой провод не нужен. Диаграмма в данном случае будет абсолютно той же самой.

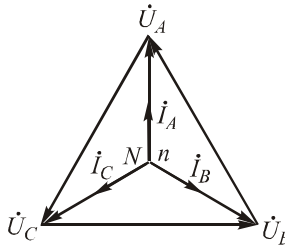


Рис. 16. Векторная диаграмма для симметричной нагрузки в трех- и четырехпроводной схеме

Несимметричная нагрузка

Пусть $R_a \neq R_b = R_c$.

а) четырехпроводная звезда.

$$\begin{aligned}\dot{U}_{nN} &= 0, \\ \dot{I}_A &= \dot{U}_A Y_a, \\ \dot{I}_B &= \dot{U}_B Y_b, \\ \dot{I}_C &= \dot{U}_C Y_c, \\ \dot{I}_N &= \dot{I}_A + \dot{I}_B + \dot{I}_C \neq 0.\end{aligned}$$

На векторно-топографической диаграмме токов и напряжений (рис. 17) показано сложение токов.

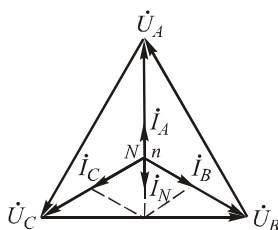


Рис. 17. Векторно-топографическая диаграмма для несимметричной нагрузки

5 Примеры решения задач курсового проекта

5.1 Пример расчета линейной электрической цепи постоянного тока

Исходные данные к задаче.

Параметры элементов схемы: $E_1 = 40$ В, $E_2 = 70$ В, $E_3 = 30$ В, $J_1 = 2$ А, $J_2 = 3$ А, $R_1 = 20$ Ом, $R_2 = 60$ Ом, $R_3 = 10$ Ом, $R_4 = 40$ Ом, $R_5 = 60$ Ом, $R_6 = 50$ Ом, $R_7 = 70$ Ом, $R_8 = 5$ Ом, $R_9 = 90$ Ом.

Необходимо выполнить:

1. провести анализ и расчет токов ветвей схемы по методу законов Кирхгофа;
2. рассчитать напряжения: U_{ab} , U_{de} , U_{ad} ;
3. рассчитать мощности, генерируемые и потребляемые каждым элементом схемы, и составить баланс мощностей;
4. рассчитать потенциалы всех характерных точек и построить потенциальные диаграммы для контуров: adbea, cdbec, acbea.

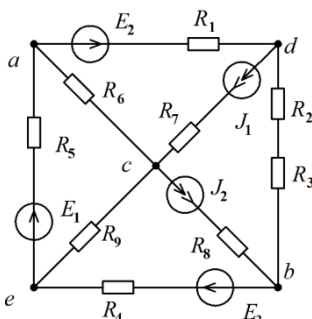


Рис. 18. Схема разветвленной линейной электрической цепи постоянного тока

1. Расчет и анализ схемы методом Законов Кирхгоффа
Запишем первый закон Кирхгоффа для 5-1 узлов:

$$\begin{cases} I_{ad} - I_{ea} + I_{ac} = 0, \\ - I_{ad} + I_{db} + J_1 = 0, \\ - I_{db} + I_{be} - J_2 = 0, \\ - I_{be} + I_{ea} - I_{ce} = 0. \end{cases} \quad (5.1)$$

Запишем второй закон Кирхгоффа для 8-2-(5-1) контуров:

$$\begin{cases} I_{ad} \cdot R_1 + I_{db} \cdot (R_2 + R_3) + I_{be} \cdot R_4 + I_{ea} \cdot R_5 = E_2 + E_3 + E_1, \\ I_{ac} \cdot R_6 + I_{ce} \cdot R_9 + I_{ea} \cdot R_5 = E_1. \end{cases} \quad (5.2)$$

Составим единую систему уравнений:

$$\begin{cases} I_{ad} - I_{ea} + I_{ac} = 0 \\ - I_{ad} + I_{db} = -2 \\ - I_{db} + I_{be} = 3 \\ - I_{be} + I_{ea} - I_{ce} \\ 20I_{ad} + 70I_{db} + 40I_{be} + 60I_{ea} = 140 \\ 60I_{ea} + 50I_{ac} + 90I_{ce} = 40 \end{cases} \quad (5.3)$$

Произведя расчет полученной системы уравнений любым известным способом (например, способом подстановки) рассчитываем токи ветвей:

$$\begin{aligned} I_{ad} &= 1,169 \text{ A}, \\ I_{db} &= -0,831 \text{ A}, \\ I_{be} &= 2,169 \text{ A}, \\ I_{ea} &= 1,468 \text{ A}, \\ I_{ac} &= 0,299 \text{ A}, \\ I_{bc} &= 3 \text{ A}, \\ I_{dc} &= 2 \text{ A}, \\ I_{ce} &= -0,701 \text{ A}. \end{aligned}$$

2. Расчет межузловых напряжений

Проведем расчет напряжений между узлами U_{ab} , U_{de} , U_{ad} . Получим

$$U_{ab} = -I_{ce} \cdot R_6 - I_{bc} \cdot R_8 - 22,3J_2,$$

$$U_{ab} = 0,7006 \cdot 50 - 3 \cdot 5 - 22,3 \cdot 3 = -47,35 \text{ В},$$

$$U_{de} = -I_{dc} \cdot R_7 - J_1 \cdot 102,22 - I_{ce} \cdot R_9,$$

$$U_{de} = 2 \cdot 70 - 2 \cdot 102,22 + 0,7006 \cdot 90 = -1,44 \text{ В},$$

$$U_{ad} = E_2 - I_{ad} \cdot R_1,$$

$$U_{ad} = 70 - 1,1686 \cdot 20 = 46,63 \text{ В}.$$

3. Расчеты мощностей и баланс мощностей

Далее на основании полученных результатов выполним расчеты мощностей, генерируемых или потребляемых каждым элементом схемы, и составим баланс мощностей.

Рассчитаем мощности, генерируемые источниками ЭДС и источниками тока:

$$E_2 \cdot I_{ad} + E_3 \cdot I_{be} + E_1 \cdot I_{ea} = 81,8023 + 65,0581 + 58,7209 = 205,581 \text{ Вт},$$

$$J_2 \cdot (F_c - F_{2H}) + J_1 \cdot (F_d - F_{1H}) = 404,39 + 156,802 = 561,192 \text{ Вт}.$$

Рассчитаем мощности, потребляемые пассивными элементами схемы:

$$\begin{aligned} I_{ad}^2 \cdot R_1 + I_{db}^2 \cdot R_2 + I_{db}^2 \cdot R_3 + I_{be}^2 \cdot R_4 + I_{ea}^2 \cdot R_5 + I_{ac}^2 \cdot R_6 + I_{bc}^2 \cdot R_8 + \\ + I_{dc}^2 \cdot R_7 + I_{ce}^2 \cdot R_9 = 27,3127 + 41,4731 + 6,91218 + 188,114 + \\ + 129,306 + 4,48258 + 45 + 280 + 44,1733 = 766,773 \text{ Вт}. \end{aligned}$$

В результате расчета получили, что генерируемые мощности равны потребляемым. Это свидетельствует о том, что расчеты проведены верно.

4. Построение потенциальных диаграмм

На основании полученных величин токов ветвей и потенциалов узлов строятся потенциальные диаграммы для указанных в задании контуров (рис. 19; рис. 20 и рис. 21). Диаграммы строятся в определенном масштабе.

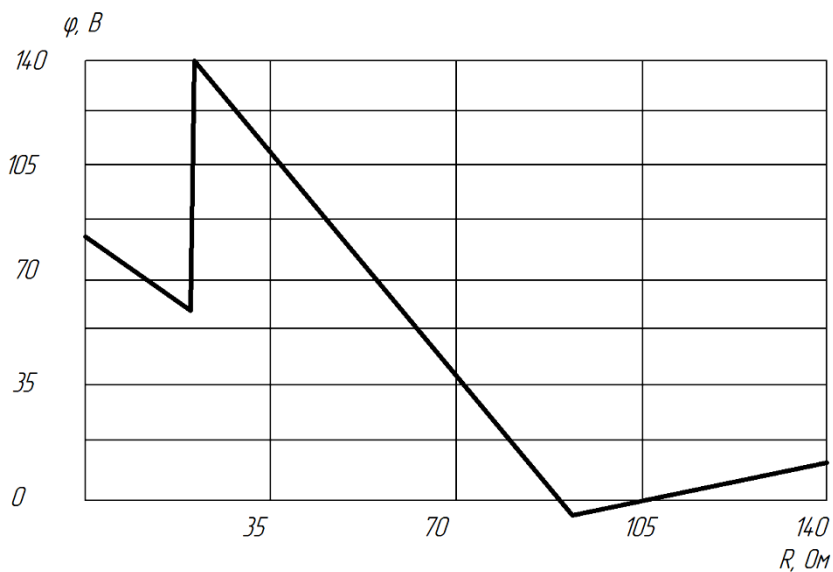


Рис. 19. Потенциальная диаграмма контура abcda

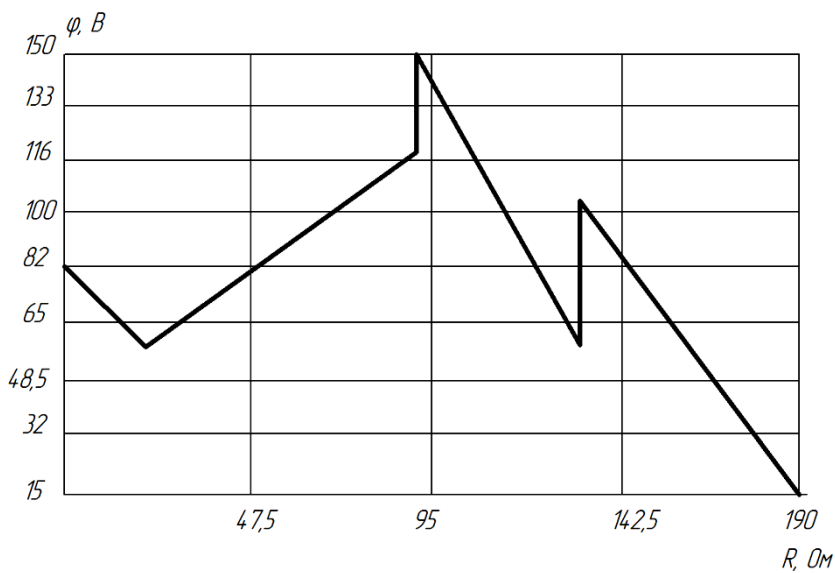


Рис. 20. Потенциальная диаграмма контура abesda

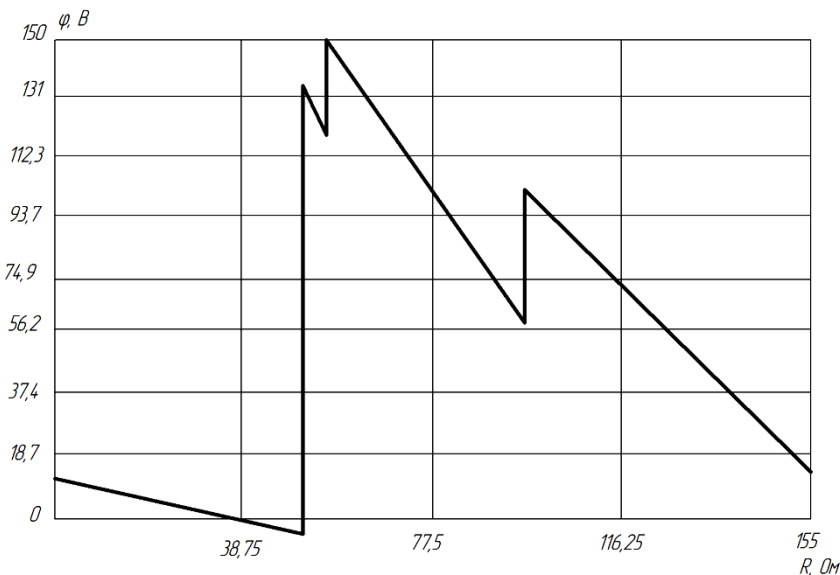


Рис. 21. Потенциальная диаграмма контура $adcea$

5.2 Пример расчета линейной электрической цепи переменного однофазного синусоидального тока

Параметры элементов схемы: $\dot{E}_1 = 70 + j20$ В; $\dot{E}_2 = 100 + j50$ В; $\dot{E}_3 = 70 - j30$ В; $\dot{E}_4 = 50 e^{j30}$ В; $\dot{E}_5 = 30 e^{j70}$ В; $\underline{Z}_1 = 10 + j40$ Ом; $\underline{Z}_2 = 18 - j10$ Ом; $\underline{Z}_3 = 50 e^{-j25}$ Ом; $\hat{J}_1 = 1$ А; $C_1 = 100$ мкФ; $C_2 = 150$ мкФ; $C_3 = 70$ мкФ; $C_4 = 200$ мкФ; $L_1 = 0,5$ Гн; $L_2 = 0,7$ Гн.

Необходимо выполнить:

1. выполнить анализ и расчет токов ветвей схемы по методу Контурных токов;
2. рассчитать напряжения: U_{ab} , U_{ac} , U_{de} ;
3. рассчитать мощности, генерируемые и потребляемые каждым элементом схемы, и составить баланс активных и реактивных мощностей;
4. рассчитать потенциалы всех характерных точек и построить топографические диаграммы для контуров: $abcdea$, $abeda$, $bcedab$.

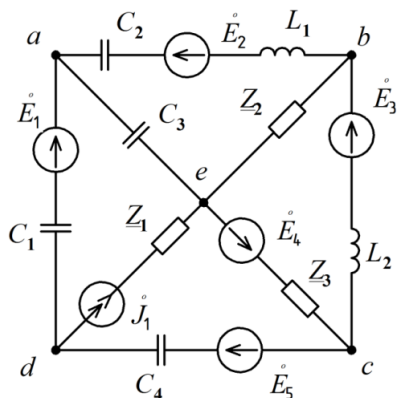


Рис. 22. Схема разветвленной линейной электрической цепи однофазного синусоидального тока

1. Анализ схемы и расчет токов ветвей методом Контурных токов.

Для выполнения расчетов необходимо предварительно провести расчет сопротивлений всех ветвей, включающих несколько сопротивлений, расположенных между соседними узлами. Рассчитаем сопротивления ветвей:

$$Z_{ab} = j \cdot (\omega L_1 - 1/(\omega C_2)) = j \cdot (314,2 \cdot 0,5 - 1/(314,2 \cdot 150 \cdot 10^{-6})) = j135,9 \text{ Ом},$$

$$Z_{bc} = j \cdot \omega L_2 = j \cdot 314,2 \cdot 0,7 = j219,9 \text{ Ом},$$

$$Z_{cd} = -j / (\omega C_4) = -j / (314,2 \cdot 200 \cdot 10^{-6}) = -j15,92 \text{ Ом},$$

$$Z_{da} = -j / (\omega C_1) = -j / (314,2 \cdot 100 \cdot 10^{-6}) = -j31,83 \text{ Ом},$$

$$Z_{ae} = -j / (\omega C_3) = -j / (314,2 \cdot 70 \cdot 10^{-6}) = -j45,47 \text{ Ом},$$

$$Z_{be} = Z_2 = 18 - j10 \text{ Ом},$$

$$Z_{ce} = Z_3 = 45,32 - j21,13 \text{ Ом},$$

$$Z_{de} = Z_1 = 10 + j40 \text{ Ом}.$$

Проведем расчет данной схемы методом Контурных токов. Для этого составим исходную систему уравнений относительно неизвестных контурных токов. Так как количество независимых контуров в расчетной схеме равно трем, то количество уравнений в системе так же равно трем. В итоге получим:

$$\begin{cases} I_{11} \cdot Z_{11} + I_{22} \cdot Z_{12} + I_{55} \cdot Z_{15} + I_{33} \cdot Z_{13} = E_{11}, \\ I_{11} \cdot Z_{21} + I_{22} \cdot Z_{22} + I_{55} \cdot Z_{25} + I_{33} \cdot Z_{23} = E_{22}, \\ I_{11} \cdot Z_{51} + I_{22} \cdot Z_{52} + I_{55} \cdot Z_{55} + I_{33} \cdot Z_{53} = E_{55}. \end{cases} \quad (5.4)$$

Для расчета данной системы уравнений первоначально необходимо рассчитать контурные сопротивления и взаимные сопротивления контуров. Получим:

$$\begin{aligned} Z_{11} &= Z_{ae} + Z_{be} + Z_{ab} = 18 + j80,39 \text{ Ом}, \\ Z_{12} &= -Z_{be} = -18 + j10 \text{ Ом}, \\ Z_{15} &= Z_{ae} = -j45,47 \text{ Ом}, \\ Z_{13} &= 0 \text{ Ом}, \\ Z_{21} &= -Z_{be} = -18 + j10 \text{ Ом}, \\ Z_{22} &= Z_{be} + Z_{ce} + Z_{bc} = 63,32 + j188,8 \text{ Ом}, \\ Z_{25} &= Z_{ce} = 45,32 - j21,13 \text{ Ом}, \\ Z_{23} &= Z_{ce} = 45,32 - j21,13 \text{ Ом}, \\ Z_{51} &= Z_{ae} = -j45,47 \text{ Ом}, \\ Z_{52} &= Z_{ce} = 45,32 - j21,13 \text{ Ом}, \\ Z_{55} &= Z_{ae} + Z_{ce} + Z_{cd} + Z_{da} = 45,32 - j114,3 \text{ Ом}, \\ Z_{53} &= Z_{ce} + Z_{cd} = 45,32 - j37,05 \text{ Ом}. \end{aligned}$$

Так же необходимо рассчитать величины контурных ЭДС, как сумму ЭДС, входящих в тот или иной контур, с учетом их направлений и направлений обходов контуров. Получим:

$$\begin{aligned} E_{11} &= E_2 = 100 + j50 \text{ В}, \\ E_{22} &= E_4 + E_3 - I_{33} \cdot Z_{32} = 67,98 + j16,13 \text{ В}, \\ E_{55} &= E_4 + E_5 + E_1 - I_{33} \cdot Z_{35} = 78,24 + j110,2 \text{ В}. \end{aligned}$$

Подставим рассчитанные величины в исходную систему контурных уравнений и получим:

$$\begin{cases} (18 + j80,39) \cdot I_{11} + (-18 + j10) \cdot I_{22} - j45,47 \cdot I_{55} = 100 + j50 \\ (-18 + j10) \cdot I_{11} + (63,32 + j188,8) \cdot I_{22} + (45,32 - j21,13) \cdot I_{55} = \\ = 67,98 + j16,13 \\ -j45,47 \cdot I_{11} + (45,32 - j21,13) \cdot I_{22} + (45,32 - j114,3) \cdot I_{55} = \\ = 78,24 + j110,2 \end{cases}$$

Проведем расчет данной системы уравнений матричным способом (составляя основной определитель матрицы и ее дополнений). В результате расчета получим величины контурных токов схемы:

$$\begin{aligned} I_{11} &= 0,2338 - j0,3737 \text{ A}, \\ I_{22} &= -0,1936 - j0,4529 \text{ A}, \\ I_{55} &= -0,6975 + j1,27 \text{ A}, \\ I_{33} &= 1 \text{ A}. \end{aligned}$$

По известным величинам контурных токов, с учетом выбранных направлений токов ветвей проводим расчет величин токов ветвей:

$$\begin{aligned} I_{ab} &= I_{11} = 0,2338 - j0,3737 \text{ A}, \\ I_{bc} &= I_{22} = -0,1936 - j0,4529 \text{ A}, \\ I_{cd} &= I_{55} + I_{33} = 0,3025 + j1,27 \text{ A}, \\ I_{da} &= I_{55} = -0,6975 + j1,27 \text{ A}, \\ I_{ae} &= I_{11} + I_{55} = -0,4637 + j0,896 \text{ A}, \\ I_{be} &= -I_{11} + I_{22} = -0,4274 - j0,07913 \text{ A}, \\ I_{ce} &= I_{22} + I_{55} + I_{33} = 0,1089 + j0,8168 \text{ A}, \\ I_{de} &= I_{33} = 1 \text{ A}. \end{aligned}$$

2. Расчет межузловых напряжений

Проведем расчет напряжений между узлами U_{ac} , U_{de} , U_{ad} . Получим:

$$\begin{aligned} U_{ab} &= -I_{ab} \cdot Z_{ab}, \\ U_{ab} &= (0,2338 - j0,3737) \cdot j135,9 - E_2 = -49,214 - j18,227 \text{ В}, \\ U_{ac} &= -Z_{ae} \cdot I_{ae} + Z_{ce} \cdot I_{ce} + E_4, \\ U_{ac} &= j45,47 (-0,4637 + j0,896) + (45,32 - j21,13)(0,1089 + j0,8168) + (43,3 + j25) = 24,753 + j38,632 \text{ В}, \\ U_{de} &= Z_{de} \cdot I_{de} + I_{de} \cdot Z_{j1}, \\ U_{de} &= (10 + j40) + (1,16 - j16,71) = 11,16 + j23,29 \text{ В}. \end{aligned}$$

3. Расчеты мощностей и баланс мощностей

Далее на основании полученных результатов выполним расчеты мощностей, генерируемых или потребляемых каждым элементом схемы, и составим баланс мощностей.

Рассчитаем мощности, генерируемые источниками ЭДС

и источниками тока:

$$\begin{aligned}
 & (\operatorname{Re}(I_{ab}) - j \cdot \operatorname{Im}(I_{ab})) \cdot E_2 + (\operatorname{Re}(I_{bc}) - j \cdot \operatorname{Im}(I_{bc})) \cdot E_3 + (\operatorname{Re}(I_{cd}) - \\
 & - j \cdot \operatorname{Im}(I_{cd})) \cdot E_5 + (\operatorname{Re}(I_{da}) - j \cdot \operatorname{Im}(I_{da})) \cdot E_1 + (\operatorname{Re}(I_{ce}) - \\
 & - j \cdot \operatorname{Im}(I_{ce})) \cdot E_4 + (\operatorname{Re}(J_1) - j \cdot \operatorname{Im}(J_1)) \cdot (F_d - F_{1н}) = 4,693 + j49,06 + \\
 & + 0,03639 + j37,51 + 38,9 - j4,5 - 23,43 - j102,8 + \\
 & + 25,14 - j32,65 - 1,157 + j16,71 = 44,18 - j36,69 \text{ Вт.}
 \end{aligned}$$

Рассчитаем мощности, потребляемые пассивными, активными, индуктивными и емкостными элементами схемы:

$$\begin{aligned}
 & |I|_{ab}^2 \cdot j \cdot \omega L_1 - |I|_{ab}^2 \cdot j / (\omega C_2) + |I|_{bc}^2 \cdot j \cdot \omega L_2 - |I|_{cd}^2 \cdot j / (\omega C_4) - \\
 & - |I|_{da}^2 \cdot j / (\omega C_1) - |I|_{ae}^2 \cdot j / (\omega C_3) + |I|_{be}^2 \cdot Z_2 + |I|_{ce}^2 \cdot Z_3 + |I|_{de}^2 \cdot Z_1 = \\
 & = j30,53 - j4,124 + j53,34 - j27,11 - j66,8 - j46,28 + 3,4 - j1,889 + \\
 & + 30,78 - j14,35 + 10 + j40 = 44,18 - j36,69 \text{ Вт.}
 \end{aligned}$$

В результате расчета получили, что генерируемые мощности равны потребляемым. Это свидетельствует о том, что расчеты проведены верно.

4. Построение топографических диаграмм

На основании полученных величин токов ветвей и потенциалов узлов строятся топографические диаграммы для указанных в задании контуров (рис. 23 и рис. 24). Диаграммы строятся в масштабе.

5.3 Пример расчета линейной электрической цепи переменного синусоидального трехфазного тока

Параметры элементов схемы: $U_L = 380 \text{ В}$; $\underline{Z}_1 = 90 + j20 \text{ Ом}$; $\underline{Z}_2 = 60 - j25 \text{ Ом}$; $\underline{Z}_3 = 650 e^{-j70} \text{ Ом}$; $R = 20 \text{ Ом}$; $C = 120 \text{ мкФ}$; $L = 0,6 \text{ Гн}$; $R_L = 5 \text{ Ом}$.

Необходимо выполнить:

1. рассчитать параметры источников: $\dot{E}_1, \dot{E}_2, \dot{E}_3$;
2. выполнить анализ и расчет токов ветвей схемы по методу Узловых потенциалов;
3. рассчитать мощности, генерируемые и потребляемые каждым элементом схемы, и составить баланс активных и реактивных мощностей;

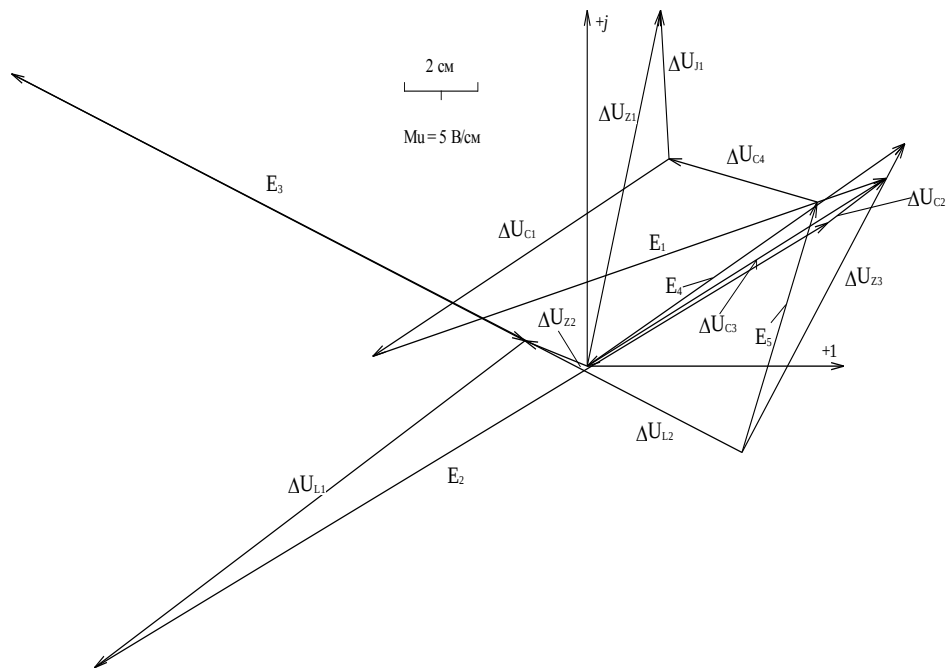


Рис. 23. Топографическая диаграмма контуров $abcdea$, $abeda$, $bcedab$

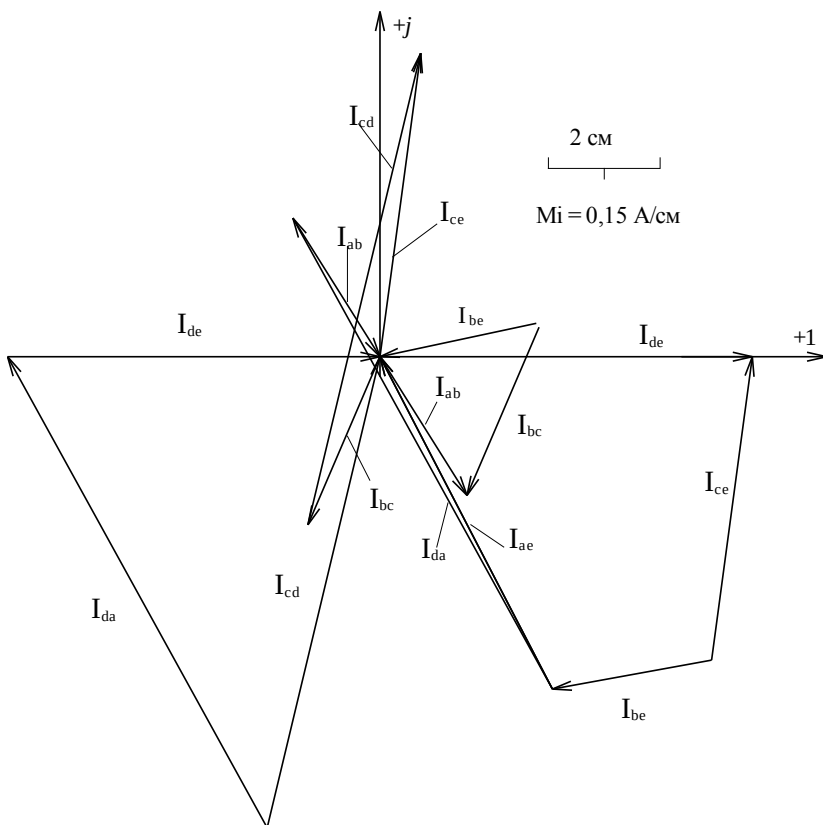


Рис. 24. Диаграмма токов ветвей

4. построить векторные диаграммы токов ветвей и напряжений контуров; топографические диаграммы контуров $N_0E_A NN_0$, $N_0E_B NN_0$, $N_0E_C NN_0$;

5. рассчитать показания ваттметров.

1. Расчет параметров источников ЭДС

Расчет параметров источников ЭДС проводится по величине модуля ЭДС и углов симметричной трехфазной системы. Тогда получим:

$$\begin{aligned} E_A &= 380 \text{ В}, \\ E_B &= -190 - j329,1 \text{ В}, \\ E_C &= -190 + j329,1 \text{ В}. \end{aligned}$$

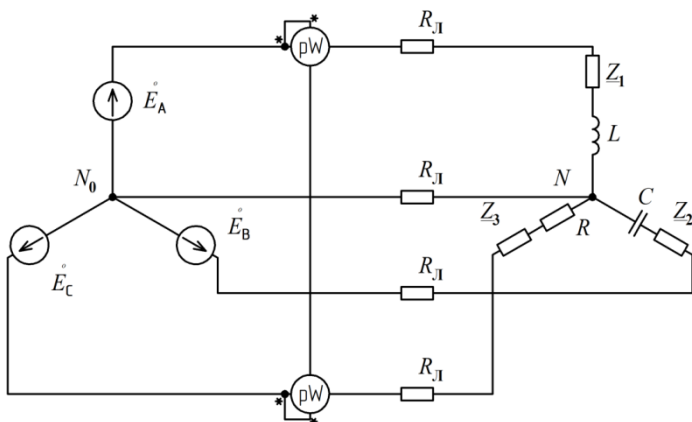


Рис. 25. Схема линейной электрической цепи синусоидального трехфазного тока

Произведем расчет параметров комплексных сопротивлений в алгебраической форме, получим:

$$\begin{aligned} Z_2 &= 60 - j25 \text{ Ом}, \\ Z_3 &= 222,3 - j610,8 \text{ Ом}, \\ Z_1 &= 90 + j20 \text{ Ом}. \end{aligned}$$

Рассчитаем сопротивления ветвей:

$$\begin{aligned} Z_A &= R_{\text{Л}} + j \cdot \omega \cdot L_1 + Z_1 = 5 + j \cdot 314,2 \cdot 0,690 + j20 = 95 + j208,5 \text{ Ом}, \\ Z_B &= R_{\text{Л}} - j / (\omega \cdot C_1) + Z_2 = 5 - j / (314,2 \cdot 120 \cdot 10^{-6}) 60 - j25 = \\ &= 65 - j51,53 \text{ Ом}, \\ Z_C &= (R_{\text{Л}} + R) + Z_3 = (5 + 20) 222,3 - j610,8 = 247,3 - j610,8 \text{ Ом}, \\ Z_{\text{NN0}} &= R_{\text{Л}} = 5 \text{ Ом}. \end{aligned}$$

Так как в схеме всего два узла, то количество уравнений в системе равно одному. Получим:

$$\varphi_{N0} \cdot Y_{N0N0} = I_{N0N0}. \quad (5.5)$$

Рассчитаем величину собственной узловой проводимости:

$$Y_{N0N0} = 1/Z_A + 1/Z_B + 1/Z_C + 1/Z_{\text{NN0}} = 0,2118 + j0,004924 \text{ См}.$$

Рассчитаем узловые токи:

$$I_{N0N0} = -E_A/Z_A - E_B/Z_B - E_C/Z_C = (-380)/(95+j208,5) + (190-j329,1)/(65-j51,53) + (190+j329,1)/(247,3-j610,8) = -0,7861 + j6,121 \text{ A.}$$

Подставим рассчитанные величины в исходное уравнение:

$$(0,2118 + j0,004924) \cdot \varphi_{N0} = -0,7861 + j6,121.$$

Решив данное уравнение относительно неизвестного узлового потенциала, определим его величину:

$$\varphi_{N0} = -3,038 + j28,97 \text{ В.}$$

Величина потенциала заземленного узла равна нулю:

$$\varphi_N = 0 \text{ В.}$$

Далее, зная величины узловых потенциалов, параметры источников ЭДС и их направления, сопротивления ветвей, а также выбранные направления токов ветвей, проводим расчет искомых токов ветвей. Расчеты проводим, воспользовавшись законом Ома для участка цепи, содержащего источники ЭДС. В результате расчетов получим:

$$\begin{aligned} I_A &= (\varphi_{N0} - \varphi_N + E_A)/Z_A = 0,7972 - j1,445 \text{ A,} \\ I_B &= (\varphi_{N0} - \varphi_N + E_B)/Z_B = 0,4239 - j4,281 \text{ A,} \\ I_C &= (\varphi_{N0} - \varphi_N + E_C)/Z_C = -0,6136 - j0,0676 \text{ A,} \\ I_{NN0} &= (\varphi_N - \varphi_{N0})/Z_{NN0} = 0,6076 - j5,794 \text{ A.} \end{aligned}$$

3. Расчеты мощностей и баланс мощностей

Далее на основании полученных результатов выполним расчеты мощностей, генерируемых или потребляемых каждым элементом схемы, и составим баланс активных и реактивных мощностей.

Рассчитаем мощности, генерируемые источниками ЭДС:

$$\begin{aligned} &(\operatorname{Re}(I_A) - j \cdot \operatorname{Im}(I_A)) \cdot E_A + (\operatorname{Re}(I_B) - j \cdot \operatorname{Im}(I_B)) \cdot E_B + (\operatorname{Re}(I_C) - \\ &- j \cdot \operatorname{Im}(I_C)) \cdot E_C = 302,9 + j549 + 1328 - j952,9 + 94,33 - j214,8 = \\ &= 1726 - j618,7 \text{ Вт.} \end{aligned}$$

Рассчитаем мощности, потребляемые пассивными индуктивными и емкостными элементами схемы:

$$\begin{aligned}
 & |I|_A^2 \cdot R_{\text{Л}} + |I|_A^2 \cdot Z_1 + |I|_A^2 \cdot j \cdot \omega L_1 + |I|_B^2 \cdot R_{\text{Л}} + |I|_B^2 \cdot Z_2 - |I|_B^2 \cdot j / (\omega C_1) + \\
 & + |I|_C^2 \cdot R_{\text{Л}} + |I|_C^2 \cdot R + |I|_C^2 \cdot Z_3 + |I|_{\text{NN0}}^2 \cdot R_{\text{Л}} = 13,61 + 245,1 + j54,46 + \\
 & + j513,3 + 92,54 + 1112 - j462,7 - j491 + 1,905 + 7,621 + 84,71 - \\
 & - j232,7 + 169,7 = 1726 - j618,7 \text{ Вт.}
 \end{aligned}$$

В результате расчета получили, что генерируемые мощности равны потребляемым. Это свидетельствует о том, что расчеты проведены верно.

4. Построение векторных и топографических диаграмм.

На основании полученных величин токов ветвей и комплексных потенциалов узлов строятся векторные диаграммы токов (рис. 26) и напряжений (рис. 27). Диаграммы токов и напряжений строятся в масштабе.

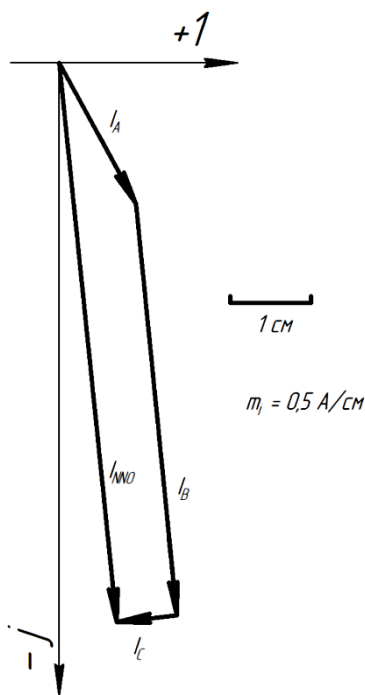


Рис. 26. Векторная диаграмма токов ветвей

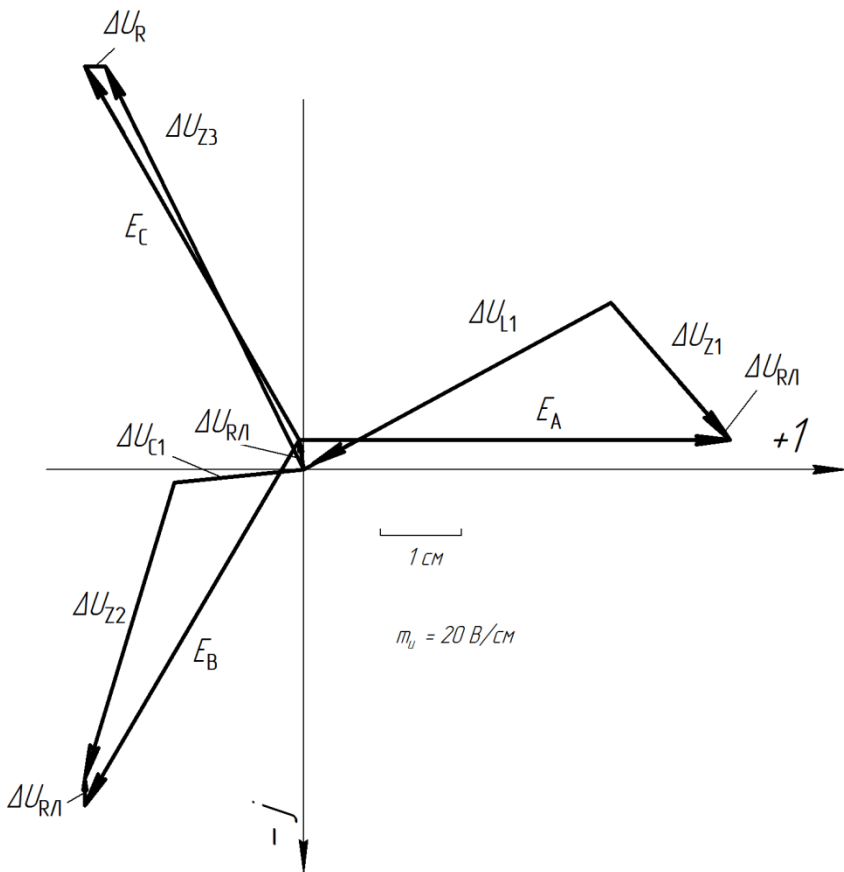


Рис. 27. Векторная (топографическая) диаграмма напряжений и комплексных потенциалов

5. Расчет показаний ваттметров

Согласно исходной схемы (рис. 25) ваттметры включены в фазы А и В. Обмотки напряжения обоих ваттметров подключены между собой последовательно на линейное напряжение между фазами А и В.

Исходя из этого, показания ваттметров рассчитываются по следующим зависимостям:

$$P_A = Re \left(\frac{1}{2} \dot{U}_{AC} \cdot \ddot{I}_A \right) = Re \left(\frac{1}{2} (\dot{E}_A - \dot{E}_C) \cdot \ddot{I}_A \right),$$

$$P_B = Re \left(\frac{1}{2} \dot{U}_{CA} \cdot \ddot{I}_C \right) = Re \left(\frac{1}{2} (\dot{E}_C - \dot{E}_A) \cdot \ddot{I}_C \right),$$

$$\begin{aligned} P_A &= Re \left(\frac{1}{2} (380 + 190 - j329,1) \cdot (0,7972 + j1,445) \right) = \\ &= 464,977 \text{ Вт}, \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P_B &= Re \left(\frac{1}{2} (-190 + j329,1 - 380) \cdot (-0,6136 + j0,0676) \right) = \\ &= 163,752 \text{ Вт}. \end{aligned}$$

Рекомендуемая литература

1. Положение о курсовом проектировании [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://old.ssaa.ru/_np_doc/582rf/polog/CMK_04-30-2013.pdf.
2. Атабеков, Г. И. Теоретические основы электротехники. Линейные электрические цепи [Текст] : учебное пособие. – 6-е изд., стер. – СПб. : Лань, 2008. – 592 с.
3. Башарин, С. А. Теоретические основы электротехники. Теория электрических цепей и электромагнитного поля [Текст] : учеб. пособие / С. А. Башарин, В. В. Федоров. – 2-е изд., стер. – М. : Издательский центр «Академия», 2007. – 304 с.
4. Бессонов, Л. А. Теоретические основы электротехники. Электрические цепи [Текст] : учебник. – 11-е изд., перераб. и доп. – М. : Гардарики, 2007. – 701 с.
5. Бычков, Ю. А. Основы теоретической электротехники [Текст] : учебное пособие / Ю. А. Бычков, В. М. Золотницкий, Э. П. Чернышев, А. Н. Белянин. – СПб. : Лань, 2008. – 590 с.
6. Лоторейчук, Е. А. Теоретические основы электротехники [Текст] : учебник. – М. : ИД «Форум» : ИНФРА-М, 2009. – 320 с.
7. Нефедова, Н. В. Карманный справочник по электронике и электротехнике [Текст] / Н. В. Нефедова, П. М. Каменев, О. М. Большунова. – изд 2-е. – Ростов н/Д : Феникс, 2007. – 283 с.
8. Прянишников, В. А. Теоретические основы электротехники [Текст] : курс лекций. – СПб. : КОРОНА принт, 2007. – 368 с.

Образец титульного листа

Министерство сельского хозяйства Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего профессионального образования
«Самарская государственная сельскохозяйственная академия»

Кафедра «Электрификация и автоматизация АПК»

КУРСОВОЙ ПРОЕКТ

по дисциплине «Электротехника и электроника»

Тема: _____

Выполнил:

Студент ____ курса, ____ группы

Специальности (направления подготовки): 110800.62 «Агроинженерия»

Профиль: «Электрооборудования и электротехнологии»

Личный номер _____
(номер зачетной книжки)

(Фамилия, Имя, Отчество студента полностью)

К защите допущен: _____ / С.И. Васильев /
(подпись) (дата)

_____ / М.А. Кузнецов /

_____ / А.А. Гашенко /

Оценка _____ / С.И. Васильев /
(цифрой и прописью) (дата) (подписи членов комиссии)

Самара 20____

Образец задания

Министерство сельского хозяйства Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего профессионального образования
«Самарская государственная сельскохозяйственная академия»
Кафедра «Электрификация и автоматизация АПК»

ЗАДАНИЕ

на курсовой проект по дисциплине
Электротехника и электроника
Студенту

(Фамилия, Имя, Отчество, полностью)

Тема проекта: Расчет линейной электрической цепи постоянного
тока методом законов Кирхгоффа

Исходные данные на курсовой проект.

Вариант № 1

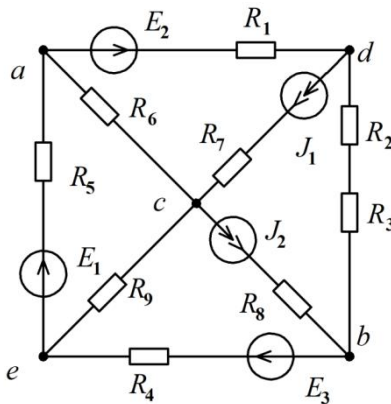


Рис. 1. Исходная электрическая схема

Параметры элементов схемы: $E_1 = 40$ В, $E_2 = 70$ В, $E_3 = 30$ В,
 $J_1 = 2$ А, $J_2 = 3$ А, $R_1 = 20$ Ом, $R_2 = 60$ Ом, $R_3 = 10$ Ом, $R_4 = 40$ Ом,
 $R_5 = 60$ Ом, $R_6 = 50$ Ом, $R_7 = 70$ Ом, $R_8 = 5$ Ом, $R_9 = 90$ Ом.

Необходимо выполнить:

1. выполнить анализ и расчет токов ветвей схемы по методу законов Кирхгоффа;
2. рассчитать напряжения: U_{ab} , U_{de} , U_{ad} ;
3. рассчитать мощности, генерируемые и потребляемые каждым элементом схемы, и составить баланс мощностей;
4. рассчитать потенциалы всех характерных точек и построить потенциальные диаграммы для контуров: adbea, cdbec, acbea;
5. выполнить проверку правильности расчетов методами Контурных токов и Узловых потенциалов;
6. сопоставить результаты основных и проверочных расчетов по величинам токов ветвей и сделать вывод о правильности расчетов и величинах погрешностей.

Задание выдано « ____ » _____ 20__ г.

Руководитель _____ С.И. Васильев
(подпись)

Пример реферата

РЕФЕРАТ

Проект представлен пояснительной запиской и графической частью на 1 листе формата А1. Пояснительная записка содержит 34 листа машинописного (или рукописного) текста, 12 рисунков, 2 таблицы, 7 наименований литературы, 1 приложение.

ЦЕПЬ, ПОТЕНЦИАЛЬНАЯ ДИАГРАММА, РАСЧЕТ.

В проекте проведен анализ заданной электрической цепи постоянного тока. Затем проведен расчет токов ветвей схемы по методу законов Кирхгоффа. Для этого выбраны узлы схемы и независимые контуры, для которых составлены уравнения по первому и второму законам Кирхгоффа.

Далее рассчитаны необходимые напряжения схемы U_{ab} , U_{de} , U_{ad} и потенциалы характерных точек. На основании полученных величин потенциалов построены потенциальные диаграммы требуемых контуров $adbca$, $cdbca$, $acbea$.

В целях проверки правильности проведенных расчетов выполнены проверочные расчеты этой же схемы методами Контурных токов и узловых потенциалов.

Сопоставив результаты расчетов, полученных по основному (требуемому) методу и по проверочным расчетам, возможно сделать заключение о правильности проведенных расчетов и верности решения задачи в целом, т.к. погрешность не превышает 5%.

Пример оформления оглавления

Оглавление

Введение	4
1 Расчет и анализ схемы методом Законов Кирхгоффа ...	8
2 Расчет межузловых напряжений	12
3 Расчеты мощностей и баланс мощностей	16
4 Построение потенциальных диаграмм	18
5 Проверка правильности расчетов методами Контурных токов и Узловых потенциалов	22
6 Сравнение результатов расчетов токов ветвей	28
Выводы и предложения	30
Список используемой литературы и источников	31
Приложения	32

Примеры оформления элементов текста пояснительной записки

Пример оформления подрисуночной надписи

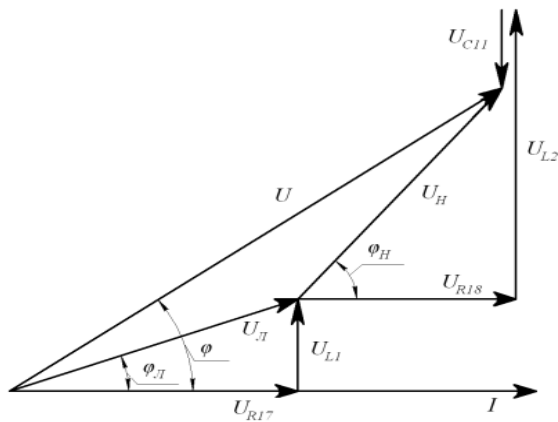


Рис. 1. Векторная диаграмма напряжений двух последовательно соединенных индуктивных элементов

Пример оформления таблиц

Таблица 1

Параметры двухполюсника				
U , В	I , А	S , ВА	Q , вар	P , Вт
220	2	440	322	300

Пример оформления формул

$$Y_2 = \frac{\dot{I}}{\dot{U}_2}, \text{См.} \tag{2.1}$$

где $\dot{I}$ – ток ветви, А;
 $\dot{U}_2$ – напряжение на сопротивлении, В.

Учебное издание

Васильев Сергей Иванович

ЭЛЕКТРОТЕХНИКА И ЭЛЕКТРОНИКА

Методические указания
для выполнения курсового проекта

Отпечатано с готового оригинал-макета
Подписано в печать 7.05.2015. Формат 60×84 1/16
Усл. печ. л. 3,08, печ. л. 3,31.
Тираж 30. Заказ №136.

Редакционно-издательский центр ФГБОУ ВПО Самарской ГСХА
446442, Самарская область, п.г.т. Усть-Кинельский, ул. Учебная 2
Тел.: (84663) 46-2-47
Факс 46-6-70
E-mail: ssaariz@mail.ru



Министерство сельского хозяйства
Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего
профессионального образования
«Самарская государственная
сельскохозяйственная академия»

Кафедра «Электрификация
и автоматизация АПК»

Т. С. Гриднева

ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЕ

**Методические указания
для выполнения курсового проекта**

Кинель
РИЦ СГСХА
2015

УДК 621.311:631.171

ББК 40.76

Г-83

Гриднева, Т. С.

Г-83 Электроснабжение : методические указания для выполнения курсового проекта / Т. С. Гриднева. – Кинель : РИЦ СГСХА, 2015. – 64 с.

Методические указания содержат рекомендации по выполнению курсового проекта по электроснабжению, требования к его структуре и оформлению, основные теоретические сведения. Учебное издание предназначено для студентов, обучающихся по направлению «Агроинженерия», профиль подготовки «Электрооборудование и электротехнологии».

© ФГБОУ ВПО Самарская ГСХА, 2015

© Гриднева Т. С., 2015

Оглавление

Предисловие.....	4
Структура курсового проекта.....	5
Правила оформления.....	6
Исходные данные для выполнения проекта.....	7
Защита курсового проекта.....	8
Указания к выполнению курсового проекта по тематике «Электроснабжение сельского населенного пункта».....	10
Рекомендуемая литература.....	48
Приложения.....	49

Предисловие

Методические указания соответствуют государственному образовательному стандарту ФГОС-3 дисциплины «Электроснабжение» для студентов высших учебных заведений.

В методических указаниях приводятся пояснения по выбору исходных данных, рекомендации по выполнению курсового проекта, основные теоретические сведения, требования к его структуре и оформлению.

Целью выполнения данного курсового проекта является формирование и развитие у студентов следующих компетенций: способность осуществлять сбор и анализ исходных данных для расчета и проектирования; готовность к участию в проектировании систем электрификации сельскохозяйственных объектов.

Задачи выполнения курсового проекта – формирование умений расчета электрических нагрузок потребителей объекта, выбора трансформаторной подстанции, расчета и проектирования электрических сетей, электрической части трансформаторной подстанции с выбором необходимой электрической аппаратуры.

Курсовой проект состоит из пояснительной записки объемом 30-50 страниц и 1 чертежа графического материала, включающего план объекта электроснабжения с расположением потребителей, трансформаторной подстанции и трасс воздушных линий (ВЛ) или внутренних проводок напряжением 0,38 кВ, с указанием нагрузок потребителей и сечения выбранных проводов.

Тематика курсового проекта определяется в соответствии с задачами изучения дисциплины «Электроснабжение», может быть посвящена электроснабжению сельского населенного пункта, электроснабжению сельскохозяйственного предприятия, животноводческого комплекса или других объектов сельских районов и сельскохозяйственных предприятий.

Структура курсового проекта

Курсовой проект выполняется студентом в соответствии с темой, указанной в индивидуальном задании. Индивидуальное задание выдается преподавателем, тематика проекта утверждается деканом факультета в начале учебного семестра.

Курсовой проект должен содержать: титульный лист; задание на курсовой проект; реферат; оглавление; введение; основную часть; выводы и предложения; список использованной литературы и источников; приложения.

Титульный лист

Титульный лист оформляется по образцу, приведенному в приложении 1.

Задание на курсовой проект

Задание содержит основные исходные данные для выполнения курсового проекта, оформляется руководителем (прил. 2).

Реферат

Реферат содержит краткое точное изложение содержания работы, включающее основные сведения и выводы, а также сокращения, используемые в проекте (прил. 3).

Оглавление

Оглавление включает наименование всех разделов, подразделов с указанием номера страниц (прил. 4).

Введение

Во введении обосновывается актуальность темы исследования, определяется объект исследования, формулируются цель и задачи.

Основная часть

В основной части работы должны содержаться соответствующие теоретические сведения; используемые исходные данные; необходимые расчеты и результаты расчетов в виде таблиц; обоснования расчетов и дана оценка их результатов.

Выводы и предложения

В выводах обобщаются основные положения, и делаются выводы и возможные направления для дальнейшего исследования.

Список использованной литературы и источников

Приводится список литературы, использованной при выполнении курсового проекта, оформленный согласно ГОСТ 7.1–2003 «Библиографическая запись. Библиографическое описание».

Правила оформления

Текст работы может быть выполнен рукописным способом или с применением печатающих устройств.

Оформление курсового (проекта) должно соответствовать ГОСТ 2.105–95 «ЕСКД. Общие требования к текстовым документам». Размер шрифта – 14, Times New Roman, абзацный отступ 1,25 см, межстрочный интервал – полуторный.

Текст и расчеты выполняются на одной стороне листа белой бумаги формата А4 (210×297) по ГОСТ 2.301-68. Размеры полей: левое – 30 мм, правое – 10 мм, верхнее – 15 мм, нижнее – 20 мм.

Текст основной части делят на разделы и подразделы. Заголовки разделов пишутся симметрично тексту прописными буквами. Заголовки подразделов – строчными.

Расстояние между заголовками разделов и текстом должно быть равно 7-10 мм (три пробела). Заголовки подразделов отделяются от текста сверху и снизу одним межстрочным интервалом.

Страницы работы нумеруются арабскими цифрами, номер проставляют в центре нижней части листа, начиная со второй страницы. На титульном листе номер не ставится, но включается в общую нумерацию.

Иллюстрации обозначаются «Рис.» и нумеруются последовательно арабскими цифрами сквозной нумерацией или в пределах каждого раздела.

Таблицы должны быть помещены в тексте после абзацев, содержащих ссылку на них. Допускается приводить таблицы на следующей после ссылки странице. Таблицы нумеруются сквозной нумерацией или в пределах одного раздела.

Перед таблицей (справа) печатается слово «Таблица», указывается ее номер. Название таблицы печатается в середине следующей строки.

Формулы нумеруют арабскими цифрами в пределах раздела. Номер формулы состоит из номера раздела и порядкового номера формулы в разделе, разделенных точкой. Номер указывают с правой стороны листа в круглых скобках. Формулы выделяют из текста свободными строками.

Чертеж графической части выполняют на листе формата А1 с использованием карандаша или графического редактора.

Исходные данные для выполнения проекта

Исходные данные для выполнения проекта зависят от тематики проектирования, которая может быть посвящена электроснабжению сельского населенного пункта, сельскохозяйственного предприятия, животноводческого комплекса или других сельскохозяйственных объектов:

- 1) характеристика объекта проектирования (план сельского населенного пункта, животноводческого комплекса или другого объекта) с нанесением всех помещений (жилых, общественных, производственных) и дорог, проходящих по территории (населенного пункта) и пр.;
- 2) перечень потребителей в соответствии с планом и их характеристики;
- 3) максимальная мощность электродвигателя и номер объекта, на котором он установлен;
- 4) значение расчетного периода;
- 5) данные об источнике питания, его удаленность от объекта проектирования; значение расчетного тока трехфазного короткого замыкания на шинах источника питания;
- 6) значения допустимых потерь напряжения в электрических сетях.

Перечень вопросов, подлежащих разработке

Перечень вопросов может варьировать в зависимости от тематики проектирования. Примерный перечень вопросов:

1. определить расчетные электрические нагрузки потребителей объекта проектирования;
2. определить местоположение трансформаторных подстанций (ТП);
3. разработать план объекта в масштабе, указать место расположения ТП;
4. выбрать номинальную мощность трансформатора и тип ТП;
5. выполнить расчет электрической питающей сети;
6. рассчитать токи коротких замыканий в электрической сети;
7. выбрать и проверить оборудование ТП.

Защита курсового проекта

Выполненный курсовой проект, оформленный в соответствии с требованиями, предоставляется на кафедру для регистрации не позднее, чем за неделю до его защиты. Проект должен быть допущен к защите, при условии законченного оформления, о чем должна свидетельствовать соответствующая подпись руководителя на титульном листе.

Защита курсового проекта проводится в установленное кафедрой время в виде публичного выступления студента перед специально созданной на кафедре комиссией. Результаты защиты отражаются в протоколе.

Процедура защиты курсового проекта состоит из доклада, в котором должны быть отражены основные этапы выполнения проекта, результаты и сделаны выводы, и ответов на вопросы членов комиссии. По результатам защиты студенту выставляется оценка по пятибалльной шкале, с занесением в зачетную книжку и экзаменационную ведомость.

Критерии оценки знаний при защите курсового проекта

Оценка **«отлично»** выставляется студенту при выполнении курсового проекта в полном объеме; проект отличается глубиной проработки всех разделов, оформлен с соблюдением установленных правил; студент свободно владеет теоретическим материалом, безошибочно применяет его при решении задач, сформулированных в задании; свободно справляется с вопросами, на все вопросы дает правильные и обоснованные ответы, убедительно защищает свою точку зрения, владеет разносторонними навыками и приемами выполнения практических заданий.

Оценка **«хорошо»** выставляется при выполнении курсового проекта в полном объеме; проект отличается глубиной проработки всех разделов содержательной части, оформлен с соблюдением установленных правил; студент твердо владеет теоретическим материалом, может применять его самостоятельно или по указанию преподавателя; на большинство вопросов даны правильные ответы, защищает свою точку зрения достаточно обосновано.

Оценка **«удовлетворительно»** выставляется при выполнении курсового проекта в основном правильно, но без достаточно

глубокой проработки некоторых разделов; студент усвоил знания только по основному материалу, но не усвоил его детально; на вопросы отвечает неуверенно или допускает ошибки, неуверенно защищает свою точку зрения.

Оценка **«неудовлетворительно»** выставляется, когда студент не может защитить свои решения, допускает грубые фактические ошибки при ответах на поставленные вопросы или отказывается от ответа.

Указания к выполнению курсового проекта по тематике «Электроснабжение сельского населенного пункта»

Тема проекта. Электроснабжение сельского населенного пункта (с. Ивановка)

Исходные данные на курсовой проект

Заданы потребители части населенного пункта, включающие производственную и коммунально-бытовую нагрузку. Расположение объектов приведено на плане населенного пункта с соблюдением масштаба (рис. 1.1).

Потребители:

1. 8 газифицированных домов;
2. 12 газифицированных домов;
3. общеобразовательная школа на 190 учащихся;
4. продовольственный магазин на 4 рабочих места;
5. зерноочистительный агрегат ЗАВ-20;
6. гараж на 10 машин;
7. овощехранилище на 500-600 т;
8. телятник с родильным отделением на 230 телят;
9. коровник на 200 голов (максимальная мощность электродвигателя – 15 кВт).

Расчетная нагрузка одного жилого дома – 4 кВт.

Расчетный период – 5 лет.

Характеристика улиц:

- 1 – улица с асфальтовым покрытием шириной 12 м;
- 2 – улица местного значения шириной 6 м.

Источник питания – районная трансформаторная подстанция РТП 35/10 кВ, расстояние до объекта – 12 км.

Регулирование напряжения на шинах 10 кВ РТП:

- при нагрузке 100% – +2,5%;
- при нагрузке 25% – 0%.

Расчетный ток трехфазного короткого замыкания на шинах 10кВ РТП – $I_{Кс} = 1,5$ кА.

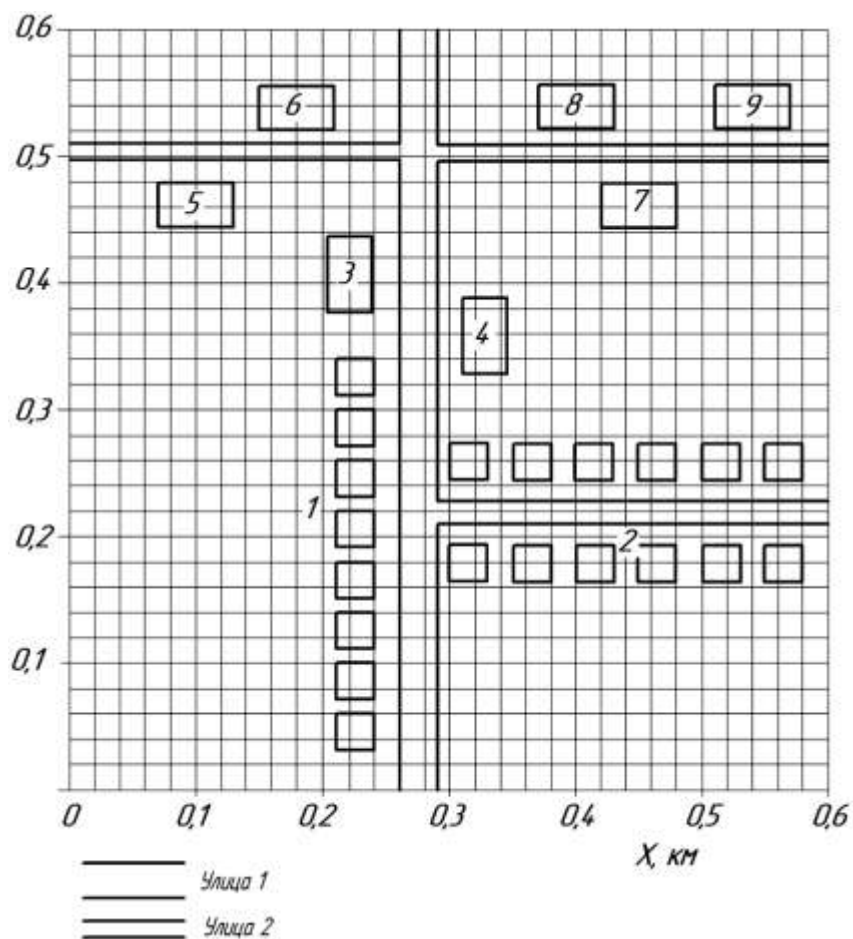


Рис. 1.1. План расположения потребителей 0,38 кВ

Перечень вопросов, подлежащих разработке

1. Определить расчетную электрическую нагрузку производственных, жилых и общественных потребителей.
2. Определить местоположение трансформаторной подстанции (ТП).
3. Определить расчетную мощность на участках воздушных линий (ВЛ) и на шинах 0,4 кВ подстанции. Выбрать номинальную мощность трансформатора и тип проектируемой ТП 10/0,4 кВ.
4. Определить электрические нагрузки по участкам и выбрать марки и сечение проводов ВЛ 0,38 кВ и линии 10 кВ.
5. Рассчитать токи коротких замыканий в электрической сети напряжением 0,38 кВ.
6. Выбрать аппаратуру управления и защиты ТП 10/0,4 кВ.
7. Составить план расположения потребителей населенного пункта и трасс ВЛ 0,38 кВ с указанием максимальной дневной/расчетной нагрузки потребителей, а также с нанесением на плане ТП 10/0,4 кВ, указанием марки и сечения проводов ВЛ.

1 РАСЧЕТ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ НАГРУЗОК

1.1 Расчет нагрузок производственных потребителей и жилых домов

Электрические нагрузки рассчитывают отдельно для режимов дневного и вечернего максимумов.

Прежде всего, необходимо определить нагрузку на вводе отдельных потребителей (выписать из справочных данных расчетные максимумы активной мощности потребителей, указанных в индивидуальном задании, в дневные и вечерние часы (прил. 5)). Для расчета реактивных нагрузок выписать коэффициенты мощности: дневной и вечерней нагрузки (прил. 6).

Электрическая нагрузка одного жилого дома берется из индивидуального задания.

Исходные данные о нагрузках потребителей сводят в таблицу 1.1.

Вечерний ($P_{в.мах}$) и дневной ($P_{д.мах}$) максимум нагрузки группы жилых домов определяют с помощью коэффициента одновременности:

$$\begin{aligned} P_{в.мах} &= P \cdot n \cdot k_o \cdot k_{в}, \\ P_{д.мах} &= P \cdot n \cdot k_o \cdot k_{д}, \end{aligned} \quad (1.1)$$

где P – нагрузка одного жилого дома (в вечерний максимум), кВт;

n – заданное число домов в группе;

k_o – коэффициент одновременности, зависит от нагрузки P и количества домов n (прил. 8);

$k_{в}$, $k_{д}$ – соответственно, коэффициенты вечернего и дневного максимумов. Для негазифицированного жилого дома $k_{д} = 0,6$; $k_{в} = 1$, газифицированного – $k_{д} = 0,3-0,4$; $k_{в} = 1$ [1].

1) 8 газифицированных домов.

Коэффициент одновременности для $n = 8$ $k_o = 0,46$.

$$P_{в.мах} = 4 \cdot 8 \cdot 0,46 \cdot 1 = 14,7 \text{ кВт},$$

$$P_{д.мах} = 4 \cdot 8 \cdot 0,46 \cdot 0,35 = 5,1 \text{ кВт}.$$

2) 12 газифицированных домов.

Коэффициент одновременности для $n = 12$ $k_o = 0,4$.

$$P_{в.мах} = 4 \cdot 12 \cdot 0,4 \cdot 1 = 19,2 \text{ кВт},$$

$$P_{д.мах} = 4 \cdot 12 \cdot 0,4 \cdot 0,35 = 6,7 \text{ кВт}.$$

Таблица 1.1

Электрические нагрузки потребителей

№ на плане	Название объекта	Дневной максимум $P_{д.мах}$, кВт	Вечерний максимум $P_{в.мах}$, кВт	$\cos\varphi_d$	$\cos\varphi_v$
1	8 газифицированных домов	5,1	14,7	0,9	0,93
2	12 газифицированных домов	6,7	19,2	0,9	0,93
3	Общеобразовательная школа на 190 учащихся	14	20	0,85	0,9
4	Продовольственный магазин на 4 рабочих места	2	4	0,85	0,9
5	Зерноочистительный агрегат ЗАВ-20	25	26	0,7	0,75
6	Гараж на 10 машин	20	10	0,7	0,75
7	Овощехранилище на 500-600 т	20	20	0,7	0,75
8	Телятник с родильным отделением на 230 телят	6	10	0,75	0,85
9	Коровник на 200 голов	17	17	0,75	0,85

1.2 Выбор количества и мест установки ТП 10/0,4 кВ

При определении количества и места установки ТП 10/0,4 кВ в населенном пункте желательно выделять отдельную ТП для производственных и для бытовых потребителей. Зона действия ТП не должна превышать 500 м. Если от ТП питается комбинированная нагрузка, то следует запитывать производственные бытовые потребители от отдельных воздушных или кабельных линий и предусмотреть раздельный учет потребляемой электроэнергии.

В связи с тем, что предположительно зона охвата ТП в проектируемом населенном пункте не будет превышать 500 м, принимаем одну трансформаторную подстанцию.

Приближенное место ТП находят по методу определения центра тяжести электрических нагрузок, используя сетку координат (X, Y). Координаты центра нагрузки определяют по формулам:

$$X = \frac{\sum_{i=1}^n P_i \cdot X_i}{\sum_{i=1}^n P_i}, \quad Y = \frac{\sum_{i=1}^n P_i \cdot Y_i}{\sum_{i=1}^n P_i}, \quad (1.2)$$

где X_i , Y_i – абсцисса и ордината ввода i -го потребителя по координатной сетке, км;

P_i – активная мощность i -го потребителя (максимальная из вечерней и дневной), кВт;

n – общее число потребителей.

Координаты потребителей (их вводно-распределительных устройств) определяют по плану населенного пункта.

Для удобства дальнейших расчетов, за координаты жилых домов принимают приблизительные координаты центра этих групп.

Исходные данные для определения координат ТП приведем в таблице 1.2.

Таблица 1.2

Исходные данные для определения координат ТП

№ потребителя	X, км	Y, км	$P_{\max}$
1	0,24	0,18	14,7
2	0,44	0,22	19,2
3	0,24	0,41	20
4	0,31	0,36	4
5	0,10	0,48	26
6	0,18	0,52	20
7	0,45	0,48	20
8	0,40	0,52	10
9	0,54	0,52	17

$$X = \frac{14,7 \cdot 0,24 + 19,2 \cdot 0,44 + 20 \cdot 0,24 + 4 \cdot 0,31 + 26 \cdot 0,1 + 20 \cdot 0,18 + 20 \cdot 0,45 + 10 \cdot 0,4 + 17 \cdot 0,54}{14,7 + 19,2 + 20 + 4 + 26 + 20 + 20 + 10 + 17} = 0,31 \text{ км},$$

$$Y = \frac{14,7 \cdot 0,18 + 19,2 \cdot 0,22 + 20 \cdot 0,41 + 4 \cdot 0,36 + 26 \cdot 0,48 + 20 \cdot 0,52 + 20 \cdot 0,48 + 10 \cdot 0,52 + 17 \cdot 0,52}{14,7 + 19,2 + 20 + 4 + 26 + 20 + 20 + 10 + 17} = 0,41 \text{ км}.$$

Место установки ТП необходимо указать на листе графической части (плане населенного пункта) в соответствии с найденными координатами (прил. 23).

После размещения ТП на плане намечают трассы сети 0,38 кВ, учитывая следующие требования нормативных документов:

- количество отходящих линий для типовых ТП: с трансформаторами до 250 кВА – 3; с трансформаторами 250 кВА – 4; с трансформаторами большей мощности – 5;
- трассы линий прокладываются вдоль дорог с наименьшим количеством пересечений дорог. Не допускается пересечение линий 0,38 кВ между собой;
- рекомендуемый радиус магистрального участка ВЛ 0,38 кВ – до 500 м;
- производственные и бытовые потребители желательно запитывать от отдельных линий;
- желательно распределять нагрузку по линиям так, чтобы сечение проводов каждой не превышало 120 мм². Можно прокладывать кабельные линии при экономическом обосновании.

В нашем случае предварительно намечаем 3 воздушные линии (ВЛ), 4-я линия будет для уличного освещения.

1.3 Расчет мощности на участках ВЛ 0,38 кВ

Для определения расчетных мощностей составляют расчетную схему, привязывая ее к плану населенного пункта и намеченным трассам ВЛ 0,38 кВ. На схеме наносят потребителей, указывают их нагрузки, обозначают номера участков и их длину. На схеме обозначают магистральные участки ВЛ, ответвления от ВЛ для ввода в помещение потребителя не учитывают.

Определение суммарных электрических нагрузок по линиям 0,38 кВ производится отдельно для дневного и вечернего максимумов нагрузки, начиная с наиболее удаленного от ТП участка.

В случае, если потребители однотипные (например, только жилые дома) и их значения отличаются менее чем в 4 раза, мощность участка определяется по формуле:

$$P_{уч} = k_0 \cdot \sum_{i=1}^n P_i , \quad (1.3)$$

где P_i – нагрузки i -го потребителя участка, кВт;
 k_0 – коэффициент одновременности.

На участках со смешанной нагрузкой и в случае, если значение нагрузок однородных потребителей отличается более чем в 4 раза, суммирование нагрузок осуществляется с помощью добавок мощностей:

$$P_{\text{уч}} = P_{\text{max}} + \sum_{i=1}^{n-1} \Delta P(P_{\text{min}})_i, \quad (1.4)$$

где P_{max} – наибольшая из дневных или вечерних суммируемых нагрузок, кВт;

$\Delta P(P_{\text{min}})$ – добавка меньшей (P_{min}) из суммируемых нагрузок, кВт (определяется из приложения 9).

Определяют полную и реактивную составляющие нагрузок, используя средневзвешенные значения $\cos\varphi$ расчетного участка:

$$S = \frac{P}{\cos\varphi}, \text{кВ} \cdot \text{А}, \quad (1.5)$$

$$Q = \sqrt{S^2 - P^2}, \text{квар}. \quad (1.6)$$

Средневзвешенные коэффициенты мощности определяются по формуле:

$$\cos\varphi = \frac{\sum_{i=1}^n P_i \cdot \cos\varphi_i}{\sum_{i=1}^n P_i}, \quad (1.7)$$

где $\cos\varphi_i$ – коэффициенты мощности i -го потребителя расчетного участка.

Вместо средневзвешенного значения можно принимать значение $\cos\varphi_i$ нагрузки, преобладающей на данном участке.

Результаты расчетов электрических нагрузок в сетях 0,38 кВ заносятся в таблицу 1.3.

Приведем расчетную схему для данной ТП (рис. 1.2). Ответвления от ВЛ для ввода в помещение потребителя не учитываем.

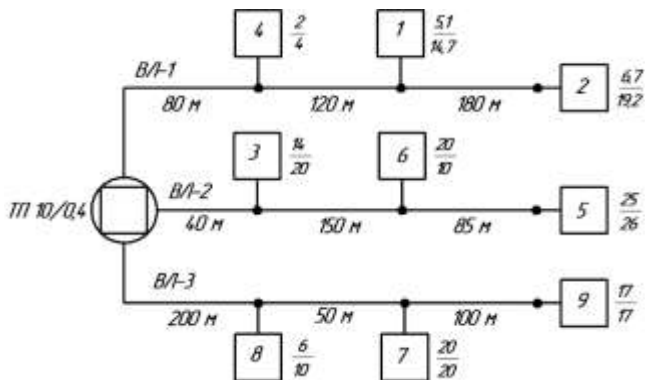


Рис. 1.2. Расчетная схема ВЛ 0,38 кВ:

1-9 – номер потребителя на плане; 100 м – длина участка;
 $\frac{14}{20}$ – расчетная нагрузка: дневной/вечерний максимум, кВт

Дневной максимум

ВЛ-1

Участок 2-1

$$P=6,7 \text{ кВт},$$

$$S = \frac{6,7}{0,9} = 7,4 \text{ кВ} \cdot \text{А},$$

$$Q=\sqrt{7,4^2 - 6,7^2} = 3,2 \text{ квар.}$$

Участок 1-4

Т.к. потребители на участке 1-4 однородные (жилые дома), суммирование произведем с помощью коэффициента одновременности по формуле 1.3 ($k_0=0,75$ для газифицированных домов):

$$P=(5,1+6,7) \cdot k_0=(5,1+6,7) \cdot 0,75=8,8 \text{ кВт},$$

$$S = \frac{8,8}{0,9} = 9,8 \text{ кВ} \cdot \text{А},$$

$$Q=\sqrt{9,8^2 - 8,8^2} = 4,2 \text{ квар.}$$

Участок 4-ТП

Здесь нагрузки неоднородные, поэтому суммируем при помощи добавок мощностей (формула 1.4):

$$P=8,8+\Delta P(2)=8,8+1,2=10 \text{ кВт},$$

$$S = \frac{10}{0,85} = 11,7 \text{ кВ} \cdot \text{А},$$

$$Q=\sqrt{11,7^2 - 10^2} = 6,2 \text{ квар.}$$

ВЛ-2

Участок 5-6

$$P=25 \text{ кВт},$$

$$S = \frac{25}{0,7} = 35,7 \text{ кВ} \cdot \text{А},$$

$$Q=\sqrt{35,7^2 - 25^2} = 25,5 \text{ квар.}$$

Участок 6-3

Потребители на участке 6-3 неоднородные:

$$P=25+ \Delta P(20)=25+12,5=37,5 \text{ кВт},$$

$$S = \frac{37,5}{0,7} = 53,5 \text{ кВ} \cdot \text{А},$$

$$Q=\sqrt{53,5^2 - 37,5^2} = 38,1 \text{ квар.}$$

Участок 3-ТП

$$P=37,5+ \Delta P(14)=37,5+8,5=46 \text{ кВт},$$

$$S = \frac{46}{0,85} = 54,1 \text{ кВ} \cdot \text{А},$$

$$Q=\sqrt{54,1^2 - 46^2} = 28,5 \text{ квар.}$$

ВЛ-3

Участок 9-7

$$P=17 \text{ кВт},$$

$$S = \frac{17}{0,75} = 22,6 \text{ кВ} \cdot \text{А},$$

$$Q = \sqrt{22,6^2 - 17^2} = 14,9 \text{ квар.}$$

Участок 7-8

$$P = 20 + \Delta P(17) = 20 + 10,5 = 30,5 \text{ кВт,}$$

$$S = \frac{30,5}{0,7} = 43,5 \text{ кВ} \cdot \text{А,}$$

$$Q = \sqrt{43,5^2 - 30,5^2} = 31,1 \text{ квар.}$$

Участок 8-ТП

$$P = 30,5 + \Delta P(6) = 30,5 + 3,6 = 34,1 \text{ кВт,}$$

$$S = \frac{34,1}{0,75} = 45,4 \text{ кВ} \cdot \text{А,}$$

$$Q = \sqrt{45,4^2 - 34,1^2} = 29,9 \text{ квар.}$$

Вечерний максимум

ВЛ-1

Участок 2-1

$$P = 19,2 \text{ кВт,}$$

$$S = \frac{19,2}{0,93} = 20,6 \text{ кВ} \cdot \text{А,}$$

$$Q = \sqrt{20,6^2 - 19,2^2} = 7,5 \text{ квар.}$$

Участок 1-4

$$P = (14,7 + 19,2) \cdot k_0 = (14,7 + 19,2) \cdot 0,75 = 25,4 \text{ кВт,}$$

$$S = \frac{25,4}{0,93} = 27,3 \text{ кВ} \cdot \text{А,}$$

$$Q = \sqrt{27,3^2 - 25,4^2} = 10,1 \text{ квар.}$$

Участок 4-ТП

$$P = 25,4 + \Delta P(4) = 25,4 + 2,4 = 27,8 \text{ кВт,}$$

$$S = \frac{27,8}{0,9} = 30,8 \text{ кВ} \cdot \text{А},$$

$$Q = \sqrt{30,8^2 - 27,8^2} = 13,7 \text{ квар.}$$

ВЛ-2

Участок 5-6

$$P = 26 \text{ кВт},$$

$$S = \frac{26}{0,75} = 34,6 \text{ кВ} \cdot \text{А},$$

$$Q = \sqrt{34,6^2 - 26^2} = 22,8 \text{ квар.}$$

Участок 6-3

$$P = 26 + \Delta P(10) = 26 + 6 = 32 \text{ кВт},$$

$$S = \frac{32}{0,75} = 42,6 \text{ кВ} \cdot \text{А},$$

$$Q = \sqrt{42,6^2 - 32^2} = 28,2 \text{ квар.}$$

Участок 3-ТП

$$P = 32 + \Delta P(20) = 32 + 12,5 = 44,5 \text{ кВт},$$

$$S = \frac{44,5}{0,9} = 49,4 \text{ кВ} \cdot \text{А},$$

$$Q = \sqrt{49,4^2 - 44,5^2} = 21,5 \text{ квар.}$$

ВЛ-3

Участок 9-7

$$P = 17 \text{ кВт},$$

$$S = \frac{17}{0,85} = 20 \text{ кВ} \cdot \text{А},$$

$$Q = \sqrt{20^2 - 17^2} = 10,5 \text{ квар.}$$

Участок 7-8

$$P=20+ \Delta P(17)=20+10,5=30,5 \text{ кВт},$$

$$S = \frac{30,5}{0,75} = 40,6 \text{ кВ} \cdot \text{А},$$

$$Q=\sqrt{40,6^2 - 30,5^2} = 26,9 \text{ квар}.$$

Участок 8-ТП

$$P=30,5+\Delta P(10)=30,5+6=36,5 \text{ кВт},$$

$$S = \frac{36,5}{0,85} = 42,9 \text{ кВ} \cdot \text{А},$$

$$Q=\sqrt{42,9^2 - 36,5^2} = 22,6 \text{ квар}.$$

Результаты расчетов сведем в таблицу 1.3.

Таблица 1.3

Расчетные нагрузки на участках ВЛ 0,38 кВ

Участок ВЛ	Дневной максимум				Вечерний максимум			
	P, кВт	cosφ	Q, квар	S, кВ·А	P, кВт	cosφ	Q, квар	S, кВ·А
ВЛ-1								
2-1	6,7	0,9	3,2	7,4	19,2	0,93	7,5	20,6
1-4	8,8	0,9	4,2	9,8	25,4	0,93	10,1	27,3
4-ТП	10	0,85	6,2	11,7	27,8	0,9	13,7	30,8
ВЛ-2								
5-6	25	0,7	25,5	35,7	26	0,75	22,8	34,6
6-3	37,5	0,7	38,1	53,5	32	0,75	28,2	42,6
3-ТП	46	0,85	28,5	54,1	44,5	0,9	21,5	49,4
ВЛ-3								
9-7	17	0,75	14,9	22,6	17	0,85	10,5	20
7-8	30,5	0,7	31,1	43,5	30,5	0,75	26,9	40,6
8-ТП	34,1	0,75	29,9	45,4	36,5	0,85	22,6	42,9

1.4 Расчет уличного освещения

Нагрузка уличного освещения определяется по формуле:

$$P_{ул}=l_{ул} \cdot P_{уд.ул}+P_{нар} , \text{ Вт}, \quad (1.8)$$

где $l_{ул}$ – длина улиц, м;

$P_{уд, ул}$ – удельная мощность уличного освещения, Вт/м;

$P_{нар}$ – нагрузка наружного освещения, Вт.

Удельную мощность уличного освещения принимают по нормам освещенности улиц (прил. 7).

Для рассматриваемого населенного пункта улица с асфальтобетонным покрытием имеет длину 600 м (принимаем $P_{уд, ул}=7$ Вт/м), улица местного значения – длиной 860 м (принимаем $P_{уд, ул}=3$ Вт/м).

Нагрузка наружного освещения принимается из расчета 250 Вт на 1 помещение. Всего в населенном пункте 7 помещений.

$$P_{ул}=600 \cdot 7 + 860 \cdot 3 + 250 \cdot 7 = 8530 \text{ Вт} = 8,53 \text{ кВт}.$$

Нагрузка уличного освещения учитывается в расчетной нагрузке ТП вечернего максимума, для него требуется линия ВЛ-4.

1.5 Расчет нагрузок ТП 10/0,4 кВ и ВЛ 10 кВ

Нагрузку трансформаторной подстанции определяют по расчетным максимальным нагрузкам головных (ближайших к ТП) участков отходящих ВЛ, с учетом добавок мощности и $\cos\varphi$ для трансформаторного пункта с нагрузкой смешанного типа. Добавки принимаем согласно приложению 9, $\cos\varphi$ для трансформаторного пункта – по приложению 6.

Полную мощность на шинах ТП 10/0,4 кВ определяют по формуле:

$$S_{ТП} = S_{\max} + \sum_{i=1}^{n-1} \Delta S(S_{\min})_i, \quad (1.9)$$

где $S_{\max}$ – максимальная полная мощность из суммируемых, кВт·А;

$\Delta S(S_{\min})$ – добавка меньшей из суммируемых нагрузок, кВт·А.

Определим нагрузку ТП. Нагрузку уличного освещения добавляем к вечернему максимуму простым суммированием (без добавки).

Дневной максимум

$$S_d = 54,1 + \Delta S(11,7) + \Delta S(45,4) = 54,1 + 7,1 + 30,6 = 91,8 \text{ кВт} \cdot \text{А},$$

$$P_d = S_d \cdot \cos\varphi_d, \text{ кВт},$$

$$P_d = 91,8 \cdot 0,8 = 73,4 \text{ кВт},$$

$$Q_d = \sqrt{S^2 - P^2}, \text{ квар},$$

$$Q_d = \sqrt{91,8^2 - 73,4^2} = 55,1 \text{ квар}.$$

Вечерний максимум

$$S_b = 49,4 + \Delta S(30,8) + \Delta S(42,9) + 8,53 = 49,4 + 19,6 + 28,7 + 8,53 = 106,2 \text{ кВт} \cdot \text{А},$$

$$P_b = S_b \cdot \cos \varphi_b, \text{ кВт},$$

$$P_b = 106,2 \cdot 0,83 = 88,1 \text{ кВт},$$

$$Q_b = \sqrt{106,2^2 - 88,1^2} = 59,2 \text{ квар}.$$

Мощность трансформаторов выбирается по наибольшей полной мощности из дневного (S_d) и вечернего (S_b) максимума. В данном примере наибольший максимум – вечерний.

Расчетную мощность увеличивают с учетом перспективы роста нагрузок за расчетный период:

$$S_r = k_p \cdot S_b, \text{ кВт} \cdot \text{А}, \quad (1.10)$$

где k_p – коэффициент роста нагрузок ТП за расчетный период (прил. 7).

Для заданного расчетного периода 5 лет $k_p = 1,3$.

$$S_r = 1,3 \cdot 106,2 = 138,1 \text{ кВт} \cdot \text{А}.$$

По приложению 11 выбираем трансформатор с номинальной мощностью $S_{\text{ном}} = 160 \text{ кВА}$.

Параметры ТП приведем в таблице 1.4.

Таблица 1.4

Нагрузка трансформаторной подстанции

$S_{\text{н}}, \text{ кВА}$	Дневной максимум				Вечерний максимум			
	$P, \text{ кВт}$	$Q, \text{ квар}$	$S, \text{ кВт} \cdot \text{А}$	k_3	$P, \text{ кВт}$	$Q, \text{ квар}$	$S, \text{ кВт} \cdot \text{А}$	k_3
160	73,4	55,1	91,8	0,57	88,1	59,2	106,2	0,66

В таблице 1.4 k_3 – коэффициент загрузки трансформатора:

$$k_3 = \frac{S}{S_H}. \quad (1.11)$$

При выборе трансформаторной подстанции рекомендуется применять серийно выпускаемые комплектные трансформаторные подстанции (КТП), имеющие типовые электрические схемы; трансформаторы на КТП выполнены с переключением ответвлений без возбуждения (ПБВ). Распределительное устройство 0,4 кВ КТП рекомендуется использовать с автоматическими выключателями. Для электроснабжения сельских потребителей в основном используют однотрансформаторные подстанции с масляным трансформатором (ТМ, ТМГ). При проектировании электроснабжения крупных сельскохозяйственных комплексов рекомендуется предусматривать подстанции внутренней установки, размещаемые в пристройках или в производственных зданиях. Для внутренней установки рекомендуется трансформатор сухого типа (ТСЛ, ТСЛГ).

Выбираем однотрансформаторную подстанцию с масляным трансформатором ТМ-10/0,4 кВ, его технические данные приведем в таблице 1.5.

Таблица 1.5

Технические данные трансформатора типа ТМ

Номинальная мощность, кВА	Номинальное напряжение, кВ		Напряжение короткого замыкания, %	Ток холостого хода, %	Потери мощности, кВт	
	ВН	НН			холостого хода	короткого замыкания
160	6; 10	0,4	4,5	2,4	0,51	2,65

Нагрузка воздушной линии 10 кВ соответствует нагрузке трансформаторной подстанции (табл. 1.4).

2 РАСЧЕТ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ

2.1 Расчет допустимых потерь напряжения

Допустимые отклонения напряжения в точке передачи электроэнергии потребителям в соответствии с ГОСТ Р 54149-2010 составляет $\pm 10\%$. Однако для электроприемников рекомендуемое отклонение напряжения составляет $\pm 5\%$.

На шинах питающей районной подстанции РТП 35/10 кВ осуществляется режим встречного регулирования (надбавка на напряжения $\Delta U_{РТП35/10}$ в часы максимума нагрузки увеличивается (+2,5% согласно исходным данным)), в часы минимума – уменьшается (0%).

Потери напряжения в трансформаторе ТП 10/0,4 кВ принимают при максимальной нагрузке – 4%, при минимальной –1%. Постоянная надбавка трансформатора составляет +5% [1].

Минимальная нагрузка для сельских потребителей принимается $P_{min}=0,25 \cdot P_{max}$.

Определим допустимые потери в линиях 10 и 0,38 кВ, при которых в режиме максимума нагрузок отклонение в точке передачи электроэнергии потребителям составит –5%. Результаты сведем в таблицу 2.1 (жирным шрифтом обозначены известные значения). При этом надбавки имеют знак «+», потери «-».

Таблица 2.1

Отклонения напряжения в элементах сети

Элементы сети	Отклонение напряжения, при нагрузке, %	
	P_{max}	$P_{min}=0,25 \cdot P_{max}$
Шины 10 кВ питающей подстанции		
$\Delta U_{РТП 35/10}$	+2,5	0
Линия 10 кВ $\Delta U_{доп. 10}$	-4	-1
Трансформатор 10/0,4 кВ:		
надбавка $\Delta U_{надб.}$	+5	+5
потери ΔU_T	-4	-1
Линия 0,38 кВ $\Delta U_{доп. 0,38}$	-4,5	-1,125
Точка передачи потребителю $\Delta U_{потр.}$	-5	+1,875

Отклонение напряжения в точке передачи электроэнергии потребителю определяется формулой:

$$\Delta U_{потр.} = \Delta U_{РТП 35/10} + \Delta U_{надб.} + \Delta U_T + \Delta U_{10} + \Delta U_{0,38}, \% \quad (2.1)$$

где $\Delta U_{РТП 35/10}$ – отклонение напряжения на шинах РТП 35/10, %;

$\Delta U_{надб.}$, ΔU_T , $\Delta U_{доп. 10}$, $\Delta U_{доп. 0,38}$ – соответственно, надбавка и потери в трансформаторе 10/0,4 кВ, потеря напряжения в линии соответственно 10 кВ и 0,38 кВ, %.

Суммарная допустимая потеря напряжения в линиях 10 кВ и 0,38 кВ при максимальной нагрузке составит:

$$-(\Delta U_{доп. 10} + \Delta U_{доп. 0,38}) = \Delta U_{РТП 35/10} + \Delta U_{надб.} + \Delta U_T - \Delta U_{потр.}, \%. \quad (2.2)$$

$$-(\Delta U_{\text{доп } 10} + \Delta U_{\text{доп } 0,38}) = 2,5 + 5 - 4 - (-5) = -8,5 \, \%.$$

Допустимую потерю напряжения распределяют между ВЛ 10 кВ и 0,38 кВ приблизительно поровну.

Принимаем: $\Delta U_{\text{доп } 10} = -4 \, \%$; $\Delta U_{\text{доп } 0,38} = -4,5 \, \%$.

Полученные значения заносим в таблицу 2.1.

Проверим уровень напряжения у потребителей при минимальной нагрузке (25% от P_{max}). При этом потери напряжения в линиях и трансформаторе также уменьшаются в 4 раза ($\Delta U_{10} = -4/4 = -1\%$, $\Delta U_{0,38} = -4,5/4 = -1,125\%$):

$$\Delta U_{\text{норм}} = 0 - 1 + 5 - 1 - 1,125 = +1,875 \, \%,$$

что в пределах допустимого.

2.2 Выбор сечения проводов ВЛ 0,38

Предварительный выбор сечения проводов ВЛ 0,38 кВ рекомендуется проводить по экономической плотности тока:

$$F_{\text{ЭК}} = \frac{I_{\text{ЭКВ}}}{j_{\text{ЭК}}}, \quad (2.3)$$

где $I_{\text{ЭКВ}}$ – эквивалентный ток магистрали ВЛ, А;

$j_{\text{ЭК}}$ – экономическая плотность тока, А/мм². Рекомендуемое значение для сетей 0,38 кВ – $j_{\text{ЭК}} = 0,5 \dots 0,7$ А/мм² [3].

$$I_{\text{ЭКВ}} = \frac{S_{\text{ЭКВ}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{н}}}, \quad (2.4)$$

где $S_{\text{ЭКВ}}$ – эквивалентная мощность магистрали ВЛ, кВ·А.

$$S_{\text{ЭКВ}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n S_i^2 \cdot l_i}{\sum_{i=1}^n l_i}}, \quad (2.5)$$

где S_i – расчетная максимальная мощность i-го участка, кВ·А;

l_i – длина i-го участка, км.

Все участки одной ВЛ 0,38 кВ выполняют проводами одного и того же сечения, используют самонесущие изолированные провода (СИП) (прил. 14).

Затем выбранное сечение проверяют по допустимой потере напряжения.

Если потеря напряжения окажется выше допустимой, то необходимо выбрать провод большего сечения и произвести расчет заново, пока потеря не окажется меньше допустимой.

Максимальные потери напряжения будут в часы максимума нагрузок вдоль наиболее загруженной магистрали. В нашем случае для ВЛ-1 – это вечерний максимум, для ВЛ-2 и ВЛ-3 – дневной (табл. 2.2).

Таблица 2.2

Максимальные расчетные нагрузки на участках ВЛ

Участок ВЛ	P, кВт	Q, квар	S, кВ·А	<i>l</i> , км	<i>S</i> _{экв} , кВ·А	<i>I</i> _{экв} , А	<i>F</i> _{эк} , мм ²
ВЛ-1							
2-1	19,2	7,5	20,6	0,180	25,2	38,3	54
1-4	25,4	10,1	27,3	0,120			
4-ТП	27,8	13,7	30,8	0,080			
ВЛ-2							
5-6	25	25,5	35,7	0,085	25,5	38,7	55
6-3	37,5	38,1	53,5	0,150			
3-ТП	46	28,5	54,1	0,040			
ВЛ-3							
9-7	17	14,9	22,6	0,100	39,9	60,7	86
7-8	30,5	31,1	43,5	0,050			
8-ТП	34,1	29,9	45,4	0,200			

ВЛ-1

$$S_{\text{экр}} = \sqrt{\frac{20,6^2 \cdot 0,18 + 27,3^2 \cdot 0,12 + 30,8^2 \cdot 0,08}{0,18 + 0,12 + 0,08}} = 25,2 \text{ кВ} \cdot \text{А},$$

$$I_{\text{экр}} = \frac{25,2}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 38,3 \text{ А},$$

$$F_{\text{эк}} = \frac{38,3}{0,7} = 55 \text{ мм}^2.$$

Выбираем провод СИП-2 3×70 + 1×70.

ВЛ-2

$$S_{\text{ЭКВ}} = \sqrt{\frac{35,7^2 \cdot 0,085 + 53,5^2 \cdot 0,15 + 54,1^2 \cdot 0,04}{0,085 + 0,15 + 0,04}} = 25,5 \text{ кВ} \cdot \text{А},$$

$$I_{\text{ЭКВ}} = \frac{25,5}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 38,7 \text{ А},$$

$$F_{\text{ЭК}} = \frac{38,7}{0,7} = 55 \text{ мм}^2.$$

Выбираем провод СИП-2 3×70 + 1×70.

ВЛ-3

$$S_{\text{ЭКВ}} = \sqrt{\frac{22,6^2 \cdot 0,1 + 43,5^2 \cdot 0,05 + 45,4^2 \cdot 0,2}{0,1 + 0,05 + 0,2}} = 39,9 \text{ кВ} \cdot \text{А},$$

$$I_{\text{ЭКВ}} = \frac{39,9}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 60,7 \text{ А},$$

$$F_{\text{ЭК}} = \frac{60,7}{0,7} = 86 \text{ мм}^2.$$

Выбираем провод СИП-2 3×95 + 1×70.

Потеря напряжения в линии 0,38 кВ определяется по формуле:

$$\Delta U = \frac{\sum_{i=1}^n P_i \cdot l_i}{U_{\text{н}}} \cdot r_0 + \frac{\sum_{i=1}^n Q_i \cdot l_i}{U_{\text{н}}} \cdot x_0, \text{ В}, \quad (2.6)$$

где $\sum_{i=1}^n P_i \cdot l_i = M_{\text{а}}$ – суммарный момент активной нагрузки, кВт·км;

$\sum_{i=1}^n Q_i \cdot l_i = M_{\text{р}}$ – суммарный момент реактивной нагрузки, квар·км;

P_i – активная мощность i-го участка, кВт;

Q_i – реактивная мощность i-го участка, квар;

l_i – длина i -го участка, км;
 n – число участков;
 r_0, x_0 – погонные активное и индуктивное сопротивления, Ом/км
 (прил. 14);
 U_n – номинальное напряжение сети, В.

Должно соблюдаться условие:

$$\Delta U \leq \Delta U_{\text{доп.0,38}} \quad (2.7)$$

$\Delta U_{\text{доп.0,38}} = 4,5\%$ (табл. 2.1), или, в именованных единицах:

$$\Delta U_{\text{доп}} = \frac{\Delta U_{\text{доп.0,38}}}{100} \cdot U_n, \text{ В}, \quad (2.8)$$

$$\Delta U_{\text{доп}} = \frac{4,5}{100} \cdot 380 = 17,1 \text{ В}.$$

ВЛ-1

$$M_a = 19,2 \cdot 0,18 + 25,4 \cdot 0,12 + 27,8 \cdot 0,08 = 8,72 \text{ кВт} \cdot \text{км},$$

$$M_p = 7,5 \cdot 0,18 + 10,1 \cdot 0,12 + 13,7 \cdot 0,08 = 3,65 \text{ квар} \cdot \text{км}.$$

Для провода СИП-2 3×70+1×70 $r_0 = 0,632$ Ом/км,
 $x_0 = 0,0785$ Ом/км.

$$\Delta U_{0,38} = \frac{0,632}{0,38} \cdot 8,72 + \frac{0,0785}{0,38} \cdot 3,65 = 15,2 \text{ В} < \Delta U_{\text{доп}},$$

потери меньше допустимых.

ВЛ-2

$$M_a = 25 \cdot 0,085 + 37,5 \cdot 0,15 + 46 \cdot 0,04 = 9,59 \text{ кВт} \cdot \text{км},$$

$$M_p = 25,5 \cdot 0,085 + 38,1 \cdot 0,15 + 28,5 \cdot 0,04 = 9,02 \text{ квар} \cdot \text{км}.$$

Для провода СИП-2 3×70+1×70:

$$\Delta U_{0,38} = \frac{0,632}{0,38} \cdot 9,59 + \frac{0,0785}{0,38} \cdot 9,02 = 17,8 \text{ В} \sim \Delta U_{\text{доп}}.$$

ВЛ-3

$$M_a = 17 \cdot 0,1 + 30,5 \cdot 0,05 + 34,1 \cdot 0,2 = 10,04 \text{ кВт} \cdot \text{км},$$

$$M_p = 14,9 \cdot 0,1 + 31,1 \cdot 0,05 + 29,9 \cdot 0,2 = 9,02 \text{ квар} \cdot \text{км}.$$

Для провода СИП-2 3×95+1×70 $r_0 = 0,466 \text{ Ом/км}$,
 $x_0 = 0,0758 \text{ Ом/км}$.

$$\Delta U_{0,38} = \frac{0,466}{0,38} \cdot 10,04 + \frac{0,0758}{0,38} \cdot 9,02 = 13,1 \text{ В} < \Delta U_{\text{доп}}.$$

Выбранные сечения проводов необходимо указать на плане населенного пункта (прил. 23).

2.3 Расчет линии 10 кВ

Согласно таблице 2.1 допустимая потеря напряжения ВЛ 10 кВ $\Delta U_{\text{дон } 10} = 4\%$, или:

$$\Delta U_{\text{доп}} = \frac{\Delta U_{\text{доп } 10}}{100} \cdot U_n, \text{ В}, \quad (2.9)$$

$$\Delta U_{\text{доп}} = \frac{4}{100} \cdot 10 \cdot 10^3 = 400 \text{ В}.$$

Для расчета используем данные таблицы 1.4, вечерний максимум.

$$M_a = 88,1 \cdot 12 = 1057 \text{ кВт} \cdot \text{км},$$

$$M_p = 59,2 \cdot 12 = 710 \text{ квар} \cdot \text{км}.$$

Определим потерю напряжения в магистрали при допустимых сечениях провода по выражению (2.6).

Минимально допустимое для отпайки ВЛ 10 кВ сечение провода – АС-35.

Для провода АС-35 $r_0 = 0,85 \text{ Ом/км}$, $x_0 = 0,366 \text{ Ом/км}$ (прил. 12).

$$\Delta U_{10} = \frac{0,85}{10} \cdot 1057 + \frac{0,366}{10} \cdot 710 = 116 \text{ В} < \Delta U_{\text{дон}} = 400 \text{ В}.$$

2.4 Проверка ВЛ 0,38 кВ по условию пуска электродвигателя

Проверку линии по условию пуска электродвигателя (на глубину провала напряжения при пуске) производят по наиболее мощному двигателю электрифицируемого производственного объекта.

При пуске данного двигателя напряжение на его зажимах не должно снизиться более чем на 30% от номинального напряжения линии, в то время как напряжение на остальных электроприемниках не должно уменьшиться более чем на 20% от номинального напряжения линии.

Согласно исходным данным, электродвигатель мощностью 15 кВт установлен на объекте №9.

Потеря напряжения при пуске электродвигателя:

$$\Delta U_{\text{д}} = \frac{Z_{\text{с}}}{Z_{\text{с}} + Z_{\text{дв}}} \cdot 100, \% \quad (2.10)$$

где $Z_{\text{с}}$ – полное сопротивление сети, Ом, $Z_{\text{с}} = Z_{\text{т}} + Z_{\text{л}}$;

$Z_{\text{т}}$ и $Z_{\text{л}}$ – соответственно, полное сопротивление трансформатора и линии, питающей двигатель, Ом;

$Z_{\text{дв}}$ – полное сопротивление электродвигателя при пуске, Ом.

Сопротивление трансформатора:

$$Z_{\text{т}} = \frac{u_{\text{к}}}{100} \cdot \frac{1000 \cdot U_{\text{н}}^2}{S_{\text{н}}}, \text{ Ом}, \quad (2.11)$$

где $u_{\text{к}}$ – напряжение короткого замыкания трансформатора, %;

$U_{\text{н}}$, кВ и $S_{\text{н}}$, кВ·А – соответственно, номинальные напряжение и мощность трансформатора.

На ТП-1 установлен трансформатор мощностью $S_{\text{н}}=160$ кВ·А, напряжение короткого замыкания $u_{\text{к}}=4,5\%$ (табл. 1.6).

$$Z_{\text{т}} = \frac{4,5}{100} \cdot \frac{1000 \cdot 0,4^2}{160} = 0,045 \text{ Ом}.$$

Сопротивление ВЛ 0,38 кВ:

$$Z_{\text{л}} = z_0 \cdot l, \text{ Ом}, \quad (2.12)$$

где z_0 – погонное сопротивление провода линии, Ом/км, $z_0 = \sqrt{r_0^2 + x_0^2}$;
 l – длина ВЛ до объекта, где установлен электродвигатель, км.

Наиболее мощный двигатель установлен на объекте №9 (участок 9-10 ВЛ-3, который выполнен проводом СИП-2 3×95+1×70 длиной 350 м (0,35 км)), поэтому:

Для провода СИП-2 3×95+1×70 $r_0 = 0,466$ Ом/км,
 $x_0 = 0,0758$ Ом/км.

$$z_0 = \sqrt{0,466^2 + 0,0758^2} = 0,472 \frac{\text{Ом}}{\text{км}},$$

$$Z_{\text{л}} = 0,472 \cdot 0,35 = 0,1652 \text{ Ом}.$$

Сопротивление электродвигателя при пуске:

$$Z_{\text{дв}} = \frac{1000 \cdot U_{\text{н}}^2}{S_{\text{д.п}}}, \text{ Ом}, \quad (2.13)$$

где $S_{\text{д.п}}$ – мощность двигателя при пуске, кВт·А.

$$S_{\text{д.п}} = \frac{P_{\text{дв.н}}}{\eta \cdot \cos\varphi} \cdot K_{\text{п}}, \text{ кВт} \cdot \text{А}, \quad (2.14)$$

где $P_{\text{дв.н}}$ – номинальная мощность двигателя, кВт;

η – к.п.д. двигателя, отн. ед.;

$\cos\varphi$ – коэффициент мощности двигателя;

$K_{\text{п}}$ – кратность пускового тока.

Для двигателя 4А160S4 (прил. 15): $P_{\text{дв.н}} = 15$ кВт, $\eta = 0,89$,
 $\cos\varphi = 0,88$. Кратность пускового тока принимаем $K_{\text{п}} = 6,5$.

$$Z_{\text{дв}} = \frac{1000 \cdot 0,38^2 \cdot 0,89 \cdot 0,88}{15 \cdot 6,5} = 1,16 \text{ Ом},$$

$$\Delta U_{\text{д}} = \frac{0,045 + 0,1652}{0,045 + 0,1652 + 1,16} \cdot 100 = 15,3 \%,$$

что не выходит за пределы допустимой величины (30%).

3 РАСЧЕТ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЧАСТИ ТРАНСФОРМАТОРНОЙ ПОДСТАНЦИИ 10/0,4 кВ

3.1 Расчет токов короткого замыкания

Токи короткого замыкания (КЗ) рассчитываются с целью проверки выбранных элементов электроустановок на динамическую и термическую стойкость, для настройки и проверки защиты от КЗ, ограничения токов КЗ и термической стойкости элементов заземляющих устройств на подстанциях. Для расчета составляют расчетную схему замещения с обозначением элементов сети, по которому он протекает, от точки, где напряжение считается неизменным, до вводов к потребителям. В схемах замещения на 0,4 кВ учитывают продольные сопротивления линий и трансформатора. В качестве расчетных точек КЗ принимают шины 10 и 0,4 кВ подстанций (точки K_B и K_H) и места ввода к потребителям в конце ВЛ 0,38 кВ (точки K_1 , K_2 , K_3). Расчетная схема ТП представлена на рисунке 3.1. Схема замещения сети КЗ представлена на рисунке 3.2. Все сопротивления приведены к низкому напряжению 0,4 кВ.

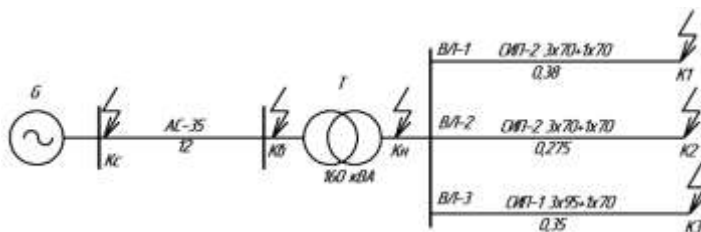


Рис. 3.1. Расчетная схема ТП 10/0,4 кВ и сети 0,38 кВ
для расчета токов КЗ

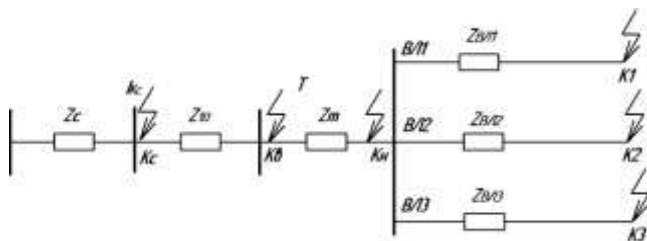


Рис. 3.2. Схема замещения сети для расчета токов КЗ

Сопротивление системы Z_c отражает сопротивление трансформатора 35/10 кВ и других элементов сети высокого напряжения энергосистемы. При его расчете вместо действующего напряжения ступени используют ближайшее напряжение из следующего ряда (действующее значение напряжения, умноженное на 1,05), U_{cp} : 770; 515; 340; 230; 115; 37; 24; 10,5; 6,3; 3,15 кВ.

Сопротивление системы определяется по формуле:

$$Z_c = \frac{U_{cp}}{\sqrt{3} \cdot I_{Kc}}, \text{ Ом.} \quad (3.1)$$

Согласно исходным данным, ток трехфазного КЗ на шинах ТП 35/10 кВ в точке K_c имеет значение $I_{Kc} = 1,5$ кА.

Ближайшее к 10 кВ напряжение из стандартного ряда 10,5 кВ.

$$Z_c = \frac{10,5}{\sqrt{3} \cdot 1,5} = 4,05 \text{ Ом.}$$

Сопротивление системы, приведенное к напряжению 0,4 кВ:

$$Z = Z_c \cdot k_T^2, \text{ Ом,} \quad (3.2)$$

где k_T – коэффициент трансформации ($k_T = 0,4/10$).

$$Z_c^{0,4} = 4,05 \cdot \frac{0,4^2}{10^2} = 0,006 \text{ Ом.}$$

ВЛ 10 кВ выполнена проводом АС-35, длина линии $l_{10}=12$ км. $r_0=0,85$ Ом/км, $x_0=0,366$ Ом/км.

Сопротивления линии составляют:

$$R_{10} = r_0 \cdot l_{10}, \quad X_{10} = x_0 \cdot l_{10}, \quad Z_{10} = \sqrt{R_{10}^2 + X_{10}^2},$$

$$R_{10} = 12 \cdot 0,85 = 10,2 \text{ Ом,}$$

$$X_{10} = 12 \cdot 0,366 = 4,39 \text{ Ом,}$$

$$Z_{10} = \sqrt{10,2^2 + 4,39^2} = 11,105 \text{ Ом.}$$

Соппротивление ВЛ 10 кВ, приведенное к напряжению 0,4 кВ:

$$Z_{10}^{0,4} = 11,105 \cdot \frac{0,4^2}{10^2} = 0,0177 \text{ Ом.}$$

ВЛ-1: выбран провод СИП-2 3×70+1×70, длина всей линии $l_1=0,38$ км.

$$R_l = r_0 \cdot l_1, X_l = x_0 \cdot l_1, Z_1 = \sqrt{R_l^2 + X_l^2},$$

$$R_l = 0,632 \cdot 0,38 = 0,2401 \text{ Ом,}$$

$$X_l = 0,0785 \cdot 0,38 = 0,0298 \text{ Ом,}$$

$$Z_1 = \sqrt{0,2401^2 + 0,0298^2} = 0,2420 \text{ Ом.}$$

ВЛ-2: выбран провод СИП-2 3×70+1×70, длина линии $l_2=0,275$ км.

$$R_2 = 0,632 \cdot 0,275 = 0,1738 \text{ Ом,}$$

$$X_2 = 0,0785 \cdot 0,275 = 0,0215 \text{ Ом,}$$

$$Z_2 = \sqrt{0,1738^2 + 0,0215^2} = 0,1751 \text{ Ом.}$$

ВЛ-3: выбран провод СИП-2 3×95+1×70, длина линии $l_3=0,35$ км.

$$R_3 = 0,466 \cdot 0,35 = 0,1631 \text{ Ом,}$$

$$X_3 = 0,0758 \cdot 0,35 = 0,0265 \text{ Ом,}$$

$$Z_3 = \sqrt{0,1631^2 + 0,0265^2} = 0,1652 \text{ Ом.}$$

Для ТП ток трехфазного короткого замыкания (КЗ) в точке К_в:

$$I_{Кв} = \frac{U_H}{\sqrt{3} \cdot (Z_C^{0,4} + Z_{10}^{0,4})}, \text{ кА,} \quad (3.3)$$

$$I_{KB} = \frac{0,4}{1,73 \cdot (0,006 + 0,0177)} = 9,755 \text{ кА.}$$

Ток трехфазного КЗ в точке К_в, приведенный к напряжению 10 кВ:

$$I_{KB}^{10} = 9,755 \cdot \frac{0,4}{10} = 0,390 \text{ кА.}$$

Ток трехфазного КЗ в точке К_н:

$$I_{KH} = \frac{U_H}{\sqrt{3} \cdot (Z_C^{0,4} + Z_{10}^{0,4} + Z_T)}, \text{ кА.} \quad (3.4)$$

$$I_{KH} = \frac{0,4}{1,73 \cdot (0,006 + 0,0177 + 0,045)} = 3,365 \text{ кА.}$$

Ток трехфазного КЗ в точке К₁ ВЛ-1:

$$I_{K1}^{(3)} = \frac{U_H}{\sqrt{3} \cdot (Z_C^{0,4} + Z_{10}^{0,4} + Z_T + Z_1)}, \text{ кА.} \quad (3.5)$$

$$I_{K1}^{(3)} = \frac{0,4}{1,73 \cdot (0,006 + 0,0177 + 0,045 + 0,2420)} = 0,744 \text{ кА.}$$

Ток двухфазного КЗ в точке К₁ ВЛ-1:

$$I_{K1}^{(2)} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot I_{K1}^{(3)}, \text{ кА.} \quad (3.6)$$

$$I_{K1}^{(2)} = 0,87 \cdot 0,744 = 0,647 \text{ кА.}$$

Ток однофазного КЗ в точке К₁ ВЛ-1:

$$I_{K1}^{(1)} = \frac{U_\phi}{Z_\pi + \frac{Z_{T0}}{3}}, \text{ кА,} \quad (3.7)$$

где $U_{\phi} = 220$ В – фазное напряжение;

Z_{T0} – полное сопротивление трансформатора при однофазном КЗ на стороне 0,4 кВ (прил. 18);

Z_{Π} – сопротивление петли «фаза – ноль».

$$Z_{\Pi} = \sqrt{[(r_{оф} + r_{оп}) \cdot l_1]^2 + [(x_{оф} + x_{оп}) \cdot l_1]^2}, \quad (3.8)$$

где $r_{оф}$ – активное сопротивление фазы, Ом;

$r_{оп}$ – активное сопротивление нулевого провода (прил. 14), Ом;

$x_{оф}$ – индуктивное сопротивление фазы, Ом;

$x_{оп}$ – индуктивное сопротивление нулевого провода (прил. 14), Ом.

Если сечения фазного и нулевого провода одинаковы, то $Z_{\Pi} = 2 \cdot Z_1$.

$$Z_{\Pi} = 2 \cdot 0,242 = 0,484 \text{ Ом},$$

$$I_{K1}^{(1)} = \frac{220}{0,484 + \frac{0,7}{3}} = 306 \text{ А}.$$

Ток трехфазного КЗ в точке K_2 ВЛ-2:

$$I_{K2}^{(3)} = \frac{U_H}{\sqrt{3} \cdot (Z_C^{0,4} + Z_{10}^{0,4} + Z_T + Z_2)}, \text{ кА}. \quad (3.9)$$

$$I_{K2}^{(3)} = \frac{0,4}{1,73 \cdot (0,006 + 0,0177 + 0,045 + 0,1751)} = 0,948 \text{ кА}.$$

Ток двухфазного КЗ в точке K_2 ВЛ-2:

$$I_{K2}^{(2)} = 0,87 \cdot 0,948 = 0,825 \text{ кА}.$$

Ток однофазного КЗ в точке K_2 ВЛ-2:

$$Z_{\Pi} = 2 \cdot Z_2 = 2 \cdot 0,1751 = 0,3502 \text{ Ом},$$

$$I_{K2}^{(1)} = \frac{220}{0,3502 + \frac{0,7}{3}} = 377 \text{ А.}$$

Ток трехфазного КЗ в точке К₃ ВЛ-3:

$$I_{K3}^{(3)} = \frac{U_H}{\sqrt{3} \cdot (Z_C^{0,4} + Z_{10}^{0,4} + Z_T + Z_3)}, \text{ кА,} \quad (3.10)$$

$$I_{K3}^{(3)} = \frac{0,4}{1,73 \cdot (0,006 + 0,0177 + 0,045 + 0,1652)} = 0,988 \text{ кА.}$$

Ток двухфазного КЗ в точке К₃ ВЛ-3:

$$I_{K3}^{(2)} = 0,87 \cdot 0,988 = 0,860 \text{ кА.}$$

Ток однофазного КЗ в точке К₃ ВЛ-3:

$$Z_{\Pi} = \sqrt{[(0,466 + 0,632) \cdot 0,35]^2 + [(0,0758 + 0,0669) \cdot 0,35]^2} = 0,387 \text{ Ом,}$$

$$I_{K3}^{(1)} = \frac{220}{0,387 + \frac{0,7}{3}} = 354 \text{ А.}$$

Результаты расчета токов КЗ представим в таблице 3.1.

Таблица 3.1

Расчетные токи короткого замыкания в сети ТП

Точка КЗ	Место КЗ	Расчетные токи КЗ, А		
		$I_K^{(3)}$	$I_K^{(2)}$	$I_K^{(1)}$
КВ	на ТП 10/0,4 кВ	390	-	-
КН		3365	-	-
К ₁	в линиях	744	647	306
К ₂		948	825	377
К ₃		988	860	354

3.2 Выбор электрических аппаратов ТП 10/0,4 кВ

В качестве потребителей выбирают, как правило, комплектные трансформаторные подстанции (КТП 10/0,4 кВ), т.е. поставляемые в собранном или полностью подготовленном для сборки виде.

Принципиальная однолинейная схема КТП приведена на рисунке 3.3.

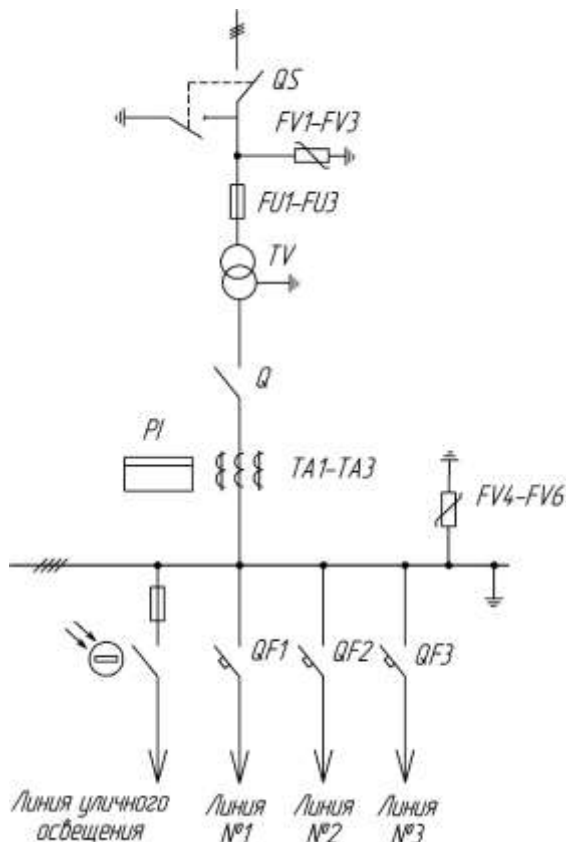


Рис. 3.3. Принципиальная однолинейная схема КТП 10/0,4 кВ:

QS – разьединитель; FV1-FV3 – ограничитель перенапряжения 10 кВ;
FU1-FU3 – предохранитель 10 кВ; TV – силовой трансформатор; Q – рубильник;
PI – счетчик электроэнергии; FV4-FV6 – ограничитель перенапряжения 0,4 кВ;
QF – автоматические выключатели

Электрическую аппаратуру выбирают по условиям:

- по конструкции и роду установки;
- по номинальному току и номинальному напряжению:

$$I_n \geq I_{\max p}, \quad (3.11)$$

$$U_n \geq U_p, \quad (3.12)$$

а затем проверяют по отключающей способности, режиму короткого замыкания, на термическую электродинамическую стойкость.

Для дальнейших расчетов определим максимальные рабочие токи на стороне высокого напряжения (ВН), низкого напряжения (НН) КТП 10/0,4 кВ и отходящих линиях:

$$I_{\max p} = \frac{S_{\max}}{\sqrt{3} \cdot U_H}, \text{ A.} \quad (3.13)$$

На стороне ВН:

$$I_{\max p}^{(\text{ВН})} = \frac{106,2}{\sqrt{3} \cdot 10} = 6,1 \text{ A.}$$

На стороне НН:

$$I_{\max p}^{(\text{НН})} = \frac{106,2}{\sqrt{3} \cdot 0,4} = 153,4 \text{ A.}$$

На ВЛ-1:

$$I_{\max p} = \frac{30,8}{1,73 \cdot 0,38} = 46,8 \text{ A.}$$

На ВЛ-2:

$$I_{\max p} = \frac{54,1}{1,73 \cdot 0,38} = 82,3 \text{ A.}$$

На ВЛ-3:

$$I_{\max p} = \frac{45,4}{1,73 \cdot 0,38} = 69,0 \text{ A.}$$

Таблица 3.2

Расчетные данные элементов сети

№ п/п	Элемент сети	U_H , кВ	S_{max} , кВА	I_{max} , А
1	Шины ВН ТП 10/0,4 кВ	10	106,2	6,1
2	Шины НН ТП 10/0,4 кВ	0,4	106,2	153,4
3	ВЛ-1	0,38	30,8	46,8
4	ВЛ-2	0,38	54,1	82,3
5	ВЛ-3	0,38	45,4	69,0

Разъединитель

Разъединитель устанавливается на отдельной опоре, служит для создания видимого разрыва цепи при выключенной нагрузке.

Выбираем разъединитель РЛНД1-10Б200У с паспортными данными (прил. 16):

- $U_H = 10$ кВ;
- $I_H = 200$ А;
- предельный сквозной ток $i_{max} = 20$ кА;
- ток термической стойкости $I_{m.c} = 5$ кА при времени $t_{m.c} = 3$ с.

Условия выбора выполняются:

$$200 > 6,1 \text{ А,}$$

$$10 \text{ кВ} = 10 \text{ кВ.}$$

Предохранители

Силовые трансформаторы защищают от многофазных коротких замыканий в обмотках и на выводах, а также от токов, обусловленных внешними КЗ. Как правило, при мощности трансформаторов с $S_H \leq 1000$ кВА для защиты применяют предохранители типа ПК. Рекомендуемые токи плавких вставок предохранителей ПК приведены в приложении 19.

Плавкая вставка предохранителя выбирается по условию:

$$I_{ПВ} \geq (2 \dots 3) \cdot I_{H.тр}, \quad (3.15)$$

где $I_{H.тр}$ – номинальный ток трансформатора, А.

Для трансформатора с $S_H = 160$ кВ·А:

$$I_{H.тр} = \frac{160}{\sqrt{3} \cdot 10} = 9,2 \text{ А,}$$

$$I_{ПВ} \geq 2 \cdot 9,2 = 18,4 \text{ А.}$$

Выбираем предохранители типа ПК-10 с током плавкой вставки 20 А, т.к.:

$$20 > 18,4.$$

Ограничители перенапряжения

В качестве устройств для защиты от перенапряжения применяют разрядники РВО-10 или ограничители перенапряжения нелинейные (ОПН) (прил. 22).

Выбираем ограничители перенапряжения, на стороне 10 кВ: ОПНп-10/400-III-УХЛ1-2-1:

- $U_n = 10 \text{ кВ}$;
- номинальный разрядный ток 400 А;
- пропускная способность 10000 А.

На стороне 0,4 кВ: ОПН-П-0,38УХЛ1:

- $U_n = 0,38 \text{ кВ}$;
- номинальный разрядный ток – 2,5 А;
- пропускная способность – 125 А.

Рубильник

Для установки на стороне 0,38 кВ ТП принимаем рубильник РБ-32 (прил. 17).

Номинальные данные рубильника: $U_n = 380 \text{ В}$; $I_n = 250 \text{ А}$.

Условия выбора выполняются:

$$0,38 \text{ кВ} = 0,38 \text{ кВ},$$

$$250 \text{ А} > 153,4 \text{ А}.$$

Трансформаторы тока

Для включения счетчика активной энергии на стороне 0,38 кВ принимаем три однофазных трансформатора тока ТК-120 (прил. 21).

- $U_n = 0,66 \text{ кВ}$;
- первичный ток $I_{n1} = 400 \text{ А}$;
- вторичный ток $I_{n2} = 5 \text{ А}$.

$$0,66 \text{ кВ} > 0,38 \text{ кВ.},$$

$$400 \text{ А} > 153,4 \text{ А}.$$

Автоматические выключатели

Для защиты ВЛ 0,38 кВ применяют автоматические выключатели типа ВА51, АЕ20, А37, имеющие тепловой и электромагнитный расцепители (прил. 20).

Ток теплового расцепителя автоматического выключателя выбирается из условия:

$$I_T \geq I_{max p}. \quad (3.16)$$

Коэффициент чувствительности для проверки теплового расцепителя должен удовлетворять условию:

$$k_{\text{ч}}^T = \frac{I_{\text{к}}^{(1)}}{I_T} \geq 3,$$

где $I_{\text{к}}^{(1)}$ – минимальный ток короткого замыкания (однофазного) в удаленной точке ВЛ, А.

Ток электромагнитного расцепителя автоматического выключателя выбирается из условия:

- для линий без двигательной нагрузки

$$I_{\text{э}} \geq 1,5 \cdot I_{max p}, \text{ А}, \quad (3.17)$$

- для линий с двигательной нагрузкой

$$I_{\text{э}} \geq 2,1 \cdot (I_{max p} + I_{max \text{ п}}), \text{ А}, \quad (3.18)$$

где $I_{max p}$ – максимальный рабочий ток других потребителей, А;

$I_{max \text{ п}}$ – пусковой ток наиболее мощного электродвигателя, А.

$$I_{max \text{ п}} = k_{\text{п}} \cdot I_{\text{н.э.дв}}, \text{ А}, \quad (3.19)$$

где $k_{\text{п}}$ – кратность пускового тока. $k_{\text{п}} = 6,5$.

$I_{\text{н.э.дв}}$ – номинальный ток электродвигателя, А.

$$I_{\text{н.э.дв}} = \frac{P_{\text{н}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{н}} \cdot \cos \varphi \cdot \eta}. \quad (3.20)$$

Ток электромагнитного расцепителя кратен номинальному току теплового расцепителя: $3 \cdot I_T$; $7 \cdot I_T$; $10 \cdot I_T$ и т.д. (прил. 20).

Коэффициент чувствительности для проверки электромагнитного расцепителя:

$$k_{\text{ч}}^{\exists} = \frac{I_{\text{к}}^{(2)}}{I_{\exists}} \geq 1,2, \quad (3.21)$$

где $I_{\text{к}}^{(2)}$ – ток двухфазного короткого замыкания линии.

ВЛ-1

$$I_{\text{max } p} = 46,8 \text{ A}, \quad I_{\text{к}}^{(1)} = 306 \text{ A}, \quad I_{\text{к}}^{(2)} = 647 \text{ A},$$

$$I_{\text{T}} \geq 46,8 \text{ A},$$

$$I_{\exists} \geq 1,5 \cdot 46,8 = 70,2 \text{ A}.$$

Выбираем автоматический выключатель ВА51-29 с номинальным током $I_{\text{H}} = 63 \text{ A}$ и $I_{\text{T}} = 63 \text{ A}$. Уставку тока электромагнитного расцепителя принимаем $I_{\exists} = 3 \cdot I_{\text{T}} = 3 \cdot 63 = 189 \text{ A}$.

$$k_{\text{ч}}^{\text{T}} = \frac{306}{63} = 4,8 > 3,$$

$$k_{\text{ч}}^{\exists} = \frac{647}{189} = 3,4 > 1,2.$$

ВЛ-2

$$I_{\text{max } p} = 82,3 \text{ A}, \quad I_{\text{к}}^{(1)} = 377 \text{ A}, \quad I_{\text{к}}^{(2)} = 825 \text{ A},$$

$$I_{\text{T}} \geq 82,3 \text{ A},$$

$$I_{\exists} \geq 1,5 \cdot 82,3 = 123 \text{ A}.$$

Выбираем автоматический выключатель ВА51-31 с $I_{\text{H}} = 100 \text{ A}$ и $I_{\text{T}} = 100 \text{ A}$, $I_{\exists} = 3 \cdot I_{\text{T}} = 3 \cdot 100 = 300 \text{ A}$.

$$k_{\text{ч}}^{\text{T}} = \frac{377}{100} = 3,77 > 3,$$

$$k_{\text{ч}}^{\exists} = \frac{825}{300} = 2,75 > 1,2.$$

ВЛ-3

$$I_{max p} = 69 \text{ A}, I_{\kappa}^{(1)}=354\text{A}, I_{\kappa}^{(2)}=860 \text{ A},$$

$$I_T \geq 69 \text{ A}.$$

Для ВЛ-3 наиболее мощным является электродвигатель с $P_H=15$ кВт. Его номинальный ток:

$$I_{\text{н.э.дв}} = \frac{15}{1,73 \cdot 0,38 \cdot 0,88 \cdot 0,89} = 29,1 \text{ A}.$$

Для остальных потребителей:

$$I'_{max p} = I_{max p} - I_{\text{н.э.дв}},$$

$$I'_{max p} = 69 - 29,1 = 39,9 \text{ A}.$$

Расчетный ток электромагнитного расцепителя:

$$I_{\text{э}} \geq 2,1 \cdot (39,9 + 6,5 \cdot 29,1) = 481 \text{ A}.$$

Выбираем автоматический выключатель ВА51-31с $I_H=100$ А, $I_T = 80$ А, $I_{\text{э}} = 7 \cdot I_T = 7 \cdot 80 = 560$ А.

$$k_{\text{ч}}^T = \frac{354}{80} = 4,4 > 3,$$

$$k_{\text{ч}}^{\text{э}} = \frac{860}{560} = 1,5 > 1,2.$$

Если при выборе автоматических выключателей не выполняются условия проверки на чувствительность к токам КЗ, то предусматривают установку дополнительной более совершенной защиты (например, дополнительных приставок типа ЗТИ-0,4). Для этого автоматический выключатель должен иметь помимо теплового и электромагнитного независимый расцепитель. ЗТИ-0,4 устанавливается на отходящей линии после автомата. Также можно рассмотреть вариант увеличения сечения выбранного провода.

ВЫВОДЫ И ПРЕДЛОЖЕНИЯ

Согласно выполненным расчетам, максимальная расчетная нагрузка потребителей с. Ивановка составляет 114,7 кВ·А. С учетом перспективы роста нагрузок выбран трансформатор ТМ мощностью 160 кВ·А. Отходящие от ТП воздушные линии выполнены самонесущими изолированными проводами: ВЛ-1 и ВЛ-2 – проводом СИП-2 3×70+1×70, ВЛ-3 – СИП-2 3×95+1×70. Выбрана аппаратура управления и защиты ТП 10/0,4 кВ.

Рекомендуемая литература

1. Будзко, И. А. Электроснабжение сельского хозяйства / И. А. Будзко, Т. Б. Лещинская, В. И. Сукманов. – М. : Колос, 2000. – 536 с.
2. Коробов, Г. В. Электроснабжение. Курсовое проектирование : учебное пособие / под общ. ред. Г. В. Коробова. – СПб. : Лань, 2011. – 192 с.
3. Лещинская, Т. Б. Электроснабжение населенного пункта : методические рекомендации по курсовому и дипломному проектированию. – М. : ФГОУ ВПО МГАУ, 2010. – 148 с.
4. Юндин, М. А. Курсовое и дипломное проектирование по электроснабжению сельского хозяйства : учебное пособие / М. А. Юндин, А. М. Королев. – СПб. : Лань, 2011. – 320 с.

Пример оформления титульного листа

**Министерство сельского хозяйства Российской Федерации
федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего профессионального образования
«Самарская государственная сельскохозяйственная академия»**

Кафедра «Электрификация и автоматизация АПК»

КУРСОВОЙ ПРОЕКТ

по дисциплине Электроснабжение

Тема: Электроснабжение сельского населенного пункта
(с. Ивановка)

Выполнил:

Студент __ курса

Группы __

Направления подготовки _____

Личный номер _____
(номер зачётной книжки)

(фамилия, имя, отчество студента полностью)

К защите допущен: _____ / _____ /
(подпись) (инициалы, фамилия)

Оценка _____ / _____
(цифрой и прописью) _____ / _____
_____ / _____
(подписи членов комиссии) (расшифровка подписи)

Самара 20__

Пример оформления задания

**Министерство сельского хозяйства Российской Федерации
федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего профессионального образования
«Самарская государственная сельскохозяйственная академия»**

Кафедра Электрификация и автоматизация АПК

**ЗАДАНИЕ
на курсовой проект по дисциплине**

Студенту _____
(Фамилия, Имя, Отчество, полностью)

Тема проекта _____

Исходные данные на курсовой проект

Задание выдано « ____ » _____ 20 ____ г.

Руководитель _____
(подпись) (расшифровка подписи)

Пример оформления реферата

РЕФЕРАТ

Проект представлен пояснительной запиской и графической частью на одном листе формата А1. Пояснительная записка содержит 40 страниц машинописного текста, включает 9 таблиц, 5 рисунков, 4 наименования использованных источников.

Ключевые слова: ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЕ, ТРАНСФОРМАТОРНАЯ ПОДСТАНЦИЯ, ПОТРЕБИТЕЛЬ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ, ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ АППАРАТУРА.

Сокращения, используемые в тексте:

ТП – трансформаторная подстанция;

КТП – комплектная трансформаторная подстанция;

ВЛ – воздушная линия;

КЗ – короткое замыкание.

В курсовом проекте определены расчетные нагрузки потребителей сельского населенного пункта (с. Ивановка), выбрана номинальная мощность трансформатора потребительской подстанции (ТП 10/0,4 кВ), количество отходящих от них линий, намечены их трассы и выполнены электрические расчеты линий. Выбрана защитная аппаратура ТП.

Пример оформления оглавления

ОГЛАВЛЕНИЕ

	стр.
Введение.....	3
Оглавление.....	4
Реферат.....	5
1 Расчет электрических нагрузок.....	6
1.1 Расчет нагрузок производственных потребителей и жилых домов.....	6
1.2 Выбор количества и мест установки ТП 10/0,4 кВ.....	
.....	
2 Расчет электрических сетей	
2.1 Расчет допустимых потерь напряжения	
.....	
Выводы и предложения.....	
Список используемой литературы.....	
Приложения.....	

Приложение 5

Электрические нагрузки сельскохозяйственных потребителей

№	Объект	Дневной максимум $P_{д.мах}$, кВт	Вечерний максимум $P_{в.мах}$, кВт
1	2	3	4
Животноводство и птицеводство			
1	Коровник на 100 голов	10	10
2	Коровник на 200 голов	17	17
3	Коровник на 400 голов	45	45
4	Комплекс по производству молока на 200 коров	34	25
5	Летний лагерь КРС на 200 коров	13	14
6	Летний лагерь КРС на 400 коров	18	19
7	Телятник с родильным отделением на 120 телят	5	8
8	Телятник с родильным отделением на 230 телят	6	10
9	Помещение для ремонтного и откормочного молодняка на 170-180 голов	4	7
10	Помещение для ремонтного и откормочного молодняка на 240-260 голов	5	8
11	Кормоцех фермы КРС на 800-1000 голов	50	50
12	Свинарник-откормочник на 1000-2000 голов	6	9
13	Кормоцех для свинофермы	26	10
14	Кормоцех на 12 тыс. свиней	65	20
15	Овчарня на 800-1000 овцематок	1	5
16	Овчарня на 1 тыс. голов молодняка	2	4
17	Птичник на 6-9 тыс. цыплят	25	25
18	Птичник на 5-6 тыс. кур	20	20
19	Птицеферма на 10 тыс. кур-несушек	55	55
20	Инкубаторий	20	20
21	Кормоцех птицефермы на 25-30 тыс. кур	25	10
22	Конюшня	3	3
Растениеводство			
23	Зерноочистительный агрегат ЗАВ-20	25	26
24	Зерноочистительный агрегат ЗАВ-40	35	36
25	Зернохранилище 500 т	10	5
26	Зернохранилище 1000-2000 т	20	10
27	Семенохранилище на 1000 т	80	80
28	Семенохранилище на 2500 т	95	95
29	Овощехранилище на 500-600 т	20	20
30	Овощехранилище на 1000 т	36	36
31	Холодильник для хранения фруктов на 50 т	8	8
32	Холодильник для хранения фруктов на 250 т	35	35
Подсобное производство			
33	Склад минеральных удобрений	12	4
34	Склад нефтепродуктов емкостью до 300 м ³	5	2

Окончание приложения 5

1	2	3	4
35	Кузница	5	1
36	Плотницкая	10	1
37	Столярный цех	15	1
38	Лесопильный цех с пилорамой ЛРМ-79	16	2
39	Лесопильный цех с пилорамой Р-65	23	2
40	Мельница вальцовая производительностью 6 т/сут.	15	1
41	Мельница вальцовая производительностью 25т/сут.	35	2
42	Маслобойка	10	1
43	Приемный пункт молокозавода мощностью 10 т/смену	45	45
44	Хлебопекарня производительностью 3 т/сут.	5	5
45	Кирпичный завод на 1-1,5 млн. кирпича	20	6
46	Материально-технический склад	3	1
47	Мастерская пункта ТО в бригаде на 10-20 тракторов	15	5
48	Гараж на 10 автомашин	20	10
49	Центральная ремонтная мастерская на 25 тракторов	45	25
50	Котельная с 4 котлами «Универсал-6» для отопления и горячего водоснабжения	28	28
51	Насосные станции для оросительных систем	55	55
Общественные учреждения и коммунально-бытовые потребители			
52	Начальная школа на 40 учащихся	5	2
53	Начальная школа на 80 учащихся	7	2
54	Начальная школа на 160 учащихся	11	4
55	Общеобразовательная школа на 190 учащихся	14	20
56	Общеобразовательная школа на 480-540 учащихся	25	40
57	Детские ясли-сад с электроплитой на 50 мест	18	12
58	Детские ясли-сад с электроплитой на 90 мест	23	14
59	Детские ясли-сад с электроплитой на 140 мест	30	20
60	Административное здание на 15-25 мест	15	8
61	Дом культуры со зрительным залом на 150-200 мест	5	14
62	Клуб со зрительным залом на 150-300 мест	3	10
63	Сельская поликлиника на 150 посещений в смену	15	30
64	Фельдшерско-акушерский пункт	4	4
65	Столовая на 25 мест	5	2
66	Столовая на 35 мест	9	3
67	Столовая на 35-50 мест	9	3
68	Столовая с электроплитой на 35 мест	35	15
69	Столовая с электроплитой на 50 мест	50	20
70	Магазин смешанного ассортимента на 2 рабочих места	2	4
71	Продовольственный магазин на 4 рабочих места	10	10

Приложение 6

Коэффициенты мощности и реактивной мощности сельскохозяйственных потребителей и ТП напряжением 10/0,4 кВ при максимуме нагрузки

Потребитель, трансформаторный пункт	Дневной		Вечерний	
	$\cos \phi$	$\operatorname{tg} \varphi$	$\cos \phi$	$\operatorname{tg} \varphi$
Животноводческие и птицеводческие помещения	0,75	0,88	0,85	0,62
То же, с электронагревом	0,92	0,43	0,96	0,29
Отопление и вентиляция животноводческих помещений	0,99	0,15	0,99	0,15
Кормоцехи	0,75	0,88	0,78	0,80
Зерноочистительные пункты, зернохранилища	0,70	1,02	0,75	0,88
Установки орошения	0,80	0,75	0,80	0,75
Парники и теплицы на электрообогреве	0,92	0,43	0,96	0,29
Мастерские, тракторные станы, гаражи	0,70	1,02	0,75	0,88
Мельницы, маслобойки	0,80	0,75	0,85	0,62
Цехи по переработке сельскохозяйственной продукции	0,75	0,88	0,80	0,75
Общественные учреждения и коммунальные предприятия	0,85	0,62	0,90	0,48
Жилые дома без электроплит (газифицированные)	0,90	0,48	0,93	0,40
Жилые дома с электроплитами и водонагревателями	0,92	0,43	0,96	0,29
Трансформаторные пункты напряжением 0,4 кВ с нагрузкой потребителей:				
производственных	0,70	1,02	0,75	0,88
коммунально-бытовых	0,90	0,48	0,92	0,43
смешанных	0,80	0,75	0,83	0,67

Приложение 7

Нагрузки уличного освещения в сельских населенных пунктах

Характеристика улицы	Рекомендуемые светильники	Удельная мощность, Вт/м
Поселковые улицы с асфальтобетонным покрытием и переходными типами покрытий при ширине проезжей части, м		
5-7	СЗПР-250	4,5...6,5
9-12	РКУ-250	6,0...8,0
5-7	СНО-500	11
9-12	НСУ-200	13
Поселковые дороги и улицы с покрытиями простейшего типа, при ширине проезжей части, м		
5-7	СНО-200, НСУ-200	5,6
9-12	НКУ-200	7,0
Улицы и дороги местного значения, при ширине проезжей части, м		
5-7	СНО-200	3,0
9-12	НКУ-200	4,5

Приложение 8

Коэффициенты одновременности в сетях напряжением 0,38 кВ
в зависимости от числа потребителей для различных объектов

Число потребителей	Газифицированные жилые дома с нагрузкой на вводе		Жилые дома с электроплитами и водонагревателями	Производ- ственные потребители
	До 2 кВт на дом	Свыше 2 кВт на дом		
2	0,76	0,75	0,73	0,85
3	0,66	0,64	0,62	0,80
5	0,55	0,53	0,50	0,75
10	0,44	0,42	0,38	0,65
20	0,37	0,34	0,29	0,55
50	0,30	0,27	0,22	0,47

Приложение 9

Добавки мощностей для суммирования нагрузок в сетях 0,38 кВ

Р, кВт	ΔР, кВт	Р, кВт	ΔР, кВт	Р, кВт	ΔР, кВт	Р, кВт	ΔР, кВт
1	2	1	2	1	2	1	2
0,2	+0,2	12	+7,3	38	+25,0	64	+43,8
0,3	+0,2	13	+7,9	39	+25,8	65	+44,5
0,4	+0,3	14	+8,5	40	+26,5	66	+45,2
0,5	+0,3	15	+9,2	41	+27,2	67	+45,9
0,6	+0,4	16	+9,8	42	+28,0	68	+46,6
0,8	+0,5	17	+10,5	43	+28,8	69	+47,3
1,0	+0,6	18	+11,2	44	+29,5	70	+48,0
1,5	+0,9	19	+11,8	45	+30,2	72	+49,4
2,0	+1,2	20	+12,5	46	+31,0	74	+50,2
2,5	+1,5	21	+13,1	47	+31,8	76	+52,2
3,0	+1,8	22	+13,8	48	+32,5	78	+53,6
3,5	+2,1	23	+14,4	49	+33,2	80	+55,0
4,0	+2,4	24	+15,0	50	+34,0	82	+56,4
4,5	+2,7	25	+15,7	51	+34,7	84	+57,8
5,0	+3,0	26	+16,4	52	+35,4	86	+59,2
5,5	+3,3	27	+17,0	53	+36,1	88	+60,6
6,0	+3,6	28	+17,7	54	+36,8	90	+62,0
6,5	+3,9	29	+18,4	55	+37,5	92	+63,4
7,0	+4,2	30	+19,0	56	+38,2	94	+64,8
7,5	+4,5	31	+19,7	57	+38,9	96	+66,2
8,0	+4,8	32	+20,4	58	+39,6	98	+67,6
8,5	+5,1	33	+21,2	59	+40,3	100	+69,0
9,0	+5,4	34	+22,0	60	41,0	102	+70
9,5	+5,7	35	+22,8	61	+41,7	104	+72
10,0	+6,0	36	+23,5	62	+42,4	106	+73
11	+6,7	37	+24,2	63	+43,1	108	+75

Окончание приложения 9

Р, кВт	ΔР, кВт	Р, кВт	ΔР, кВт	Р, кВт	ΔР, кВт	Р, кВт	ΔР, кВт
1	2	1	2	1	2	1	2
110	+76	154	+111	198	+148	242	+184
112	+78	156	+113	200	+150	244	+185
114	+80	158	+114	201	+152	246	+187
116	+81	160	+116	204	+153	248	+188
118	+82	162	+117	206	+155	250	+190
120	+84	164	+119	208	+156	252	+192
122	+86	166	+120	210	+158	254	+193
124	+87	168	+122	212	+160	256	+195
126	+89	170	+123	214	+161	258	+196
128	+90	172	+124	216	+163	260	+198
130	+92	174	+126	218	+164	262	+100
132	+94	176	+127	220	+166	264	+201
134	+95	178	+129	222	+168	266	+203
136	+97	180	+130	224	+169	268	+204
138	+98	182	+132	226	+171	270	+206
140	+100	184	+134	228	+172	272	+208
142	+102	186	+136	230	+174	274	+209
144	+103	188	+138	232	+176	276	+211
146	+105	190	+140	234	+177	278	+212
148	+106	192	+142	236	+179	280	+214
150	+108	194	+144	238	+180	282	+216
152	+110	196	+146	240	+182	284	+217

Приложение 10

Коэффициенты роста нагрузок ТП 10/0,4 кВ за расчетный период

Вид нагрузки потребителей	Количество лет в расчетном периоде			
	5	7	10	12
Коммунально-бытовая	1,2	1,3	1,8	2,0
Производственная	1,3	1,4	2,1	2,4
Смешанная и несельскохозяйственная	1,3	1,4	2,0	2,2

Приложение 11

Технические данные трансформаторов ТМ и ТМН

Номинальная мощность, кВт·А	Номинальное напряжение, кВ		Напряжение короткого замыкания, %	Ток холостого хода, %	Потери мощности, кВт	
	ВН	НН			холостого хода	короткого замыкания
1	2	3	4	5	6	7
25	6; 10	0,4	4,5/4,7	3,2	0,130	0,6/0,69
40	6; 10	0,4	4,5/4,7	3,0	0,175	0,88/1,0
63	6; 10	0,4	4,5/4,7	2,8	0,240	1,28/1,47

Окончание приложения 11

1	2	3	4	5	6	7
100	6; 10	0,4	4,5/4,7	2,6	0,33	1,9/2,27
160	6; 10	0,4	4,5/4,7	2,4	0,51	2,65/3,1
250	6; 10	0,4	4,5/4,7	2,3	0,74	3,7/4,2
400	6; 10	0,4	4,5/-	2,1	0,95	5,5/-
630	6; 10	0,4	5,5/-	2,0	1,31	7,6/-

Приложение 12

Характеристики проводов воздушных линий (марки А, АС)

Сечение, мм ²	Длительный ток, А	Активное сопротивление, Ом/км	Длительный ток, А	Активное сопротивление, Ом/км
16	105	1,98	105	2,06
25	135	1,28	130	1,38
35	170	0,92	175	0,85
50	215	0,64	210	0,65
70	265	0,46	265	0,46
95	320	0,34	330	0,33
120	375	0,27	380	0,27
150	440	0,21	445	0,21
185	500	0,17	510	0,17

Приложение 13

Индуктивное сопротивление воздушных линий, Ом/км

Сечение, мм ²	Марки А, АС			
	до 1 кВ	6-10 кВ	35 кВ	110 кВ
16	0,358	0,391	0,460	-
25	0,345	0,377	0,446	-
35	0,336	0,366	0,435	0,453
50	0,325	0,355	0,423	0,441
70	0,309	0,341	0,410	0,428
95	0,300	0,332	0,401	0,419
120	0,292	0,324	0,393	0,411
150	-	0,329	0,388	0,406
185	-	0,313	0,382	0,400

**Активное и индуктивное сопротивление
самонесущих изолированных проводов, Ом/км**

Кол-во и сечение проводов фаз, мм ² ; сечение нулевого провода, мм ²	Сопротивление постоянному току, Ом/км				Индуктивное сопротивление, Ом/км		Ток установившегося режима при t=25°С, А
	провод фазы		нулевой провод		провод фазы	нулевой провод	
	при +25°С	при +50°С	при +25°С	при +50°С			
СИП-1							
3×16 + 1×25	2,448	3,138	1,540	1,974	0,0853	0,0634	70
3×25 + 1×35	1,540	1,974	1,111	1,424	0,0816	0,0615	95
3×35 + 1×50	1,111	1,424	0,822	1,054	0,0791	0,0600	115
3×50 + 1×50	0,822	1,054	0,822	1,054	0,0782	0,0604	140
3×50 + 1×70	0,822	1,054	0,568	0,728	0,0790	0,0599	140
3×70 + 1×70	0,568	0,728	0,568	0,728	0,0774	0,0600	180
3×70 + 1×95	0,568	0,728	0,411	0,527	0,0781	0,0595	180
3×95 + 1×70	0,411	0,527	0,568	0,728	0,0746	0,0595	220
3×95 + 1×95	0,411	0,527	0,411	0,527	0,0753	0,0587	220
3×120 + 1×95	0,325	0,417	0,411	0,527	0,0753	0,0584	250
3×150 + 1×95	0,265	0,340	0,411	0,527	0,0719	0,0582	-
СИП-2 (алюминиевый сплав)							
3×25 + 1×35	1,770	2,269	1,262	1,618	0,0827	0,0703	130
3×35 + 1×50	1,262	1,618	0,923	1,183	0,0802	0,0691	160
3×50 + 1×50	0,923	1,183	0,923	1,183	0,0794	0,0687	195
3×50 + 1×70	0,923	1,183	0,632	0,810	0,0799	0,0685	195
3×70 + 1×70	0,632	0,810	0,632	0,810	0,0785	0,0679	240
3×70 + 1×95	0,632	0,810	0,466	0,597	0,0789	0,0669	240
3×95 + 1×70	0,466	0,597	0,632	0,810	0,0758	0,0669	300
3×95 + 1×95	0,466	0,597	0,466	0,597	0,0762	0,0656	300
3×120 + 1×95	0,369	0,473	0,466	0,597	0,0745	0,0650	340
3×150 + 1×95	0,303	0,388	0,466	0,597	0,0730	0,0647	-
СИП-3 (алюминиевый сплав)							
1×25	1,200	1,538	-	-	-	-	170
1×35	0,868	1,113	-	-	-	-	200
1×50	0,641	0,822	-	-	-	-	245
1×70	0,443	0,568	-	-	-	-	310
1×95	0,320	0,410	-	-	-	-	370
1×120	0,253	0,324	-	-	-	-	430
1×150	0,206	0,264	-	-	-	-	485
СИП-4							
2×16	2,448	3,138	-	-	0,0754	-	75
2×25	1,540	1,974	-	-	0,0717	-	90
4×16	2,448	3,138	2,448	3,138	0,0821	0,0647	70
4×25	1,540	1,974	1,540	1,974	0,0784	0,0621	95

Приложение 15

Основные технические данные трехфазных
асинхронных двигателей серии 4А основного исполнения
с синхронной частотой вращения 1500 об/мин

Тип двигателя	P_n , кВт	n_n , об/мин	$\cos\varphi_n$	η_n
4A132M4	11,0	1460	0,87	87,5
4A160S4	15,0	1465	0,88	89
4A160M4	18,5	1465	0,88	90
4A180S	22,0	1470	0,9	90
4A180M4	30,0	1470	0,89	91
4A200M4	37,0	1475	0,9	91
4A200L4	45,0	1475	0,9	92
4A225M4	55,0	1480	0,9	92,5

Приложение 16

Технические характеристики разъединителей 10, 35 кВ

Тип	Номинальное напряжение $U_{ном}$, кВ	Номинальный ток $I_{ном}$, А	Ток электродина- мической стойкости $I_{дин}$, кА	Ток термической стойкости $I_{тер}$, кА	Время протекания тока термической стойкости $t_{тер}$, с	Длина тока утечки внешней изоляции, не менее, см
РЛНД1-10Б/200У	10	200	20	5	3	30
РЛНД1-10Б/400У	10	400	25	10	3	30
РВЗ 10/630УЗ	10	630 (1000)	51	20	3	50
РВФ(З) СЭЩ 10	10	630 (1000)	51	20	3	50
РВЗ 35/400УЗ	35	400	40	16	3	70
РГТ32-35-1/630 УХЛ1	35	630	25	10	3	105
РДЗ-35Б/1250НТ1	35	1250	80	31,5	3	105
РДЗ СЭЩ 35	35	1000	50	20	3	80
РГП СЭЩ 35	35	1000	50	20	3	105

Приложение 17

Технические характеристики рубильников серии РБ

Параметры	РБ-31	РБ-32	РБ-34
Род тока	переменный		
Номинальное напряжение, В	380		
Номинальный ток, А	100	250	400
Число полюсов	3		
Тип привода	Ручной, боковой		
Электродинамическая стойкость, кА	3	4,8	7,6
Присоединительные размеры, мм	230×160 (4 отв. d 9)		
Вылет вала привода, мм	70		
Габаритные размеры, мм	380×200×135	380×210×135	
Масса, кг	5	5,25	7,66

Приложение 18

Полное сопротивление трансформатора
при однофазном КЗ на стороне 0,4 кВ

S_n , кВА	16	25	40	63	100	160	250	400	630
Z_{TO} , Ом	4,62	3,6	2,58	1,63	1,07	0,7	0,43	0,32	0,25

Приложение 19

Номинальные токи плавких вставок предохранителей,
рекомендуемые для защиты трансформаторов 6...20/0,4 кВ

Номинальная мощность трансформатора	Номинальный ток транс- форматора на стороне, А			Номинальный ток плавкой вставки предохранителя, А		
	6 кВ	10 кВ	20 кВ	6 кВ	10 кВ	20 кВ
25	2,40	1,44	-	8	5	-
40	3,83	2,31	-	10	8	-
63	6,06	3,64	1,82	16	10	5
100	9,62	5,77	2,90	20	16	8
160	15,4	9,25	4,63	32	20	16
250	24,0	14,5	7,25	50	40(32)	20
400	38,6	23,1	11,55	80	50	32
630	60,5	36,4	18,2	160	80	40

Приложение 20

Технические данные воздушных трехполюсных автоматических выключателей

Тип выключателя	Номинальный ток, А	Номинальный ток теплового расцепителя, А	Уставка тока электромагнитного расцепителя, А	Предельный ток отключения, кА
АП-50	50	1,6; 2,5; 4; 6,4; 10; 16; 25; 40; 50	3,5I _T ; 9I _T ; 13I _T	-
ВА-51-25	25	6,3; 8; 10; 12,5; 16; 20; 25	7I _T ; 10I _T	2
ВА51-29	63	6,3; 8,1; 10; 12,5; 16; 20; 25; 31,5; 40; 50; 63	3I _T ; 7I _T ; 10I _T	8
ВА-51-31	100	16; 20; 25; 31,5; 40; 50; 63; 80; 100	3I _T ; 7I _T ; 10I _T	10
ВА-51-33	160	80; 100; 125; 160	10I _T	10
ВА-51-35	250	160; 200; 250	10I _T	10
ВА-51-37	400	250; 320; 400	10I _T	10
АЕ203Р	20	5; 6; 8; 10; 12,5; 16; 20; 25	3I _T ; 12I _T	-
АЕ2046	63	10; 12,5; 16; 20; 25; 32; 40; 50; 63	3I _T ; 12I _T	-
АЕ2056	100	16; 20; 25; 32; 40; 50; 63; 80; 100	3I _T ; 12I _T	-
А3714	80; 160	40; 50; 63; 80; 100; 125; 160	3I _T ; 5I _T ; 7I _T ; 10I _T	18; 36
А3715Б	150	20; 25; 40; 50; 80; 100; 125	600; 960	5; 6; 8
А3724	250	100; 200; 250	2500	75
А3734	400	250; 320; 400	4000	100
А3744	630	400; 500; 630	6300	100

Приложение 21

Технические данные трансформаторов тока

Тип трансформатора тока	Номинальное напряжение, В	Номинальный ток первичной обмотки, А	Вторичная нагрузка	
			Ом	В·А
ТК-20	660	15; 20; 30; 40; 50; 75	0,2	5
		100; 150; 200; 250; 300		
		400; 600; 800; 1000		
Т-066	660	15; 20; 30; 40; 50; 75	0,2	5
		100; 150; 200; 250; 300		
		400; 600; 800; 1000		
ТК-40	660	15; 20; 30; 40; 50; 75	0,4	10
		100; 150; 200; 250; 300		
		400; 600; 800; 1000		
ТК-120	660	100; 200; 300; 400; 600; 800; 1000	1,2	30

Ограничители перенапряжений нелинейные

Наименование параметра	Значение параметров для типов	
	ОПНп-10/400-III-УХЛ1-1-1	ОПНп-10/400-III-УХЛ1-2-1
Номинальное напряжение, кВ	10	10
Наибольшее длительно допустимое действующее рабочее напряжение ограничителя, кВ	10,5	10,5
Действующее напряжение, кВ, допустимое в течение времени:		
20 мин	12,2	12,2
10 с	14,1	14,1
1 с	15,5	15,5
Номинальный разрядный ток (грозовый импульс тока 8/20 мкс), А	400	400
Пропускная способность (значение прямоугольного импульса тока длительностью 2000 мкс), А	5000	10000
Остающееся напряжение, кВ, не более, при токе грозовых перенапряжений с амплитудой: 1000 А	28,8	28,8
5000 А	30,4	30,4
10000 А	32,3	32,3
20000 А	-	37,3
Остающееся напряжение, кВ, не более, при токе коммутационных перенапряжений на волне 30/60 мкс с амплитудой: 150 А	24,5	24,5
500 А	26	26
	ОПН-П-0,38 УХЛ1	ОПН-П-0,66 УХЛ1
Класс напряжения сети, кВ	0,38	0,66
Наибольшее длительно допустимое действующее рабочее напряжение, кВ	0,4	0,8
Номинальный разрядный ток, кА	2,5	2,5
Остающееся напряжение при импульсном токе 8/20 мкс, кВ, не более, с амплитудой тока: 250 А	1,4	2,8
2500 А	1,6	3,2
5000 А	1,7	3,4
Пропускная способность (за 20 воздействий), А:		
при прямоугольной волне тока продолжительностью 2000 мкс, А	125	125
при волне импульсного тока 8/20 мкс, кА	3	3

Technical drawing of a cable layout plan (plan view) for a cable TV system. The drawing shows a grid of streets with a coordinate system (X, Y) in meters. A main cable line runs along the Y-axis, with branches to various buildings and a central junction box. Labels include "ОП-2 3x95-3x70", "ВЛ 1", "ВЛ 2", "ВЛ 3", "ВЛ 4", "ВЛ 5", "ВЛ 6", "ВЛ 7", "ВЛ 8", "ВЛ 9", "ВЛ 10", "ВЛ 11", "ВЛ 12", "ВЛ 13", "ВЛ 14", "ВЛ 15", "ВЛ 16", "ВЛ 17", "ВЛ 18", "ВЛ 19", "ВЛ 20", "ВЛ 21", "ВЛ 22", "ВЛ 23", "ВЛ 24", "ВЛ 25", "ВЛ 26", "ВЛ 27", "ВЛ 28", "ВЛ 29", "ВЛ 30", "ВЛ 31", "ВЛ 32", "ВЛ 33", "ВЛ 34", "ВЛ 35", "ВЛ 36", "ВЛ 37", "ВЛ 38", "ВЛ 39", "ВЛ 40", "ВЛ 41", "ВЛ 42", "ВЛ 43", "ВЛ 44", "ВЛ 45", "ВЛ 46", "ВЛ 47", "ВЛ 48", "ВЛ 49", "ВЛ 50", "ВЛ 51", "ВЛ 52", "ВЛ 53", "ВЛ 54", "ВЛ 55", "ВЛ 56", "ВЛ 57", "ВЛ 58", "ВЛ 59", "ВЛ 60", "ВЛ 61", "ВЛ 62", "ВЛ 63", "ВЛ 64", "ВЛ 65", "ВЛ 66", "ВЛ 67", "ВЛ 68", "ВЛ 69", "ВЛ 70", "ВЛ 71", "ВЛ 72", "ВЛ 73", "ВЛ 74", "ВЛ 75", "ВЛ 76", "ВЛ 77", "ВЛ 78", "ВЛ 79", "ВЛ 80", "ВЛ 81", "ВЛ 82", "ВЛ 83", "ВЛ 84", "ВЛ 85", "ВЛ 86", "ВЛ 87", "ВЛ 88", "ВЛ 89", "ВЛ 90", "ВЛ 91", "ВЛ 92", "ВЛ 93", "ВЛ 94", "ВЛ 95", "ВЛ 96", "ВЛ 97", "ВЛ 98", "ВЛ 99", "ВЛ 100". A table in the bottom right corner lists the cable types and their quantities.

№	наименование	количество
1	кабель оптический	1
2	кабель оптический	1
3	кабель оптический	1
4	кабель оптический	1
5	кабель оптический	1
6	кабель оптический	1
7	кабель оптический	1
8	кабель оптический	1
9	кабель оптический	1
10	кабель оптический	1
11	кабель оптический	1
12	кабель оптический	1
13	кабель оптический	1
14	кабель оптический	1
15	кабель оптический	1
16	кабель оптический	1
17	кабель оптический	1
18	кабель оптический	1
19	кабель оптический	1
20	кабель оптический	1
21	кабель оптический	1
22	кабель оптический	1
23	кабель оптический	1
24	кабель оптический	1
25	кабель оптический	1
26	кабель оптический	1
27	кабель оптический	1
28	кабель оптический	1
29	кабель оптический	1
30	кабель оптический	1
31	кабель оптический	1
32	кабель оптический	1
33	кабель оптический	1
34	кабель оптический	1
35	кабель оптический	1
36	кабель оптический	1
37	кабель оптический	1
38	кабель оптический	1
39	кабель оптический	1
40	кабель оптический	1
41	кабель оптический	1
42	кабель оптический	1
43	кабель оптический	1
44	кабель оптический	1
45	кабель оптический	1
46	кабель оптический	1
47	кабель оптический	1
48	кабель оптический	1
49	кабель оптический	1
50	кабель оптический	1
51	кабель оптический	1
52	кабель оптический	1
53	кабель оптический	1
54	кабель оптический	1
55	кабель оптический	1
56	кабель оптический	1
57	кабель оптический	1
58	кабель оптический	1
59	кабель оптический	1
60	кабель оптический	1
61	кабель оптический	1
62	кабель оптический	1
63	кабель оптический	1
64	кабель оптический	1
65	кабель оптический	1
66	кабель оптический	1
67	кабель оптический	1
68	кабель оптический	1
69	кабель оптический	1
70	кабель оптический	1
71	кабель оптический	1
72	кабель оптический	1
73	кабель оптический	1
74	кабель оптический	1
75	кабель оптический	1
76	кабель оптический	1
77	кабель оптический	1
78	кабель оптический	

Учебное издание

Гриднева Татьяна Сергеевна

ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЕ

**Методические указания
для выполнения курсового проекта**

Отпечатано с готового оригинал-макета
Подписано в печать 23.04.2015. Формат 60×84 1/16
Усл. печ. л. 3,72, печ. л. 4,0.
Тираж 30. Заказ №116.

Редакционно-издательский центр ФГБОУ ВПО Самарской ГСХА
446442, Самарская область, п.г.т. Усть-Кинельский, ул. Учебная 2
Тел.: (84663) 46-2-47
Факс 46-6-70
E-mail: ssaariz@mail.ru



Министерство сельского хозяйства
Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Самарская государственная
сельскохозяйственная академия»

Кафедра «Электрификация
и автоматизация АПК»

С. С. Нугманов

Электрические станции и подстанции

**Методические указания
для выполнения курсового проекта**

Кинель
РИЦ СГСХА
2015

УДК 631.371(07)
ББК 40.76(07)
Н-87

Нугманов, С. С.

Н-87 Электрические станции и подстанции : методические указания для выполнения курсового проекта / С. С. Нугманов. – Кинель : РИЦ СГСХА, 2015. – 56 с.

Методические указания содержат рекомендации по выполнению курсового проекта по дисциплине «Электрические станции и подстанции», требования к его структуре и оформлению, основные теоретические сведения. Учебное издание предназначено для студентов, обучающихся по направлению «Агроинженерия», профиль подготовки «Электрооборудование и электротехнологии».

© ФГБОУ ВПО Самарская ГСХА, 2015
© Нугманов С. С., 2015

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие.....	4
Структура курсового проекта.....	5
Правила оформления.....	6
Защита курсового проекта.....	7
Критерии оценки знаний при защите курсового проекта.....	7
Указания к выполнению курсового проекта.....	8
Исходные данные для проектирования.....	8
Перечень вопросов, подлежащих разработке.....	9
Порядок выполнения расчета.....	9
1 Расчет и выбор параметров трансформаторной подстанции.....	9
1.1 Определение суммарной мощности потребителей подстанции.....	9
1.2 Расчет и выбор силовых трансформаторов.....	11
1.3 Выбор схем главных электрических соединений проектируемой подстанции.....	13
1.4 Расчет токов короткого замыкания.....	15
2 Расчет и выбор электрических аппаратов.....	25
2.1 Выбор трансформаторов собственных нужд.....	25
2.2 Выбор аппаратуры на сторону НН 6(10) кВ.....	26
2.3 Выбор реакторов.....	28
2.4 Выбор выключателей.....	29
2.5 Выбор разъединителей, отделителей и короткозамыкателей.....	30
2.6 Выбор измерительных трансформаторов.....	30
2.7 Расчет заземляющего устройства.....	32
2.8 Выбор защиты от перенапряжений и грозозащиты.....	35
Рекомендуемая литература.....	37
Приложения.....	38

ПРЕДИСЛОВИЕ

Методические указания составлены на основании рабочей программы по дисциплине «Электрические станции и подстанции», соответствуют государственному образовательному стандарту ФГОС-3.

Целью выполнения данного курсового проекта является формирование у студентов необходимых знаний для решения профессиональных задач по проектированию трансформаторных подстанций. Тематика курсового проектирования имеет вид комплексной задачи, включающей определение суммарной мощности потребителей подстанции, расчет и выбор силовых трансформаторов, выбор схем главных электрических соединений проектируемой подстанции, расчет токов короткого замыкания, расчет и выбор электрических аппаратов. Задачи выполнения курсового проекта – получение навыков расчета электрических нагрузок потребителей, выбора трансформаторной подстанции, расчета и проектирования электрической части трансформаторной подстанции с выбором необходимой электрической аппаратуры.

Курсовой проект состоит из пояснительной записки объемом 30-50 страниц и графической части. Расчетно-пояснительная записка должна пояснить и обосновать принятые решения в соответствии с окончательными цифровыми результатами выполненных расчетов. Рекомендуется результаты расчетов представлять в пояснительной записке в виде таблиц. Графическая часть состоит из одного листа формата А1 принципиальной схемы электрической подстанции, с указанием технических характеристик оборудования.

Выполнение и защита курсового проекта, как результат освоения обучающимися основной образовательной программы высшего профессионального образования по направлению подготовки «Агроинженерия», свидетельствует об уровне сформирования следующих отдельных общекультурных и профессиональных компетенции: понимание социальной значимости своей будущей профессии; способность использовать современные методы монтажа, наладки машин и установок, поддержания режимов работы электрифицированных и автоматизированных технологических процессов, непосредственно связанных с биологическими объектами.

СТРУКТУРА КУРСОВОГО ПРОЕКТА

Курсовой проект выполняется студентом в соответствии с темой, указанной в индивидуальном задании. Индивидуальное задание выдается преподавателем, тематика проекта утверждается деканом факультета в начале учебного семестра.

Расчетно-пояснительная записка должна содержать: титульный лист; задание на курсовой проект; реферат; оглавление; введение; основную часть; выводы и предложения; список использованной литературы и источников.

Титульный лист

Титульный лист оформляется по образцу, приведенному в приложении 1.

Индивидуальное задание

Индивидуальное задание должно содержать тему проекта; курс, номер группы, фамилию, имя и отчество студента; исходные данные для выполнения проекта; дату выдачи задания (прил. 2).

Реферат

Реферат содержит краткие сведения о содержании и основных результатах выполнения курсового проекта (прил. 3).

Оглавление

Оглавление включает наименование всех разделов, подразделов с указанием номера страниц (прил. 3).

Введение

Во введении обосновывается актуальность темы, определяется объект исследования, формулируются цель и задачи.

Основная часть

В основной части работы должны содержаться соответствующие теоретические сведения; используемые исходные данные; необходимые расчеты и результаты расчетов в виде таблиц; обоснования расчетов и дана оценка их результатов.

Выводы и предложения

В выводах и предложениях обобщаются основные положения, делаются выводы и возможные направления для дальнейшего исследования.

Список использованной литературы и источников

Приводится список литературы, использованной при выполнении курсового проекта, оформленный согласно ГОСТ 7.1-2003 «Библиографическая запись. Библиографическое описание.

Схема электрической части подстанции выполняется на листе формата А1 на плоттере (прил. 4).

К электрической схеме прилагается спецификация с указанием марки и количества аппаратуры (прил. 5).

ПРАВИЛА ОФОРМЛЕНИЯ

Текст пояснительной записки может быть выполнен рукописным способом или с применением печатающих устройств. Оформление курсового проекта должно соответствовать ГОСТ 2.105-95 «ЕСКД. Общие требования к текстовым документам». Размер шрифта – 14, Times New Roman, абзацный отступ 1,25 см, межстрочный интервал – полуторный.

Текст и расчеты выполняются на одной стороне листа белой бумаги формата А4 (210×297) по ГОСТ 2.301– 68. Размеры полей: левое – 30 мм, правое – 10 мм, верхнее – 15 мм, нижнее – 20 мм.

Текст основной части делят на разделы и подразделы. Заголовки разделов пишутся симметрично тексту прописными буквами. Заголовки подразделов – строчными.

Расстояние между заголовками разделов и текстом должно быть равно 7-10 мм. Заголовки подразделов отделяются от текста сверху и снизу одним межстрочным интервалом.

Страницы пояснительной записки нумеруются арабскими цифрами, номер проставляют в центре нижней части листа, начиная со второй страницы. На титульном листе номер не ставится, но включается в общую нумерацию.

Иллюстрации обозначаются «Рис.» и нумеруются последовательно арабскими цифрами сквозной нумерацией или в пределах каждого раздела.

Таблицы должны быть помещены в тексте после абзацев, содержащих ссылку на них. Допускается приводить таблицы на следующей после ссылки странице. Таблицы нумеруются сквозной нумерацией или в пределах одного раздела.

Перед таблицей (справа) печатается слово «Таблица», указывается ее номер. Название таблицы печатается в середине следующей строки.

Формулы нумеруют арабскими цифрами в пределах раздела. Номер формулы состоит из номера раздела и порядкового номера формулы в разделе, разделенных точкой. Номер указывают с правой стороны листа в круглых скобках. Формулы выделяют из текста свободными строками.

ЗАЩИТА КУРСОВОГО ПРОЕКТА

Выполненный курсовой проект, оформленный в соответствии с требованиями, предоставляется на кафедру для регистрации не позднее, чем за неделю до его защиты. Проект должен быть допущен к защите при условии законченного оформления, о чем должна свидетельствовать соответствующая подпись руководителя на титульном листе.

Защита курсового проекта проводится в установленное кафедрой время в виде публичного выступления студента перед специально созданной на кафедре комиссией. Результаты защиты отражаются в протоколе.

Процедура защиты курсового проекта состоит из доклада, в котором должны быть отражены основные этапы выполнения проекта, результаты и сделаны выводы, и ответов на вопросы членов комиссии. По результатам защиты студенту выставляется оценка по пятибалльной шкале, с занесением в зачетную книжку и экзаменационную ведомость.

КРИТЕРИИ ОЦЕНКИ ЗНАНИЙ ПРИ ЗАЩИТЕ КУРСОВОГО ПРОЕКТА

Оценка «**отлично**» выставляется студенту при выполнении курсового проекта в полном объеме; проект отличается глубиной проработки всех разделов, оформлен с соблюдением установленных правил; студент свободно владеет теоретическим материалом, безошибочно применяет его при решении задач, сформулированных в задании; свободно справляется с вопросами, на все вопросы дает правильные и обоснованные ответы, убедительно защищает свою точку зрения, владеет разносторонними навыками и приемами выполнения практических заданий.

Оценка «**хорошо**» выставляется при выполнении курсового проекта в полном объеме; проект отличается глубиной проработки всех разделов содержательной части, оформлен с соблюдением установленных правил; студент твердо владеет теоретическим материалом, может применять его самостоятельно или по указанию преподавателя; на большинство вопросов даны правильные ответы, защищает свою точку зрения достаточно обосновано.

Оценка «**удовлетворительно**» выставляется при выполнении курсового проекта в основном правильно, но без достаточно глубокой проработки некоторых разделов; студент усвоил знания только по основному материалу, но не усвоил его детально; на вопросы отвечает неуверенно или допускает ошибки, неуверенно защищает свою точку зрения.

Оценка «**неудовлетворительно**» выставляется, когда студент не может защитить свои решения, допускает грубые фактические ошибки при ответах на поставленные вопросы или отказывается от ответа.

УКАЗАНИЯ К ВЫПОЛНЕНИЮ КУРСОВОГО ПРОЕКТА

Исходные данные для проектирования

1. Сведения об энергосистеме:

U_c – напряжение системы, которое соответствует стороне высшего напряжения (ВН) подстанции, кВ;

S_c – мощность системы, МВА;

x_c – реактивное сопротивление системы в относительных единицах;

n_c – число линий связи с системой;

L_c – длина линии связи, км.

2. Сведения о нагрузке потребителей, присоединенных на стороне среднего и низшего напряжений (СН и НН) подстанции:

$U_{сн}, U_{нн}$ – уровни среднего и низшего напряжения, кВ;

$n \cdot P$ – число и мощности линий, МВт;

$K_{мп}$ – коэффициент несовпадения максимумов нагрузки потребителей;

$\cos \varphi$ – коэффициент мощности.

Перечень вопросов, подлежащих разработке

- 1 Расчет и выбор параметров трансформаторной подстанции:
 - 1.1 Определение суммарной мощности потребителей подстанции;
 - 1.2 Расчет и выбор силовых трансформаторов;
 - 1.3 Выбор схем главных электрических соединений проектируемой подстанции;
 - 1.4 Расчет токов короткого замыкания.
- 2 Расчет и выбор электрических аппаратов:
 - 2.1 Выбор трансформаторов собственных нужд;
 - 2.2 Выбор аппаратуры на сторону НН 6(10) кВ;
 - 2.3 Выбор реакторов;
 - 2.4 Выбор выключателей;
 - 2.5 Выбор разъединителей, отделителей и короткозамыкателей;
 - 2.6 Выбор измерительных трансформаторов;
 - 2.7 Расчет заземляющего устройства;
 - 2.8 Выбор защиты от перенапряжений и грозозащиты.

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАСЧЕТА

1 Расчет и выбор параметров трансформаторной подстанции

1.1 Определение суммарной мощности потребителей подстанции

Расчет потребных мощностей нагрузок производят с использованием коэффициента несовпадения максимумов нагрузки потребителей.

Суммарная активная мощность на стороне СН (НН)

$$P_{сн} = \sum(n_{снi} \times P_{снi}) \times k_{мп}, \quad (1)$$

где $n_{снi}$, $P_{снi}$, $k_{мп}$ – параметры потребителей на стороне СН подстанции;

$P_{сн}$ – суммарная активная мощность на стороне СН, МВт.

Полная мощность S_{CH} на стороне СН

$$S_{CH} = P_{CH} / \cos \varphi, \quad (2)$$

где $\cos \varphi$ – коэффициент мощности потребителей на стороне СН;
 S_{CH} – полная мощность на стороне СН, МВА.

Реактивная мощность Q_{CH} на стороне СН, Мвар:

$$Q_{CH} = S_{CH} \times \sin \varphi \quad (3)$$

или

$$Q_{CH} = \sqrt{S_{CH}^2 - P_{CH}^2}, \quad (4)$$

где Q_{CH} – реактивная мощность на стороне СН, Мвар.

Аналогично по формулам (1-4) определяется суммарная мощность на стороне НН подстанции.

Суммарная мощность на стороне ВН

$$P_{BH} = P_{CH} + P_{HH}; \quad Q_{BH} = Q_{CH} + Q_{HH}; \quad S_{BH} = \sqrt{P_{BH}^2 + Q_{BH}^2}, \quad (5)$$

где P_{BH} , P_{CH} , P_{HH} – активные мощности, соответственно, на сторонах ВН, СН, НН, МВт;

Q_{BH} , Q_{CH} , Q_{HH} – реактивные мощности ВН, СН, НН, Мвар;

S_{BH} , S_{CH} , S_{HH} – полные мощности ВН, СН, НН, МВА.

Пример. Дано: $n \times P_{CH} = 3 \times 8 \text{ МВт}$; $k_{мсч} = 0,7$; $\cos \varphi = 0,8$;
 $n \times P_{HH} = 6 \times 13 \text{ МВт}$; $k_{мппн} = 0,7$; $\cos \varphi = 0,9$.

Решение. Найдем полные, активные и реактивные мощности на всех ступенях напряжения.

Для ступени СН по формулам 1,2,3:

$$P_{CH} = 3 \times 8 \times 0,7 = 16,8 \text{ МВт}; \quad S_{CH} = 16,8 / 0,8 = 21 \text{ МВА};$$

$$Q_{CH} = 21 \times \sin(\arccos(0,8)) = 12,6 \text{ Мвар}.$$

Для ступени НН по формулам 1,2,4:

$$P_{HH} = 6 \times 13 \times 0,7 = 54,6 \text{ МВт}; \quad S_{HH} = 54,6 / 0,9 = 60,7 \text{ МВА};$$

$$Q_{HH} = \sqrt{(60,7^2 - 54,6^2)} = 26,5 \text{ Мвар}.$$

Для ступени ВН по формуле (5):

$$P_{вн}=16,8+54,6=71,4 \text{ МВт}; Q_{вн}=12,6+26,5=39,1 \text{ Мвар};$$

$$S_{вн}=\sqrt{(71,4^2+39,1^2)}=81,4 \text{ МВА}.$$

1.2 Расчет и выбор силовых трансформаторов

На понижающих подстанциях возможна установка одного, двух и более трансформаторов. Решение этого вопроса в основном определяется наличием потребителей повышенных категорий и технико-экономическим сравнением вариантов.

Однотрансформаторные подстанции проектируют:

а) при электроснабжении неответственных потребителей третьей категории при условии, что замена поврежденного трансформатора или его ремонт производится в течение не более одних суток;

б) при электроснабжении потребителей второй категории при наличии централизованного передвижного трансформаторного резерва или другого резервного источника;

в) при небольшой мощности потребителей первой категории и наличии резервных источников на стороне НН.

Применение однотрансформаторных подстанций имеет место в сетях напряжением 35-110 кВ, на напряжение 220 кВ и выше однотрансформаторные подстанции, как правило, могут рассматриваться лишь как очередь подстанций с последующей установкой еще одного и более в соответствии с динамикой роста нагрузки.

Наиболее часто на подстанциях устанавливаются два трансформатора. В этом случае при правильном выборе мощности трансформаторов обеспечивается надежное питание даже при аварийном отключении одного из трансформаторов.

Установка трех и более трансформаторов возможна на подстанциях промышленных предприятий в тех случаях, когда толчковую нагрузку необходимо выделить на отдельный трансформатор. На крупных узловых подстанциях возможна установка трех-четырех трансформаторов, если мощность двух трансформаторов по существующей шкале оказывается недостаточной. Номинальная мощность каждого трансформатора двухтрансформаторной

подстанции, как правило, определяется аварийным режимом работы подстанции; при установке двух трансформаторов мощность каждого из них должна быть такой, чтобы при выходе из строя одного из них оставшийся в работе трансформатор с допустимой аварийной нагрузкой мог обеспечить нормальное электроснабжение потребителей первой и второй категорий. Правила устройства электроустановок (ПУЭ) разрешают перегрузку трансформаторов сверх номинальной на 40% на время общей продолжительностью не более 6 часов в сутки в течение 5 суток подряд при коэффициенте заполнения графика нагрузки не выше 0,75. При этих параметрах номинальная мощность каждого трансформатора определяется из условия

$$S_{нт} \geq (0,65 \dots 0,7) \times S_{вн}, \quad (6)$$

где $S_{нт}$ – мощность одного из двух выбранных одинаковых трансформаторов, МВА;

$S_{вн}$ – полная мощность на стороне ВН, МВА.

Трансформатор, выбранный по условию (6), обеспечивает питание всех потребителей в нормальном режиме при загрузке трансформатора $(0,7 \dots 0,8)S_{нт}$, а в аварийном режиме один трансформатор, оставшийся в работе, обеспечивает питание потребителей первой и второй категорий с учетом допустимой аварийной перегрузки на 40%. Потребители 3-й категории для времени максимума энергосистемы должны быть отключены.

Пример. Дано: $S_{вн}=81,4 \text{ МВ}$; $U_{вн}=220 \text{ кВ}$; $U_{сн}=110 \text{ кВ}$; $U_{нн}=10 \text{ кВ}$.

Решение. Найдем мощность трансформатора для двухтрансформаторной подстанции.

$S_{нт}=0,7 \times 81,4=56,98 \text{ МВА}$. Следовательно, воспользовавшись справочными данными, выбираем автотрансформатор АТДЦТН-63000/220/110/10, удовлетворяющий условию: $63 \text{ МВА} \geq 56,98 \text{ МВА}$.

В расчётно-пояснительной записке необходимо представить таблицу технических данных выбранных трансформаторов по приложению 6.

1.3 Выбор схем главных электрических соединений проектируемой подстанции

Главная схема электрических соединений подстанции – это совокупность основного электрооборудования (трансформаторы, линии), сборных шин, коммутационной и другой первичной аппаратуры со всеми выполненными между ними в натуре соединениями. Выбор главной схемы является определяющим при проектировании электрической части подстанции, так как он определяет полный состав элементов и связей между ними. Выбранная главная схема является исходной при составлении принципиальных схем электрических соединений, схем собственных нужд, схем вторичных соединений, монтажных схем и т. д. На чертеже главные схемы изображаются в однолинейном исполнении при отключенном положении всех элементов установки. В некоторых случаях допускается изображать отдельные элементы схемы в рабочем положении.

Подстанции могут быть тупиковыми, проходными, отпаечными; схемы таких подстанций будут различными даже при одном и том же числе трансформаторов одинаковой мощности. Самые высокие требования предъявляются к узловым подстанциям. Выход из работы такой подстанции может привести к распаду энергосистемы. Аналогичные требования предъявляются к проходным подстанциям, хотя здесь последствия могут быть значительно меньше. Выбор схемы электрических соединений является главным. Схема подстанции определяется в основном тремя факторами:

- а) назначением подстанции (ее типом);
- б) числом отходящих линий повышенного напряжения;
- в) числом установленных силовых трансформаторов.

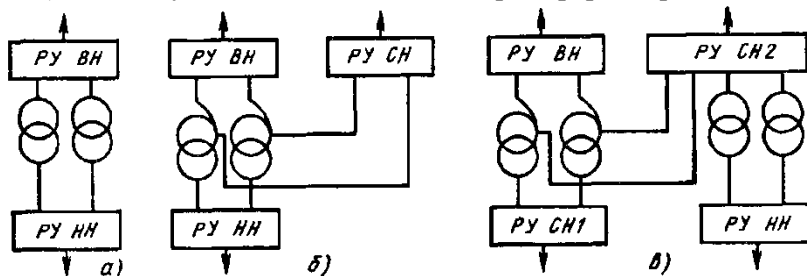


Рис. 1.1. Структурные схемы подстанций

На рисунке 1.1 показаны структурные схемы подстанций. На подстанции с двухобмоточными трансформаторами (рис. 1.1, а) электроэнергия от энергосистемы поступает в РУ ВН, затем трансформируется и распределяется между потребителями в РУ НН. На узловых подстанциях осуществляется связь между отдельными частями энергосистемы и питанием потребителей (рис. 1.1, б). Возможно сооружение подстанций с двумя РУ среднего напряжения, РУ ВН и РУ НН. На таких подстанциях устанавливают два автотрансформатора и два трансформатора (рис. 1.1, в).

Наиболее простой схемой электроустановок на стороне 6-10 кВ является схема с одной несекционированной системой сборных шин (рис. 1.2, а). Схема проста и наглядна. Источники питания и линии 6-10 кВ присоединяются к сборным шинам с помощью выключателей и разъединителей. На каждую цепь необходим один выключатель, который служит для отключения и включения этой цепи в нормальных и аварийных режимах. При необходимости отключения линии W1 достаточно отключить выключатель Q1. Если выключатель Q1 выводится в ремонт, то после его отключения отключают разъединители: сначала линейный QS1, а затем шинный QS2. Таким образом, операции с разъединителями необходимы только при выводе присоединения в целях обеспечения безопасного производства работ. Вследствие однотипности и простоты операций с разъединителями аварийность из-за неправильных действий с ними дежурного персонала мала, что относится к достоинствам рассматриваемой схемы.

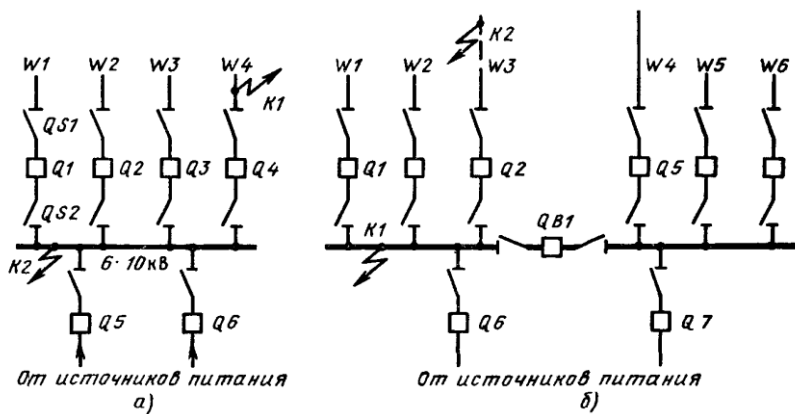


Рис. 1.2. Схемы с одной системой сборных шин

Схема с одной системой шин позволяет использовать комплектные распределительные устройства (КРУ), что снижает стоимость монтажа, позволяет широко применять механизацию и уменьшить время сооружения электроустановки.

Наряду с достоинствами схема с одной несекционированной системой шин обладает рядом недостатков. Для ремонта сборных шин и шинных разъединителей любого присоединения необходимо полностью снять напряжение со сборных шин, т. е. отключить источники питания. Это приводит к перерыву электроснабжения всех потребителей на время ремонта.

При коротком замыкании (КЗ) на линии, например в точке К1 (рис. 1.2, а), должен отключиться соответствующий выключатель Q4, а все остальные присоединения должны остаться в работе; однако при отказе этого выключателя отключатся выключатели источников питания Q5, Q6, вследствие чего сборные шины останутся без напряжения. Короткое замыкание на сборных шинах (точка К2) также вызывает отключение источников питания, т. е. прекращение электроснабжения потребителей. Указанные недостатки частично устраняются путем разделения сборных шин на секции, число которых обычно соответствует количеству источников питания.

1.4 Расчет токов короткого замыкания

Расчет токов КЗ выполняют для проверки аппаратуры на отключающую способность и динамическую стойкость, для проверки на термическую устойчивость шин и кабелей распределительных устройств. Для этих целей в соответствующих точках схемы подстанции определяются наибольшие токи КЗ.

Расчет токов при трехфазном КЗ выполняется в следующем порядке:

1. для рассматриваемой подстанции составляется расчетная схема (рис. 1.3);
2. по расчетной схеме составляется электрическая схема замещения (рис. 1.4);
3. путем постепенного преобразования приводят эту схему к наиболее простому виду так, чтобы каждый источник питания был связан с точкой КЗ одним результирующим сопротивлением;

4. зная результирующую ЭДС источника и результирующее сопротивление, по закону Ома определяют начальное значение периодической составляющей тока КЗ, затем ударный ток и, при необходимости, периодическую и апериодическую составляющие тока КЗ для заданного момента времени.

Под расчетной схемой понимают упрощенную однолинейную схему с указанием всех элементов и их параметров, которые влияют на ток КЗ и поэтому должны быть учтены при выполнении расчетов (рис. 1.5). Для расчета значений токов КЗ при трехфазном КЗ составляется схема замещения для одной фазы, поскольку все фазы цепи находятся в одинаковых условиях. Для упрощения схемы можно воспользоваться типовыми методами, указанными в таблице 1.1.

Параметры расчетной схемы могут быть выражены в именованных или относительных единицах. Рассчитывать токи КЗ рекомендуется в относительных единицах, для этого необходимо предварительно привести все сопротивления элементов схемы замещения к одним и тем же базовым условиям. В базовую систему величин должны входить базовая мощность $S_б$, базовое напряжение $U_б$, базовый ток $I_б$, связанные выражением мощности для трехфазной системы $S_б = \sqrt{3} \times I_б \times U_б$. При этом произвольно можно задаваться только двумя базовыми величинами. Базовые условия следует выбирать, учитывая удобство проведения расчетов. Так, за базовую мощность принимают 100, 1000 или 10000 МВА, а иногда часто повторяющуюся в схеме мощность отдельных элементов. За базовое напряжение удобно принимать соответствующее среднее напряжение ($U_{cp}=0,133; 0,23; 0,4; 0,525; 0,69; 3,15; 6,3; 10,5; 13,8; 15,75; 18; 24; 37; 115; 154; 230; 340; 515$ кВ). Удобно задаваться базовыми значениями мощности и напряжения и по ним уже определять базовый ток

$$I_б = \frac{S_б}{\sqrt{3} \times U_б}, \quad (7)$$

где $S_б$ – базовая мощность, МВА;
 $U_б$ – базовое напряжение, кВ;
 $I_б$ – базовый ток, кА.

Таблица 1.1

Основные формулы для преобразования схем

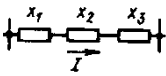
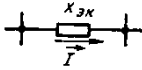
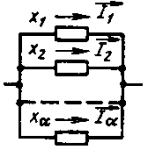
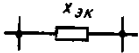
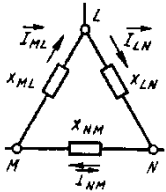
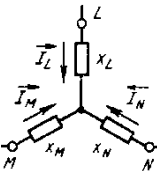
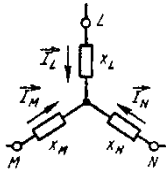
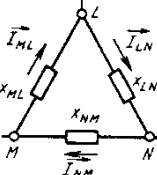
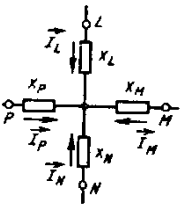
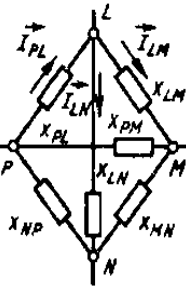
Преобразование	Схема до преобразования	Схема после преобразования	Формулы для определения параметров схемы после преобразования
Последовательное соединение			$x_{эк} = x_1 + x_2 + \dots + x_\alpha$
Параллельное соединение			$x_{эк} = \frac{1}{\frac{1}{x_1} + \frac{1}{x_2} + \dots + \frac{1}{x_\alpha}}$ при двух ветвях: $x_{эк} = \frac{x_1 \times x_2}{x_1 + x_2}$
Преобразование треугольника в эквивалентную звезду			$x_L = \frac{x_{LN} \times x_{ML}}{x_{LN} + x_{ML} + x_{NM}} ;$ $x_N = \frac{x_{LN} \times x_{NM}}{x_{LN} + x_{ML} + x_{NM}} ;$ $x_M = \frac{x_{NM} \times x_{ML}}{x_{LN} + x_{ML} + x_{NM}} .$
Преобразование звезды в эквивалентный треугольник			$x_{LN} = x_L + x_N + \frac{x_L \times x_N}{x_M} ;$ $x_{NM} = x_N + x_M + \frac{x_N \times x_M}{x_L} ;$ $x_{ML} = x_M + x_L + \frac{x_M \times x_L}{x_N} .$
Преобразование многолучевой звезды в многоугольник с диагоналями			$x_{LM} = x_L \times x_M \times \sum y ;$ $x_{MN} = x_M \times x_N \times \sum y ,$ где $\sum y = \frac{1}{x_L} + \frac{1}{x_M} + \frac{1}{x_N} + \frac{1}{x_P}$

Таблица 1.2

**Средние удельные индуктивные сопротивления
воздушных и кабельных линий электропередачи**

Линия электропередачи	$X_{уд}$, Ом/км
Одноцепная воздушная линия:	
6-220 кВ	0,4
220-330 кВ при расщеплении на два провода в фазе	0,32
400-500 кВ при расщеплении на три провода в фазе	0,3
750 кВ при расщеплении на четыре провода в фазе	0,28
Трехжильный кабель:	
6-10 кВ	0,08
35 кВ	0,12
Одножильный маслонаполненный кабель 110-220 кВ	0,16

Таблица 1.3

**Расчетные выражения для определения
приведенных значений сопротивлений**

Элемент электроустановки	Исходный параметр	Именованные единицы	Относительные единицы
Энергосистема	X_c ; S_c	$x = x_c \frac{U_{\delta}^2}{S_c}$	$x_* = x_c \frac{S_{\delta}}{S_c}$
Трансформатор	$X_t\%$; $S_{ном}$	$x = \frac{x_m\%}{100} \times \frac{U_{\delta}^2}{S_{ном}}$	$x_* = \frac{x_m\%}{100} \times \frac{S_{\delta}}{S_{ном}}$
Реактор	X_p	$x = x_p \times \frac{U_{\delta}^2}{U_{cp}^2}$	$x_* = x_p \times \frac{S_{\delta}}{U_{cp}^2}$
Линии электропередачи	$X_{уд}$; L	$x = x_{уд} \times L \times \frac{U_{\delta}^2}{U_{cp}^2}$	$x_* = x_{уд} \times L \times \frac{S_{\delta}}{U_{cp}^2}$

Сопротивление обмоток силовых трансформаторов следует рассчитывать по выражениям с использованием паспортных данных:

- для двухобмоточных трансформаторов

$$X_m\% = U_{кв-н}\%, \quad (8)$$

где X_m – сопротивление трансформатора, %;

$U_{кв-н}\%$ – напряжение короткого замыкания, определяемое по справочным или паспортным данным.

- для трехобмоточных трансформаторов (автотрансформаторов)

$$\begin{aligned}X_{тв}\% &= 0,5 \times (U_{кв-н}\% + U_{кв-с}\% - U_{кс-н}\%); \\X_{тс}\% &= 0,5 \times (U_{кв-с}\% + U_{кс-н}\% - U_{кв-н}\%); \\X_{тн}\% &= 0,5 \times (U_{кв-н}\% + U_{кс-н}\% - U_{кв-с}\%),\end{aligned}\quad (9)$$

где $U_{кв-н}\%$, $U_{кв-с}\%$, $U_{кс-н}\%$ – напряжения короткого замыкания для каждой пары обмоток;

$X_{тв}\%$, $X_{тс}\%$, $X_{тн}\%$ – сопротивления обмоток в %.

Воспользовавшись таблицами 1.2 и 1.3 и формулами (8) и (9), определить в относительных единицах сопротивление энергосистемы, линии и обмоток трансформатора. После того как схема замещения составлена и определены сопротивления всех элементов, она преобразуется к наиболее простому виду. Преобразование (свертывание) схемы выполняется в направлении от источника питания к месту КЗ.

Пример. Дано: схема с двумя трехобмоточными трансформаторами на напряжения 220/110/10 кВ. Параметры трансформатора следующие: $U_{кв-н}\%=35,7$; $U_{кв-с}\%=11$; $U_{кс-н}\%=21,9$; $S_{ном}=63$ МВА. $S_c=650$ МВА, $x_c=0,7$; $L=120$ км.

Решение. Найдем результирующие сопротивления до точек КЗ. Рассмотрим имеющуюся схему (рис. 1.3) и составим схему замещения (рис. 1.4). Последнюю можно упростить, свернув параллельные сопротивления $Z_{лв1}$ и $Z_{лв2}$; $Z_{тв1}$ и $Z_{тв2}$; $Z_{тс1}$ и $Z_{тс2}$; $Z_{тн1}$ и $Z_{тн2}$. Расставим точки предполагаемых КЗ. (рис 1.5). Пользуясь вышеприведенными формулами и таблицами, находим неизвестные значения. Примем $S_б=100$ МВА, $U_{бВН}=230$ кВ, $U_{бСН}=115$ кВ, $U_{бНН}=10,5$ кВ.

Тогда базисные токи $I_{бВН}=100/(\sqrt{3} \times 230)=0,25$ кА; $I_{бСН}=100/(\sqrt{3} \times 115)=0,29$ кА; $I_{бНН}=100/(\sqrt{3} \times 10,5)=5,5$ кА.

Сопротивление системы $Z_c=0,7 \times 100/650=0,1$.

Сопротивление линии: $Z_c=(0,4 \times 120 \times 100)/220^2=0,1$.

Сопротивление обмоток трансформатора:

$$\begin{aligned}
 X_{тв}\% &= 0,5 \times (35,7 + 11 - 21,9) = 12,4; & X_{тс}\% &= 0,5 \times (11 + 21,9 - 35,7) = 1,4; \\
 X_{тн}\% &= 0,5 \times (35,7 + 21,9 - 11) = 23,3. & & \\
 Z_{тв} &= (12,4 \times 100) / (100 \times 63) = 0,2; & Z_{тс} &= (1,4 \times 100) / (100 \times 63) = 0,02; \\
 Z_{тн} &= (23,3 \times 100) / (100 \times 63) = 0,4.
 \end{aligned}$$

Теперь, когда найдены все сопротивления (рис. 1.4), преобразуем их к виду (рис. 1.5), свернув параллельные сопротивления.

$$\begin{aligned}
 Z_{лврез} &= (0,1 \times 0,1) / (0,1 + 0,1) = 0,05; & Z_{тврез} &= (0,2 \times 0,2) / (0,2 + 0,2) = 0,1; \\
 Z_{тсрез} &= (0,02 \times 0,02) / (0,02 + 0,02) = 0,01; \\
 Z_{тнрез} &= (0,4 \times 0,4) / (0,4 + 0,4) = 0,2.
 \end{aligned}$$

Придя к конечному виду, можем найти результирующие сопротивления до точек К1, К2 и К3. До К1 – последовательно сопротивление системы и результирующее линий. До К2 – параллельно $Z_{тнрез}$ три последовательных сопротивления Z_c , $Z_{лврез}$, $Z_{тврез}$. А последовательно им $Z_{тсрез}$. Аналогично для точки К3.

$$\begin{aligned}
 Z_{резК1} &= 0,1 + 0,05 = 0,15; \\
 Z_{резК2} &= (((0,1 + 0,05 + 0,1) \times 0,2) / (0,1 + 0,05 + 0,1 + 0,2)) + 0,01 = 0,12; \\
 Z_{резК3} &= (((0,1 + 0,05 + 0,1) \times 0,01) / (0,1 + 0,05 + 0,1 + 0,01)) + 0,2 = 0,21.
 \end{aligned}$$

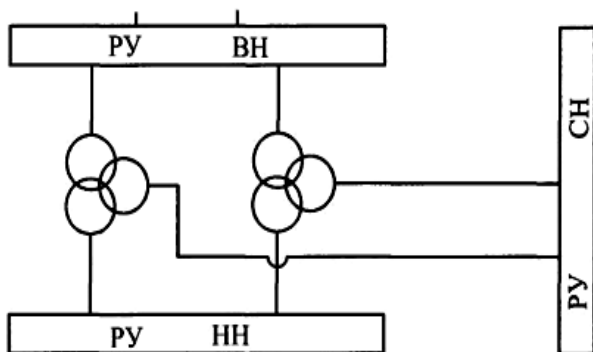


Рис. 1.3. Однолинейная схема электроснабжения

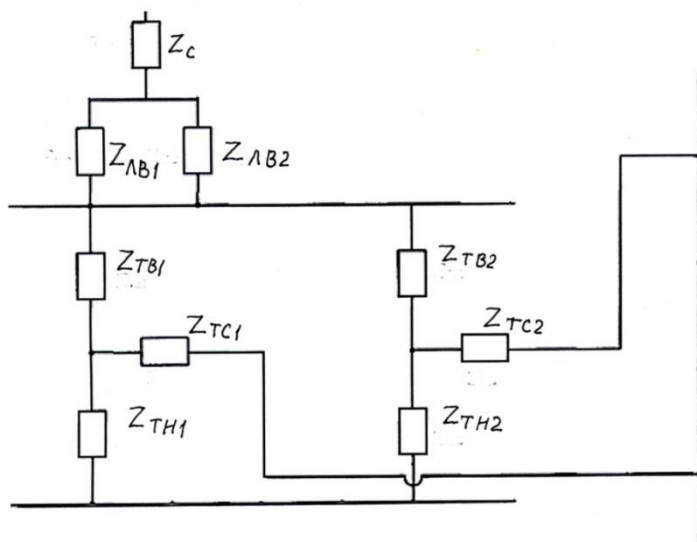


Рис. 1.4. Схема замещения

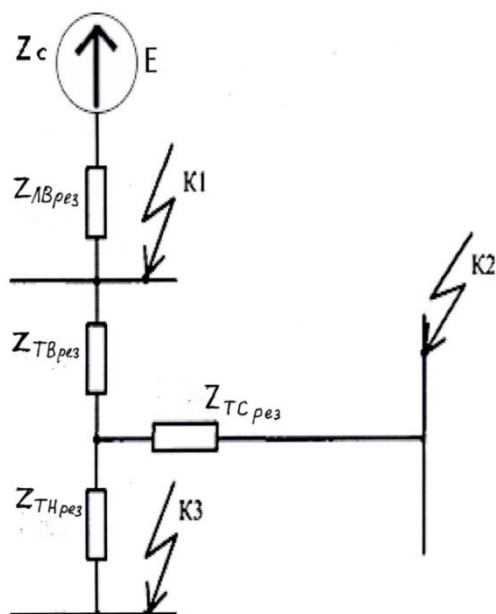


Рис.1.5. Свернутая схема замещения

Определение начального значения периодической составляющей тока КЗ:

$$I_{no} = \frac{E_*}{X_{рез}}, \quad (10)$$

где E_* – относительная сверхпереходная ЭДС системы (может быть принята равной 1);

$X_{рез}$ – результирующее сопротивление сети до точки КЗ;

I_{no} – начальное значение периодической составляющей тока КЗ, кА.

Поскольку ударный ток имеет место через 0,01 секунды после начала КЗ, то его значение определяется:

$$i_y = \sqrt{2} \times I_{no} \times K_y, \quad (11)$$

где K_y – ударный коэффициент, зависящий от постоянной времени затухания апериодической составляющей тока КЗ, (таблица 1.4);

i_y – величина ударного тока КЗ, кА.

Для удаленного КЗ значение теплового импульса подсчитывается по формуле:

$$B_K = I_{no}^2 \times (t_{откл} + T_a), \quad (12)$$

где $t_{откл}$ – длительность КЗ, с, значения можно брать с рисунка 1.6;

T_a – постоянная времени затухания апериодической составляющей тока КЗ, с, (табл. 1.4).

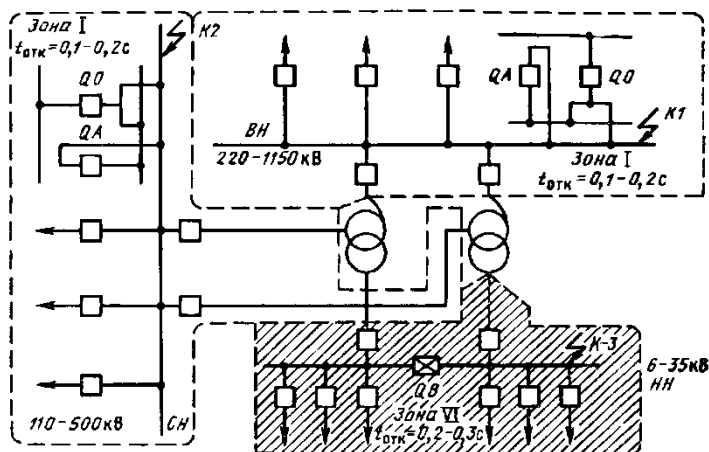


Рис. 1.6. Расчетные зоны по токам КЗ для понижительной подстанции

Таблица 1.4

Значение постоянной времени затухания апериодической составляющей T_a , тока КЗ и ударного коэффициента K_y

Элементы или части энергосистемы	T_a , с	K_y
Блоки, составляющие из турбогенератора и повышающего трансформатора, при мощности генераторов, МВт:		
100-200	0,26	0,965
300	0,32	1,97
500	0,35	1,973
800	0,3	1,967
Система, связанная со сборными шинами, где рассматривается КЗ, воздушными линиями напряжением, кВ:		
35	0,02	1,6
110-150	0,02-0,03	1,608-1,717
220-330	0,03-0,04	1,717-1,78
500-750	0,06-0,08	1,85-1895
Система, связанная со сборными шинами 6-10кВ, где рассматривается КЗ, через трансформаторы мощностью, МВА:		
80 и выше	0,06-0,15	1,85-1,935
32-80	0,05-0,1	1,82-1,904
5,6-32	0,02-0,05	1,6-1,82
Ветви, защищенные реактором с номинальным током, А		
1000 и выше	0,23	1,956
630 и ниже	0,1	1,904
Распределительные сети 6-10 кВ	0,01	1,369

Также для дальнейшего выбора оборудования необходимо найти расчетные токи на шинах подстанции и токи отходящих линий на сторонах СН и НН.

Цепь двухобмоточного трансформатора на подстанции. На стороне ВН и НН расчетные нагрузки определяют, как правило, с учетом установки в перспективе трансформаторов следующей по шкале ГОСТ номинальной мощности $S_{ном. т}$ (для ГПП это 10, 16, 25, 40, 63, 80, 100, 125 МВА):

$$I_{ном} = (0,65 \dots 0,7) \times \frac{S_{ном. т}}{\sqrt{3} \times U_{ном}}, \quad (13)$$

где $S_{ном. т}$ – мощность трансформатора в ряду, кВА;

$U_{ном}$ – номинальное напряжение ступени, кВ;

$I_{ном}$ – номинальный ток, А.

$$I_{\max} = 2 \times I_{\text{ном}}, \quad (14)$$

где $I_{\max}$ – наибольший ток ремонтного или послеаварийного режима, А.

Цепь трехобмоточного трансформатора на подстанции. На стороне ВН расчетные токи определяют по (13) и (14). На стороне СН расчетные токи при двух установленных трансформаторах

$$I_{\text{ном}} = \frac{S_{\text{ном}}}{2 \times \sqrt{3} \times U_{\text{ном}}}, \quad (15)$$

где $S_{\text{ном}}$ – перспективная нагрузка на стороне НН на 10-летний период, кВА.

$$I_{\max} = 2 \times I_{\text{ном}} \cdot A. \quad (16)$$

Для стороны НН аналогично по формулам (15) и (16).

Цепь автотрансформатора на подстанции. На стороне ВН и СН расчетные токи определяют по (13) и (14), так как автотрансформатор может быть использован для связи двух систем и потоков мощности как из ВН в СН, так и в обратном направлении. На стороне НН расчетные токи определяют по перспективной нагрузке (15) и (16).

Цепь линии. Определяется по наибольшей нагрузке линии

$$I_{\text{ном}} = \frac{S_{\text{нагр}}}{\sqrt{3} \times U_{\text{ном}}}, \quad (17)$$

где $S_{\text{нагр}}$ – мощность нагрузки, кВА.

Для одиночной радиальной линии справедливо

$$I_{\text{ном}} = I_{\max}. \quad (18)$$

Пример. Дано: $Z_{\text{рез}K1}=0,15$; $Z_{\text{рез}K2}=0,12$; $Z_{\text{рез}K3}=0,21$; два автотрансформатора по 63 МВА, на напряжение 220/110/10, мощность каждой отходящей линии на 10 кВ равна 15 МВА, а 110 кВ – 8 МВА. Нагрузка НН равна 60,7 МВА.

Решение. Тогда $I_{но1}=1/0,15=6,7 \text{ кА}; I_{но2}=1/0,12=8,3 \text{ кА};$
 $I_{но3}=1/0,21=4,8 \text{ кА}.$

$$i_{y1}=1,4 \times 6,7 \times 1,717=16,1 \text{ кА}; i_{y2}=1,4 \times 8,3 \times 1,608=18,7 \text{ кА};$$

$$i_{y3}=1,4 \times 4,8 \times 1,369=9,2 \text{ кА}.$$

$$B_{\kappa1}=6,7^2 \times (0,1+0,03)=5,8 \text{ МАС}; B_{\kappa2}=8,3^2 \times (0,1+0,02)=8,3 \text{ МАС};$$

$$B_{\kappa3}=4,8^2 \times (0,2+0,01)=4,8 \text{ МАС}.$$

$$I_{номВН}=0,7 \times 80000/(1,7 \times 220)=150 \text{ А}; I_{maxВН}=2 \times 150=300 \text{ А};$$

$$I_{номСН}=0,7 \times 80000/(1,7 \times 110)=300 \text{ А}; I_{maxСН}=2 \times 300=600 \text{ А};$$

Предположим, нагрузка на НН за десять лет вырастет на 10% и составит 66,8 МВА, следовательно

$$I_{номНН}=66800/(2 \times 1,7 \times 10)=1965 \text{ А}; I_{maxНН}=2 \times 1965=3930 \text{ А};$$

Ток в линиях потребителей СН составит:
 $I_{ном}=8000/(1,7 \times 110)=43 \text{ А}.$

$$\text{А в линиях НН: } I_{ном}=15000/(1,7 \times 10)=882,4 \text{ А}.$$

2 Расчет и выбор электрических аппаратов

2.1 Выбор трансформаторов собственных нужд

Состав потребителей собственных нужд (с.н.) зависит от типа подстанции, электрооборудования, мощности трансформаторов. Потребителями с.н. подстанции являются электродвигатели обдува трансформаторов, обогреватели приводов отделителей и короткозамыкателей, шкафов КРУН, а также освещение. На подстанции с воздушными выключателями к потребителям относятся также компрессорные установки, зарядные и подзарядные агрегаты.

На всех двухтрансформаторных подстанциях 35-500 кВ устанавливаются два трансформатора собственных нужд (ТСН), присоединяя их к шинам вторичного напряжения 6-10 кВ подстанции. Выбор мощности каждого из двух трансформаторов производится по полной нагрузке системы с.н. Напряжение системы с.н. переменного тока на подстанции с постоянным оперативным током напряжением 220-330 кВ с заземленной нейтралью.

Мощность потребления с.н. невелика (приблизительно $0,1\% S_{нт}$), а мощность трансформатора с.н. выбирается в соответствии с нагрузками в разных режимах работы подстанции, но не более 630 кВА:

$$S_{ТСН} = S_{ном\ tr} / 1000, \quad (19)$$

где $S_{ТСН}$ – мощность трансформатора собственных нужд кВА;

$S_{ном\ tr}$ – мощность установленного трансформатора, кВА.

По результатам расчета выбрать ТСН (прил. 7).

2.2 Выбор аппаратуры на сторону НН 6(10) кВ

Схему стороны НН предлагается построить на базе КРУ К-63 Самарского завода «Электроштит». Для выбора типовых ячеек КРУ можно использовать приложение 8. Стоит учитывать, что в набор должны входить ячейки ввода, ячейки, содержащие трансформатор тока и трансформатор напряжения, ячейки вывода к ТСН, которые были выбраны выше, и ячейки вывода к потребителям, соответствующие количеству отходящих линий. В качестве наглядного примера можно воспользоваться рисунком 2.1.

Следует учитывать следующее:

1. Для выполнения кабельного ввода на ток более 1600 А рекомендуется использовать две камеры по схемам 60 и 61 или 92 и 93, включенные параллельно шинопроводом на ток 1600 А.

2. Шинный ввод (вывод) на ток более 1600 А можно осуществить с помощью двух камер по схемам 01 и 04, 49 и 52, 76 и 80. Возможны и другие варианты.

3. Камеры ввода с трансформаторами напряжения по схемам 03, 04, 10, 11, 89 изготавливаются с трансформаторами напряжения типа НОЛ.08-6(10) кВ. В остальных ячейках могут устанавливаться трансформаторы напряжения типа НАМИТ-10 или ЗНОЛ.06-6(10).

4. С помощью камер по схемам 25, 26, 46 и 55 можно через шинный мост соединить сборные шины в двух параллельно стоящих рядах КРУ.

5. Для секционирования сборных шин используются камеры 27 и 31, которые устанавливаются рядом, или 02 и 53, которые устанавливаются в разных рядах и соединяются шинным мостом.

6. Для подключения ТСН мощностью до 250 кВА до выключателя ввода используются камеры по схеме 86 или 87. В случае подключения ТСН к сборным шинам используются камеры: по схеме 87 совместно с 25, 26, 42 или 46; камера по схеме 88.

Номинальный ток, А					2600 А						
Обозначение камеры	85	13	09	09	03	50	66	09	09	24	02
Назначение камеры	Резерв	К	ОЛ1	ОЛ2	Ввод I сш с ТН		к ТСН	ОЛ3	ОЛ4	ТН	СВ
Порядковый номер камеры	1	3	5	7	9	11	13	15	17	19	21
Схемы первичных соединений первой секции шин 10 кВ											
Схемы первичных соединений второй секции шин 10 кВ											
Порядковый номер камеры	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22
Назначение камеры	Резерв	К	ОЛ5	ОЛ6	Ввод II сш с ТН		к ТСН	ОЛ7	ОЛ8	ТН	СР
Обозначение камеры	85	13	09	09	03	49	67	09	09	24	53
Номинальный ток, А					2600 А						

Примечание. I сш, II сш — первая, вторая секции шин соответственно.

Рис. 2.1. Схема заполнения РП 6(10) кВ с камерами К-63

2.3 Выбор реакторов

Реакторы служат для ограничения токов КЗ в мощных электроустановках, а также позволяют поддерживать на шинах определенный уровень напряжения при повреждениях за реакторами.

Основная область применения реакторов – электрические сети напряжением 6-10 кВ. Устанавливается между трансформатором и НН шиной.

Реакторы выбирают по номинальному напряжению, току и индуктивному сопротивлению.

Номинальное напряжение выбирают в соответствии с номинальным напряжением установки. При этом предполагается, что реакторы должны длительно выдерживать максимальные рабочие напряжения, которые могут иметь место в процессе эксплуатации. Допускается использование реакторов в электроустановках с номинальным напряжением, меньшим номинального напряжения реакторов.

Номинальный ток реактора (ветви сдвоенного реактора) не должен быть меньше максимального длительного тока нагрузки цепи, в которую он включен

$$I_{\text{ном}} \geq I_{\text{max}}. \quad (20)$$

Индуктивное сопротивление реактора определяют, исходя из условий ограничения тока КЗ до заданного уровня. В большинстве случаев уровень ограничения тока КЗ определяется по коммутационной способности выключателей, намечаемых к установке или установленных в данной точке сети.

Как правило, первоначально известно начальное значение периодического тока КЗ $I_{\text{по}}$, которое с помощью реактора необходимо уменьшить до требуемого уровня.

Рассмотрим порядок определения сопротивления индивидуального реактора. Требуется ограничить ток КЗ так, чтобы можно было в данной цепи установить выключатель с номинальным током отключения $I_{\text{ном отк}}$ (действующее значение периодической составляющей тока отключения).

По значению $I_{\text{ном отк}}$ определяется начальное значение периодической составляющей тока КЗ, при котором обеспечивается коммутационная способность выключателя. Для упрощения обычно принимают $I_{\text{по треб}} = I_{\text{ном отк}}$.

Результирующее сопротивление (Ом) цепи КЗ до установки реактора можно определить по выражению

$$X_{рез} = \frac{U_{cp}}{\sqrt{3} \times I_{но}}. \quad (21)$$

Требуемое сопротивление цепи КЗ для обеспечения $I_{по\ треб}$

$$X_{рез}^{треб} = \frac{U_{cp}}{\sqrt{3} \times I_{по\ треб}}. \quad (22)$$

Разность полученных значений сопротивлений даст требуемое сопротивление реактора

$$X_p^{треб} = X_{рез}^{треб} - X_{рез}. \quad (23)$$

Далее по каталожным и справочным материалам (прил. 9) выбирают тип реактора с ближайшим большим индуктивным сопротивлением. Фактическое значение тока при КЗ за реактором определяется следующим образом. Вычисляется значение результирующего сопротивления цепи КЗ с учетом реактора

$$X'_{рез} = X_{рез} + X_p. \quad (24)$$

Затем определяется начальное значение периодической составляющей тока КЗ

$$I_{но} = \frac{U_{cp}}{\sqrt{3} \times X'_{рез}}. \quad (25)$$

2.4 Выбор выключателей

Выбор выключателей (прил. 10) следует проводить в табличной форме (табл. 2.1).

Таблица 2.1

Параметры выключателей

Расчетные величины	Каталожные данные выключателя	Условия выбора
$U_{уст}$	$U_{ном}$	$U_{уст} \leq U_{ном}$
$I_{раб\max}$	$I_{ном}$	$I_{раб\max} \leq I_{ном}$
$I_{по}$	$I_{откл}$	$I_{по} \leq I_{откл}$
i_y	$i_{пр.с}$	$i_y \leq i_{пр.с}$
B_k	$I_T^2 \times t_T$	$B_k \leq I_T^2 \times t_T$

2.5 Выбор разъединителей, отделителей и короткозамыкателей

Выбор разъединителей, отделителей и короткозамыкателей производится так же, как и выключателей, но без проверок на отключающую способность, так как они предназначены для отключения цепей, находящихся под током.

Кроме того, короткозамыкатель принимается без выбора по длительному номинальному току (прил. 11).

Таблица 2.2

Параметры разъединителей, отделителей и короткозамыкателей

Расчетные величины	Каталожные данные выключателя	Условия выбора
$U_{уст}$	$U_{ном}$	$U_{уст} \leq U_{ном}$
$I_{рабmax}$	$I_{ном}$	$I_{рабmax} \leq I_{ном}$
i_y	$i_{пр.с}$	$i_y \leq i_{пр.с}$
B_k	$I_T^2 \times t_T$	$B_k \leq I_T^2 \times t_T$

2.6 Выбор измерительных трансформаторов

2.6.1 Выбор трансформаторов тока

Трансформаторы тока выбирают:

1) по напряжению установки

$$U_{уст} \leq U_{ном}, \quad (26)$$

где $U_{уст}$ — напряжение в месте установки, кВ;

$U_{ном}$ — номинальное напряжение трансформатора, кВ.

2) по току

$$I_{max} \leq I_{ном1}, \quad (27)$$

где $I_{ном1}$ — номинальный ток первичной обмотки ТТ, А.

Номинальный ток должен быть как можно ближе к рабочему току установки, так как недогрузка первичной обмотки приводит к увеличению погрешностей.

Номинальный ток выбирают:

1. по конструкции и классу точности;

2. по электродинамической стойкости.

$$i_y \leq k_{\text{эд}} \times \sqrt{2} \times I_{1 \text{ ном}}, \quad i_y \leq i_{\text{дин}}, \quad (28)$$

где i_y – ударный ток КЗ по расчету, кА;

$k_{\text{эд}}$ – кратность электродинамической стойкости по каталогу (прил. 12);

$i_{\text{дин}}$ – ток электродинамической стойкости, кА.

Электродинамическая стойкость шинных трансформаторов тока определяется устойчивостью самих шин распределительного устройства, вследствие этого такие трансформаторы по этому условию не проверяются;

1) по термической стойкости

$$B_{\kappa} \leq (k_m \times I_{1 \text{ ном}})^2 \times t_{\text{тер}}; \quad B_{\kappa} \leq I_{\text{тер}}^2 \times t_{\text{тер}}, \quad (29)$$

где k_m – кратность термической стойкости по каталогу.

2) по вторичной нагрузке

$$Z_2 \leq Z_{2 \text{ ном}}, \quad (30)$$

где Z_2 – вторичная нагрузка трансформатора тока, ВА;

$Z_{2 \text{ ном}}$ – номинальная допустимая нагрузка трансформатора тока в выбранном классе точности.

2.6.2 Выбор трансформаторов напряжения

Трансформаторы напряжения выбирают по следующим параметрам:

а) по напряжению $U_{\text{уст}} \leq U_{\text{ном}}, \quad (31)$

б) по классу точности

$$S_{2 \text{ сум}} \leq S_{2 \text{ ном}}, \quad (32)$$

где $S_{2 \text{ ном}}$ – номинальная мощность в выбранном классе точности, ВА;

$S_{2 \text{ сум}}$ – нагрузка всех измерительных приборов и реле, присоединённых к трансформатору напряжения, ВА (прил. 12).

$$S_{2\text{сум}} = \sqrt{(\sum S_{\text{приб}} \cdot \cos \varphi_{\text{приб}})^2 + (\sum S_{\text{приб}} \cdot \sin \varphi_{\text{приб}})^2} = \sqrt{P_{\text{приб}}^2 + Q_{\text{приб}}^2}. \quad (33)$$

2.7 Расчет заземляющего устройства

Расчет заземляющего устройства проводится в следующем порядке:

1. В соответствии с ПУЭ устанавливают допустимое сопротивление заземляющего устройства R_z . Если заземляющее устройство является общим для установок на различное напряжение, то за расчетное принимается наименьшее из допустимых. В установках 110 кВ и выше с большим током замыкания на землю $R_z \leq 0,5 \text{ Ом}$, в высоковольтных установках до 35 кВ с малым током замыкания на землю $R_z \leq 250/I_z$, но не более 10 Ом, в низковольтных установках $R_z \leq 125/I_z$, но не более 10 Ом при мощности источника до 100 кВА и не более 4 Ом, если мощность источника более 1000 кВА.

2. Определяют необходимое сопротивление искусственного заземлителя с учетом использования естественного заземлителя, включенного параллельно, из выражения

$$R_u = \frac{R_e R_z}{R_e - R_z}, \quad (32)$$

где R_z – допустимое сопротивление заземляющего устройства, Ом;

R_u – сопротивление искусственного заземлителя, Ом;

R_e – сопротивление естественного заземлителя, Ом.

3. Определяют расчетное удельное сопротивление грунта ρ_p для горизонтальных и вертикальных электродов с учетом повышающего коэффициента K_n , учитывающего высыхание грунта летом и промерзание его зимой по формулам:

$$\rho_{p,z} = \rho_{y\phi} K_{n,z}; \quad (33)$$

$$\rho_{p,\phi} = \rho_{y\phi} K_{n,\phi}, \quad (34)$$

где $\rho_{y\phi}$ – удельное сопротивление грунта, Ом · м;

$K_{n,z}$ и $K_{n,\phi}$ – повышающие коэффициенты для горизонтальных и вертикальных электродов соответственно.

4. Определяют сопротивление растеканию $R_{в.о}$ (Ом) одного вертикального электрода по выражению

$$R_{в.о} = \frac{\rho_{п.г}}{2\pi l} \left(\ln \frac{2l}{d} + \frac{1}{2} \ln \frac{4t+l}{4t-l} \right), \quad (35)$$

где l – длина стержня, м (обычно 3-5 м);

d – диаметр стержня, м (обычно 1,2-2,0 см);

t – глубина заложения, расстояние от поверхности почвы до середины стержневого заземлителя, м (0,8 м).

5. Определяют ориентировочное число вертикальных заземлителей при предварительно принятом коэффициенте использования $K_{и.в}$

$$N = \frac{R_{о.в.э}}{K_{и.в} R_u}, \quad (36)$$

где $R_{о.в.э}$ – сопротивление растеканию одного вертикального электрода, Ом, определенное в п. 4;

R_u – сопротивление искусственного заземлителя, Ом, найденное в п. 2;

$K_{и.в}$ – коэффициент использования заземлителя учитывает увеличение сопротивление заземлителя вследствие явления экранирования соседних электродов (прил. 13).

6. Определяют расчетное сопротивление растеканию горизонтальных электродов $R_{п.г.э}$ по формуле

$$R_{п.г.э} = \frac{R_{г.э}}{K_{и.г.э}}, \quad (37)$$

где $R_{г.э}$ – сопротивление растеканию горизонтальных электродов, Ом, определяемое по выражению $K_{и.г.э}$ (прил. 13).

$$R_{г.э} = \frac{\rho_{п.г}}{2\pi l} \ln \frac{2l^2}{bt}, \quad (38)$$

где l – длина полосы, м;

b – ширина полосы (полосы 40×4 на глубине 0,9 м), м;

t – глубина заложения полосы, м.

7. Уточняют необходимое сопротивление вертикальных электродов с учетом проводимости горизонтальных соединительных электродов

$$R_{6,э} = \frac{R_{p,э} R_u}{R_{p,э} - R_u}, \quad \text{Ом.} \quad (39)$$

8. Определяют число вертикальных электродов с учетом уточненного сопротивления вертикального заземлителя

$$N = \frac{R_{0,6,э}}{K_{u,6} R_{6,э}}. \quad (40)$$

9. Принимают окончательное число вертикальных электродов, намечают расположение заземлителей.

Пример. Дано: электроустановка на 220 кВ, грунт – глина, климатическая зона – 3.

Решение

1. По ПУЭ сопротивление не должно превышать 0,5 Ом.
2. По приложению 11 находим удельное сопротивление грунта. $\rho = 70 \text{ Ом}\cdot\text{м}$.
3. $\rho_{pe} = 70 \times 2 = 140 \text{ Ом}\cdot\text{м}$; $\rho_{pv} = 70 \times 1,4 = 98 \text{ Ом}\cdot\text{м}$.
4. Стержни длиной 5 м, диаметром 12 мм на глубину 0,8 м.

$$R_{60} = \frac{98}{2 \times 3,14 \times 5} \times \left(\ln \frac{2 \times 5}{0,012} + 0,5 \times \ln \frac{4 \times 0,8 + 5}{4 \times 0,8 - 5} \right) = 3,12 \times 9,730,26 \text{ Ом.}$$

$$5. N = 30,26 / (0,3 \times 0,5) = 202 \text{ шт.}$$

$$6. R_{э,э} = 140 / (2 \times 3,14 \times 120) \times \ln((2 \times 120^2) / (0,04 \times 0,9)) = 2,5 \text{ Ом.}$$

Считаем, что территория подстанции имеет размеры $30 \times 30 \text{ м}$, следовательно, периметр составит 120 м и длина горизонтально протянутой по контуру ленты тоже составит 120 м.

7. $R_{p,э} = 2,5 / 0,19 = 13,2 \text{ Ом}$.
8. $R_{6,э} = (13,2 \times 0,5) / (13,2 - 0,5) = 0,5 \text{ Ом}$.
9. $N = 30,26 / (0,33 \times 0,5) = 183 \text{ шт}$. Потребуется 183 шт. вертикальных электродов.

2.8 Выбор защиты от перенапряжений и грозозащиты

Для защиты изоляции электрооборудования от перенапряжения в настоящее время широко применяются защитные аппараты с оксидно-цинковыми элементами, получившие название ограничители перенапряжения нелинейные (ОПН). За рубежом подобные аппараты называются безыскровыми разрядниками. Отсутствие последовательных искровых промежутков позволяет значительно улучшить защитные характеристики аппарата и уменьшить его массогабаритные показатели.

ОПН представляет собой аппарат опорного типа и содержит высоконелинейный резистор, состоящий из последовательно соединенных в колонку дисков оксидно-цинковых варисторов производства лучших зарубежных фирм, помещенных в изоляционную оболочку. Ограничители исполнения УХЛ1 имеют взрывобезопасный чехол из комбинированной полимерной изоляции: стеклопластиковый цилиндр с оребренным покрытием из кремнийорганической резины.

Принцип работы ОПН заключается в следующем: в нормальном режиме через аппарат протекает незначительный ток (порядка долей мА), при появлении всплесков перенапряжений любой физической природы из-за нелинейной вольт-амперной характеристики ограничителя ток через него возрастает до значений от ампер до десятков килоампер, снижая уровень перенапряжения до заданных значений. Параметром для выбора ОПН служит $U_{ном}$.

Для защиты от перенапряжений необходимо подобрать ОПН с указанием его технических характеристик.

От прямых ударов молнии электроустановки защищаются стержневыми и тросовыми молниеотводами. Здания с хорошо заземленной металлической крышей не требуют защиты молниеотводами. В ОРУ 110 кВ и выше разрешается установка молниеотводов непосредственно на металлических конструкциях, присоединенных к заземляющему контуру подстанции, а в открытых распределительных устройствах 35 кВ рекомендуется установка отдельно стоящих молниеотводов, имеющих обособленное заземление. Каждый молниеотвод защищает вокруг себя строго определенное пространство (рис. 2.2), вероятность попадания в которое равна нулю.

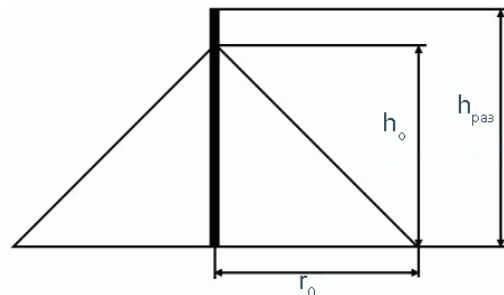


Рис. 2.2. Зона защиты молниеотвода

Высота зоны защиты молниеотвода (h_o) ниже высоты $h_{раз}$, вычисляется по формуле

$$h_o = 0,85 \times h_{раз}, \quad (41)$$

радиус границы защиты вычисляется

$$r_o = 1,2 \times h_{раз}, \quad (42)$$

где $h_{раз}$ – разница высот между высотой молниеотвода и самым высоким строением подстанции, м.

Принимаем $h_{раз}$ в пределах от 20 до 28 м.

Так как молниеотвод защищает круговой сектор поверхности, то необходимо рассчитать зону защиты одного молниеотвода.

РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Амерханов, Р. А. Проектирование систем энергообеспечения: учебник для студентов вузов по направлению «Агроинженерия» / под ред. Р. А. Амерханова. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Энергоатомиздат, 2010. – 548 с.
2. Лещинская, Т. Б. Электроснабжение сельского хозяйства. – М. : Колос, 2006. – 368 с.
3. Рожкова, Л. Д. Электрооборудование электрических станции и подстанций : учебник для студентов сред. проф. образования / Л. Д. Рожкова, Л. К. Карнеева, Т. В. Чиркова. – 6 изд. стер. – М. : Академия, 2009. – 448 с.
4. Ополева, Г. Н. Схемы и подстанции электроснабжения : справочник. – М. : ИД «Форум»6 ИНФРАМ, 2010. – 480 с.

Министерство сельского хозяйства Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего профессионального образования
«Самарская государственная сельскохозяйственная академия»

Кафедра «Электрификация и автоматизация АПК»

КУРСОВОЙ ПРОЕКТ

по дисциплине «Электрические станции и подстанции»

Тема: Расчет трансформаторной подстанции напряжением __/__/__кВ
и мощностью системы ____ МВА

Выполнил:

Студент __ курса

Группы __

Направления подготовки _____

Личный номер _____

(номер зачетной книжки)

(фамилия, имя, отчество студента полностью)

К защите допущен: _____ / _____ /
(подпись) (инициалы, фамилия)

Оценка _____ / _____
(цифрой и прописью) _____ / _____
_____ / _____
(подписи членов комиссии) (расшифровка подписи)

Самара 20__

Министерство сельского хозяйства Российской Федерации
федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего профессионального образования
«Самарская государственная сельскохозяйственная академия»

кафедра «Электрификация и автоматизация АПК»

ЗАДАНИЕ

на курсовой проект

по дисциплине: «Электрические станции и подстанции»

Студенту _____

Тема работы: Расчет трансформаторной подстанции напряжением
____/____/____ кВ и мощностью системы _____ МВА.

1.Сведения об энергосистеме:

U_c – напряжение системы на стороне высокого напряжения (ВН) подстанции, кВ;

S_c – мощность системы, МВт;

x_c – реактивное сопротивление системы в относительных единицах;

n_c – число линий связи с системой;

L_c – длина линии связи, км.

2.Сведения о нагрузке потребителей, присоединенных на стороне среднего и низшего напряжений (СН и НН) подстанции:

$U_{сн}$, $U_{нн}$ – уровни среднего и низшего напряжений подстанции, кВ;

$n \cdot P$ – число и мощности линий, МВт;

$K_{мп}$ – коэффициент несовпадения максимумов нагрузки потребителей;

$\cos \varphi$ – коэффициент мощности.

Исходные данные

ВН					СН				НН					
$U_{вв}$ кВ	S_c МВА	x_c	n_c	L_c	$U_{сн}$ кВ	$n \times p$ МВт	$K_{мпсн}$	$\cos \varphi$	$U_{нн}$ кВ	$n \times p$ МВт	$K_{мпсн}$	$\cos \varphi$	клим. зона	грунт

Задание выдано _____ 20__ г.

Руководитель _____ / _____ /

Пример оформления реферата

РЕФЕРАТ

Проект представлен пояснительной запиской и графической частью на листе формата А3. Пояснительная записка содержит 35 страниц машинописного текста, включает 13 таблиц, 6 рисунков и 8 наименований использованных источников.

Ключевые слова: ПОДСТАНЦИЯ, ТРАНСФОРМАТОР, ЗАЩИТА, КОРОТКОЕ ЗАМЫКАНИЕ, АППАРАТУРА.

Сокращения, используемы в тексте:

КЗ – короткое замыкание;

НН – низкое напряжение;

ВН – высокое напряжение;

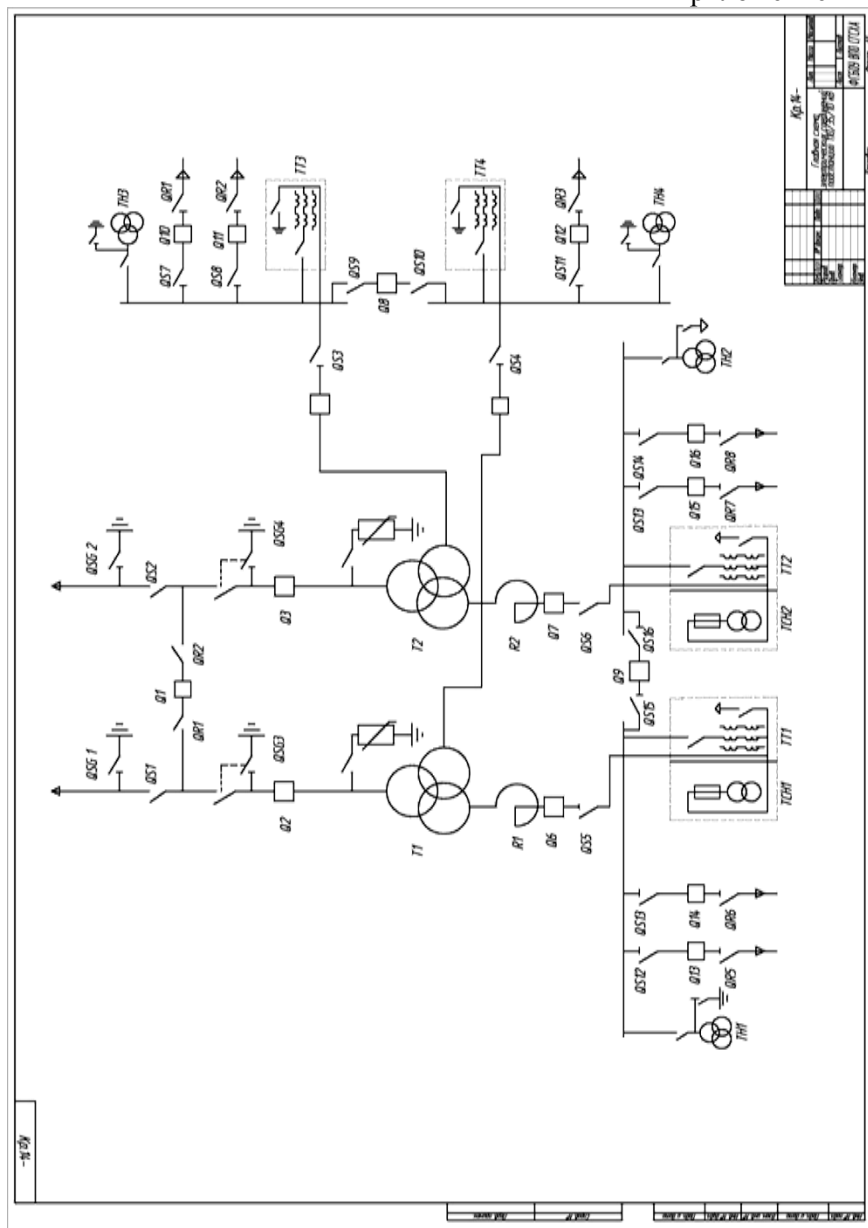
СН – среднее напряжение.

В проекте представлен расчет трансформаторной подстанции с выбором основного оборудования и аппаратуры защиты и управления. Выполнен расчет заземляющего устройства и выбор защиты от перенапряжений и грозозащиты.

Пример оформления оглавления

Оглавление

	стр.
Введение.....	2
Оглавление.....	3
Реферат.....	4
1	5
1.1	5
1.2	
.....	
2	
2.1	
.....	
Выводы.....	
Список используемой литературы и источников.....	
Приложения.....	



Лист		Зона	Лист	Обозначение	Наименование	Лист	Примечание
Сред. №	Лист			Q1..Q11,Q22,Q23,Q24	ВМТ-110Б/220 Б20	14	
				T1,T2	АТД ЦТН-125000/220	2	
				QS1,QS2	РДЗ-220-1000	2	
				LR1,LR2	РБДГ 10-2500-0,35	2	
				TT1,TT2	ТФЗМ 35-41	2	
				TT3,TT4	ТФЗМ 110-41	2	
				TH1,TH2	НО1.08	2	
				TH3,TH4	НПФ-110-58	2	
				TCH1,TCH2	ТМ-160	2	
				QS3...QS10	РДЗ-110-2000	8	
				QS11...QS22	РВРЗ-10-4000	11	
				Q11...Q17	ВМТ-110Б-20	7	
				Q18...Q28	ВКЗ-10-31,5	10	
				Лист			
Лист							
Лист							
Лист							
Лист							
Лист							
Лист							
Лист							
Лист							
Лист							
Лист							
Лист							
Лист							
Лист							
Лист							
Лист							
Лист							
Лист							
Лист							
Лист							
Лист							
Лист							
Лист							
Лист							
Лист							
Лист							
Лист							
Лист							
Лист							
Лист							
Лист							
Лист							
Лист							
Лист							
Лист							
Лист							
Лист							
Лист							
Лист							
Лист							
Лист							
Лист							
Лист							
Лист							
Лист							
Лист							
Лист							
Лист							
Лист							
Лист							
Лист							
Лист							
Лист							
Лист							
Лист							
Лист							
Лист							
Лист							
Лист							
Лист							
Лист							
Лист							
Лист							
Лист							
Лист							
Лист							
Лист							
Лист							
Лист							
Лист							
Лист							
Лист							
Лист							
Лист							
Лист							
Лист							
Лист							
Лист							
Лист							
Лист							
Лист							
Лист							
Лист							
Лист							
Лист							
Лист							
Лист							
Лист							
Лист							
Лист							
Лист							

Таблица П.6.1

Трехфазные двухобмоточные трансформаторы 35 кВ

Тип	$S_{\text{ном}}$, МВА	$U_{\text{ном}}$ ВН, кВ	$U_{\text{ном}}$ НН, кВ	u_k %
ТД-10000/35	10	35	6; 10	7,5
ТД-16000/35	16	35	6; 10	8,0
ТРДНС-25000/35	25	35	6; 10	9,5
ТРДНС-32000/35	32	35	6; 10	11,5
ТРДНС-40000/35	40	35	6; 10	11,5
ТРДНС-63000/35	63	35	6; 10	11,5

Таблица П.6.2

Трехфазные двухобмоточные трансформаторы 110 кВ

Тип	$S_{\text{ном}}$, МВА	$U_{\text{ном}}$ ВН, кВ	$U_{\text{ном}}$ НН, кВ	u_k %
ТДН-10000/110	10	110	6; 10	10,5
ТДН-16000/110	16	110	6; 10; 35	10,5
ТДН-25000/110	25	110	6; 10	10,5
ТД-40000/110	40	110	3; 6; 10	10,5
ТРДН-40000/110	40	110	6; 10	10,5
ТРДЦН-63000/110	63	110	6; 10	10,5
ТДЦ-80000/110	80	110	6; 10; 13	10,5
ТРДЦН-125000/110	125	110	10	10,5

Таблица П.6.3

Трехфазные трехобмоточные трансформаторы 110 кВ

Тип	$S_{\text{ном}}$, МВА	$U_{\text{ном}}$ ВН, кВ	$U_{\text{ном}}$ СН, кВ	$U_{\text{ном}}$ НН, кВ	u_k % ВН-СН	u_k % ВН-НН	u_k % СН-НН
ТДТН-10000/110	10	110	20; 35	6; 10	10,5	17	6
ТДТН-16000/110	16	110	20; 35	6; 10	10,5	17	6
ТДТН-25000/110	25	110	20; 35	6; 10	10,5	17,5	6,5
ТДТ-40000/110	40	110	20; 35	6; 10	10,5	17,5	6
ТДТН-63000/110	63	110	20; 35	6; 10	10,5	17,5	6,5
ТДТН-80000/110	80	110	35	6; 10	11	18,5	7

Окончание приложения 6

Таблица П.6.4

Трехфазные двухобмоточные трансформаторы 220 кВ

Тип	$S_{\text{ном}}$, МВА	$U_{\text{ном}}$ ВН, кВ	$U_{\text{ном}}$ НН, кВ	u_k %
ТРДН-40000/220	40	220	6; 10	12
ТРДЦН-63000/220	63	220	6; 10	12
ТДЦ-80000/220	80	220	6; 10	11
ТРДЦН-100000/220	100	220	10	12
ТДЦ-125000/220	125	220	10	11
ТРДЦН-160000/220	160	220	10; 35	12

Таблица П.6.5

Трехфазные трехобмоточные трансформаторы
и автотрансформаторы 220 кВ

Тип	$S_{\text{ном}}$, МВА	$U_{\text{ном}}$ ВН, кВ	$U_{\text{ном}}$ СН, кВ	$U_{\text{ном}}$ НН, кВ	u_k % ВН-СН	u_k % ВН-НН	u_k % СН-НН
ТДТН-25000/220	25	220	35	6; 10	12,5	20	6,5
ТДТН-40000/220	40	220	35	6; 10	12,5	22	9,5
АТДЦТН-63000/220	63	220	110; 35	10; 6	11	35,7	21,9
АТДЦТН-125000/220	125	220	110	10; 6; 35	11	31	19

Приложение 7

Технические характеристики трансформаторов ТМ
мощностью 16-630 кВА

Тип трансформатора и мощность, кВА	Напряжения, кВ		Потери, Вт		Напряжение короткого замыкания, %
	ВН	НН	Холостого хода	Короткого замыкания	
ТМ-16	6-10	0.4	100	460	4.0
ТМ-25			120	600	
ТМ-40			160	880	
ТМ-63			230	1200	
ТМ-100			320	1970	
ТМ-160			460	2650	
ТМ-250			650	3100	
ТМ-400			830	5500	
ТМ-630			1050	7600	

Схемы первичных соединений камер К-63

Схема главных цепей								
Номер схемы	01, 02*	03, 04*	05	06, 07*	08, 09*			
Назначение	Ввод или отходящая линия		Ввод		В или ОЛ			
Номинальный ток, А	630; 1000; 1600		630	1600	630 — 1600			
Схема главных цепей								
Номер схемы	10, 11*	13	14	15, 16**	17	18	19	
Назначение	В или ОЛ		630 — 1600		630			
Номинальный ток, А	630-1600		КС	ТСН	СЕКЦ	к ТСН***	к ТСН свыше 250 кВ·А	
Схема главных цепей								
Номер схемы	22	23	24, 25	26	27	31		
Назначение	ТН		ТН и РВО (24) или ОПН (25)	ТН	СЕКЦ			
Номинальный ток, А			630 — 3150	630 — 1600				
Схема главных цепей								
Номер схемы	28	38	39	40	41	42	46	47, 48**
Назначение	СЕКЦ	Ввод		к ТСН до 630 кВ·А		Ввод	ТН	
Номинальный ток, А	630 — 1600		80		630 — 1600			

Схема главных цепей							
Номер схемы	49, 50**	51, 52**	53	54	55	56, 57*	
Назначение	Ввод	В или ОЛ	СЕКЦ	ТН	ТН	В или ОЛ	
Номинальный ток, А		630 — 1600			630 — 3150	630 — 1600	
Назначение отпаек	ТН					ТН, ТСН	
Схема главных цепей							
Номер схемы	62	63, 64**	71	86	87	88	89
Назначение	СЕКЦ		ТН	ТСКС 40/10		К ТСН 250 кВ·А	ТН НОЛ 0,8
Номинальный ток, А	630 — 1600						
Схема главных цепей							
Номер схемы	69, 70*	73, 74*	75, 76*	77, 78**	92		
Назначение	В или ОЛ		Ввод		Ввод на 2600 А		
Номинальный ток, А			630; 1000; 1600		1600		
Назначение отпаек			ТН, ТСН		ТН		
Схема главных цепей							
Номер схемы	123	127	138, 139**	140			
Назначение	Секционирование						
Номинальный ток, А	1600						

Технические данные одинарных бетонных реакторов

Реактор	Номинальное индуктивное сопротивление, Ом	Длительно допустимый ток, А	Ток электродинамической стойкости, кА
РБ, РБУ,РБГ 10–400–0,35	0,35	400	25
РБ, РБУ,РБГ 10–400–0,45	0,45	400	25
РБ, РБУ,РБГ 10–630–0,25	0,25	630	40
РБ, РБУ,РБГ 10–630–0,40	0,4	630	33
РБ, РБУ,РБГ 10–630–0,56	0,56	630	24
РБ, РБУ,РБГ 10–1000–0,14	0,14	1000	63
РБ, РБУ,РБГ 10–1000–0,22	0,22	1000	49
РБ, РБУ,РБГ 10–1000–0,28	0,28	1000	45
РБ, РБУ,РБГ 10–1000–0,35	0,35	1000	37
РБ, РБУ,РБГ 10–1000–0,45	0,45	1000	29
РБ, РБУ,РБГ 10–1000–0,56	0,56	1000	24
РБ, РБУ,РБГ 10–1600–0,14	0,14	1600	79
РБ, РБУ,РБГ 10–1600–0,20	0,2	1600	60
РБ, РБУ,РБГ 10–1600–0,25	0,25	1600	49
РБ, РБУ,РБГ 10–1600–0,35	0,35	1600	37
РБД, РБДУ 10–2500–0,14	0,14	2500	66
РБГ 10–2500–0,14	0,14	2500	79
РБД, РБДУ 10–2500–0,20	0,2	2500	52
РБГ 10–2500–0,20	0,2	2500	60
РБДГ 10–2500–0,25	0,25	2500	49
РБДГ 10–2500–0,35	0,35	2500	37
РБДГ 10–4000–0,105	0,105	4000	97
РБДГ 10–4000–0,18	0,18	4000	65

Выключатели

Тип	Номинальное напряжение $U_{ном}$, кВ	Номинальный ток $I_{ном}$, А	Номинальный ток отключения $I_{откл\ ном}$, кА	Содержание апериодической составляющей $\beta_{в}$, %	Параметры сквозного тока КЗ, кА		Ток термической стойкости $I_{тер}$	Время протекания тока терм. стойкости, $t_{тер}$, с	Полное время отключения $t_{откл}$, с	Собственное время отключения t_c , с
					Ток электродинамической стойкости					
					$i_{дин}$	$I_{дин}$				
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Масляные баковые										
С-35М-630-10У1	35	630	10	—	26	10	10	4	0,08/ 0,15	0,05/ 0,12
С-35-3200-2000-50У1	35	3200, 2000	50	—	127	50	50	4	0,08	0,055
МКП-35-1000-25	35	1000	25	—	64	25	25	4	0,08	0,05
МКП-11 ОМ-1000-20	110	1000	20	—	52	20	20	3	0,08	0,04
У – ИО-2000-40У1	110	2000	40	20	102	40	40	3	0,08	0,06
У-110-2000-50У1	110	2000	50	30	135	50	50	3	0,08	0,05
У-220-2000-40У1	220	2000	40	30	105	40	40	3	0,08	0,045

Воздушные

ВВГ-20-160	20	12500, 20000	160	—	410	160	160	4	0,14	0,12
ВВУ-35-40	35	2000, 3200	40	—	100	40	40	3	0,07	0,05
ВВБК-110Б-50	110	3150	50	35	128*	50	56	3	0,06	0,045
ВВБК-220Б-56	220	3150	56	47	143	56	56	3	0,04	0,025
ВВБК-3 30Б-40	330	3200	40	45	128	50	50	2	0,04	0,025
ВВБК-500-50	500	3200	50	45	128	50	50	2	0,04	0,025
ВВ-330, 500Б-31,5	330, 500	2000	31,5	20	80	31,5	31,5	3	0,08	0,055
ВНВ-220-63	220	3150	63	—	162	63	63	3	0,04	0,025
ВНВ-330/500/750-40	330, 500, 750	3150, 4000	40	—	102	40	40	3	0,04	0,025
ВНВ-330/500/750-63	330,50 0, 750	3150, 4000	63	—	162	63	63	3	0,04	0,025

Окончание приложения 10

Маломасляные

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
ВММ-1Q-10	10	200-630	10		25	10	10	4	0,12	0,09
ВПМ-10-20	10	630, 1000	20		52	20	20	4	0,12	0,09
ВМП, ВМПЭ-20	10	630, 1000	20	—	52	20	20	4	0,12	0,09
ВМПП, ВМПЭ-31,5	10	630-3200	31,5	—	80	31,5	31,5	4	0,12	0,09
ВК-10-20	10	630-1600	20		52	20	20	3	0,07	0,05
ВКЭ-10-31,5, ВК-10-31,5	10	630-3150	31,5		80	31,5	31,5	3	0,095	0,07
МГТ-10-45	10	3200-5000	45		120	45	45	4	0,16	0,12
МГТ-10-63	10	5000	63	—	150	64	64	4	0,13	0,1
МГУ-20-90	20	6300	90	—	300	105	87	4	0,2	0,15
ВГМ-20-90	20	11200	90		320	125	105	4	0,2	0,15
ВМУЭ-35Б-25	35	1000	25		64	25	25	4	0,075	0,05
ВМТ-110Б/220Б0	110, 220	1000	20	25	52	20	20	3	0,08	0,05
ВМТ-110Б/220Б0	110, 220	1250	25	36	65	25	25	3	0,06	0,035

Электромагнитные

ВЭ-10-20	10	1250-3600	20	—	51	20	20	4	0,75	0,06
ВЭ-10-31,5	10	1250-3600	31,5	—	80	31,5	31,5	4	0,75	0,06
ВЭ-10-40	10	1600-3150	40	.	100	40	40	3	0,08	0,06
ВЭМ-6-40	6	2000	40	—	125	40	40	4	0,08	0,06
ВЭМ-6-20	6	1000	20	—	52	20	20	4	0,06	0,05

Вакуумные

ВНВП-10/320	10	320	2	—	40	16	20	0,3	0,05	0,035
ЗВТЭ-10/630	10	630	10	60	25	10	10	3	0,05	0,03
ЗВТП-10/630-1600	10	1600	20	50	52	20	20	3	0,05	0,03
ЗВК-35Б-20	35	1000	20	—	51	—	—	—	0,07	—
ЗВК-110 Б-20	110	1000	20	—	51	—	—	—	0,07	—

Приложение 11
Таблица П.11.1

Разъединители

Тип	Номинальное напряжение, кВ	Номинальный ток, А	Амплитуда предельного сквозного тока кЗ, кА	Предельный ток терми- ческой стойкости / до- пустим. время, кА/с		Тип привода
				главных ножей	заземляю- щих ножей	
Для внутренней установки						
РВ, РВФ,	6	400	41	16/4		ПР-10, ПР-11
РВФЗ		630	52	20/4	20/1	
		1000	100	40/4	31,5/1	
РВ, РВО, РВЗ	10	400	41	16/4	16/1	ПР-10, ПР-11
РВФ, РВФЗ		630	52	20/4	20/1	
		1000	100	40/4	31,5/1	
РВР, РВРЗ	10	2000	85	31,5/4	31,5/1	ПЧ-50, ПДВ-1
		2500	125	45/4	45/1	
		4000	180	71/4	71/1	
РВ, РВЗ	20	6300	220	80/4	—	ПЧ-50, ПДВ-1
		8000	300	120/4	—	
РВК	10	2000	85	31,5/4	—	ПР-3, ПЧ-50,
	35	2000	115	45/4	—	ПДВ-1
РВП, РВПЗ	20	12500	490	180/4	100/1	ПД-12УЗ
РВ, РВЗ	20	630	50	20/4	20/1	ПР-3
		1000	55	20/4	20/1	
РВ, РВЗ	35	630	51	20/4	20/1	ПР-3
		1000	80	31,5/4	31,5/1	
Для наружной установки						
РДЗ	35	1000	63	25/4	25/1	ПР-У1, ПР-
		2000	80	31,5/4	31,5/1	ПД-1У1
		3200	125	50/4	50/1	
	110	1000	80	31,5/3	31,5/4	
		2000	100 '	40/3	40/1	
		3200	525	50/3	50/1	
	220	1000	100	40/3	40/1	
		2000	100	40/3	40/1	
		3200	125	50/3	50/1	
РНД, РНДЗ	330	3200	160	63/2	63/1	ПДН-1У1
РНВ, РНВЗ	500	2000	45	16/2	16/2	ПД, ПРН
	750	4000	160	63/2	—	
РП, РПД	330	3200	160	63/2	—	ПД-2У1
	500	3200	160	63/2	—	
ЗР-10УЗ	10	—	235	90/1	—	ПЧ-50
ЗР-23УЗ	24	—	235	90/1	—	
ЗР-35УЗ	35	—	235	90/1	—	

Окончание приложения 11
Таблица П.11.2

Короткозамыкатели

Тип	Номинальное напряжение, кВ	Амплитуда предельного сквозного тока КЗ, кА	Предельный ток термической стойкости/ время, кА/с	Полное время включения, с	Привод
КЭ–35У	35	42	12,5/3	0,12	ПРК–1У1
КЗ–110У	110	42	12,5/3	0,12	ПРК–1У1
КЗ–220	220	51	20,0/3	0,25	ПРК–1У1
КЭ–110*	100	70	27,5/3	0,15	ППК
КЭ–220*	220	70	27,5/3	0,15	ППК

Таблица П.11.3

Отделители

Тип	Номинальное напряжение кВ,	Номинальный ток, А	Амплитуда предельного сквозного тока главных ножей, кА	Предельный ток Термической стойкости/время, кА/с	Полное время отключения, с	Привод
ОД–35/630	35	630	80	12,5/3	0,5	ПРО–1У1
ОД–110/1000	110	1000	80	31,5/3	0,38	ПРО–1У1
ОДЗ–110/1000	110	1000	80	31,5/3	0,38	ПРО–1 У1
ОД–220/1000	220	1000	80	31,5/3	0,5	ПРО–1У1
ОЭ–110/1000*	110	1000	70	27,5/3	0,15	ППО
ОЗ–220/1000*	220	1000	70	27,5/3	0,15	ППО

Приложение 12
Таблица П.12.1

Трансформаторы тока

Тип	U _{ном} , кВ	Номинальный ток, кА		Варианты исполнения по вторичным обмоткам	Ток стойкости, кА		Время t _{тер} , с	Нагрузка измерительной обмотки S _{2ном} , ВА
		первичный	вторичный		электродинамической	термической		
ТФЭМ35–У1	35	15–600	5	0,5/ 10Р	3–127	0,7–31	3	30
		800			107	31		
		1000			134	37		
		1500			106	41		
		2000			141	55		
ТФЗМ110–У1	110	50–600	5	0,5/10Р/10Р	10–126	2–26	3	30
		400–800			62–124	14–28		
		750–1500			79–158	26–52		
		1000–2000			106–212	34–68		
ТФЗМ150–У1	150	600–1200	1; 5	0,5/10Р/10Р/10Р	52–104	14–28	3	40
		1000–2000			113–226	41,6–83		30
ТФЗМ220–У1	220	300–600	1; 5	0,5/10Р/10Р/10Р	25–50	9,8–19,6	3	30
		1000–1200			100	39,2		
		2000			100	39,2		
ТФУМ330–У1	330	1000–2000	1	0,5/10Р/10Р/10Р	160	63	1	30
		1500–3000						
		2000–4000						
ТФЗМ500–У1	500	500 1000/2000	1	0,5/10Р/10Р/10Р	90 180/180	34 68	1	30
ТФРМ500–У1	500	1000–2000	1	0,5/10Р/10Р/10Р	120	47	1	40
		1500–3000						
		2000–4000						
ТФРМ750–У1	750	1000–2000 1500–3000 2000–4000	1	0,5/10Р/10Р/10Р/10Р	120	47	1	40

Таблица П.12.2

Трансформаторы напряжения

Тип	Номинальное напряжение обмотки			Номинальная мощность, ВА, в классе точности				Максимальная мощность, ВА
	первичной, кВ	основной вторичной, В	дополни- тельной, В	0,2	0,5	1	3	
НОЛ.08	6	100		30	50	75	200	400
	10	100	—	50	75	150	300	630
НОМ–10–66	10	100	–	–	75	150	300	630
ЗНОЛ.09	3/√3	100/√3	100:3	15	30	50	150	250
	6/√3		или 100	30	50	75	200	400
	10/√3			50	75	150	300	630
ЗНОЛ.06	6/√3	100/√3	100: 3	30	50	75	200	400
	10/√3		или 100	50	75	150	300	630
	15/√3			50	75	150	300	630

Приложение 13

Таблица П.13.1

Средние удельные сопротивления грунтов

Грунт	Уд. сопротивление, Ом·м
Глина (слой 7-10 м, далее скала, гравий)	70
Глина каменная (слой 1-3 м, далее гравий)	100
Земля садовая	50
Лёсс	250
Мергель	2000
Песок	500
Песок крупнозернистый с валунами	1000
Скала	4000
Суглинок	100
Супесь	300
Торф	20
Чернозем	30

Таблица П.13.2

Значение повышающего коэффициента k для различных климатических зон

Данные, характеризующие климатические зоны и тип применяемых электродов	Климатические зоны			
	1	2	3	4
Климатические признаки зон				
Средняя многолетняя низшая температура (январь), °С	От -20 до -15	От -14 до -10	От -10 до 0	От 0 до +5
Средняя многолетняя высшая температура (июль), °С	От +16 до +18	От +18 до +22	От +22 до +24	От +24 до +26
Среднегодовое количество осадков, см	40	50	50	30-50
Продолжительность заморозания воды, дни	190-170	150	100	0
Значение коэффициента K_n				
при применении стержневых электродов длиной 2-3 м и при глубине заложения их вершины 0,5-0,8 м	1,8-2	1,5-1,8	1,4-1,6	1,2-1,4
при применении протяженных электродов и при глубине заложения 0,8 м	4,5-7,0	3,5-4,5	2,0-2,5	1,5-2,0

Коэффициенты использования вертикальных электродов

Отношение расстояния между вертикальными электродами к их длине a/l	Число вертикальных электродов в ряду при расположении		$K_{и}, в$	
	в ряду	по контуру	в ряд	по контуру
1	2	4	0,84–0,87	0,66–0,72
	3	6	0,76–0,8	0,58–0,65
	5	10	0,67–0,72	0,52–0,58
	10	20	0,56–0,62	0,44–0,5
	15	40	0,51–0,56	0,38–0,44
	20	60	0,47–0,5	0,36–0,42
	–	100	–	0,33–0,39
2	2	4	0,9–0,92	0,76–0,8
	3	6	0,85–0,88	0,71–0,75
	5	10	0,79–0,83	0,66–0,71
	10	20	0,72–0,77	0,61–0,66
	15	40	0,66–0,73	0,55–0,61
	20	60	0,65–0,7	0,52–0,58
	–	100	–	0,49–0,55
3	2	4	0,93–0,95	0,84–0,86
	3	6	0,9–0,92	0,78–0,82
	5	10	0,85–0,88	0,74–0,78
	10	20	0,79–0,83	0,68–0,73
	15	40	0,76–0,8	0,64–0,69
	20	60	0,74–0,79	0,62–0,67
	–	100	–	0,59–0,65

Таблица П.13.4

Коэффициенты использования горизонтальных электродов

Отношение расстояния между вертикальными электродами к их длине a/l	Коэффициент использования $K_{и}, \varepsilon$ при числе вертикальных электродов в ряду и при расположении их в ряд							
	4	5	6	10	20	30	50	65
1	0,77	0,74	0,67	0,62	0,42	0,31	0,21	0,2
2	0,89	0,86	0,79	0,75	0,56	0,46	0,36	0,34
3	0,92	0,9	0,85	0,82	0,68	0,58	0,49	0,47

Учебное издание

Нугманов Сергей Семёнович

Электрические станции и подстанции

**Методические указания
для выполнения курсового проекта**

Отпечатано с готового оригинал-макета
Подписано в печать 29.04.2015. Формат 60×84 1/16
Усл. печ. л. 3,26, печ. л. 3,50.
Тираж 30. Заказ №121.

Редакционно-издательский центр ФГБОУ ВПО Самарской ГСХА
446442, Самарская область, п.г.т. Усть-Кинельский, ул. Учебная 2
Тел.: (84663) 46-2-47
Факс 46-6-70
E-mail: ssaariz@mail.ru



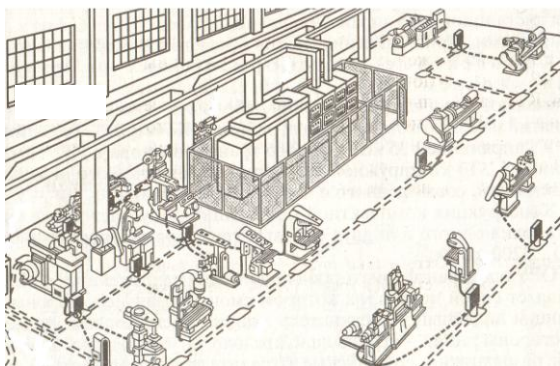
Министерство сельского хозяйства
Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего
профессионального образования
«Самарская государственная
сельскохозяйственная академия»

Кафедра «Электрификация
и автоматизация АПК»

М. А. Кузнецов

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

**Методические указания для выполнения
курсового проекта**



Кинель
РИЦ СГСХА
2014

УДК 631.371(07)
ББК-40.76(07)
К-75

Кузнецов, М.А.

К-75 Проектирование электротехнических процессов : методические указания для выполнения курсового проекта /
М. А. Кузнецов. – Кинель : РИЦ СГСХА, 2014. – 30 с.

Методические указания разработаны на основании требований государственного образовательного стандарта ВПО; содержат теоретический материал и рекомендации по выполнению курсового проекта по дисциплине «Проектирование электротехнических процессов».

Учебное издание предназначено для студентов, обучающихся по направлению подготовки 110800 «Агроинженерия».

© Кузнецов М.А., 2014
© ФГБОУ ВПО Самарская ГСХА, 2014

Оглавление

Предисловие.....	4
Структура курсовой работы и правила оформления.....	5
Проектирование электротехнических процессов.....	6
1 Расчет электрических нагрузок.....	8
2 Выбор числа и мощности силовых трансформаторов.....	17
3 Комплектация силового электрооборудования напряжением до 1 кВ.....	18
3.1 Расчет комплектных шинопроводов.....	18
3.2 Комплектация силовых распределительных пунктов.....	20
4 Расчет сечений силовых линий.....	20
4.1 Расчет сечений по допустимому нагреву.....	21
5 Комплектация защитной аппаратуры.....	22
Список предлагаемых тем курсовых проектов.....	23
Критерии оценки курсового проекта.....	24
Рекомендуемая литература.....	25
Приложения	26

Предисловие

Заключительным циклом изучения общепрофессиональных дисциплин в вузе является курсовое проектирование. Цель курсового проектирования – систематизация, закрепление и расширение творческих знаний студента, развитие навыков расчета, конструирования и выполнения графических работ.

Тематика курсового проекта имеет вид комплексной инженерной задачи проектирования силовой электрической схемы и выполнения конструкторской документации.

Процесс изучения дисциплины «Проектирование электротехнических процессов» направлен на формирование и развитие следующих общекультурных и профессиональных компетенций (в соответствии с ФГОС ВПО и требованиями к результатам освоения ООП):

- готовность к использованию технических средств автоматизации и систем автоматизации технологических процессов (ПК – 9);
- способность использовать современные методы монтажа, наладки машин и установок, поддержания режимов работы электрифицированных и автоматизированных технологических процессов, непосредственно связанных с биологическими объектами (ПК – 13);
- способность анализировать технологический процесс как объект контроля и управления (ПК – 16);
- готовность к участию в проектировании технических средств и технологических процессов производства, систем электрификации и автоматизации сельскохозяйственных объектов (ПК – 23);

Цель данных методических указаний – помочь студентам в выполнении разделов курсового проекта.

Структура курсовой работы и правила оформления

Курсовой проект состоит из пояснительной записки и графической части.

Пояснительная записка

1. Титульный лист (прил. 1);
2. Задание на курсовую работу (прил. 2);
3. Реферат (прил. 3);
4. Оглавление (прил. 4);
5. Введение;
6. Основная часть:
 - характеристика электроприемников;
 - характеристика помещений;
 - определение категории надежности;
 - определение расчетных нагрузок, выбор трансформатора и компенсирующего устройства;
 - выбор питающих кабелей и аппаратов защиты;
7. Выводы и предложения;
8. Список использованной литературы и источников;
9. Приложения.

В работе возможны дополнительные разделы уточняющие проектные расчеты.

Рекомендуемый объем работы 20-30 страниц, напечатанных на стандартном листе писчей бумаги формата А4.

Текст основной части расчетно-пояснительной записки содержит сплошной текст, формулы, расчеты, таблицы, иллюстрационный материал (рисунки, схемы, диаграммы). Каждый раздел начинают с нового листа. Номер подраздела состоит из номера раздела и подраздела, разделенных точкой. В конце номера подраздела точка не ставится. Разделы и подразделы должны иметь заголовки, которые следует писать с прописной буквы. Листы записки имеют сквозную нумерацию. Текст оформляют с соблюдением следующих размеров полей: левое – 30 мм, правое – 10 мм, верхнее – 15 мм, нижнее – 20 мм. Размер шрифта 14 Times New Roman, межстрочный интервал – полуторный; отступ красной строки – 1,25; выравнивание текста – по ширине.

Проектирование электротехнических процессов

При проектировании производственных электротехнических процессов необходимо учитывать некоторые характеристики силовых электроприемников (ЭП): режим работы, коэффициент мощности, количество фаз, род тока. В связи с этим ниже приводятся характеристики отдельных групп силовых ЭП.

Для всех электроприемников основным показателем является их номинальная мощность. Для электродвигателей: однодвигательных ЭП – p_n , кВт; многодвигательных – суммарная номинальная мощность – P_n , кВт. Номинальной мощностью плавильных электро-печей и сварочных установок является мощность питающих их трансформаторов, выраженная в киловольт-амперах (кВА). Это же относится и к трансформаторам преобразовательных и выпрямительных агрегатов.

В установках, не требующих регулирования скорости в процессе работы, применяются электродвигатели переменного тока: асинхронные с короткозамкнутым или с фазным ротором, синхронные. При напряжении до 1 кВ и мощности до 100 кВт экономически целесообразно применять асинхронные двигатели, а свыше 100 кВт – синхронные; при напряжении 10 кВ и мощности до 630 кВт – асинхронные двигатели, 450 кВт и выше – синхронные. Асинхронные двигатели с фазным ротором применяются в мощных электроприводах с тяжелыми условиями пуска.

К общепромышленным ЭП относятся вентиляторы, насосы, компрессоры, воздуходувки и т. д. В них применяются асинхронные и синхронные двигатели трехфазного переменного тока частотой 50 Гц напряжением от 380 В до 10 кВ. Диапазон их мощностей – от долей киловатта (электродвигатели задвижек, затворов, насосов подачи смазки) до десятков мегаватт (воздуходувки доменных печей, кислородные турбокомпрессоры). Основным агрегатам (насосы, вентиляторы), как правило, присущ продолжительный режим работы. Электродвигатели задвижек, затворов и т.п. работают в кратковременном режиме. Их коэффициент мощности находится в пределах 0,8–0,85. Синхронные двигатели работают в режиме перевозбуждения.

Данная группа ЭП относится, как правило, к первой категории по надежности электроснабжения. Некоторые

вентиляционные и компрессорные установки относятся ко II категории.

Наиболее многочисленной группой ЭП являются металлорежущие станки. Напряжение сети, питающей двигателя станков, 380 или 660 В, частота 50 Гц. На станках, где требуется регулирование скорости, применяют двигатели постоянного тока; в остальных случаях – асинхронные с короткозамкнутым ротором. По надежности электрообеспечения станки основных цехов предприятий относят ко второй категории, а вспомогательных цехов – к третьей категории по надежности электрообеспечения.

К электротехнологическим установкам относятся электронагревательные и электролизные установки, установки электрохимической, электроискровой и ультразвуковой обработки металлов, электросварочное оборудование. Наиболее часто распространенной группой электронагревательных установок являются электрические печи сопротивления, которые подразделяются на печи косвенного нагрева и печи прямого нагрева.

Печи сопротивления получают питание от трехфазных сетей переменного тока частотой 50 Гц, в основном напряжением 380/220 В или более высокое напряжение через понижающие трансформаторы. Изготавливаются печи в одно- и трехфазном исполнении, мощностью до нескольких тысяч киловатт. Тип нагрузки их ровный, однако, однофазные печи для трехфазных сетей представляют несимметричную нагрузку. Коэффициент мощности для печей прямого действия 0,7-0,9, для печей косвенного действия – 1,0. Печи сопротивления относятся ко второй категории по надежности электрообеспечения.

Электросварочное оборудование питается напряжением 380 или 220 В переменного тока частоты 50 герц.

Для дуговой сварки на переменном токе применяют сварочные трансформаторы однофазного и трехфазного исполнения. Источником постоянного тока при сварке служат преобразователи.

Для автоматической дуговой сварки под слоем флюса или в защитном газе используют как трансформаторы, так и преобразователи трехфазного исполнения на напряжение 380 В.

Сварочные агрегаты для контактной сварки имеют однофазное исполнение.

Электросварочное оборудование работает в повторно-кратковременном(ПВ) режиме работы. Однофазные сварочные приемники (трансформаторы и другие установки) дают неравномерную нагрузку по фазам трехфазной питающей сети. Коэффициент их мощности колеблется в пределах 0,3-0,7. Сварочные установки по степени надежности относятся ко второй категории.

Электропривод подъемно-транспортных устройств имеет повторно-кратковременный(ПВ) режим работы и относится ко второй категории по надежности электрообеспечения. На кран-балках и тельферах установлены двигатели с короткозамкнутым ротором, а на мостовых кранах – двигатели с фазным ротором.

1 Расчет электрических нагрузок

До расчета электрической нагрузки следует привести характеристики электроприемников(ЭП) согласно таблице 1.

Все расчетные значения по данному разделу сводятся в сводную таблицу 5.

Таблица 1

Характеристики электроприемников

Обозначение ЭП на плане	Наименование электроприем- ников	Номи- нальная мощность P_n , кВт, S_n , кВА	$\cos(\varphi)$	Номи- наль- ный ток, I_n , А	Коэффициент исполь- зования, K_n
1	2	3	4	6	7

Номинальные токи электроприемников берутся из паспортных данных или определяются по формулам:

1) для трехфазных электродвигателей

$$I_n = \frac{P_n \cdot 10^3}{\sqrt{3} U_n \cos \varphi \eta}, \text{ А}; \quad (1)$$

2) для многодвигательного электропривода трехфазного исполнения

$$I_n = \frac{\sum P_n \cdot 10^3}{\sqrt{3} U_n \cos \varphi \eta}, \text{ А}, \quad (2)$$

где $\sum P_n$ – суммарная номинальная мощность ЭП многодвигательного привода, кВт; $\cos\varphi$ и η – коэффициент мощности и КПД наиболее мощного ЭП данного привода;

3) для трехфазной электрической печи, сварочного трансформатора

$$I_n = \frac{S_n \cdot 10^3}{\sqrt{3}U_n}, \text{ A}; \quad (3)$$

4) для однофазных электродвигателей на фазное напряжение (U_ϕ)

$$I_n = \frac{P_n \cdot 10^3}{U_\phi \cos\varphi \eta}, \text{ A}; \quad (4)$$

5) для однофазных электродвигателей, подключаемых на линейное напряжение и являющихся нагрузкой двух фаз

$$I_n = \frac{P_n \cdot 10^3}{2U_\phi \cos\varphi \eta} = \frac{\sqrt{3}P_n \cdot 10^3}{2U_n \cos\varphi \eta}, \text{ A}; \quad (5)$$

6) для однофазных электрических печей, сварочных трансформаторов на фазное напряжение

$$I_n = \frac{S_n \cdot 10^3}{U_\phi}, \text{ A}; \quad (6)$$

7) для однофазных электрических печей, сварочных трансформаторов на линейное напряжение

$$I_n = \frac{\sqrt{3}S_n \cdot 10^3}{2U_n}, \text{ A}; \quad (7)$$

8) для остальных трехфазных ЭП

$$I_n = \frac{P_n \cdot 10^3}{\sqrt{3}U_n \cos\varphi}, \text{ A}; \quad (8)$$

9) для остальных однофазных ЭП на фазное напряжение

$$I_{\text{н}} = \frac{P_{\text{н}} \cdot 10^3}{U_{\text{ф}} \cos \varphi}, \text{ A}; \quad (9)$$

10) для остальных однофазных ЭП на линейное напряжение

$$I_{\text{н}} = \frac{\sqrt{3} P_{\text{н}} \cdot 10^3}{2 U_{\text{н}} \cos \varphi}, \text{ A}. \quad (10)$$

Во всех формулах: $P_{\text{н}}$, $S_{\text{н}}$ – номинальная мощность ЭП ($P_{\text{н}}$ – в кВт, $S_{\text{н}}$ – в кВА).

Расчет электрических нагрузок и любого силового узла системы (силового распределительного пункта, распределительного или магистрального шинопровода, секции шин) необходимо произвести по методу коэффициента расчетной активной мощности ($K_{\text{р}}$). Расчетная активная мощность ($P_{\text{р}}$) – это мощность, соответствующая такой неизменной токовой нагрузке ($I_{\text{р}}$), которая эквивалентна фактической изменяющейся во времени нагрузке по наибольшему возможному тепловому воздействию на элемент системы. Для многодвигательных приводов учитываются все одновременно работающие электродвигатели данного привода. Если среди этих электродвигателей имеются одновременно включаемые (с идентичным режимом работы), то они учитываются в расчете как один ЭП с номинальной мощностью, равной сумме номинальных мощностей одновременно работающих двигателей.

Для каждой характерной группы ЭП определяются средние активная ($P_{\text{с}}$) и реактивная ($Q_{\text{с}}$) мощности по формулам:

$$P_{\text{с}} = K_{\text{и}} P_{\text{н}}, \text{ кВт}, \quad (11)$$

$$Q_{\text{с}} = K_{\text{и}} P_{\text{н}} \operatorname{tg} \varphi, \text{ квар}. \quad (12)$$

Коэффициент расчетной активной мощности зависит от значения группового коэффициента использования ($K_{\text{игр.}}$), эффективного числа ЭП ($n_{\text{э}}$) и постоянной времени нагрева (T_0).

Групповой коэффициент использования узла питания определяется по формуле:

$$K_{\text{н гр.}} = \frac{\sum K_{\text{н}} P_{\text{н}}}{\sum P_{\text{н}}} \quad (13)$$

Эффективное число ЭП рассчитывается по формуле:

$$n_{\text{э}} = \left(\sum_{i=1}^n p_{\text{н}i} \right)^2 / \sum_{i=1}^n n p_{\text{н}i}^2, \quad (14)$$

где $n_{\text{э}}$ – число однородных по режиму работы электроприемников одинаковой мощности, которое дает то же значение расчетного максимума ($P_{\text{р}}$), что и группа из реального числа электроприемников (n), различных по мощности и режиму работы;

$\sum_{i=1}^n p_{\text{н}i}$ – суммарная установленная мощность ЭП узла

питания, кВт; $p_{\text{н}i}$ – номинальная (установленная) мощность i -го ЭП, кВт.

При большом числе электроприемников допускается определять эффективное их число по упрощенной формуле:

$$n_{\text{э}} = 2 \left(\sum_{i=1}^n p_{\text{н}i} \right) / p_{\text{н max}}, \quad (15)$$

где $p_{\text{н max}}$ – номинальная мощность наиболее мощного ЭП системы.

Найденное $n_{\text{э}}$ округляется до ближайшего меньшего целого числа. Постоянные времени нагрева принимаются следующие:

– $T_0 = 10$ мин – для сетей напряжением до 1 кВ, питающих распределительные пункты и шинопроводы, щиты. Значения $K_{\text{р}}$ для этих сетей в зависимости от $K_{\text{н гр.}}$ и $n_{\text{э}}$ принимаются по таблице 2;

– $T_0 = 2,5$ ч – для магистральных шинопроводов и трансформаторов; значения $K_{\text{р}}$ выбираются из таблицы 3.

Расчетная активная мощность узла системы определяется по формуле:

$$P_{\text{р}} = K_{\text{р}} \sum K_{\text{н}} P_{\text{н}}, \text{ кВт.} \quad (16)$$

Таблица 2

Значения коэффициентов расчетной нагрузки K_p для питающих сетей напряжением до 1000 В

n_3	Коэффициент использования $K_{игр}$								
	0,1	0,15	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8
1	8,00	5,33	4,00	2,67	2,00	1,60	1,33	1,14	1,0
2	6,22	4,33	3,39	2,45	1,98	1,60	1,33	1,14	1,0
3	4,05	2,89	2,31	1,74	1,45	1,34	1,22	1,14	1,0
4	3,24	2,35	1,91	1,47	1,25	1,21	1,12	1,06	1,0
5	2,84	2,09	1,72	1,35	1,16	1,16	1,08	1,03	1,0
6	2,64	1,96	1,62	1,28	1,11	1,13	1,06	1,01	1,0
7	2,49	1,86	1,54	1,23	1,12	1,10	1,04	1,0	1,0
8	2,37	1,78	1,48	1,19	1,10	1,08	1,02	1,0	1,0
9	2,27	1,71	1,43	1,16	1,09	1,07	1,01	1,0	1,0
10	2,18	1,65	1,39	1,13	1,07	1,05	1,0	1,0	1,0
11	2,11	1,61	1,35	1,1	1,06	1,04	1,0	1,0	1,0
12	2,04	1,56	1,32	1,08	1,05	1,03	1,0	1,0	1,0
13	1,99	1,52	1,29	1,06	1,04	1,01	1,0	1,0	1,0
14	1,94	1,49	1,27	1,05	1,02	1,0	1,0	1,0	1,0
15	1,89	1,46	1,25	1,03	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
16	1,85	1,43	1,23	1,02	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
17	1,81	1,41	1,21	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
18	1,78	1,39	1,19	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
19	1,75	1,36	1,17	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
20	1,72	1,35	1,16	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
21	1,69	1,33	1,15	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
22	1,67	1,31	1,13	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
23	1,64	1,30	1,12	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
24	1,62	1,28	1,11	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
25	1,6	1,27	1,1	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
30	1,51	1,21	1,05	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0

Расчетная реактивная мощность для питающих сетей напряжением до 1 кВ в зависимости от n_3 определяется по формулам:

$$\text{при } n_3 \leq 10 \quad Q_p = 1,1 \sum K_{игр} P_n \operatorname{tg} \varphi, \text{ квар}; \quad (17)$$

$$\text{при } n_3 > 10 \quad Q_p = \sum K_{игр} P_n \operatorname{tg} \varphi, \text{ квар}. \quad (18)$$

Таблица 3

Значения коэффициентов расчетной нагрузки K_p на шинах НН трансформаторов и для магистральных шинопроводов напряжением до 1 кВ

n_p	Коэффициент использования $K_{и гр.}$							
	0,1	0,15	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7 и более
1	8,00	5,33	4,00	2,67	2,00	1,60	1,33	1,14
2	5,01	3,44	2,69	1,9	1,52	1,24	1,11	1,0
3	2,94	2,17	1,8	1,42	1,23	1,14	1,08	1,0
4	2,28	1,73	1,46	1,19	1,06	1,04	1,0	0,97
5	1,31	1,12	1,02	1,0	0,98	0,96	0,94	0,93
6–8	1,2	1,0	0,96	0,95	0,94	0,93	0,92	0,91
9–10	1,1	0,97	0,91	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9
10–25	0,8	0,8	0,8	0,85	0,85	0,85	0,9	0,9
25 – 50	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,8	0,85	0,85
Более 50	0,65	0,65	0,65	0,7	0,7	0,75	0,8	0,8

Расчетная реактивная мощность для магистральных шинопроводов и на шинах трансформаторных подстанций независимо от n_p определяется по формуле:

$$Q_p = K_p \sum K_{и} P_{н} \operatorname{tg} \varphi, \text{ квар.} \quad (19)$$

Полная расчетная мощность узла питания:

$$S_p = \sqrt{P_p^2 + Q_p^2}, \text{ кВА.} \quad (20)$$

На шинах низкого напряжения трансформаторов при совместном питании силовой и осветительной нагрузки полная расчетная мощность определяется по формуле:

$$S_p = \sqrt{(P_p + P_{\text{пoy}})^2 + (Q_p + Q_{\text{пoy}})^2}, \text{ кВА.} \quad (21)$$

Расчетный ток узла питания:

$$I_p = \frac{S_p}{\sqrt{3} U_{н}}, \text{ А.} \quad (22)$$

При определении расчетной нагрузки системы необходимо учесть наличие однофазных электроприемников.

При наличии одного однофазного электроприемника и включении его на фазное напряжение он учитывается как эквивалентный трехфазный электроприемник номинальной мощностью:

$$p_n = 3p_{н.о}; \quad q_n = 3q_{н.о}, \quad (23)$$

где $p_{н.о}$, $q_{н.о}$ – активная и реактивная мощности однофазного электроприемника.

При включении однофазного электроприемника на линейное напряжение он учитывается как эквивалентный электроприемник номинальной мощностью

$$p_n = \sqrt{3}p_{н.о}; \quad q_n = \sqrt{3}q_{н.о}. \quad (24)$$

При наличии группы однофазных электроприемников они должны быть распределены по фазам. Далее определяется нагрузка каждой фазы от однофазных электроприемников суммированием установленной мощности однофазных, подключенных на фазное напряжение.

Мощности однофазных электроприемников, подключенных на линейное напряжение, с использованием коэффициентов приведения нагрузок к одной фазе по формулам:

$$\begin{aligned} P_{нА(о)} &= \sum p_{нА} + \sum p_{нАВ} P_{(АВ)А} + \sum p_{нАС} P_{(АС)А}, \text{ кВт}; \\ P_{нВ(о)} &= \sum p_{нВ} + \sum p_{нАВ} P_{(АВ)В} + \sum p_{нВС} P_{(ВС)В}, \text{ кВт}; \\ P_{нС(о)} &= \sum p_{нС} + \sum p_{нАС} P_{(АС)С} + \sum p_{нВС} P_{(ВС)С}, \text{ кВт}, \end{aligned} \quad (25)$$

где $\sum p_{нА}$, $\sum p_{нВ}$, $\sum p_{нС}$ – суммарная мощность однофазных электроприемников на фазное напряжение, запитанных соответственно от фаз А, В и С;

$p_{нАВ}$, $p_{нАС}$, $p_{нВС}$ – номинальные мощности однофазных электроприемников на линейное напряжение, подключенных соответственно к фазам А и В, А и С, В и С;

$P_{(АВ)А}$, $P_{(АВ)В}$, $P_{(АС)А}$, $P_{(АС)С}$, $P_{(ВС)В}$, $P_{(ВС)С}$ – коэффициенты приведения по активной мощности (в скобках указаны фазы, от которых запитан однофазный ЭП, за скобкой – фаза, для которой определяется нагрузка).

Значения коэффициентов приведения однофазных нагрузок по активной мощности представлены в таблице 4.

Таблица 4

Коэффициенты приведения однофазной нагрузки, включенной на линейное напряжение, к нагрузке, отнесенной к одной фазе

Коэффициенты приведения	Коэффициент мощности нагрузки, $\cos\varphi$								
	0,3	0,4	0,5	0,6	0,65	0,7	0,8	0,9	1,0
$P_{(AB)A}, P_{(BC)B}, P_{(AC)C}$	1,4	1,17	1,0	0,89	0,84	0,8	0,72	0,64	0,5
$P_{(AB)B}, P_{(BC)C}, P_{(AC)A}$	-0,4	-0,17	0	0,11	0,16	0,2	0,28	0,36	0,5

Затем определяется общая мощность трехфазных и однофазных электроприемников каждой фазы:

$$\begin{aligned}
 P_{HA} &= P_{HA(o)} + \frac{\sum P_{H3}}{3}, \text{ кВт}; \\
 P_{HB} &= P_{HB(o)} + \frac{\sum P_{H3}}{3}, \text{ кВт}; \\
 P_{HC} &= P_{HC(o)} + \frac{\sum P_{H3}}{3}, \text{ кВт},
 \end{aligned} \tag{26}$$

где $\sum P_{H3}$ – суммарная установленная мощность трехфазных электроприемников узла питания, кВт.

Рассчитывается неравномерность загрузки фаз (ΔP_{HP}):

$$\Delta P_{HP} = \frac{P_{H \max} - P_{H \min}}{P_{H \min}} \cdot 100, \% , \tag{27}$$

где $P_{H \max}$, $P_{H \min}$ – соответственно номинальные мощности максимально и минимально нагруженной фазы.

При неравномерности загрузки фаз не более 15 % однофазные ЭП учитываются при расчете нагрузок как эквивалентная группа трехфазных электроприемников с той же суммарной номинальной мощностью.

Таблица 5

Расчет электрических нагрузок (Ф636-92)

Исходные данные						Расчетные величины			Эффективное число ЭП**	Коэфф. расчетной нагрузки K_p	Расчетная мощность			Расчет- ный ток, А $I_p = \frac{S_p}{\sqrt{3}U_n}$
по заданию				по справочным данным		$K_n P_n$	$K_n P_n \operatorname{tg} \varphi$	np_n^2			активная, кВт $P_p = K_p \Sigma K_n P_n$	реактивная, квар** $Q_p = 1,1 \Sigma K_n P_n \operatorname{tg} \varphi$ при $n_3 \leq 10$; $Q_p = \Sigma K_n P_n \operatorname{tg} \varphi$ при $n_3 > 10$	полная, кВ $S_p = \sqrt{P_p^2 + Q_p^2}$	
Наименование ЭП	Количество ЭП, шт. * n	Номинальная (установленная) мощность, кВт*		коэффициент использования K_n	Коэфф.-т реак-тивной мощ-ности $\frac{\cos \varphi}{\operatorname{tg} \varphi}$									
		одного ЭП P_n	общая $P_n = np_n$											
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15

Примечание.* Резервные электроприемники и работающие кратковременно, в расчете не учитываются.

**При расчете электрических нагрузок для магистральных шинопроводов, на шинах трансформаторных подстанций, в целом по системе: допускается определять n_3 по выражению: $n_3 = 2 \Sigma P_n / p_{н. макс}$,

В случае превышения указанной неравномерности номинальная мощность эквивалентной группы трехфазных ЭП принимается равной тройному значению мощности наиболее загруженной фазы:

$$P_{н(о)} = 3P_{н \max(о)}, \text{ кВт.} \quad (28)$$

2 Выбор числа и мощности силовых трансформаторов

Однотрансформаторные подстанции при наличии резерва можно использовать для питания электроприемников третьей и даже второй категории. Однотрансформаторные подстанции можно применить и для питания электроприемников первой категории, если их мощность не превышает 15-20% мощности трансформатора и возможно резервирование подстанций на вторичном напряжении перемычками с АВР.

Двухтрансформаторные подстанции применяют при преобладании электроприемников первой и второй категории и в энергоемких потребителях при большой удельной мощности нагрузки $0,5 \div 4 \text{ кВА/м}^2$. Двухтрансформаторные подстанции используют для питания электроприемников любой категории по надежности электрообеспечения в следующих случаях:

- 1) суточный или годовой график нагрузки системы неравномерен;
- 2) возможно дальнейшее увеличение нагрузки;
- 3) удельная мощность нагрузки не менее $0,4 \text{ кВА/м}^2$.

Более двух трансформаторов используют для питания электроприемников при необходимости отдельного питания силовой и осветительной нагрузки; если имеются мощные электроприемники, требующие блочного питания.

Мощность трансформатора в однотрансформаторной подстанции выбирается по условию:

$$S_{нт} \geq S_p, \text{ кВА,} \quad (29)$$

где $S_{нт}$ – номинальная мощность трансформатора, кВА;

S_p – расчетная нагрузка цеха, кВА.

Для двухтрансформаторных подстанций:

$$S_{HT} = \frac{S_p}{2K_3}, \text{ кВА}, \quad (30)$$

где K_3 – коэффициент загрузки трансформатора, принимаемый при преобладании потребителей первой категории (до 80 %) в пределах $0,6 \div 0,7$; при преобладании потребителей второй категории – $0,7 \div 0,8$; для третьей категории – $0,95 \div 1$

$$K_3 = \frac{S_{PT}}{S_{HT}}, \quad (31)$$

где S_{PT} – расчетная нагрузка трансформатора.

$$U_{ка} = \frac{P_K}{S_{HT}} \cdot 100, \text{ }, \%, \quad (32)$$

где P_K – мощность потерь короткого замыкания, кВт.

$$U_{кр} = \sqrt{U_K^2 - U_{ка}^2}, \text{ }, \%, \quad (33)$$

где U_K – напряжение короткого замыкания трансформатора, %.

3 Комплектация силового электрооборудования напряжением до 1 кВ

3.1 Расчет комплектных шинопроводов

Сечение шин выбирают по допустимому нагреву длительно протекающим максимальным током нагрузки по условию:

$$I_p \leq I_n, \quad (34)$$

где I_n – номинальный ток шинопровода, А.

Для оценки уровня напряжения, подводимого к электроприемнику, запитанным от шинопроводов, необходимо учитывать потери напряжения в шинопроводах.

Потери напряжения в шинопроводах определяют по формуле:

$$\Delta U_{\text{ш}} = \frac{\sqrt{3} \cdot 100}{U_{\text{н}}} (r_0 \cos \varphi_{\text{ср}} + x_0 \sin \varphi_{\text{ср}}) \sum_{i=1}^n I_{\text{pi}} \cdot l_i, \quad \% \quad (35)$$

где r_0 , x_0 – соответственно удельные активное и индуктивное сопротивления шинопроводов, Ом/км;

$\cos \varphi_{\text{ср}}$ – средневзвешенный коэффициент нагрузки шинопровода;

I_{pi} – ток расчётный i -той нагрузки, А;

l_i – длина шинопровода от ввода до точки подключения i -той нагрузки, км.

При токе нагрузки, близком к номинальному току шинопровода, потери напряжения допускается определять по линейной потере напряжения на 100 м шинопровода по формуле:

$$\Delta U_{\text{ш}} = \frac{\Delta U_{\text{лш}} \cdot l_{\text{ш}}}{U_{\text{н}}}, \quad \% \quad (36)$$

где $\Delta U_{\text{лш}}$ – линейная потеря напряжения шинопровода, В;

$l_{\text{ш}}$ – длина шинопровода до точки подключения нагрузки, м;

$U_{\text{н}}$ – номинальное напряжение, В.

После расчета токов короткого замыкания необходимо сделать проверку выбранных сечений шинопроводов по термической и электродинамической стойкости. Для этого ток трехфазного КЗ ($I_{\text{к}}^{(3)}$), рассчитанный в начале шинопровода, следует сравнить с термической стойкостью шинопровода, а ударный ток – с электродинамической стойкостью по условиям:

$$\begin{aligned} I_{\text{к}}^{(3)} &\leq i_{\text{тс}}, \text{ кА}, \\ i_{\text{уд}} &\leq i_{\text{уд доп.}}, \text{ кА}, \end{aligned} \quad (37)$$

где $i_{\text{тс}}$ – термическая стойкость шинопровода, кА; $i_{\text{уд доп.}}$ – электродинамическая стойкость шинопровода (в кА), взятые из технических характеристик.

3.2 Комплектация силовых распределительных пунктов

В качестве силовых распределительных пунктов (РП) можно выбирать щиты распределительные, либо типовые РП. Типовые

распределительные пункты комплектуются либо предохранителями, либо автоматическими выключателями.

Согласно ПУЭ от перегрузки должны быть защищены:

- сети внутри помещений, выполненные открыто проложенными проводниками с горючей наружной оболочкой или изоляцией;

- осветительные сети в жилых и общественных зданиях, в торговых помещениях, служебно-бытовых помещениях промышленных предприятий, включая сети для переносных и бытовых электроприемников, а также в пожароопасных зонах;

- силовые сети на промышленных предприятиях, в жилых и общественных зданиях, торговых помещениях – только в случае, когда по условиям технологического процесса или по режиму работы сети может возникать длительная перегрузка проводников;

- сети всех видов во взрывоопасных зонах классов В-I, В-Ia; В-II, В-IIa.

–

4 Расчет сечений силовых линий

Сечения силовых линий выбираются по допустимому нагреву длительно протекающим максимальным током нагрузки, по потере напряжения и по условию соответствия выбранному аппарату защиты.

4.1 Расчет сечений по допустимому нагреву

Силовые линии разделяют на распределительные, непосредственно питающие один или несколько электроприемников, и питающие, которые питают группу электроприемников, но непосредственно к ним не подключаются.

Сечение по допустимому нагреву выбирают по условию:

$$I_p \leq I_d K_n, \quad (38)$$

где I_p – максимальный рабочий (расчетный) ток нагрузки, А;

I_d – длительно допустимый ток, А;

K_n – поправочный коэффициент, учитывающий реальные условия охлаждения проводника и зависящий от температуры окружающей среды и способа прокладки.

За расчетный ток нагрузки линии, питающей одиночный электроприемник, принимается номинальный ток нагрузки этого электроприемника:

$$I_p = I_n, \text{ А.} \quad (39)$$

Для линии, питающей многодвигательный агрегат с одновременным пуском электродвигателей, расчетный ток нагрузки равен сумме номинальных токов двигателей:

$$I_p = \sum_{i=1}^n I_{ni}, \text{ А.} \quad (40)$$

Для магистралей и питающих линий определяется расчетная нагрузка группы электроприемников по методу коэффициента активной расчетной мощности, а затем рассчитывается ток нагрузки. Для электроприемников с повторно-кратковременным режимом работы для медных проводников сечением более 6 мм² и алюминиевых сечением более 10 мм² ток ЭП приводится к длительному режиму работы умножением I_n на коэффициент $K_{ПВ} = 1,14\sqrt{ПВ}$:

$$I_p = I_n K_{ПВ} = 1,14 I_n \sqrt{ПВ}, \text{ А,} \quad (41)$$

где ПВ – относительная продолжительность включения в относительных единицах; 1,14 – коэффициент запаса.

Во взрывоопасных зонах сечения распределительных линий, питающих асинхронные электродвигатели с короткозамкнутым ротором, выбирают по условию:

$$1,25 I_p \leq I_d K_n.$$

5 Комплектация защитной аппаратурой

Автоматические выключатели, в основном, предназначены для защиты электроустановок напряжением до 1000 В от коротких замыканий и перегрузок.

Автоматические выключатели выбирают по следующим условиям:

$$\begin{aligned}U_{\text{на}} &\geq U_{\text{с}}; \\I_{\text{на}} &\geq I_{\text{р}};\end{aligned}\tag{42}$$

$$\begin{aligned}I_{\text{нтр}} &\geq I_{\text{р}}; \\I_{\text{нэр}} &\geq (1,25 \div 1,35)I_{\text{пик}},\end{aligned}\tag{43}$$

где $U_{\text{на}}$ – номинальное напряжение автоматического выключателя (АВ);

$I_{\text{на}}$ – номинальный ток АВ;

$I_{\text{нтр}}$ – номинальный ток теплового расцепителя;

$I_{\text{нэр}}$ – номинальный ток (ток уставки) электромагнитного расцепителя;

$U_{\text{с}}$ – напряжение сети;

$I_{\text{р}}$ – максимальный рабочий ток линии;

$I_{\text{пик}}$ – пиковый ток линии.

Номинальные токи расцепителей соседних автоматических выключателей, последовательно включенных в сеть, должны различаться не менее чем на одну ступень. Номинальные токи расцепителей автоматического выключателя, ближайшего к источнику питания (вводного в ТП), должны быть не менее чем в 1,5 раза больше, чем у наиболее удаленного. Этим достигается селективность срабатывания тепловых расцепителей. При коротких замыканиях селективность защиты обеспечиваться не будет, так как электромагнитные расцепители при токах, равных или больших их токов уставки, срабатывают практически мгновенно. Для гарантированного обеспечения селективности следует выбирать автоматические выключатели с регулируемой характеристикой срабатывания, у которых возможно задавать (выставлять) время срабатывания.

Список предлагаемых тем курсовых проектов*

1. Проектирование силовой электрической схемы ремонтно-механического участка с/х предприятия.
2. Проектирование силовой электрической схемы участка ремонта посевных комплексов с/х предприятия .
3. Проектирование силовой электрической схемы участка изготовления приспособлений и крепежа с/х предприятия.
4. Проектирование силовой электрической схемы насосной станции с/х предприятия.
5. Проектирование силовой электрической схемы участка ремонта гидравлического оборудования с/х предприятия.
6. Проектирование силовой электрической схемы участка по выпуску металлоизделий с/х предприятия.
7. Проектирование силовой электрической схемы участка производства метизов с/х предприятия.
8. Проектирование силовой электрической схемы участка ремонта гидравлических узлов с/х предприятия.
9. Проектирование силовой электрической схемы насосной станции и водоподготовки с/х предприятия .
10. Проектирование силовой электрической схемы насосной станции и фильтрации с/х предприятия.
11. Проектирование силовой электрической схемы насосной станции и подкачки с/х предприятия.
12. Проектирование силовой электрической схемы ремонтного участка навозоуборочного оборудования с/х предприятия.
13. Проектирование силовой электрической схемы участка ремонта деталей подборщиков и копнителй с/х предприятия.
14. Проектирование силовой электрической схемы участка ремонта узлов зерноуборочных комбайнов с/х предприятия.
15. Проектирование силовой электрической схемы участка обработки деталей кормоуборочных комбайнов с/х предприятия.
16. Проектирование силовой электрической схемы участка нестандартного оборудования с/х предприятия .
17. Проектирование силовой электрической схемы участка по выпуску металлоизделий с/х предприятия.
18. Проектирование силовой электрической схемы участка производства оснастки с/х предприятия.

19. Проектирование силовой электрической схемы участка обработки деталей тракторов с/х предприятия.

20. Проектирование силовой электрической схемы участка деталей кормозаготовительной техники с/х предприятия.

21. Проектирование силовой электрической схемы участка по ремонту деталей трансмиссии с/х предприятия.

22. Проектирование силовой электрической схемы участка мелко-серийного производства с/х предприятия.

23. Проектирование силовой электрической схемы участка по ремонту деталей навесного оборудования с/х предприятия.

24. Проектирование силовой электрической схемы участка по ремонту деталей двигателей с/х предприятия .

25. Проектирование силовой электрической схемы участка по ремонту деталей машин для внесения удобрений с/х предприятия.

*Тема курсового проекта определяется преподавателем в задании и может отличаться от предлагаемых выше.

Критерии оценки курсового проекта

№	Критерии оценки	Количество баллов				
		5	4	3	2	1
1	2	3	4	5	6	7
1	Выполнение проекта	В срок	Задержка 2 дня	Задержка 4 дня	Задержка 6 дней	Задержка более
2	Качество таблиц и рисунков ПЗ	Качественно	Хорошо	Небрежно	—	—
3	Качество чертежа 1	Качественно	Хорошо	Небрежно	—	—
4	Качество чертежа 2	Качественно	Хорошо	Небрежно	—	—
5	Доклад	Исчерпывающий	Достаточный	Неполный	—	—
Итого (сумма баллов)		25-22	21-16	15-13	—	—
Оценка КП		5	4	3	—	—

Рекомендуемая литература

1. Аветисян, Д. А. Автоматизация проектирования электротехнических систем и устройств : справочное пособие / Д. А. Аветисян. – М. : Высшая школа, 2009. – 510 с.
2. Герасимов, В. Г. Электротехнический справочник / В. Г. Герасимов. – М. : МЭИ, 2004. – 567 с.
3. Конюхова, Е. А. Электроснабжение объектов / Е. А. Конюхова. – М. : Издательство «Мастерство», 2002. – 125с.
4. Маньков, В. Д. Основы проектирования систем электроснабжения : справочное пособие / В. Д. Маньков. – СПб. : НОУ ДПО «Электро Сервис», 2010. – 664 с.
5. Шеховцов, В. П. Справочник-пособие по ОЭ и ЭСН / В. П.Шеховцов. – Обнинск, 2005. – 210 с.
6. Шеховцов, В. П. «Расчет и проектирование схем электроснабжения» / В. П. Шеховцов. – ИНФРА-М, 2010. – 352 с.
7. Библиотека современного электрика [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http:// www.electrolibrary.info](http://www.electrolibrary.info).
8. Школа для электрика [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http:// www.electricalschool.info](http://www.electricalschool.info).
9. Научная электронная библиотека [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://elibrary.ru/>.
10. Сетевой научно-методический электронный агрожурнал Московского государственного агроинженерного университета [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://agromagazine.msau.ru/>; свободный.
11. Национальный цифровой ресурс «Рукоنت» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://rucont.ru>; свободный.

Пример оформления титульного листа.

**Министерство сельского хозяйства Российской Федерации
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Самарская государственная сельскохозяйственная академия»**

Кафедра «Электрификация и автоматизация АПК»

Курсовой проект

по дисциплине: «Проектирование электротехнических процессов»

Тема: «Проектирование силовой электрической схемы участка ремонта
посевных комплексов с/х предприятия».

Выполнил:

Студент 4 курса

Группы 3

направлению подготовки 110800 «Агроинженерия»

личный номер 1010068
(номер зачетной книжки)

Михайлов Виктор Дмитриевич

К защите допущен _____ / _____ /
(подпись) (инициалы, фамилия)

_____ / _____ /
(подпись) (инициалы, фамилия)

_____ / _____ /
(подпись) (инициалы, фамилия)

Оценка _____ / _____ /
(цифрой и прописью) (подпись) (инициалы, фамилия)

Кинель 20__г

Пример оформления задания.

**Министерство сельского хозяйства Российской Федерации
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Самарская государственная сельскохозяйственная академия»**

Кафедра «Электрификация и автоматизация АПК»

ЗАДАНИЕ
на курсовой проект по дисциплине
«Проектирование электротехнических процессов»

Студенту Михайлову В.Д.

Тема проекта: «Проектирование силовой электрической схемы участка ремонта посевных комплексов с/х предприятия».

Исходные данные на курсовой проект

№ на плане	Наименование	P, кВт
1,2	Вентиляторы	54
3..5	Сварочные агрегаты	13
6..8	Токарные автоматы	9
9..11	Зубофрезерные станки	19
12..14	Круглошлифовальные станки	4
15..17	Заточные станки	1
18,19	Сверлильные станки	2
20..25	Токарные станки	11
26,27	Плоскошлифовальные станки	16
28,30	Строгальные станки	3
31..34	Фрезерные станки	6
35..37	Расточные станки	3
38,39	Краны мостовые	29

Задание выдано «__» _____ 20__ г.

Руководитель _____ / _____ /

Пример оформления реферата

РЕФЕРАТ

Проект представлен пояснительной запиской и графической частью на двух листах формата А1. Пояснительная записка содержит 54 страницы машинописного текста, включает 8 таблиц, 10 рисунков и 15 наименований использованных источников.

Ключевые слова: ПРОЕКТИРОВАНИЕ, ЭЛЕКТРО-ПРИЕМНИК, ТРАНСФОРМАТОР, ВЫКЛЮЧАТЕЛЬ.

Сокращения, используемые в тексте:

КТП – комплектная трансформаторная подстанция;

ЭП – электроприемник;

т. д. – так далее;

ПВ – повторно-кратковременный.

В проекте представлен расчет силовой электрической схемы ремонтного участка сельскохозяйственного предприятия. В соответствии с заданием произведены расчеты и комплектация электрооборудования для ремонтного участка с/х предприятия.

Пример оформления оглавления

Оглавление

	стр.
Введение.....	2
Оглавление.....	3
Реферат.....	4
1	
1.1	
1.2	
.....	
2	
2.1	
.....	
Выводы.....	
Список используемой литературы.....	
Приложения.....	

Учебное издание

Кузнецов Михаил Александрович

Проектирование электротехнических процессов

Методические указания для выполнения
курсовой работы

Отпечатано с готового оригинал-макета
Подписано в печать 18.09.2014 г. Формат 60×84 1/16.
Усл. печ. л. 1,86, печ. л. 2,0.
Тираж 30. Заказ №202.

Редакционно-издательский центр Самарской ГСХА
446442, Самарская область, п.г.т. Усть-Кинельский, ул. Учебная 2
Тел. : 8 (84663) 46-2-44, 46-6-70.
Факс 46-6-70.
E-mail: ssaariz@mail.ru