Профессиональное образование

И.В.Кошкин, Б.К.Суюндукова
Д.В.Шудегов

ДЕЖУРНЫЙ ЭЛЕКТРОСЛЕСАРЬ ПО ОБСЛУЖИВАНИЮ И РЕМОНТУ ОБОРУДОВАНИЯ

Учебное пособие



ПРОФЕССИОНАЛЬНОЕ ОБРАЗОВАНИЕ

И.В.Кошкин, Б.К.Суюндукова, Д.В.Шудегов

ДЕЖУРНЫЙ ЭЛЕКТРОСЛЕСАРЬ ПО ОБСЛУЖИВАНИЮ И РЕМОНТУ ОБОРУДОВАНИЯ

Учебное пособие

для системы технического и профессионального, послесреднего образования по специальности «Техническая эксплуатация, обслуживание и ремонт электрического и электромеханического оборудования (по видам)»

Нур-Султан
Некоммерческое акционерное общество «Talap»
2020

УДК 621.31. (075.32)
ББК 31.16я722
К -76

Рецензенты:

КГКП "Костанайский политехнический высший колледж" Управления образования акимата Костанайской области УМО по профилю «Энергетика», ТОО «Energy complex»

Рекомендовано
Республиканским научно-практическим центром «Учебник»

К-76 Специальность «Техническая эксплуатация, обслуживание и ремонт электрического и электромеханического оборудования», квалификация «Электрослесарь (слесарь) дежурный и по ремонту оборудования»: Учебное пособие /И.В. Кошкин, Б.К. Суюндукова, Д.В. Шудегов /Нур-Султан: Некоммерческое акционерное общество «Talap», 2020 г. -357 с.

ISBN 978-601-350-051-5

Учебное пособие предназначено для обучающихся учебных заведений системы технического и профессионального образования. Разработано в соответствии с типовым планом и программой технического и профессионального образования специальности 0911000 – «Техническая эксплуатация, обслуживание и ремонт электрического и электромеханического оборудования (по отраслям)», квалификации «Электрослесарь (слесарь) дежурный и по ремонту оборудования».

Пособие предназначено для оценки уровня сформированности компетенций, готовности обучающихся к выполнению профессиональной деятельности в результате освоения профессиональных модулей по квалификации «Электрослесарь (слесарь) дежурный и по ремонту оборудования».

Каждый раздел содержит несколько тем, раскрывающих его содержание. Теоретическая часть тезисно раскрывает вопросы каждой темы.

Учебное пособие предназначено для обучающихся организаций технического и профессионального образования, а также преподавателей специальных дисциплин и мастеров производственного обучения для организации теоретических и практических занятий.

УДК 621.31. (075.32)
ББК 31.16я722

ISBN 978-601-350-051-5 © НАО «Talap», 2020

ОГЛАВЛЕНИЕ

	ПРЕДИСЛОВИЕ	5
	РАЗДЕЛ 1. ВЫПОЛНЕНИЕ, ОФОРМЛЕНИЕ, ЧТЕНИЕ КОНСТРУКТОРСКОЙ И ТЕХНОЛОГИЕСКОЙ ДОКУМЕНТАЦИИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПРИКЛАДНЫХ ПРОГРАММ	7
1.1	Основные понятия. Определения. Введение в компьютерную графику	7
1.2	Выполнение чертежей деталей с применением компьютерных технологий	10
1.3	Выполнение чертежей общего вида и сборочных чертежей по эскизам	13
1.4	Использование компьютерных технологий в практической деятельности	21
1.5	Разработка и оформление схем по специальности с помощью пакета прикладных программ	30
	РАЗДЕЛ 2. АНАЛИЗ, МОДЕЛИРОВАНИЕ И СБОРКА ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЦЕПЕЙ НА БАЗЕ ОСНОВНЫХ ЗАКОНОВ ЭЛЕКТРОТЕХНИКИ	37
2.1	Принципы производства, передачи и распределения электрической энергии	37
2.2	Основные законы и характеристики электрических цепей	45
2.3	Расчёт электрических линейных и не линейных цепей постоянного тока аналитическими и графическими методами	56
	РАЗДЕЛ 3. ОСНОВНЫЕ СВЕДЕНИЯ ОБ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИНАХ И ТРАНСФОРМАТОРАХ	98
3.1	Коллекторные электрические машины постоянного тока	98
3.2	Бесколлекторные электрические машины	116
3.3	Трансформаторы и автотрансформаторы	129
	РАЗДЕЛ 4. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О СЛЕСАРНЫХ И СЛЕСАРНЫХ И СЛЕСАРНО-СБОРОЧНЫХ РАБОТАХ	144
4.1	Электротехнические материалы, применяемые на производстве	144
4.1.1	Классификация материалов и их назначение	148
4.1.2	Основные свойства полупроводниковых материалов	169
4.1.3	Свойства электроугольных и электроизоляционных материалов	171
4.2	Отбор электроизоляционных материалов	180
4.3	Испытание материалов	183
4.4	Слесарная обработка деталей и узлов при сборке	195
4.5	Инструменты и контрольно-измерительные приборы для выполнения слесарных и слесарно-сборочных работах	203
4.6	Работы по изготовлению приспособлений для сборки и ремонта	213
4.7	Выявление и устранение дефектов деталей и механизмов машин в процессе слесарно - сборочных работ	219
4.8	Структура и технологических процессы участка и предприятия	226

РАЗДЕЛ 5. ОСНОВЫ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ 230
5.1 Выбор схем и электрооборудования внутреннего электроснабжения 230
5.2 Выбор электродвигателя для различного рода рабочих машин 274
5.3 Выбор электрооборудования с учетом аварийных режимов работы 286
РАЗДЕЛ 6. ИЗМЕРЕНИЕ, ДИАГНОСТИКА И ОСНОВЫ МОНТАЖА ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ 296
6.1 Выбор измерительных приборов с идентификацией измеряемых величин 296
6.2 Измерение электрических величин 304
6.3 Выявление и устранение дефектов и неисправностей электрооборудования в процессе осмотра и на этапе подготовки к ремонту 310
6.4 Проведение ремонтных работ в производственных силовых и осветительных электроустановках 321
6.5 Организация электромонтажных работ в производственных силовых и осветительных электроустановках 331
ЗАКЛЮЧЕНИЕ 348
Глоссарий 349
Словарь сокращений 351
Список использованной литературы 352
Приложение 355

ПРЕДИСЛОВИЕ

Учебное пособие разработано на основе актуализированных типовых учебных планов и программы специальности 0911000 «Техническая эксплуатация, обслуживание и ремонт электрического и электромеханического оборудования (по видам)» для квалификации «Электрослесарь (слесарь) дежурный по ремонту оборудования».

Темы пособия раскрывают не только содержание модулей специальности, но и развивают логику мышления обучающихся через выполнение индивидуальных практических заданий после каждого раздела.

Цель учебного пособия: раскрыть теоретические и практические вопросы модулей по квалификации «Электрослесарь (слесарь) дежурный по ремонту оборудования» согласно актуализированной типовой программе специальности 0911000 «Техническая эксплуатация, обслуживание и ремонт электрического и электромеханического оборудования (по видам)».

Задачи:

- изучение и применение прикладных программ для разработки конструкторской и технологической документации;
- изучение и применение в практической деятельности основных законов электрических и магнитных цепей и их проявлений в различных силовых цепях и электрооборудования;
- изучение основных вопросов технического обслуживания электрических машин и трансформаторов;
- освоение навыков основных слесарных и слесарно-сборочных работ;
- освоение навыков выполнения электромонтажных работ силового и осветительного оборудования промышленных организаций;
- освоение навыков выполнения ремонта силового и осветительного оборудования промышленных организаций.

Теоретическое содержание учебного пособия и индивидуальных заданий обучающимися, способствуют формированию следующих профессиональных компетенций:

- ПК 1. Выполнять эскизы, схемы и чертежи, читать техническую документацию, использовать пакеты прикладных программ для разработки конструкторской и технологической документации;
- ПК 2. Быть способным в практической деятельности: применять основные законы электрических и магнитных цепей и их проявлений в различных силовых цепях и электрооборудовании;
- ПК 3. Быть способным к практической деятельности по техническому обслуживанию электрических машин и трансформаторов;
- ПК 4. Выполнять основные слесарные и слесарно-сборочные работы;
- ПК 5. Выполнять электромонтажные работы силового и осветительного оборудования промышленных организаций;
- ПК 6. Выполнять ремонт силового и осветительного оборудования промышленных организаций.

Содержание заданий пособия способствует выполнению практических работ направленных на развитие творческих способностей будущих конкурентоспособных специалистов на рынке труда.

При выполнении практических работ от обучающихся требуется сопоставлять отчет по следующему содержанию:

1.Номер, тема и цель работы;

2.Схема опыта, рисунок;

3.Выполнение работы;

4.Результаты измерений и вычислений;

5.Вывод по каждому исследованию;

6.Ответы на контрольные вопросы письменно.

РАЗДЕЛ 1. ВЫПОЛНЕНИЕ, ОФОРМЛЕНИЕ, ЧТЕНИЕ КОНСТРУКТОРСКОЙ И ТЕХНОЛОГИЕСКОЙ ДОКУМЕНТАЦИИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПРИКЛАДНЫХ ПРОГРАММ

Введение

Данный раздел формирует навыки, умения и знания, необходимые для разработки, оформления и чтения конструкторской и технологической документации. В результате изучения модуля, обучающиеся осваивают принципы геометрические построения и правила вычерчивания технических деталей; сведения о сборочных чертежах; назначение условностей и упрощений, формируют умения использовать программное обеспечение для создания электрических схем и моделей.

Цель раздела: формирование умений и навыков по использованию инженерной и компьютерной графики в практической деятельности.

Задачи:

- выполнять различные геометрические построения и проекционные изображения с помощью чертежных инструментов, и от руки в виде эскизов;
- выполнять электрические схемы и чертежи с применением прикладных программных средств;
- знать средства инженерной и компьютерной графики.

1.1 Основные понятия. Определения. Введение в компьютерную графику

Более чем очевидно, что информационные, а также коммуникационные технологические процессы представляют немаловажную роль в абсолютно всех областях жизнедеятельности человека. При поддержке современной технической базы ЭВМ и ПК находят решение многочисленные значимые информационные проблемы общества

Одна из главных функций ПК – переработка данных, которая неразделимо сопряжена с изображением многообразных геометрических объектов. Данную область обработки данных называют **компьютерной графикой**.

Обработка информации, представленной в виде изображения на компьютере, имеет множество разновидностей и массу практических приложений. Прежде всего, это визуализация, т.е. создание изображения объекта. Примеры визуализации включают: графики функций или экспериментальных данных, геометрические образы реальных и виртуальных объектов, компьютерный дизайн и проектирование, компьютерная живопись и компьютерная мультипликация. Использование средств визуализации компьютерной графики позволило автоматизировать сложные чертежно-графические работы и ввести на производствах современные безбумажные технологии сбора, обработки и хранения информации. Общепринятой стала практика создания виртуальных тренажеров, виртуальных компьютерных развлекательных и деловых игр, виртуального динамического мира во всем

его многообразии в реальном масштабе времени. Создаются полнометражные кинофильмы, в которых все действия разворачиваются в памяти компьютера.

В технике, научных исследованиях, в области связи и телекоммуникаций активно используются фото- и киноснимки, различные полутоновые и цветные изображения. При переводе таких изображений с помощью компьютера в цифровую, математическую форму, открываются широкие возможности для различной трансформации, контроля качества и исправления изъянов изображений методами вычислительной математики, высококачественной передачи таких изображений по различным каналам связи. Это направление компьютерной графики связано с автоматизированной **обработкой изображений**. Примерами обработки изображений могут служить: повышение контрастности и четкости изображения, коррекция цветов, сглаживание и так далее.

Задачей обработки изображений может быть как улучшение его качества, так и специальные преобразования, кардинально изменяющие изображение. В этом случае обработка изображений может быть промежуточным этапом для дальнейшего распознавания объекта. Задачей **распознавания изображений** является применение методов, позволяющих либо получить некоторое описание изображения, поданного на вход в систему, либо отнести это изображение к определенному классу. Процедура распознавания изображения обеспечивает преобразование его в некоторое абстрактное описание: набор чисел, цепочка символов. Методы и алгоритмы распознавания разрабатывались, прежде всего, для обеспечения зрения роботов, в компьютерной томографии. Например, автоматизация медицинской диагностики связана с обнаружением на рентгеновских снимках или иных изображениях медицинских объектов отклонений от норм определенного вида. Задача распознавания изображения является обратной по отношению к задаче его визуализации.

Таким образом, между реальным объектом и его изображением на компьютере могут быть установлены различные взаимосвязи.

В научной литературе широко используется словосочетание **интерактивная компьютерная графика,** которое подчеркивает способность компьютерной системы при создании соответствующих образов и объектов на компьютере вести диалог с пользователем.

Спектр областей использования компьютерной графики необычайно широк и продолжает увеличиваться по мере совершенствования средств вычислительной техники, математического аппарата и программного обеспечения. Разнообразие графической информации и областей человеческой деятельности, где эта информация используется, приводят к выводу, что компьютерная графика – явление разнообразное и многоплановое. Это и новые области человеческой деятельности, и новые научные дисциплины, и оборудование, и технологии, и работающие в компьютерах программы.

Для эффективного и качественного проектирования объектов разного рода создаются **системы автоматизированного проектирования (САПР)**. САПР активно используются в машиностроении, электронике и архитектуре. Одними из первых были разработаны и внедрены САПР для проектирования самолетов, автомобилей, электронных интегральных схем.

Чтобы организовать производство спроектированного изделия, необходимо разработать и спроектировать технологию его изготовления. Для этого существуют **автоматизированные системы технологической подготовки производства (АСТПП)**. Например, изготовления технологической оснастки (штампы, литейные формы и т.д.) осуществляется на станках с числовым программным управлением (ЧПУ). Проверить правильность программы для станка с ЧПУ можно, смоделировав реальный процесс обработки на компьютере, где с помощью графического изображения будут показаны последовательные движения обрабатывающего инструмента.

Широкое распространение получили различные **автоматизированные системы научных и технических исследований (АСНИ)**, позволяющие не только получать графическое изображение полученных результатов исследований, но и с помощью математического моделирования исследуемого явления и средств компьютерной графики визуально изучать это явление.

Все более популярными становятся **геоинформационные системы (ГИС)**, одной из важнейших функций которых является ввод и редактирование объектов с учетом их расположения на соответствующей поверхности, например, поверхности Земли.

Моделирование и мультипликация, основанные на компьютерной графике становятся повседневным инструментом и ученого, и инженера, и художника. Созданные с помощью компьютерной графики мультфильмы демонстрируют поведение различных реальных и моделируемых объектов во времени и пространстве.

Еще одним практическим применением компьютерной графики являются виртуальные **компьютерные тренажеры**. Например, летные компьютерные тренажеры позволяют генерировать не только окружающий летательный объект мир, но и соответствующие погодные условия. Одной из разновидностей компьютерных тренажеров можно считать игровые автоматы.

Если летный тренажер или игровой автомат дает возможность пользователю общаться с моделью действительного или воображаемого мира, то существуют системы компьютерной графики, дающие возможность пользователю работать в интерактивном режиме непосредственно с реальными объектами. Это так называемые **автоматизированные системы управления (АСУ)**. Автоматизированные системы управления производством, позволяют операторам контролировать производство и управлять технологическим процессом, например, на

нефтеперерабатывающем заводе, на электростанции, на железнодорожной магистрали, в аэропорту.

Развитие компьютерной графики определяется следующими основными факторами: реальными потребностями потенциальных пользователей, с одной стороны, а, с другой стороны, современными достижениями в области математического, программного, технического и методического обеспечения.

Математическое обеспечение компьютерной графики базируется на элементах математического анализа, линейной и векторной алгебры, вычислительной математики, различных разделах геометрии (начертательная, аналитическая, дифференциальная), математическом моделировании, а также на соответствующих алгоритмах решения математических и геометрических задач.

Программное обеспечение включает базовое программное обеспечение и прикладные программные продукты, языки программирования, в том числе и языки описания графической и геометрической информации, программные средства хранения и поиска геометрической и иной информации.

Техническое обеспечение компьютерной графики и интерактивных графических систем, как правило, состоит из компьютера, стандартных графических устройств ввода и вывода информации (клавиатура, мышь, принтер, сканер), специальных устройств вода и вывода информации (графопостроители, планшеты, световое перо), устройства ввода и вывода объемной информации.

Методическое обеспечение включает методы работы с системами компьютерной графики, приемы графического диалога, методики графогеометрического программирования, вопросы связи со смежными системами, вопросы подготовки кадров.

1.2 Выполнение чертежей деталей с применением компьютерных технологий

Практическая работа №.1.1

Тема: **Выполнение проекции деталей, разрезов и сечений**

Цель работы: Научиться выполнять проекции деталей, разрезы и сечения

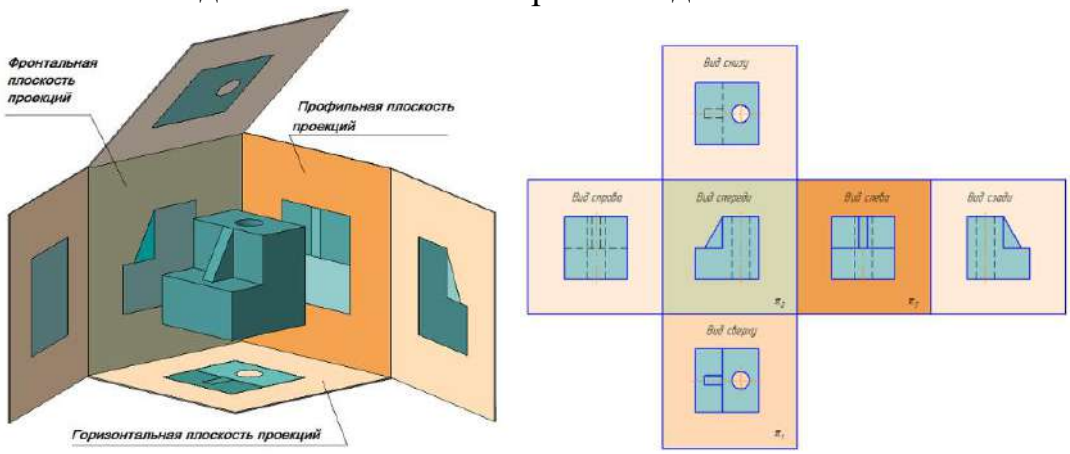
Оборудование и материалы мультимедиа-проектор, экран; стол ученический; бумага для черчения формата А4; карандаш чернографитный твердость М; ластик; циркуль; точилка для карандашей механическая; линейка металлическая 30см.; рабочая папка формата А4.

Краткие теоретические сведения

Видом называется обращенная к наблюдателю видимая часть предмета. Виды получаются в результате проецирования предмета на шесть граней пустотелого куба, как показано на рисунке 1.1 [3, 4].

Вид спереди является ***главным видом***, он наиболее полно отражает форму предмета. Основные виды должны располагаться на чертеже в проекционной связи.

Если какую-либо часть предмета невозможно показать без искажения на основных видах, применяют ***дополнительные***. Их получают проецированием наклонной поверхности на плоскость, параллельную ей. Дополнительные виды отмечаются на чертеже надписью А.

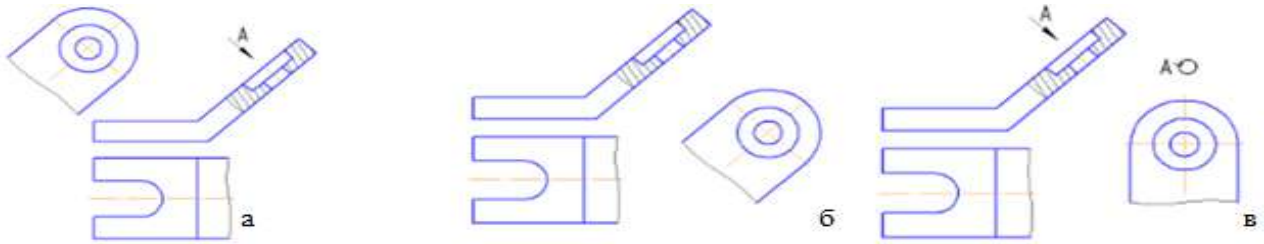


а- виды проекций; б - формирование основных видов

Рисунок 1.1 – Виды проекций

Дополнительный вид отмечается на чертеже надписью типа «А», а у связанного с дополнительным видом изображения предмета ставится стрелка с соответствующим буквенным обозначением (Рисунок 1.2а), указывающая направление взгляда [3].

Когда дополнительный вид расположен в непосредственной проекционной связи с соответствующим изображением, стрелку и надпись над видом не наносят (Рисунок 1.2 б).



а - выполненные не в проекционной связи с основным изображением; б - выполненные в проекционной связи с основным изображением; в-выполненные не в проекционной связи с основным изображением и повернутый на угол.

Рисунок 1.2 – Дополнительные виды

Дополнительный вид можно повернуть, сохраняя при этом положение, принятое для данного предмета на главном изображении. При этом, к надписи «А» добавляется знак  («Повернуто») (Рисунок 1.2 в).

Если необходимо показать какую-либо часть предмета в отдельном месте, то применяют ***местный вид.*** Этот вид можно располагать на любом свободном месте чертежа, отмечая надписью типа «А», а у связанного с ним изображения предмета должна быть поставлена стрелка, указывающая направление взгляда, с соответствующим буквенным обозначением, как показано на рисунке 1.3.

Разрезом называется изображение, полученное при рассечении детали одной или несколькими плоскостями. Часть детали, расположенная между наблюдателем и секущей плоскостью, мысленно отбрасывается. В разрезе показывают то, что попало в секущую плоскость и то, что расположено за ней. Разрез должен быть отмечен надписью по типу «А-А» (всегда двумя буквами через тире) [3, 4].

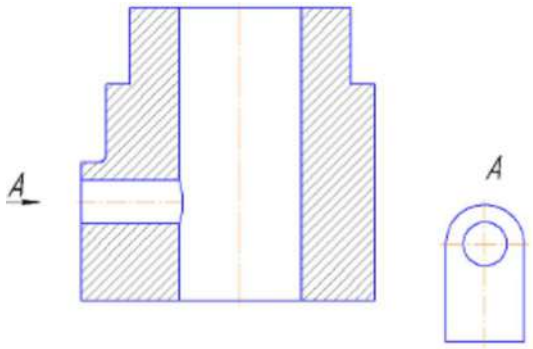


Рисунок 1.3 – Местный вид

Сечением называется изображение, полученное при рассечении детали одной или несколькими плоскостями. Часть детали, расположенную между наблюдателем и секущей плоскостью, мысленно отбрасывается. В сечении показывают только то, что попало в секущую плоскость [3, 4].

На сечении показывают только то, что попадает непосредственно в секущую плоскость.

Секущие плоскости выбирают так, чтобы получить нормальные поперечные сечения.

Сечения делятся на [2-4]:

- сечения, входящие в состав разреза (Рисунок 1.4а);
- сечения, не входящие в состав разреза (Рисунок 1.4.б).

Не входящие в состав разреза делятся на:

- вынесенные (Рисунок1.4, в);
- наложенные (Рисунок 1.4 г).

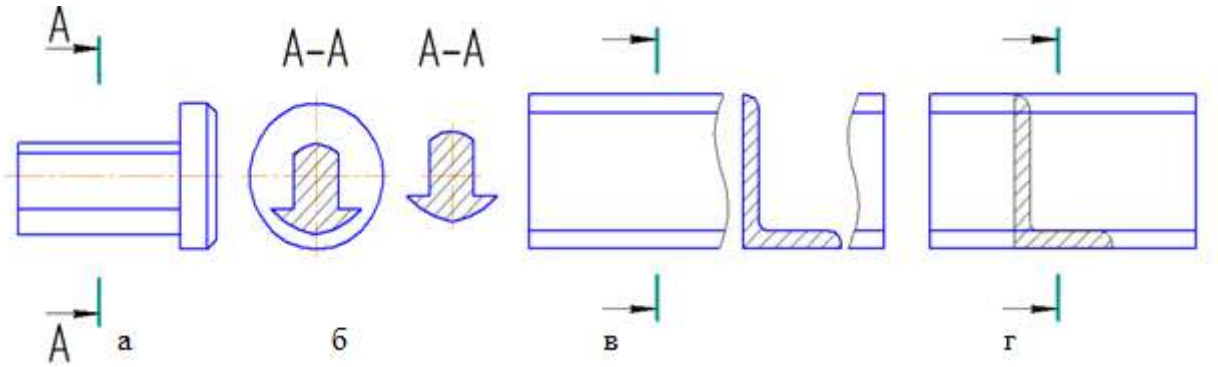


Рисунок 1.4 – Виды сечений

Порядок выполнения работы

Разбить группу на 3 подгруппы количеством 3-5 человек.

Подготовить лист формата А3.

Выполнить по группам и вариантам задания рисунка 1.5 и 1.6.

Задание 1. По аксонометрической проекции построить предмет в трех ортогональных проекциях по заданным размерам (размеры не проставлять). Выполнить разрезы на фронтальной и профильной проекциях, соединив половину вида и половину разреза.

Задание 1. Начертить три проекции. Выполнить фронтальный и профильный разрезы, соединив половину вида и половину разреза. *Задание* скопировать в размерах примерно 100х100х100 мм. Размеры не проставлять.

Контрольные вопросы

1.Какие виды предметов различают в черчении?
2. Что называют разрезом?
3. Что такое сечение и как они подразделяются?

1.3 Выполнение чертежей общего вида и сборочных чертежей по эскизам

Практическая работа №1.2

Тема: **Выполнение чертежей общего вида и сборочных чертежей по эскизам**

Цель работы: Формирование навыков выполнения чертежей сборочной единицы и эскизов ее деталей

Оборудование и материалы: мультимедиа-проектор, экран; стол ученический; бумага для черчения ф.А4; карандаш чернографитный твердость М; ластик; циркуль; точилка для карандашей механическая; линейка металлическая 30см.; рабочая папка формата А4.

Краткие теоретические сведения

Конструкторские документы (КД) подразделяются на графические (чертежи, схемы, графики) и текстовые (спецификации, технические условия, различные ведомости). В зависимости от содержания КД подразделяются на:

-чертеж детали, содержащий изображение детали и другие данные,

необходимые для ее изготовления и контроля;

-чертеж сборочной (шифр СБ) содержащий изображение сборочной единицы и другие данные, необходимые для ее сборки (изготовления) и контроля;

-чертеж общего вида (шифр ВО) определяющий конструкцию изделия, взаимодействие его составных частей и поясняющий принцип работы изделия;

-теоретический чертеж (ТЧ) определяющий геометрическую форму изделия;

-габаритный чертеж (ГЧ), содержащий контурное, упрощенное изображение изделия с габаритными, установочными и присоединительными размерами;

-схемы, на которых показываются в виде условных изображений или обозначений составные части изделия и связи между ними;

-спецификации, определяющие состав сборочной единицы, комплексов и комплектов;

- шифр указывается в конце обозначения (номера) КД. Чертеж детали и спецификация, являющиеся основными конструкторскими документами, шифров не имеют. Более подробные сведения содержатся в ГОСТ 2.102-68.

В соответствии с ГОСТ 2.102-68 сборочный чертеж – это документ, содержащий изображение сборочной единицы и другие данные, необходимые для её сборки (изготовления) и контроля [1-4].

Поэтому же ГОСТ, чертежом общего вида называется рисунок специального формата, рассказывающий о внешнем виде, устройстве и работе объекта.

Чертеж общего вида поясняет конструкцию изделия и принцип его работы и является основой для разработки рабочей документации — рабочих чертежей деталей и сборочных чертежей, входящих в изделие сборочных единиц, включая сборочный чертеж изделия [2-4].

Сборочные чертежи выполняют тогда, когда изделие состоит из нескольких деталей.

Сборочный чертеж (СБ) изделия и чертеж общего вида (ВО) являются основными конструкторскими документами.

Составление *сборочных чертежей по эскизам* производится в таком порядке: 1) снимаются эскизы деталей; 2) выбираются соответственно размерам изделия масштаб и формат чертежа; 3) определяется число проекций и порядок их вычерчивания; 4) выполняются разрезы; 5) наносятся размеры; 6) проставляются номера деталей; 7) наносится основная надпись (штамп) и составляется спецификация [3, 4].

Выбор масштаба и формат чертежа. При выборе масштаба следует руководствоваться указаниями ГОСТ 3451-46. Для сборочных чертежей наиболее желателен масштаб 1:1, так как он даёт наиболее ясное представление о пропорциональности деталей и элементов, составляющих изделие. Однако применить этот масштаб не всегда удаётся, так как сложные изделия больших размеров не всегда возможно вычертить на тех форматах,

которые предусмотрены ГОСТ 3450-46, даже в случае их уменьшения и, наоборот, мелкие механизмы для получения наибольшей наглядности приходится изображать часто в увеличенном масштабе. Поэтому при вычерчивании изделий крупных габаритов рекомендуется применять масштабы уменьшения 1 :2, 1: 4, 1:5, а для мелких механизмов- масштабы увеличения 2:1, 5:1 и др.

Число проекций. При определении числа проекций для сборочного чертежа исходят обычно из сложности конструкции изделия. Необходимо стремиться, чтобы число проекций было минимальным. Для этого нужно применять способы вспомогательных изображений как, например, частичные или вспомогательные виды, дополнительные разрезы или сечения и т.д.

В практике чаще всего приходится вычерчивать сборочные чертежи в трёх проекциях. В ряде случаев удаётся ограничиться двумя, а иногда и одной проекцией.

При составлении проекций сборочного чертежа необходимо, чтобы расположение видов отвечало требованиям ГОСТ 3453-46 независимо от сложности изделия.

Нанесение размеров. В отличие от простановки размеров на рабочих чертежах, на сборочных чертежах проставляются лишь основные размеры. К таким размерам относятся: габаритные размеры изделия, размеры между центрами или осями деталей, присоединительные размеры и размеры, необходимые для монтажа [3, 4].

Нанесение на сборочном чертеже лишних размеров только затемняет чертёж и служит препятствием для его чтения.

Сборочные чертежи иногда приходится снабжать добавочными изображениями:

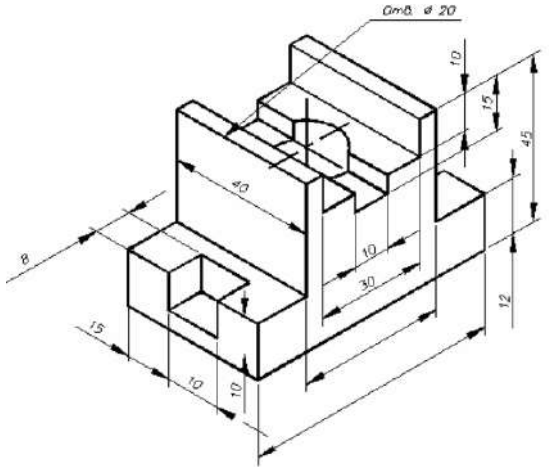
а) наложенных проекций деталей;

б) проекций, имеющих вспомогательное значение;

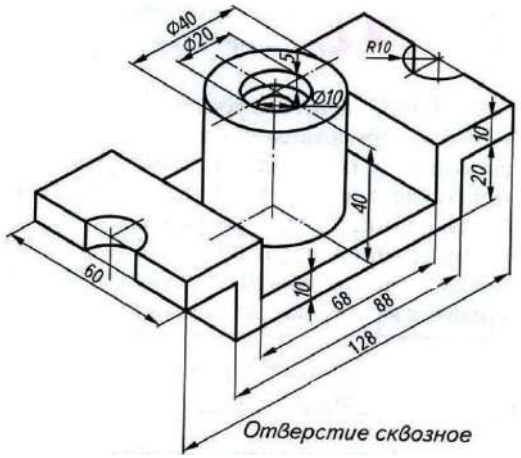
в) изображением крайних сдвинутых положений подвижных частей механизма.

Наложенные проекции. В некоторых случаях, в целях сокращения числа проекций, целесообразно изобразить на чертежах форму частей машины или механизма, как бы отпавших в разрезе. Тогда на соответствующем месте разреза изображают наложенную проекцию. При обозначении наложенных проекций руководствуются ГОСТ 3456-46.

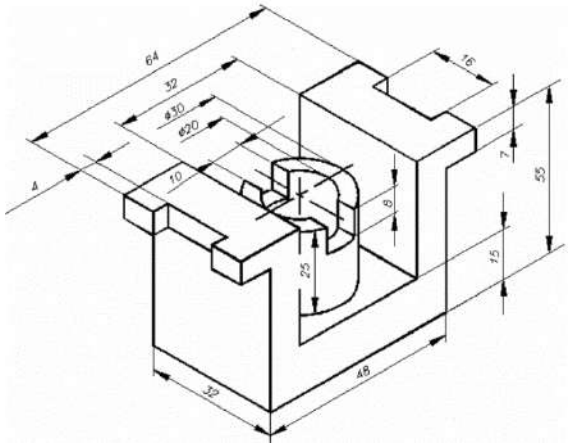
Обозначение на чертежах деталей, имеющих вспомогательное значение. Для обозначения на чертежах деталей, имеющих чисто вспомогательное значение и служащих для уяснения связи, и расположения изображаемых предметов, применяются тонкие сплошные линии по ГОСТ 3456-46.



Вариант1

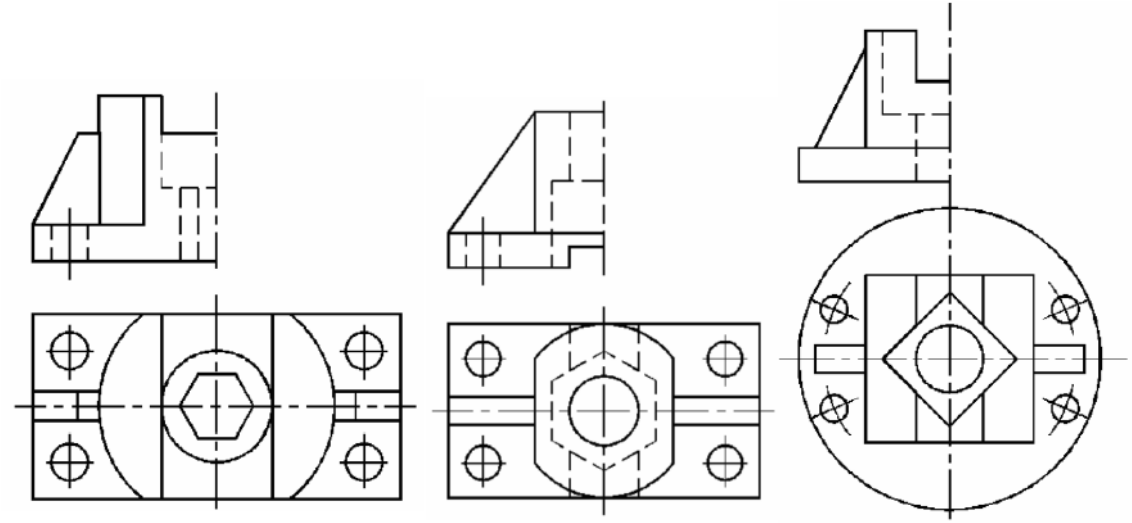


Вариант 2



Вариант 3

Рисунок 1.5 –Варианты задания 1



Вариант 1

Вариант 2

Вариант 3

Рисунок 1.6 – Варианты задания 2

Общие указания по составлению сборочных чертежей. При составлении сборочных чертежей помимо тех указаний, которые были приведены выше, необходимо соблюдать такие требования [4]:

1. Тщательно проверить эскизы для выявления возможных пропусков в размерах, условных обозначениях, установления правильности составления проекций и т.п.

2. Произвести разбивку листа чертежа после выбора масштаба, формата листа и числа проекций для сборочного чертежа. При разбивке необходимо учесть площадь, которая потребуется для вычерчивания намеченных проекций, добавочных видов, разрезов, сечений и т.д., если они предполагаются. Размещение проекций и других изображений должно осуществляться с таким расчётом, чтобы можно было без особых затруднений нанести на чертеже все необходимые размеры, поставить позиции деталей и разместить спецификацию.

3. В процессе разбивки листа бумаги нужно нанести главные оси изображаемого изделия, а затем приступить к вычерчиванию проекций и вспомогательных видов. Вычерчивание изделия следует вести одновременно во всех проекциях, начиная с наиболее крупных деталей, обводя их контуры сначала тонкими линиями, а затем линиями принятой толщины. Одновременно с вычерчиванием проекций необходимо выполнять разрезы. Места деталей, попавшие в разрез, заштриховать.

4. При нанесении размеров и обозначений номеров деталей на чертеже необходимо стремиться к тому, чтобы размерные и выносные линии по возможности не пересекались между собою.

Каждый сборочный чертеж сопровождается спецификацией.

Спецификация - основной конструкторский документ, выполненный в виде таблицы, в которой приводятся наименования, номера позиций всех составных частей сборочной единицы и указывается их число [1, 3, 4, 5].

В спецификации документацию и составные части сборочной единицы перечисляют в определенной последовательности: документация, комплексы, сборочные единицы, детали, стандартные изделия, прочие изделия, материалы, комплекты.

Спецификацию выполняют на отдельных листах (одном или нескольких) формата А4 или размещают непосредственно на сборочном чертеже, выполненном на формате А4, если имеется достаточно места для ее размещения.

Спецификацию выполняют прежде, чем на сборочном чертеже наносятся номера позиций деталей, входящих в сборочную единицу. Она необходима для изготовления изделия.

После каждого раздела спецификации в соответствии с ГОСТом оставляют свободные строки и резервируют номера позиций для возможного внесения дополнительных изделий.

Порядок выполнения работы

Требуется по вариантам составить схему деления сборочной единицы на составные части; составить спецификацию; выполнить эскизы всех составных частей сборочной единицы; выполнить сборочный чертеж

Различают изделия основного производства и изделия вспомогательного производства. К первым относятся изделия производства, предназначенные для поставки (реализации), ко вторым – изделия производства, предназначенные для собственных нужд предприятия.

Устанавливаются следующие виды изделий: детали, сборочные единицы, комплексы, комплекты. Изделия в зависимости от наличия или отсутствия в них составных частей, делят на: а) неспецифицированные (детали), не имеющие составных частей; б) специфицированные (сборочные единицы, комплекты, комплексы), состоящие из двух или более составных частей.

Указания по выполнению задания

Для выполнения задания, самостоятельно подобрать изделие по вариантам, состоящее из 3-4 деталей, не считая стандартных (рисунок 1.7-1.9)

Ознакомиться с изделием, выяснить его назначение, рабочее положение, устройство и принцип работы, способы соединения составных частей изделий, последовательность сборки и разборки. После этого:

1. Разобрать изделие на составные части, выделив сборочные единицы. Определить наименование деталей и материал (Рисунки 1.10-1.12)
2. Составить схему деления изделия на составные части, руководствуясь ГОСТ 2.101 – 68 (Рисунок 1.13).
3. Составить спецификацию, содержащую перечень составных частей, входящих в изделие, текстовые конструкторские документы, относящиеся к этому изделию (в данном случае схему деления на составные части), запись сборочного чертежа изделия, которому относится спецификация. Разделы спецификации располагают в последовательности по ГОСТ 2.108-68.
4. Выполнить эскизы всех деталей и чертежи сборочных единиц со спецификациями к ним, если таковые входят в состав изделия. Сложить эскизы в порядке спецификации.
5. Выполнить тонкими линиями сборочный чертеж. Количество изображений – видов, разрезов, сечений, выносных элементов и т.д. должно быть достаточным, чтобы выявить устройство сборочной единицы. Принцип ее работы, установить, какие составные части и в каких количествах входят в данное изделие и как соединяются они между собой. Изображение деталей на сборочном чертеже строятся на основе выполненных эскизов
6. Нанести номера позиций, руководствуясь спецификацией. Правила нанесения номеров позиций на сборочных чертежах изложены в ГОСТ 2.109-68 и ГОСТ 2.316-68.
7. Заполнить основную надпись и выполнить надписи, располагаемые над ней.

Согласно ГОСТ 2.109-73 на сборочном чертеже наносят следующие размеры: габаритные, установочные, присоединительные, параметрические, разные.

На сборочном чертеже могут быть нанесены и рабочие размеры, используемые в процессе сборки изделия, например, при сверлении отверстия, проходящего через две детали и более, а также размеры, необходимые для изготовления по сборочному чертежу детали, на которые не выпущены отдельные чертежи – так называемые «бесчертежные детали», о которых в спецификации в графе «Формат» делается запись БЧ.

В этих случаях указываются шероховатость соответствующих поверхностей и другие необходимые данные.

Контрольные вопросы

1.Как различают конструкторские документы по содержанию?
2.Что такое сборочный чертеж?
3.Что такое чертеж общего вида?
4.Порядок составления сборочных чертежей по эскизам?
5.Что такое спецификация?



Рисунок 1.7 - Изделие (вариант 1)



Рисунок 1.10 - Деление изделия на составные части (вариант1)



Рисунок 1.8 - Изделие (вариант 2)



Рисунок 1.11 - Деление изделия на составные части (вариант2)

	
Рисунок 1.9 - Изделие (вариант 3)	Рисунок 1.12 - Деление изделия на составные части (вариант3)

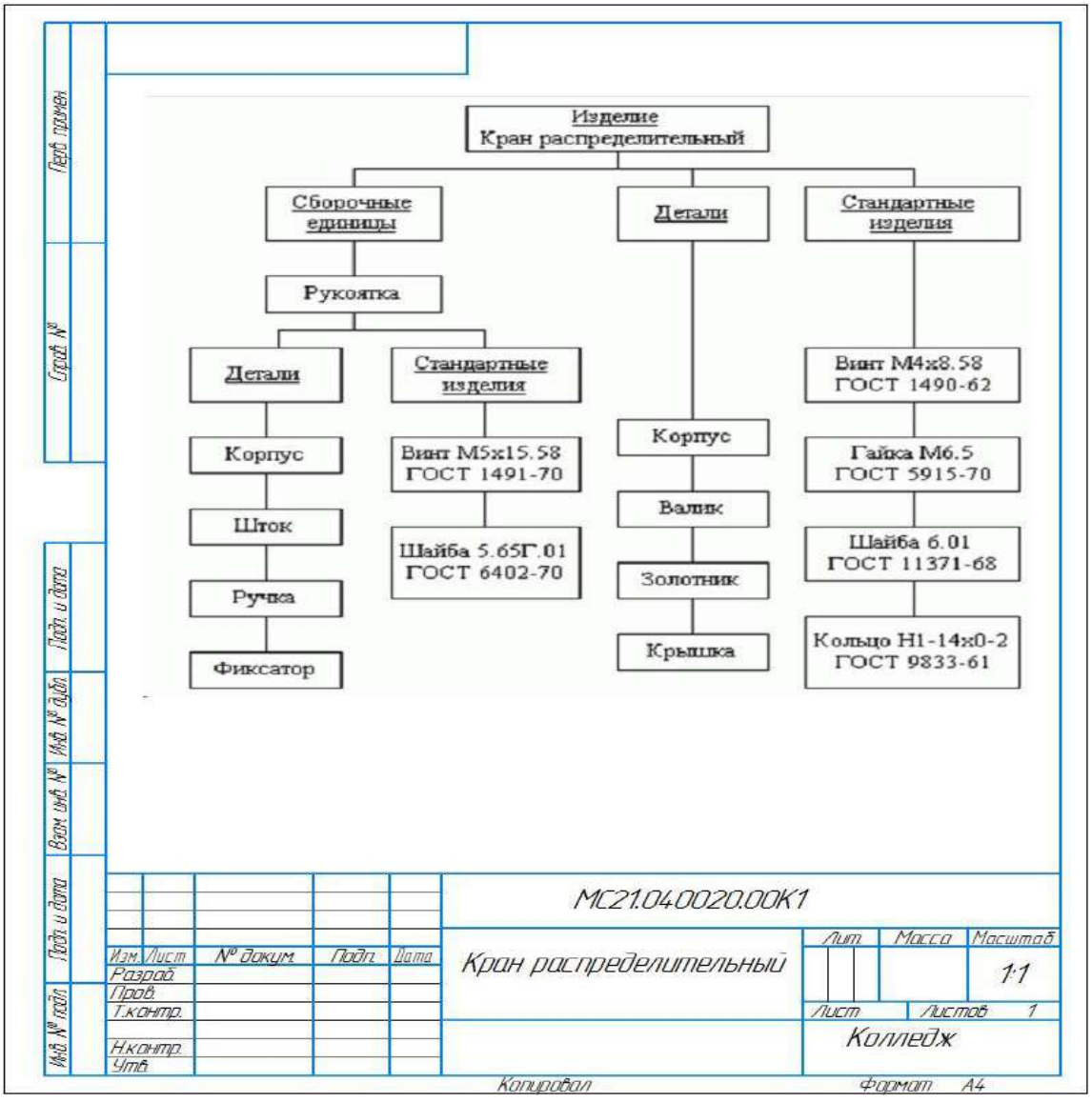


Рисунок 1.13 – Пример выполнения схемы деления изделия

1.4 Использование компьютерных технологий в практической деятельности

Практическая работа №1.3

Тема: **Использование компьютерной техники при построении чертежей и их оформлении**

Цель работы: Формирование знаний и умений основ работы с прикладными графическими программами для создания электрических чертежей и схем.

Оборудование и материалы: персональный компьютер; программное обеспечение - MS Word, MicrosoftPaint, Компас 3D.

Краткие теоретические сведения

В настоящее время современное инженерное проектирование формируется только с использованием современных программ САПР и графических и текстовых редакторов.

Под термином САПР понимается система автоматизированного проектирования, в которой органично объединены усилия коллектива проектировщиков и возможности математических методов, ЭВМ, на всей совокупности взаимосвязанных этапов проектирования с применением развитых средств программного и информационного обеспечения. Данная система необходима для улучшения качества проектных работ и сокращения их сроков [1].

Текстовые редакторы документов - это наиболее широко используемый вид прикладных программ. Они позволяют подготавливать документы гораздо быстрее и удобнее, чем с помощью пишущей машинки. Возможно использование различных шрифтов символов, абзацев произвольной формы, автоматического переноса слов на новую строку, оформление сносок, включение рисунков, автоматическая нумерация страниц и т.д. Наиболее мощные текстовые процессоры (ТП) позволяют проверять правописание, набирать тексты в несколько столбцов, создавать таблицы и диаграммы, строить оглавления, предметные указатели и т.д. Современные ТП имеют возможность отменить выполнение некоторого числа ошибочно сделанных операций (такой режим называется откатом) [1, 2].

В качестве примера такой системы в рамках курса мы изучим текстовый процессор Word фирмы Microsoft. Среди других известных, но менее используемых можно назвать WordPerfect, редактор Лексикон, Chiwriter (имеет широкий набор символов), MultiEdit (позволяет работать с большим количеством документов, до 100, используется для составления и редактирования программ на языках программирования Assembler, Pascal, Basic).

Оформление объявлений; иллюстративная и деловая графика; подготовка рисунков для статей, книг, моделирование реальных объектов, построение трехмерных конструкций, строительных и инженерных планов, двухмерных электрических схем и др. требуют специальных программ для их составления - это графические редакторы (ГР).

Все ГР можно разделить на два класса: растровые и векторные.

В растровых ГР изображение строится на растре маленьких по величине квадратиков (пикселей). Растровая графика получается в результате сканирования фотографий, иллюстраций, в результате съемки с помощью цифрового фотоаппарата или цифровой видеокамеры. Растровыми графическими редакторами являются Paint, Adobe Photoshop, Imaging, Adobe Photo-Paint, Photostyler.

Недостатки растровой графики: большие объемы файлов (несколько Мбайт) и искажение изображения при изменении масштаба. Достоинства – почти неограниченные возможности изменения цвета и формы объекта.

Весьма популярны также редакторы объектной (векторной) графики типа Corel Draw, AutoCAD, Microsoft Visio, Компас и др. Они работают с изображением, состоящим не из цветных точек, а из различных объектов – линий, букв и т.д. Векторы представляют собой математическое описание объектов (например, для прямой линии задаются координаты двух точек, для круга – координаты центра и радиус).

При использовании векторной графики запоминается математическая формула объекта, поэтому файлы с векторным изображением занимают значительно меньше места в памяти (десятки Кбайт). Изменение масштаба не приводит к искажениям.

Динамическое изображение создают с помощью редакторов 3D Studio MAX, Corel Draw, Animator Pro. Трехмерные объекты любой формы с помощью ГР можно подвергать деформациям изгиба, кручения и сдвига.

Специально для целей вычерчивания принципиальных электрических схем и автоматического получения перечней элементов к ним созданы системы компании АСКОН – это КОМПАС-Электрик Express, и для более сложных операций - КОМПАС-Электрик Std [7].

Система КОМПАС-Электрик Std поддерживает выпуск следующих основных документов (Рисунок 1.14):

- Схема электрическая принципиальная;
- Схема электрическая расположения;
- Монтажно-коммутационные документы;
- Разметка поверхностей под крепеж электроаппаратов;
- Перечень элементов;
- Ведомость покупных изделий;
- Спецификация

База УГО в системе КОМПАС-Электрик Std содержит практически все графические обозначения, которые необходимы схемотехнику. Если же каких-либо нужных УГО в базе не окажется, то их легко добавить. Наполнение базы данных комплектующих осуществляется непосредственно в процессе проектирования. По желанию пользователя любой новый компонент, рожденный в ходе работы, можно сохранить в базе данных, что позволит использовать его в следующих проектах.

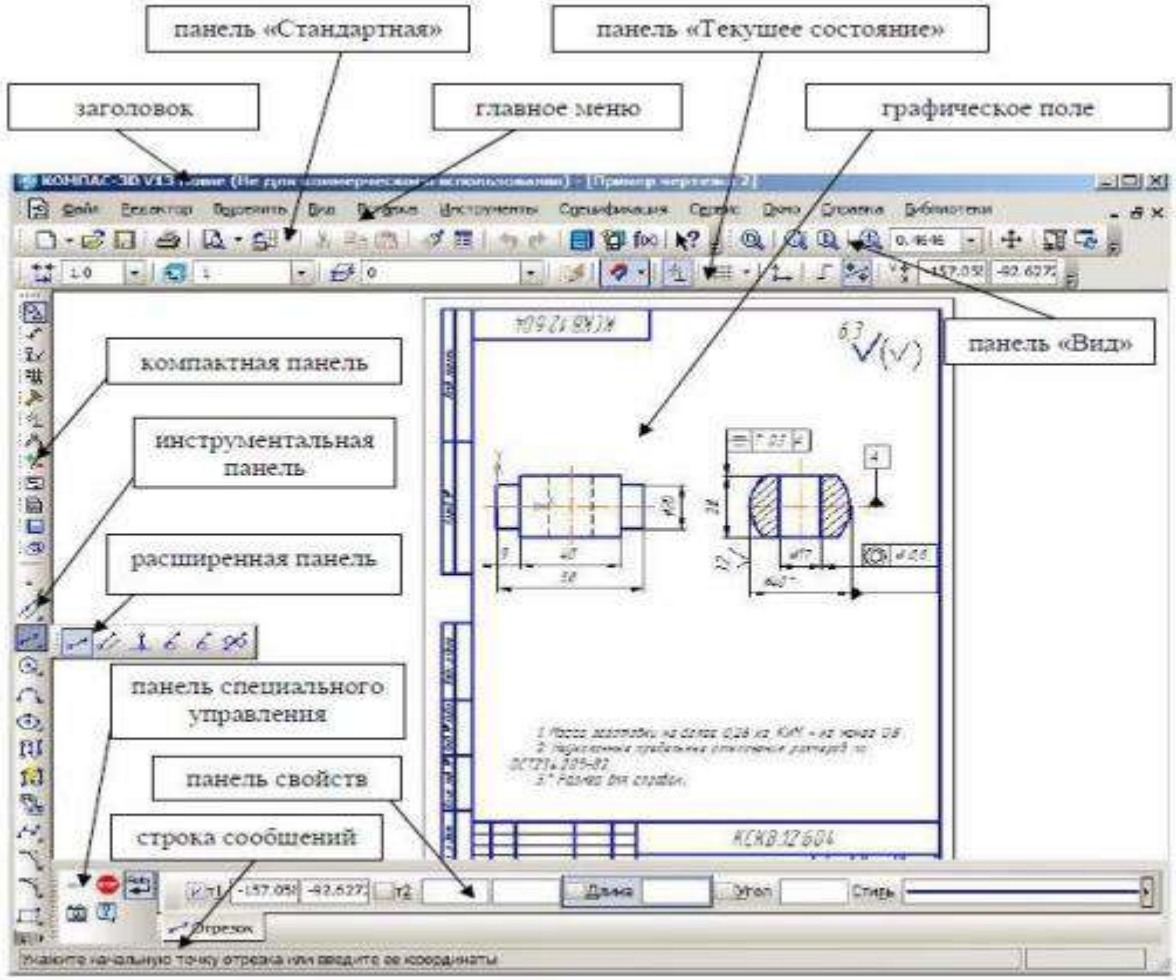


Рисунок 1.14 - Элементы интерфейса КОМПАС

Система предназначена для автоматизации проектирования и выпуска комплекта документации (схем и отчетов к ним) на электрооборудование объектов производства, в которых для выполнения электрических связей используется проводной монтаж (низковольтные комплектные устройства, системы релейной защиты и автоматики, АСУ ТП и т.д.).

Интерфейс программы КОМПАС

Для запуска системы дважды щелкните на ярлыке КОМПАС-3D или в меню **Пуск** выберите **Все программы—АСКОН—КОМПАС-3D**. Если при запуске системы открылись какие-либо документы, значит пользователь предыдущем сеансе работы не закрыл их. Закройте активные документы (графическое поле должно стать серым) и в дальнейшем после окончания работы в САПР КОМПАС закрывайте сначала активные документы, а затем выходите из системы.

Щелкните указателем мыши на кнопку **Открыть** на **Стандартной панели инструментов**.

Раскроется диалоговое окно **Выберите файлы для открытия**. В папке ***Обучающиеся*** на сервере студенческих работ, в папке вашей группы откройте папку ***Примеры*** и выберите любой из предложенных чертежей.

Нажмите кнопку **Открыть**. КОМПАС – это стандартное приложение WINDOWS. Рабочий экран, который отображается после запуска системы и загрузки документа практически не отличается по внешнему виду от окон других приложений (Рисунок 1.14).

Познакомьтесь с основными элементами интерфейса КОМПАС: **заголовок** – содержит название программы, номер версии системы, имя текущего документа и др.; **главное меню** – служит для вызова команд системы; **инструментальные панели**, которые можно разделить на две группы: панели, которые содержат кнопки вызова команд для работы с документом в целом (**Стандартная, Вид** и **Текущее состояние**) и панели для вызова команд создания и редактирования объектов; **компактная панель** – содержит несколько инструментальных панелей и кнопки переключения между ними; **панель свойств** (отображается при вызове любой команды) – служит для задания параметров команд отрисовки объекта при его создании или редактировании (в нее включена панель специального управления с кнопками, позволяющими контролировать процесс выполнения команд); **строка сообщений** – содержит сообщения системы, относящиеся к текущей команде или элементу рабочего окна, на который указывает курсор; **расширенная панель** команды раскрывается при удерживании нажатой левой кнопки мыши на пиктограмме команды, имеющей значок в виде маленького черного треугольника в правом нижнем углу пиктограммы.

При выделении объектов документа отображается **Контекстная панель** (Рисунок 1.15), которая содержит кнопки вызова наиболее часто используемых команд редактирования.

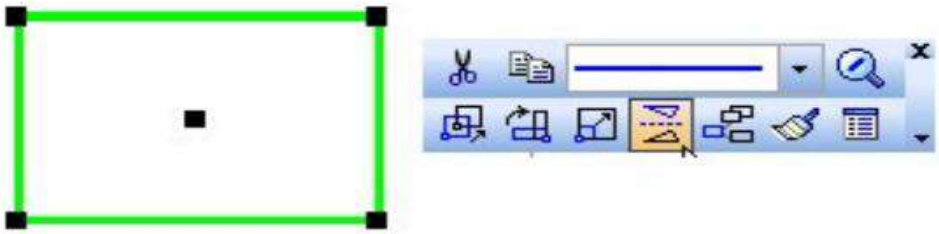


Рисунок 1.15- Контекстная панель

Создание и *сохранение нового документа.* Для создания нового документа вызовите команду «Создать» из **Стандартной панели** или выберите в меню **Файл – Создать**, в открывшемся окне **«Новый документ»** выберите **Фрагмент** и нажмите **ОК.**

Вызовите команду **Файл–Сохранить как…,** укажите путь к своей личной папке (уточните расположение студенческих папок у преподавателя) и задайте произвольно имя файла. Нажмите **Сохранить.** В открывшемся диалоговом окне **«Информация о документе»** (Рисунок 1.16) в строке **Автор** введите свою фамилию, номер группы и нажмите **ОК.** Документ сохранится. Закройте его. Для всех документов, которые будете сохранять в процессе изучения дисциплины, обязательно заполняйте это окно.

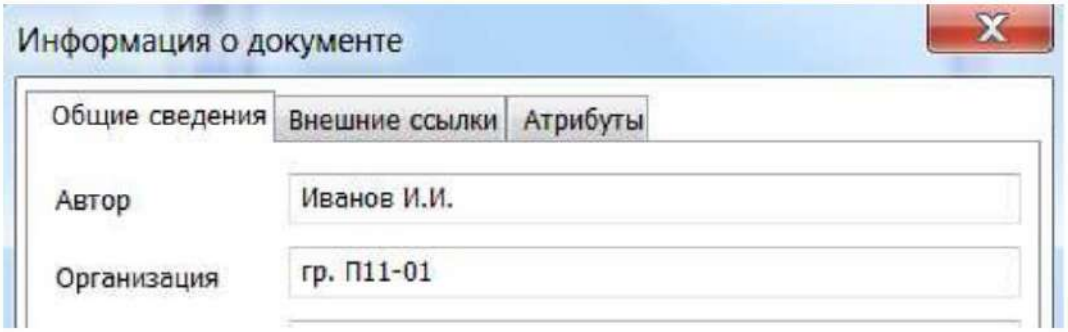


Рисунок 1.16- Диалоговое окно «Информация

Порядок выполнения работы

1. Разделиться на три группы (3-5 обучающихся). Работая в группах выполнить теоретические и практические задания, применяя кейс-технологии.

2. Теоретические задания.

Задание для группы 1. Текстовые редакторы. Основные программы, функции. Изучить экранный графический интерфейс MS Word – основные правила создания, редактирования и сохранения документа.

Задание для группы 2. Графические редакторы. Основные программы, функции. Изучить растровый редактор MicrosoftPaint – основные правила создания, редактирования и сохранения документа. Принципы работы с панелью документов.

Задание для группы 3. Программа векторной графики КОМПАС. Интерфейс и основные возможности программы твердотельного моделирования Компас 3D.

3. Практические задания. Лист практической работы выдается на стол каждому обучающемуся. Он имеет общие задания для выполнения.

Задание 1. **Типовой чертеж детали пластина**

- Нажмите кнопку *Новый лист* на Панели управления и в поле Новый документ выберете тип документа *Чертеж*. По умолчанию система создает лист формата А4 вертикальной ориентации и типом основной надписи *Чертеж конструкторский*, *первый лист.*

- В папке Мои документы с помощью кнопки *Создание новой папки* создайте папку с названием вашей группы и сохраните в ней чертеж под именем *Пластина*.

- На Инструментальной панели выберете команду *Прямоугольник по центру и вершине*. В строке параметров включите кнопку С Осями, задайте высоту и ширину прямоугольника и разместите фантом прямоугольника в центре листа (Рисунок 1.17)

- Увеличьте прямоугольник на весь экран. Включите кнопку *Скругление на углах объекта*. В Строке параметров задайте радиус скругления, включите кнопку. *На всех углах контура* и постройте скругления на углах прямоугольник (Рисунок 1.18, а).

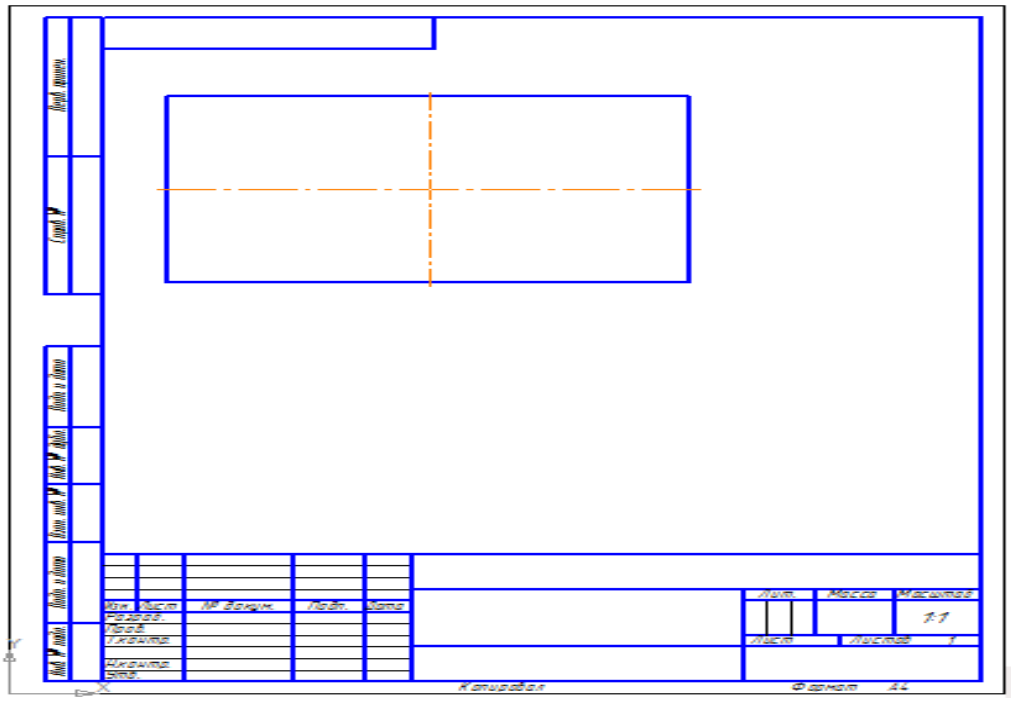
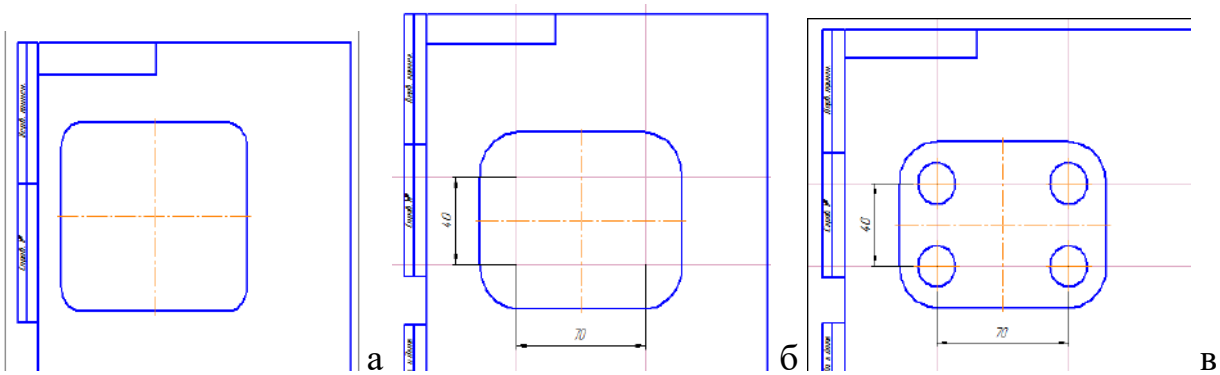


Рисунок 1.17 – Формирование фигуры

- Выберете команду *Параллельная прямая.* Постройте две пары параллельных прямых на расстоянии 20 и 35 мм соответственно, от вертикальной и горизонтальной осей симметрии прямоугольника (Рисунок 1.18,б).



а б в

а- округление; б-параллельные прямые; в-окружность

Рисунок 1.18 – Формирование команд

- С помощью команды *Ввод окружности* с диаметром 20 мм на Инструментальной панели постройте левую верхнюю окружность *с осями симметрии* и центром в верхней левой точке пересечения вспомогательных прямых (Рисунок 1.18, в).

- 7) Выполните последовательность команд *Редактор - Удалить – Вспомогательные кривые и точки - В текущем виде.*

- 8) Щелкните мышкой на построенной выше окружности. На странице Редактирование включите кнопку *Симметрия* и постройте правую верхнюю окружность, указав любые две точки на вертикальной оси прямоугольника. Другие окружности постройте также с помощью команды *Симметрия* (Рисунок 1.19).

-

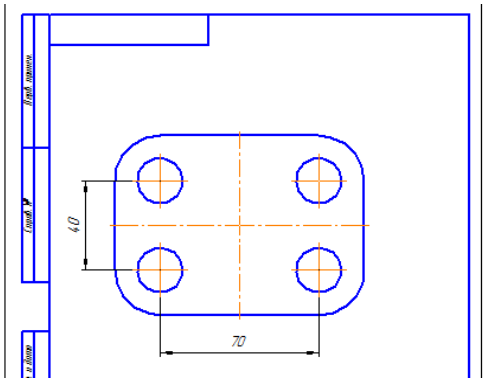


Рисунок 1.19 – Формирование команды «симметрия»

- Сохраните чертеж: Файл – Сохранить как - Имя файла: Пластина_Фамилия.

Задание 2. **Создание рабочего чертежа вилка**

- С помощью команды *Сервис - Параметры - Параметры листа* измените параметры вашего листа, задав для него формат А3 и горизонтальную ориентацию (Рисунок 1.20)

-

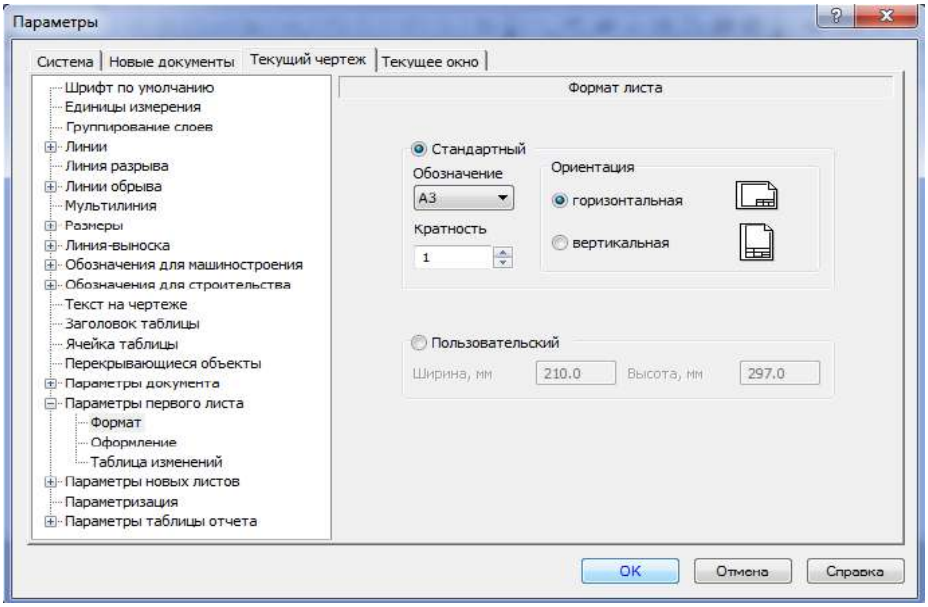


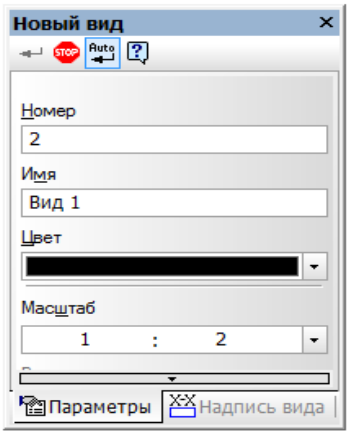
Рисунок 1.20– Изменение параметров листа

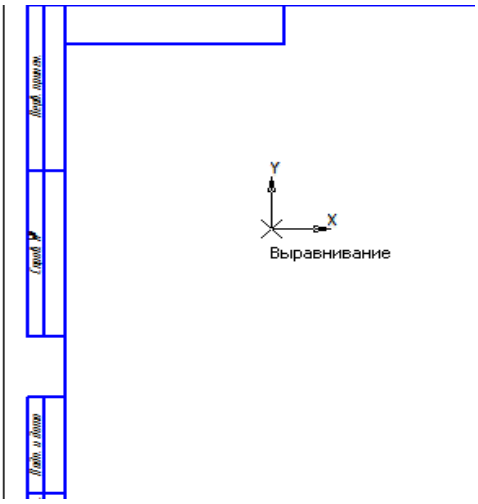
- В папке *Мои документы* с помощью кнопки Создание новой папки создайте папку с названием вашей группы и сохраните в ней чертеж под именем *Вилка*.

- Создание нового вида. В меню *Вставка* выберете команду *Вид*. После этого курсор примет вид символа начала координат, а в Строке

сообщений появился запрос Укажите точку привязки вида. Щелкните в некоторой точке в левой верхней части чертежного листа. Абсолютные координаты всех точек будут отсчитываться относительно начала координат созданного вида, а все создаваемые геометрические объекты и объекты оформления будут логически принадлежать этому виду

- В диалоговом окне *Новый вид* в поле *Масштаб* введите вручную или выберете из списка масштаб вида 1:2; в текстовое поле *Имя* введите имя вида *Главный* (Рисунок 1.21).
- Построение главного вида начните с трех окружностей диаметром 110, 77.5 и 45мм (Рисунок 1.22). Центр всех окружностей расположен вначале координат. Для быстрого и точного перемещения курсора в точку начала координат вида выполните клавиатурную команду [Ctrl]+[0] и нажмите клавишу [Enter] – вы зафиксировали центр окружности (Рисунок 1.22).





- Рисунок 1.21 – Выбор масштаба

- С помощью команды *Параллельная прямая* на Панели расширенных команд ввода вспомогательных прямых продолжите построение вида:

Следуя указаниям системы, после активизации команды *Параллельная прямая*, укажите горизонтальную ось симметрии вида, а в Строке параметров в поле введите значение 130 мм. Система построит фантомы параллельных прямых. Постройте две параллельные прямые с помощью кнопки «*Создать объект»* на Панели специального управления(Рис.1.22).

- Аналогично, постройте две прямые, параллельные вертикальной оси симметрии на расстоянии 150 и 180 мм. С помощью команды *Непрерывный ввод отрезков* продолжите построение вида, как показано на рисунке 1.23.

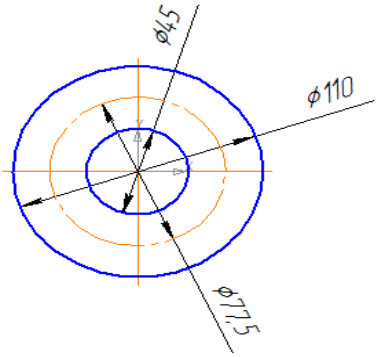


Рисунок 1.22 – Построение окружностей

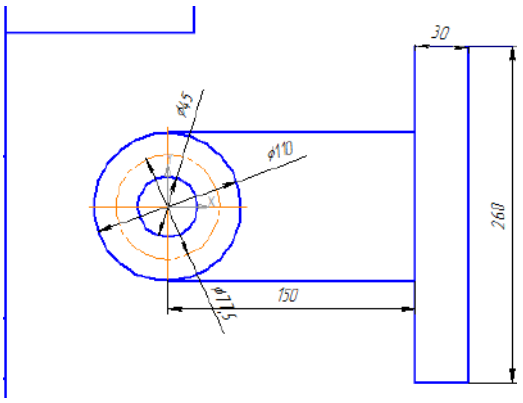


Рисунок 1.23 – Формирование отрезков

- Заполните ячейки штампа, указав номер практического занятия и название рабочего чертежа – Вилка (Рисунок 1.24).
- Сохраните чертеж (Рисунок 1.25): Файл – Сохранить как - Имя файла: вилка_Фамилия.

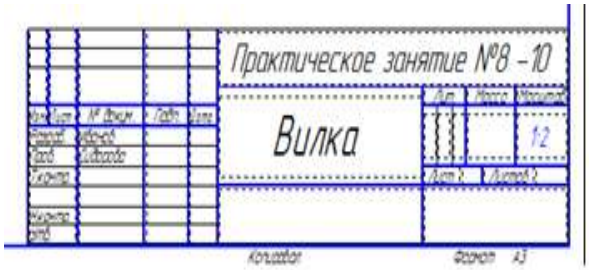


Рисунок 1.24– Пример заполнения штампа

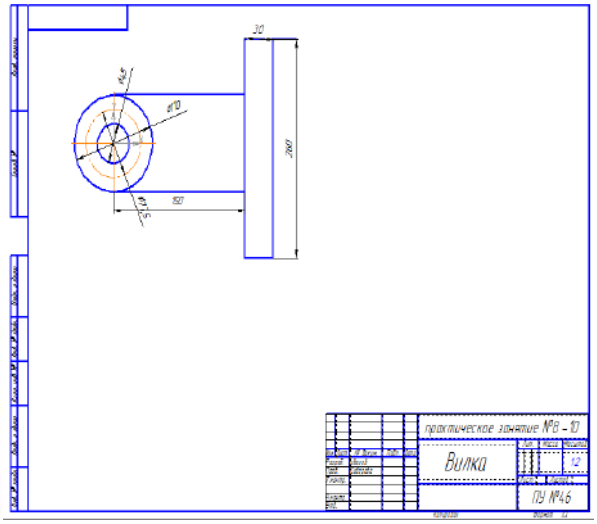


Рисунок 1.25 – Пример выполнения чертежа (окончательный вид)

Контрольные вопросы

1.Дайте характеристик компьютерным текстовым редакторам?
2.Дайте характеристик компьютерным редакторам растровой графики?
3.Дайте характеристик компьютерным редакторам векторной графики?
4.Характеристика программы Компас3D и КОМПАС-Электрик Std
5.Особенности интерфейса КОМПАС-3D?

1.5 Разработка и оформление схем по специальности с помощью пакета прикладных программ

Практическая работа №1.4

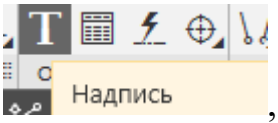
Тема: Форматирование и редактирование текста, вставка объектов, настраивание объектов на текст

Цель работы: научиться выполнять текст на чертеже, создавать текстовые стили.

Оборудование и материалы: персональный компьютер; программное обеспечение - Компас 3D.

Порядок выполнения работы

1. Начните новый чертеж с использованием шаблона с построенной окружностью.

2. Воспользуйтесь командой «Надпись» 

, которая расположена на инструментальной панели Обозначения. Альтернативный способ вызова команды — воспользоваться главным текстовым меню: Оформление — Надпись.

3. После вызова команды необходимо кликнуть на чертеже в том месте, где должен находиться текст, либо ввести координаты точки начала текста. До указания точки привязки, на Панели параметров можно задать угол текста и определить размещение текста: справа, слева, по центру, как показано на рисунке 1.26.

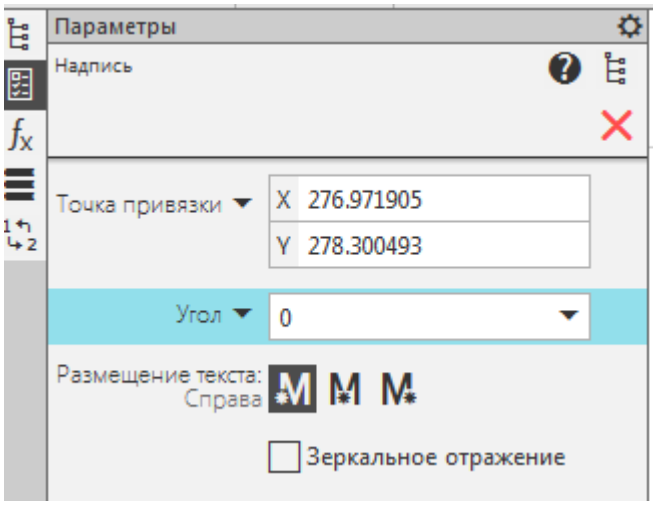


Рисунок 1.26 – Параметры текста

4. После указания точки вставки текста Панель параметров будет выглядеть следующим образом, как показано на рисунке 1.27.

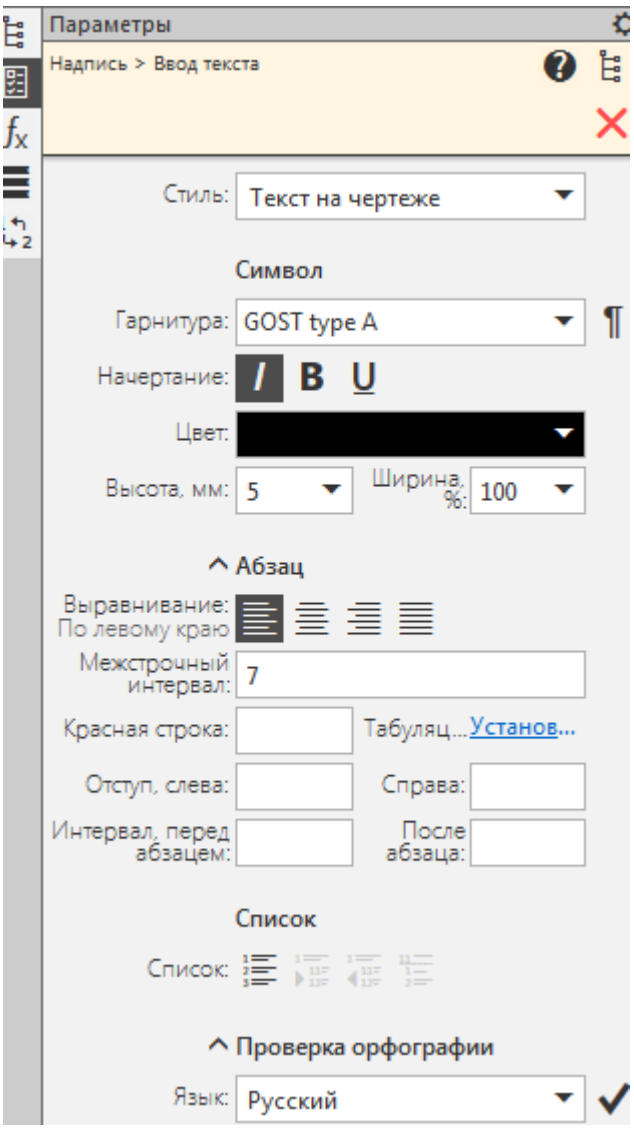


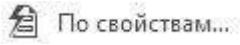
Рисунок 1.27 – Вид параметров текста после ввода

5. Основные элементы, представленные на Панели параметров:
- гарнитура (выбор шрифта);
- высота символов;
- возможность создания списков;
- вставка спецсимволов.

6. Для изменения текста в КОМПАС воспользуйтесь двумя способами:
- изменение самого текст;
- изменение стиля оформления.

Если нужно изменить сам текст, то нужно двойным кликом зайти на редактирование текстового блока, курсор окажется внутри блока и можно будет добавлять текст, удалять, вырезать и т.д.

Если нужно изменить стиль текста, то текстовый блок выделяется одним кликом и после этого нужные параметры меняются на Панели параметров. Если необходимо изменить свойства сразу группы текстовых блоков, которые можно выделить по какому-либо свойству, то необходимо запустить

команду «Выделить по свойствам» 

, которая расположена в главном текстовом меню в разделе «Выделить». После чего выделить абсолютно все тексты, поставив галочку в Объекты «Тексты», либо выбрать определенные параметры, по которым нужно искать

Порядок выполнения работы

Заполните штамп на чертеже так, как показано на рисунке 1.28. При заполнении штампа изменяйте высоту текста в зависимости от того, какую колонку штампа Вы заполняете.

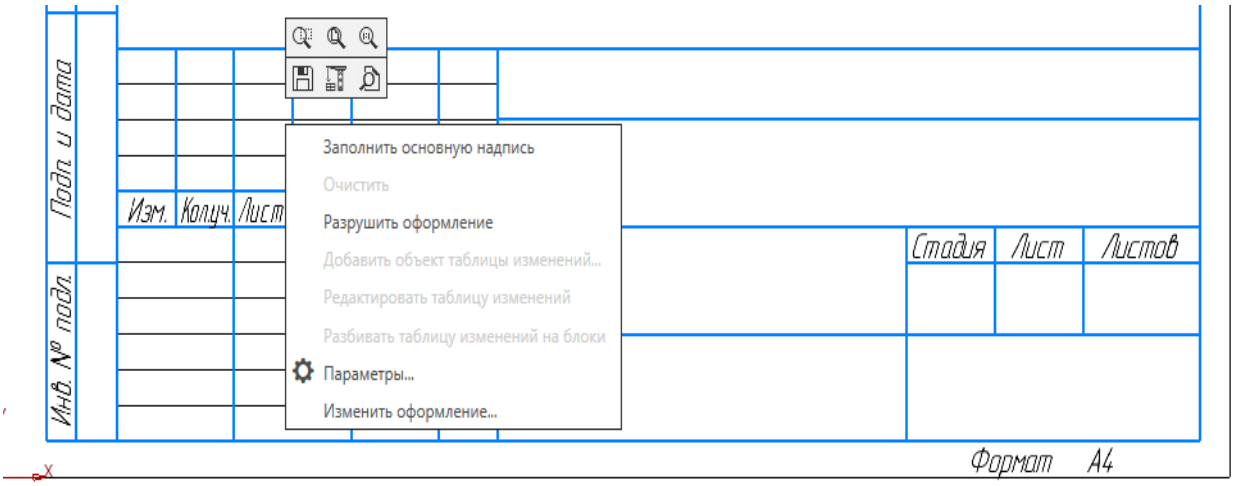


Рисунок 1.28 – Редактирование основной надписи

Контрольные вопросы

1.В чем особенности формирование стилей в Компас 3D ?
2.В чем особенности ввода текста поясняющей надписи в Компас 3D?
2.В чем особенности изменения шрифтов текста в Компас 3D?

Практическая работа №1.5

Тема: **Разработка и оформление схем по специальности с помощью прикладных программ**

Цель работы: Научиться работать и создавать однолинейные электрические принципиальные схемы в программе КОМПАС - ЭЛЕКТРИК
Оборудование и материалы: персональный компьютер; программное обеспечение - Компас 3D (КОМПАС-Электрик).

Краткие теоретические сведения

Систему КОМПАС-Электрик можно применять в институтах, конструкторских бюро и отделах, которые проектируют электроприводы, нестандартное оборудование, разрабатывают проекты электроснабжения в промышленном и гражданском строительстве [7].

Для работы с системой КОМПАС-Электрик необходимо иметь уже установленную программу КОМПАС-3D или КОМПАС-График.

Порядок выполнения работы

1.Открываем основное окно КОМПАС-3D, затем переходим во вкладку Приложения и далее КОМПАС-Электрик, как показано на рисунке 1.29.

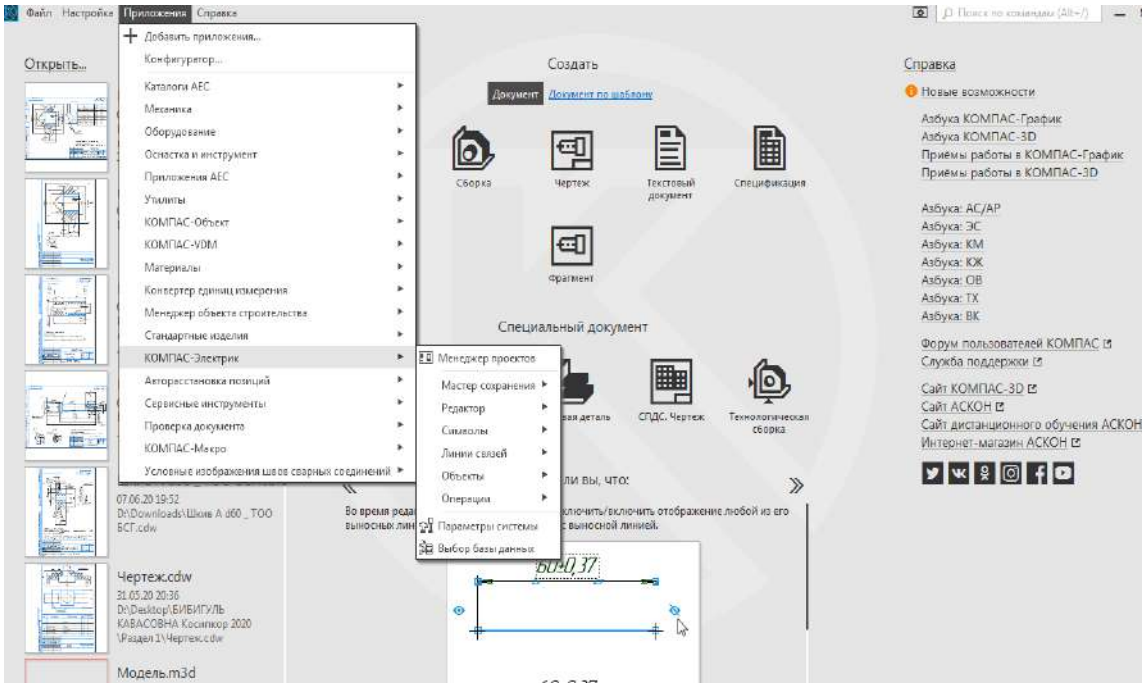


Рисунок 1.29 – Начальная стадия работы с КОМПАС-Электрик

2.Открываем Менеджер проектов, нажимаем  - создать новый проект, задаем имя проекта (любое), появляется окно базы данных – создать проект – Документ. Создаем новый документ, нажав на кнопку , выбирается из перечня предлагаемых шаблонов тот, который необходим нам для работы – принципиальная электрически схема, схема электрических соединений и т.п. В окне программы появляется соответствующий шаблон, в нем продолжаем работать.

3.В Менеджере проектов можно также сделать настройки параметров листа, задать Имя, обозначение, тип схемы и т.п. Кроме того во вкладке Параметры проекта , можно произвести настройки системы, который позволяет упростить работу с редактором схемы отчетов и менеджером проектов. В разделе Файлы содержится настройки работы с файловыми документами системы – настройки времени автоматического сохранения, указание директории для хранения временных файлов, а также включение/выключение режима резервного копирования файлов проекта с указанием директории для их сохранения. Во вкладке Новый проект можно заранее изменять настройки отображения элементов условных графических обозначений (УГО), шин и линий связи, изменять шрифты текстовых полей.

4.В системе предусмотрена возможность использования файлов базы данных разных систем управления базами данных (СУБД). Для этого в Приложении КОМПАС Электрик открываем вкладку «Выбор Базы

данных», и для учебных проектов можно загружать базу данных формата MS Access, как показано на рисунке 1.30.

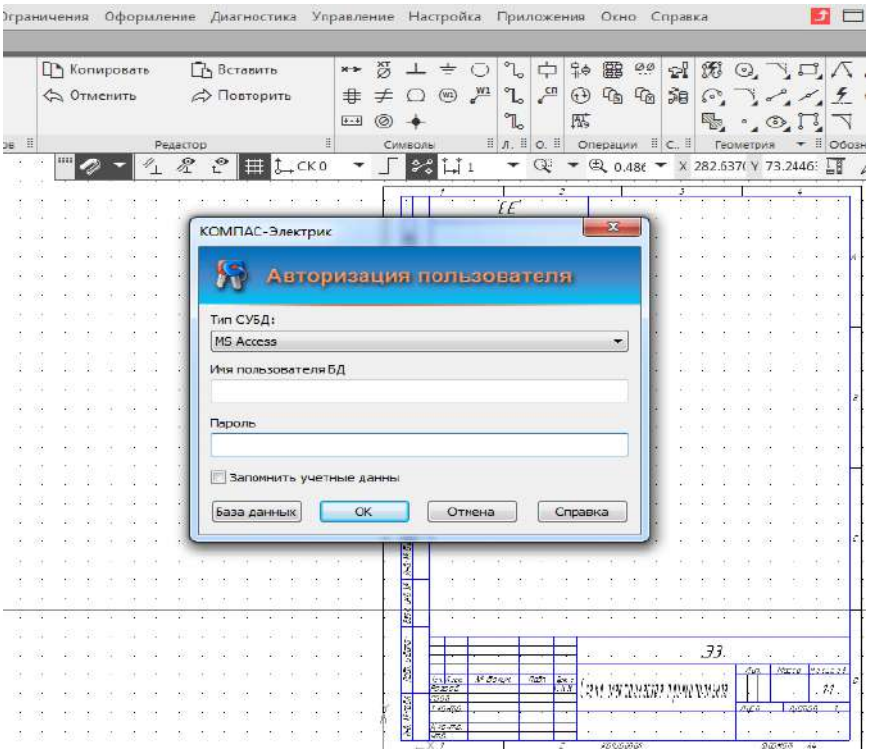


Рисунок 1.30 – Загрузка Базы данных СУБД

5.Разработка принципиальной схемы начинается с загрузки УГО, которое находится во вкладке Приложение – Компас Электрик-Объекты-УГО, либо на панели инструментов - кнопка . В команде УГО представлен перечень условно-графических обозначений, находящихся в выбранной базе данных.

6.Выбрав определённый аппарат, допустим, автоматический выключатель, можно вызвать свойства аппарата, и произвести выбор и редакцию аппарата во вкладке, как показано на рисунке 1.31. Во вкладке «Спецификация» выбирается конкретный тип аппарата по базе данных.

7. Аналогично добавляются все остальные аппараты электрической принципиальной схемы, допустим, контакты магнитного пускателя, кнопки управления, катушки, которые имеются в базе данных СУБД.

8. Аппараты между собой соединяются линиями электрической связи .

9. При необходимости формирования добавочных листов, необходимо на вкладке «Дерево чертежа» создать еще один лист нажатием клавиши .

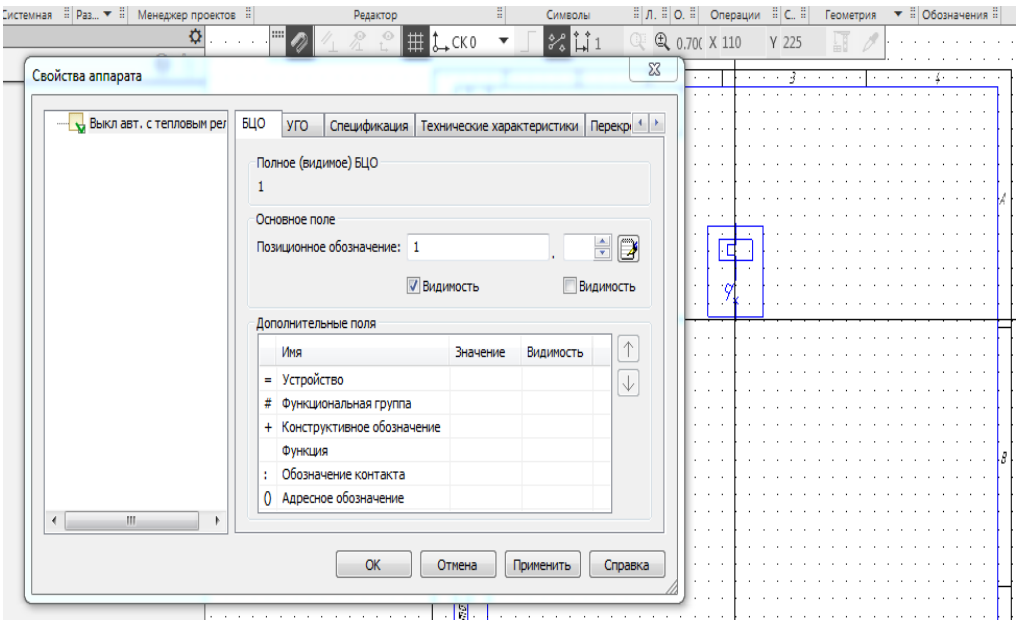


Рисунок 1.31 – Редактирование свойств аппарата УГО

Задание. Разделившись по группам, сформировать схемы, указанные на чертежах 1.32. Сохранить файл с наименованием «Ф.И.О. Электрическая схема».

Краткие выводы

Учебно-практические материалы модуля «Выполнение, оформление, чтение конструкторской и технологической документации с использованием прикладных программ» направлены создание, обработку и хранение информации, чертежей и изображений с помощью компьютерных технологий.

Для освоения дальнейших модулей и компетенций, будущему электрослесарю, необходимо будет сформировать основы пространственного мышления и воображения.

Контрольные вопросы

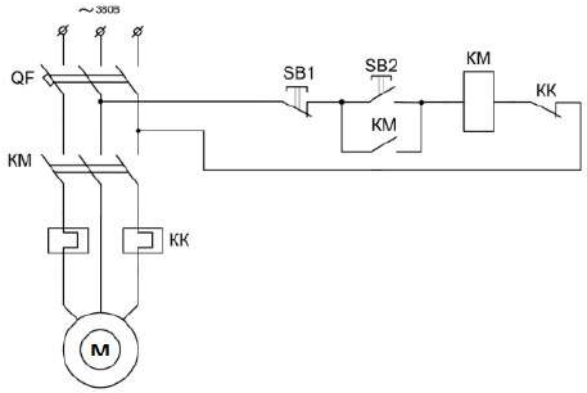
1.Что такое сопряжение, перечислите элементы сопряжения?

2.Что такое эскиз детали и чем он отличается от чертежа детали?

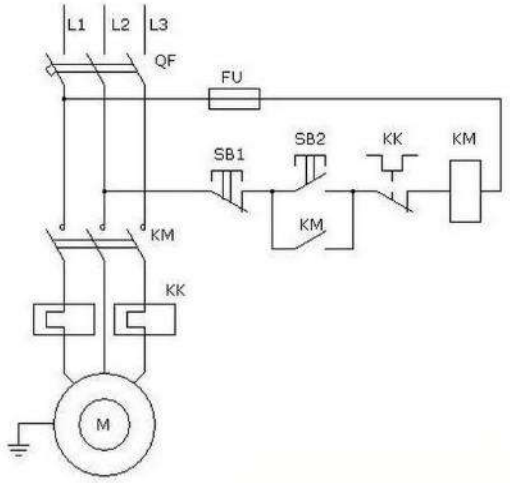
3.Как производится планировка изображений на рабочем поле эскиза?

4.Какие простейшие инструменты используются для обмера детали?

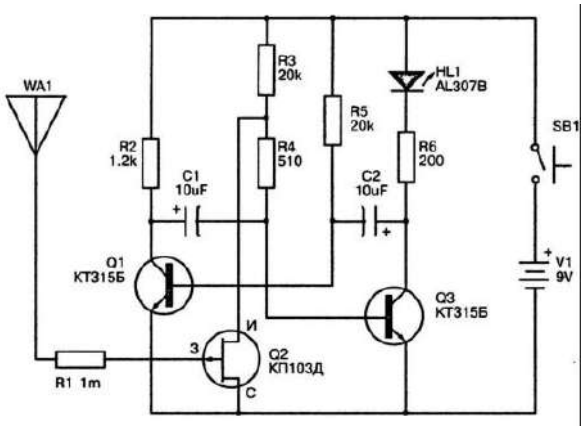
5.Какие прикладные компьютерные программы существуют для формирования электрических чертежей и схем?



Вариант 1



Вариант2.



Вариант 3

Рисунок 1. 32– Электрические схемы

РАЗДЕЛ 2. АНАЛИЗ, МОДЕЛИРОВАНИЕ И СБОРКА ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЦЕПЕЙ НА БАЗЕ ОСНОВНЫХ ЗАКОНОВ ЭЛЕКТРОТЕХНИКИ

Введение

Данный раздел направлен на изучение способов получения, передачи электрической энергии и изучения основных законов электротехники, привитию навыков сборки электрических цепей, применяемых в дальнейшем при изучении системы электроснабжения предприятий и гражданских зданий, электрических приводов, электрических машин и трансформаторов.

Цель раздела: формирование навыков выполнения анализа и сборки электрических цепей на базе основных законов электротехники.

Задачи:

1.освоить принципы производства и передачи электрической энергии;

2. научиться применять основные законы электрических \цепей;

3.применять графические и аналитические методы расчетов электрической цепи.

2.1 Принципы производства, передачи и распределения электрической энергии

Источник электрической энергии - электротехническое изделие (устройство), преобразующее различные виды энергии в электрическую энергию на ***электростанциях***.

Топливом для электрических станций служат природные богатства – уголь, торф, вода, ветер, солнце, атомная энергия и др. В зависимости от вида преобразуемой энергии электростанции могут быть разделены на следующие основные типы: тепловые, атомные, гидроэлектростанции, гидроаккумулирующие, газотурбинные, а также маломощные электрические станции местного значения – ветряные, солнечные, геотермальные, морских приливов и отливов, дизельные и др. [8].

- **Тепловая электрическая станция (ТЭС)** преобразует энергию тепла в электричество [9.14]. Тепловые электростанции работают на органическом топливе – мазут, уголь, торф, газ, сланцы (Рис.2.1)
- **Гидроэлектростанция (ГЭС)** преобразует энергию движения воды в электроэнергию. Гидроэлектростанции возводятся в местах, где большие реки перекрываются плотиной, и благодаря энергии падающей воды вращают турбины электрогенератора. Различают ГЭС плотинного и деривационного типов [13.14].
- **Атомные электростанции (АЭС)** отличаются от обычной паротурбинной станции тем, что на АЭС в качестве источника энергии используется процесс деления ядер урана, плутония, тория и др.(Рис.2.1) [14].

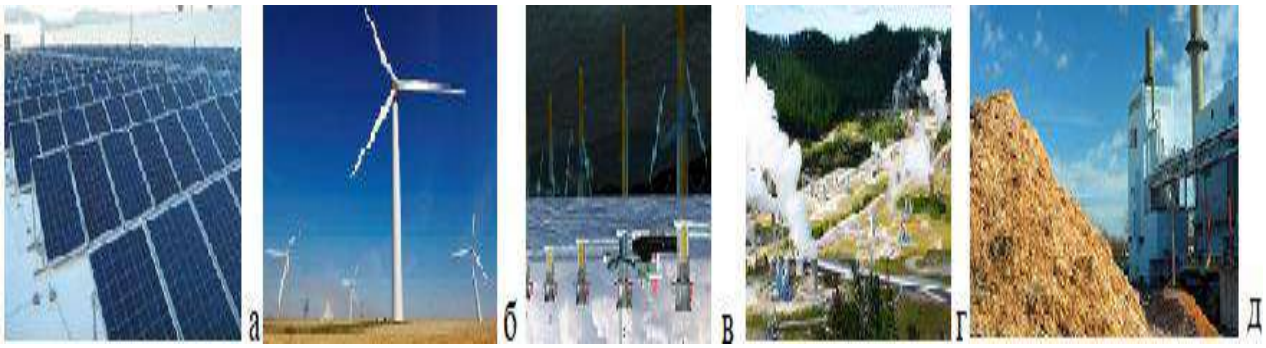


а-тепловая (ТЭС); б-плотинная ГЭС; в-атомная

Рисунок 2.1- Электростанции

Нетрадиционные энергоисточники станут основными к 2050 году, так утверждают ученые, а традиционные потеряют свою потребность.

- **Энергия солнца** (Рис.2.2) широко используется как для нагрева воды, так и для производства электроэнергии. Солнечные коллекторы производятся из доступных материалов: сталь, медь, алюминий и т. д., то есть без применения дефицитного и дорогого кремния. Это позволяет значительно сократить стоимость оборудования, и произведенной на нём энергии. В настоящее время именно солнечный нагрев воды является самым эффективным способом преобразования солнечной энергии [14].
- **Ветроэлектростанция (ВЭС)** (Рис.2.2) преобразует энергию ветра в электрическую энергию [12].
- **Приливные электростанции основаны на использовании** (Рис.2.2.) энергии прилива.
- **Нетрадиционные геотермальные источники энергии** (Рис.2.2) основаны на использовании тепла земных турбин (глубинные горячие источники).
- **Биохимическая электростанция** (Рис.2.2). Новые перспективные источники энергии – биомасса [21].



а –солнечные батареи; б- ветроэлектростанция; в- приливная электростанция; г-геотермальная электростанция; д-биохимическая электростанция на биомассах

Рисунок 2.2-Нетрадиционные источники энергии

Согласно правилам устройства электроустановок (ПУЭ) выделяют три категории, различающиеся степенью надежности и защиты электроприемников [8.13].

Первая категория подразумевает непрерывную подачу электричества к объектам и не допускает перерыва в электроснабжении. Перебои в поставке тока может привести к очень серьезным последствиям, а именно:

- ✓ угрозе жизни и здоровья людей;
- ✓ значительным финансовым потерям;
- ✓ поломке дорогостоящего оборудования, нарушению
- ✓ функционирования объектов ЖКХ;
- ✓ сбою в технологических процессах и т.п.

Электроприемники *первой категории* широко используются *в промышленности (химической, металлургической), шахтах, лечебно-профилактических учреждениях и реанимационных, котельных, в противопожарных устройствах, лифтах* и т.п.

Вторая категория электроприемников включает в себя устройства, отключение которых может привести к следующим последствиям:

- ✓ нарушению производственного цикла и недоотпуску продукции;
- ✓ простою оборудования, транспорта и различных механизмов;
- ✓ нарушению жизнедеятельности целых районов и большого количества людей.

Ко *второй категории* электроснабжения электроприемников относятся *жилые многоквартирные здания, общежития, детские и медицинские учреждения, спортивные сооружения, магазины, предприятия общественного питания, школы, музеи, бани* и т.д.

Третья категория надежности включает в себя установки, которые нельзя определить в первые две группы. Это могут быть жилые малоквартирные дома, небольшие производственные площадки и вспомогательные цеха. Питание осуществляется от одного источника, при этом перебои поставки энергии могут достигать до 24 часов (72 часа за год).

Принципы производства электрической энергии

Источником электрической энергии на станциях являются машинные генераторы (Рис.2.3).

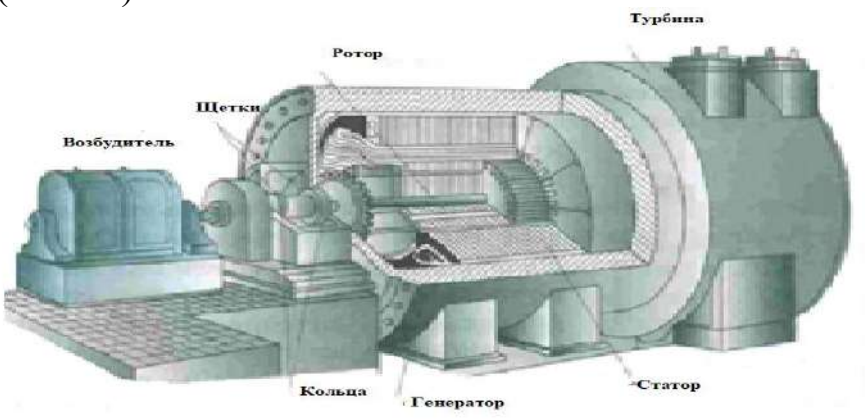


Рисунок 2.3 - Генератор с обозначением его основных элементов

В них происходит преобразование механической энергии в электрическую [8].

Принцип работы генератора переменного тока основан на законе электромагнитной индукции (рисунок 2.4).

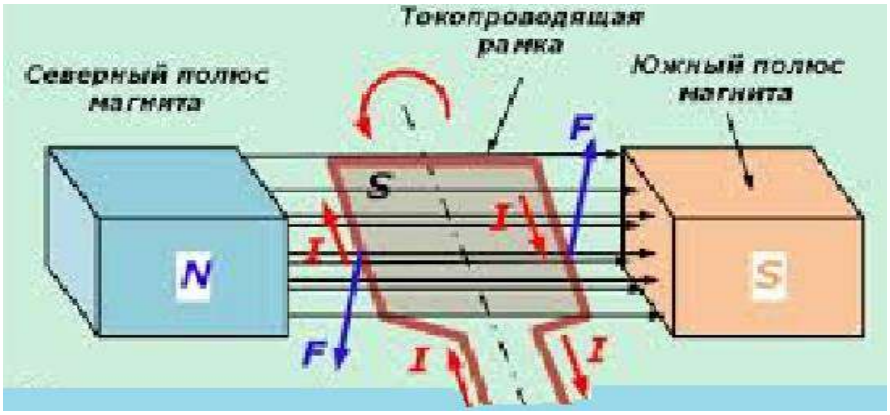


Рисунок 2.4- Принцип работы генератора переменного тока:
F-сила, вращающая рамку, I-ток, протекающий в рамке, S-площадь рамки

В зависимости от рода первичных двигателей электрические станции разделяют на тепловые, гидравлические и ветросиловые.

Несмотря на различие конструкции электростанции и способа преобразования в электрическую энергию, принцип действия у всех почти одинаковый. На рисунках в приложении 2.1. представлены схемы принципа работы часто встречающихся электростанций.

Большинство электростанций объединены в ***энергетические системы***.

При быстронарастающей нагрузке могут потребоваться быстрозапускающиеся паротурбинные агрегаты, а также дизельные агрегаты.

Кратковременные перерывы в электроснабжении могут возникнуть при восстановлении питания устройствами автоматического повторного включения (АПВ) и автоматического включения резерва (АВР). Поэтому для электроприемников, не допускающих вообще перерывов питания, применяют высоконадежные автономные местные источники [13].

В качестве местных источников реактивной мощности применяют:

- синхронные генераторы заводских ТЭЦ и других регулярно работающих заводских электростанций и генераторных установок;
- синхронные двигатели с cosφ 0,9;
- конденсаторные батареи.

Источниками питания для цеховых электроприемников являются цеховые трансформаторные подстанции (ЦТП). Число трансформаторов на ЦТП выбирают один или два.

Основные составные части электрической сети. *Электроэнергетической сетью* (Рис.2.5) называется совокупность электроустановок для передачи и распределения электрической энергии,

состоящая из подстанций, распределительных устройств, токопроводов, воздушных и кабельных линий электропередачи, работающих на определенной территории [9].

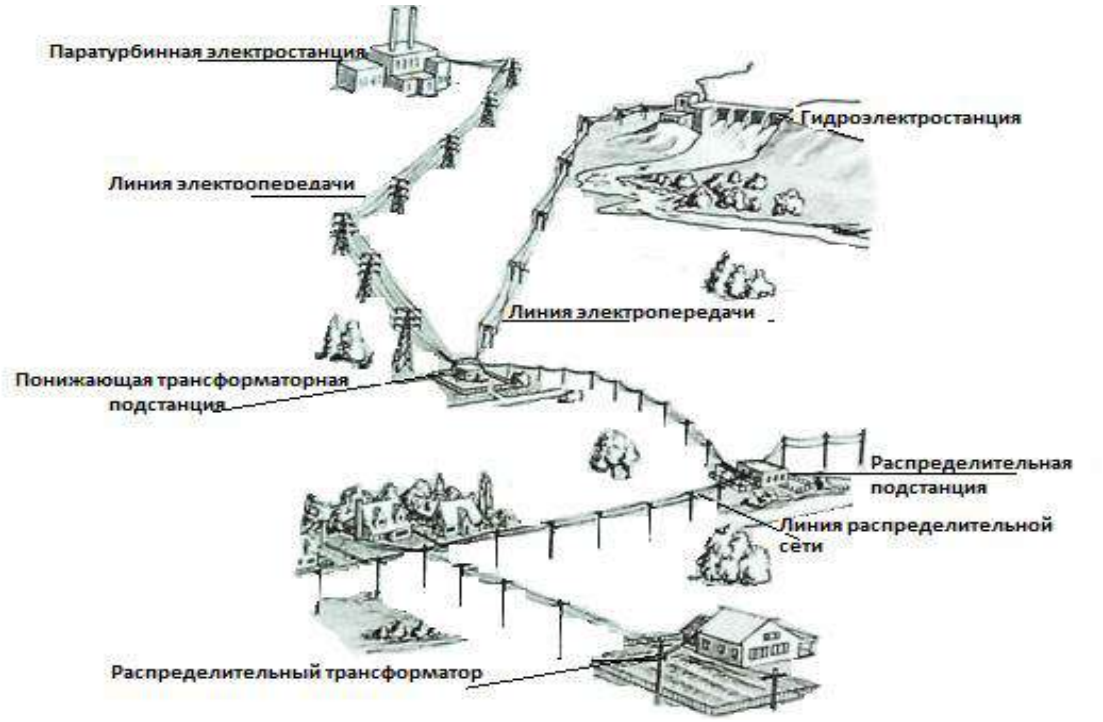


Рисунок 2.5- Электрическая сеть, и электроустановки для передачи и распределения электрической энергии

Все встречающиеся на практике схемы представляют собой сочетания отдельных элементов - фидеров, магистралей и ответвлений.

Электрические сети, в свою очередь, подразделяются на магистральные электрические сети и распределительные электрические сети.

К магистральным сетям относятся все высоковольтные линии электропередач (ЛЭП), к распределительным – ЛЭП мощностью ниже 110 кВ. Виды электрических сетей представлены на рисунке 2.6.

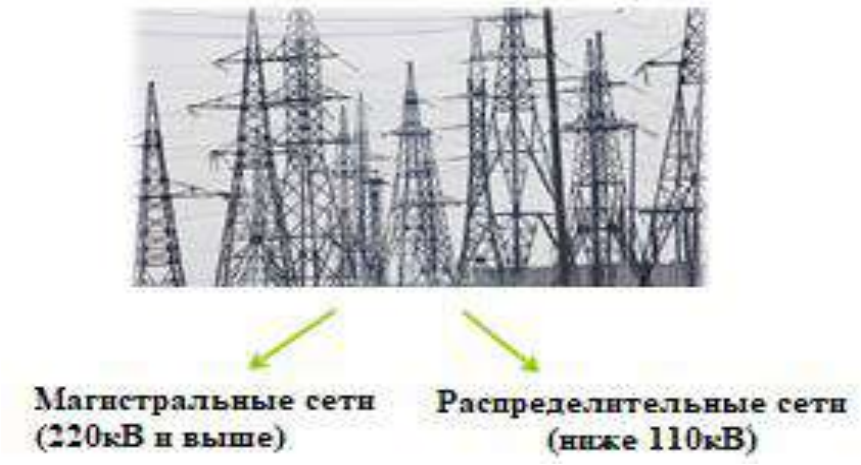


Рисунок 2.6-Виды электрических сетей

Сети связаны между собой трансформаторными и распределительными подстанциями. Для обеспечения установленных требований, энергосистемы оборудуют специальными диспетчерскими пунктами, оснащёнными средствами контроля, управления, связи и специальными схемами расположения электростанций, линий передач и понижающих подстанций.

Электрические сети делятся по [11]:

-напряжению;

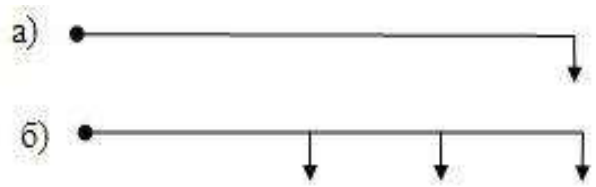
-степени подвижности;

-назначению;

- роду тока и числу проводов;

-схеме электрических соединений:

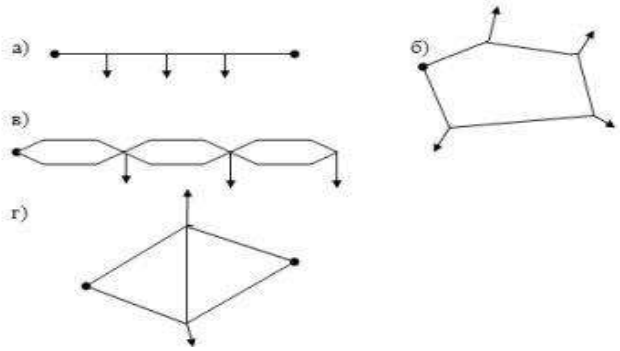
а) разомкнутые (нерезервированные). Схемы разомкнутых сетей представлена на рисунке 2.7.



а- радиальные (нагрузка только на конце линии); б- магистральные (нагрузка присоединена к линии в разных местах)

Рисунок 2.7 - Схемы разомкнутых сетей

б) замкнутые (резервированные) (Рис.2.8).



а сеть с двухсторонним питанием; б кольцевая сеть; в двойная магистральная линия; г сложнозамкнутая сеть (для питания ответственных потребителей по двум и более направлениям)

Рисунок 2.8- Схемы замкнутых сетей

Магистральные схемы электроснабжения применяются в следующих случаях:

а) когда нагрузка имеет сосредоточенный характер, но отдельные узлы ее оказываются расположенными в одном и том же направлении по отношению к подстанции и на сравнительно незначительных расстояниях

друг от друга, причем абсолютные величины нагрузок отдельных узлов недостаточны для рационального применения радиальной схемы;

б) когда нагрузка имеет распределенный характер с той или иной степенью равномерности.

8. По конструкции: электропроводки (силовые и осветительные), токопроводы - для передачи электроэнергии в больших количествах на небольшие расстояния, воздушные линии - для передачи электроэнергии на большие расстояния, кабельные линии - для передачи электроэнергии на далекие расстояния в случаях, когда сооружение ВЛ невозможно.

Наибольшее распространение для местных распределительных сетей получили радиальные, магистральные, смешанные (радиально-магистральные) и петлевые схемы.

При радиальной схеме электроснабжения каждая линия является как бы лучом, соединяющим узел сети (подстанцию, распределительный пункт) с единственным потребителем.

При магистральной схеме электроснабжения одна линия - магистраль - обслуживает, как указано, несколько распределительных пунктов или приемников, присоединенных к ней в различных ее точках.

Смешанные схемы распределительных местных сетей применяются при различном расположении потребителей относительно ЦП и сочетаются принципы построения как радиальной, так и магистральных схем.

К электрическим сетям предъявляются следующие требования: надежность, живучесть и экономичность.

Надежность - основное техническое требование, под которым понимается свойство сети выполнять свое назначение в пределах заданного времени и условий работы, обеспечивая электроприемники электроэнергией в необходимом количестве и надлежащего качества [16].

Живучесть электрической сети - это свойство выполнять свое назначение в условиях разрушающих воздействий в том числе и в боевой обстановке при воздействиях средств поражения противника.

Экономичность - это минимум затрат на сооружение и эксплуатацию сети при условии выполнения требований надежности и живучести.

Принципы передачи и распределение электрической энергии.

Электроэнергетической системой называется электрическая часть энергосистемы и питающиеся от нее приемники электрической энергии, объединенные общностью процесса производства, передачи, распределения и потребления электрической энергии (Рис.2.9).

Трансформаторные подстанции позволяют преобразовать напряжение из высокого в низкое. *При передаче электроэнергии, чем выше напряжение в сети, тем ниже уровень технических потерь электроэнергии.* Однако потребители не могут использовать электроэнергию с высоким напряжением.

Распределительные подстанции служат для приема и распределения электроэнергии, в основном, в городских электрических сетях, крупных промышленных и нефтедобывающих предприятиях [13].

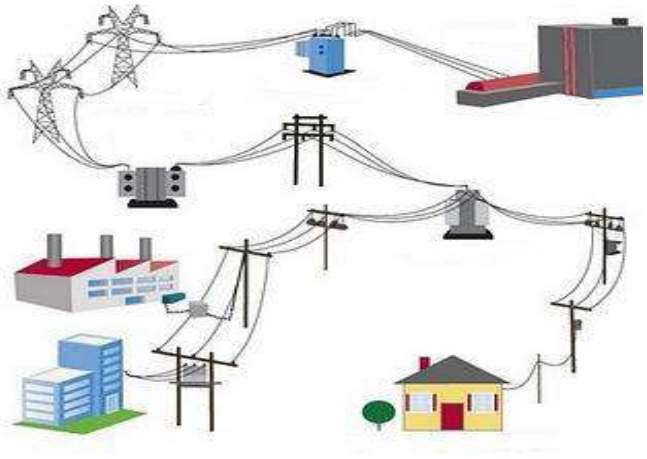


Рисунок 2.9- Передача и распределение электрической энергии

Принцип передачи и распределения электрической энергии заключаются в выполнении следующих основных приоритетов:

- ✓ максимальное приближение источников высокого напряжения к потребителям;
- ✓ сокращение ступеней трансформации;
- ✓ повышение напряжения электропитающих сетей;
- ✓ использование минимального количества электрооборудования;
- ✓ раздельная работа линий и трансформаторов;
- ✓ резервирование питания для отдельных категорий потребителей;
- ✓ секционирование всех звеньев распределения энергии с применением

устройств АВР при преобладании потребителей I и II категорий.

Однако существует ряд особенностей при транспорте электроэнергии

В реальности при передаче электроэнергии от электростанций в магистральные сети зачастую используются трансформаторные подстанции (Рис.2.10).



Рисунок 2.10-Транспортировка электроэнергии

2.2 Основные законы и характеристики электрических цепей

Характеристики электрического и магнитного полей.

Для характеристики электромагнитной обстановки применяют термины «электрическое поле», «магнитное поле», «электромагнитное поле». Все они тесно взаимосвязаны.

Электрическое поле формируется зарядами. Магнитное поле возникает в процессе движения электрических зарядов по проводнику [20]. На рисунке 2.11 представлены электрическое и магнитное поля.

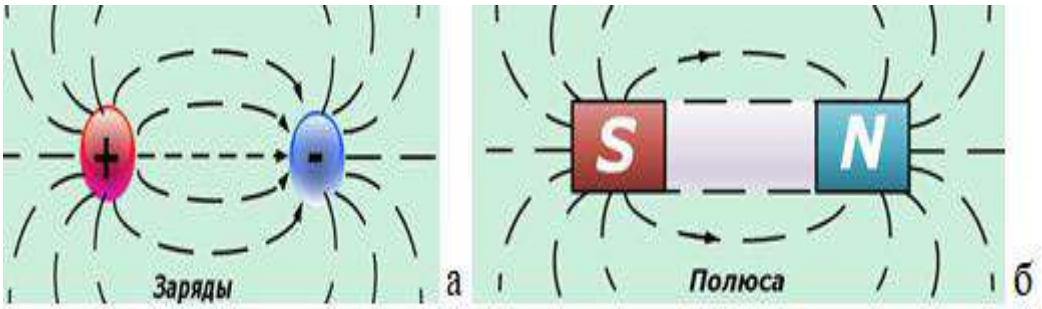


Рисунок 2.11 –Электрическое и магнитное поля: а- электрическое поле; б- магнитное поле

На рисунке 2.12 наглядно представлены направления основных характеристик электрического (Е) и магнитного (В) полей.

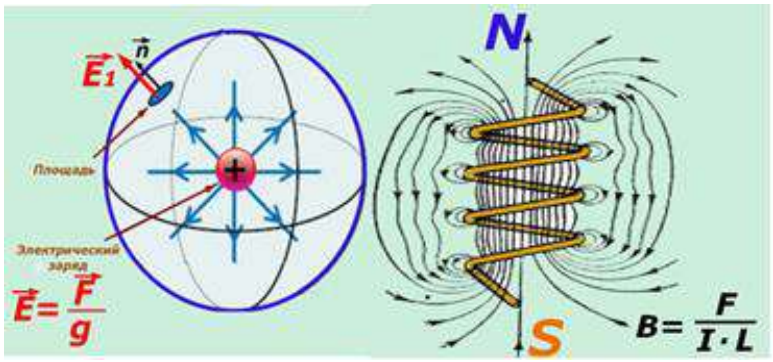


Рисунок 2.12 – Направления векторов напряженности и магнитной индукции

Физические факторы возникновения электромагнитного поля связаны с порождением, изменяющимся во времени электрическим полем магнитного, а изменяющимся магнитным полем – вихревого электрического поля [19,22].

Таким образом, оба они, непрерывно изменяясь, способствуют возбуждению друг друга (Рис.2.13) и взаимодействию (Рис.2.14).

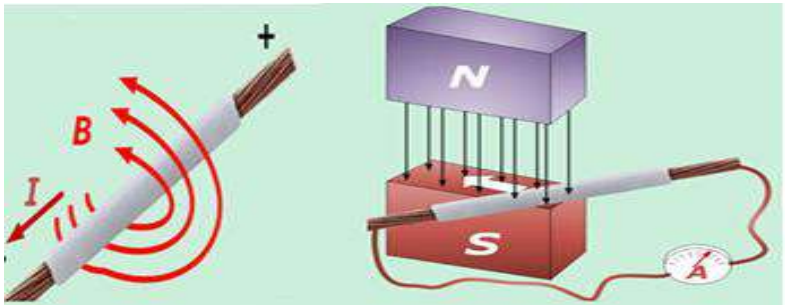


Рисунок 2.13 –Преобразования электрического и магнитного полей

Электромагнитное поле, порожденное неподвижными или равномерно движущимися заряженными частицами, неразрывно связано с ними, а если они движутся с ускорением, поле может «отрываться» от них и существовать независимо в виде электромагнитных волн [20].

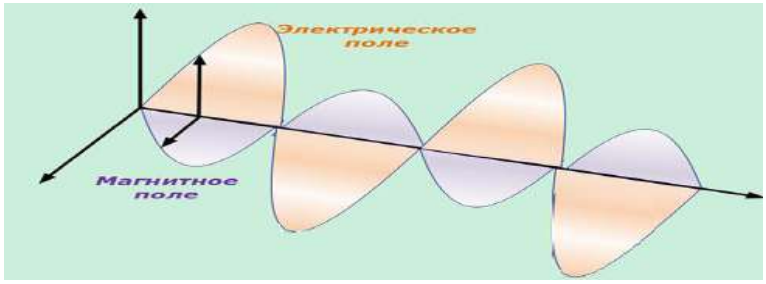


Рисунок 2.14 - Взаимодействие электрического и магнитного полей

Принцип распространения электромагнитной волны состоит в том, что вектора напряженности электрического и магнитного поля **E** и колеблются в фазе, т.е. они достигают максимума и минимума в одних и тех же точках пространства.

Условием возникновения электромагнитных волн является ускоренное движение электрических зарядов. Так, изменение магнитного поля происходит при изменении тока в проводнике, а изменение тока происходит при изменении скорости зарядов, т. е. при движении их с ускорением. Общие признаки и свойства различий этих полей представлены в таблице 2.1.

Основные элементы электрической цепи

Схема – это графическое изображение электрической цепи.

Ветвь – это участок схемы, вдоль которого течет один и тот же ток.

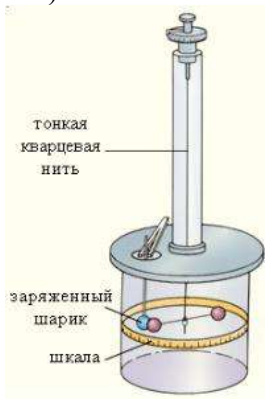
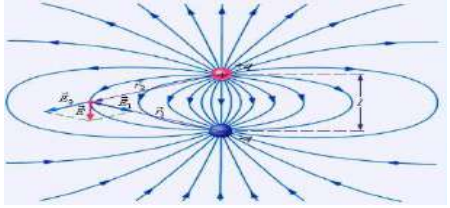
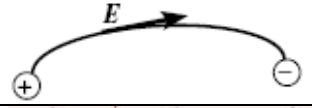
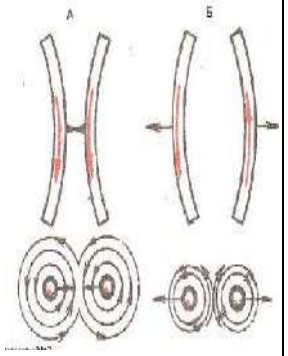
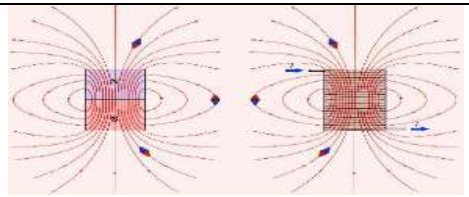
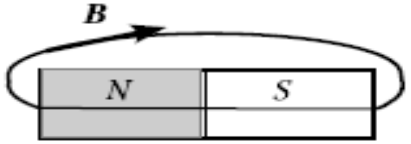
Узел – это место соединения трех или большего числа ветвей.

Контур – это замкнутый путь, проходящий по нескольким ветвям.

Независимый контур – это контур, у которого хотя бы одна ветвь не принадлежит другим контурам [19].

На рисунке 2.15 представлена электрическая схема с 4 узлами и 6 ветвями.

Таблица 2.1- Общие признаки и свойства различий электрического и магнитного полей

Вид поля	Источ-ники поля	Вещество и поле	Действие поля на заряженную частицу	Опыты	Силовая характе-ристка	Графическая характеристика	Энергетическая характеристика
эл. поле	Электр ически заряже нные тела	$\varepsilon = \frac{E_0}{E}$, проводники: $\varepsilon \to \infty$; диэлектрики :ε>1; электреты: ε>>1;сегнето электрики: ε>>1;	Сила всегда отлична от нуля:$F = q \cdot E$	Кулона (взаимодействие тел) 	E, Н/кл $E = \frac{F}{q}$ $E \parallel F$	 Линии напряжённости электрического поля в случае неподвижных зарядов имеют начало и конец (потенциальное поле); могут быть визуализированы (кристаллы хинина в масле) 	Работа электрического поля неподвижных зарядов (кулоновской силы) равна нулю при обходе замкнутой траектории
магнитн ое поле	Движу щиеся электр ически заряже нные тела (электр ически е токи)	$\mu = \frac{B}{B_0}$, ферромаг-нетики: μ >>1; диамагне-тики:μ< 1; парамагнети ки:μ> 1.	Сила зависит от скорости движения частицы: F = q·v·B sinα; ·sinα не действует, если частица покоится, а также если	Ампера (взаимодействие проводов) 	B, Тл; $B = \frac{F}{I \cdot l}$, $B \perp F$	 Линии индукции магнитного поля всегда замкнуты (вихревое поле); могут быть визуализированы (металлические опилки) 	Работа магнитного поля (силы Лоренца) всегда равна нулю, т.к. F перпедикулярна υ

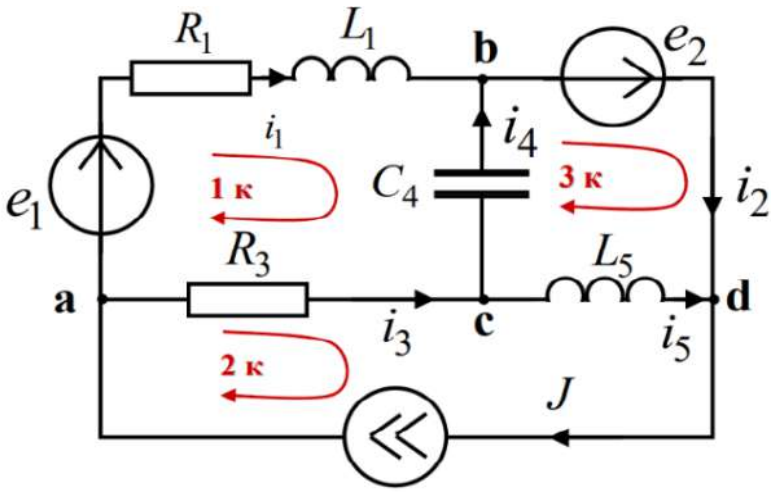
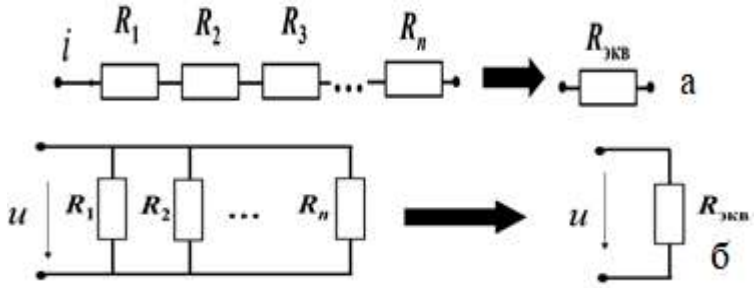


Рисунок 2.15 – Электрическая схема с обозначением контуров

При последовательном соединении через все элементы электрической цепи протекает один ток (Рис.2.16, а):



а-последовательное соединение; б-параллельное соединение

Рисунок 2.16 – Виды соединения резисторов

Для последовательного соединения элементов электрической цепи характерны следующие выражения:

а) для электрического тока:

$$I_{общ.} = I_1 = I_2 = I_3 = I_n, \quad (2.1)$$

где $I_{общ.}$ – общий ток электрической цепи, А;

I_1 - I_n – электрические токи элементов цепи, А;

б) для напряжения цепи:

$$U_{общ} = U_1 + U_2 + U_3 + Un, \quad (2.2)$$

где $U_{общ}$ – общее напряжение электрической цепи, В;

U_1– Un – электрические напряжения элементов цепи, В;

б) для сопротивления цепи:

$$R_{экв} = R_1 + R_2 + R_3 + \ldots + R_n, \quad (2.3)$$

где $R_{экв}$ – общее сопротивление электрической цепи, Ом;

R_1– R_n – электрические сопротивления элементов цепи, Ом.

Ветви, присоединенные к одной паре узлов, называют параллельными.

Параллельные ветви находятся под общим напряжением (Рис.2.17, б).

Для последовательного соединения элементов электрической цепи характерны следующие выражения:

а) для электрического тока:

$$I_{общ.} = I_1 + I_2 + I_{3..} +.. I_n, \quad (2.4)$$

где $I_{общ.}$ – общий ток электрической цепи, А;

I_1 - I_n – электрические токи элементов цепи, А;

б) для напряжения цепи:

$$U = U_{общ} = U_1 = U_2 = U_3 \ldots = Un, \quad (2.5)$$

где $U_{общ}$ – общее напряжение электрической цепи, В;

U_1– Un – электрические напряжения элементов цепи, В;

б) для сопротивления цепи:

$$R_{экв} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \ldots + \frac{1}{R_n}, \quad (2.6)$$

где $R_{экв}$ – общее сопротивление электрической цепи, Ом;

R_1– R_n – электрические сопротивления элементов цепи, Ом.

Основные законы электротехники.

Закон Ома:

а) для полной цепи:

$$U = I\,R \cdot \frac{E}{R+r}, \quad (2.7)$$

где E - ЭДС источника напряжения, В;

I -сила тока в цепи, А;

R-сопротивление внешних элементов цепи, Ом;

r-внутреннее сопротивление источника напряжения, Ом.

Из закона Ома для полной цепи вытекают следующие следствия:

- При $r \leq R$ сила тока в цепи обратно пропорциональна её сопротивлению, а сам источник в ряде случаев может быть назван источником напряжения;

При $r \geq R$ сила тока не зависит от свойств внешней цепи (от величин нагрузки), и источник может быть назван источником тока [22,23].

Но произведение силы тока на сопротивление – это есть напряжение:

$$U = I \cdot R, \quad (2.8)$$

где есть напряжение, или падение напряжения (разность потенциалов между началом и концом участка проводника);

Данное выражение (2.8) также называют законом Ома.

Таким образом, электродвижущая сила в замкнутой цепи, по которой течёт ток равняется:

$$E = I \cdot R + I \cdot r = U(R) + U(r), \quad (2.9)$$

где E - ЭДС источника напряжения, В;

напряжение цепи,В;

I - сила тока в цепи, А;

R- сопротивление внешних элементов цепи, Ом;

r- внутреннее сопротивление источника напряжения, Ом.

Получили что, сумма падений напряжения на внутреннем сопротивлении источника тока и на внешней цепи, равна ЭДС источника.

Исходя их выше сказанного формулу (2.8) можно записать другой вид закон Ома.

б) для участка цепи:

$$I = \frac{U}{R}, \quad (2.10)$$

где U –напряжение в цепи, В;

I -сила тока в цепи, А;

R-сопротивление участка цепи, Ом.

Для этой формулы применима следующая формулировка: «*Сила тока прямо пропорциональна напряжению и обратно пропорциональна сопротивлению данного участка цепи*».

Законы Кирхгофа

Первый закон Кирхгофа: *алгебраическая сумма токов в узле равняется нулю (*токи, втекающие в узел, принято считать положительными; вытекающие из узла – отрицательными*)*:

$$\sum (\pm I_k) = 0, \quad (2.11)$$

где I_k – электрические токи, входящие в узел и выходящие из нее, А.

Физический смысл этого закона прост: если бы он не выполнялся, в узле непрерывно накапливался бы электрический заряд, а этого никогда не происходит. Например, узел показан на рисунке 2.17, а значение электрического тока в узле определяется следующей формулой:

$$- I_1 + I_2 + I_3 = 0, \quad (2.12)$$

где $I_1 – I_3$ – электрические токи, входящие в узел и выходящие из нее, А.

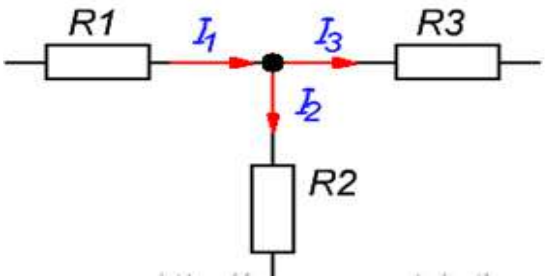


Рисунок 2.17 –Узел схемы

Второй закон Кирхгофа: *в контуре алгебраическая сумма падений напряжения на пассивных элементах равна алгебраической сумме ЭДС и напряжений на зажимах источников тока.*

Здесь термин «алгебраическая сумма» означает, что как величина ЭДС так и величина падения напряжения на элементах может быть, как со знаком «+» так и со знаком «-». При этом определить знак можно по следующему алгоритму:

1. Выбирается направление обхода контура (два варианта либо по часовой, либо против).

2. Произвольно выбирается направление токов через элементы цепи.

3. Расставляются знаки для ЭДС и напряжений, падающих на элементах по правилам:

- эдс, создающие ток в контуре, направление которого совпадает с направление обхода контура записываются со знаком «+», в противном случае ЭДС записываются со знаком «-»;

- напряжения, падающие на элементах цепи записываются со знаком «+», если ток, протекающий через эти элементы совпадает по направлению с обходом контура, в противном случае напряжения записываются со знаком «-».

Например, дана схема (Рис.2.18). Необходимо записать выражение согласно второму закону Кирхгофа, обходя контур по часовой стрелке, и выбрав направление токов через резисторы, как показано на рисунке. По алгоритму составляется уравнение по второму закону Кирхгофа:

$$E_1 - E_2 = -UR_1 - UR_2, \qquad (2.12)$$

или

$$E_1 = E_2 - UR_1 - UR_2, \qquad (2.13)$$

где E_1 и E_2 – ЭДС источников, В;

U – напряжение в цепи, В;

R_1 и R_2 – сопротивления резисторов, Ом.

Решение системы уравнений, составленных по законам Кирхгофа, позволяет определить все токи и напряжения в рассматриваемой цепи (Рис.2.18), где узлов в схеме N = 4, а ветвей M= 6.

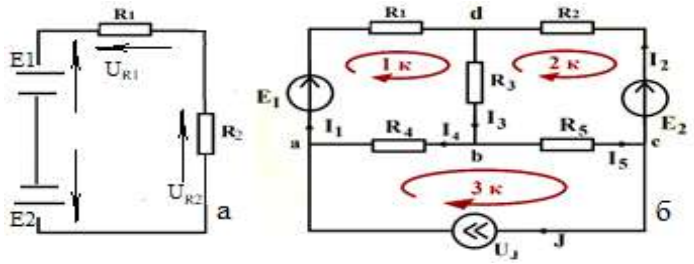


Рисунок 2.18 - Электрическая цепь для уравнений по законам Кирхгофа

Определяется количество уравнений по законам Кирхгофа:

-по первому закону: N -1=3;

-по второму закону: M- N +1=3.

Итак, количество уравнений по данной схеме 3. Записываются уравнения для каждого контура:

а: $I_1 – I_4 – J = 0$,

в:- $I_3 + I_4 + I_5 = 0$,

с: $I_2 – I_5 + J = 0$.

1к: $R_1I_1 + R_3I_3 + R_4I_4 = E_1$,

2к: $- R_2I_2 – R_3I_3 – R_5I_5 = - E_2$,

3к: $- R_4I_4 + R_5I_5 = U_J$.

Записываются уравнения в матричной форме по следующей формуле:

$$A \cdot I = B, \qquad (2.14)$$

где A − матрица коэффициентов перед неизвестными величинами;

B- матрица источников.

Решение системы выполняется по следующей формуле:

$$I = A^{-1} \cdot B, \qquad (2.15)$$

где A^{-1}–обратная матрица коэффициентов перед неизвестными величинами;

Составляется матрица и решается по выше указанным формулам:

$$A = \begin{array}{c} \begin{matrix} I_1 & I_2 & I_3 & I_4 & I_5 & U_J \end{matrix} \\ \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & -1 & 0 \\ R_1 & 0 & R_3 & R_4 & 0 & 0 \\ 0 & -R_2 & -R_3 & 0 & R_5 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -R_4 & -R_5 & -1 \end{bmatrix} \end{array} \quad B = \begin{bmatrix} J \\ 0 \\ -J \\ E_1 \\ -E_2 \\ 0 \end{bmatrix}$$

$$I_1 – I_4 – J = 0$$
$$-I_3 + I_4 + I_5 = 0$$
$$I_2 – I_5 + J = 0$$
$$R_1I_1 + R_3I_3 + R_4I_4 = E_1$$
$$-R_2I_2 - R_3I_3 – R_5I_5 = -E_2$$
$$-R_4I_4 + R_5I_5 = U_J$$

Лабораторная работа № 2.1

Тема: **Исследование электрических цепей при последовательном и параллельном соединении резисторов**

Цель: Проверка основных законов (Ома и Кирхгофа) в цепях последовательного и параллельного соединения резисторов

Оборудование и материалы: лабораторный монтажный стенд по электротехнике, амперметры; вольтметры; реостаты, выключатель, соединительные провода с наконечниками

Краткие теоретические сведения

Законы Кирхгофа позволяют анализировать и рассчитывать электрические цепи с одним источником при различных соединениях резисторов [22].

*Последовательным соединением участков электрической цепи называют соединение, при котором через все участки цепи проходит один и тот же ток (*Рис. 2.20, а*). Напряжение на каждом последовательно включенном участке пропорционально величине сопротивления этого участка.*

Общее (эквивалентное) сопротивление последовательно потребителей равно сумме сопротивлений этих потребителей. Характерно, что при последовательном соединении потребителей на большем сопротивлении тратится большая мощность. На каждый отдельный резистор при этом приходится некоторое частичное напряжение:

$$U_1 = I\,R_1\;U_2 = I\,R_2\;U_3 = I\,R_3, \qquad (2.16)$$

где U_1- U_2- U_3 – напряжения контуров в цепи, В;

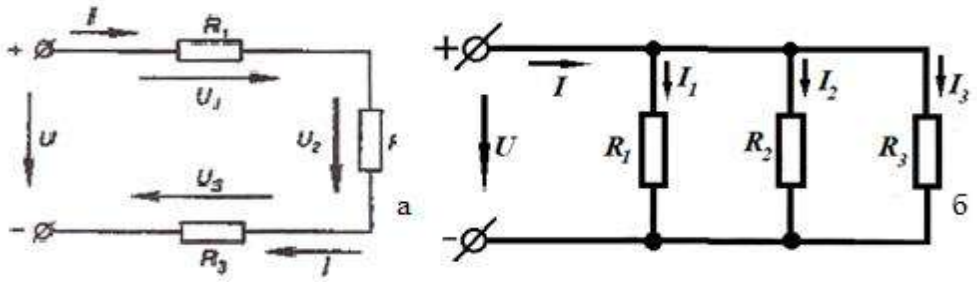
I – электрический ток в цепи, А;

R_1 - R_2- R_3– сопротивления резисторов в цепи, Ом.

Сумма частичных напряжений в соответствии со вторым законом Кирхгофа равна полному приложенному напряжению:

$$I\cdot R_1+I\cdot R_2+I\cdot R_3=U \qquad (2.17)$$

*Параллельным соединением участков электрической цепи называют соединение, при котором все участки цепи присоединяются к одной паре узлов, т. е. находятся под действием одного и того же напряжения (*Рис. 2.19, *б).* Токи параллельно включенных участков обратно пропорциональны сопротивлениям этих участков.



а-последовательное; б-параллельное

Рисунок 2.19 – Соединения резисторов

Обратная величина общего (эквивалентного) сопротивления (R) параллельно включенных потребителей равна сумме обратных величин сопротивлений этих потребителей.

При параллельном соединении потребителей, на большее сопротивление тратится меньшая мощность.

Порядок выполнения работы

Проверка закона Ома и второго закона Кирхгофа при последовательном соединении приемников.

1. Соберите цепь (Рис. 2.20, а) на монтажном стенде (Рис. 2.21) Последовательно с резисторами 47, 100 и 220 Ом включите специальные миниблоки для подключения амперметра.

2. С помощью двухжильного кабеля со штекером поочередно подключайте к этим миниблокам мультиметр в режиме измерения тока и измеряйте ток вдоль всей последовательной цепи. Убедитесь, что ток имеет одно и то же значение и запишите его в таблицу 2.3. Затем измерьте напряжения на каждом резисторе, а также полное напряжение на входе цепи. Все измеренные величины занесите в таблицу 2.3

3. Рассчитайте эквивалентное сопротивление цепи, ток и падение напряжения на каждом резисторе. Результаты занесите в таблицу 2.2 и сравните с измеренными значениями.

4.Проверьте выполнение второго закона Кирхгофа по экспериментальным и по расчётным значениям напряжений по формуле (2.17).

5.Вычислите величину эквивалентного сопротивления цепи, воспользовавшись законом Ома.

6. По закону Ома для всей цепи вычислите ток и сравните с измеренным значением.

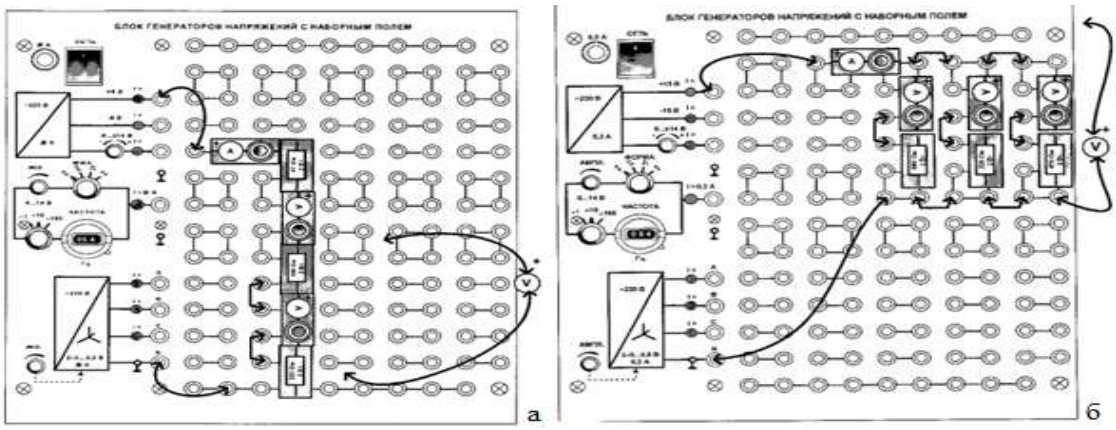
7.Вычислите отношения падений напряжений и отношения соответствующих сопротивлений и сделайте вывод о распределении напряжений при последовательном соединении резисторов, выполнения второго закона Кирхгофа и закона Ома для участка цепи.

Таблица 2.2 - Результаты исследования цепи с последовательным соединением резисторов

№	Результаты измерений					Результаты вычислений						
	U, В	U_1, В	U_2, В	U_3, В	I, А	$R_{экв.}$, Ом	U′, В	R_1, Ом	R_2, Ом	R_3, Ом	$R'_{экв.}$, Ом	I′, А
1												
2												
3												

8.*Проверка 1-го закона Кирхгофа при параллельном соединении резисторов*.

9.Соберите цепь (Рис.2.20, б) на монтажном стенде, вставив последовательно с каждым и резисторов (680, 220 и 470 Ом) специальные миниблоки для подключения амперметра.



а- для последовательного соединения; б- для параллельного соединения

Рисунок 2.20– Монтажная схема

10.Измерьте напряжение на каждом резисторе, а также напряжение на источнике. Убедитесь, что все они одинаковы и запишите значение напряжения в таблицу 2.4

11.С помощью мультиметра, специального кабеля со штекером и миниблоков для подключения амперметра измерьте токи в каждом резисторе и на входе цепи. Результаты запишите в таблицу 2. 4.

12.Рассчитайте эквивалентное сопротивление цепи, ток в каждом резисторе и на входе цепи. Результаты занесите в табл. 2.4 и сравните с измеренными значениями. Проверьте как по экспериментальным, так и по расчётным данным, выполняется ли первый закон Кирхгофа.

13.Вычислите эквивалентное сопротивление цепи, воспользовавшись законом Ома для всей цепи. Результаты вычислений занесите в таблицу 2. 3.

14.Определите общий ток в цепи по свойствам параллельного соединения резисторов и сравните с измеренным значением тока.

15.Вычислите сопротивления резисторов по закону Ома для участка цепи.

16.Определите проводимости элементов и эквивалентную проводимость цепи по формуле

17.Вычислите эквивалентную проводимость цепи по свойству параллельного соединения резисторов и сравните с результатом измерения.

18.Сделайте вывод о распределении токов при параллельном соединении резисторов и справедливости первого закона Кирхгофа.

Таблица 2.3 - Результаты исследования цепи с параллельным соединением резисторов опыта

№	Результаты измерений					Результаты вычислений									
	U, В	I_1 ,А	I_2, А	I_3, А	I, А	R, Ом	I′, А	R_1, Ом	R_2, Ом	R_3, Ом	G, См	G_1, См	G_2, См	G_3, См	$G_{экв}$, См
1															
2															
3															

Контрольные вопросы

1.Как изменится мощность в цепи, если увеличить количество последовательно соединенных резисторов?

2.Чем объяснить равенство отношений и при любом изменении режима работы в последовательной цепи?

3.Как зависит величина потребляемой мощности от количества параллельно включенных резисторов?

4.Как изменится ток в цепи, если «закоротить» электрическую цепь:

а) при последовательном соединении резисторов;

б) при параллельном соединении резисторов.

2.3 Расчёт электрических линейных и не линейных цепей постоянного тока аналитическими и графическими методами

Все методы анализа нелинейных цепей можно подразделить на две большие группы: *аналитическую и графическую*. Аналитические методы в отличие от графических дают возможность проводить анализ в общем виде, а не только для частных значений параметров [19,23].

Графический метод применим, как правило, к цепям, в которых известен закон изменения во время какой-либо одной определяющей работу нелинейного элемента величины, например, тока, напряжения и заряда.

Основные этапы метода следующие:

1) замена вольт-амперной (вебер-амперной, кулон-вольтной) характеристики нелинейного элемента для мгновенных значений отрезками прямых линий;

2) подстановка в нелинейные дифференциальные уравнения уравнений прямых п. 1 (этим нелинейные дифференциальные уравнения будут сведены к линейным). Каждому нелинейному уравнению будет соответствовать столько линейных уравнений, сколько отрезков прямых заменяют характеристику нелинейного элемента;

3) решение системы линейных дифференциальных уравнений. Каждому линейному участку характеристики нелинейного элемента будет соответствовать свое решение со своими постоянными интегрирования;

4) определение постоянных интегрирования исходя из согласования решения на одном линейном участке с решением на другом линейном участке.

Аналитический (графический) метод расчета по первым гармоникам токов и напряжений. В этом методе по сложному закону изменяющиеся токи и напряжения на нелинейном элементе заменяют их первыми гармониками.

Практическое применение методов линейных и нелинейных цепей постоянного тока.

Расчет схем по уравнениям Кирхгофа. Законы Кирхгофа представляют основу для расчета цепей и используются либо непосредственно, либо применяются различные их модификации.

Для расчета схемы по уравнениям Кирхгофа предварительно необходимо задать направления токов в ветвях схемы, выбрать контуры и направления их обхода.

Если в результате расчета для какого-либо тока будет получено значение со знаком минус, то это означает, что фактическое направление противоположно выбранному.

При записи очередного уравнения по первому закону Кирхгофа необходимо, чтобы хотя бы один ток в этом уравнении не входил ни в одно из ранее записанных уравнений. При выборе очередного контура для записи уравнений по второму закону Кирхгофа необходимо, чтобы в каждый очередной контур входила хотя бы одна ветвь, не вошедшая во все остальные контуры. Решение полученной системы уравнений позволяет определить токи во всех ветвях схемы.

Например, на рисунке 2.22 схема имеет шесть ветвей ($n_в = 6$) и четыре узла ($n_у = 4$). Число уравнений по первому закону Кирхгофа $k_1 = n_у - 1 = 4 - 1 = 3$. Число уравнений по второму закону Кирхгофа $k_2 = n_в - (n_у - 1) = 6 - (4 - -1) = 3$.

Номиналы резисторов и ЭДС источников напряжения приведены на схеме.

Для записи уравнений выбираются узлы 1, 2 и 3, контуры $к_1$, $к_2$ и $к_3$. На рисунке 2.21 заданы направления токов в ветвях и направления обхода контуров.

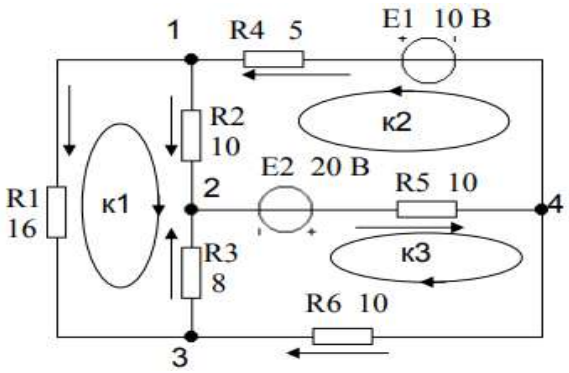


Рисунок 2.21 – Электрическая схема цепи

Выбор узлов и контуров произволен, также, как и направлений токов и обхода контуров. Контуры следует выбирать по возможности простой конфигурации.

Записываются уравнения по первому закону Кирхгофа:

$$\text{узел 1: } -I_1 - I_2 + I_4 = 0{,}8,$$
$$\text{узел 2: } I_2 + I_3 - I_5 = 0,$$
$$\text{узел 3: } I_1 - I_3 + I_6 = 0.$$

Далее записываются уравнения по второму закону Кирхгофа для выделенных контуров и выбранных направлений обхода контура:

$$к_1: -I_1 \cdot R_1 + I_2 \cdot R_2 - I_3 \cdot R_3 = 0,$$
$$к_2: I_2 \cdot R_2 - E_2 + I_5 \cdot R_5 - E_1 + I_4 \cdot R_4 = 0,$$
$$к_3: -E_2 + I_5 \cdot R_5 + I_6 \cdot R_6 + I_3 \cdot R_3 = 0.$$

Эти уравнения удобнее записать для контуров:

$$к_1: -I_1 \cdot R_1 + I_2 \cdot R_2 - I_3 \cdot R_3 = 0,$$
$$к_2: I_2 \cdot R_2 + I5 \cdot R_5 + I_4 \cdot R_4 = E_1 + E_2,$$
$$к_3: I_5 \cdot R_5 + I_6 \cdot R_6 + I_3 \cdot R_3 = E_2.$$

Подставляются в уравнения численные значения сопротивлений резисторов и напряжений источников:

$$-I_1 - I_2 + I_4 = 0,$$
$$I_2 + I_3 - I_5 = 0,$$
$$I_1 - I_3 + I_6 = 0,$$
$$-16 \cdot I_1 + 10 \cdot I_2 - 8 \cdot I_3 = 0,$$
$$10 \cdot I_2 + 5 \cdot I_4 + 10 \cdot I_5 = 30,$$
$$8 \cdot I_3 + 10 \cdot I_5 + 10 \cdot I_6 = 20.$$

Решая эту систему уравнений, получаются значения токов ветвей:

$$I_1 = 0{,}333 \text{ А},$$

$I_2 = 0{,}933$ А,
$I_3 = 0{,}500$ А,
$I_4 = 1{,}267$ А,
$I_5 = 1{,}433$ А,
$I_6 = 0{,}167$А.

Все значения токов имеют положительные знаки, что свидетельствует о совпадении реальных направлений токов (Рис. 2.22).

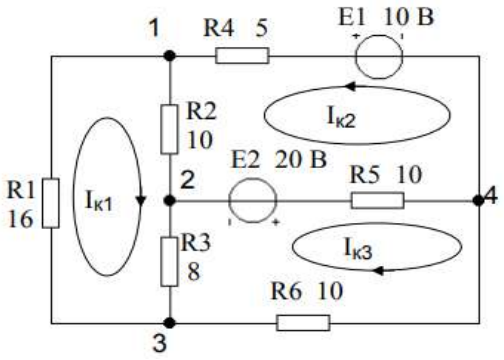


Рисунок 2.22 – Электрическая схема с обозначениями контуров

Проверяют результат решения, подставив значения токов в уравнения, составленные по первому закону Кирхгофа:

$$-I_1 - I_2 + I_4 = -0{,}333 - 0{,}933 + 1{,}267 = 0,$$
$$I_2 + I_3 - I_5 = 0{,}933 + 0{,}500 - 1{,}433 = 0,$$
$$I_1 - I_3 + I_6 = 0{,}333 - 0{,}500 + 0{,}167 = 0.$$

Также можно подставить значения в уравнения, составленные по второму закону, и убедиться в правильности решения.

Проверьте уровень усвоения темы: «Расчет схем по уравнениям Кирхгофа» самостоятельно решив рекомендуемые задачи.

Задача. Определите значения токов и баланс мощности по схемам: на рисунке 2.23. Исходные данные к задачам представлены в таблице 2.4.

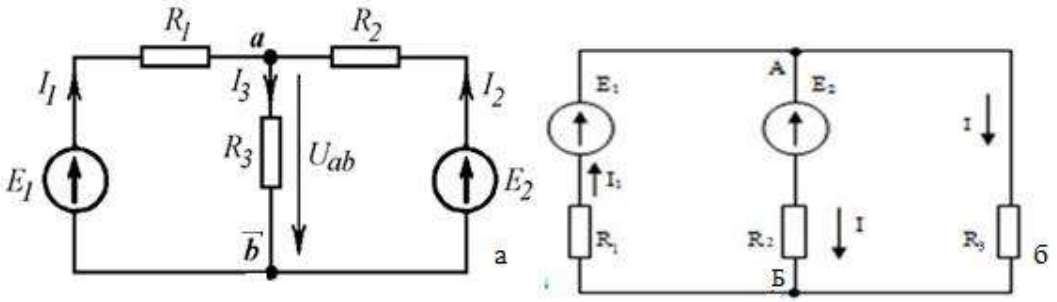


Рисунок 2.23 – Схемы для решения задач

Таблица 2.4 Исходные данные к задачам

№	Известные величины			Необходимо найти		
	R_1,ОМ	R_2=R_3,Ом	E_1=E_2,В	I_1,А	I_2,А	I_3,А
1	1	4	15			
2	4	12	8			
3	3	6	6			
4	6	4	9			
5	2	3	12			
6	5	2	15			
7	1	5	10			
8	5	6	11			
9	3	5	12			
10	2	4	8			

Расчет схем методом контурных токов. В методе контурных токов неизвестными принимаются условные контурные токи, которые замыкаются внутри контуров, не выходя за их пределы. Реальные токи ветвей схемы равны сумме контурных токов, протекающих по этим ветвям. При расчете схемы методом контурных токов в ней не должно быть источников тока. Для анализа схемы с источниками тока эти источники следует преобразовать в эквивалентные источники напряжения.

Общее число уравнений (и неизвестных) в методе контурных токов равно числу независимых контуров, что значительно меньше, чем при расчете непосредственно по уравнениям Кирхгофа. На рисунке 2.23 приведена схема, в которой выделены три контура, в которых протекают токи $Iк_1$, $Iк_2$ и $Iк_3$.

Ток через резистор R_1 равен току первого контура $Iк_1$, ток через резистор R_2 равен сумме контурных токов первого и второго контуров $I_{R2} = Iк_1 + Iк_2$, а через R_3 сумме токов первого и третьего контуров $I_{R2} = Iк_1 - Iк_3$. Обратите внимание, что необходимо учитывать направления контурных токов.

Если ток $Iк_1 > Iк_3$, то направление тока через резистор R_3 совпадает с направлением тока первого контура, иначе – третьего.

Составляются уравнения для поиска контурных токов. Они совпадают с уравнениями, составленными по второму закону Кирхгофа, но напряжения на элементах схемы выражены через произведения сопротивлений на соответствующие контурные токи. Для первого контура получают уравнение:

$$Iк_1 \cdot R_1 + (Iк_1 + Iк_2)\, R_2 + (Iк_1 - Iк_3) \cdot R_3 = 0. \qquad (2.18)$$

Его удобнее переписать в форме:

$$Iк_1 \cdot (R_1 + R_2 + R_3) + Iк_2 \cdot R_2 - Iк_3 \cdot R_3 = 0. \qquad (2.19)$$

Аналогично записывают уравнения для второго и третьего контуров:

$$Iк_1 \cdot R_2 + Iк_2(R_2 + R_4 + R_5) + Iк_3 \cdot R_5 = E_1 + E_2, \quad (2.20)$$

$$- Iк_1 \cdot R_3 + Iк_2 \cdot R_5 + Iк_3(R_3 + R_5 + R_6) = E_2. \quad (2.21)$$

Подставляют численные значения:

$$34 \cdot Iк_1 + 10 \cdot Iк_2 - 8 \cdot Iк_3 = 0,$$
$$10 \cdot Iк_1 + 25 \cdot Iк_2 + 10 \cdot Iк_3 = 30,$$
$$- 8 \cdot Iк_1 + 10 \cdot Iк_2 + 28 \cdot Iк_3 = 20.$$

Получили три уравнения с тремя неизвестными. Решая их, получают:

$$Iк_1 = - 0{,}333 \text{ А},$$
$$Iк_2 = 1{,}267 \text{ А},$$
$$Iк_3 = 0{,}167 \text{ А}.$$

Ток через резистор R_1:

$$I \cdot R_1 = Iк_1 = - 0{,}333 \text{ А}.$$

Знак минус свидетельствует о том, что направление тока $I \cdot R_1$ противоположно контурному.

Ток через резистор R_2: $I \cdot R_2 = Iк_1 + Iк_2 = - 0{,}333 + 1{,}267 = 0{,}933$ А.

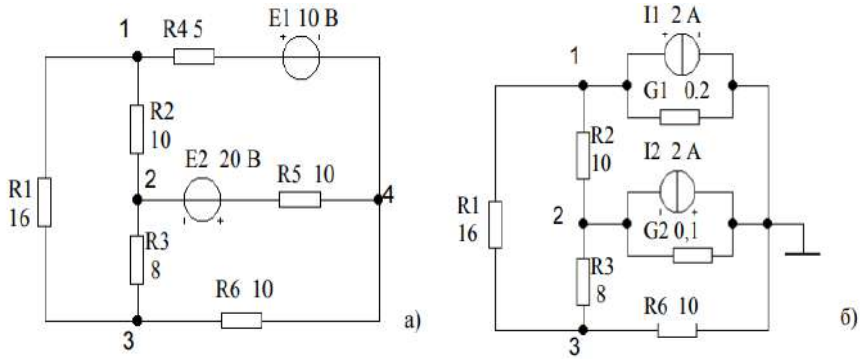
Ток через резистор R: $I \cdot R_3 = Iк_1 - Iк3 = -0{,}333 - 0{,}167 = – 0{,}500$ А. Самостоятельно можете вычислить значения остальных токов.

Расчет схем методом узловых потенциалов. В методе узловых потенциалов *неизвестными принимаются напряжения узлов относительно одного из них, напряжение которого считается известным и равным нулю*. Этот узел называют *базисным*.

Предполагается, что другие узлы имеют напряжение выше напряжения базисного. В процессе расчета будут получены истинные знаки потенциалов. Так как напряжение (потенциал) базисного узла равен нулю, то разность напряжений между любым узлом и базисным равна потенциалу этого узла.

Общее число уравнений равно $k = n_v - 1$, где n_v – количество узлов схемы.

При расчете методом узловых потенциалов необходимо, чтобы схема не содержала источников напряжения, поэтому предварительно необходимо преобразовать имеющиеся источники напряжения в эквивалентные источники тока (Рис.2.23, а), которые содержат два источника напряжения E_1 и E_2. На рисунке 2.23, б приведена эквивалентная схема с источниками тока I_1 и I_2.



а – исходная схема; б – после преобразования

Рисунок 2.23 - Пример схемы для расчета методом узловых потенциалов

Узел 4 исходной схемы принят за базисный. На эквивалентной схеме он обозначен как общая шина. Неизвестными являются потенциалы узлов 1, 2 и 3, которые обозначены соответственно U_1, U_2 и U_3.

Составляются уравнения по законам Кирхгофа для выбранных узлов схемы, полагая токи равными произведениям разности потенциалов узлов на проводимость соответствующих ветвей.

$$\text{Узел 1: } (U_1-U_3)\frac{1}{R_1} + (U_1-U_2)\frac{1}{R_2}'U_1G_1=I_1 \qquad (2.22)$$

Удобнее это уравнение переписать в следующей форме:

$$U_1(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + G_1) - U_2\frac{1}{R_2} - U_3\cdot\frac{1}{R_1} = - I_1 \qquad (2.23)$$

Аналогично записывают уравнения для узлов 2 и 3:

$$-U_1\cdot\frac{1}{R_1} + U_2(\frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + G_2) - U_3\cdot\frac{1}{R_3} = 12 \qquad (2.24)$$

$$-U_1\cdot\frac{1}{R_1} + U_2\cdot\frac{1}{R_3} + \frac{1}{R_3} + U_3\cdot(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_3} + \frac{1}{R_6}) = 0 \qquad (2.25)$$

Подставляют числовые значения в данное уравнение, получают:

$$U_1\cdot(\frac{1}{16} + \frac{1}{10} + 0{,}2) - U_2\cdot\frac{1}{10} - U_3\cdot\frac{1}{16} = 0{,}363\cdot U_1 - 0{,}063\cdot U_3 = -2,$$
$$-U_1\cdot\frac{1}{10} + U_2\cdot(\frac{1}{10} + \frac{1}{8} + 0{,}1)\cdot U_3\cdot\frac{1}{8} = - 0{,}1\cdot U_1 + 0{,}325\ U_2 - 0{,}125\cdot U_3 = 2,$$
$$-U_1\cdot\frac{1}{16} - U_1\frac{1}{8} + \cdot U_3\cdot(\frac{1}{16} + \frac{1}{8} + \frac{1}{10}) = - 0{,}063\cdot U_1 - 0{,}125\ U_2 + 0{,}288\cdot U_3 = 0.$$

Решая эту систему уравнений получают:

U_1 = - 3,661 В,
U_2 = 5,665 В,
U_3 = 1,658 В.

Проверяют результаты. Потенциал третьего узла равен 1,658 В, а значит ток ветви R_6 равен $I_6 = \frac{U_3}{R_6} = \frac{1{,}658}{10} = 0{,}1658A \approx 0{,}166A$. Расчет по законам Кирхгофа дал значение 0,167 А. Отличие результата на единицу третьего знака (менее 0,1%) объясняется ошибкой округления. Так как $U_3 > 0$, то направление тока от узла 4 к узлу 3 совпадает с принятым при расчете по законам Кирхгофа. Предлагается самостоятельно проверить остальные токи.

Метод эквивалентного генератора. Метод эквивалентного генератора используется чтобы найти ток одной из ветвей схемы, содержащей резистор R. В этом случае всю схему относительно R заменяют эквивалентным источником напряжения с ЭДС $E_{экв}$ и внутренним сопротивлением $R_{iэкв}$.

Для определения $E_{экв}$ размыкаем цепь, удаляя из схемы резистор R, и определяем напряжение холостого хода схемы относительно этого резистора.

Для определения $R_{iэкв}$ необходимо удалить из схемы все источники тока и напряжения и определить сопротивление оставшейся схемы относительно выводов резистора. При определении $R_{iэкв}$ источники тока удаляют из схемы, разрывая цепь, а источники напряжения заменяют перемычками.

Рекомендуется рассмотреть схему, приведенную на рисунке 2.24.

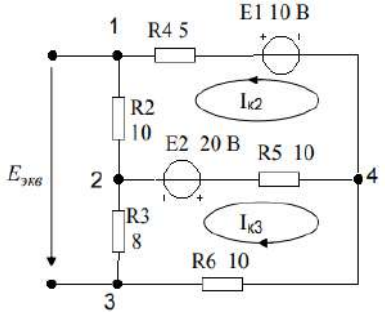


Рисунок 2.24 – Электрическая схема для определения $E_{экв}$

Определяется ток через резистор R_1. Для определения $E_{экв}$ удаляют из схемы резистор R_1 с разрывом цепи. Выполняют расчет полученной схемы методом контурных токов. Записывают уравнения для второго и третьего контуров:

$$I_{к2} \cdot (R_2 + R_4 + R_5) + I_{к3} R_5 = E_1 + E_2 \qquad (2.26)$$

$$I_{к2} \cdot R_5 + I_{к3} (R_3 + R_5 + R_6) = E_2 \qquad (2.27)$$

Решая эти уравнения получают: $I_{к2}$ = 1,067 А, $I_{к3}$ = 0,333 А. Учитывая направления контурных токов, определяют разность потенциалов между узлами 1 и 3. Эта разность и есть эквивалентная ЭДС: $E_{экв} = I_{к2} \cdot R_2 - I_{к3} \cdot R_3 = 1{,}067 \cdot 10 - 0{,}333 \cdot 8 = 8{,}0$ В. Далее вычисляется внутреннее сопротивление эквивалентного источника $Ri_{экв}$ по схеме (Рис. 2.25, а). Преобразуется звезда сопротивлений (R_4, R_5, R_6) в треугольник (R_{12}, R_{23}, R_{13}) так, как показано на рисунке 2.25, б.

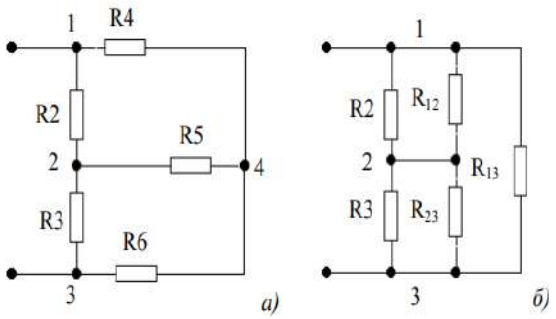


Рисунок 2.25 - Пример расчета эквивалентного сопротивления

Определяют сопротивления получают:

R_{12} =20Ом,

R_{23} = 40 Ом,

R_{13} = 20Ом,

R =8Ом,

R_1: I_1 = 0,333А.

Разность потенциалов между узлами 1 и 3 равна падению напряжения на резисторе R_1:

$$U_{R1} = I_1 \cdot R_1 = 0{,}333 \cdot 16 = 5{,}328 \text{ В}.$$

Задачи для самостоятельной работы

На рисунке 2.26 заданы варианты схем для самостоятельной работы.

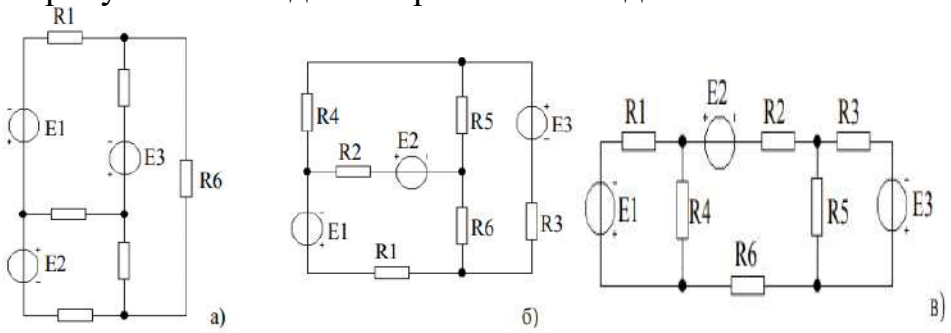


Рисунок 2.26 –Варианты схем для выполнения расчетов

Для заданных электрических цепей значения R_5 = 75 Ом, R_6 = 150 Ом, а остальные параметры указаны в таблице 2.5, требуется:

• определить все токи и напряжения в схеме по уравнениям Кирхгофа;

• определить все токи и напряжения в схеме методом контурных токов;

• определить все токи и напряжения в схеме методом узловых потенциалов;

• определить ток через резистор R_6 методом эквивалентного генератора.

Таблица 2.5-Варианты заданий

№	схема	E_1, В	E_2, В	E_3, В	R_1, Ом	R_2, Ом	R_3, Ом	R_4, Ом
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	а	15	10	15	100	200	300	240
2	б	10	14	7	47	200	68	82
3	в	2	10	3	30	180	43	56
4	а	10	5	2	82	120	240	300
5	б	9	15	6	68	210	82	56
6	в	1	9	4	51	160	75	75
7	а	5	8	15	68	130	150	100
8	б	8	16	5	91	180	100	120
9	в	2	10	5	68	150	120	39
10	а	2	6	10	39	120	100	150
11	б	15	4	8	160	200	82	20
12	в	3	11	1	91	130	39	120
13	а	5	10	12	20	130	200	240
14	б	6	14	3	62	140	180	15
15	в	4	12	2	100	200	20	150
16	а	14	16	10	10	120	240	200
17	б	5	13	2	43	150	210	20
18	в	5	13	2	120	180	50	91
19	а	12	10	9	20	100	200	150
20	б	6	14	4	160	200	100	51
21	в	15	14	3	62	140	180	15
22	а	3	12	2	100	200	20	150
23	б	5	16	10	10	120	240	200
24	в	6	13	2	43	150	210	20
25	а	4	13	2	120	180	50	91

Лабораторная работа № 2.2

Тема: **Исследование электрических цепей переменного тока при последовательном соединении активного и реактивного сопротивлений**

Цель работы: определить экспериментально параметры цепи с последовательным соединением R, L и C для трёх случаев X_L, > X_C, $X_L = X_C$ и X_L. Построить векторные диаграммы. Сделать расчёт цепи при резонансе и сравнить результаты расчёта с экспериментальными данными.

Оборудование и материалы: лабораторная установка и соединительные провода.

Краткие теоретические сведения

В цепи переменного тока кроме активных сопротивлений используются также катушки индуктивности и конденсаторы (Рис. 2.29). Напряжения на активном, индуктивном и емкостном сопротивлениях могут быть определены по формулам:

$$U_R = I \cdot R,\ U_L = I \cdot X_L,\ U_C = I \cdot X_C, \qquad (2.28)$$

где I –сила тока в цепи, А;

R – активное сопротивление резистора в цепи, Ом;

X_L– реактивное индуктивное сопротивление катущки в цепи, Ом;

X_C– реактивное емкостное сопротивление конденсатора в цепи, Ом;

U_R – активное напряжение, В;

U_L – емкостное напряжение, В;

U_C – индуктивное напряжение, В.

При этом следует иметь в виду, что U_R - совпадает по фазе с током, U_L - опережает по фазе ток на 90°, U_C - отстает от тока на 90°.

Результирующее напряжение U представляет геометрическую сумму напряжений U_R, U_L, U_C.

Результирующее напряжение U:

$$U = \sqrt{U_R^2 + (U_L - U_C)^2} \qquad (2.29)$$

Если каждое из напряжений на векторной диаграмме разделить на ток I, то получится фигура, подобная векторной диаграмме, которая будет называться треугольником сопротивлений (Рис.2.27). т.к.

$$R = \frac{U_R}{I},\ X_L = \frac{U_L}{I},\ X_C = \frac{U_C}{I},$$

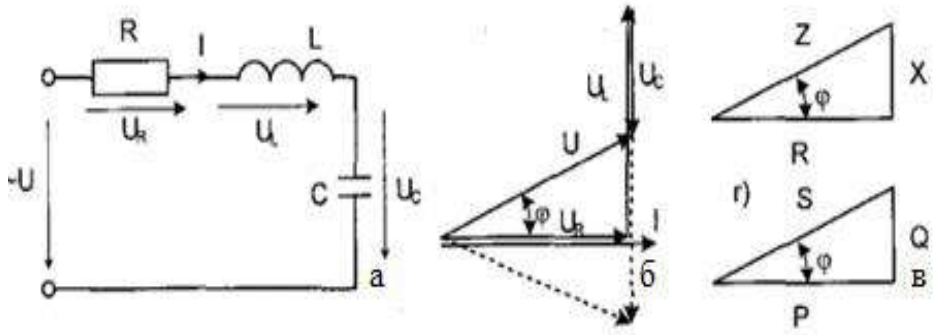


Рисунок 2.27 – Схема цепи для изучения последовательного соединения активного и реактивного сопротивлений

Из треугольника сопротивлений опредляется полное сопротивление:

$$Z = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2}, \qquad (2.30)$$

где Z – полное сопротивление цепи, Ом.

Если каждое из напряжений на векторной диаграмме умножить на ток I, то получится фигура, подобная векторной диаграмме, которая будет называться треугольником мощностей, так как

$$P = U_R \cdot I,\ Q_L = U_L \cdot I,\ Q_C = U_C \cdot I,\ S = U \cdot I \qquad (2.31)$$

где P – активная мощность, Вт;

Q_L – реактивная мощность катушки, ВАр;

Q_C – реактивная мощность конденсатора, ВАр;

S – полная мощность, В А.

Из треугольника мощностей определяется полная мощность:

$$S=\sqrt{P^2+(Q_L-Q_C)^2} \qquad (2.32)$$

$\cos\varphi = \frac{P}{S}$ - называется коэффициентом мощности.

Порядок выполнения работы

1.Измерьте омметром и запишите активное сопротивление катушки индуктивности 900 витков. Rк= ..... Ом.

2.Снимите с трансформатора катушку 900 витков, вставьте в неё только одну половинку разъёмного сердечника и соберите цепь, принципиальная схема которой показана на рисунке 2.28.

Установите переключатель сигналов генератора напряжений в положение «~», регулятор частоты - в положение 1000 Гц и регулятор напряжения в крайнее правое положение (максимальная амплитуда).

4. Включите генератор и, регулируя частоту, добейтесь резонанса по максимуму тока.

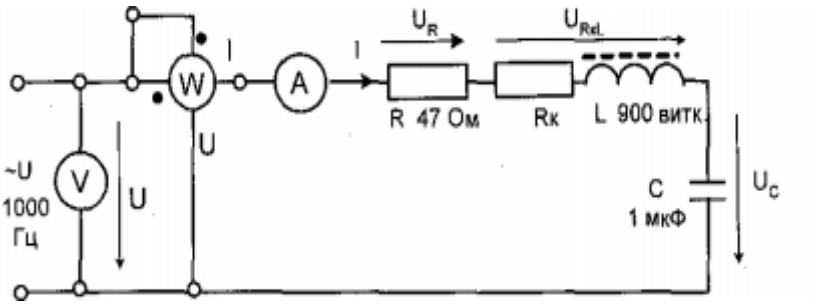


Рисунок 2.28 – Принципиальная схема лабораторной установки

5. Измерьте мощность, ток и напряжения на входе цепи, на резисторе, на катушке с активным внутренним сопротивлением и на конденсаторе. Запишите эти показания приборов в таблицу.

6. Включите параллельно конденсатору 1 мкФ конденсатор 0,47 мкФ и запишите показания приборов в строку $X_L > Xc$.

7. Оставьте в цепи один конденсатор 0,47 мкФ и запишите показания приборов в строку $X_L < Xc$.

8. По опытным данным рассчитайте напряжения на активном и индуктивном сопротивлениях катушки и занесите результаты также в таблицу.

Таблица 2.6-Результаты вычислений и измерений

f	P,кВт	I,A	U,B	U_R,B	U_{RkL},B	U_C,B	$U_{Rk}=R_kI$,B	$U_L=\sqrt{U_{RkL}^2-U_{Rk}^2}$, B
C=1мкФ ($X_L=X_C$)								
C=1мкФ ($X_L>X_C$)								
C=1мкФ, ($X_L<X_C$)								

Контрольные вопросы

1.От чего зависит индуктивное сопротивление?

2.От каких величин зависит емкостное сопротивление?

3. Что такое полное сопротивление неразветвленной цепи переменного тока?

Лабораторная работа № 2.3

Тема: **Исследование резонанса напряжения и тока**

Цель работы: исследование явления резонанса напряжений в цепи при последовательном соединении элементов R, L, C и резонанса токов в цепи при параллельном соединении ветвей R_L и R_C; построение векторных диаграмм.

Оборудование и материалы: генератор сигналов низко частотный (ГСН); двухканальный осциллограф; цифровой вольтметр, блоки: переменного сопротивления R_4=1-999 Ом, переменной индуктивности L_4 =0,1-99,9 мГн, переменной емкости C_4=0,01-9,99 мкФ; резисторы R_{19}=1 Ом, R_{20}=1Ом, R_{21}=1 Ом, R_9=1 кОм.

Краткие теоретические сведения

Явление резкого возрастания амплитуды тока в контуре (одновременно напряжений на конденсаторе и катушке) при частотах, близких к $\omega_{РЕЗ}$, называется *резонансом напряжений*, а частота $\omega_{РЕЗ}$ – *резонансной частотой*, т.е. совпадают начальные фазы мгновенных значений синусоидального напряжения и тока на участке электрической цепи, содержащие элементы *R*, *L*, *C*. В состоянии резонанса угол сдвига фаз φ =0.

Электрическая цепь в резонансном режиме ведет себя как чисто *активное сопротивление* по отношению к внешней цепи, то есть напряжение и ток на входе цепи находятся в фазе (совпадает по фазе).

В линейной электрической цепи режим резонанса можно получить путем изменения частоты *f*, питающего напряжения u(t) или величин с последовательным соединением параметров элементов *R*, *L*, *C* (Рис.2.29).

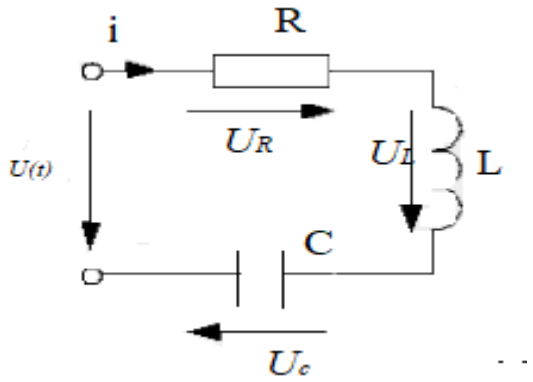


Рисунок 2.29- Схема последовательного соединения резистора, катушки и конденсатора

Факт совпадения частот приводит к следующим результатам:

1.Полное сопротивление цепи Z становится наименьшим из всех возможных значений при данных R, L, C.

2.Ток, протекающий в цепи и потребляемый от источника становится наибольшим при данном входном напряжении U.

3.Падения напряжения на емкости и индуктивности оказываются одинаковыми по величине $U_C = U_L$ и противоположными по фазе.

4.Падение напряжения на активном сопротивлении становится равным напряжению, приложенному к цепи извне $U_R = U$.

5.Благодаря тому, что ток достигает наибольшего значения, напряжение на конденсаторе и катушке достигает значительных величин, превышающих подобные напряжения при прочих условиях. Это явление повышения напряжения на реактивных элементах в последовательной электрической R, C, L-цепи носит название *резонанса напряжений* (Рис.2.30).

Для получения резонанса токов используют разветвленную цепь, содержащую *индуктивность и емкость, включенные параллельно* с источником переменного тока

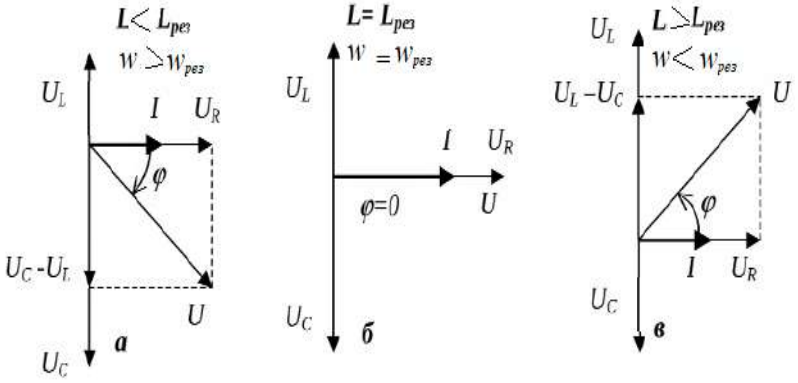


Рисунок 2.30 -Графическое представление резонанса напряжений

Напряжение на входе цепи изменяется по тому же закону:

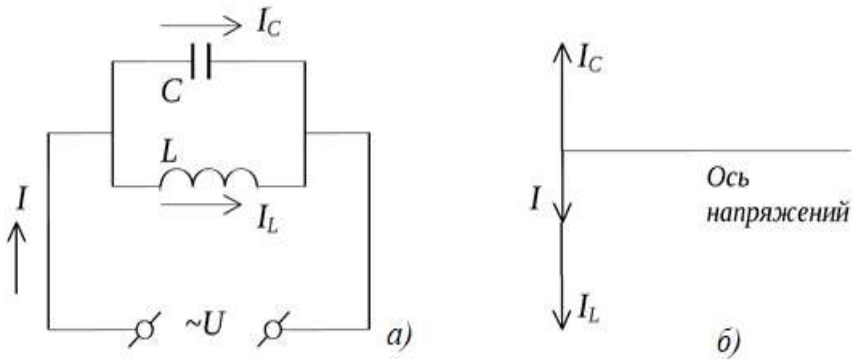
$$u(t) = U_m \cdot \cos \omega t \qquad (2.33)$$

Оно является общим и для индуктивности, и для емкости.

Полная сила тока, потребляемая от источника, равна сумме токов в ветвях, но только эта сумма *векторная*, так как фазы складываемых токов различны:

- ток в конденсаторе опережает напряжение на нем на $\pi/2$,

-ток в катушке – отстает на такую же величину (Рис2.31б).



а- разветвленная цепь, содержащая индуктивность и емкость, включенные параллельно с источником переменного тока; б- векторная диаграмма резонанса напряжений.

Рисунок 2.31- Электрическая цепь и график

Сила тока в каждой ветви определяется законом Ома:

$$I_L = \frac{U_m}{\omega \cdot L} \cdot \cos(\omega t - \frac{\pi}{2}) \quad (2.34)$$

$$I_C = U_m \cdot \omega \cdot L \cdot \cos\left(\omega t + \frac{\pi}{2}\right), \quad (2.35)$$

где I_L- сила тока катушки, А;
I_C- сила тока конденсатора, А;
ω –циклическая частота, рад/с
L – индуктивность катушки, Гн;
U_m - амплитуда напряжения, В.

Так как токи в ветвях изменяются в противофазах, то полный ток источника равен их разности и величина его определяется следующим выражением:

$$I_m = (\frac{1}{\omega \cdot L} - \omega \cdot C) \cdot U_m \quad (2.36)$$

Токи циркулируют в параллельных ветвях, осуществляя обмен энергией между катушкой с ее магнитным полем и конденсатором, в котором локализовано электрическое поле. Такое явление в параллельном контуре называется *резонансом токов*.

На самом деле катушка индуктивности обладает омическим сопротивлением – сопротивлением того провода, которым она намотана – R_L. Конденсатор на частоте 50 Гц также обладает небольшим активным сопротивлением R_C, связанным с его диэлектрическими потерями (Рис.2.32).

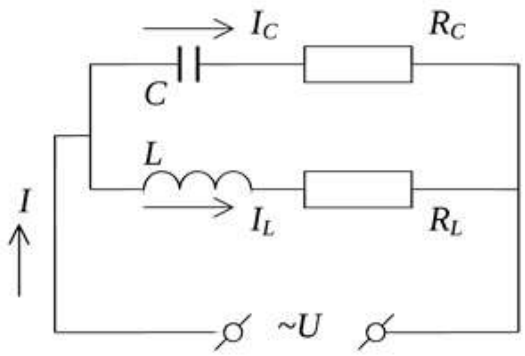


Рисунок 2.32- Эквивалентная схема резонанса напряжений

В этом случае разность фаз между напряжением и током в каждой ветви не будет равна π/2. Но так как RL<ωL и RC<$\frac{1}{\omega C}$, то разности фаз будут равны π/2. Разности фаз определяются следующими соотношениями:

$$\sin\varphi_L = \frac{\omega L}{\sqrt{(\omega L)^2 + R_L^2}} \tag{3.37}$$

$$\sin\varphi_C = \frac{\frac{1}{\omega C}}{\sqrt{(\frac{1}{\omega C} + R_C^2}} \tag{2.38}$$

Теперь векторы не коллинеарны, как было в идеальном случае. Модули этих векторов определяют из эквивалентной схемы (Рис.2.33а).

$$I_L = \frac{U}{(\omega \cdot L)^2 + R_L^2} \tag{2.39}$$

$$I_C = \frac{U}{\sqrt{(\frac{1}{\omega \cdot C})^2 + R_C^2}} \tag{2.40}$$

С учетом сказанного векторная диаграмма будет выглядеть примерно так, как изображено на рисунке 2.33, т.е. сумма токов не равна нулю.

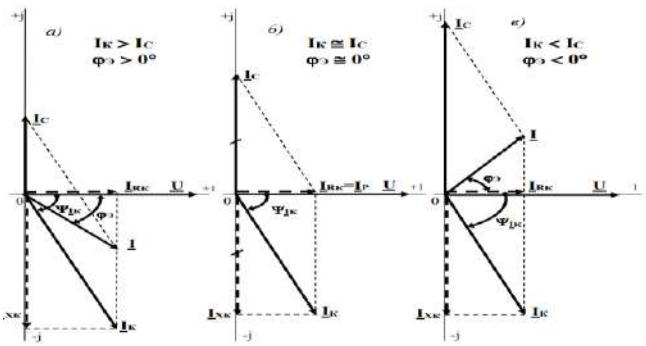


Рисунок 2.33-Графическое представление резонанса тока

Путем изменения индуктивности катушки можно достичь совпадения по фазе результирующего тока в контуре и приложенного к нему напряжения. В этом случае ток, потребляемый от источника не становится равным нулю, но оказывается минимальным. Это характерно для резонанса токов в параллельном контуре (Рис.2.33*а*).

В реальных условиях активное сопротивление конденсатора настолько мало по сравнению с сопротивлением емкости, что им можно пренебречь и считать угол $\varphi_C \cong \pi/2$ (Рис. 2.33, *б*). Тогда из прямоугольного треугольника на векторной диаграмме рисунка 2.33, *б* можно написать, что:

$$\sin\varphi_L = \frac{I_C}{I_L} \tag{2.41}$$

Из выше изложенных формул получается выражение для резонансной частоты параллельного контура следующего вида:

$$\omega_L = \sqrt{\frac{1}{LC} - \frac{R_L^2}{L^2}} \tag{2.42}$$

Таким образом, *резонансная частота* параллельного контура при учете его активного сопротивления получается *несколько меньше по сравнению с резонансной частотой идеального контура* и тем меньше, чем больше *R*.

Результирующий ток, потребляемый от источника, становится при резонансе синфазным с входным напряжением – как при активной нагрузке, т.е. контур в момент резонанса ведет себя как чисто активная нагрузка. Ток, потребляемый от источника при резонансе *I*, тем меньше, чем меньше активное сопротивление катушки R_L (Рис. 2.33, *б*). В то же время ток в конденсаторе и ток в катушке значительно больше *I*. При резонансе токов имеют место следующие явления: сопротивление контура наибольшее, потребляемый от источника ток наименьший, токи в ветвях могут значительно превышать ток, потребляемый от источника.

Порядок выполнения работы

Экспериментальная часть исследования резонанса напряжения

1. Для исследования резонанса напряжений собрать цепь по схеме (Рис.2.34)

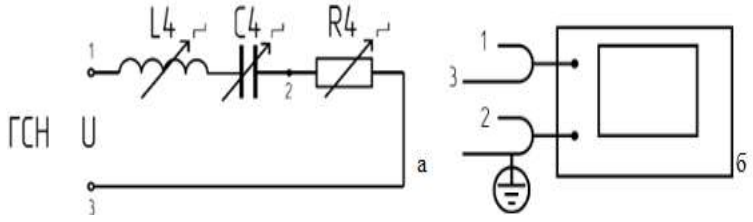


Рисунок 2.34 -Схема цепи для исследования резонанса напряжения

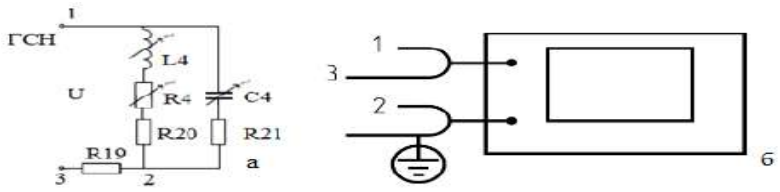
2.Установите значения: сопротивления блока переменного сопротивления R_4=100 Ом; индуктивности блока переменной индуктивности L_4=99,9 мГн; емкости блока переменной емкости C_4=0,1мкФ; частоты генератора f =500 Гц.

3.Подключите гнездам 1 и 3 вольтметр. Вращением ручки генератора «регулировка» установите напряжение на входе цепи U=5 В.

4.Снимите частотные зависимости напряжений $U_R(f)$, $U_L(f)$, $U_C(f)$ на элементах R, L, C и угла сдвига фаз φ(f) между напряжением и током на входе цепи от частоты.

5.Определите частоты: f_0, f_L, f_C, соответствующие максимумам зависимостей $U_R(f)$, $U_L(f)$, $U_C(f)$, и граничные частоты f_1 и f_2 полосы пропускания характеристики $U_R(f)$. Для этого:

а) плавно изменяя частоту генератора в пределах 500 -2500 Гц и измеряя вольтметром или осциллографом (Рис.2.35, б) напряжением U_R определить частоту f_0, при которой напряжение U_R максимально;



Рисуно 2.35- Схема цепи для исследования резонанса тока

б) определите частоты $f_1 < f_0$ и $f_2 > f_0$, при которых $U_R(f_1) = U_R(f_2) = 0{,}707\ U_R(f_0)$;

с) плавно изменяя частоту генератора в пределах 500-2500 Гц и измеряя вольтметром или осциллографом (Рис.2.35, б) напряжением U_L определите частоту f_L, при которой напряжение U_L максимально;

д) плавно изменяя частоту генератора в пределах 500-2500 Гц и измеряя вольтметром или осциллографом (Рис.2.35, б) напряжением U_C определите частоту f_C, при которой напряжение U_C максимально;

е) выберите три значения частоты меньше f_1 (ориентировочно 1200 Гц, 900 Гц, 500Гц) и три значения частоты больше f_2 (ориентировочно 1900 Гц, 2200Гц, 2500 Гц).

6.Экспериментально определенные значения частоты f_1, f_C, f_0, f_L, f_2 и выбранные значения частоты запишите в таблицу 2.7.

7.Для всех значений частот, записанных в таблицу, измерьте вольтметром или осциллографом (Рис.2.35, б) напряжения U_R, U_L, U_C на элементах R, L, C и угол сдвига фаз φ между напряжением и током на входе цепи. Для измерения угла φ подключите осциллограф.

8.Исследуйте влияние значения сопротивления R_4 на частотные характеристики резонансной цепи. Для этого установите в схеме 2.35а, R_4=300 Ом и определите значения частот f_1, f_C, f_0, fL, f_2 аналогично предыдущим, измерьте напряжения $U_R(f_0,)$, $U_L(f_0)$, $U_C(f0)$, $U_L(f_L)$, $U_C(f_C)$;

Таблица 2.7- Результаты измерений

Измеренные величины	Частота										
				f1, Гц	fc, Гц	f_0, ц	f_L,Гц	f2, Гц			
UR, В											
UL, В											
UC, В											
φ°											

б) установите в схеме рисунка 2.34, а: R_4=900 Ом и повторите эти опыты.

с) установите в схеме рисунка 2.34, а, следующие значения элементов цепи - L_4=50 мГн; C_4=0,2 мкФ; R_4=100 Ом и повторите п.5.

6.Результаты измерений запишите занесите в таблицу.

Расчетная часть

1.Вычислите значения тока I и полного сопротивления цепи Z. Результаты вычислений запишите в таблицу 2.8.

Таблица 2.8- Результаты вычислений

Вычисленные величины	Частота										
				f1, Гц	fc, Гц	f0, ц	fLГц	f2, Гц			
I, A											
Z, Ом											

2.Используя экспериментальные и расчетные данные, постройте на одном графике зависимости $U_R(f)$, $U_L(f)$, $U_C(f)$ и на отдельных графиках – зависимости Z(f) и φ(f).

3.По результатам предыдущих экспериментов определите для каждого сочетания элементов R, L, C значения полосы пропускания Δf, волнового сопротивления Z_B и добротности Q. Результаты запишите в таблицу 2.9.

4.Рассчитайте теоретически значения f_0, Z_B, Q, f_C, f_L по известным значениям элементов R, L, C и запишите в таблицу 2.9. Сравните экспериментальные результаты с расчетными.

Таблица 2.9 - Результаты вычислений

Результаты измерений				Результаты вычислений					
пункты	Δf, Гц	ZB, Ом	Q	f0, Гц	Δfc, Гц	fL, Гц	fC, Гц	Q	ZB, Ом
3.а									
5.а									
5.б									
5.с									

5.Используя результаты измерений экспериментальной части для значений R_4=100Ом, L_4=100 мГн, C_4=0,1 мкФ, постройте векторную диаграмму напряжений при резонансе напряжения.

Экспериментальная часть исследования резонанса тока:

1.Для исследования резонанса токов собрать цепь по схеме рисунка 2.35, а.

2.Установите значения: сопротивления R_4=0, индуктивности L_4 = 99,9 мГн, емкости C_4=0,1 мкФ. Подключить к входу цеп и цифровой вольтметр и вращением ручки генератора «регулировка вых», настроенного на частоту f=200 Гц, установить выходное напряжение генератора U=5 В.

3.Для токов I_{19}, I_{20}, I_{21} снимите частотные зависимости $I_{19}(f)$, $I_{20}(f)$, $I_{21}(f)$, а также зависимость угла сдвига фаз φ между напряжением и током на входе цепи φ(f). Для этого, изменяя частоту f генератора в пределах 200 Гц-10 кГц, измерьте напряжения на сопротивлениях R_{19}, R_{20}, R_{21}.

При помощи осциллографа, подключаемого к цепи (Рис.2.35, б), измерьте углы сдвига фаз φ. Для этого:

а). плавно изменяя частоту генератора в пределах 200-10000 Гц и измеряя вольтметром или осциллографом (Рис.2.35, б) напряжение U_{12} определите резонансную частоту f_0, при которой напряжение U_{12} максимально и выполните измерения на этой частоте;

б). выполните измерения на четырех- пяти частотах больше и меньше f_0 в указанном диапазоне. Результаты запишите в таблицу 2.10.

Таблица 2.10-Результаты измерений

f, Гц	I_{19}, А	I_{20}, А	I_{21}, А	φ^o,град

4.Соберите цепь по схеме рисунка 2.36, установив значение R_4=900 Ом, L_4=99,9 мГн, C_4=0,1 мкФ.

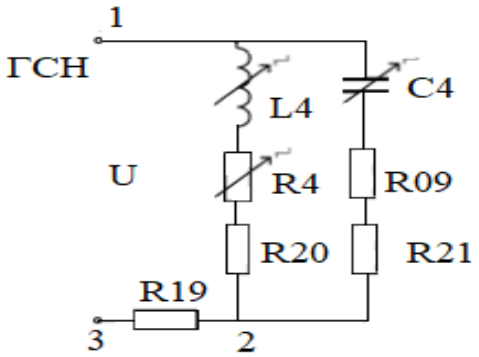


Рисунок 2.36- Схема цепи для исследования резонанса тока

5. Каждый раз приближенно удваивая значение частоты f в пределах 200 Гц -12 кГц, снять зависимости $I_{19}(f)$ и φ(f). Для этого:

а) плавно, изменяя частоту генератора в пределах 200-10000 Гц и измеряя вольтметром или осциллографом напряжение $U_{12,}$ определите резонансную частоту f_0, при которой напряжение U_{12} максимально и выполните измерения на этой частоте;

б) выполните измерения на четырех-пяти частотах больше и меньше f0 в указанном диапазоне. Результаты запишите в таблицу 2.11.

6.Исключив из схемы рисунка 2 резистор R_9, повторите п.5:

а) для значений L_4=99,9 мГн, C_4=1мкФ, R4=900 Ом;

б) для значений L_4=50 мГн, C_4=0,05 мкФ, R_4=100 Ом.

Таблица 2.11-Результаты измерений

Измерить	Частота											
							f0, Гц					
$U_{12,}$ В												
φ^o,град												

Расчетная часть

1.Используя результаты измерений п.3 экспериментальной части, постройте на одном графике зависимости $I_{19}(f)$, $I_{20}(f)$, $I_{21}(f)$ и на отдельных графиках зависимости от частоты полного сопротивления цепи Z(f) и

угла сдвига фаз φ(f).

2.Постройте на одном графике зависимости $I'(f)=I/I_{min}$ по результатам измерений, выполненных в п.3,5,6 (где Imin-минимальное значение тока в каждой зависимости $I_{19}(f)$).

3.Для всех использованных в п.2,4,6 сочетаний значений R, L, C рассчитайте резонансную частоту f_0 цепи и сравнить расчетные и экспериментальные значения.

4. Постройте векторные диаграммы токов I_{19}, I_{20}, I_{21} при резонансе для значений элементов цепи, указанных в п.2,4,6.

Контрольные вопросы

1.Как определяется сдвиг фаз между током и напряжением источника в последовательном контуре?

2.Что такое резонанс в электрической цепи? В чем это проявляется? Как можно обнаружить резонанс?

3.Перечислите признаки возникновения резонанса напряжений и резонанса токов в соответствующих цепях.

4.Почему при резонансе падение напряжения на индуктивности и падение напряжения на емкости могут быть больше напряжения, которое дает источник?

Лабораторная работа № 2.4

Тема: **Исследование электрических цепей для получения сдвига фаз на 90^0 между током и напряжением**

Цель работы: проверить на опыте возможность получения сдвига фаз на 90° между током и напряжением

Оборудование и материалы: амперметр-3 шт, вольтметр- 2 шт, ваттметр -1шт, катушка - 2 шт, реостат - 1 шт, соединительные провода с наконечниками

Краткие теоретические сведения

Получить угол между напряжением и током, равный 90, можно различными способами. Когда к цепи подается переменное синусоидальное

напряжение, один и тот же синусоидальный ток имеет место во всех компонентах цепи.

Между напряжениями U_R, U_C и U существуют фазовые сдвиги, обусловленные емкостным реактивным сопротивлением X_C конденсатора. Они могут быть представлены с помощью векторной диаграммы напряжений (Рис. 2.37)

Фазовый сдвиг между током I и напряжением на резисторе U_R отсутствует, тогда как сдвиг между этим током и падением напряжения на конденсаторе U_C равен 90^0 (т.е. ток опережает напряжение на 90^0) [22].

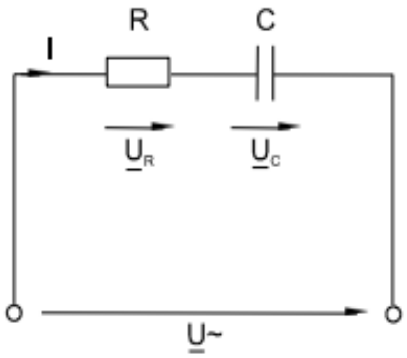


Рисунок 2.37 - Электрическая схема цепи с синусоидальным напряжением

При этом сдвиг между полным напряжением цепи U и током I определяется соотношением между сопротивлениями X_C и R. Если каждую сторону треугольника напряжений разделить на ток, то получится треугольник сопротивлений (Рис.2.38). В треугольнике сопротивлений Z представляет собой так называемое полное сопротивление цепи (Рис. 2.38).

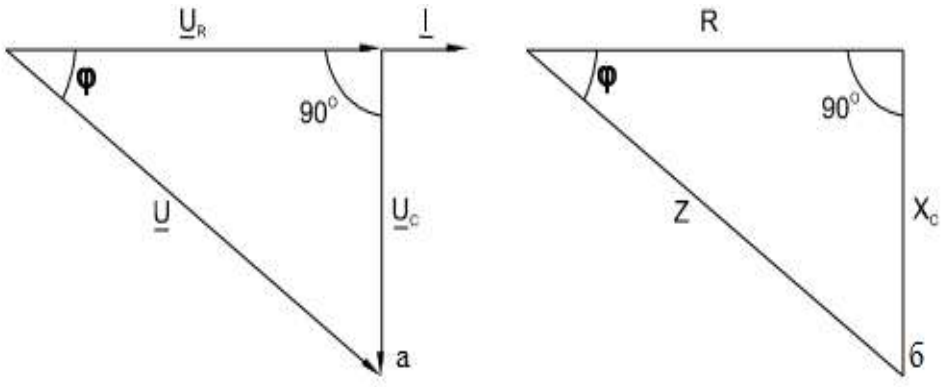


Рисунок 2.38 – Треугольники напряжения и сопротивлений

Из-за фазового сдвига между током и напряжением в цепях, подобных данной, простое арифметическое сложение действующих или амплитудных значений напряжений на отдельных элементах цепи невозможно.

Однако, в векторной форме:

$$\underline{U} = \underline{U}_R + \underline{U}_C \qquad (2.43)$$

Действующее значение полного напряжения цепи, как следует из векторной диаграммы С $_2$:

$$U = \sqrt{U_R^2 + U_C^2} \quad (2.44)$$

$$U = Z \cdot I \quad (2.45)$$

Полное сопротивление цепи:

$$Z = \sqrt{R^2 + X_C^2} \quad (2.46)$$

$$Z = \frac{U}{I} \quad (2.47)$$

Активное сопротивление цепи:

$$R = Z \cdot \cos \varphi \quad (2.49)$$

Емкостное реактивное сопротивление цепи:

$$X_C = Z \cdot \sin \varphi \quad (2.50)$$

Угол сдвига фаз:

$$\varphi = \text{arctg}\left(-\frac{U_C}{U_R}\right) = \text{arctg}\left(-\frac{X_C}{R}\right) \quad (2.51)$$

Общий ток цепи I (Рис.2.39) разветвляется на ток в конденсаторе I_C (емкостная составляющая общего тока) и ток в резисторе I_R (активная составляющая).

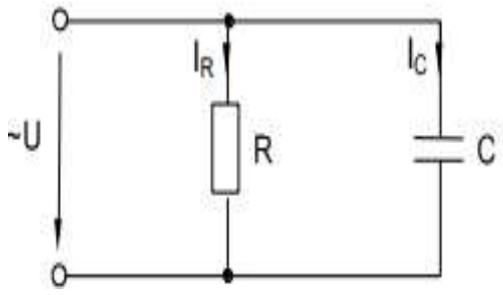
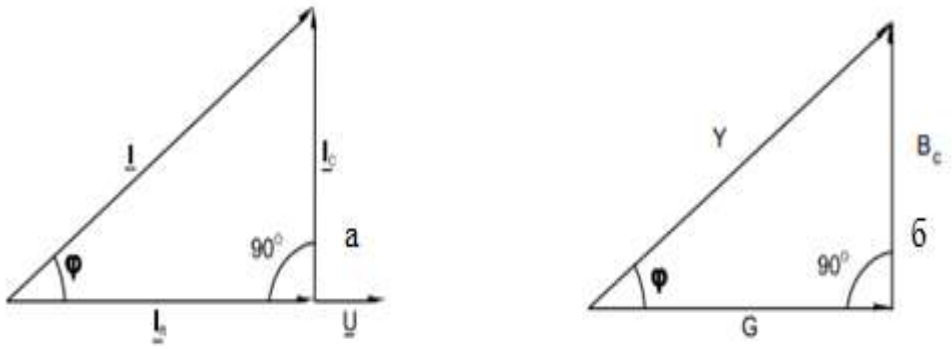


Рисунок 2.39 - Электрическая схема цепи с активным и емкостным сопротивлениями

Между токами I, I_C и I_R существуют фазовые сдвиги, обусловленные емкостным реактивным сопротивлением X_C конденсатора (Рис. 2.40, а).

Фазовый сдвиг между напряжением U цепи и током в резисторе I_R отсутствует, тогда как между этим напряжением и током в конденсаторе I_C равен – 90^0 (т.е. *ток опережает напряжение на* 90^0). Разделив каждую сторону треугольника токов на напряжение, получают треугольник проводимостей (Рис. 2.39, б).



а-треугольник тока; б- треугольник проводимостей

Рисунок 2.40– Треугольники тока и проводимостей

В треугольнике проводимостей: G = $\frac{1}{R}$, BC= $\frac{1}{X_C}$, а Y представляет собой так называемую полную проводимость цепи в См, тогда как G – активная, а BC – реактивная (емкостная) проводимости.

Из-за фазового сдвига между током и напряжением в цепях, подобных данной, простое арифметическое сложение действующих или амплитудных токов в параллельных ветвях невозможно. Но в векторной форме [11,23]:

$$I = I_R + I_C \quad (2.52)$$

Расчет ведется по следующим формулам, вытекающим из векторной диаграммы и треугольника проводимости.

Действующее значение полного тока цепи:

$$I = \sqrt{I_R^2 + I_C^2} \quad (2.53)$$

$$I = \frac{U}{Z} = U \cdot Y \quad (2.54)$$

Полная проводимость цепи:

$$Y = \sqrt{G^2 + B_C^2} \quad (2.55)$$

$$Y = \frac{I}{U} = \frac{1}{Z} \quad (2.56)$$

где Z - полное сопротивление цепи.

Угол сдвига фаз:

$$\varphi = \text{arctg}\,\frac{I_C}{I_R} = \text{arctg}\,\frac{B_C}{G} \quad (2.57)$$

Активная и реактивная проводимости:

$$G = Y \cdot \cos\varphi;\ B_C = Y \cdot \sin\varphi \quad (2.58)$$

Между напряжениями U_R, U_L и U (Рис. 2.41) существуют фазовые сдвиги, обусловленные индуктивным реактивным сопротивлением X_L катушки.

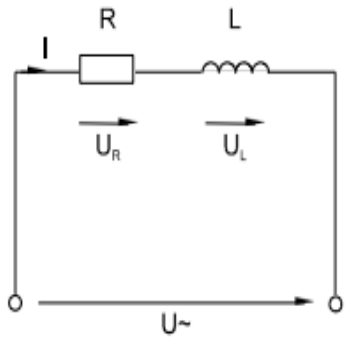
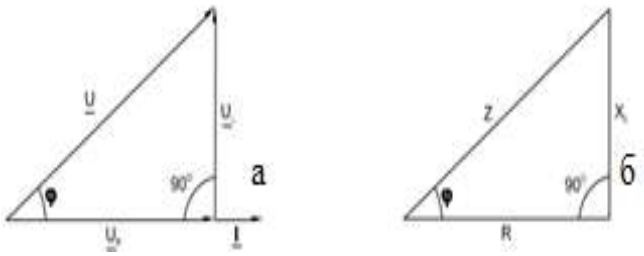


Рисунок 2.41- Электрическая схема цепи с активным и индуктивным сопротивлениями

Фазовый сдвиг между током I и напряжением на резисторе U_R отсутствует, тогда как сдвиг между этим током и падением напряжения U_L на катушке индуктивности равен 90^0 (ток отстает от напряжения).

При этом сдвиг между полным напряжением U цепи и током определяется соотношением между сопротивлениями X_L и R. Разделив все стороны треугольника напряжений на ток, получим треугольник сопротивлений (Рис.2.42, б), в котором Z представляет собой так называемое полное сопротивление цепи.



а- треугольник напряжений; б- треугольник сопротивлений

Рисунок 2.42 – Треугольники напряжений и сопротивлений

Они могут быть представлены с помощью векторной диаграммы напряжений (Рис. 2.42).

Из-за фазового сдвига между током и напряжением в цепях, подобных данной, простое арифметическое сложение напряжений на отдельных элементах как в последовательной чисто резистивной цепи, невозможно.

Только в векторной форме:

$$\underline{U} = \underline{U}_R + \underline{U}_L \qquad (2.59)$$

Расчет ведется по следующим формулам, вытекающим из векторной диаграммы и треугольника сопротивлений. Действующее значение полного напряжения цепи:

$$U = \sqrt{U_R^2 + U_L^2} \quad (2.60)$$

Полное сопротивление цепи:

$$Z = \sqrt{R^2 + X_L^2} \quad (2.61)$$

Индуктивное реактивное сопротивление цепи:

$$X_L = Z \cdot \sin \varphi \quad (2.62)$$

Угол сдвига фаз:

$$\varphi = \text{arctg}\left(\frac{X_L}{R}\right) \quad (2.63)$$

Общий ток цепи I (Рис. 2.43) разветвляется на ток в катушке IL (индуктивная составляющая общего тока) и ток в резисторе IR (активная составляющая).

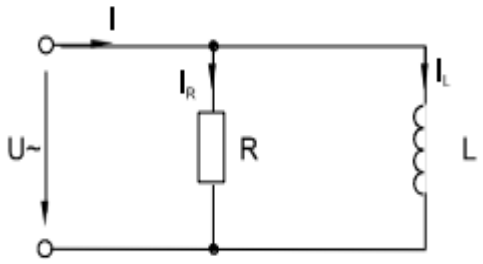
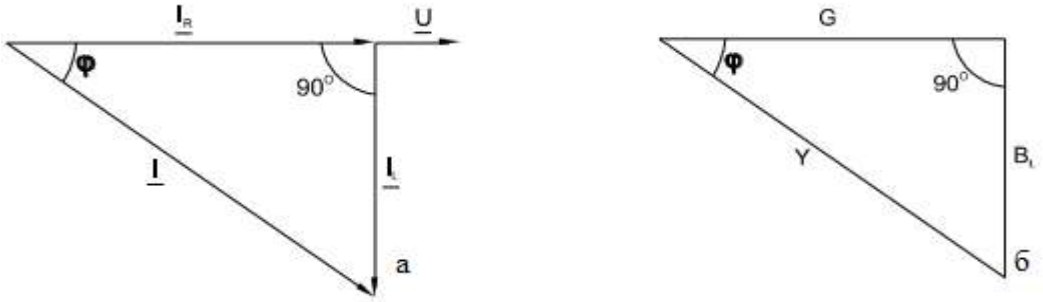


Рисунок 2.43- Электрическая схема цепи с активным и индуктивным сопротивлениями

Между токами I, I_L и I_R существуют фазовые сдвиги, обусловленные индуктивным реактивным сопротивлением X_L катушки. Они могут быть представлены с помощью векторной диаграммы токов (Рис. 2.44).



а- треугольник тока; б- треугольник сопротивлений

Рисунок 2.44 – Треугольники тока и сопротивлений

Фазовый сдвиг между напряжением U цепи и током в резисторе I_R отсутствует, тогда, как ток в катушке I_L всегда отстает от напряжения цепи (или тока в резисторе I_R) на 90^0.

При этом сдвиг между полным током I и напряжением цепи U определяется соотношением между проводимостями B_L и G. Разделив каждую сторону треугольника токов на напряжение, получим треугольник проводимостей, в котором Y представляет собой так называемую полную

проводимость цепи, G – активную, а B_L – реактивную (индуктивную) проводимости [23].

Из-за фазового сдвига между током и напряжением в цепях, подобных данной, простое арифметическое сложение действующих или амплитудных значений токов в параллельных ветвях, как в параллельной чисто резистивной цепи, невозможно. Только в векторной форме:

$$\underline{I} = \underline{I}_R + \underline{I}_L \tag{2.64}$$

Расчет ведется по следующим формулам, вытекающим из векторной диаграммы и треугольника проводимости:

$$I = \sqrt{I_R^2 + I_L^2} \tag{2.65}$$

Полная проводимость цепи по формуле:

$$Y = \sqrt{G^2 + B_L^2} \tag{2.66}$$

Угол сдвига фаз:

$$\varphi = \text{arctg}\,\frac{I_L}{I_R} = \text{arctg}\,\frac{B_L}{G} \tag{2.67}$$

Активная и реактивная проводимости:

$$G = Y\cos\varphi;\ B_L = Y\sin\varphi \tag{2.68}$$

Когда по цепи (Рис.2.45, а) *с последовательным соединением конденсатора и катушки индуктивности протекает один и тот же синусоидальный ток I, напряжение на конденсаторе U_C отстает от тока I на 90, а напряжение на катушке индуктивности U_L опережает ток на 90^0*

Эти напряжения находятся в противофазе (повернуты относительно друг друга на 180^0). Когда одно из напряжений больше другого, цепь оказывается либо преимущественно индуктивной (Рис. 2.45, б), либо преимущественно емкостной (Рис. 2.45, с).

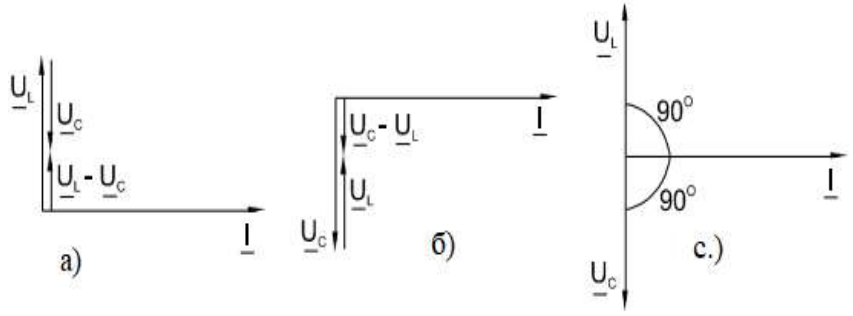
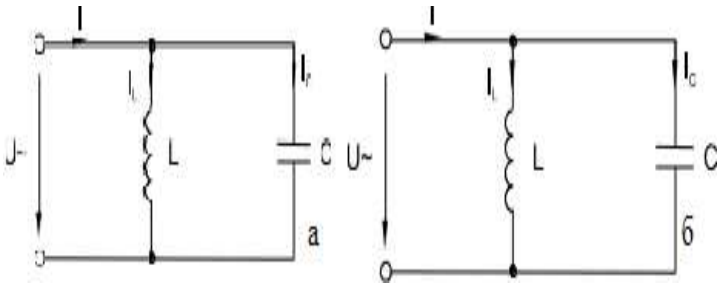


Рисунок 2.45- Векторные диаграммы зависимости напряжения от силы тока

Если напряжения U_L и U_C имеют одинаковые значения и компенсируют друг друга, то суммарное напряжение на участке цепи L – C оказывается равным нулю. Остается только небольшая составляющая напряжения на активном сопротивлении катушки и проводов. Такое явление называется *резонансом напряжений* (Рис. 2.45, с).$X = X_L – X_C$ оказывается равным нулю. При заданных значениях L и C резонанс может быть получен путем изменения частоты.

Когда к цепи (Рис. 2.46) с параллельным соединением конденсатора и катушки индуктивности подается переменное синусоидальное напряжение U, одно и то же напряжение приложено к обоим элементам цепи.



а - последовательное соединение катушки и конденсатора; б - параллельное соединение катушки и конденсатора

Рисунок 2.46 - Электрическая схема цепи

Когда к цепи (Рис. 2.45, б) с параллельным соединением конденсатора и катушки индуктивности подается переменное синусоидальное напряжение U, одно и то же напряжение приложено к обоим элементам цепи.

Общий ток цепи I разветвляется на ток в конденсаторе I_C (емкостная составляющая общего тока) и ток в катушке I_L (индуктивная составляющая общего тока), причем ток I_L отстает от напряжения U на 90^0, а I_C опережает на 90^0. Токи I_C и I_L имеют противоположные фазы (180^0) и в зависимости от их величин уравновешивают друг друга полностью или частично. Они могут быть представлены с помощью векторных диаграмм токов (Рис. 2.47). Когда $I_C = I_L$ и общий ток цепи равен нулю, имеет место *резонанс токов* (векторная диаграмма рис. 2.46, с))

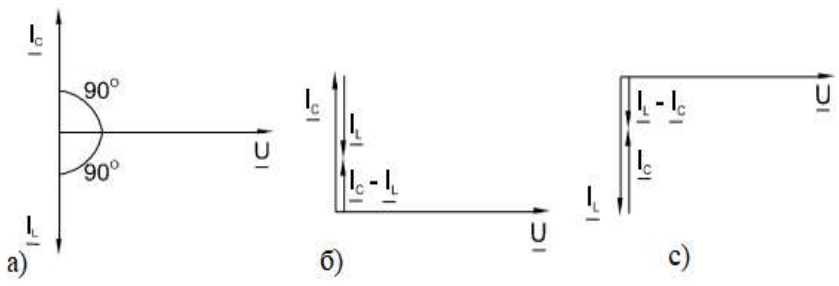
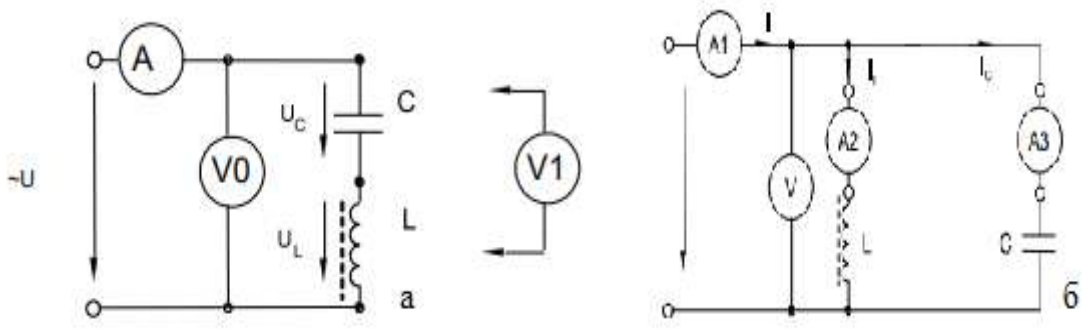


Рисунок 2.47 - Векторные диаграммы зависимости напряжения от силы тока

Порядок выполнения работы

1.Соберите цепь (Рис.2.48, а) с последовательным соединением конденсатора и катушки индуктивности.



а- последовательное соединение катушки и конденсатора; б- параллельное соединение катушки и конденсатора

Рисунок 2.48 – Электрическая схема цепи

2. Элементы выберите по подгруппам. Измерьте действующие значения тока I и напряжений U, U_C, U_L при частоте сети.

3. По полученным данным постройте векторную диаграмму и определите по ней напряжение, приложенное к цепи.

4. Измерьте действующие значения напряжения U и токов I, IC, I_L при частоте сети.

5. По полученным данным постройте векторную диаграмму и определите по ней ток в неразветвленной части цепи.

6. Проанализируйте результаты и сделайте вывод о соответствии полученных теоретических и практических данных. Объясните возможные причины несовпадений.

Контрольные вопросы

1.Как измениться сдвиг фаз между напряжением и током в цепи с последовательно соединёнными активными и реактивными элементами R, L и C если: - R увеличить в 2 раза, - X_L увеличить в 2 раза, - Xc увеличить в 2 раза, - одновременно активное и каждое реактивное сопротивления увеличить в 2 раза.

2.Как изменится напряжение на участках R_C - цепи, если воздушный конденсатор поместить в трансформаторное масло.

Лабораторная работа №2.5

Тема: **Изучение трехфазной цепи при соединении приемника «звездой»**

Цель работы: изучить цепь трехфазного тока при соединении приемника звездой в симметричном и несимметричном режимах. Выяснить роль нулевого провода в четырехпроводной системе трехфазного тока.

Оборудование и материалы: лабораторный стенд, провода соединительные многожильные сечением 2,5мм^2 - 16 шт.

Краткие теоретические сведения

Трехфазной системой переменных токов называется совокупность трех однофазных электрических цепей, в которых действуют синусоидальные ЭДС одинаковой частоты, сдвинутые по фазе на 1/3 периода и создаваемые общим источником электрической энергии.

Источником энергии в трехфазной системе служит трехфазный генератор. Вследствие симметрии конструкции генератора максимальные E_m и действующие E значения ЭДС во всех фазах одинаковы [14,19].

Соединение фаз (обмоток) генератора может осуществляться по схеме «звезда» или «треугольник». Фазы трехфазного генератора принято обозначать первыми буквами латинского алфавита: A, B, C. Чередование фаз генератора строго определенное и определяется изменением во времени фазных ЭДС, т.е. в очередности максимумов ЭДС: сначала фазы A, затем через 1/3T фазы B и через 2/3T фазы C. Такая последовательность чередования называется *прямой*.

Мгновенные значения ЭДС трехфазных обмоток генератора равны:

$$e_A = E_m \sin\omega t \tag{2.69}$$

$$e_B = E_m \sin(\omega t - 2/3\pi) \tag{2.70}$$

$$e_C = E_m \sin(\omega t - 4/3 \tag{2.71}$$

На рисунке 2.49 показаны графики мгновенных значений фазных ЭДС и три вектора соответствующих им действующих значений ЭДС.

Как видно из рисунка 2.49 сумма мгновенных значений ЭДС в любой момент времени равна нулю, следовательно, геометрическая сумма действующих значений фазных ЭДС генератора также равна нулю:

$$e_A + e_B + e_C = 0 \tag{2.72}$$

$$\underline{E}_A + \underline{E}_B + \underline{E}_C = 0 \tag{2.73}$$

В настоящее время трехфазная система является основной для передачи и распределения энергии.

Фазные обмотки трехфазного генератора можно соединить с тремя приемниками по схеме «звезда».

«*Звездой» называется такое соединение, при котором концы фаз соединены в одну общую точку N называемую нейтральной или нулевой, а к началам фаз A, B, C подведены линейные провода*.

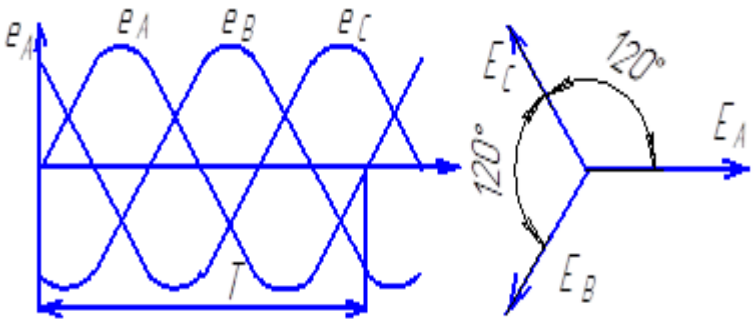


Рисунок 2.49- Графики мгновенных значений фазных ЭДС и вектора действующих значений ЭДС

В «звезду» соединяют фазы нагрузки с нулевой точкой n с началами фаз a, b, c (Рис.2.50) [22,23].

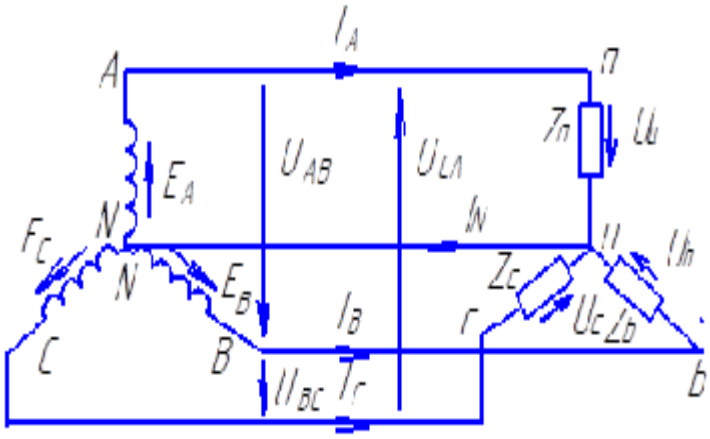


Рисунок 2.50 – Схема электрической цепи при соединении звездой

Провод, соединяющий точки N-n, называется нейтральным или нулевым. Провода, соединяющие точки А-а, В-в и С-с, называют линейными.

Приняв сопротивления всех проводов равным нулю, определяются токи трех фаз приемника и генератора:

$$\underline{I}_A = \frac{E_A}{Z_A}\ ,\ \underline{I}_B = \frac{E_B}{Z_B}\ ,\underline{I}_C = \frac{E_C}{Z_C} \qquad (2.74)$$

Токи $\underline{I}_A$, $\underline{I}_B$, $\underline{I}_C$, протекающие по линейным проводам, называют *линейными ($I_Л$)*. Токи, протекающие в фазах генератора и в фазах нагрузки, *называются фазными токами ($I_ф$).*

Для *соединения «звездой» линейные токи равны фазным*, то есть:

$$\underline{I}_Л = \underline{I}_ф$$

Ток в нейтральном проводе по первому закону Кирхгофа равен:

$$\underline{I}_N = \underline{I}_A + \underline{I}_B + \underline{I}_C \qquad (2.75)$$

Приемники с одинаковым сопротивлением всех трех фаз $\underline{Z}_a = \underline{Z}_b = \underline{Z}_c$ называются *симметричными*.

При симметричном приемнике $\underline{I}_A = \underline{I}_B = \underline{I}_C$ и ток в нейтральном проводе $I_N = 0$.

Напряжение между началом и концом фазы генератора (или фазы нагрузки) или напряжение между линейным и нулевым проводом называется фазным напряжением. Для генератора и линии электропередачи фазные напряжения (их три) обозначаются так: U_A, U_B, U_C или $U_{ф.}$ Фазные напряжения нагрузки обозначаются так: Ua, Ub, Uc. Напряжения между двумя началами фаз генератора (или двумя началами фаз нагрузки) или между двумя линейными проводами называются линейными и обозначаются для генератора и линии электропередачи: U_{AB}, U_{BC}, U_{CA}, или Uл, для нагрузки Uab, Ubc, Uca. Рассматривая поочередно контуры abn, bcn, can (Рис.2.50) по второму закону Кирхгофа убеждаются, что линейные напряжения равны:

$$\underline{U}_{AB} = \underline{U}_A - \underline{U}_B,\ \underline{U}_{BC} = \underline{U}_B - \underline{U}_C,\ \underline{U}_{CA} = \underline{U}_C - \underline{U}_A \qquad (2.76)$$

Пользуясь этим соотношением, построят векторную диаграмму (Рис.2.51а) напряжений для симметричной нагрузки.

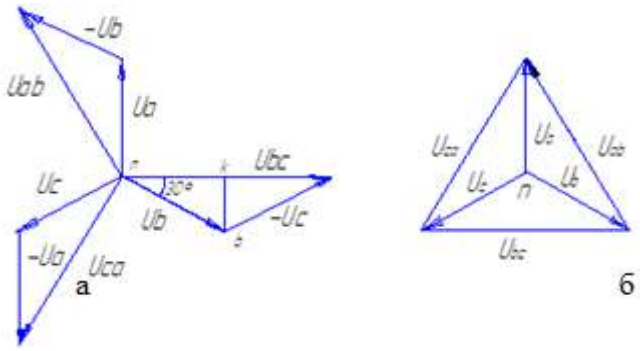


Рисунок 2.51 - Векторная диаграмма для симметричной нагрузки

Из рисунке 2.51а видно, что «звезда» линейных напряжений опережает «звезду» фазных напряжений на 30°. Отсюда из Δnkb:

При наличии нейтрального провода условие выполняется как при *симметричном*, так и при *несимметричном* приемнике.

$$\frac{U_{BC}}{2U_B} = 30^0,\ U_{BC} = \sqrt{3}\cdot U_B,\ U_л = \sqrt{3}\cdot U_Ф \qquad (2.77)$$

Фазные коэффициенты мощности равны [11,18]:

$$\cos\varphi_a = \frac{R_a}{Z_a},\ \cos\varphi_b = \frac{R_b}{Z_b},\ \cos\varphi_c = \frac{R_c}{Z_c} \qquad (2.78)$$

где φ_a, $\varphi_в$, φ_c углы сдвига фаз между фазными напряжениями и фазными токами.

При *симметричной* нагрузке:

$$\underline{I}_a = \underline{I}_b = \underline{I}_c = I_ф = \frac{U_Ф}{Z_Ф} \quad (2.79)$$

$$\cos\varphi_a = \cos\varphi_в = \cos\varphi_c = \frac{R_Ф}{Z_Ф} \quad (2.80)$$

Векторная диаграмма напряжений и токов при симметричной активно-индуктивной нагрузке приведена на рисунке2.52.

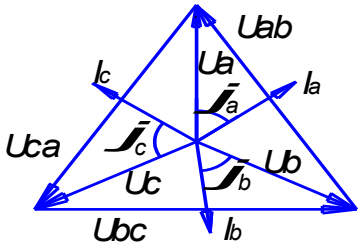


Рисунок 2.52 - Векторная диаграмма напряжений и токов при симметричной активно-индуктивной нагрузке

При несимметричном приемнике, например: $Z_a \neq Z_b \neq Z_c$ соотношение $\underline{I}_Л = \underline{I}_Ф$ сохраняется, а соотношение $U_л = \sqrt{3} \cdot U_Ф$ нарушается.На рисунке 2.53,а- показана векторная диаграмма при увеличении нагрузки в фазе «А», то есть при $Z_a < Z_b = Z_c$, нагрузка активная.На рисунке 2.53,б - векторная диаграмма короткого замыкания фазы «А», что соответствует перемещению нейтральной точки **n** в точку **a**, и $U_A = 0$, $Z_a = 0$.

На рисунке2.53,в - векторная диаграмма для случая обрыва фазы «А», что соответствует $Z_a = \infty$ нейтральная точка n переместится на середину линейного напряжения вектора $U_{bc}(n^1)$, тогда напряжения на фазах «b» и «c» будут:

$$U_b = U_c = \frac{U_{bc}}{2} = \frac{U_a}{2} \quad (2.81)$$

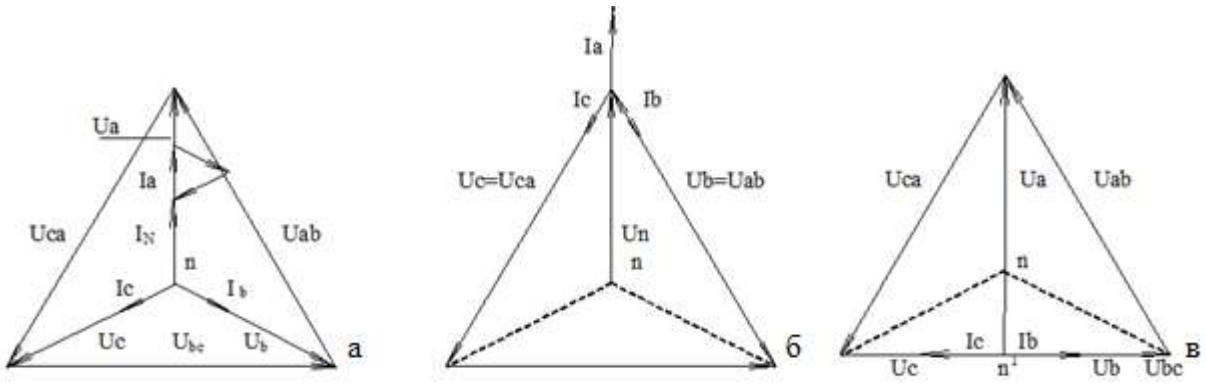
Активная мощность фазы при соединении нагрузки «звездой», например, фазы А, равна:

$$P_a = U_a \cdot I_a \cdot \cos\varphi \quad (2.82)$$

Активная и реактивная мощности приемников трехфазной цепи при несимметричной нагрузке равны:

$$P = P_a + P_b + P_c \quad (2.83)$$

$$Q = \pm Q_a \pm Q_b \pm Q_c \qquad (2.84)$$



а- увеличение нагрузки в фазе «А»; б- короткое замыкание фазы «А»; в-обрыв фазы «А»

Рисунок 2.53 – Векторные диаграммы

Для реактивной мощности знак «+» при индуктивном характере нагрузки, знак «– при емкостном характере нагрузки. Полная мощность трехфазной цепи при несимметричной нагрузке равна:

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2} \qquad (2.85)$$

При симметричной нагрузке полная, активная и реактивная мощности приемников трехфазной цепи соответственно равны:

$$S = \sqrt{3} \cdot U_Л \cdot I_Л, \qquad (2.86)$$

$$P = \sqrt{3} \cdot U_Л \cdot I_Л \cos\varphi_Ф, \qquad (2.87)$$

$$Q = \sqrt{3} \cdot U_Л \cdot I_Л \cdot \sin\varphi_Ф \qquad (2.88)$$

или

$$S = 3S_Ф = 3U_Ф \cdot I_Ф, \qquad (2.89)$$

$$P = 3P_Ф = 3U_Ф \cdot I_Ф \cdot \cos\varphi_Ф, \qquad (2.90)$$

$$Q = \sqrt{3} \cdot U_Л \cdot I_Л \cdot \sin\varphi_Ф \qquad (2.91)$$

Порядок выполнения работы

1. Изучите и соберите принципиальную схему цепи (Рис. 2.54) на лабораторном стенде. Обратите внимание, что выключение стенда осуществляется пакетным выключателем QS, причем к клеммам A, B, C и N подводится напряжение 36 В от трехфазного понижающего трансформатора, соединенного по схеме «звезда»/ «звезда» с нулевой точкой с напряжением 380/36 В;

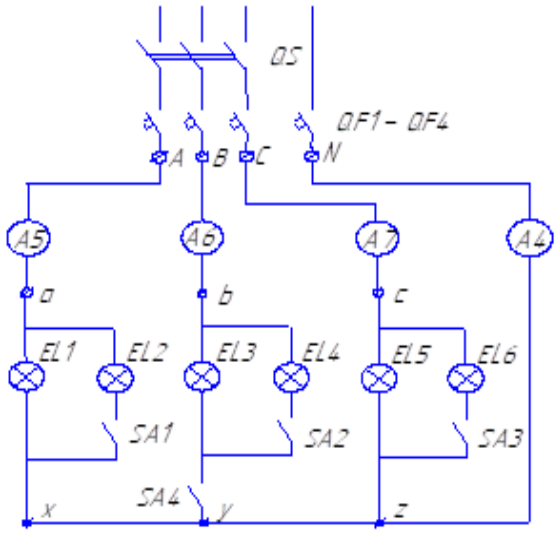


Рисунок 2.54 - Принципиальная схема лабораторной работы

а) назначение амперметров:

A_4 – амперметр для измерения силы тока в нулевом проводе;

A_5, A_6, A_7 – амперметры для измерения силы тока в фазах a, b, c;

V – вольтметр для измерения линейных и фазных напряжений цепи;

б) приборы A_1…A_7 и V измеряют линейные и фазные токи и напряжения, а в качестве нагрузки трехфазной цепи служат лампы накаливания с $U_{ном} = 36$ В, $P_{ном} = 40$ Вт, включаемые тумблерами S_{A1}-S_{A3};

с) изменение нагрузки регулируется числом включенных ламп накаливания в каждой фазе, обрыв фазы осуществляется отключением тумблера SA_4, а короткое замыкание проводится путем соединения проводом начала и конца одной из фаз только в трехпроводной цепи.

2. Соблюдайте технику безопасности:

-включайте стенд в сеть только с разрешения преподавателя;

-во время работы стенда не прикасаться к клеммам;

-не проводите никаких ремонтных работ на стенде, о неисправности доложите преподавателю;

-не касайтесь ламп накаливания вовремя и после их работы;

-не оставляйте работающий стенд без присмотра;

3.Запишите технические данные применяемых приборов. Выключите стенд и установите симметричную нагрузку фаз. Тумблеры S_{A1}, S_{A2}, S_{A3} должны быть отключены, тумблер S_{A4} в исходном состоянии должен быть включен.

4.По показаниям амперметров в фазах убедитесь в равенстве токов в фазах, а также в отсутствии тока в нулевом проводе.

5.Измерьте фазные и линейные напряжения. Данные запишите в таблицу 2.12

Таблица 2.12- Сводные результатов измерений и вычислений

Режим нагрузки	Измерено											Вычислено			
	Uab, В	Ubc, В	Uca, В	Ua, В	Ub, В	Uc, В	Ia, А	Ib, А	Ic, А	In, А	U_{Nn}, В	Ra, Ом	Rb, Ом	Rc, Ом	P, Вт

6.Исследуйте нагрузку в четырехпроводной цепи в несимметричных режимах, проделав следующие опыты:
-увеличьте (уменьшите) нагрузку в одной из фаз (например, «а»);
-то же в двух фазах;
-обрыв одной из фаз.

7.Исследуйте трехпроводную цепь, то есть без нейтрального провода. Для этого выключите автоматический выключатель QF_4 в цепи нулевого провода и проделайте следующие опыты:
-симметричная нагрузка (так же, как пункт 3);
-увеличьте (уменьшите) нагрузку в одной из фаз (например, «а»);
-то же в двух фазах;
-короткое замыкание одной из фаз.

8.В работе проводятся прямые, однократные измерения, точность которых оценивается классом точности измерительного пробора ($U_Ф$, $U_Л$, U_{Nn}, $I_Ф$, $I_Л$, I_N). Результат измерения выразите двумя числами, например,

$$I= 4{,}00 \pm 0{,}05 \text{ А},$$

где 4,00 А – значение измеряемой величины,
0,05 А – абсолютная погрешность измерения.

Оценку точности минимальных значений U_{Nn}, I_{Nn} провести по формуле относительной погрешности:

$$\delta = \pm K(X_N/x), \qquad (2.92)$$

где К – класс точности прибора;
X_N – нормирующие значения измеряемой величины (верхний предел шкалы прибора);
х – значение измеряемой величины.

9. Результаты измерений и вычислений занесите в таблицу 2.13.

10. В соответствии с данными таблицу 2.13 для всех опытов постройте векторные диаграммы токов и напряжений. Сделайте вывод.

Таблица 2.13-Сводная результатов измерений

Измеренные значения в единицах	U_{Nn}	I_{Nn}	
δ, %			

Контрольные вопросы

1.Напишите формулы связи линейных токов и напряжений с их фазными

значениями при симметричной нагрузке при соединении в «звезду». Как определяются величины $\cos \varphi_a$, $\cos \varphi_b$, $\cos \varphi_c$, $P_Ф$, P_A, P_B, P_C, P, Q, S?

2.Каково назначение нулевого провода? В каких случаях по нулевому проводу протекает ток и как он определяется?

3.Почему в нулевой провод никогда не ставят предохранитель?

Лабораторная работа №2.6

Тема: **Изучение трехфазной цепи при соединении приемника «треугольником».**

Цель работы: изучить цепь трехфазного тока при соединении приемника треугольником в симметричном и несимметричном режимах. Проверка на опыте влияния обрыва линейного провода на работу потребителей.

Оборудование и материалы: лабораторный стенд, провода соединительные многожильные сечением 2,5мм^2 - 16 шт.

Краткие теоретические сведения

Соединением фаз в треугольник: начало одной фазы соединяют с концом второй фазы, начало второй фазы соединяют с концом третьей фазы, начало третьей фазы соединяют с концом первой фазы (Рис. 2.55) [21].

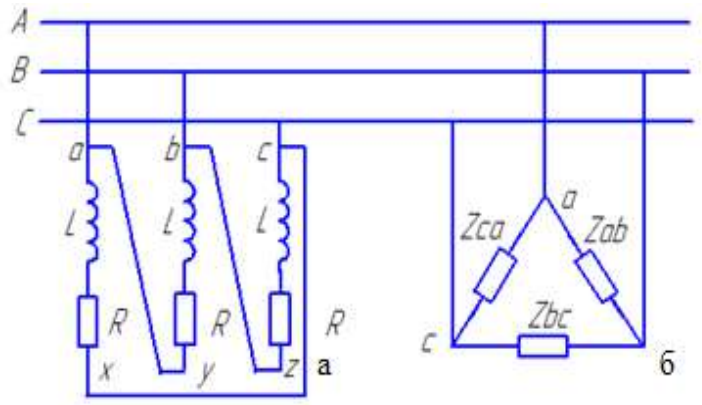


Рисунок 2.55 – Электрическая цепь соединения по схеме «треугольник»

Схема соединения фаз генератора в звезду и фаз приемника электрической энергии в треугольник представлено на рисунке 2.56.

Из схемы видно, что, если сопротивления линейных проводов равны 0, $U_Ф=U_Л$. Фазное напряжение при треугольнике в 1,73 раза больше, чем фазное напряжение при звезде.

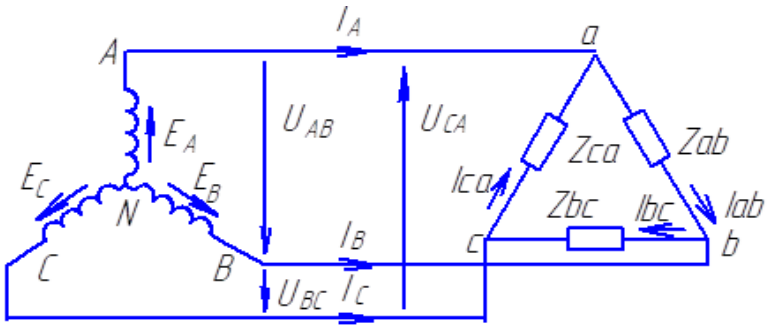


Рисунок 2.56 - Схема соединения фаз генератора в звезду и фаз приемника электрической энергии в треугольник

Принятым условным положительным направлениям линейных напряжений (Рис.2.56) соответствуют условные положительные направления токов; токи в фазах равны:

$$\underline{I}_{ab}=\frac{U_{ab}}{Z_{ab}}, \quad (2.93)$$

$$\underline{I}_{bc}=\frac{U_{bc}}{Z_{bc}}, \quad (2.94)$$

$$\underline{I}_{ac}=\frac{U_{ac}}{Z_{ac}}, \quad (2.95)$$

Для узлов a, b, c (Рисунок 2.56) линейные токи по первому закону Кирхгофа равны:

$$\underline{I}_A=\underline{I}_{ab}-\underline{I}_{ca}, \quad (2.96)$$

$$\underline{I}_B=\underline{I}_{bc}-\underline{I}_{ab}, \quad (2.97)$$

$$\underline{I}_C=\underline{I}_{ca}-\underline{I}_{bc} \quad (2.98)$$

Для симметричной нагрузки $\underline{Z}_{ab}=\underline{Z}_{bc}=\underline{Z}_{ca}$ фазные токи $\underline{I}_{ab}=\underline{I}_{bc}=\underline{I}_{ac}$ имеют одинаковый угол φ к фазным напряжениям.

На рисунке 2.57 приведены векторные диаграммы напряжений и токов при симметричной нагрузке, соединении треугольником (нагрузка фаз активно – индуктивная).

Из диаграммы следует, что при симметричной нагрузке соотношение между фазными и линейными токами равно:

$$I_Л = \sqrt{3}\cdot I_Ф \quad (2.99)$$

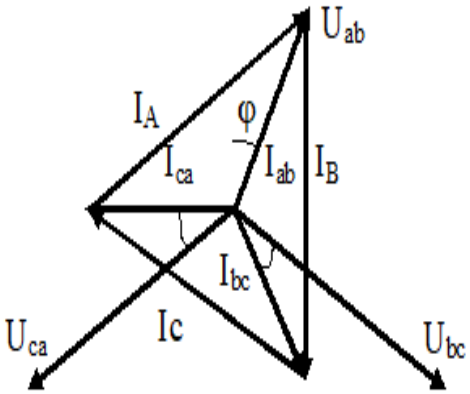
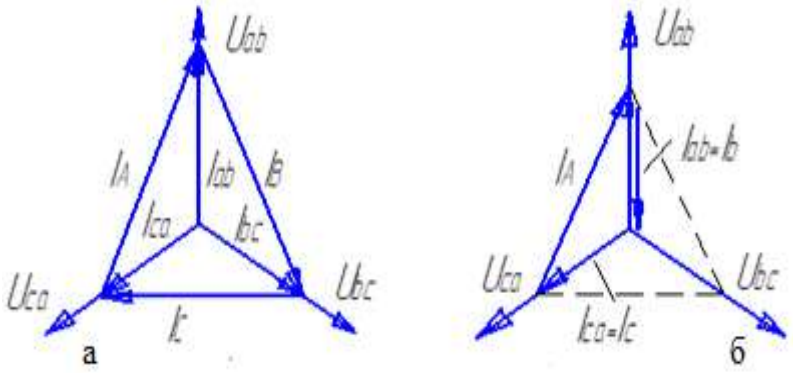


Рисунок 2.57 - Векторные диаграммы напряжений и токов при симметричной нагрузке

Расчет токов ведут для одной фазы [22]:

$$I_Ф = \frac{U_Ф}{Z_Ф} \qquad (2.100)$$

В случае несимметричной нагрузки, например увеличение нагрузки в фазе ab ($Z_{ab} < Z_{bc} = Z_{ca}$), ток в фазе ab возрастает, в двух других фазах bc и ca будет прежним, то есть $I_{ab} > I_{bc} = I_{ca}$. На рисунке2.58, а - приведена векторная диаграмма этого случая.



а- при увеличении нагрузки, б-при обрыве фаз

Рисунок 2.58 -Векторная диаграмма несимметричной нагрузки

При увеличении сопротивления фазы “bc” до бесконечности, что соответствует обрыву этой фазы, ток в ней $I_{bc}=0$:

$$\underline{I}_A = \underline{I}_{ab} - \underline{I}_{ca}\,, \qquad (2.101)$$

$$\underline{I}_B = -\underline{I}_{ab}\ \underline{I}_C = \underline{I}_{ca} \qquad (2.102)$$

Векторная диаграмма этого случая представлена на рисунке 2.59, б).

В случае обрыва одного из линейных проводов (например, провода А) цепь становится однофазной с двумя параллельными ветвями, находящимися под напряжением $\underline{U}_{bc}$, так как:

$$\underline{Z}_{ab}=\underline{Z}_{bc}=\underline{Z}_{ca}, \quad (2.103)$$

$$\text{то } \underline{I}_{ca}=\underline{I}_{ab}=0{,}5\underline{I}_{bc}, \quad (2.104)$$

$$\underline{I}_b=\underline{I}_{bc}+\underline{I}_{ab};\ \underline{I}_c=-\underline{I}_b \quad (2.105)$$

Активная мощность каждой фазы при соединении нагрузки треугольником, например, фазы ab, равна:

$$P_{ab}= U_{ab}\cdot I_{cb}\cdot\cos\varphi_{ab} \quad (2.106)$$

Активная, реактивная и полная мощности приемников трехфазной цепи при несимметричной нагрузке равны:

$$P=P_{ab}+P_{bc}+P_{ca}, \quad (2.107)$$

$$Q=\pm Q_{ab}\pm Q_{bc}\pm Q_{ca}, \quad (2.108)$$

$$S=\sqrt{P^2+Q^2} \quad (2.109)$$

Векторная диаграмма для обрыва линейного провода фазы дана на рисунке 2.59.

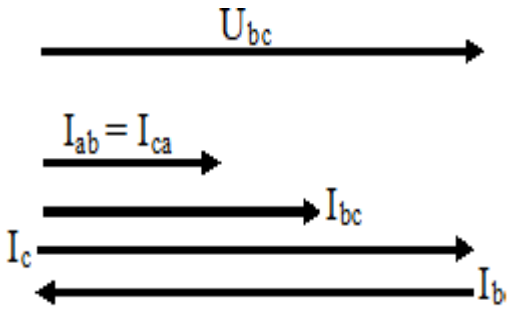


Рисунок 2.59 - Векторная диаграмма для обрыва линейного провода фазы

При симметричной нагрузке активная и реактивная мощности приемников трехфазной цепи равны:

$$P=3P_{ф}=3U_{ф}\cdot I_{ф}\cdot\cos\varphi_{Ф}, \quad (2.110)$$

$$Q=3Q_{ф}=3U_{ф}\cdot I_{ф}\cdot\sin\varphi_{Ф} \quad (2.111)$$

или

$$P=\sqrt{3}U_{Л}\cdot I_{Л}\cdot\cos\varphi_{Ф}\ , \quad (2.112)$$

$$Q=\sqrt{3}U_Л \cdot I_Л \sin \varphi_Ф \quad (2.113)$$

Полная мощность трехфазной цепи при симметричной нагрузке:

$$S=3S_Ф \text{ или } S=\sqrt{3}U_Л \cdot I_Л \quad (2.114)$$

Полная мощность трехфазной цепи при несимметричной нагрузке:

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2} \quad (2.115)$$

Порядок выполнения работы

1.В данной работе используется лабораторный стенд.

2.Ознакомьтесь с лабораторным стендом, найдите сетевой выключатель, тумблеры включения – отключения дополнительных нагрузок.

3.Обратите внимание на назначение приборов:

-A_1, A_2, A_3 – амперметры для измерения линейных токов;

-A_4, A_5, A_6 – амперметры для измерения фазных токов;

-V – вольтметр для измерения фазных и линейных напряжения;

4.Соберите схему соединения нагрузки в треугольник. Покажите схему для проверки преподавателю или лаборанту.

5.Запишите технические данные применяемых приборов.

6.Включите стенд и установите симметричную нагрузку фаз. Тумблеры SA_1 SA_2, SA_3, по указанию преподавателя, должны быть отключены, либо включены. Тумблер SA_4 в исходном состоянии должен быть включен.

7.По показаниям амперметров убедитесь в равенстве токов в фазах и линейных проводах.

8.Выполните следующие опыты при несимметричной нагрузке:

- увеличение нагрузки в одной из фазы;
- увеличение нагрузки в двух фазах;
- обрыв фазного провода;
- обрыв линейного провода, не забываете, что обрыв фазы осуществляется отсоединением приемника в точке a, b или c.

Измерение напряжения производится вольтметром V.

9.Результаты измерений и вычислений сводите в таблицу 2.14.

10. Исходя данных таблицы постройте векторные диаграммы токов и напряжений. Сделайте соответствующие выводы.

Таблица 2.14- Результаты измерений и вычислений

Режим нагрузки	Измерено									Вычислено			
	Uab, В	Ubc, В	Uca, В	Ia, В	Ib, В	Ic, В	Iab, А	Ibc, А	Ica, А	Pab, Вт	Pbc, Вт	Pca, Вт	P, Вт

Контрольные вопросы

1.Изобразите векторную диаграмму напряжений и токов при обрыве фазного провода.

2.Во сколько раз изменяется фазные и линейные токи и напряжения при переключении симметричной нагрузки со «звезды» на «треугольник»? Ответ поясните на примере данных, полученных при исследовании нагрузки, соединенной в «звезду» по предыдущей лабораторной работе.

3.Во сколько раз изменятся мощности при переключении схемы нагрузки со «звезды» на «треугольник»? Ответ поясните на примере данных, полученных в предыдущей лабораторной работе при симметричной нагрузке.

4.Постройте векторную диаграмму токов и напряжений при обрыве линейного провода.

Краткие выводы

Передача электрической энергии осуществляется от электростанции по магистральным сетям к крупным потребителям и трансформаторным подстанциям. В свою очередь трансформаторные подстанции передают крупным потребителям или по распределительным сетям на распределительные пункты. От распределительных пунктов электроэнергия предается средним и мелким потребителям по радиальным или магистральным схемам.

Электрический ток бывает постоянным или переменным, однофазным или трехфазным. Основными законами электротехники являются законы Ома и Кирхгофа, которые играют существенную роль при соединении электрических цепей.

Под переменным током подразумевают ток в обычных одно- и трёхфазных сетях. В этом случае параметры переменного тока изменяются по гармоническому закону.

Переменный вид тока легко преобразуется и передается на большие расстояния с минимальными потерями на самой линии электропередач.

Контрольные вопросы

1.Перечислите нетрадиционные источники энергии.

2.Назовите их преимущества и недостатки нетрадиционных источников энергии.

3.Назовите основные законы электротехники.

4.Перечислите свойства последовательного соединения резисторов.

5.Как изменится ток в цепи при увеличении числа параллельно включенных резисторов?

РАЗДЕЛ 3. ОСНОВНЫЕ СВЕДЕНИЯ ОБ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИНАХ И ТРАНСФОРМАТОРАХ

Введение

Данный раздел направлен на изучение основных сведений об электрических машинах и трансформаторах и их применения на производстве.

Цель раздела: дать представление о конструкции электрических машин и трансформаторов.

Задачи:

1.изучить конструкцию и принцип действия коллекторных электрических машин постоянного тока;

2.изучить конструкцию и принцип действия бесколлектроных электрических машин;

3.изучить конструкцию и принцип действия трансформаторов и автотрансформаторов.

3.1 Коллекторные электрические машины постоянного тока

Назначение, классификация, конструкции, принцип действия и применение машины постоянного тока.

Машина постоянного тока - электрическая машина, предназначенная для преобразования механической энергии в электрическую постоянного тока (генератор) или для обратного преобразования (двигатель). Машина постоянного тока обратима (Рис.3.1) [25].

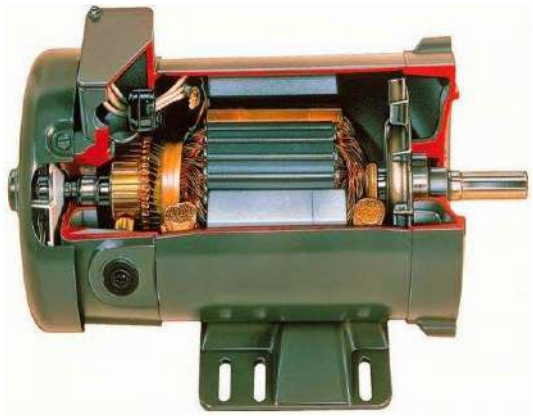


Рисунок 3.1- Машина постоянного тока

Коллекторные машины используют главным образом для работы на постоянном токе в качестве генераторов или двигателей. Лишь коллекторные машины небольшой мощности делают универсальными двигателями, способными работать как от сети постоянного, так и переменного тока.

На рисунке 3.1 представлена диаграмма классификации электрических машин, содержащая основные их виды, получившие наибольшее применение в современной электроэнергетике.

Любая электрическая машина состоит, как правило, из двух составных частей: неподвижной части - статора, располагаемой обычно снаружи, и вращающейся внутренней части – ротора (Рис.3.2).



Рисунок 3.2 – Классификация электрических машин

Ротор современной машины постоянного тока малой и средней мощности состоит из вала и насаженных на него якоря, коллектора и вентилятора для охлаждения машины [27].

Статор современной машины постоянного тока состоит из: ярма, главных, или основных, магнитных полюсов с намагничивающими их катушками из изолированного или голого медного провода круглого или прямоугольного сечения и из добавочных, или коммутационных, магнитных полюсов с намагничивающими их катушками из изолированного или из голого (с изоляционными прокладками) медного провода круглого или прямоугольного сечения.

Особенности машин постоянного тока. Одноякорная электрическая машина, постоянного тока может быть с параллельным, с последовательным, а также с последовательно-параллельным, или смешанным, возбуждением [26,27].

В машине со смешанным возбуждением на индукторе имеется либо основная индукторная обмотка, соединяемая параллельно с якорной обмоткой, и вспомогательная возбуждающая обмотка, соединяемая последовательно с якорной обмоткой, либо основная индукторная обмотка, соединяемая с якорной обмоткой последовательно, и вспомогательная возбуждающая обмотка, соединенная параллельно с якорной обмоткой.

Возможно также устройство машины постоянного тока с независимым возбуждением, если в ней индукторную, возбуждающую обмотку отсоединить от якоря и присоединить к независимому источнику постоянного тока неизменного напряжения.

Главные детали машины - это якорь, представляющий собой цилиндрическую форму, состоящую из большого числа дисков специальной тонкой листовой электротехнической стали, плотно спрессованных (Рис.3.3).

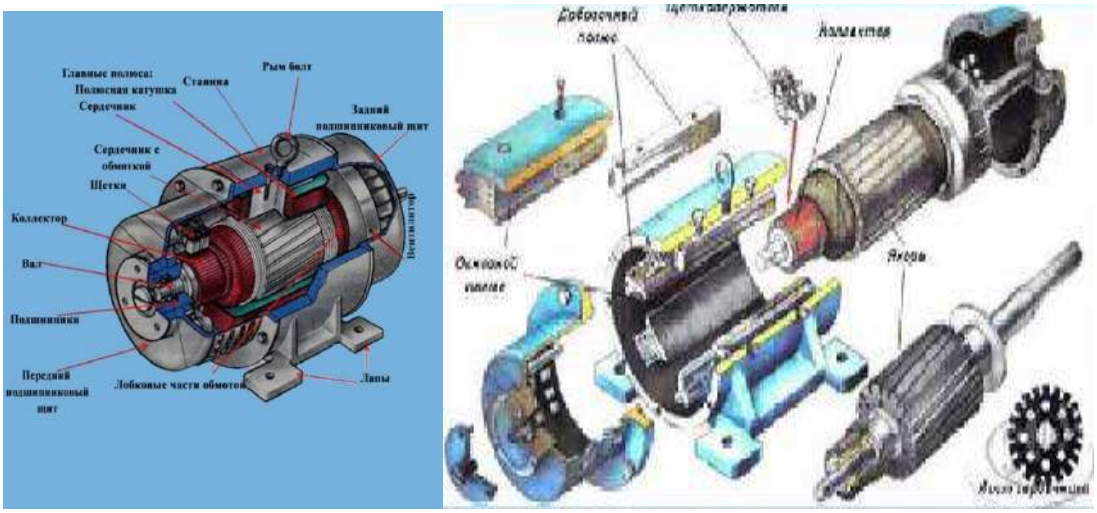


Рисунок 3.3 –Конструкция машины постоянного тока

По наружной окружности якоря равномерно располагаются полученные путем штамповки пазы или впадины, в которых укладывается и укрепляется составленная по определенным правилам электрическая цепь из изолированного медного провода круглого или прямоугольного сечения, называемая обмоткой якоря.

Коллектор имеет цилиндрическую форму и состоит из медных пластин, изолированных друг от друга и от крепящих их частей. Пластины коллектора электрически соединяются с определенными точками якорной обмотки, равномерно распределенными по окружности якоря.

Сердечник и башмак штампуют совместно из листовой электротехнической стали в виде пластин соответствующей формы, которые затем спрессовывают и скрепляют в монолитное тело. Главные магнитные полюсы создают основной магнитный поток машины, от перерезывания которого вращающейся якорной обмоткой в ней индуктируется э д. с. машины.

Добавочные магнитные полюса служат для обеспечения безискровой работы коллектора [28].

На коллектор опираются щетки (Рис.3.4), как правило, угольные, имеющие прямоугольную форму сечения. Их устанавливают по образующим цилиндрической поверхности коллектора, называемым коммутационными зонами. Обычно число коммутационных зон равно числу полюсов машины.



Рисунок 3.4- Щетки машины постоянного тока

Щетки вставляют в обоймы щеткодержателей с пружинами, прижимающими щетки к поверхности коллектора. Щетки одного и того же зонного комплекта электрически соединяют друг с другом, а зонные комплекты одной и той же полярности (т. е. через зону) соединяют электрически друг с другом и присоединяют к соответствующему внешнему зажиму машины.

Принцип действия. Машина постоянного тока может работать в двух режимах: двигательном и генераторном, в зависимости от того, какую энергию к ней подвести - если электрическую, то электрическая машина будет работать в режиме электродвигателя, а если механическую - то будет работать в режиме генератора.

Обмотка якоря машины постоянного тока является важным элементом. Якорь может быть кольцевым или барабанным [26]. Первая конструкция не нашла широкого распространения из-за неэффективности использования обмоточного провода якорной обмотки, поэтому обмотка якоря такой конструкции здесь не рассматривается.

Барабанный якорь представляет собой цилиндр, набранный из листов электротехнической, стали. На поверхности цилиндра имеются пазы, в которые укладывается обмотка.

Секцией называют катушку, состоящую из витков изолированного провода, подключаемую к двум коллекторным пластинам. В большей части электрических машин постоянного тока используются следующие типы якорных обмоток:

а) простая петлевая обмотка;

б) простая волновая обмотка;

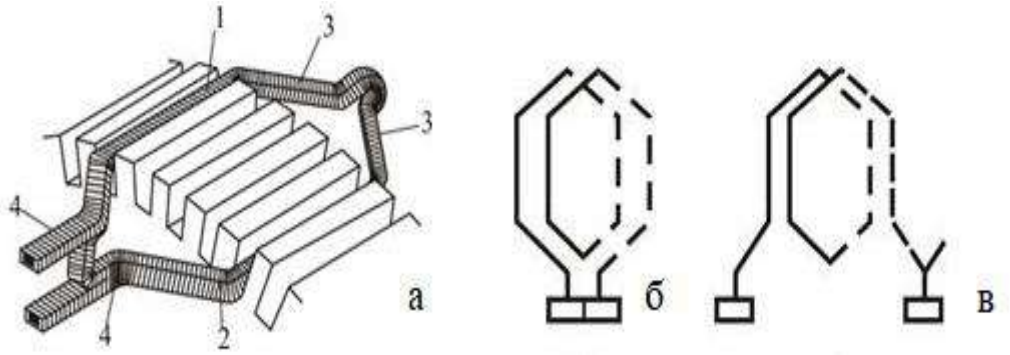
в) сложная петлевая обмотка;

г) сложная волновая обмотка.

Существуют и более сложные конструкции якорных обмоток машин постоянного тока.

Обмотки якоря. Для укладки обмотки якоря в барабане магнитопровода выполняются продольные пазы. Форма и количество реальных пазов различны и зависят от мощности машины, способа изоляции и типа обмотки якоря. В любом случае вся обмотка якоря делится на отдельные секции, содержащие некоторое количество витков и имеющие определенную форму, удобную для укладки в пазы.

Каждая секция имеет две активные стороны, находящиеся непосредственно в пазах (Рис. 3.5, а) стороны *1*и *2*, фронтальные стороны, не участвующие в процессе преобразования энергии стороны *3* и *4*, и выводы, предназначенные для подключения секции к пластинам коллектора.



а - секция с двумя активными сторонами, находящимися непосредственно в пазах стороны*1*и*2;* б- простая петлевая обмотка, где расстояние между концами секций определяется расстоянием между соседними пластинами; в- простая волновая обмотка, где формы секций расположены на определенном расстоянии друг от друга

Рисунок 3.5 – Секция обмотки якоря

Формы секций зависят от типа обмотки. В случае простой петлевой обмотки выводы секций соединяются с соседними коллекторными пластинами, поэтому расстояние между концами секций определяется расстоянием между соседними пластинами (рис. 3.5, *б*).

В случае простой волновой обмотки форма секций должна предусматривать подключение к пластинам, расположенным на определенном расстоянии друг от друга (Рис. 3.5, в).

Число витков секций зависит от количества проводников обмотки якоря, общего количества секций обмотки якоря и количества коллекторных пластин. Если обмотка должна содержать *N* проводников при количестве коллекторных пластин, равном *K* и *S* секций, то:

- количество витков обмотки равно $\frac{N}{2}$;

- количество секций равно числу коллекторных пластин K=S, так как каждая секция имеет два конца, и к каждой коллекторной пластине подсоединяются два конца различных секций.

Тогда число витков одной секции равно [25]:

$$\mathrm{W} = \frac{N}{2S} \text{ или } \mathrm{W} = \frac{N}{2K} \qquad (3.1)$$

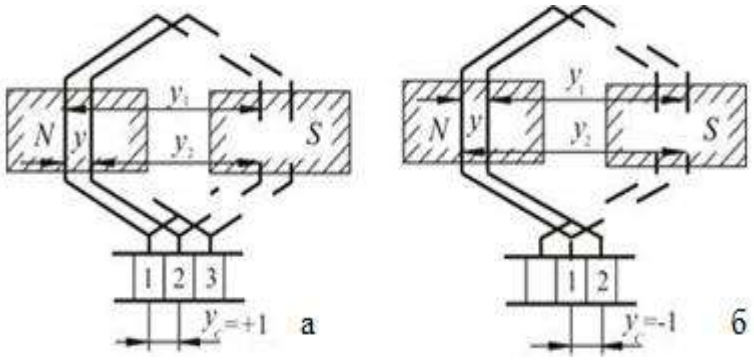
де W–число витков одной секции;

N – количество проводников;

S – количество секций;

K– количество коллекторных пластин.

Первым частичным шагом y_1 называют расстояние между двумя активными сторонами одной и той же секции, выраженное в элементарных пазах (Рис. 3.6) [28].



а- правоходовая петлевая обмотка, б- левоходовая петлевая обмотка

Рисунок 3.6- Обмотки якоря

Вторым частичным шагом y_2 обмотки называют расстояние, выраженное в элементарных пазах, между второй активной стороной первой секции и первой активной стороной второй секции, если секции соединены последовательно.

Полным шагом обмотки y называют расстояние между двумя активными сторонами соседних секций, находящимися под одноименными полюсами и выраженное в элементарных пазах.

Шагом по коллектору y_c называют расстояние между двумя коллекторными пластинами, к которым подключается секция, выраженная в интервалах между коллекторными пластинами.

Полюсным шагом называют число, равное числу элементарных пазов, приходящееся на один полюс машины.

В теории электрических машин используют понятие полюсного деления, численно равного пространственному углу поперечного сечения машины, приходящемуся на один полюс. Этот угол равен $\frac{360}{2p}$, где p - число пар полюсов машины.

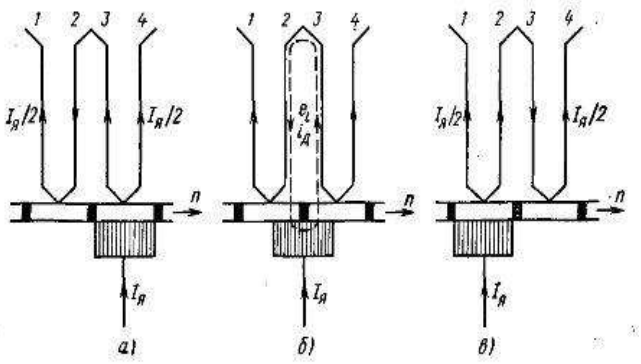
Нумерацию коллекторных пластин следует вести слева направо (Рис. 3.6). Если при укладке секции петлевой обмотки или после первого обхода пазов ротора волновой обмотки отпайка секции производится на пластину, расположенную справа от начальной пластины, то имеет место правоходовая обмотка. Если отпайка производится на пластину, расположенную слева от исходной, то такая обмотка называется левоходовой.

На рис. 3.6, *а* представлена часть правоходовой петлевой обмотки, а на рисунке 3.6, *б* - часть левоходовой петлевой обмотки. При конструировании машин постоянного тока чаще используются правоходовые обмотки.

Надежность электрических машин постоянного тока в большей степени зависит от надежности якоря, который работает в достаточно тяжелых условиях. Обмотка якоря в большей степени подвержена механическим и электрическим перегрузкам.

На рисунке 3.7 показана развертка части обмотки якоря, состоящей из четырех проводников, части коллектора (две коллекторные пластины) и щетки. Проводники 2 и 3 образуют коммутируемый виток, который на рисунке 3.7, а показан в положении, которое он занимает до коммутации, на рисунке 3.7, в - после коммутации, а на рисунке 3.7, б - в период коммутации. Коллектор и обмотка якоря вращаются в указанном стрелкой направлении с частотой вращения n, щетка неподвижна.

Согласно принципу Ленца, ЭДС самоиндукции стремится поддержать в проводнике ток прежнего направления. Следовательно, направление e_L совпадает с направлением тока в витке до коммутации [30,31].



а- коммутируемый виток; б- в период коммутации; в- после коммутации

Рисунок 3.7 - Схема процесса коммутации тока

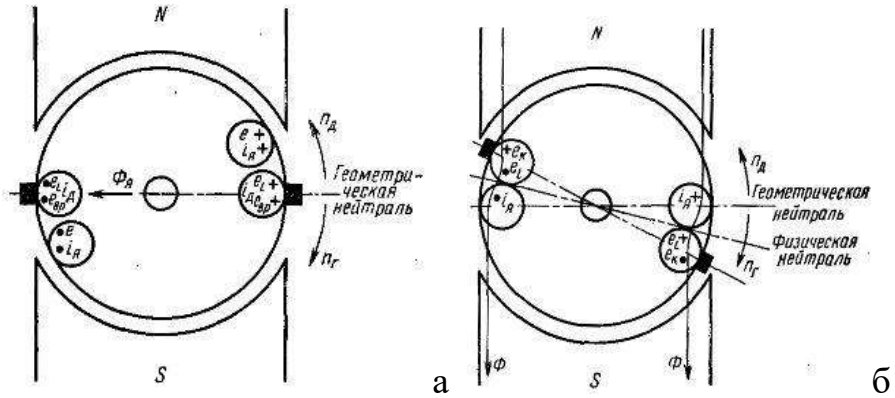
Под действием ЭДС самоиндукции в короткозамкнутом витке 2-3 протекает большой дополнительный ток $i_д$, так как сопротивление контура мало. В месте контакта щетки с левой пластиной ток $i_д$ направлен противоположно току якоря, а в месте контакта щетки с правой пластиной направление этих токов совпадает.

Чем ближе к окончанию периода коммутации, тем *меньше площадь контакта щетки* с правой пластиной и тем больше плотность тока. По окончании периода коммутации контакт щетки с правой пластиной разрывается и образуется *электрическая дуга*. Чем больше ток $i_д$, тем мощнее электрическая дуга.

Уменьшение ЭДС в коммутируемом витке приводит к уменьшению тока $i_д$ и ослаблению электрического разряда между щеткой и коллекторной пластиной.

Улудшить условия коммутации можно установкой *добавочных полюсов*. Добавочный полюс располагают по геометрической нейтрали (Рис.3.8).

Поток добавочных полюсов будет всегда компенсировать поток якоря и, таким образом, ЭДС вращения в коммутируемом витке будет отсутствовать.



а - в коммутируемом витке, б - при сдвиге щеток за физическую нейтраль

Рисунок 3.8 - Направление ЭДС

Добавочные полюсы обычно делают такими, чтобы их поток индуцировал в коммутируемом витке э. д. с, равную сумме $e_L + e_{вр}$. Тогда в момент отрыва щетки от правой коллекторной пластины электрическая дуга не возникает [30].

Под *реакцией якоря* понимают *явление воздействия магнитного поля*, создаваемого током якоря, на магнитное *поле главных полюсов*.

При холостом ходе генератора магнитное поле машины образовано только главными полюсами (Рис. 3.9, а). Оно симметрично относительно оси полюсов и его ось совпадает с осью полюсов. Когда генератор работает с нагрузкой, по обмотке якоря протекает ток, который создает свое магнитное поле (Рис. 3.9, б), называемое полем якоря. Ось магнитного поля якоря совпадает с линией, соединяющей щетки, т.е. с геометрической нейтралью, и перпендикулярна оси главных полюсов.

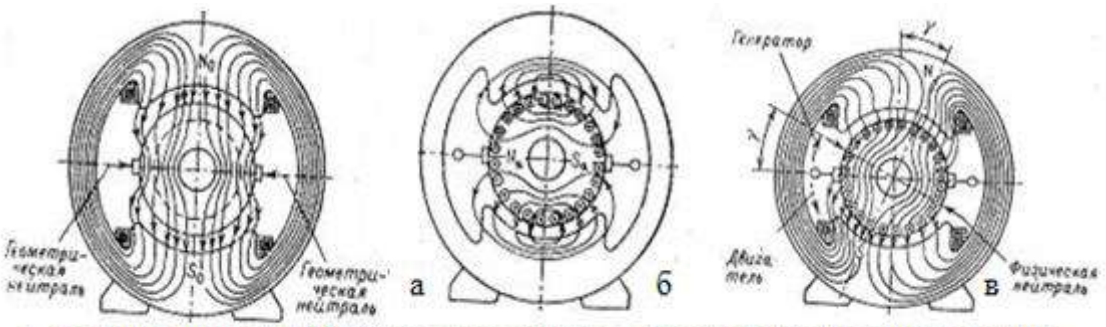
При работе генератора с нагрузкой поле якоря накладывается на поле полюсов. В генераторе создаётся результирующее поле (Рис 3.9, в), повернутое по направлению вращения якоря на некоторый угол *y* относительно поля главных полюсов.

Результаты смещения магнитного поля вызывают нежелательные последствия, приводящие к ухудшению работы генератора [27]:

- уменьшается ЭДС, так как щетки оказываются установленными в точках, между которыми разность потенциалов не максимальная;

-переключение проводников обмотки якоря из одной параллельной ветви в другую происходит не на физической нейтрали, а на геометрической, где расположены щетки и где результирующее поле $B' \neq 0$, что, как будет показано в следующем параграфе, приводит к искрению щеток и обгоранию коллекторных пластин;

-индукция магнитного поля под полюсами распределяется неравномерно; под краем полюса, на который якорь набегает, она уменьшается, а под краем полюса, с которого сбегает, – увеличивается настолько, что может создаться насыщение сбегающего края полюса и зубцов якоря. В результате появится продольная размагничивающая составляющая поля якоря, направленная против поля главных полюсов, что также приведет к уменьшению ЭДС якоря.



а -главные полюсы МПТ; б- поле якоря; в- результирующее поле якоря

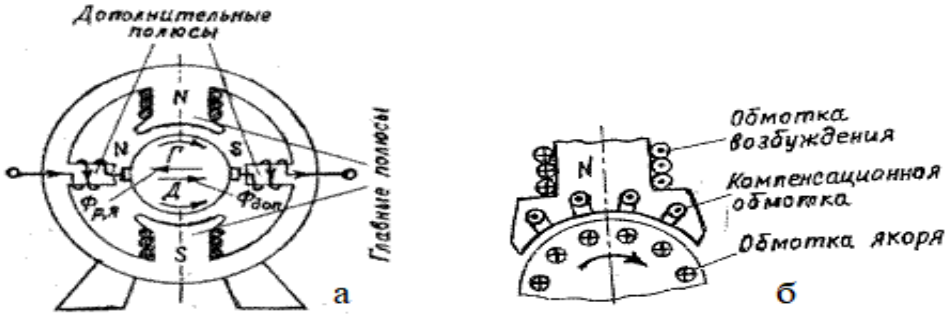
Рисунок 3.9- Обмотка якоря МПТ

Смещение магнитного поля двигателя. У двигателя постоянного тока при том же направлении тока в якоре направление вращения якоря по сравнению с генератором противоположное, а картина распределения полей одинаковая. Результирующее поле и физическая нейтральная линия оказываются повернутыми на угол γпротив направления вращения якоря.

Способы уменьшения влияния реакции якоря. Наиболее действенным и распространенным средством уменьшения влияния реакции якоря на работу машины является применение дополнительных полюсов. Дополнительные полюсы устанавливаются на геометрической нейтральной линии между главными полюсами (Рис. 3.10, а) [32].Для выравнивания индукции под полюсами в быстроходных машинах большой мощности (свыше 80 кВт на один полюс) применяют компенсационную обмотку, которую закладывают в специальные пазы в полюсных наконечниках (Рис. 3.10, б).

Причины, вызывающие искрение на коллекторе, способы снижения искрения в машинах постоянного тока. Интенсивное искрение в щеточно-коллекторном контакте вызывает подгорание пластин коллектора и щеток, и создаёт пожароопасную обстановку [31,32].

Причины, вызывающие искрение на коллекторе, разделяют на механические, потенциальные и коммутационные.



а- дополнительные полюсы на геометрической нейтральной линии между главными полюсами; б- компенсационная обмотка в специальных пазах полюсных наконечников

Рисунок 3.10 – Схема, показывающая уменьшение влияния реакции якоря

Механические причины искрения:

-слабое прижатие щеток к коллектору;

-биение коллектора, его эллиптичность или негладкая поверхность;

-загрязнение поверхности коллектора;

-выступание миканитовой изоляции над медными пластинами;

-неплотное закрепление траверсы, пальцев или щеткодержателей.

Потенциальные причины искрения возникают, если напряжение между смежными коллекторными пластинами превышает допустимое значение (не более 16 В для машин без компенсационной обмотки и 20 В для машин с компенсационной обмоткой). В этом случае искрение наиболее опасно, так как оно обычно сопровождается появлением на коллекторе электрических дуг.

Коммутационные причины искрения возникают при физических процессах, происходящих в машине в связи с переходом секций обмотки якоря из одной параллельной ветви в другую. Согласно ГОСТу, искрение на коллекторе оценивается степенью искрения (классом коммутации) под сбегающим краем щетки.

Лабораторная работа №3.1

Тема: **Исследование универсального коллекторного двигателя**

Цель работы: изучить устройство, принцип действия, рабочие характеристики универсального коллекторного двигателя на постоянном и переменном токе, способы регулирования скорости вращения.

Оборудование и материалы: лабораторный стенд с универсальным коллекторным двигателем, соединительные провода.

Краткие теоретические сведения

В устройствах автоматики, приборах точной механики, различных бытовых приборах, электрифицированном ручном инструменте и т.п. широко применяют универсальные коллекторные двигатели (УКД) мощностью от нескольких ватт до сотен ватт, которые могут работать как от источников питания постоянного тока, так и однофазного переменного тока с примерно одинаковыми характеристиками (Рис.3.11) [29].

Необходимость применения УКД встречается в тех случаях, когда неизвестно заранее от какого источника будет осуществляться питание, или когда по условиям эксплуатации необходимо переходить от питания постоянным током к питанию током переменным. УКД дают возможность плавного регулирования скорости в широком диапазоне при питании их от источников как постоянного, так и переменного тока промышленной частоты.

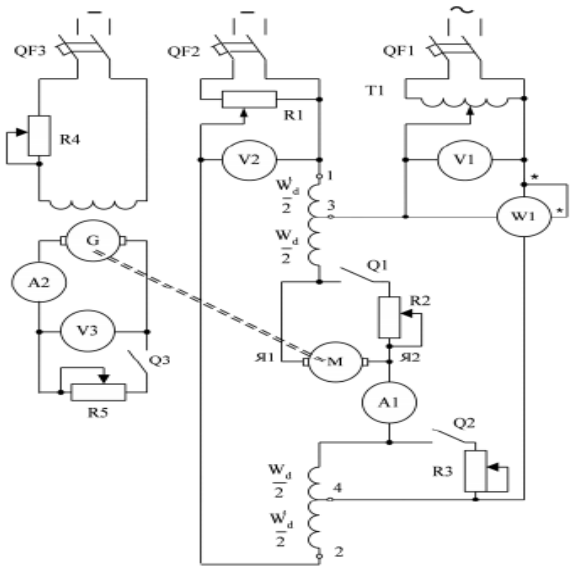


Рисунок 3.11 –Электрическая схема универсального коллекторного двигателя

Рабочие характеристики УКД представляют собой зависимости потребляемой мощности РД, полезной мощности (на валу) P_2, частоты вращения n, тока $I_Д$, коэффициент полезного действия (КПД) η и коэффициента мощности cosφ двигателя от момента на валу М при постоянном напряжении на двигателе: $P_Д$, P_2, n, $I_Д$, η, cosφ = f(M), при U = const. Для снятия рабочих характеристик УКД необходимо установить лабораторный автотрансформатор T_1 в положение, соответствующее наименьшему выходному напряжению (вольтметр V_1). При разомкнутых ключах Q_1, Q_2 и Q_3 включается автомат QF_1. После этого плавно увеличивается подводимое к двигателю напряжение до такой величины (не более 0,5UH), при которой скорость вращения будет близка к номинальной. Возбуждается генератор G (включается QF_3) и, регулируя ток возбуждения реостатом R_4, устанавливается номинальное напряжение генератора, которое поддерживается постоянным во время проведения опыта. При наибольшем значении нагрузочного реостата R_5 замыкается Q_3 и уменьшением R_5 двигатель загружается до номинальной нагрузки, когда $I_Д$=$I_Н$, $U_Д$=$U_Н$ и n=$n_Н$.

После этого нагрузка двигателя уменьшается с примерно одинаковыми интервалами изменения тока якоря генератора до тех пор, пока скорость вращения двигателя не достигнет 1,5$n_Н$. Потребляемая мощность при питании переменным током измеряется ваттметром W_1. Частота вращения определяется строботахометром или тахогенератором.

Необходимые расчетные величины:

$$P_Г = U_3 \cdot I_2, \quad (3.2)$$

где $P_Г$ - мощность на входе генератора (полезная мощность на валу двигателя), Вт;

$$P_2 = \frac{P_г}{\eta_г} \quad (3.3)$$

$\eta_г$ -КПД генератора при вычислениях принимается равным 0,8;

- угловая частота $\Omega = \pi n/30$, рад/с;
- момент на валу двигателя $M = P_2/\Omega$, Нм;
- КПД двигателя $\eta = \frac{P_2}{P_1}$;
- коэффициент мощности $\cos\varphi = \frac{P_1}{U_1 \cdot I_1}$.

Опытные данные для построения рабочих характеристик УКД при питании постоянным током получаются при включении автомата QF_2. Напряжение на двигателе поддерживается неизменным потенциометром R_1.

Ток I_1 измеряется амперметром A_1. Потребляемая мощность при питании постоянным током рассчитывается по формуле:

$$P_1 = U_2 \cdot I_1 \quad (3.4)$$

Регулировочные характеристики УКД представляют зависимости угловой частоты Ω от подведенного напряжения U при постоянном моменте M, т. е. $\Omega = f(U)$ при M = const. При питании переменным током подводимое напряжение изменяется автотрансформатором $Тр_1$, при питании постоянным током – реостатом, включенным по схеме потенциометра.

Напряжение, подводимое к двигателю, плавно увеличивается до такой величины, при котором частота вращения достигает номинального значения. Включается QF_3 и генератор возбуждается.

Реостат R_4 выводится до нуля. При максимальном сопротивлении нагрузки R_5 включается Q_3, устанавливается заданный преподавателем ток якоря генератора I_2. Одновременно увеличивают подводимое к двигателю напряжение до номинального значения.

Установив для двигателя $U_Н$, при заданном I_2 получают первую точку характеристики. Постоянство момента сопротивления на валу двигателя во время опыта поддерживают регулированием тока генератора I_2.

Механические характеристики

Механические характеристики представляют зависимости $\Omega = f(M)$ при постоянном напряжении. Момент изменяется от номинального до такого значения, при котором угловая частота вращения достигает (1,3…1,5) $\Omega_Н$. На переменном токе механические характеристики снимаются при шунтировании обмотки якоря (замыкается ключ Q_1) и обмотки возбуждения (замыкается ключ Q_2).

Порядок выполнения работы

1. Ознакомьтесь с конструкцией универсального коллекторного двигателя и его паспортными данными (Рисунок 3.11). Используемый агрегат состоит из универсального коллекторного двигателя М и нагрузочной машины постоянного тока независимого возбуждения G.

Необходимо записать тип машин, номинальное значение мощности, напряжения, тока, КПД, частоты вращения. Измерительные приборы, регулировочные и нагрузочные реостаты выбирают в соответствии с номинальными данными испытуемого УКД и нагрузочного генератора с учетом регулирования напряжения и тока во время опытов от нуля до номинального значения. При проведении испытаний на постоянном токе напряжение подводят к зажимам 1 и 2, при переменном - к зажимам 3 и 4. Рекомендуется вначале провести опыты на переменном токе, а затем на постоянном. Для изменения направления вращения двигателя следует изменить направление тока в якоре (проводники на клеммах $Я_1$ - $Я_2$ поменять местами).

2. Снимите и постройте рабочие характеристики двигателя на постоянном токе. Опыты для снятия *регулировочных характеристик* УКД при питании постоянным током и при питании переменным током проводится одинаково.

3. Снимите и постройте рабочие характеристики двигателя на переменном токе.

4. Снимите и постройте регулировочные характеристики двигателя на переменном и на постоянном токе.

5. Снимите и постройте механические характеристики двигателя на переменном токе: а) при нормальной схеме; б) при шунтировании обмотки якоря; в) при шунтировании обмотки возбуждения.

6. Дайте оценку результатам испытаний. Результаты измерений занесите в таблицы 3.2 и 3.3.

Таблица 3.2- Рабочие характеристики УКД на переменном токе

№	Измеренные величины						Расчетные величины					
	U_1	I_1	P_1	n	U_3	I_3	P_1	P_2	Ω	M	η	cos φ
	В	А	Вт	об/мин	В	А	Вт	Вт	рад/с	Нм		

Таблица 3.3- Рабочие характеристики УКД на постоянном токе

№	Расчетные величины					Расчетные величины				
	U_1	I_1	n	U_3	I_2	P_1	P_1	Ω	M	η
	В	А	об/мин	В	А	Вт	Вт	рад/с	Нм	

8. На основании расчетных данных таблиц 3.4 и 3.5 на совмещенном графике строятся рабочие характеристики УКД: при питании постоянным током – сплошными линиями; при питании переменным током – пунктирными линиями.

Таблица 3.4-Регулировочные характеристики УКД

№	Переменный ток			Постоянный ток			const
	U_1	n	I_2	U_1	n	Ω	I_2
	В	об/мин	А	В	об/мин	рад/с	А

Таблица 3.5-Механические характеристики УКД

№	Измеренные величины					Расчетные величины		
	U_1	I_1	U_3	I_2	n	Ω	P_1	M
	В	А	В	А	об/мин	рад/с	Вт	Нм
	Шунтирование обмотки возбуждения							
1								
…								
5								
	Шунтирование обмотки якоря							
1								
…								
5								

Контрольные вопросы

1.Поясните назначение всех элементов, входящих в схему экспериментального исследования УКД.

2.Почему при включении УКД в сеть переменного тока уменьшают число витков в обмотке возбуждения?

3.С какой целью магнитную систему УКД делают шихтованной?

4.Перечислите способы регулирования частоты вращения УКД.

Практическая работа № 3.1

Тема: **Расчет и построение схемы соединения простой петлевой обмотки машины постоянного тока**

Цель работы: получить практические навыки расчета и укладки якорной простой петлевой обмотки машин постоянного тока.

Краткие теоретические сведения

Обмоткой якоря машины постоянного тока называется система изолированных проводников определенным образом уложенных на поверхности якоря и определенным образом (электрически) соединенных между собой и коллектором.

Обмотки возбуждения, расположенные на полюсах, предназначены для создания магнитного поля.

Обмотки якорей располагаются на поверхности якорей и служат для создания ЭДС (генератор) и электромагнитного момента (двигатель). В современных машинах постоянного тока якорная обмотка укладывается в пазах на внешней поверхности якоря. Такие обмотки называются *барабанными*.

Если в пазе барабанного якоря лежит одна сторона секции, то такая обмотка называется *однослойной*, если в пазе лежат две стороны двух разных секций, то такая обмотка называется *двухслойной*.

ЭДС Е, индуктированные во всех параллельных ветвях петлевой обмотки, теоретически должны быть равны [29].

Элементы обмотки:

Проводник - провод, расположенный в магнитном поле машины.

Виток - два последовательно соединенных проводника.

Секция - часть обмотки якоря, состоящая из одного или нескольких последовательно соединенных витков и присоединенная к двум коллекторным пластинам, следующим друг за другом по схеме обмотки.

Секция должна быть размещена на поверхности якоря так, чтобы наводимая в ней ЭДС (в генераторе) была максимальна. Очевидно, что при 2-х полюсной машине сторона 1-й и 2-й секций должны располагаться на расстоянии, равном или близком к нему.

Свойства и параметры простой петлевой обмотки.

Характерной особенностью простой петлевой обмотки является то, что число параллельных ветвей этой обмотки равно числу полюсов: 2a =2p. Из этого свойства следует: чем больше число полюсов, тем больше параллельных ветвей имеет обмотка.

Следовательно, тем больше щеточных пальцев должно быть в машине. По этой причине простую петлевую обмотку часто называют параллельной (Рис.3.12).

Основными параметрами простой петлевой обмотки являются:

1.Y_1 - первый частичный шаг - это число элементарных пазов, охватываемых секцией [24,29]:

$$Y_1 = \frac{z_{эл}}{2p} + \varepsilon \qquad (3.5)$$

где $z_{эл}$ -число элементарных пазов якоря;

p - число пар полюсов;

ε - число, которое нужно прибавить или отнять, чтобы получить целое значение первого частичного шага.

2.Y_2 - второй частичный шаг - это число элементарных пазов между концом одной секции и началом следующей за ней по схеме обмотки:

$$Y_2 = Y - Y_1 \qquad (3.6)$$

3.Y_K - шаг по коллектору - это расстояние между делениями коллектора, к которым присоединена секция, измеренное числом коллекторных пластин.

4.Y - результирующий шаг - это расстояние между соответствующими сторонами (т. е. сторонами, лежащими в верхнем или нижнем слое) двух

секций, следующих друг за другом по схеме обмоток: $Y = Y_K$, Y, Y_1, Y_2 - измеряются в элементарных пазах.

Требования к обмоткам

Обмотки должны удовлетворять следующим требованиям:

- обмотка должна быть рассчитана на заданные величины напряжения и тока нагрузки;
- обмотка должна иметь необходимую электрическую, механическую и термическую прочность, обеспечивающую продолжительный срок службы машины;
- конструкция обмотки должна обеспечивать удовлетворительные условия токосъема с коллектора без искрения;
- расход материала при заданных эксплуатационных показателях должен быть минимальным;
- технология изготовления обмотки должна быть по возможности простой.

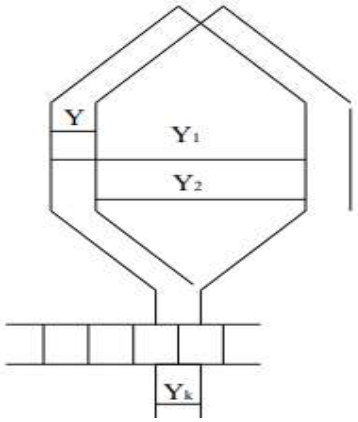


Рисунок 3.12-Параметры простой петлевой обмотки: Y_1 - первый частичный шаг; Y_2 - второй частичный шаг; Y - результирующий шаг; Y_K - шаг по коллектору

5. α - угол сдвига между ЭДС проводников соседних пазов:

$$\alpha = \frac{360p}{z} \tag{3.7}$$

где p - число пар полюсов;

z - число пазов якоря.

Область применения простых петлевых обмоток

Двухполюсные машины небольшой мощности выполняют с простой петлевой обмоткой, так как при двух полюсах волновая обмотка превращается в петлевую. По мере увеличения мощности обычно переходят к более компактным четырех полюсным машинам, имеющим меньшую массу, чем двухполюсные машины. Четырех полюсные машины небольшой и средней мощности часто имеют волновую обмотку, не требующую применения уравнительных соединений. При повышенном напряжении на щетках (до 1000В и более) такую обмотку применяют в четырех полюсных машинах мощностью до 200–300 кВт.

При простой петлевой обмотке ток:

$$i = \frac{I}{2a} = \frac{I}{2p} \quad (3.8)$$

где a - число параллельных ветвей,

р –число пар полюсов.

Поэтому с ростом мощности и тока машины для сохранения тока ветви в допустимых пределах увеличивают число полюсов.

Порядок выполнения работы

1.Для выполнения работы необходимо - выбрать по таблице 3.6 вариант практической работы.

Таблица 3.6- Варианты заданий

№ варианта	1	2	3	4
z = s = k	23	23	23	12
2p	2	4	6	4

- изучите назначение и устройство простой петлевой обмотки якоря машины постоянного тока;

- изучите расчет параметров и способы построения схем-разверток обмоток;

-изучите виды и классификацию электрических материалов для приготовления обмоток;

- изучите методику укладки обмотки якоря машины постоянного тока;

- рассчитайте параметры и построить схему-развертку простой петлевой обмотки по исходным данным;

- выполните укладку простой петлевой обмотки на якорь.

2.Рассчитайте параметры простой петлевой и простой волновой обмоток по заданным вариантам.

Пример.Обмотка якоря постоянного тока содержит элементарных пазов $Z_{эл}$ при числе полюсов 2р. По данным, приведенным в таблице, рассчитайте параметры и начертить развернутую схему простой волновой (ПВ) либо простой петлевой (ПП) обмотки якоря. На схеме обозначьте полюсы, расставить щетки и, задавшись направлением вращения якоря, определите полярность щеток в генераторном режиме работы машины. Рассчитайте параметры и выполните простую волновую обмотку с параметрами: 2р=4; Z=17.

Решение

1.Шаг обмотки по коллектору (обмотка левоходная):

$$y_к = y = \frac{К-1}{р} = \frac{17-1}{2} = 8 \text{ делений}$$

2.Первый шаг обмотки по пазам [25,31]:

$$y_1=\frac{z_э}{2p}+\varepsilon=\frac{17}{4}-0{,}25=4\text{паза}.$$

3.По полученным данным построить схемы-развертки обмоток.

4.Выполнить укладку простой петлевой обмотки в пазы якоря, установленного на стенде.

5.Показажите уложенную обмотку преподавателю.

6.Разобитеь обмотку и сдайте рабочее место лаборанту.

7. Развернутая схема обмотки (Рис. 3.13) На листе размечаются 17 пазов, в каждом из которых изображаем активную сторону верхнего слоя (сплошная линия) и активную сторону нижнего слоя (пунктирная линия) и 17 коллекторных делений.

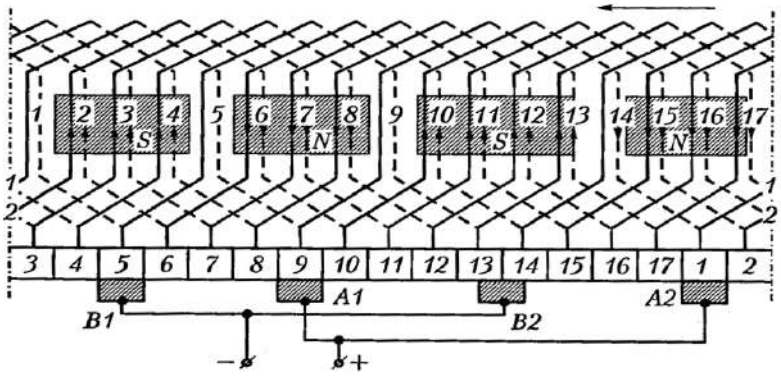


Рисунок 3.13- Развернутая схема простой волновой обмотки якоря: 2p=4; Z=17

8. Первый обход по якорю и коллектору начинаем с коллекторного деления 1 и укладываем секции 1 и 9, активные стороны которых располагаются в пазах 1,5,9 и 13. Конец секции 9 присоединяем к коллекторному делению 17, расположенному рядом (слева) с делением 1.

Делается второй обход и укладываем секции 17 и 8, которую присоединяем к коллекторному делению 16, т.е. смещаемся еще на одно коллекторное деление влево.

Делается третий обход и т.д., пока обмотка не замкнется, при этом последнюю по обходу секцию 10 присоединяем к секции 1 и коллекторному делению 1.

Далее размечаются четыре полюса с чередующейся полярностью и располагаем на коллекторе щетки, размещая их по геометрической нейтрали.

Задавшись направлением вращения якоря, определяется направление ЭДС в секциях обмотки, считая, что полюсы «расположены» над обмоткой.

Контрольные вопросы

1. Опишите особенности и основные свойства простой петлевой обмотки.
2.Объясните назначение и устройство уравнительных соединений обмотки.
3.Опишите параметры простой петлевой обмотки и их расчетные формулы.
4.Опишите требования, предъявляемые к обмоткам.
5.Опишите область применения простой петлевой обмотки.

3.2 Бесколлектроные электрические машины

Назначение, классификация, конструкция, принцип действия и применение бесколлекторных синхронных и асинхронных машин.

Машины переменного тока по количеству фаз делятся на многофазные и однофазные. Каждая *машина переменного* тока, так же как машина постоянного тока, *состоит из статора и ротора*. По способу образования магнитного поля статора и ротора машины *переменного тока* делятся на две группы: асинхронные и синхронные [27].

Асинхронной машиной называется машина переменно\го тока, у которой скорость вращения ротора зависит от нагрузки.

Магнитное поле в асинхронной машине создается переменным током обмоток статора и ротора.

Асинхронные машины делятся на бесколлекторные и коллекторные. *Бесколлекторные машины* - это машины переменного тока - асинхронные и синхронные.

Бесколлекторные асинхронные машины являются наиболее распространенными электрическими машинами в народном хозяйстве и применяются главным образом в качестве двигателей.

Коллекторные асинхронные машины имеют большее разнообразие характеристик по сравнению с бесколлекторными, используются также в качестве двигателей, но имеют ограниченное применение.

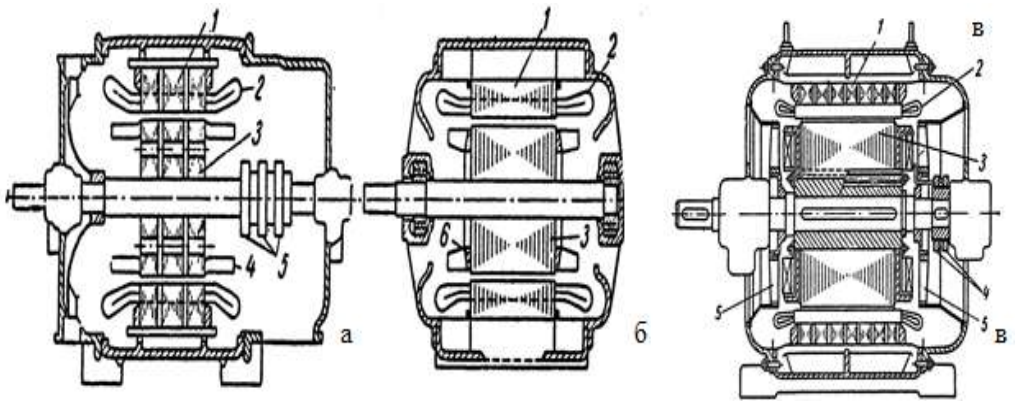
Основным типом асинхронной бесколлекторной машины является трехфазный двигатель в двух главных исполнениях: двигатель с фазной обмоткой ротора (Рис. 3.14, а) и двигатель с короткозамкнутой обмоткой ротора (Рис. 3.14,6).

*Синхронной машиной (*Рис.3.14, в*)* называется такая машина переменного тока, скорость вращения ротора которой равна скорости вращения первой гармоники поля статора и определяется частотой переменного тока в обмотке статора и количеством пар полюсов машины $n=60 \cdot f / p$.

Здесь 1 - сердечник статора, 2 - трехфазная обмотка статора, 3 - полюсы ротора с обмоткой постоянного тока, 4 - кольца для соединения обмотки ротора с источником постоянного тока, 5 - вентиляторы.

По устройству ротора различают два типа синхронной машины: машина с явнополюсным ротором, в которой катушки обмотки постоянного тока размещены на выступающих полюсах (Рис.3.15, а) и машина с неявнополюсным ротором, в котором распределенная обмотка постоянного тока уложена в пазы ротора (Рис. 3.15,6).

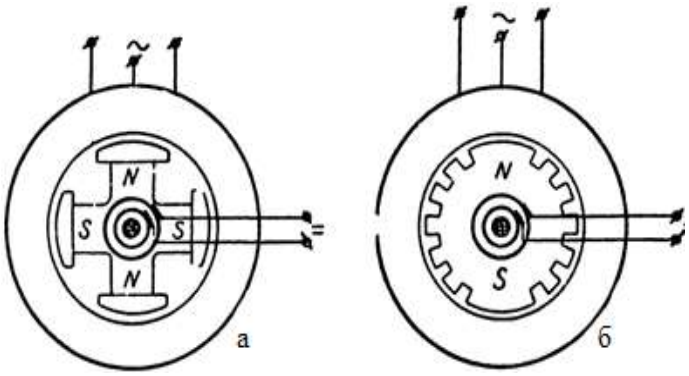
Явнополюсная синхронная машина изготовляется для скорости вращения до 1500 об/мин и используется в качестве генератора или двигателя.



а- асинхронный двигатель с фазной обмоткой ротора, б- асинхронный двигатель с короткозамкнутой обмоткой ротора; в –синхронный генератор

Рисунок 3. 14 - Конструктивная схема трехфазных электродвигателей переменного тока

Наиболее крупные синхронные машины устанавливаются на гидроэлектростанциях и приводятся во вращение водяными турбинами со скоростью до 300 об/мин. Неявнополюсная синхронная машина используется в основном как генератор на тепловых электростанциях и приводится во вращение паровой турбиной со скоростью обычно 3000 об/мин (при частоте 50 Гц) [28].



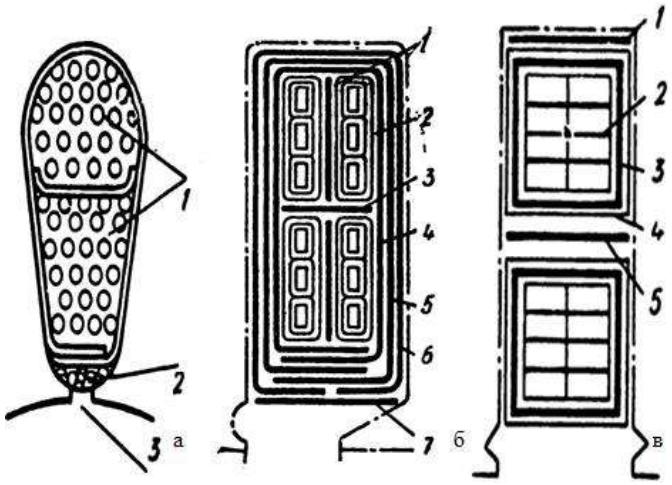
а - с явнополюсным ротором, б- с неявнополюсным ротором

Рис. 3.15 Основные типы синхронных машин

Частично закрытые пазы (Рис. 3.16) применяются для машин мощностью до 400 Вт и напряжением до 500 В, где1 - прокладка из электрокартона пропитанного, толщиной 0,2 мм,2 - лента миткалевая впритык, толщиной 0,15 мм, 3 - прокладка из электрокартона, толщиной 0,5 мм, 4- электрокартон пропитанный, толщиной 0,20 мм в 1 слой, 5 - лакоткань черная толщиной 0,3 мм в 1 слой, 6 - электрокартон пропитанный, толщиной 0,10 мм, впритык, 7 - прокладка из электрокартона толщиной 0,2 мм; в) открытый паз и изоляция обмотки, где 1 - прокладка из электрокартона (толщиной 0,5 мм), 2 - прокладка из миканита (толщиной 0,2 мм), 3 - микафолий (9 слоев толщиной 0,25 мм), 4 - электрокартон (1 слой толщиной

0.15 мм), 5 - прокладка из электрокартона толщиной 1,7 мм. В этом случае каждая катушка состоит из двух полукатушек, намотанных прямоугольным проводом.

В машинах большой мощности и при напряжении выше 500 В катушки изготовляются из прямоугольного провода и изолируются до укладки в прямоугольные пазы.



а-частично открытый паз; б-частично закрытый паз и изоляция обмотки

Рисунок 3.16 – Пазы синхронного электродвигателя

Практическая работа № 3.2

Тема: **Исследование способов пуска трехфазного асинхронного двигателя**

Цель: опытное изучение способов пуска трехфазного асинхронного двигателя

Краткие теоретические сведения

Давая сравнительную оценку пусковым свойствам асинхронного двигателя при различных методах пуска следует иметь в виду основные пусковые параметры двигателя - начальные пусковой ток и пусковой момент, полученные в результате экспериментов. При сравнении удобно воспользоваться отношениями $I_{п.\ ср}$, $/I_{1\ ном}$, $M_п/M_{ном}$, где $I_{п.ср}$ и $M_п$ - начальные значения пускового тока и пускового момента при пуске двигателя непосредственным включением в сеть.

Применяемый в лабораторной работе двигатель должен нормально работать при соединении обмотки статора в треугольник.

Порядок выполнения работы

Пуск двигателя непосредственным включением в сеть. Этот метод пуска отличается простотой, однако, в момент подключения двигателя к сети в цепи статора значительный пусковой ток, в пять-семь раз превышающий номинальный ток двигателя [29].

После сборки схемы (Рис. 3.17, а) и проверки ее преподавателем следует поставить переключатель 2 в положение «треугольник» и включить рубильник P_1.

В момент включения стрелка амперметра отклонится, показывая начальную величину пускового тока $I_п$; это показание заносится в таблицу 3.7.

Таблица 3.7 - Результаты измерений и вычислений

№	$I_п$,А	$I_{п.\,ср}$, А	U_1, В	$I_{п.\,ср}$, /$I_{1\,ном}$	$M_п$, Нм	$M_п/M_{ном}$
1						
2						
3						

Пуск двигателя повторяют три раза, а затем определяют среднее значение начального пускового тока (А)

$$I_{п\,ср} = \frac{I_{п1}+I_{п2}+I_{п3}}{3} \qquad (3.9)$$

Перед каждым пуском двигателя необходимо убедиться в полной остановке ротора. Далее следует определить кратность пускового тока $I_{п.ср}/I_{1ном}$, где $I_{1ном}$ - номинальный ток двигателя, А.

Пуск двигателя переключением обмотки статора со звезды на треугольник. Схема соединений остается прежней (Рис.3.17, а).

Пуск производят в следующем порядке:

-поставив переключатель 2 в нейтральное положение, замыкают рубильник P_1; затем переключатель переводят в положение «звезда» и фиксируют величины начального пускового тока $I'_п$ и пускового напряжения $U'_п$;

-после разгона ротора переключатель быстро переводят в положение «треугольник». При этом обращают внимание на то, что «бросок» тока при переключении обмотки статора со звезды на треугольник намного меньше начального пускового тока.

Пуск включением обмотки на звезду следует повторить три раза и определить среднее значение начального пускового тока и его кратность $I_{п.ср}/I_{1ном}$. Результаты измерений и вычислений занести в таблицу 3.8.

Реакторный пуск двигателя. При реакторном пуске двигателя (Рис.3.17, б) напряжение понижается за счет падения напряжения на индуктивном сопротивлении реакторов $x_Р$. При этом напряжение на выводах обмотки статора (В)[26,29]:

$$U'_п = U_1 - jI_п \cdot x_р \qquad (3.10)$$

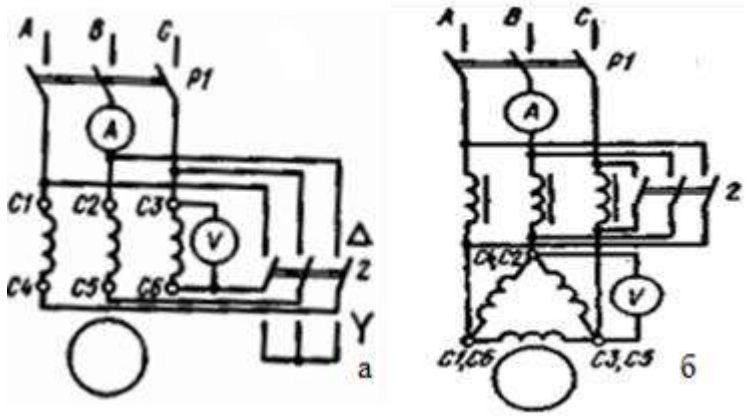
Таблица 3.8 - Результаты измерений и вычислений

Метод пуска	Измеренные величины		Расчетные величины						
	$I_п$, А	U	$I_{п.\,ср}$, А	$I_{п.\,ср}/I_{ном}$	$U_п/U_{1ном}$	$M_п$, Нм	$M_п/M_{2ном}$	$I_{п.\,ср}/I_п$	$M_п/M_п$
Переключение обмотки статора со Y на Δ									
Реакторный									

Пуск двигателя выполняется следующим образом: при разомкнутом рубильнике 2 включают рубильник Р1 и на двигатель подается пониженное напряжение $U'_п$, при этом фиксируют показания амперметра и вольтметра; после разгона ротора включают рубильник 2 и двигатель оказывается под полным напряжением сети.

Пуск при разомкнутом рубильнике 2 повторяют три раза, каждый раз при неподвижном роторе. Значения начального пускового тока $I'_п$ и пускового (пониженного) напряжения на фазной обмотке статора $U'_п$ заносят в таблицу, а затем определяют среднее значение пускового тока $I_{п.ср}$ и его кратность $I'_{п.ср}/ I_{1ном}$.

Зависимость пускового момента от напряжения. Собирают схему по рисунку 3.17 и после проверки ее преподавателем устанавливают на выходе $Р_{НТ}$ минимальное напряжение, вставляют в специальное отверстие диска электромагнитного тормоза (моментомера) ЭМТ шпильку, зацепляющую диск с полюсом электромагнита.



а - пуск переключения обмотки статора со звезды на треугольник;
б - реакторный пуск

Рисунок 3.17- Схема включения трехфазного асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором

После этого включают рубильник $Р_1$ и плавно повышают напряжение на обмотке статора $U_{1к}$ до значения, при котором ток в обмотке статора достигнет значения $I_{1к} = (2,5 \div 3,0)\ I_{1ном}$.

При этом через приблизительно одинаковые интервалы пускового момента Мп. Снимают не менее пяти показаний вольтметра и моментомера ЭМТ и заносят их в таблицу 3.9.

Таблица 3.9 – Результаты вычислений

№	1	2	3	4	5	6
U_1,В						
$M_п$, Нм						

Измерения при токе $I_1 > I_{1ном}$ следует проводить по возможности быстрее, не допуская чрезмерного перегрева двигателя. По полученным данным на координатную сетку наносят точки и по лекалу через эти точки проводят плавную кривую, продолжив ее за пределы экспериментально полученных точек, т. е. экстраполируют график на участке АВ (Рис. 3.18) до номинального (фазного) напряжения $U_{1ном}$. Из теории известно, что пусковой момент асинхронного двигателя пропорционален квадрату фазного напряжения $M_п \equiv U_{21}$.

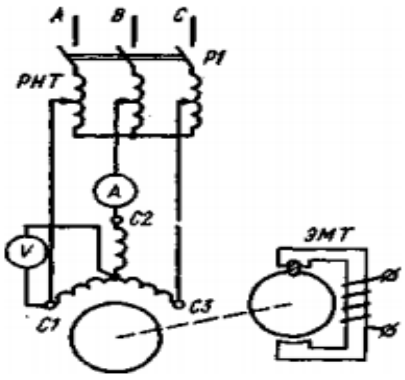


Рисунок 3.18 - Схема включения трехфазного асинхронного двигателя для опытного получения данных зависимости пускового момента Мп, от напряжения сети U1

Используя это положение, вычисляют величину пускового момента $M_{п.ном}$, соответствующую номинальному напряжению на обмотке статора[29]:

$$M_{п.ном} = M_{пА} \left(\frac{U_{1ном}}{U_{1A}}\right)^2 \qquad (3.11)$$

где U_{1A} - напряжение, соответствующее пусковому моменту $M_{пА}$, т. е. наибольшему значению момента, полученному экспериментально.

Рассчитанное по значение момента должно быть равно или мало отличаться от значения момента $M_{пВ}$ т.е. момента, полученного экстраполяцией графика $M_п = f(U1)$ (Рис.3.19), что будет свидетельствовать о правильно выполненной экстраполяции. Этот график используют для определения пусковых моментов при различных методах пуска двигателя: при пуске двигателя непосредственным включением в сеть - момент $M_п$, соответствующий номинальному фазному напряжению на обмотке статора $U1_{ном}$; при методах пуска двигателя при пониженном напряжении сети $U'_п$ (переключением обмотки статора со звезды на треугольник и с включением реакторов в цепь статора) - момент $M'_п$.

Затем для каждого метода пуска определяют кратность пускового момента $M_п/ M_{2ном}$:

$$M_{2ном}= 9{,}55 \frac{P_{2ном}}{n_{2ном}} \quad (3.12)$$

где $M_{2\,ном}$ -номинальное значение момента на валу двигателя, Н·м;
$P_{2\,ном}$ - номинальная мощность двигателя, Вт;
$n_{2ном}$ - номинальная частота вращения, об/мин.

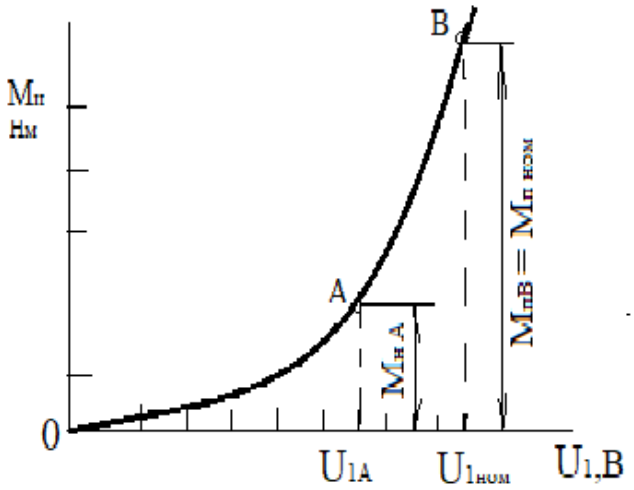


Рисунок 3.19 - График зависимости момента асинхронного двигателя от напряжения сети

Полученные значения величин пускового момента и его кратности для метода пуска двигателя непосредственным включением в сеть заносят в таблицу, а для методов пуска при пониженном напряжении в таблицу.

Контрольные вопросы

1.На чем основаны методы уменьшения пускового тока асинхронных двигателей с короткозамкнутым ротором? Перечислите эти методы.

2.Каков общий недостаток методов пуска асинхронных двигателей при пониженном напряжении?

2.На сколько уменьшается пусковой ток асинхронного двигателя при его пуске методом переключения обмотки статора со звезды на треугольник? Как при этом изменяется пусковой момент?

Лабораторная работа № 3.2

Тема: **Исследование конструкции синхронных двигателей**

Цель: изучить практически конструкцию синхронных двигателей и приобрести практические навыки проверки основных технических данных

Оборудование и материалы: синхронный электродвигатель, фильм по устройству синхронного электродвигателя, цифровой мультиметр, щупы, штангенциркуль.

Краткие теоретические сведения

Синхронная машина - машина переменного тока, у которой скорость ротора при постоянной частоте тока в обмотках статора сохраняется постоянной и не зависит от величины нагрузки на валу машины.

Устройство синхронной машины Трехфазная синхронная машина состоит из неподвижного статора и вращающегося внутри него неявно- или явнополюсного ротора, между ними имеется воздушный зазор, радиальный размер которого определяется номинальной мощностью машины, ее быстроходностью и изменяется от долей до нескольких десятков миллиметров [27,29].

Статор такой машины по устройству практически не отличается от статора асинхронной машины, имеет трехфазную обмотку, начала фаз которой обозначают C_1, C_2, C_3 и концы - C_4, C_5, C_6 и выводят к зажимам с аналогичными обозначениями, что позволяет соединять фазы обмотки статора треугольником или звездой.

Фазы обмотки статора трехфазного синхронного генератора соединяют преимущественно звездой, так как это позволяет при трехфазной четырех проводной сети располагать линейными и фазными напряжениями, отличающимися друг от друга в √3 раз (Рис. 3.20).

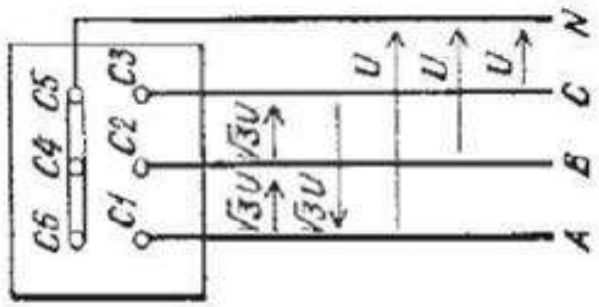


Рисунок 3.20 - Схема присоединения трехфазной четырехфазной сети к зажимам обмотки статора трехфазного синхронного генератора при соединении фаз звездой

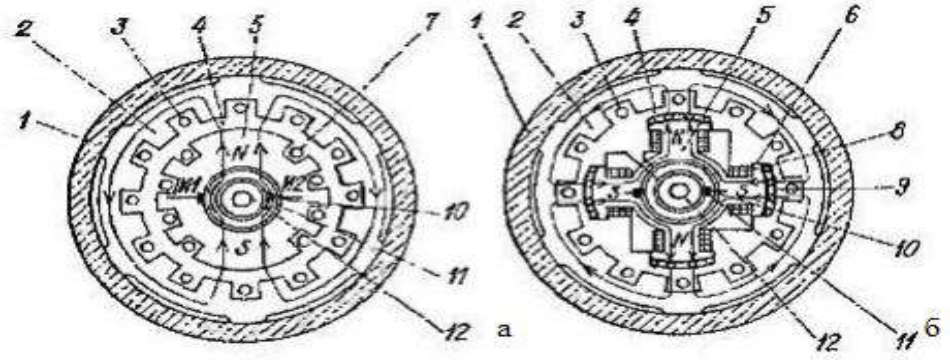
Магнитные силовые линии замыкаются между соответствующими северными и южными полюсами ротора через воздушный зазор и магнитопровод статора (Рис. 3.21, а, б).

Обмотка ротора, или обмотка возбуждения, получает питание от выпрямителя или небольшого генератора постоянного тока - возбудителя, мощность которого составляет 0,5 - 10% номинальной мощности синхронной машины.

К кольцам прижаты неподвижные щетки, от которых выведены провода к зажимам с маркировкой $И_1$ и $И_2$ для присоединения к источнику электрической энергии постоянного тока. Большие зубья цилиндра ротора, в которых нет пазов, образуют полюсы ротора.

Неявнополюсный ротор обычно имеет два или четыре полюса с чередующейся полярностью, его используют в быстроходных синхронных машинах, в частности в турбогенераторах - трехфазных синхронных

генераторах [31,32]. Явнополюсный ротор синхронной машины с числом полюсов от четырех и более имеет массивное или шихтованное из стальных листов ярмо, на котором крепятся аналогичной конструкции стальные полюсы, имеющие прямоугольное сечение, заканчивающиеся наконечниками (Рис. 3.21, б).



а - неявнополюсный, б - явнополюсный

Рис. 3.21 - Устройство трехфазной синхронной машины с ротором: 1 - станина, 2 - магнитопровод статора, 3 - проводники статора, 4 - воздушный зазор, 5 - полюс ротора, 6 - полюсный наконечник, 7 - праведники ротора, 8 - катушечная обмотка возбуждения, 9 - короткозамкнутая обмотка, 10 - контактные кольца, 11 - щетки, 12 – вал

На полюсах расположены соединенные между собой катушки, образующие обмотку возбуждении.

Порядок выполнения работы

1.Пользуясь специализированными сайтами, специальной и учебной литературой, изучите конструкцию синхронного электродвигателя.

2.Данные своего варианта внесите в таблицу3.10.

Таблица 3.10-Технические данные и характеристики

№	Технические данные	Ед. измерения	Результаты
1	2	3	4
1	напряжение		
2	мощность		
3	частота вращения		
4	тип подшипников		
5	основной габаритный размер		
6	система охлаждения		
7	способ возбуждения		
8	способ пуска		
9	основное применение		

3.Выполните разборку, осмотр и измерения по указанному варианту марки двигателя (Таблица 3.11) [29].

Таблица 3.11-Варианты заданий

№	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
Марка двигателя	СНД2 16 -36-6	СТДП 17-39-12	СДНЗ 15-76-6	СДВ15-34-12	СДКП2 18-34-16УХЛ-4	СДЗ 2-315-1000Т3	СДЗ 2-1250-1500У3	СДЭ 2-15-34 6У2h630	СДГ-12500-2 УХЛ3.1	ДС-16-44-10К УХЛ4	4СДМ 1250КА-24-6	СДС 600 14-44-ЮУ3	СДСЗ(10000 В) 600 15-	СТМ-1500-2	ДБМ115-3,2-3	ДБМ192-36-3	Г304	Г509	SIEMENS 1FE1	SIEMENS 1FT7	ДСП 140/74-404	ДСП 143/84—404	ВДС2-325/44-16	ВДС2-325/59-24	СДК2-16-24-12К УХЛ4

4.Изобразите схему включения данного синхронного двигателя.

5.Сделайте вывод по выполненной работе.

Контрольные вопросы

1.Что такое обращенная синхронная машина?

2.Как электромашинный возбудитель конструктивно связан с синхронным генератором?

3.Какая минимальная мощность серийно выпускаемых синхронных двигателей?

Практическая работа №3.3

Тема: **Расчет параметров и построение развернутой схемы 3-х фазной двухслойной обмотки статора**

Цель работы: формирование навыков строить развернутые схемы обмоток статора трехфазных машин переменного тока.

Краткие теоретические сведения

Статор бесколлекторной машины переменного тока (Рис.3.22) состоит из корпуса 7, сердечника 2 и обмотки 3. Сердечник статора имеет шихтованную конструкцию, т.е. представляет собой пакет пластин, полученных методом штамповки из листовой электротехнической стал [29].

Пластины предварительно покрывают с двух сторон тонкой изоляционной плёнкой, например, слоем лака. На внутренней поверхности сердечника статора имеются продольные пазы, в которых располагаются проводники проводов круглого или прямоугольного сечения. Обмотка статора выполняется из медных обмоточных проводов круглого или прямоугольного сечения.

Требования к обмотке статора в основном сводятся к следующему:

а) наименьший расход обмоточной меди;

б) удобство и минимальные затраты в изготовлении - технологичность;

в) форма кривой ЭДС, наводимой в обмотке статора, должна быть практически синусоидальной.

Применительно к двигателям переменного тока требование к синусоидальности ЭДС обмотки статора также весьма актуально, так как несинусоидальность ЭДС ведет к росту потерь и уменьшению полезной мощности двигателя.

Многофазная обмотка статора состоит из m_1-фазных обмоток. Например, трехфазная обмотка ($m_1 = 3$) состоит из трех фазных обмоток, каждая из которых занимает $Z_1/3$ пазов, где Z_1 - общее число пазов сердечника статора. Каждая фазная обмотка представляет собой разомкнутую систему проводников.

Обмотки статора машин переменного тока разделяются на двух- и однослойные.

В двухслойной обмотке пазовая сторона катушки занимает половину паза по его высоте, а другую половину этого паза занимает пазовая сторона другой катушки.

В однослойной обмотке статора пазовая сторона любой катушки занимает весь паз.

Элементом обмотки является катушка, состоящая из одного или нескольких витков. Элементы катушки, располагаемые в пазах, называют пазовыми сторонами 1, а элементы, расположенные вне пазов и служащие для соединения пазовых сторон, называют лобовыми частями 2 (Рис. 3.22).

Часть дуги внутренней расточки статора, приходящаяся на один полюс, называется полюсным делением (м):

$$\tau = \frac{\pi \cdot D_1}{2P} \qquad (3.13)$$

где D_1 - внутренний диаметр статора, м;

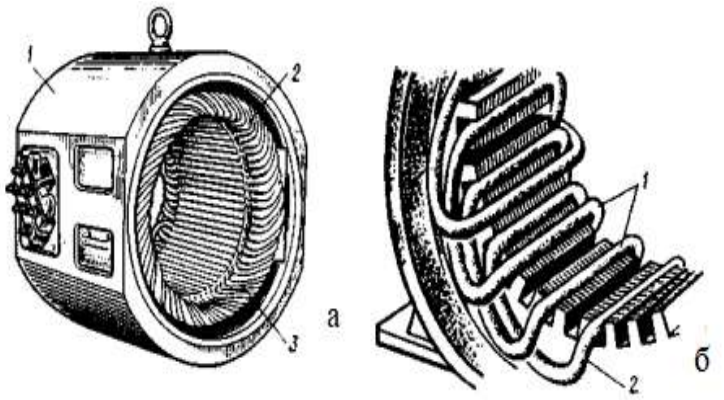
2p - число полюсов.

Расстояние между пазовыми сторонами катушки, измеренное по внутренней поверхности статора, называется шагом обмотки по пазам y_1. Шаг обмотки выражают в пазах. Шаг обмотки называется полным или диаметральным, если он равен полюсному делению [27,31]:

$$y_1 = \frac{Z_1}{2p} = \tau \qquad (3.14)$$

где Z_1-общее число пазов сердечника статора?

τ – полюсное деление, м.

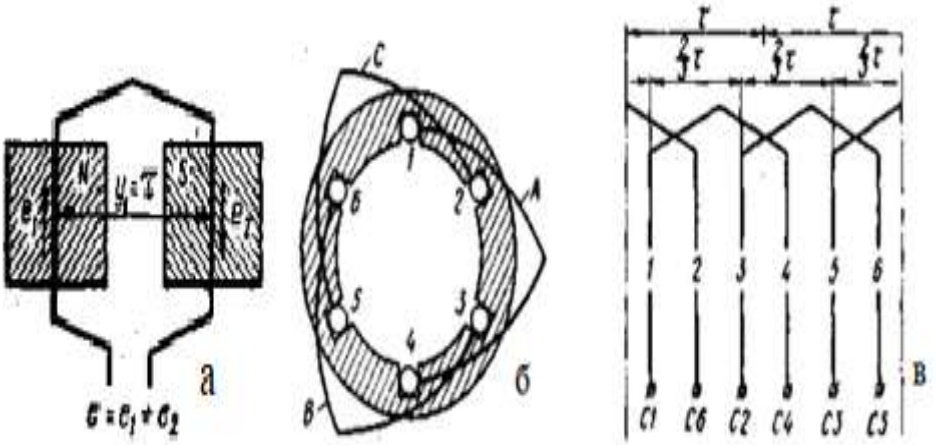


а-элементы конструкции; б-лобковые части статора

Рисунок 3.22 – Статор бесколлекторной машины

В этом случае ЭДС витка определяется арифметической суммой ЭДС, наведенных в сторонах этого витка (Рис. 3.23, а):

Простейшая трехфазная обмотка статора двухполюсной машины состоит из трех катушек (А, В, С), оси которых смещены в пространстве относительно друг друга на 120^0, т. е. на 2/3 полюсного деления (Рис. 3.23, б, в). Такая обмотка называется сосредоточенной. Каждая катушка здесь представляет собой фазную обмотку.



а- ЭДС витка определяется арифметической суммой ЭДС; б- начало и концы фаз; в- смещение осей простой катушки в пространстве относительно друг друга на 120^0.

Рисунок 3.23- Обмотки статора

Выводы трехфазных обмоток статора обозначают следующим образом:

-первая фаза: начало C_1 - конец C_4;

-вторая фаза: начало C_2 - конец C_5;

-третья фаза: начало C_3 - конец C_6.

Конструкция обмотки статора в значительной мере влияет на свойства машины переменного тока, в первую очередь на ее стоимость, КПД и рабочие характеристики [30].

Порядок выполнения работы

1.По заданию (Таблица 3.12) рассчитайте параметры трехфазной двухслойной обмотки статора машины переменного тока.

Задание: Рассчитайте параметры и начертите развернутую схему трехфазной двухслойной обмотки статора по данным, приведенным в таблице:

1. Выбрать укорочение шага обмотки, чтобы уничтожалась ν-я высшая гармоника в кривой индуцированной ЭДС обмотки. Соединение катушечных групп последовательное, фазы обмотки соединить звездой, катушки одновитковые [29].

2. Постройте развернутую схему обмотки.

3. Покажите соединение фаз обмотки звездой.

4. Выберите укорочение шага с целью снижения гармоники, заданной вариантом.

Таблица 3.12 –Варианты заданий

Величины	Варианты									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
число пазов Z	48	60	36	48	36	36	24	62	36	54
число полюсов	8	4	4	4	2	6	2	10	6	6
гармоника,ν	5	7	5	7	5	7	5	7	5	7

Пример. Рассматривается принцип построения трехфазной двухслойной обмотки с целым числом пазов на полюс и фазу (q_1).

Например, обмотка имеет следующие данные: - число фаз $m_1 = 3$; - число полюсов $2p = 6$; - число пазов в сердечнике статора $Z_1 = 36$; - шаг обмотки по пазам диаметральный ($y_1 = \tau$).

Решение:

1) шаг обмотки 2) число пазов на полюс и фазу 2) пазовый угол 3) сдвиг начал обмоток фаз. Выполнение схемы: 1) на развернутой поверхности статора различаются пазы (по условию задания их 36);

2) размечаются полюсные деления (τ);

3) размечаются зоны по $q_1 = 2$; на рисунке 3.2.4 показана схема обмотки фазы А, на неё приходится 6 зон по 2 паза (A_1A_1 / , A_2A2 / , A_3A_3 /) ;

4) для лучшего восприятия рисунка предлагается порядок построения развернутой схемы только одной фазы – фазы А. Маркировка ее выводов C_1 и C_4;

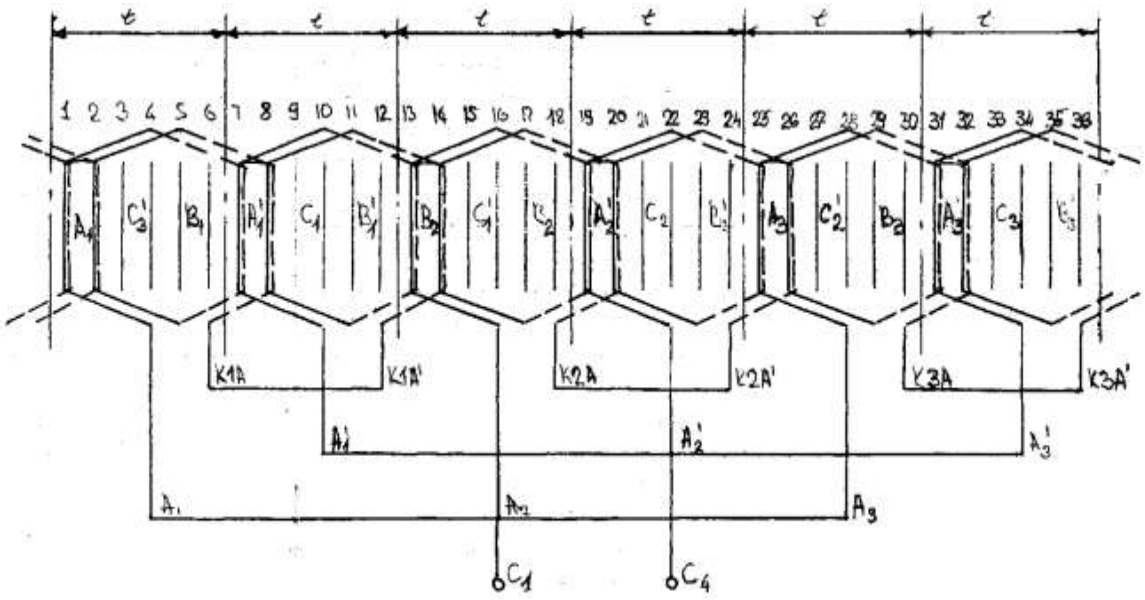


Рисунок 3.24- Развернутая схема фазы А

5) последовательность укладки обмотки в пазы:

а)1→7→2→8 7→13→8→14 13→19→14→20 19→25→20→26 25→31→26→32 32→1→33→2

6) концы $К_1А$ и $К_1А$ /, $К_2А$ и $К_2А$ / , $К_3А$ и $К_3А$ / соединены между собой таким образом, что получается последовательное соединение катушек;

7) начала соответственно соединяют между собой, а именно, соединив $Н_1А$, $Н_2А$, $Н_3А$ – получают $С_1$. Соединив $Н_1А$ /$Н_2А$ /, $Н_3А$ / получают вывод $С_4$;

8) По аналогии выполняют схемы фаз В и С

Контрольные вопросы

1. Перечислите требования, предъявляемые к обмотке статора: а) применительно к двигателям; б) применительно к генераторам.
2. Перечислите параметры обмотки статора с формулировкой и формулами.
3. Какие средства применяются для снижения высших гармоник ЭДС в обмотке статора?

3.3 Трансформаторы и автотрансформаторы

Трансформаторами называются электромагнитные аппараты, служащие для преобразования переменного тока одного напряжения в переменный ток другого напряжения при той же частоте и для передачи электрической энергии электромагнитным путем из одной цепи в другую [28,31].

Основное назначение трансформаторов - изменять напряжение переменного тока. Трансформаторы применяются также для преобразования числа фаз и частоты. *Особенностью* трансформаторов тока является их

работа в режиме, близком к короткому замыканию, так как их вторичная обмотка всегда замкнута на небольшое сопротивление.

Трансформаторами напряжения называются аппараты, предназначенные для преобразования переменного тока высшего напряжения в переменный ток низшего напряжения и питания параллельных катушек измерительных приборов и реле. Число витков вторичной обмотки w2<w1, так как все измерительные трансформаторы напряжения – понижающего типа.

Конструкция силового трансформатора. Силовые трансформаторы выпускаются в основном на частоту 50 Гц (Рис.3.25).

По числу фаз трансформаторы делятся на однофазные, двухфазные, трехфазные и многофазные. Силовые трансформаторы выпускаются в основном в трехфазном исполнении [28].

Классификация трансформаторов по числу и схемам соединения обмоток.

Трансформаторы имеют две или несколько обмоток, индуктивно связанных друг с другом. Обмотки, потребляющие энергию из сети, называются *первичными*. Обмотки, отдающие электрическую энергию потребителю, называются *вторичными*.



Рисунок 3.25– Силовой масляный трансформатор ТМ-160 (250) кВА

Многофазные трансформаторы имеют обмотки, соединенные в многолучевую звезду или многоугольник. Схемы соединения обмоток силовых трансформаторов представлены на рисунке 3.26.

В зависимости от соотношения напряжений на первичной и вторичной обмотках трансформаторы делятся на *повышающие* и *понижающие*. В *повышающем трансформаторе* первичная обмотка имеет низкое напряжение, а вторичная - высокое. В *понижающем трансформаторе*, наоборот, вторичная обмотка имеет низкое напряжение, а первичная - высокое.

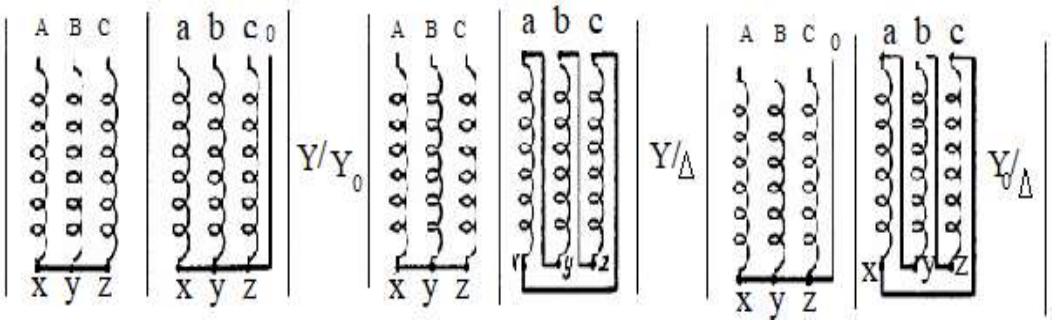


Рисунок 3.26 - Схемы соединения обмоток силовых трансформаторов

Классификация трансформаторов по конструкции.

По конструкции силовые трансформаторы делят на два основных типа –*масляные* и *сухие*.

В *масляных трансформаторах* магнитопровод с обмотками находится в баке, заполненном трансформаторным маслом, которое является хорошим изолятором и охлаждающим агентом.

Сухие трансформаторы охлаждаются воздухом. Они применяются в жилых и промышленных помещениях, в которых эксплуатация масляного трансформатора является нежелательной.

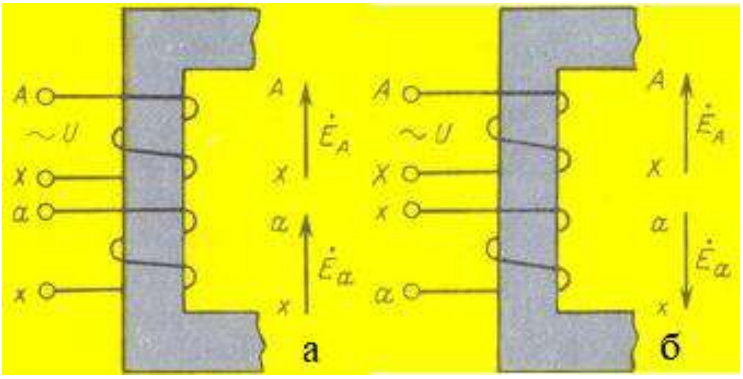
Автотрансформаторы

Наряду с трансформаторами широко применяются автотрансформаторы, в которых имеется электрическая связь между первичной и вторичной обмотками. Автотрансформаторы строятся на большие мощности и высокие напряжения и применяются в энергосистемах, а также используются для регулирования напряжения в установках небольшой мощности [30].

Группы соединений обмоток трансформатора. Параллельная работа трансформатора. Между первичной и вторичной ЭДСтрансформатора, включенного под напряжение, может быть угол сдвига, который в общем случае зависит от схемы соединения и направления намотки обмоток, а также от обозначения (маркировки) зажимов [27].

Число сочетаний схем соединений У и Д может быть не более четырех: У/У, У/Д, Д/Д и Д/У, но, принимая во внимание возможность намотки обмоток на магнитопроводе в разных направлениях, случайное и преднамеренное изменение маркировки зажимов, а также соединение фазных обмоток в треугольник в ином чередовании, число схем включений трансформатора значительно возрастает.

Например, у каждой обмотки есть начало и конец. Если у одной из обмоток поменять обозначения начала и конца (Рис. 3.27), то, принимая ориентацию э.д.с. по отношению к новому началу прежней (от х к а), необходимо считать вектор э.д.с. повернутым на 180°.



а - фазы ЭДС E_A и E_a совпадают; б – ЭДС E_A и E_a находятся в противофазе

Рисунок 3.27- Изменение на 180^0 фазы наведенной ЭДС при перемене обозначений зажимов

К такому же результату приводит и изменение направления намотки обмоток. В обмотках с односторонней намоткой (витки обеих обмоток идут от начал в правую или левую сторону) ЭДС совпадают по направлению, при разносторонней намотке - сдвинуты на 180°[28].

На рисунке 2.28, а показано соединение фазных обмоток треугольником в стандартном порядке: a - y; b - z: c - x. Если обмотки соединить в порядке: a - z: c - y; b - x (Рис. 3.28), то векторы линейных ЭДС НН смещаются по отношению друг к другу на 60° (Рис.3.28, в).

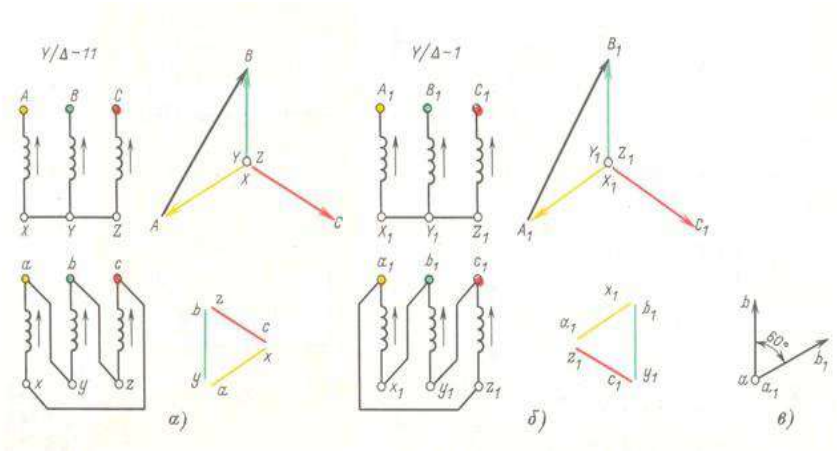


Рисунок 3.28-. Два варианта схем соединения фазных обмоток НН треугольником

Чтобы упорядочить все многообразие схем соединений обмоток трансформаторов, введено понятие о группе соединений, характеризующее угловое смещение векторов линейных ЭДС вторичных обмоток относительно одноименных векторов линейных ЭДС обмотки ВН, независимо от того, является ли трансформатор понижающим или повышающим.

Группа соединений обозначается числом, которое при умножении на 30° дает угол отставания вектора ЭДС вторичной обмотки. Если, например,

схема и группа соединений трансформатора обозначена У/Д-11, то смещение векторов линейных ЭДС равно 330°.

В ГОСТ предусмотрены две группы соединения обмоток трехфазных двухобмоточных трансформаторов: 0 и 11. Практически могут встретиться 12 групп и, кроме того, такие соединения, которые вообще не могут быть отнесены к какой-либо определенной группе [31,32].

При перемещении обозначений выводов фаз (циклическая перемаркировка фаз), когда по кругу меняются местами надписи на выводах трех фаз на стороне ВН или НН (Рис. 3.29), группа соединений каждый раз изменяется на 4 или 8 угловых единиц.

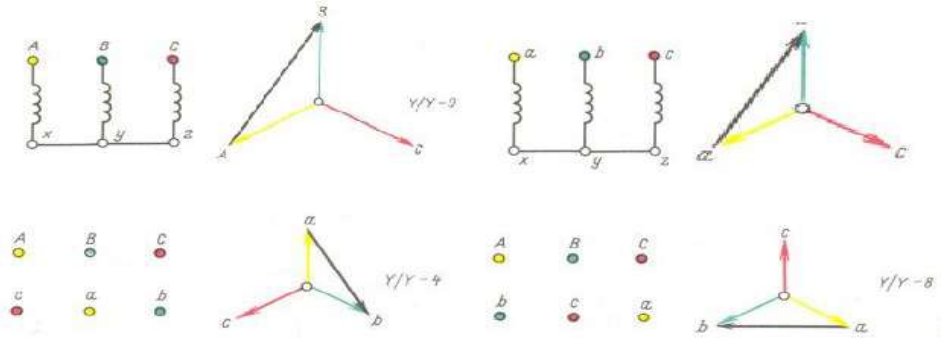


Рисунок 3.29 -Циклическая перемаркировка фаз обмотки в стандартной схеме У/У-О

Так, при подсоединении трансформатора зажим фазы b может ошибочно оказаться подсоединенным к сборной шине фазы а, зажим фазы с - к шине фазы b и т.д.

Действительно, построение и совмещение векторных диаграмм (Рис. 3.30) показывает, что векторы повернуты на 120°, или на 4 единицы.

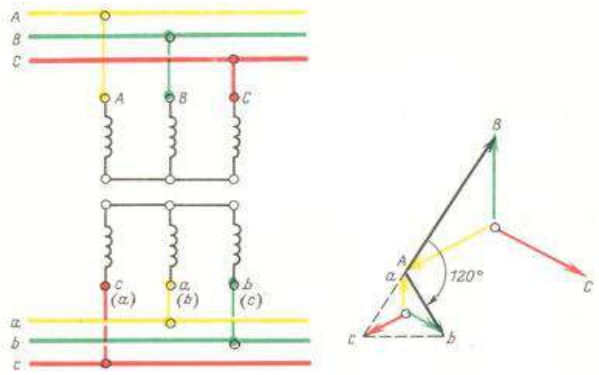
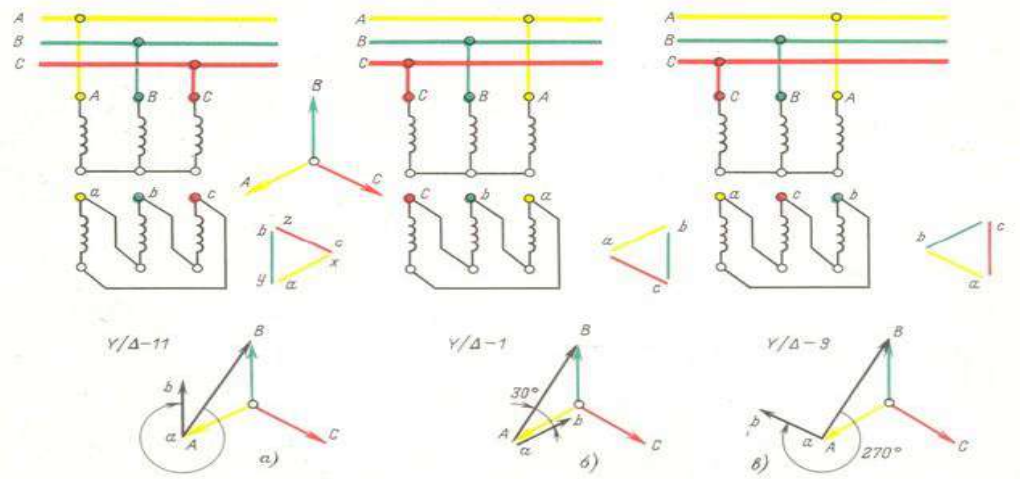


Рисунок 3.30 - Циклическая перемаркировка фаз при ошибочном монтаже ошиновки

Обозначение фаз НН, соответствующее группе У/У-0 показано в скобках. Перестановка обозначений двух фаз на стороне ВН и одновременно НН (двойная перемаркировка) у трансформатора, имеющего нечетную группу соединений, вызывает угловое смещение векторов э.д.с. вторичной обмотки относительно их первоначального положения на 60^0 или 300°.

Величина угла зависит от того, какие две фазы на стороне ВН, а также на стороне НН перемещаются - одноименные или разноименные. На рисунке 3.31 показано, что достаточно поменять местами соединительные шины двух фаз А и С на стороне ВН и тех же фаз на стороне НН, как группа 11 перейдет в группу 1, а при перемене мест фаз А и С и одновременно b и с группа 11 превращается в 9 [27,28].



а - исходная группа У/Д-11; б - перемаркировка одноименных фаз А и С; а и с; в - перемаркировка разноименных фаз А и С; b и с.

Рисунок3.31-Двойная перемаркировка фаз при ошибочном монтаже ошиновки на стороне ВН и НН

Наиболее вероятен в эксплуатационной практике случай перекрещивания шин только двух фаз на какой-нибудь одной стороне (ВН или НН), например, фаз b и с. При этом изменяется порядок чередования фаз. Вместо, а - б - с порядок чередования будет, а – с – b (Рис. 3.32), и углы сдвига фаз одноименных э.д.с. обмоток ВН и НН будут неодинаковы: угол A_a= 0°; угол B_b=120°; угол C_c= 240°. Это обстоятельство не позволяет отнести трансформатор к определенной группе соединений.

Одним из основных условий параллельной работы трансформаторов является тождественность групп соединений их обмоток, что устанавливается по паспортным данным или специальными измерениями.

Но даже при одинаковых группах перед первым включением в работу (после монтажа или капитального ремонта со сменой обмоток, отсоединением кабелей и пр.) трансформатор фазируют с сетью, так как на зажимах включающего аппарата (выключателя, отделителя, рубильника) может появиться сдвиг фаз в результате неправильного присоединения токоведущих частей к аппаратам и выводам трансформатора.

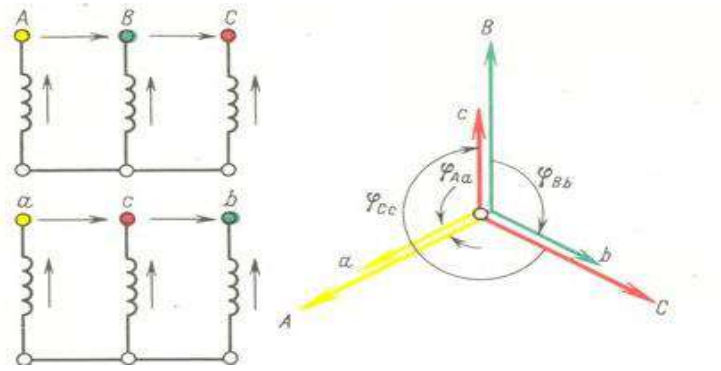


Рисунок 3.32- Ошибочное обозначение выводов двух фаз

Лабораторная работа №3.3

Тема: **Исследование работы трансформаторов в режиме холостого хода и в режиме короткого замыкания**

Цель работы: изучить устройство однофазного трансформатора и зависимость вторичного его напряжения и КПД от нагрузки.

Оборудование и материалы: лабораторная установка, соединительные провода.

Краткие теоретические сведения

Трансформатор - это электромагнитный статический аппарат, предназначенный для преобразования электрической энергии одного напряжения в энергию другого напряжения при неизменной частоте [29].

Под действием первичного переменного напряжения U_1 по первичной обмотке трансформатора протекает переменный ток I_1, который создает в трансформаторе магнитный поток Ф. В соответствии с законом электромагнитной индукции переменный магнитный поток наводит в первичной и во вторичной обмотках трансформатора ЭДС, действующие значения которых равны [29]:

$$E_1 = 4{,}44 \cdot W_1 \, f \cdot \Phi_M \qquad (3.15)$$

$$E_2 = 4{,}44 \cdot W_2 \, f \cdot \Phi_M \qquad (3.16)$$

где W_1 и W_2 - число витков, соответственно, в первичной и вторичной обмотках;

f - частота изменения тока в первичной обмотке;

Φ_M - амплитуда магнитного потока, пронизывающего обмотки.

Отношение $K = E_1/E_2 = W_1/W_2$ называется коэффициентом трансформации.

Величину коэффициента трансформация можно достаточно точно определить из опыта холостого хода. Подведенное к трансформатору напряжение U_1 уравновешивается электродвижущей силой E_1 и падениями напряжения $j\underline{I}_1X_1$ и $\underline{I}_1R_1$ в первичной обмотке.

На основании второго закона Кирхгофа это равновесие описывается уравнением:

$$\underline{U}_1=-\underline{E}_1+j\,\underline{I}_1X_1+\underline{I}_1R_1 \quad (3.17)$$

где $\underline{I}_1$- ток в первичной обмотке трансформатора;

X_1 - индуктивное сопротивление рассеяния первичной обмотки;

R_1 - активное сопротивление первичной обмотки.

При подключении нагрузки к вторичной обмотке по ней начинает протекать ток 2 I & , создающий падения напряжения 2X2 jI & и 2R2 I & , на вторичной обмотке создается напряжение U2. На основание второго закона Кирхгофа для вторичной обмотки можно записать уравнение:

$$\underline{U}_2=-\underline{E}_2+j\,\underline{I}_2X_2+\underline{I}_2R_2 \quad (3.18)$$

где $\underline{I}_2$- ток во вторичной обмотке;

X_2 - индуктивное сопротивление вторичной обмотки;

R_2 - активное сопротивление вторичной обмотки.

Зависимость вторичного напряжения U_2 от силы тока во вторичной обмотке I_2 при $U_1 = U_{1ном.}$ называется внешней характеристикой трансформатора. С увеличением тока I_2 увеличивается падение напряжения во вторичной обмотке трансформатора Z_2I_2, а напряжение U_2 уменьшается, однако уменьшается незначительно (на 2-3 % от $U_{ном.}$ при изменении тока I_2 от нуля до номинального значения).

Процентное изменение напряжения [28,29]:

$$\Delta U\% = U_a\cos\varphi_2 + U_p\sin\varphi_2, \quad (3.19)$$

$$U_a = \frac{r_k I_{1н}}{U_{1н}}\,100, \quad (3.20)$$

$$U_p = X_k\, I_{1н}\, U_{1н}\, 100, \quad (3.21)$$

где φ_2 – угол сдвига между напряжением и током нагрузки трансформатора.

При нагрузках отличных от номинальной, определяется по формуле:

$$\Delta U\% = \beta\,(U_a\cos\varphi_2 + U_p\sin\varphi_2), \quad (3.22)$$

где $\beta = I_2 / I_{2н}$ коэффициент загрузки трансформатора.

В целом величина напряжения U_2 зависит от значения коэффициента трансформации К, тока I_2 его характера, а также от величин сопротивлений первичной и вторичной обмоток, которые образуют полное сопротивление трансформатора

$$Z_k = \sqrt{(R_1 + \acute{R}_2)^2 + (X_1 + \dot{X}_2)^2} \quad (3.23)$$

Величину сопротивления Z_K можно определить из опыта короткого замыкания. Номинальная мощность S_H трансформатора определяется с помощью формулы:

$$S_н = U_{1н} \cdot I_{1н} = U_{2н} \cdot I_{2н} \quad (3.24)$$

В процессе преобразования энергии в трансформаторе часть ее теряется внутри самого трансформатора. Отношение полезной активной мощности отданной нагрузке к мощности, подведенной к первичной обмотке трансформатора, называется коэффициентом полезного действия.

Величина номинального коэффициента полезного действия является важной технико-экономической характеристикой [32].

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} \quad (3.25)$$

$$\eta\,\% = \frac{P_2}{P_1} \cdot 100\% \quad (3.26)$$

Величина номинального коэффициента полезного действия является важной технико-экономической характеристикой.

Под опытом холостого хода понимается такой режим работы трансформатора, при котором к его первичной обмотке подведено номинальное напряжение, а ток во вторичной обмотке равен нулю, т.е. нагрузка отсутствует.

Под *опытом короткого замыкания* понимается такой режим работы трансформатора, когда выводы его вторичной обмотки замкнуты накоротко, а к первичной обмотке подведено напряжение, при котором токи в обмотках будут протекать номинальные.

Под *внешней характеристикой* понимается зависимость величины вторичного напряжения U_2 от тока I_2 при условии, что U_1, f, cos φ_2 - const.

Порядок выполнения работы

1.Для выполнения лабораторной работы необходимо изучить устройство испытуемого трансформатора, его паспортные данные, а также устройство лабораторного стенда. Паспортные данные трансформатора и измерительных приборов следует занести в отчет [29].

2.Схемы для определения свойств трансформатора приведены на рис. 3.33, 3.34, 3.35. Испытуемый трансформатор ТР получает питание от автотрансформатора АТ, присоединенного к сети 220 В частотой 50 Гц. Нормальные данные трансформатора указаны в его паспорте. Измерительные приборы должны быть выбраны со следующими пределами измерений (Таблица3.13).

Таблица3.13-Пределы измерений приборов

Опыты	PV_1	PV_2	PA_1	PA2	PW
холостого хода	0…250В	0…75В	0…1А	-	2,5А, 300В
короткого замыкания	0…75В	-	0…2А	0…7А	2,5А, 30В
снятие внешней характеристики	0…250В	0…75В	0…2А	0…7А	2,5А, 300В

В экспериментальную установку (Рис. 3.33) входят: регулируемый источник питания АТ, испытуемый трансформатор ТР, нагрузочный реостат сопротивления (30 Ом, 5 А). вольтметр (0...250 В, 0.,.60 (75 В), амперметры (0…1 А и 0…2 А, 0…7 А), ваттметр (2,5 А, 300 В).

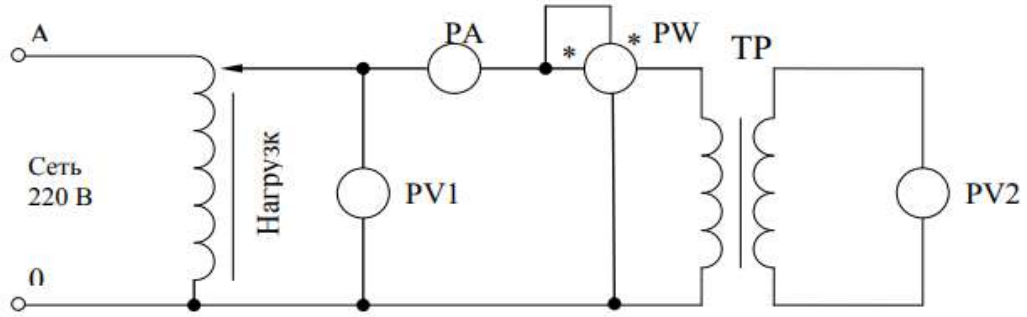


Рисунок 3.33-Электрическая схема опыта холостого хода

3.В качестве нагрузки $R_{НГ}$ в схеме, представленной на рис. 3.33, принимается реостат сопротивления, рассчитанный на номинальный ток 5 А. Коэффициент мощности нагрузки в этом случае будет равен единице.

4.*Опыт холостого хода*. Соберите схему опыта холостого хода, показанную на рисунке 3.33.

Повернуть рукоять автотрансформатора АТ против часовой стрелки до отказа. Подать напряжение сети к автотрансформатору. С помощью автотрансформатора подвести к обмотке высшего напряжения трансформатора ТР напряжение U_{10}, равное номинальному. Произведите измерения тока I_0 в первичной обмотке, мощности P_0, подводимой к трансформатору, и напряжения U_2, на зажимах вторичной обмотки.

Таблицу 3.14- Сводная результатов измерений и вычислений

№	Измеренные величины				Вычисленные величины	
	$U1_{xx}$, В	U_{2xx}., *В*	I_{xx}, А	P*xx*, Вт	К	cosφ
1						

Расчеты по данным опыта холостого хода. Коэффициент трансформации:

$$К = \frac{U_{1xx}}{U_{2xx}} \qquad (3.27)$$

Коэффициент мощности:

$$\cos\varphi = \frac{P_{xx}}{U_{xx} \cdot I_{xx}} \qquad (3.28)$$

4.*Опыт короткого замыкания.* Соберите схему опыта короткого замыкания, приведенную на рисунке 3.34.

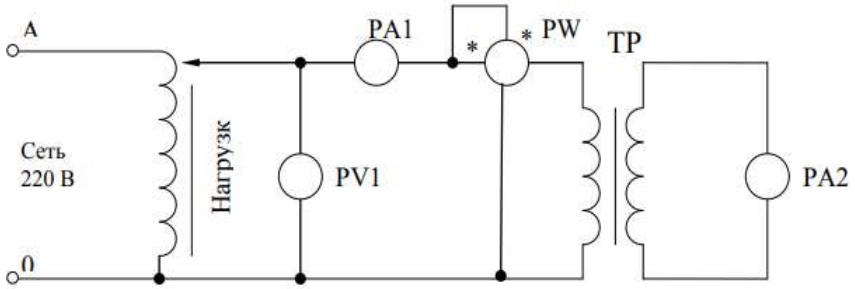


Рисунок 3.34 - Электрическая схема опыта короткого замыкания трансформатора

1. Вычислите величину номинального тока в первичной обмотке трансформатора.
2. Поверните рукоять автотрансформатора против часовой стрелки до отказа.
3. Подайте напряжение сети к автотрансформатору. Автотрансформатором подайте к первичной обмотке такое напряжение U1 чтобы в ней установился ток $I_1=I_{1H}$, и измерьте при этом условии напряжение $U_K=U_I$ и мощность P_K подводимую к трансформатору. Показания приборов запишите в таблицу 3.15.

Таблицу 3.15- Сводная результатов измерений и вычислений

№	Измеренные величины			Вычисленные величины				
	$I_1 = I_{1н}$, А	U1=$U_{кз}$,В	P_{xx}.,Вт	$U_{кз}$,В	$Z_{кз}$,Ом	$R_{кз}$,Ом	cosφ	$X_{кз}$,Ом

Расчеты по данным опыта короткого замыкания. Относительная величина напряжения короткого замыкания:

$$U_{k\%} = \frac{U_н}{U_{1н}} \cdot 100\% \qquad (3.29)$$

Полное сопротивление трансформатора [27,29]:

$$Z_к = \frac{U_н}{I_{1н}},\ \text{Ом} \qquad (3.30)$$

Активная составляющая полного сопротивления трансформатора:

$$R_н = \frac{P_к}{I_{1н}}, \text{ Ом} \quad (3.31)$$

Коэффициент мощности:

$$\cos\varphi = \frac{P_{кз}}{U_{кз} \cdot I_{кз}} \quad (3.32)$$

Реактивная составляющая полного сопротивления трансформатора:

$$X_{кз} = Z_{кз} \cdot \sin\varphi \text{ , Ом} \quad (3.33)$$

4. Снятие внешней характеристики трансформатора. Соберите схему, показанную на рисунке 3.35, размыкайте цепь реостата $R_{НГ}$, подайте напряжение от сети к автотрансформатору.

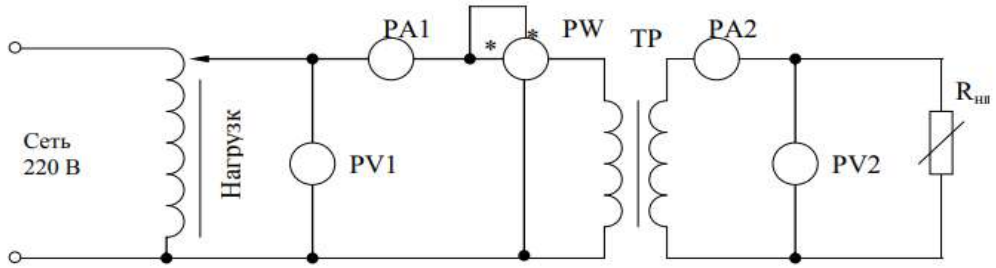


Рисунок 3.35- Электрическая схема снятия внешней характеристики трансформатора

1. Автотрансформатором установите на зажимах высшего напряжения U1=U1H и поддерживайте неизменным при снятии всей характеристики. Затем измерьте ток I1 в первичной обмотке, мощность P1 и запишите данные в таблицу 3.16.

Замкните цепь реостата $R_{НГ}$, и устанавите ток I_2, равный, последовательно, 2, 3, 4,5, 6 и 7 А, измеряют величины I_1, U_2, P_1 и запишите результаты в таблицу3. Величину cos φ_2 принимают, исходя из характера сопротивления нагрузки $R_Н$.

Таблица 3.16- Сводная результатов измерений и вычислений

№	Измеренные величины					Вычисленные величины				
	I_2,А	I_1,, А	U_1,В	U_2,В	P_1.,Вт	P_2,Вт	η,%	cosφ	Δ U_2,В	Δ U_2,%

Расчета по данным внешней характеристики и построение графиков. Полезная мощность:

$$P_2 = U_2 I_2 \cdot \cos\varphi_2 \text{ (Вт)} \quad (3.34)$$

Коэффициент мощности:

$$\cos\varphi = \frac{P_1}{U_1 \cdot I_1} \quad (3.35)$$

Изменение напряжения:

$$\Delta U_2 = U_{20} - U_2, \text{ (В)} \quad (3.36)$$

где U_{20} – величина вторичного напряжения при $I_2=0$.

Относительная величина изменения вторичного напряжения:

$$\Delta U_{2\%} = \frac{U_2}{U_{2xx}} \cdot 100\% \quad (3.37)$$

Расчетная величина изменения напряжения при нормальной загрузке

$$U_{2\%} = \frac{I_{1н} \cdot P_к}{U_{1н}} \cos\varphi + \cdot \sin\varphi \frac{I_{1н} \cdot X_к}{U_{1н}} \quad (3.38)$$

По данным таблицы 3.16 строится график внешней характеристики $U_2 = f(I)_2$ при условии, что U_1, f, cos φ_2 - const.

Рекомендуемые масштабы: M_U = 4 В/см; M_I = 1 А/см.

В тех же осях строятся по данным таблицы 3, графики $\cos\varphi_1 = f(I_2)$ и $\eta = f(I_2)$

Контрольные вопросы

1.Как определяется напряжение короткого замыкания трансформатора и что понимается под напряжением короткого замыкания трансформатора?

2.От каких факторов и как зависит коэффициент полезного действия трансформатора?

3.Вычислить величину вторичного напряжения испытанного трансформатора при холостом ходе, если к первичной обмотке подвести напряжение U1=110 В.

4.Вычислите по данным опытов величину потерь мощности испытанного трансформатора при заданной величине вторичного тока. Какие потери мощности в трансформаторе имеют место?

Практическая работа №3.4

Тема: **Исследование конструкции силового трансформатора с сухой изоляцией**

Цель работы: изучить основные элементы силового сухого трансформатора, его номинальные параметры, схемы соединения обмоток. *Оборудование и материалы:* сухой трансформатор марки – (например, ТС-100/10 У2), рулетка.

Краткие теоретические сведения

Силовые трансформаторы марки ТС или ТСЗ общего назначения на напряжения до 10 кВ включительно имеют естественное воздушное охлаждение. Активная часть трансформаторов не защищена у трансформаторов ТС и находится в защитном кожухе у трансформаторов ТСЗ. Трансформаторы предназначены для внутренней установки при длительном режиме работы в следующих условиях: - высота над уровнем моря до 1000 м; - температура окружающего воздуха от минус 45 до плюс 40 0С; - относительная влажность воздуха не более 80% при 20 0С. Преимущества сухих трансформаторов перед масляными: отпадает необходимость в испытаниях, замене масла; взрыво- и пожаробезопасны; экологически чистые.

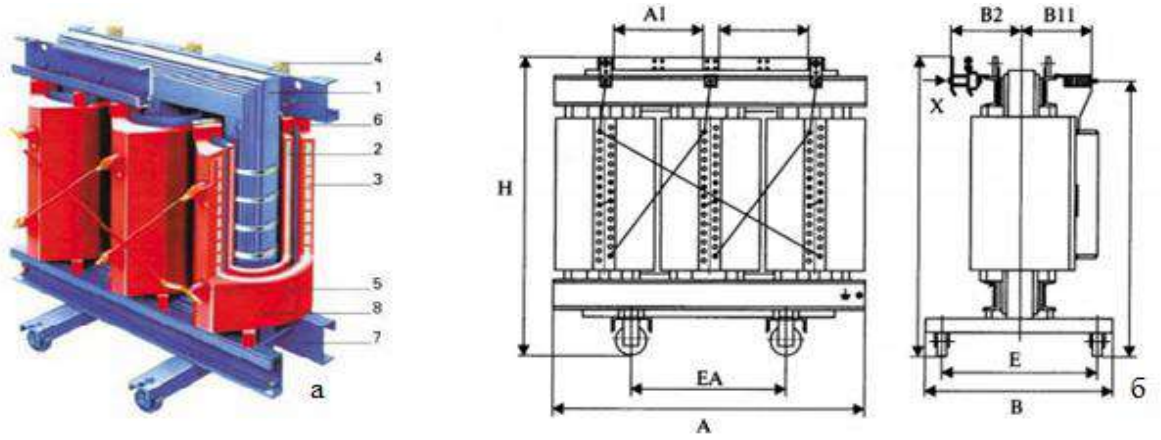
Порядок выполнения работы

1.Укажите назначение исследуемого трансформатора, запишите и расшифруйте его полную маркировку [29]. Изучите номинальные параметры трансформатора и запишите их значения в таблицу 3.17.

Таблица 3.17 - Номинальные параметры трансформатора

№	Наименование параметра	Значение параметра
1	Номинальная мощность $S_н$, кВА	
2	Номинальное напряжение первичной обмотки	
3	Номинальное напряжение вторичной обмотки $U_{н1}$, кВ	
4	Напряжение короткого замыкания $U_{н2}$, кВ	
5	Коэффициент трансформации $К_Т$	
6	Схемы и группа соединения обмоток	
7	Масс, кг	

2.Изучите конструкцию трансформатора и укажите название его основных элементов (Рис.3.36).



а-конструкция, б-габариты

Рисунок 3.36- Сухой трансформатор

3. Определите основные размеры трансформатора (Рис.3.36)

4. Результаты измерений запишите в таблицу 3.18.

Таблица 3.18 - Габаритные размеры трансформатора

Обозначение габарита	Значение габарита
1	2
H –высота трансформатора, м	
A-длина трансформатора, мм	
B-ширина трансформатора, мм	
A_1-расстояние между фазами первичного напряжения, мм	
A_2-расстояние между фазами вторичного напряжения, мм	
EA – расстояние между осями роликов (колес), мм	
E –расстояние между роликами (колесами) по ширине трансформатора, мм	

Контрольные вопросы

1.Почему трансформатор называют сухим?

2. С какой целью у трансформатора ТСЗ устанавливают защитный кожух?

3. Назовите схему соединения обмоток изученного трансформатора.

Краткие выводы

Электрические машины представляют собой основной элемент электроэнергетических установок. Они используются как основные источники электрической энергии (генераторы) и как двигатели для приведения в движение рабочих механизмов на заводах, фабриках, в сельском хозяйстве, на строительных работах и т. д.

Электрические машины бывают коллекторные и бесколлекторные, постоянного и переменного тока, однофазные и трехфазные.

В электрических сетях, связывающих электрические станции и потребителей электрической энергии, установлены трансформаторы.

Трансформатор, строго говоря, не является электрической машиной, поскольку не имеет движущихся частей, наличие которых характерно для всякой машины, как разновидности механизма. Но электромагнитные процессы, протекающие в трансформаторах, аналогичны процессам в электрических машинах, основные соотношения, характеризующие рабочий процесс трансформатора, применимы и к электрическим машинам, а теория бесколлекторных асинхронных машин может быть сведена к теории трансформатора, поэтому трансформаторы изучаются вместе с электрическими машинами.

Контрольные вопросы

1. Чем отличаются коллекторные машины от бесколлекторных?

2.Какой двигатель называется УКД?

3.Чем по конструкции отличаются двигатели постоянного тока от двигателей переменного тока?

4.Чем по конструкции асинхронный электродвигатель отличается от синхронного?

5.Назовите особенности конструкции силовых трансформаторов.

РАЗДЕЛ 4. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О СЛЕСАРНЫХ И СЛЕСАРНО-СБОРОЧНЫХ РАБОТАХ

Введение

Данный раздел направлен на изучение основ слесарных и слесарно-сборочных работ, а также привитию навыков работы с техническими измерительными приборами, слесарными инструментами и приспособлениями. Изучение данного модуля способствует развитию профессиональных компетенций, необходимых для выполнения ремонтных работ

Цель раздела: формирование навыки обучающихся пользоваться слесарными и слесарно-сборочными инструментами в профессиональной деятельности.

Задачи:

1.научить выполнять слесарные и слесарно-сборочные работы;

2.научить пользоваться основными измерительными приборами и приспособлениями для выполнения слесарных и слесарно-сборочных работ;

3.научить соблюдать в практической деятельности технику безопасности и промсанитарию на производстве.

4.1 Электротехнические материалы, применяемые на производстве

Электротехническое материаловедение – это наука, занимающаяся определением свойств, изучением поведения вещества при воздействии электричества, тепла, мороза, магнитного поля и др. Основной характеристикой электротехнических материалов является удельная электропроводность - γ, сименс/м, как коэффициент пропорциональности между плотностью тока j ($А/м^2$) и напряженностью электрического поля Е (В/м) в законе Ома[34]:

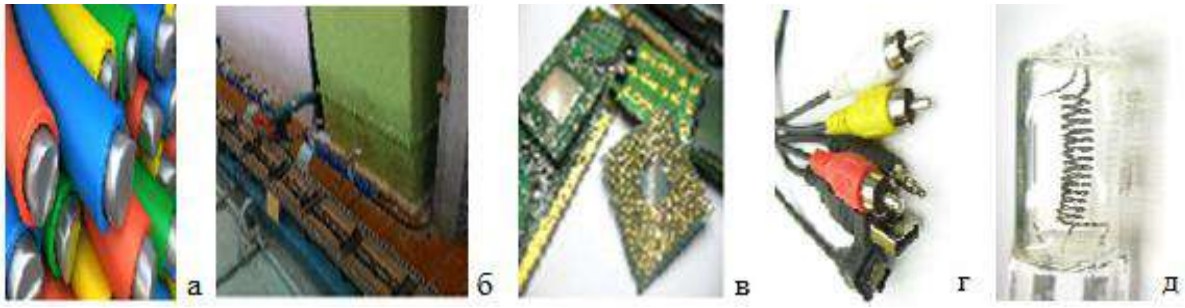
$$j = \gamma \cdot E \qquad (4.1)$$

Удельная электропроводность зависит только от свойств материала. На практике, для оценки электропроводности материалов и систем более широко используется обратная величина - удельное электрическое сопротивление - ρ, Ом·м:

$$\rho = \frac{1}{\gamma}, \qquad (4.2)$$

Классификация электротехнических материалов позволяет разделить на отдельные группы: *проводниковых, электроизоляционных*, *полупроводниковых* и *магнитных* материалов, которые дополняются основными изделиями: конденсаторами, проводами, изоляторами и готовыми полупроводниковыми элементами [34,35].

Проводники - это материалы с сильно выраженной электропроводностью (Рис.4.1)[35].



а- алюминиевые жилы проводов, б-стальная полоса, огибающая колонну - шина заземления, в-золотое покрытие на различных электронных компонентах: покрытие на контактах платы для установки в слот, покрытие на контактах мембранных кнопок мобильного телефона, покрытие на штырьках процессора, г-разъемы, покрытые никелем для надежного контакта, д- вольфрамовая нить накала галогенной лампы

Рисунок 4.1- Применение разновидностей проводников на производстве

Диэлектрики (*электроизоляционные материалы*) (Рис.4.2) - это материалы, способные поляризоваться и сохранять электростатическое поле.



Рисунок 4.2-Применение электроизоляционных материалов на производстве

Композиционные материалы

Материалы, которые подразделяются не по функционированию, а по составу, называются композиционными материалами (Рис.4.3), это тоже электротехнические материалы.

Примером служат листовые стекловолокнистые компоненты, стеклопластик, смеси электропроводного и тугоплавкого металлов.

Свойства их отличаются от других диэлектриков гибкостью, достаточной механической прочностью и отличными изоляционными характеристиками.

Полупроводники - это материалы с сильной зависимостью электропроводности от концентрации и вида примесей, дефектов структуры и внешних энергетических воздействий (температуры, электромагнитных полей, освещенности и т.д.).



Рисунок 4.3 – Применение композиционных материалов на производстве

Характеристика электротехнических материалов группы полупроводников говорит о существенном отличии элементов друг от друга по *структурной решетке*, *составу, свойствам*. В зависимости от указанных параметров, материалы подразделяют на *4 вида: элементы, содержащие в себе атомы одного вида: кремний, фосфор, бор, селен, индий, германий, галлий* и др.

В зависимости от кристаллической решетки, полупроводники подразделяют на поликристаллические материалы и монокристаллические элементы (Рис.4.4).



а-монокристаллический кремний-полупроводниковый материал, б- материнская плата, в- радиодетали, г- электронные компоненты

Рисунок 4.4 – Применение полупроводниковых материалов на производстве

В зависимости от магнитных свойств материалы разделяют на *диамагнетики, парамагнетики, ферромагнетики, антиферромагнетики и феррримагнетики*. Количественно магнитные свойства материалов принято оценивать по их магнитной восприимчивости [37]:

$$\lambda = \frac{M}{H} \qquad (4.3)$$

где M- намагниченность вещества;

H- напряженность магнитного поля.

Диамагнетики - это вещества, атомы, ионы или молекулы которых не имеют результирующего магнитного момента при отсутствии внешнего поля. Диамагнитный эффект является результатом воздействия внешнего

магнитного поля на молекулярные токи и проявляется в том, что возникает магнитный момент, направленный в сторону, обратную внешнему полю.

Парамагнетики - это вещества, атомы, ионы или молекулы которых имеют результирующий магнитный момент при отсутствии внешнего магнитного поля. Парамагнитный эффект присущ веществам с нескомпенсированным магнитным моментом атомов при отсутствии у них порядка в ориентации этих моментов [34,35].

Ферромагнетики - это вещества, в которых магнитные моменты атомов или ионов находятся в состоянии самопроизвольного магнитного упорядочения, причем результирующие магнитные моменты каждого из доменов отличны от нуля.

К *ферромагнитным* веществам относятся *железо, никель, кобальт*, их соединения и сплавы, а также некоторые *сплавы марганца, серебра, алюминия*.

Антиферромагнетики - это вещества, в которых магнитные моменты атомов или ионов находятся в состоянии самопроизвольного магнитного упорядочения, причем результирующие магнитные моменты каждого из доменов равны нулю.

Антиферромагнетики - это кристаллические вещества, магнитную структуру которых можно представить в виде двух или более подрешеток; магнитные моменты атомов или ионов находятся в состоянии самопроизвольного магнитного упорядочения, причем результирующие магнитные моменты каждого из доменов отличны от нуля [37].

Магнитные материалы первой группы применяются в электронных элементах, для которых нет особых требований к температурной и временной нестабильности.

Материалы второй группы имеют малые значения относительного температурного коэффициента магнитной проницаемости в рабочем интервале температур и достаточно высокую временную стабильность начальной магнитной проницаемости.

К третьей группе относятся материалы с высоким значением начальной магнитной проницаемости на низких частотах.

Для ферритовых материалов четвертой группы характерны малые значения магнитных потерь в сильных электромагнитных полях и высокое значение магнитной индукции при повышенной температуре (до 100-120°С) и подмагничивании.

Пятая группа ферритов характеризуется повышенными значениями импульсной магнитной проницаемости и температурной стабильностью магнитной проницаемости.

К шестой группе относятся ферритовые материалы, которые характеризуются начальной магнитной проницаемостью, коэффициентом амплитудной нестабильности магнитной проницаемости, коэффициентом перестройки по частоте, тангенсом угла магнитных потерь при различных индукциях, низкой начальной проницаемостью.

Особое место занимают ферритовые материалы седьмой группы. Они характеризуются повышенной добротностью, как в слабых, так и в сильных электромагнитных полях, малыми линейными искажениями, низкой начальной проницаемостью.

4.1.1 Классификация материалов и их назначение

Классификация материалов: металлические, неметаллические и композиционные материалы. Металлические материалы подразделяются на цветные металлы, порошковые материалы. Неметаллические материалы: резина, стекло, керамика, пластические массы, ситаллы. Композиционные материалы являются составными материалами, в состав которых входят два и более материалов (стеклопластики)[35,36].

Существует классификация материалов в зависимости от вида полуфабрикатов: листы, порошки, гранулы, волокна, профили и т. д.
Техника создания материалов положена в основу классификации по структуре.

Металлические материалы подразделяются на группы в соответствии с тем компонентом, который лежит в их основе. Материалы черной металлургии: сталь, чугуны, ферросплавы, сплавы, в которых основной компонент – железо. Материалы цветной металлургии: алюминий, медь, цинк, свинец, никель, олово.

Основу современной техники составляют металлы и металлические сплавы. Сегодня металлы являются самым универсальным по применению классом материалов. Для того чтобы повысить качество и надежность изделий, требуются новые материалы. Для решения этих проблем применяются композиционные, полимерные, порошковые материалы.

В машиностроении, строительстве, приборостроении и других отраслях техники применяется большое количество различных технических материалов, отличающихся один от другого строением и свойствами.

Тем не менее, по некоторым признакам все металлы, используемые в технике, можно объединить в некоторые группы.

Прежде всего, все металлы и полученные на их основе сплавы условно делят на две большие группы – черные и цветные.
К черным металлам относят железо и его сплавы – стали и чугуны. Все остальные металлы и сплавы составляют группу цветных металлов.

Черные металлы являются основными конструкционными машиностроительными материалами. Из общего числа выплавляемых в мире металлов 94% приходится на черные. Черные металлы имеют относительно высокую механическую прочность, твердость, плотность и сравнительно невысокую стоимость.

Цветные металлы чаще всего имеют характерную окраску – красную, желтую, белую. Они обладают большой пластичностью, малой твердостью, относительно низкой либо высокой (например, тантал, вольфрам) температурами плавления. Наиболее типичными металлами этой группы

являются медь, алюминий, хром, никель, цинк, марганец, титан и другие элементы.

Выделяют также группу благородных и редких металлов. Благородными считаются золото, серебро, металлы платиновой группы – платина, палладий, иридий, осмий, рутений. Основным признаком редкого элемента в технике считается сравнительная новизна его практического применения. Поэтому техническое определение редкого элемента не всегда совпадает с геохимическим. Сурьму, висмут и ртуть, например, несмотря на их малое содержание в земной коре, не относят к редким элементам, так как они уже давно известны и практически используются человеком. Важнейшими отраслями применения редких элементов являются главным образом ядерная энергетика, ракетная техника, радиоэлектроника.

Из группы цветных металлов выделяют также легкоплавкие и тугоплавкие металлы. К легкоплавким относят цинк, кадмий, олово, свинец, висмут, сурьму и другие элементы. Некоторые из этих элементов используются для приготовления припоев различных составов и назначения. К тугоплавким относятся титан, ванадий, хром, молибден, вольфрам и некоторые другие элементы. Их используют главным образом в качестве добавок к сталям для улучшения некоторых качественных характеристик.

В технике применяемые материалы принято классифицировать также по их назначению, т.е. по их функциональному применению. По этому признаку различают материалы конструкционные, инструментальные, электротехнические, антифрикционные, рабочие тела и технологические материалы.

Конструкционные материалы должны обладать комплексом свойств, обуславливающих возможность использовать их для изготовления различных изделий, подвергаемых как механическому нагружению, так и иным воздействиям (высоких температур, агрессивных сред и т.п.). Одновременно к этим материалам предъявляют ряд технологических требований, определяющих наименьшую трудоемкость изготовления деталей и конструкций из этих материалов. Кроме того, конструкционные материалы должны иметь желательно невысокую стоимость и быть доступными, поскольку впоследствии это в значительной степени определяет стоимость изготовленного изделия. В качестве конструкционных материалов используются металлы и сплавы, полимеры, резины, древесина, многие композиционные материалы.

Инструментальные материалы отличаются высокими показателями твердости, прочности и износоустойчивости не только при нормальных, но и при более высоких температурах и нагрузках. Эти материалы предназначены для изготовления режущего, измерительного, слесарно-монтажного и другого инструмента. К этим материалам относятся инструментальные стали, твердые сплавы, некоторые виды керамических материалов, природные минералы, многие композиционные материалы и некоторые сверхтвердые синтетические материалы [37,38].

Антифрикционные материалы предназначены для применения в подшипниковых узлах с целью обеспечения по возможности наименьшей скорости изнашивания сопряженной детали – стального вала. Этим обеспечивается заданная работоспособность и ресурс машин и механизмов. Основными критериями для оценки подшипниковых материалов служат коэффициент трения и допустимые нагрузочно-скоростные характеристики. К этим материалам относятся некоторые цветные металлы (баббиты, бронзы), серые чугуны, многие пластмассы и композиционные материалы на их основе, некоторые виды древесины и древесно-слоистых пластиков, а также металлокерамические композиционные материалы (бронзографит, железографит и др.), резины и другие материалы.

Рабочие тела представляют собой газообразные или жидкие материалы, с помощью которых происходит передача или преобразование энергии. Например, водяной пар служит рабочим телом в паровых машинах и турбинах; фреон, аммиак, углекислота в холодильных установках; воздух в пневматических двигателях; газообразные продукты сгорания органического топлива (бензина, соляра) в двигателях внутреннего сгорания и т.п. В ракетной технике рабочим телом принято считать ракетное топливо.

Технологические материалы – это вспомогательные материалы, которые используются для нормального протекания технологических процессов изготовления деталей машин или же для обеспечения нормальной работы машин и механизмов. К этим материалам можно отнести, например, лаки, краски, эмали; клеи и герметики; флюсы и припои; смазочно-охлаждающие жидкости; жидкие масла и консистентные смазки; закалочные среды; консервационные материалы, обеспечивающие защиту изделий от коррозии при хранении и транспортировке; моющие средства; растворители и т.п.

В технике часто группируют материалы по наиболее важным для определенных условий эксплуатации свойствам. В частности, по электропроводимости различают проводники, полупроводники и диэлектрики, по магнитным свойствам – пара- и ферромагнетики; по теплопроводимости – теплоизоляционные материалы, имеющие низкую теплопроводимость. По степени воздействия на материал окружающей среды различают коррозионно - стойкие материалы, не разрушающиеся под действием кислот, щелочей, влаги, атмосферы воздуха; радиационно-стойкие, сохраняющие свою структуру и физико-механические характеристики в результате воздействия ионизирующих излучений.

Следует заметить, что подобная классификация является достаточно условной, поскольку не всегда четко определяет границу между отдельными видами материалов. Тем не менее принятые термины и определения широко используются в технике и в практике машиностроения, строительства и электротехники.

Практическое занятие № 4.1

Тема: **Исследование макроструктуры металлов**

Цель работы: изучение методов исследования макроструктуры сталей и сплавов по шлифам и изломам, приобретение навыков обнаружения дефектов макроструктуры, изучение влияния макроструктуры на свойства сплавов.

Краткие теоретические сведения

Показатели свойств материала в материаловедении связывают с особенностями строения материала [38,39].

Различают макростроение, микростроение и субмикростроение материалов. Соответственно изучение этого строения называется макроанализом, микроанализом, субмикроанализом.

Макроанализ проводится без увеличения или при небольшом увеличении, микроанализ – при увеличении, достигаемом оптическими системами, субмикроанализ - с помощью рентгеновских и электронных микроскопов. Макроанализ: - изучение структуры материалов визуально или с помощью простейших оптических приборов с увеличением до 50 раз. Макроанализ широко применяется в металлургической и машиностроительной промышленности.

Строение металлов, изучаемое при помощи макроскопического анализа (макроанализа) называется макроструктурой.

Макроструктуру изучают на плоских образцах — темплетах, вырезанных из изделия или заготовки, а также на изломах изделия. Для выявления макроструктуры поверхность темплета тщательно шлифуют, затем травят растворами кислот или щелочей.

С помощью макроструктурного анализа определяют: характер излома (хрупкий, вязкий, усталостный); размеры зерна; форму и расположение кристаллитов (зёрен) в разных частях изделия, дефекты, нарушающие сплошность металла: неметаллические включения, волосовины, пористость, рыхлость, раковины, расслоения, флокены, трещины; химическую неоднородность (ликвации): распределение примесей и неметаллических включений в объеме отливки;

Определение вида излома. Излом – поверхность, образующаяся после разрушения образца или изделия(Рис4.5).

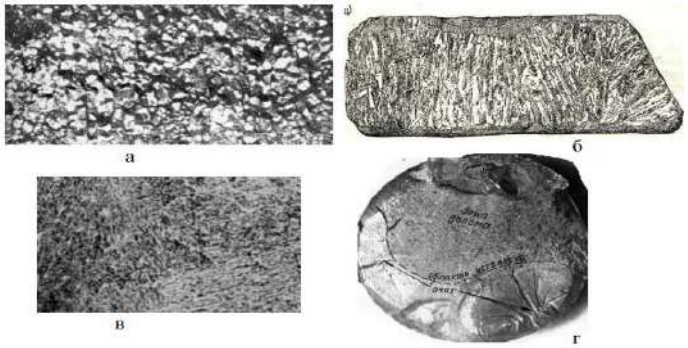
Различают изломы хрупкий (например, у керамики, закаленных сталей); вязкий со следами местной пластической деформации на поверхности излома; усталостный – после разрушения в результате многократного нагружения.

Анализ изломов имеет важное значение при установлении причин аварий и поломок. Макроскопический анализ структуры изломов называется *фрактографией*.

По виду излома можно судить о величине зерна металла или сплава, наличии перегрева, причине разрушения (усталостный излом), о наличии расслоения, рыхлости и др. Изломы бывают кристаллические (зернистые), волокнистые и смешанные, продольные и поперечные [39].

Волокнистый излом имеет место в отожженных доэвтектоидных сталях, а также в сталях, улучшенных термической обработкой (закалка, высокий отпуск). Вязкие изломы не имеют кристаллического блеска, имеют матовый вид, характеризуют доброкачественную структуру металла (Рис.4.5,в).

Хрупкий (кристаллический) излом характеризуется чётко выраженными границами зёрен, без видимых следов их пластической деформации.



а – хрупкий интеркристаллитный, б – хрупкий транскристаллитный, в – вязкий; г – усталостный вязкий (волокнистый) излом

Рисунок 4.5 - Виды изломов

Поверхность излома состоят из множества блестящих площадок. Различают следующие разновидности хрупкого излома: транскристаллический (проходит по телу зерна), межкристаллический (интеркристаллический), крупнозернистый, мелкозернистый, нафталинистый, камневидный, шиферный, усталостный (Рис.4.5, а,б).

Хрупкому разрушению подвержены закаленные стали, чугуны и другие хрупкие материалы. Металл, склонный к хрупкому разрушению, может разрушиться даже под действием небольших внешних сил. Усталостный излом встречается в деталях, работавших при циклических нагрузках (рельсы, оси, валы, шестерни, штоки, клапанные пружины и др.).

На изломе поверхности разграничиваются на очаг разрушения (риски, забоины, трещины, неметаллические, газовые включения), зону постепенного развития усталостной трещины и зону излома (Рис.4.5, г). Процесс разрушения в этом случае обычно начинается у поверхности детали и постепенно распространяется вглубь, давая сглаженную поверхность в местах зарождения трещин. Когда сечение детали значительно ослабевает, в результате увеличения количества микротрещин и роста их протяженности, происходит мгновенное, полное разрушение детали с хрупким строением второй части излома (Рис.4.6)[38].

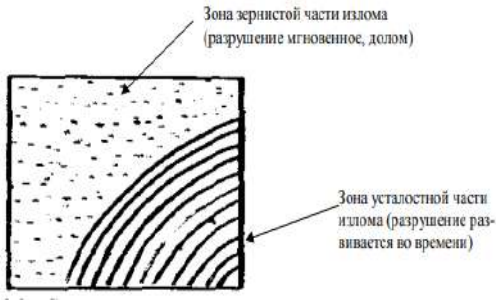


Рисунок 4.6- Схема усталостного излома, прошедшего по шейке коленчатого вала

Если деталь работала при нормальных нагрузках (без перегрузок), и металл обладал достаточно высокой пластичностью, то зона медленного разрушения значительно больше зоны мгновенного разрушения. И наоборот, если работа детали сопровождалась временными перегрузками, или металл имел высокую твердость и низкую вязкость, то зона медленного разрушения занимает малую площадь, а зона мгновенного излома - большую площадь в сечении излома.

Зона зернистой части излома (разрушение мгновенное, долом) Зона усталостной части излома (разрушение развивается во времени) образовалась временными перегрузками, или металл имел высокую твердость и низкую вязкость, то зона медленного разрушения занимает малую площадь, а зона мгновенного излома - большую площадь в сечении излома. Обычно разрушение деталей в результате усталости наблюдается при несовершенстве их геометрической формы (наличие резких переходов от одной поверхности к другой), наличии на поверхности задиров, рисок, царапин, загрязнённости металла неметаллическими включениями.

Определение размера зерна. Большое влияние на свойства металла оказывает размер зерна. Величина зерна зависит от многих факторов: химического состава сплава, условий его кристаллизации, условий последующей пластической деформации (в горячем или в холодном виде), термической обработки. Величина зерен колеблются в широких пределах от долей микрометра до нескольких миллиметров. Размер зерна оценивается баллами (Рис.4.7). Балл зерна прямо пропорционален числу зерен, помещающихся на 1 мм^2 шлифа, и обратно пропорционален среднему диаметру зерна.

Для зерна №1 средний диаметр составляет 0,25 мм, на 1 мм^2 помещается 16 зерен.

Для зерна №6 средний диаметр составляет 0,044 мм, на 1 мм^2 помещается 512 зерен.

Условно принято считать, что металлы с зерном от 1 до 5 балла относятся к крупнозернистым, а с более высоким баллом зерна (№ 6–15) — к мелкозернистым.

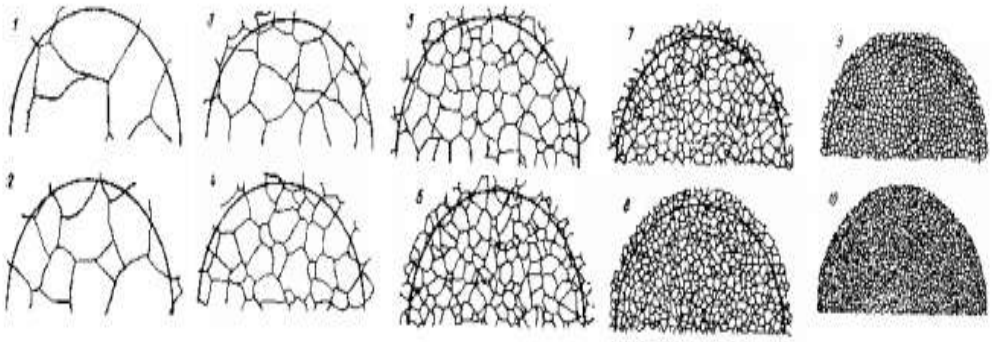


Рисунок 4.7 - Эталонная шкала баллов для оценки размера зерна стали

Физические свойства материала определяются свойствами отдельных зерен, их воздействием друг на друга и свойствами границ зерен. Размер зерен их форма и ориентация существенно влияет на эксплуатационные и технологические свойства металлов. Желательна более мелкая зернистость, так как механические свойства мелкозернистого металла выше, чем крупнозернистого.

Кроме того, мелкозернистые металлы менее хрупки. Крупнозернистый металл имеет низкую сопротивляемость удару, при его обработке резанием трудно получить низкую шероховатость поверхности деталей. Особенно резко величина зерна влияет на сопротивление металла динамическим нагрузкам и на его вязкость. Чем крупнее зерно, тем сплав более хрупкий. Хрупкость металла может явиться причиной разрушения деталей машин и конструкций в процессе их эксплуатации [37,38].

При ускоренном охлаждении жидкого металла или при введении в жидкий металл специальных присадок – модификаторов, структура получается мелкозернистой. При последующем высокотемпературном и длительном нагреве металла, зерна могут увеличиваться до значительных размеров. Пластическая деформация (прокатка, ковка, штамповка), термическая обработка (отжиг, нормализация, закал).

Исходное $t=850^0C$, $\tau=1$ час; $t=1200\ ^0C$, $\tau=10$ час; $t=1200^0C$, $\tau=1$ час; $t=1200^0C$; $\tau=10$ час, могут вернуть сплаву мелкозернистое строение, разрушить крупное зерно, не нарушая сплошности металла (Рис.4.8).

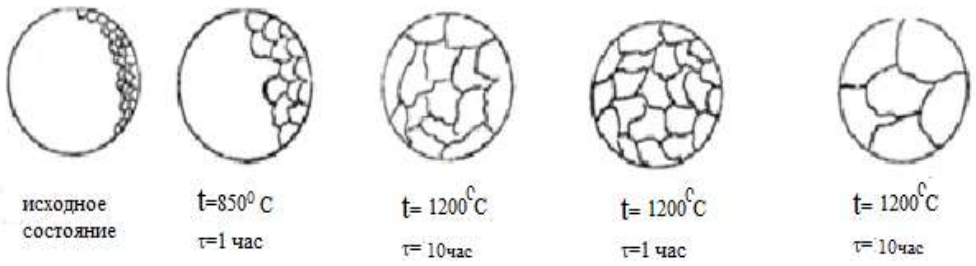


Рисунок 4.8 - Схема роста зерна в сталях

Оценка качества металла методом глубокого травления. Для выявления в металле различных металлургических дефектов, нарушающих

сплошность металла, а также для выявления строения металла (дендритное или волокнистое) применяется метод глубокого травления.

Сущность метода заключается в том, что из определенного места слитки, заготовки или детали вырезается темплет, который шлифуется и травится специальный реактивом.

В результате разной скорости растворения в кислотном растворе здоровых и дефектных участков металла, а также участков металла, имеющих разную структуру и химический состав, на плоскости разреза отчётливо все дефекты металла и особенности его макроструктуры. Например, травление поперечного среза сварного шва дает возможность выявить места непровара, пузыри, зону термического влияния, трещины и т.п (Рис.4.9).



Рисунок 4.9 – Макроструктура сварного шва

При травлении продольного и поперечного сечения слитка выявляется расположение и размеры кристаллов дендритов в центре и на периферии. При соприкосновении жидкого металла со стенками изложницы 1 (Рис.4.10) в начальный момент образуется зона мелких равноосных кристаллов 2.

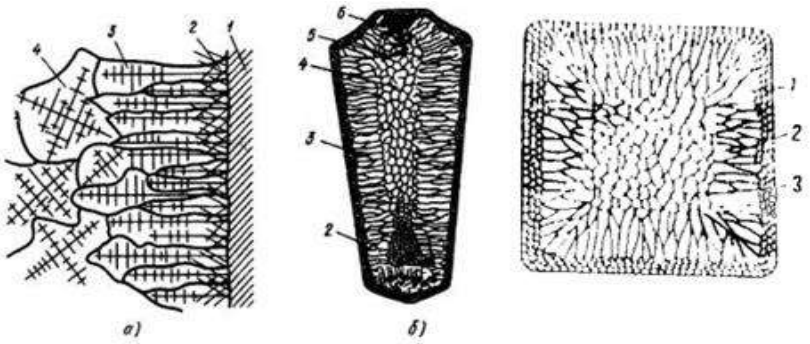
Так как объем твердого металла меньше жидкого, между стенкой изложницы и застывшим металлом образуется воздушная прослойка и сама стенка нагревается от соприкосновения с металлом, поэтому скорость охлаждения металла, снижается, и кристаллы растут в направлении отвода теплоты. При этом образуется зона 3, состоящая из древовидных или столбчатых кристаллов.

Во внутренней зоне слитка 4 образуются равноосные, неориентированные кристаллы больших размеров в результате замедленного охлаждения. В верхней части слитка, которая затвердела в последнюю очередь, образуется усадочная раковина 6 вследствие уменьшения объема металла при охлаждении.

Под усадочной раковиной металл в зоне 5 получается рыхлым из-за большого количества усадочных пор [38,39].Для получения изделий используют только центральную часть слитка, удаляя усадочную раковину и рыхлый металл для последующего переплава.

Неметаллические включения.

К неметаллическим включениям относятся примеси, попадающие в металл в процессе его выплавки, например, MgS, FeS, SiO2, Al2O3 и другие.



а - расположение дендритов в наружных частях слитка, б - строение слитка; 1- стенки изложницы, 2 - мелкие равноосные кристаллы, 3 - древовидные кристаллы, 4 - равноосные неориентированные кристаллы больших размеров, 5 – усадочная пористость, 6 - усадочная раковина

Рисунок 4.10 - Макростроение слитка

Неметаллические включения могут быть пластичными и при деформации металла принимать нитевидную форму, как, например MgS (сульфид марганца) (Рис. 4.11,а), или хрупкими, которые при деформации металла разрушаются, не деформируясь, и располагаются в виде цепочек, как, например А12О3 (окись алюминия) (Рис.4.11,б).

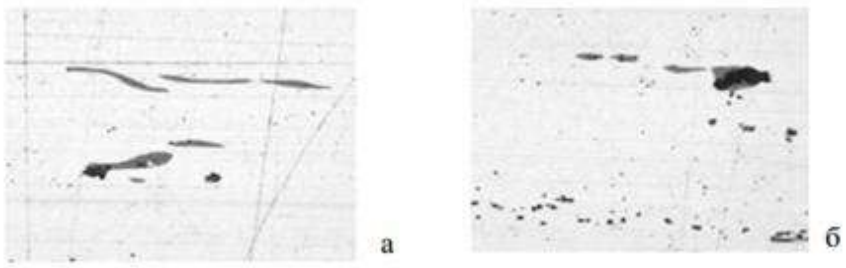


Рисунок 4. 11 - Примеры образцов стали с неметаллическими включениями (оксидами и сульфидами)

Неметаллические включения нарушают сплошность металла. Чем острее форма включения, тем большая опасность возникновения в этих местах высоких напряжений. При значительных переменных нагрузках эти места могут явиться началом возникновения усталостной трещины.

Неметаллические включения часто могут быть выявлены на магнитных дефектоскопах лишь после окончательной обработки деталей.

Пористость. Пористость обнаруживается в виде точечных пустот, как результат наличия в стали газовых пузырей, которые образовываются в процессе кристаллизации металла, насыщенного различными газами (кислородом, азотом, водородом).

Газы могут равномерно распределяться по всему объёму металла, заполняя различные несплошности (Рис.4.12,а) (так называемая рассеянная пористость), или концентрироваться в подкорковой зоне металла (Рис.4.12,б). Пористость, уменьшая плотность металла, понижает характеристики его

механических свойств (твёрдость, предел прочности, предел текучести, относительное удлинение, ударную вязкость).

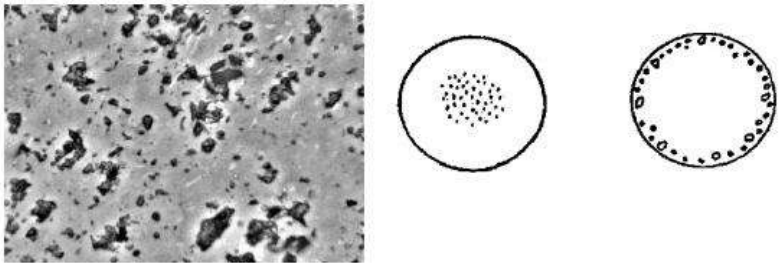


Рисунок 4.12 - Пористость в структуре стали

Флокены - внутренние трещины в стальных поковках и прокатной продукции (иногда в слитках и отливках). Причиной возникновения флокенов являются выделения из стали водорода, растворившегося в ней процессе выплавки (водород попадает в сталь из шихта, из печных газов). На темплетах флокены выявляются в виде тонких волосных трещин, а в изломе закаленных образцов представляют собой овальные серебристо-белые пятна (Рис.4.13).

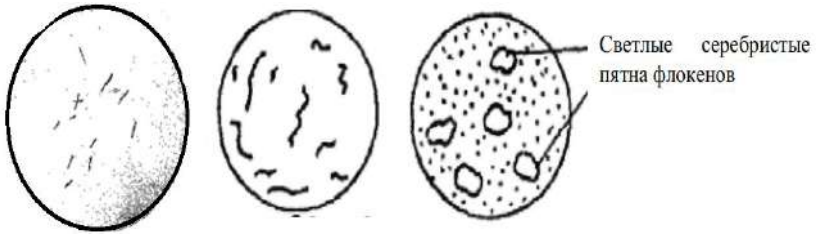


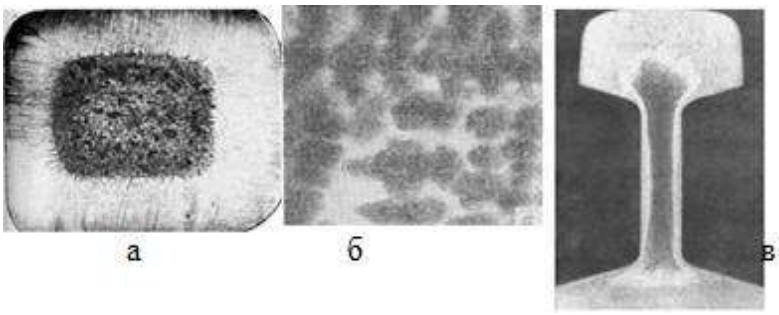
Рисунок 4.13- Флокены в стали

Флокены понижают пластичность и вязкость стали, сокращают срок службы изделий и приводят к неожиданным авариям. Способы борьбы с флокенами: вакуумирование жидкой стали, при котором содержание водорода снижается до безопасного уровня, а также длительный, изотермический (обезводороживающий) отжиг заготовок или изделий при $(650\text{-}750)^0$С. Растворимость водорода в стали уменьшается с понижением её температуры. Если охлаждение после прокатки или ковки происходит медленно, то водород успевает продиффундировать и удалиться в атмосферу [38,39].

Химическая неоднородность (ликвация)

Ликвация - неоднородность сплава по химическому составу, структуре и неметаллическим включениям, образующаяся при кристаллизации слитка, отливки. Ликвация возникает в результате того, что сплавы, в отличие от чистых металлов, кристаллизуются не при одной температуре, а в интервале температур. При этом состав кристаллов, образующихся в начале затвердевания, может существенно отличаться от состава последних порций кристаллизующегося маточного раствора. Чем

шире температурный интервал кристаллизации сплава, тем большее развитие получает ликвация, причем наибольшую склонность к ней проявляют те компоненты сплава, которые наиболее сильно влияют на ширину интервала кристаллизации (для стали, например, S, P, C, O) (Рис.4.14). Ликвация ухудшает механические свойства сплавов, делает их неоднородными по сечению слитка.



а – зональная ликвация фосфора и серы, б – дендритная ликвация,
в – зональная ликвация серы

Рисунок 4.14 - Химическая неоднородность стали (ликвация)

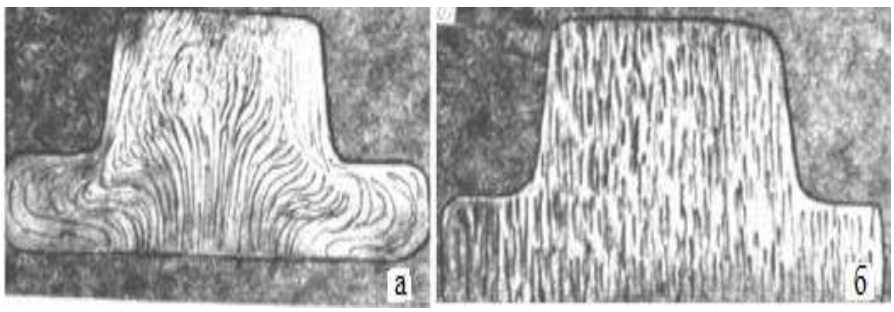
Ликвация может быть зональной или дендритной. Зональная ликвация является следствием неравномерного распределения химических элементов по сечению слитка или проката (Рис.4.14, а). Дендритная ликвация происходит в пределах отдельных кристалликов как результат разной растворимости того или иного элемента в твёрдой фазе (Рис.4.14, б).

Сера и фосфор являются вредными примесями, увеличение их содержания приводитк охрупчиванию металла. В ряде случаев, при общем небольшой количестве, сера и фосфор могут концентрироваться в отдельных зонах сечения и достигать опасных пределов (Рис.4.14, в).

Волокнистая структура. Волокнистая структура обнаруживается в металле, подвергнутом пластической деформации (прокатке, ковке, штамповке) (Рис.4.15). В процессе деформации, например, прокатки, литой металл деформируется в определённом направлении.

Порядок выполнения работы

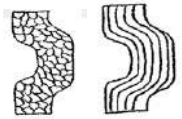
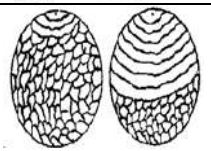
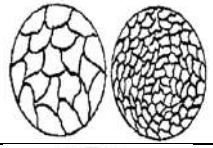
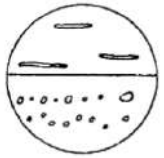
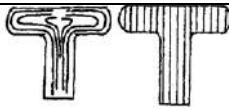
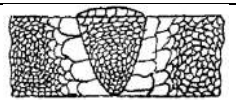
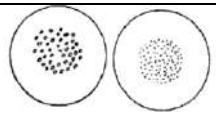
Преподаватель дает задания из количества рекомендованных (таблица 4.1). [39].По окончании выполненной работы пишете вывод о проделанной работе



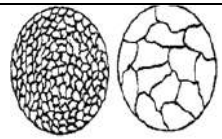
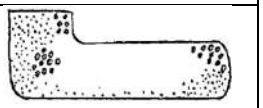
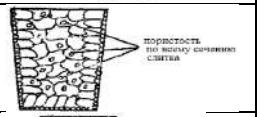
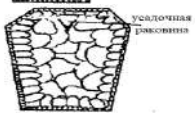
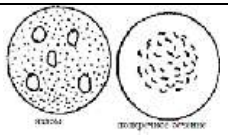
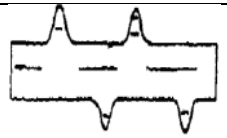
а-ковка, б-обработка резанием

Рисунок 4.15- Микроструктура деталей, изготовленных

Таблица 4.1-Задания по вариантам с контрольными вопросами

№	Задание	Контрольные вопросы	Рисунки
1	2	3	4
1	Даны макроструктуры двух коленчатых валов на рисунке. Опишите макроструктуры, указанные на рисунках.	1.Какими способами получены коленчатые валы с данными макроструктурами? 2.Какими методами выявляют макроструктуру материала?	
2	Два коленчатых вала разрушились в процессе эксплуатации в области шатунных шеек. Опишите вид и строение изломов. Опишите характер нагружения коленчатых валов.	Каковы причины их разрушения при эксплуатации?	
3	Две одинаковые детали из алюминиевого сплава (силумина) были отлиты в землю и кокиль. Опишите влияние скорости кристаллизации на величину зерна	1. Как отражается на величине зерна количество центров кристаллизации, зарождающихся в единице объёма в единицу времени. 2. Что такое модифицирование и каково его влияние на величину зерна.	
4	Неметаллические включения располагаются в виде тонких вытянутых линз или округлых разрозненных включений	1.Какие виды неметаллических включений встречаются в сталях? 2. Каковы причины их попадания в металл? 3. Как влияют неметаллических включений на механические свойства? 4. Как уменьшить количество неметаллических включений в металле?	
5	Два стальных болта изготовлены из проката штамповкой и обработкой резанием	1.Какой болт изготовлен штамповкой, а какой обработкой резанием? 2. Какой из болтов имеет более однородные механические свойства (ударную вязкость) в продольном и поперечном направлениях?	
6	Сварной шов после сварки плавящимся электродом приобрёл макроструктуру, указанную на рисунке. Опишите макроструктуру шва и околошовной зоны.	1.Укажите причину неоднородного строения шва и околошовной зоны.	
7	На рисунке приведены образцы, вырезанные из двух прокатанных прутков, имеющих различную ликвацию по сере.	1.Что такое ликвация, виды ликвации? 2. Какие компоненты наиболее склонны к ликвации? 3. Какими методами можно выявить ликвацию серы? 4. Как влияет ликвация на механические свойства?	

Продолжение таблицы4.1

1	2	3	4
8	Качество нагрева металла под штамповку контролируется по излому. а) опишите изображенные на рисунках изломы и укажите основные факторы, влияющие на рост зерна; б) опишите влияние температуры нагрева на размер зерна; в) опишите влияние времени нагрева на размер зерна; г)опишите влияние химического состава на размер зерна.	1. Что таукое излом? 2. Опишите виды изломов. 3. Какой излом не имеет блеска? 4.Назовите разновидности хрупкого излома.	
9	В стальных деталях после отливки их в земляную форму была обнаружена повышенная пористость. .Опишите возможные причины образования пористости в литых деталях.	1. Как влияет пористость на свойства отливок? 2. Какими способами можно предупредить образования пористости?	
10	Стальной слиток после полного охлаждения имеет макроструктуру, указанную на рисунке. Опишите макроструктуру стального слитка.	1. Что такое зональная и дендритная ликвации? 2. Как влияет ликвация на свойства материала?	
11	Стальной слиток после полного охлаждения имеет макроструктуру, указанную на рисунке. Опишите макроструктуру стального слитка.	1. Что такое зональная и дендритная ликвации? 2. Каковы причины образования пористости по всему сечению слитка? Как этого избежать?	
12	Стальной слиток после полного охлаждения имеет макроструктуру, указанную на рисунке. Опишите м акроструктуру стального слитка.	1. Что такое зональная и дендритная ликвации? 2. Каковы причины образования усадочной раковины? Как этого избежать?	
13	В изломе хромоникелевой стали видны своеобразные белые (серебряные) пятна, в поперечном сечении на макрошлифе указанные дефекты выявляются в виде извилистых трещин, различной протяжённости	1.Как называется изображённый на рисунках дефект, причины возникновения дефекта. 2.Меры, применяемые для предупреждения дефекта.	
14	Заготовки кулачковых валиков получаются штамповкой. После механической обработки на валике и кулачках были выявлены прямолинейные трещины различной протяженности	1. Как называется такой дефект и каковы причины его возникновения? 2. В чём заключается опасность дефекта? 3. Каковы методы борьбы и методы выявления дефекта?	

Практическое занятие № 4.2

Тема: **Изучение маркировка конструкционных материалов**

Цель работы: изучение принципов маркировки различных конструкционных материалов и приобретение навыков в расшифровке марок различных материалов.

Краткие теоретические сведения

Маркировка сталей. В Казахстане принята буквенно-цифровая маркировка конструкционных материалов. Входящие в состав сплава химические элементы обозначаются русскими буквами, цифра после буквы показывает процентное содержание этого элемента в сплаве.

Маркировка углеродистых сталей. Углеродистые конструкционные стали по качеству (в зависимости от содержания вредных примесей) подразделяют на две группы: стали обыкновенного качества и качественные стали[39].

Маркировка углеродистых сталей обыкновенного качества начинается с букв «Ст», после которых стоит цифра от 0 до 6. Например: Ст2кп, БСт3кп, ВСт3пс, ВСт4. Ст – индекс данной группы стали. Цифры от 0 до 6 - это условный номер марки стали. Условный номер не связан с химическим составом стали. С увеличением номера возрастает прочность и снижается пластичность стали.

В зависимости от способа раскисления стали могут быть спокойными (сп), полуспокоиными (пс) и кипящими (кп). Допускается в спокойных сталях буквы (сп) не писать. Перед обозначением «Ст» могут стоять буква **А**, **Б** и **В**.

Для сталей группы **А** при поставке гарантируется соответствие механических свойств по ГОСТу380-2005, в обозначении индекс группы **А** не указывается.

Для сталей группы **Б** гарантируется соответствие химическому составу, приведенному в ГОСТе380-2005, механические свойства в этом случае не регламентируются.

Для сталей группы **В** при поставке гарантируются точное соответствие и механических свойств, и химического состава. Примеры маркировки: ВСт4 – сталь углеродистая обыкновенного качества, спокойная, с гарантированным соответствием ГОСТом380-2005 химического состава и механических свойств; СТ5кп - сталь углеродистая обыкновенного качества, кипящая, с гарантированным соответствием ГОСТом ОК4804 механических свойств.

Качественные углеродистые конструкционные стали. В маркировке углеродистых сталей повышенного качества указывается слово «сталь» и двухзначное число, указывающее среднее содержание углерода в сотых долях процента. Кроме этого указывается степень раскисления, если сталь отличается от спокойной.

Стали с содержанием углерода до 0,25% могут поставляться спокойными (сп), полуспокойными (пс) и кипящими (кп).

Стали с содержанием углерода больше 0,25% поставляются только спокойными.

Качественные стали поставляют только группы В - с гарантированными механическими свойствами и химическим составом, поэтому в обозначении не указывается [39].

Буква **Г** в маркировке обозначает, что сталь имеет повышенное содержание марганца (до 1,2%).

Буква **Л** в конце марки обозначает, что сталь предназначена для получения отливок. Примеры маркировки: Сталь 15кп - углеродистая конструкционная качественная сталь с содержанием 0,15% углерода, 99,85% железа, кипящая; Сталь 30Л - углеродистая конструкционная качественная сталь с содержанием углерода 0,30%, 99,7% железа, спокойная, применяется для деталей получаемых методом литья; Сталь 30Г - углеродистая конструкционная качественная сталь с содержанием углерода 0,30%, спокойная, содержащая повышенное количество марганца; Сталь 45 - углеродистая конструкционная качественная сталь с содержанием углерода 0,45%, остальное – железо, спокойная.

Маркировка легированных конструкционных сталей. Конструкционные легированные стали применяются для ответственных деталей машин и металлических конструкций.

Принята буквенно-цифровая система маркировки легированных сталей. Основные легирующие элементы обозначают буквами: Х – хром Т – титан Г – марганец К – кобальт Н – никель Б – ниобий М – молибден С – кремний Ю – алюминий Ц – цирконий В – вольфрам Р – бор Ф – ванадий А (в середине) – азот Д – медь П - фосфор Маркировка начинается с двухзначного числа, показывающего содержание углерода в сотых долях процента. Если в начале цифр нет, то содержание углерода около 1%. Далее перечисляются легирующие элементы. Число, следующее за условным обозначением элемента, показывает его содержание в процентах. Если число не стоит, то содержание этого легирующего элемента не превышает 1,5 %.

Буква «А» в конце маркировки указывает, что сталь относится к категории высококачественных (30ХГСА), если буква «А» находится в середине маркировки - то сталь легирована азотом (16Г2АФ), в начале маркировки буква «А» указывает на то, что сталь автоматная с повышенной обрабатываемости резанием (А35Г2).

Эти стали имеют повышенное содержание серы. Индекс «АС» в начале маркировки указывает, что автоматная сталь дополнительно содержит свинец. Особо качественные стали, подвергнутые электрошлаковому переплаву, обеспечивающему очистку от сульфидов, оксидов и других примесей, обозначают добавлением в конце маркировки через дефис буквы «Ш». Примеры маркировки: 45ХН2МФ - конструкционная сталь, содержащая: 0,42-0,50%C; 0,5-0,8% Mn; 0,8-1,0 % Cr; 1,3-1,8 % Ni; 0,2-0,3 % Mo; и 0,10-0,18 % V, остальное - железо. Г13 - конструкционная сталь, содержащая: 1% С, 13% Мп, остальное - железо. 15Х25Н19ВС2-

конструкционная сталь, содержащая: 0,15%C, 25%Cr, 19%Ni, до 1,5%W, до 2 % Si, остальное - железо. 20ХГНТР-Ш высококачественная сталь после ЭШП, содержащая 0,2%C, по 1% хрома, марганца, никеля, титана, бора, остальное - железо.

Маркировка шарикоподшипниковых сталей. Стали, предназначенные для изготовления подшипников качения, обозначаются буквами «ШХ» и цифрой. Буквы означают «Ш» - шарикоподшипниковая, «Х» – хромистая. Цифра после буквы «Х» указывает содержание хрома в десятых долях процента. Содержание углерода в подшипниковых сталях составляет около 1%.

С увеличением содержания хрома и легирующих элементов увеличивается глубина прокаливаемости, то есть увеличивается возможность изготовления деталей большего размера с обеспечением заданных свойств. Примеры маркировки: 9 ШХ6 - шарикоподшипниковая сталь, содержащая 1% углерода и 0,6% хрома; ШХ15СГ - шарикоподшипниковая сталь; содержащая 1% углерода, 1,5% хрома, кремния и марганца до 1%, остальное - железо.

Маркировка порошковых сталей. Маркировка сталей, полученных методом порошковой металлургии, начинается с букв СП – сталь порошковая. Первая цифра после букв «СП», как и в случае конструкционных с талей, показывает среднее содержание углерода в сотых долях процента. Последующие буквы обозначают легирующие элементы, а цифры после них - их среднее содержание в процентах (отсутствие цифры означает, что содержание соответствующего элемента ≈1 %). В конце марки через тире указывается плотность материала в г/см 3. Пример маркировки: СП40ХН3М-3 - сталь порошковая, содержащая: 0,35-0,45%C; 0,8-1,1%Cг; 2,5- 3,5%Ni; 0,3-0,6%Mo, остальное - железо; плотность около 3 г/см3.

Маркировка чугунов. Чугун маркируется буквами, показывающими основной характер или назначение чугуна, и цифрами, соответствующими минимальному значению временного сопротивления при растяжении σв в МПа/10. Для антифрикционного чугун в начале маркировки указывается буква «А» (АСЧ, АВЧ, АКЧ). 1.4.1

Маркировка серых чугунов. Серый чугун маркируется буквами «СЧ» и цифрами, соответствующими минимальному значению временного сопротивления при растяжении σв в МПа/10. Наибольшее распространение получили чугуны марок: СЧ12; СЧ15; СЧ18; СЧ21; СЧ24; СЧ28; СЧ32; СЧ38. Прочность серых чугунов всех марок при сжатии значительно превышает прочность при растяжении. Например, для чугуна марки СЧ 24, имеющего предел прочности при растяжении 240 МПа, предел прочности при сжатии составляет 850 МПа. Пример маркировки: СЧ10 - серый чугун с пластинчатым графитом, временное сопротивление при испытаниях на растяжение σв=100 МПа;

Маркировка высокопрочных чугунов. Высокопрочные чугуны маркируют буквами «ВЧ» и цифрами, которые характеризует временное

сопротивление чугуна при растяжении $\sigma_в$ в МПа/10. Пример маркировки: ВЧ70 - высокопрочный чугун с шаровидным графитом с пределом прочности на рас- 10 тяжение $\sigma_в$=700 МПа; ВЧ35 - высокопрочный чугун, временное сопротивление растяжению $\sigma_в$=350 Мпа.

Маркировка ковких чугунов. Ковкие чугуны маркируют буквами «КЧ» и цифрами, обозначающими временные сопротивления при растяжении σв в МПа/10 и относительное удлинение δ в %. Пример маркировки: КЧ33-8 - ковкий чугун с хлопьевидным графитом, временное сопротивление растяжению σв=330 МПа, относительное удлинение δ=8%.

Маркировка антифрикционных чугунов. Для работы в узлах трения со смазкой применяют отливки из антифрикционного чугуна АЧС-1, АЧС-6, АЧВ-2, АЧК-2 и др., что расшифровывается следующим образом: АЧ - антифрикционный чугун: С- серый, В - высокопрочный, К - ковкий. Цифры обозначают порядковый номер сплава согласно ГОСТу 1585-79.

Маркировка легированных чугунов. Легированные чугуны маркируют аналогично сталям буквами и цифрами. Маркировка начинается с буквы Ч – чугун. Остальные буквы указывают содержание легирующих элементов в процентах. При содержании легирующего элемента менее 1,0% цифры за соответствующей буквой не ставятся. Условное обозначение химических элементов такое же, как и при обозначении сталей. Пример маркировки: ЧН19ХЗ — чугун, содержащий 19% Ni и 3% Cr, остальное - железо. Если в легированном чугуне регламентируется шаровидная форма графита, в конце марки добавляется буква «Ш» (ЧН19ХЗШ). Технически чистая медь маркируется: М00 (99,99 % Cu), М0 (99,95 % Cu), М2, М3 и М4 (99 % Cu).

Маркировка латуни. Двойные или многокомпонентные сплавы на основе меди, где основным легирующим элементом является цинк, называются латунями. Обозначают начальной буквой сплава Л - латунь, после чего следуют первые буквы основных элементов, образующих сплав и цифры, которые показывают содержание элементов в целых процентах. В латунях не указывается содержание цинка (цинкостальное). Основные легирующие элементы в латунях обозначают следующими буквами: 11 О – олово; Ж - железо; Мц – маргане; А –алюминий; Ф – фосфор; Б – бериллий; С – свинец; Х – хром; Н – никель; К – кремний. Латуни делятся на деформируемые и литейные.

В маркировке деформируемой латуни сначала перечисляются все буквы, а потом все цифры через дефис и не указывается содержание цинка (цинк-остальное).

В маркировке литейной латуни после буквенного обозначения легирующего элемента ставится цифра, указывающая его усредненное содержание в сплаве, остальное -медь. Примеры маркировки: Л62 - латунь деформируемая, содержащая меди 62%, остальное - цинк; ЛЖМц59-1-1 - деформируемая латунь, содержащая 59% Cu, 1% Fe, 1% Mn, остальное цинк. ЛАЖ60-1-1 деформируемая латунь содержит 60 % Cu, 1 % Al, 1 % Fe и 38 %

Zn. ЛЦ23А6Ж3Мц2 литейная латунь содержит 23 % Zn, 6 % Al, 3 % Fe, 2 % Mn, остальное - медь.

Маркировка бронзы. Бронзы - сплавы меди с другими элементами (алюминием, свинцом, бериллием, кремнием и т.д.). Элементы обозначаются такими же буквами, как в латунях. Бронзы маркируют буквами Бр, цифры за буквами указывают содержание легирующих элементов. В бронзах не указывается содержание меди (медь - остальное). Бронзы подразделяются на деформируемые и литейные.

При маркировке деформируемых бронз на первом месте ставятся буквы Бр, затем перечисляются буквы, указывающие, какие элементы, кроме меди, входят в состав сплава. После букв идут цифры через дефис, показывающие содержание этих элементов в сплаве.

Маркировка литейных бронз также начинается с букв Бр, но цифры, указывающие содержание легирующих элементов в сплаве, ставятся непосредственно после соответствующей буквы.

Примеры маркировки: БрОФ10-1 – оловянистая деформируемая бронза содержит 10 % олова, 1 % фосфора, остальное – медь. БрКМц3-1 – кремнистая деформируемая бронза, содержащая 3% кремния и 1% марганца, остальное – медь. БрО4Ц4С17 - литейная оловянистая бронза содержит 4 % олова, 4 % цинка, 17 % 12 свинца, остальное – медь. БрС30 - свинцовая литейная бронза содержит 30% свинца, остальное - медь.

Некоторые бронзы имеют специальные названия: БрН20 - мельхиор (20% Ni, 80% Cu), БрН40 - константан (40% Ni, 60% Cu).

Маркировка сплавов алюминия Алюминий высокой чистоты маркируется А99 (99,99 % Al), А8, А7, А6, А5, А0 (содержание алюминия от 99,85 % до 99,0 %). Сплавы на основе алюминия бывают деформируемыми и литейными. Основной легирующий элемент литейных сплавов - кремний (Si) и называются они силуминами.

Деформируемые сплавы бывают ковкими - обозначаются (АК) и обработанные прокаткой или волочением дуралюмины (Д). В маркировке сплава после букв следует условный номер сплава. Примеры маркировки: АЛ-2 - литейный алюминиевый сплав силумин; Д16 - деформируемый алюминиевый сплав дуралюмин; АК5 - деформируемый алюминиевый сплав для ковки (алюминий ковочный).

Сплавы алюминия с повышенным содержанием марганца или магния обозначают, соответственно, АМц, АМг; после обозначения элемента указывается содержание легирующего элемента (АМг3 – алюминий с содержанием марганца 3%).

Маркировка порошковых конструкционных материалов на основе цветных металлов. Марки порошковых конструкционных материалов на основе цветных металлов обозначают буквами и цифрами. Первый буквенный индекс обозначает тип материалов: Ал - алюминий, Бе - бериллий, Бр - бронза, Л - латунь, В - вольфрам, Г - марганец, Д - медь, Ж - железо, М - молибден, Мг-магний, Н - никель, 0 - олово, С - кремний, Св -

свинец, Ср - серебро, Т - титан, Ф - ванадий, Х - хром, Ц - цинк, Цр - цирконий. Второй индекс «П» указывает, что материал получен методом порошковой металлургии. Следующие после него буквы и цифры обозначают легирующие элементы в целых процентах. Цифра в конце марки после тире, как и для черных металлов, обозначает группу пористости материала г/см 3.

Примеры маркировки: АлПМг6Г4-4 - конструкционный материал из порошка алюминия с содержанием магния 6%, марганца 4%, имеющий четвертую группу пористости (плотность 4 13 г/см3); БрПО-4 - конструкционный материал из порошка бронзы, содержащий олова 4%, меди 96%, имеющий четвертую группу пористости (плотность 4 г/см3); ЛП80-4 - конструкционный материал из порошка латуни, содержащий меди 80%, цинка 20%, имеющий четвертую группу пористости (плотность 4 г/см3); ТПАл6М2-4 - конструкционный материал из порошка титана, содержащий алюминия 6%, молибдена 2%, остальное - титан, имеющий четвертую группу пористости (плотность 4 г/см3); ЖГр0,4Д4НЗ-7,3 - конструкционный порошковый материал на основе порошка железа (Ж), содержащий 0,4% графита, 4% меди, 3% никеля и имеющий плотность 7,3 г/см3.

Порядок выполнения работы

1.Ознакомиться с принципами маркировки различных классов конструкционных материалов [39].

2.Для своего варианта расшифровать приведенные в задании марки конструкционных материалов.

3.Задание для самостоятельного выполнения Расшифруйте следующие марки конструкционных материалов:

Вариант 1. Сталь 08кп, 12ХН, 15Х2МА, 35ХГЛ, ШХ4-Ш, Х18Н10Т, 40Г2, 38Х2МЮА, 55С2, ШХ15, 08Х16Н13М2, Л70, ЛАЖ60-1-1, ЛЖС58-1-1, ЛС74-3, ЛЦ40Мц3А, ЛЦ35НЖА, МНЦС16-29-1,8, БрОЦ4-4, БрО19, БрО10Ц2, БрАЖМц10-3-1,5, СЧ30, СЧ38, ВЧ70, КЧ65-3, ЧХ32, ЧНХТ, ЧС5, КЧ45-6 БрО3Ц12С5.

Вариант 2. Сталь 20, 18ХГ-Ш, А12, 16Х18Н12С4Л, 09Г2, 17ГС18Х2Н4МА, 30Х, 9Х16, ШХ15, 12Х18Н9, 40Х10С2М, 50ХН, 35ГЛ, 20Х13Л, Л75, ЛА85-0.5, ЛЦ30А3, ЛЦ35Н2Ж, ЛЦ36Мц20О2С2, ЛЦ16К4, ЛЦ40Мц3Ж, БрО3Ц7С5Н, БрОФ6,5-0,4, СЧ24, ВЧ100, АЧС-4, ЧС17, ЧН15Д7Х2, КЧ60-3, ЧХ3. БрО4Ц4С17.

Вариант 3. Сталь 60, 20ХГНТР-Ш, 20Г1ФЛ, ШХ20СГ, А20, 08Х19Н10Т, 03Н18К9М5Т38ХА, 20ХН, 34ХНМ, 70С2ХА, 10ХН13М3Т, 9Х, 35Л, 20ГСЛ, 20ХМФЛ, Л60, ЛОМн72-2- 2, ЛЦ40АЖ, ЛС59-1. БрОФ7-0.2. БрО8Н4Ц2. БрО5Ц5С2, МНЦ15-20, СЧ18; СЧ12; ВЧ50, АСЧ-4, КЧ30-6. ЧЮ22-Ш, ЧХ2.

Вариант 4. Сталь 45, 12Х2Н4А, 15Л, А40Г, ШХ15, 30Х3МФ, 09Х16Н4Б, 18Г2АФ, 30Х3МФ, 38ХН3МА, 110Г13Л, 08Х15Н4ДМЛ, 20Л,

4Х5МФС, Л96, ЛН65-5, ЛА77-2, ЛО60-1, ЛЦ14К3С3, БрО3Ц12С5, БрАЖ9-4, МН19, МНЖМц30-1-1, СЧ20, СЧ32; ВЧ45, АСЧ3, ЧС5-Ш, КЧ37-12, КЧ50-4.

Вариант 5. Сталь 15, 06Х16Н15М3Б-Ш, 15Х, 12ХН3А, 30ХН2МА, 08Х14НДЛ, 20Х25Н20С2, ШХ4-Ш, 20ГСЛ, 65С2ВА, 3Х3М3Ф, 30ХМА, ШХ20СГ, ШХ15, 15Л, ЛЖМц59-1-1, 14 ЛО90-1, ЛО63-3, ЛЦ23А6Ж3Мц2, БрА7, БрО8С12, СЧ28, СЧ10, ВЧ40, ЧХ12, ВЧ30, КЧ30-6, ЧХ3, ЧН15Д7Х2, ЧС5.

Вариант 6 Ст6пс, 12Х3НА, 30ХН24ФА, 30ХН2МФА, 15ХФ, 20Х2Н4А, ШХ15СГ, 45Х, 25Г, 15ХРА, МНЦ12-24, БрНХК2,5-0,7-0,6, МНЖКТ5-1-0,2-0,2, БрХ, МН25, КЧ33-8, ЧХ12М, ЧХ18НМ, КЧ55-4, АЧВ-1, АЧК-2, СЧ18, ВЧ100, ЧН2Х, 20Х20Н14С2, Л96, БрО5Ц5С2, ЛАЖ60-1-1, ШХ4-Ш, ЛО60-1.

Контрольные вопросы

1.С какой буквы начинается маркировка углеродистых сталей обыкновенного качества?

2.На что указывает буква Г в маркировке стали?

3.В каких случаях в маркировке чугуна в начале указывается буква «А»?

4.Как обозначаются марки сплавов алюминия с повышенным содержанием марганца и магния?

5.Как обозначают основные легирующие элементы в латунях?

Практическая работа №4.3

Тема: **«Определение маркировки, свойств и характеристик электротехнических материалов проводов и кабелей»**

Цель: научиться применять полученные знания о проводниковых материалах при расшифровке марок монтажных проводов

Оборудование и материалы: образцы проводов различных марок

Краткие теоретические сведения

Силовые кабели удобно классифицироваться по номинальному напряжению, на которые они рассчитаны. Классификационными признаками могут служить также вид изоляции и конструктивные особенности кабелей.

Кабели с пластмассовой изоляцией более просты в изготовлении, удобны при монтаже и эксплуатации [38].

На рисунке 4.16 представлены кабели различных групп в разрезе.



Рисунок 4.16 - Кабели различных групп в разрезе

В ассортименте кабельно-проводниковой продукции имеются также провода [39]. Чем они отличаются от кабеля? Как правило, они имеют меньшее сечение, могут быть в изоляции или без нее. Есть провода, состоящие из одной жилы, есть - из нескольких.

Провод имеет меньшее сечение жил, обычно мягкий. Поэтому, чтобы по названию можно было отличить их от кабелей, в названии в начале маркировки ставят букву «П». Она стоит на первом месте, если жилы медные и их обозначение просто не ставится (пример 1), или на втором месте, если жилы из алюминия и обозначаются буквой А (пример 2).

1. ПБППГ - провод (П), бытового и промышленного назначения (БП), плоской формы (П), гибкий (Г).

2. АППВ - алюминиевые проводники (А), провод плоский (ПП), в ПВХ оболочке.

Маркировка проводов разного назначения.

Провода могут быть двух сечений[38]:

- круглые — в маркировке это никак не отображается:
- плоские, тогда ставится буква П.

С плёночной и волокнистой изоляцией монтажные провода предназначены для электроустановок напряжением 220 или 127 В (провод марки МГШ - 24 В). Универсального монтажного провода не существует.

Расшифровка в маркировке монтажных проводов

Провода с изоляцией из ПВХ (в маркировке обозначаются буквой В) предназначены для работы при температуре не выше 70°С, из сшитого полиэтилена (Пв) - до 100°С. Для работы в среде, нагреваемой до температуры 200°С применяют провода типа МС и МГТФ.

Выбор монтажных проводов. В подавляющем большинстве случаев используется монтажный провод типа МГТФ, т.к. он более надежный и не плавится при случайном касании паяльником.

Порядок выполнения работы

1.Расшифруйте предложенные марки проводов и определите область их применения. Данные занесите в таблицу 4.2.

Таблица 4.2 – Результаты выполнения заданий

Марка провода	Материал токоведу-щей жилы	Материал изоляции	Расшифровка марки	Преимущества и недостатки	Область применения
МГВ, МГВЭ					
БПВЛ					
МГЦСЛ					
МГШВ, МГШВЭ					
ПВЛ, ПВЛЭ					
МГТФ, МГТФЭ					
МПО					
МВ					

2.Назовите проводниковые резистивные материалы и дайте их характеристики (предлагаемые образцы)

Контрольные вопросы

1. Какой металл является электротехническим стандартом?
2. Где используют материалы высокого сопротивления?
3.Каково назначение и особенности проводов и кабелей?
4. Назовите маркировку проводов.

4.1.2 Основные свойства полупроводниковых материалов

Полупроводниками принято называть вещества (Рис.4.17), электропроводность которых обусловлена перемещением электронов, возбужденных внешними энергетическими воздействиями (нагрев, облучение светом, наложение сильного электрического поля и т.д.) [38].

Важным свойством полупроводников является зависимость электропроводности от интенсивности внешнего энергетического воздействия: электрического или магнитного поля, температуры, длины волны светового потока, освещенности, механического давления и т. д. Возможно и обратное действие - преобразование электрической энергии в тепловую, световую или механическую.

Эти свойства положены в основу работы диодов, транзисторов, тиристоров, варикапов, стабилитронов и др. На базе простого полупроводника кремния было создано новое направление в приборостроении - твердотельная микроэлектроника. Таким образом, применение полупроводниковых материалов произвело подлинную революцию в электро- и радиотехнике.

У полупроводников зона проводимости отделена от валентной зоны зоной запрещенных значений энергии. При поглощении валентным электроном кванта энергии большего и равного ширине запрещенной энергетической зоны, электрон переходит в свободную энергетическую зону и получает возможность перемещаться – менять свою энергию. После ухода электрона из валентной зоны в ней остается незанятое место - дырка.

Концентрацию электронов обозначают n_0i, а концентрацию дырок p_{0i}. Индекс i (от слова intrinsic – собственный, присущий) у концентрации электронов и дырок означает, что это собственные носители заряда. В результате процессов возбуждения и рекомбинации при любой температуре устанавливается равновесная концентрация носителей заряда:
электронов [37]:

$$n_{0i} = 2N_0 \cdot \exp(-\frac{W}{k \cdot T}) \quad (4.4)$$

и дырок:

$$p_{0i} = 2N_0 \cdot \exp(-\frac{W}{k \cdot T}) \quad (4.5)$$

где n_{0i} - концентрация электронов;

p_{0i}- концентрация дырок;

W -ширина запрещенной зоны.

Коэффициент 2 показывает, что на каждом энергетическом уровне могут быть два электрона.



Рисунок 4.17- Классификация полупроводников

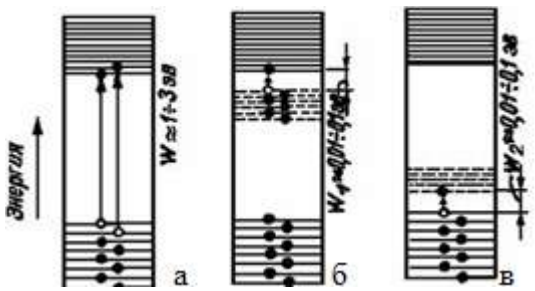
Проводимость полупроводников будет равна:

$$\gamma = n_{0i} \cdot e \cdot \mu_n = p_{0i} \cdot e \cdot \mu_p \qquad (4.6)$$

где $m_п$ – подвижность электронов;

m_p – подвижность дырок.

Примесные полупроводники- это полупроводники, содержащие небольшие количества примесей. Роль примесей могут играть дефекты кристаллической решетки – вакансии, дислокации, границы зерен, поры, трещины (4.18).



а- собственный полупроводник; б- полупроводник, содержащий донорные примеси;
в- полупроводник, содержащий акцепторные примеси

Рисунок 4.18 - Влияние легирования на энергетические зоны полупроводников

4.1.3 Свойства электроугольных и электроизоляционных материалов

Электроугольные материалы. К электроугольным изделиям относятся щетки для электрических машин, электроды для электрических печей, контактные детали, высокоомные угольные сопротивления и некоторые другие изделия [36,38].

Электроугольные изделия изготовляют из смеси углеродистых материалов. К углеродистым материалам относятся; природный графит, нефтяной и пековый кокс, сажа, антрацит и древесный уголь. Кроме углеродистых материалов, в исходный состав некоторых электроугольных изделий входят металлические порошки: медный, свинцовый, оловянный и др. Металлические порошки применяют для изготовления металлографитных электрощеток и контактных деталей, предназначенных для работы при больших плотностях тока.

Кроме перечисленных порошкообразных материалов, в производстве электроугольных изделий применяют также связующие и пластифицирующие вещества — каменноугольные смолы и пеки. Каменноугольные смолы представляют собой жидкости, а нефтяные и каменноугольные пеки являются твердыми материалами, размягчающимися при температурах 50—140° С. Пеки очень похожи на битумы. В качестве связующих веществ применяют и синтетические смолы (бакелитовые, кремнийорганические и др.). Синтетические и каменноугольные смолы и пеки применяют также для пропитки готовых электроугольных изделий с целью повышения их плотности, механической прочности и уменьшения коэффициентов трения (у электрощеток и контактных деталей). В качестве пропиточных составов могут применяться воскообразные вещества (парафин, церезин) п металлы (олово, свинец и др.).

Все углеродистые материалы (за исключением графита и сажи) подвергают прокаливанию при температуре 1200-1300° С. Цель предварительного прокаливания - удалить из углеродистых материалов влагу, летучие вещества и тем самым уменьшить объемную усадку электроугольных изделий. Затем прокаленные углеродистые материалы измельчают в дробилках до порошкообразного состояния. В исходных порошках размер частиц колеблется от нескольких микрон до 1 мм.

Взятые в определенном соотношении исходные порошкообразные материалы (углеродистые и металлические) тщательно смешивают друг с другом в смесителях. Затем в смесь вводят связующие вещества (смолы, пеки), которые смешивают с порошкообразными материалами при температуре 110-230° С, пропуская их через специальные смесители.

Полученную после смешивания исходную электроугольную массу сушат, а затем выгружают из смесителя и после остывания до комнатной температуры размалывают и просеивают через сито. В результате этого получают прессовочный порошок (пресс-порошок). Электроугольные

порошкообразные массы без связующего (сухие смеси) просеивают и сразу получают пресс-порошок. Из пресс-порошка изготовляют прессованием в стальных разъемных пресс-формах различные электроугольные изделия или заготовки (блоки), из которых механической обработкой (распиливанием и шлифованием) получают электрощетки и другие изделия.

Прессование электроугольных изделий производится при комнатной температуре или при 180-210° С (в зависимости от взятого связующего). В случае связующего, размягчающегося или полимеризующегося при повышенных температурах, прессование электроугольных изделий производится также при повышенных температурах. Прессуют электроугольные изделия при удельных давлениях от 1000 до 3000 кг/см^2.

Изготовление изделий, с большой линейной протяженностью (электроосветительные угли, блоки и др.) производят методом выдавливания нагретой пластичной исходной массы через стальной мундштук винтового пресса.

Полученные электроугольные изделия или их заготовки (блоки) подвергают высокотемпературной обработке - обжигу в специальных печах. Обжиг производится в интервале температур от комнатной до 1000-1300°С - в зависимости от состава исходной массы и получаемых электроугольных изделий.

В процессе обжига происходит спекание - соединение частиц исходных материалов и цементация их коксом, образующимся из связующих органических веществ [36].

В результате обжига электроугольные изделия приобретают механическую прочность и способность к механической обработке. При этом уменьшается величина их удельного электрического сопротивления. Электроугольные изделия, содержащие сажу, кокс и другие неграфитовые компоненты, после обжига подвергают дополнительной термической обработке (при 2400-2800° С), называемой графитизацией. При этом неграфитовые компоненты в изделиях превращаются в графит, а большинство примесей испаряется. В результате графитизации электрощетки (группы ЭГ) и другие изделия приобретают некоторую мягкость, уменьшается коэффициент трения и резко снижается удельное электрическое сопротивление изделий.

Полученные после графитизации и механической обработки (резка, шлифование) электроугольных изделия обладают значительной пористостью (до 30%). Поэтому их подвергают пропитке расплавленными пенами, лаками (бакелитовый и др.) или воскообразными веществами, а п некоторых случаях и расплавленными металлами (олово, свиней и др.). Перед пропиткой электроугольные изделия сушат, чтобы удалить из них влагу.

Пропитка электроугольных изделий производится при температурах 80-200° С и выше, когда пропитывающее вещество находится в жидком состоянии. Пропитка имеет целью устранить пористость и уменьшить гигроскопичность электроугольных изделий, а иногда ввести в них

смазочные вещества (воскообразные). Пропитка электроугольных изделий металлами резко увеличивает их механическую прочность и повышает их проводимость.

Некоторые типы электрощеток и осветительных углей после механической обработки подвергают омеднению. Для этого часть их поверхности покрывают тонким слоем меди для создания надежного электрического контакта между телом электрощетки и щеткодержателем в электрической машине. Омеднение изделий производится гальваническим методом. Образующийся на изделиях слой меди имеет толщину 10—15 мкм.

Гибкие (многопроволочные) провода крепятся в теле электрощетки развальцовкой, конопаткой, пайкой или запрессовкой. Лучшим способом является конопатка, при которой достигается наилучший контакт между токопроводящим проводом и электрощеткой. На рисунке 4.19 показаны основные конструкции электрощеток [37].

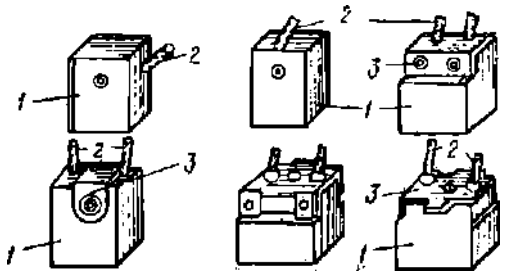


Рисунок 4.19- Основные конструкции щеток с арматурой и токоподводящими проводами: 1 - тело щетки, 2 - токоподводящие провода, 3 - крепящие детали

У готовых электрощеток проверяют размеры, твердость, механическую прочность, удельное электрическое сопротивление, падение напряжения между щеткой и коллектором, коэффициент трения, переходное сопротивление между токоподводящим проводом и электрощеткой и другие характеристики.

Основные свойства электроугольных изделий. Из электроугольных изделий наибольшее применение имеют электрощетки, которые чаще всего называют просто щетками. Применяемые в настоящее время угольные электрощетки делятся на четыре основные группы: графитные, угольно-графитные, металлографитные и электрографитированные.

Графитные щетки (марки Г-3 и Г-20) изготовляют из натурального графита без применения и с применением связующих. Графитные щетки, получаемые без связующего, после прессования не подвергают спеканию (обжигу). При применении связующих веществ (смолы) отпрессованные графитные щетки спекаются при температуре 1000-1100° С. В высокоомные графитные щетки вводится резольная смола, и после прессования они спекаются при температуре 200-400° С.

Графитные щетки обладают мягкостью и при работе вызывают незначительный шум. Они могут применяться при окружных скоростях коллектора или колец от 12 до 25 м/сек, а натурально-графитные до 70 м/сек.

Удельное электрическое сопротивление графитных щеток колеблется в пределах от 10 до 45 ом-мм2/м, а у высокоомных от 200 до 1000 ом-мм2/м.

Высокоомные графитные щетки применяются в машинах высокого напряжения. Остальные сорта графитных щеток находят применение главным образом в быстроходных машинах постоянного и переменного тока (турбогенераторы и асинхронные электродвигатели). Графитные щетки обладают очень хорошими антифрикционными свойствами.

Допустимая плотность тока для всех графитных щеток (за исключением высокоомных) 7-12 а/см^2, для высокоомных 5-7 а/см^2. Удельное нажатие 200-250 г/см^2.

Угольно-графитные щетки (марки $Т_2$ и др.) изготовляют из графита с введением других углеродистых материалов (сажа, кокс) и связующих веществ (смолы, пеки). После прессования исходной смеси щетки (или их блоки) подвергаются спеканию при температуре 1000-1200° С. Полученные щетки омедняются в электролитической ванне.

Угольно-графитные щетки имеют повышенную твердость и механическую прочность. Они обладают некоторой абразивностью, т. е. могут сами очищать окисные пленки на коллекторах и кольцах, подверженных загрязнению (тяговые электродвигатели и др.). Эти щетки могут применяться при окружных скоростях коллектора или колец от 10 до 15 м/сек. Удельное электрическое сопротивление щеток равно 40-60 ом-мм2/м, а допускаемая плотность тока 6-8 а/см^2. Удельное нажатие 250 г/см^2.

Угольно-графитные щетки средней твердости находят применение в генераторах и электродвигателях небольшой и средней мощности. Щетки с повышенной твердостью применяют в электрических машинах с толчкообразной нагрузкой.

Металлографитные щетки (марки М-1, М-3, М-6, М20, МГ6, МГС-5 и др.) изготовляют из порошков графита и меди. В некоторые из них вводят еще порошки свинца (МГС5), олова и серебра. В щетках с большой допустимой плотностью тока содержание меди доходит до 80-90%. Этим достигается уменьшение величины удельного электрического сопротивления щеток и малое падение напряжения.

Металлографитные щетки изготовляют прессованием порошкообразных смесей графита и металлов со связующими или без них.

Отпрессованные щетки и блоки щеток спекаются в печах при температуре 700-1000° С.

Эта группа щеток отличается малым удельным сопротивлением 1-6 ом-мм2/м, а у некоторых даже 0,03-0,25 ом-мм^2/м. У щеток этой группы с пониженным содержанием меди (меньше 50%) удельное электрическое сопротивление достигает значений 5-12 ом-мм^2/м (М-3). Допустимая плотность тока для щеток этой группы лежит в пределах от 12 до 25 а/см^2. Удельное нажатие 180-230 г/см^2.

Металлографитные щетки применяют при окружных скоростях от 20 до 35 м/сек в автомобильных и авиационных генераторах и

электродвигателях, а также в синхронных машинах и в тяговых машинах с пониженным напряжением, но при больших значениях силы тока.

Из других электроугольных изделий следует отметить электроды для дуговых печей и электролизных ванн, сварочные электроды, аноды для ртутных выпрямителей, электроугольные контакты и контактные детали для подвижных токосъемных устройств, электровозов, троллейбусов и т. п. не плавятся и очень медленно окисляются при температуре дуги около 3800° С.

Контактные электроугольные детали изготовляют прессованием или выдавливанием через мундштук. Для повышения сопротивления истиранию готовые (спеченные) контактные изделия пропитывают свинцово-оловянистыми сплавами и другими металлами.

Кроме рассмотренных, существует целый ряд других видов электроугольных изделий (электроосветительные угли, микрофонные порошки, подшипники скольжения и др.).

Припои и флюсы. В электрических аппаратах, машинах и электротехнических установках возникает необходимость соединения различных металлических токоведущих частей и проводников. Такие соединения можно осуществлять с помощью зажимных устройств, но в этом случае соединения не являются надежными и могут быть легко нарушены. Характерным для них является то, что места соединения обладают более высоким электрическим сопротивлением, чем сами соединяемые металлические части. Такие зажимные устройства встречаются в лабораторных установках, электрических аппаратах и др [35,36].

Обычно же соединение проводниковых металлических частей осуществляется пайкой или сваркой.

Пайка - это процесс соединения при нагревании металлов сплавами. Эти сплавы получили название припои.

Температура плавления припоев должна быть ниже температуры плавления соединяемых металлов. Расплавленный припой заполняет пространство между соединяемыми металлами, которые сами при этом не расплавляются, но частично растворяются. Прочность соединения при пайке обусловливается взаимным растворением припоя и соединяемых металлов. В зависимости от величины температуры плавления припоев они разделяются на мягкие и твердые. Мягкие припои имеют температуру плавления до 450° С, а у твердых припоев - эта температура выше 450° С.

Для изготовления припоев применяют сплавы различных цветных металлов: олова, свинца и др. На качество припоев оказывают большое влияние примеси некоторых металлов. Например, примеси алюминия и цинка (в количестве 0,001%) вызывают зернистость оловянно-свинцовых припоев. Это вызывает растрескивание места спая при красном калении и тем самым ухудшает сплавление соединяемых материалов. Мягкие припои обладают меньшей механической прочностью, чем твердые. В табл. 49 приведен состав, основные характеристики и области применения нескольких мягких припоев. В качестве твердых припоев применяются

сплавы меди и цинка; меди, серебра и цинка; алюминия, меди и кремния и др.

Припои изготовляют в виде слитков, стержней, прутков и трубок. В трубках имеется сердечник из канифольного флюса, который позволяет производить пайку без предварительного флюсования места пайки. При пайке необходимым условием хорошего соединения является чистота поверхностей соединяемых деталей, что достигается при помощи веществ, получивших название флюсов.

Саму пайку производят с помощью газовой горелки или паяльной лампы, а также в печах, где создается восстановительная газовая среда. Широко распространен метод пайки мягкими припоями с помощью паяльников.

Для пайки применяется также индукционный нагрев соединяемых металлических деталей токами высокой частоты. Кроме того, существует еще один способ пайки, при котором соединяемые металлические детали погружают в расплавленный припой.

Клеи и вяжущие составы. Клен и вяжущие составы широко применяют в производстве электрических аппаратов и приборов. Так, магнитные сердечники, состоящие из двух П-образных частей, склеивают друг о другом с помощью клея на основе эпоксидной смолы. Клеи широко применяют для соединения пластмассовых или керамических деталей друг с другом или с металлическими частями. От клеящих и вяжущих веществ не всегда требуются высокие электроизоляционные свойства. Эти вещества, в первую очередь, должны обладать свойством склеивания, т. е. прилипания к металлическим и неметаллическим материалам. Это свойство иногда называют адгезией, что и означает прилипаемость.

Склеивание каких-либо двух материалов происходит в результате сцепления клея с поверхностями склеиваемых материалов. В результате химических реакций, протекающих в пленке клея, последняя превращается в твердое вещество, прочно соединяющее склеенные материалы. Согласно современным воззрениям соединение (сцепление) пленки клея с поверхностью склеиваемых материалов возникает не только вследствие химических реакций, но также в результате появления межмолекулярных и электростатических сил между пленкой клея и поверхностями склеиваемых материалов. На прочность клеевого шва оказывают влияние толщина и сплошность клеевой пленки, объемная усадка ее после склеивания, состав и структура склеиваемых материалов, а также степень подготовки склеиваемых поверхностей и другие факторы. Клей должен целиком заполнять зазор между склеиваемыми частями.

Толщина клеевой пленки не должна быть очень большой, но она должна обеспечивать непрерывность клеевого слоя на всей площади склеивания. Для обеспечения сплошной клеевой пленки оптимальной толщины и проникновения клея в поры склеиваемых поверхностей они

должны предварительно подгоняться друг к другу и тщательно очищаться от загрязнений с помощью растворителей [38].

Для лучшего склеивания многие материалы (металлы, пластмассы) подвергают обработке пескоструйными аппаратами или ошкуриванию для получения некоторой шероховатости склеиваемых поверхностей. Это обеспечивает повышение прочности клеевого шва. С этой же целью склеиваемые детали необходимо подвергать сжатию при определенных удельных давлениях. Очень многие клеи для своего отвердевания требуют нагрева до температуры 90-150° С и выше.

Все клеящие и вяжущие вещества обычно делят на три основные группы: клеи, пасты и вяжущие составы (связки). В электротехнике применяют клеи на основе синтетических смол, обладающих наибольшей клеящей способностью. Многие из этих клеев обеспечивают достаточно высокий уровень электрических характеристик. К таковым относятся глифталевые клеящие лаки, широко применяемые для склеивания листочков слюды в производстве слюдяной слоистой изоляции. Сюда же относятся бакелитовые лаки, широко применяемые в производстве слоистых электроизоляционных пластмасс (гетинакс, текстолит и др.).

Большое применение получили клеи БФ, представляющие собой спиртовые растворы бутварно-фенольных смол. Эти клеи выпускаются трех марок: БФ-2, БФ-4 и БФ-6. Они отличаются друг от друга своим составом и имеют свои особенности, которые обусловливают области их применения. Так, клеи БФ-2 и БФ-4 применяют для склеивания металлов, пластмасс, стекол, керамики, слюды и древесины (друг с другом). Клей БФ-4 обеспечивает высокую сопротивляемость клеевого шва вибрациям. Клей БФ-6 образует эластичный клеевой шов и поэтому рекомендуется для склеивания резин и тканей друг с другом и для приклеивания их к металлам и пластмассам. Клеи БФ наносятся в два слоя на каждую склеиваемую поверхность. Время сушки первого слоя при комнатной температуре составляет 1ч, после чего наносится второй слой клея, который подсушивается тоже в течение одного часа. После этого склеиваемые детали соединяют друг с другом и слегка притирают. Затем их помещают под пресс или в струбцину, чтобы обеспечить удельное давление от 4 до 12 кг/см^2.

Образующиеся при опрессовании соединяемых деталей подтеки клея удаляют (соскабливают) шпателем (металлической лопаточкой) или тряпкой.

Клеевые швы, образуемые клеями БФ, стойки к воде, минеральным маслам, керосину, бензину и многим спиртам. Они не вызывают коррозии металлов и могут работать в интервале температур от -60 до +60° С.

Значительное применение в электротехнике получили клеи на основе эпоксидных смол жидких и твердых. Как известно, эпоксидные смолы отличаются высокой прилипаемостью (адгезией) к металлам, пластмассам, стеклам, керамике и другим материалам. Кроме того, эпоксидные смолы и клеи отличаются малой объемной усадкой при отвердевании, что повышает прочность клеевого шва.

Из эпоксидных клеев широко применяют клей на смолах ЭД-5 и ЭД-6, представляющих собой жидкие сиропообразные массы, с которые вводятся 6,5% отвердителя - полиэтиленполиамина. Исходные компоненты тщательно перемешиваются. Приготовленный клей пригоден к применению в течение 30-40 мин, по истечении которых начинает сильно загустевать и постепенно превращаться в твердое вещество. Поэтому отвердитель (полиэтиленполиамин) необходимо вводить в смолу ЭД-5 непосредственно перед применением клея. На предварительно подготовленные и очищенные поверхности наносится один слой клея, которому дают подсохнуть на воздухе в течение 15—30 мин. Затем склеиваемые поверхности соединяют друг с другом и сдавливают при удельном давлении 1-2,5 кг/см^2. Отвердевание клеевого шва происходит при 20° С в течение 24 ч. Для обеспечения более прочного клеевого шва необходима еще дополнительная обработка его при 150°С в течение 4 ч.

Если в смолу ЭД-5 и ЭД-6 ввести другой отвердитель - малеиновый ангидрид (30%), то получится клей горячего отвердевания. В этом случае клеевой шов отвердевает при 150°С в течение 6-8 ч.

Находят применение эпоксидные клеи на смолах Э-40, Э-41 и др. с введением в них отвердителей холодного отвердевания (полиэтиленполиамин и др.) или горячего отвердевания (ангидриды - фталевый или малеиновый и др.). В некоторые из эпоксидных клеев вводят еще пластификаторы — маслообразные жидкости. Они обеспечивают клеевому шву эластичность и стойкость к вибрации.

Основной характеристикой клеев (перед их применением) является вязкость, которая должна доводиться до значений, предписываемых технологической инструкцией на данный клей. Для этого клеевую смесь приходится подогревать, а вязкость клея строго контролировать с помощью вискозиметров. Эпоксидные клеи могут также представлять собой порошки или прутки. Порошкообразный клей наносят тонким слоем на предварительно нагретые поверхности (90-120° С) склеиваемых металлических или пластмассовых деталей. При применении клея в виде прутка им натирают нагретые поверхности склеиваемых частей. В остальном технология склеивания этими эпоксидными клеями не отличается от описанной ранее для жидких эпоксидных клеев.

Отвержденные эпоксидные клеевые швы могут работать в интервале температур от -60 до -(-100° С. Следует отметить, что отвержденные эпоксидные клеевые швы и клеи БФ обладают хорошими электрическими характеристиками.

Кроме клеев, в электротехнике применяют пасты - густые вязкие составы. Так, для обмазки лобовых частей обмоток применяют пасту «ЭЛПСИ», состоящую из масляно-битумного лака № 462 и 35-40% талька или портландцемента. Эту густую массу наносят на лобовую часть обмоток машин в несколько слоев. Каждый нанесенный слой сушат при 20° С в течение 1-2 ч, а затем в термостате при 90-100° С. В результате на

поверхности обмотки образуется плотный, но не хрупкий изоляционный слой, не размягчающийся в процессе работы. Он предохраняет обмотки от увлажнения и повышает их теплопроводность.

Вяжущие составы (связки) представляют собой тестообразные текучие массы, которые с течением времени твердеют. В отличие от клеев эти составы применяют не для склеивания металлов, керамики или пластмасс. Они предназначаются для заделки (крепления) металлической арматуры на изоляторах, например, фланцев на проходных и опорных изоляторах, для наклейки чугунных шапок на подвесные изоляторы, а также для закрепления в головках подвесных и штыревых изоляторов металлических стержней.

Для армирования изоляторов нашли наибольшее применение цементно-песчаные вяжущие составы (цементно-песчаные связки). Они состоят из 2-3 частей высококачественного портландцемента (марки 500 или 600) и одной части промытого кварцевого песка. Для освобождения от различного рода загрязнении и крупных частиц песок просеивают через сито с 50-60 отверстиями па квадратный сантиметр. Затем его смешивают с портландцементом. В полученную смесь вводят от 15 до 17% воды (по отношению к весу сухих компонентов). При этом вначале в сосуд наливают воду, в которую постепенно засыпают приготовленную цементно-песчаную смесь, перемешивая ее с водой. Полученный цементно-песчаный состав представляет собой текучую тестообразную массу, хорошо заполняющую выемки в изоляторах и в металлической арматуре. Это дает возможность достигнуть плотного и прочного соединения металлической арматуры с керамической основой изоляторов. Первоначальную прочность при комнатной температуре цементно-песчаный состав приобретает через 4-8 ч, в зависимости от сорта цемента. Чем выше марка портландцемента (400; 500; 600), тем быстрее протекает период его схватывания - первоначального твердения.

Полное отвердевание цементно-песчаных связок при комнатной температуре протекает в течение 12-16 суток. В дальнейшем механическая прочность связок продолжает еще нарастать. Для ускорения процесса отвердевания цементно-песчаные связки подвергают пропариванию. Для этого их помещают в закрытые камеры, заполняемые водяным паром, в которых температура поддерживается па уровне 70-80° С. В этих условиях процесс отвердевания цементно-песчаной связки заканчивается через 16-18 ч. Механическая прочность цементно-песчаных связок возрастает при их уплотнении вибрацией или другими способами.

ПВНО — прибор с огневым обогревом для определения вспышки паров. Имеются приборы с электрическим обогревом (ПВНЭ).

Ингибитор (лат.) - задерживающий [37].

Меньшие значения удельного объемного сопротивления и электрической прочности относятся к пластикатам для защитных кабельных шлангов.

Здесь и в отношении других конденсационных смол не приводятся характеристики водопоглощения, теплостойкости и морозостойкости, так как эти смолы не имеют самостоятельного применения, а являются основами лаков и пластмасс.

В расплавленном состоянии канифоль растворяет окислы меди и олова и обеспечивает надежную пайку при частоте 10 Гц.

В направлении - перпендикулярно слоям.

В направлении - параллельно слоям значения электрической прочности будут меньше указанных в таблице.

Эта характеристика не определяется у тонких сортов гетинакса: VI, VII и VIII.

Eпр = 33-35 кВ/мм относится к миканиту толщиной 0,15 мм марки ПФКА.

Наибольшими значениями электрической прочности (27-28 кВ/мм) обладают гибкие миканиты на слюде мусковит (толщиной 0,15-0,26 мм). Слой древесной целлюлозы.

Полиэтилен полиамин - жидкость, хорошо смешивающаяся с жидкой эпоксидной смолой. Порошкообразный клей («эпоксид-Г1»); клеи в виде прутков

4.2 Отбор электроизоляционных материалов

Практическая работа №4.4

Тема: **«Выполнение отбора электроизоляционных материалов»**

Цель работы: Научиться выполнять отбор электроизоляционных материалов по свойствам и применению

Оборудование и материалы: изображения электротехнических материалов (солнечные батареи, электродвигатели, ветроустановки, конденсаторы, изоляторы опорные различного вида, опоры металлические, тросы и т.д.), образцы электротехнических материалов (изолента, кабели, трансформаторы, панели выключателей, интегральные схемы, источники света и т.д.).

Краткие теоретические сведения

Отбор электротехнических материалов определяется согласно стандарта РК. Несоблюдение стандарта преследуется по закону РК.

1. *Методы отбора образцов*

- Образцы для испытаний не должны иметь короблений,

препятствующих плотному прилеганию электродов, трещин, сколов, вмятин, заусенцев, пятен и загрязнений, видимых невооруженным глазом[35]. Поверхности образцов, подвергавшиеся механической обработке, должны быть гладкими, без выбоин и царапин, плоскости образцов должны быть параллельными.

- Для определения электрической прочности, удельного объемного

сопротивления, внутреннего сопротивления и сопротивления изоляции

количество, форма и размеры образцов должны быть указаны в стандартах или технических условиях на материал в соответствии с гостами.

- Для определения влагопоглощения, водопоглощения и набухания электроизоляционных материалов количество, форма и размеры образцов должны быть предусмотрены в стандартах или технических условиях на материал.

Для электроизоляционных пластмасс количество, форма и размеры образцов должны указываться с учетом требований ГОСТа для них.

- Технология изготовления образцов для испытаний должна быть указана

в стандартах или технических условиях на материал. Механические операции (сверление, расточку и т. д.) производят до подготовки образцов к испытанию.

- Для определения влагостойкости и водостойкости трубчатых и цилиндрических изделий применяются образцы трубок и цилиндров.

Количество, размеры образцов, тип и размеры электродов должны быть указаны в стандартах или технических условиях на материал из числа перечисленных в ГОСТах.

- Условия нормализации образцов должны быть указаны в стандартах или технических условиях на электроизоляционный материал.
- Если в стандартах или технических условиях на материал условия нормализации не указаны, то непосредственно перед испытаниями образцы должны быть выдержаны при температуре (55 ± 2)°С и относительной влажности не более 20 % в течение 24 ч и затем охлаждены до температуры комнатной среды в эксикаторе над сухим хлористым кальцием, силикагелем или другим адсорбирующим пары воды материалом, не оказывающим вредного влияния на электроизоляционный материал.

2. Аппаратура

- При измерении электрических характеристик испытательные установки и приборы должны соответствовать ГОСТам [38].
- Камеры для испытания образцов на влагостойкость могут быть любых типов, но должны обеспечивать проведение испытаний, а также поддержание заданного режима во всем испытательном объеме с оговоренной настоящим стандартом погрешностью. Допускается использовать камеры типа КТВ-01 (0,4 - 1,0).

Сопротивление изоляции между измерительными вводами в испытательную камеру должно не менее чем в 100 раз превышать максимально возможное сопротивление испытуемых образцов. При определении электрической прочности пробивное, напряжение или напряжение перекрытия между измерительными вводами должно не менее чем в 2 раза превышать максимально ожидаемое у образцов.

- Измерительные приборы должны обеспечивать поддержание заданного испытательного напряжения непосредственно при измерении электрических характеристик увлажненных образцов.

- При испытании образцов на водостойкость применяется сосуд, изготовленный из материала, нейтрального по отношению к воде, и имеющий удобную форму для помещения и извлечения образцов.

Настоящий стандарт распространяется на твердые электроизоляционные материалы и устанавливает методы определения их влагостойкости и водостойкости по следующим показателям:

-электрическая прочность $E_{пр}$;

-удельное объемное электрическое сопротивление Q_v;

-внутреннее сопротивление R_i;

-сопротивление изоляции R;

-влагопоглощение H;

-водопоглощение W;

-набухание V.

Определение перечисленных показателей должно производиться после воздействия на материалы:

а) воздуха с относительной влажностью (93 ± 2) или (95 ± 2) % и температурой (23 ± 2)°С;

б) воздуха с относительной влажностью (93 ± 2) или (95 + 2) % и температурой (40 ± 2)°С;

в) дистиллированной воды с температурой (23 ± 0,5)°С.

Указанные предпочтительные условия обязательны для испытания материалов, поставляемых на экспорт.

Метод, вид воздействия, определяемый показатель или комплекс показателей из перечисленных в настоящем стандарте должны быть указаны в стандартах или технических условиях на материал.

Стандарт соответствует (в части стандартных условий окружающей среды и подготовки образцов) СТ СЭВ 2121-80 и стандарту МЭК 212.

Порядок выполнения работы

1.Выполните отбор полупроводниковых материалов [39].

2.Выполните отбор проводниковых материалов.

3. Выполните обор диэлектриков.

4. Результаты отбора электротехнических материалов занесите в таблицу 4.3.

5. Заполните графы таблицы для каждого вида отобранного материала.

Таблица 4.3. Результаты отбора электротехнических материалов

Вид электротехнического материала	Наименование электротехнического материала	Свойства	Применение в электротехнике и электроэнергетике
проводники			
полупроводники			
диэлектрики			

6.Пользуясь справочником определите их влагостойкости по выше указанным показателям и занесите в графу свойства.

7.Укажите условия воздействия воздуха согласно стандарту.

Контрольные вопросы

1.По каким признакам вы выполнили отбор электротехнических материалов?

2.Назовите электротехнические материалы, которые вы отнесли ко всем трем группам. Почему?

3.Опишите подробно свойства каждого вида электротехнического материала.

4.3 Испытание материалов

Лабораторная работа №4.1

Тема: **Определение электрической прочности жидких диэлектриков**

Цель работы: ознакомиться с методом испытания жидкого диэлектрика – трансформаторного масла, определить пригодность испытываемой жидкости для применения в высоковольтных аппаратах путем сравнения опытных данных с характеристиками жидких диэлектриков.

Оборудование и материалы: жидкие диэлектрики, установка АВИМ-90.

Краткие теоретические сведения

Снижение электроизоляционных свойств жидкого диэлектрика может привести к аварии в электрической установке, поэтому периодически проверяют качество диэлектрика и, в первую очередь, его электрическую прочность. Для испытания электроизоляционных жидкостей на электрическую прочность применяют аппарат АВИМ – 90(Рис.4.20).



Рисунок 4.20 - Аппарат для испытания жидких диэлектриков АВИМ – 90

Жидкие диэлектрики можно классифицировать по различным признакам. По химической природе: а) нефтяные масла; б) синтетические жидкости (хлорированные, а фторированные углеводороды, кремний- или

фторорганические жидкости, различного рода производные на ароматической основе, сложные эфиры различных типов, полиизобутилены).

По специфике применения для:

а) трансформаторов;

б)выключателей и контакторных устройств регулирования напряжения под нагрузкой;

в) конденсаторов;

г) кабелей;

д) систем циркуляционного охлаждения и изоляции установок высокого напряжения.

По верхнему пределу допустимой рабочей температуры:

а) до 70 (нефтяные масла в конденсаторах);

б) до 95 (нефтяные масла в трансформаторах, хлорированные углеводороды в конденсаторах);

в) до 135 (некоторые синтетические и хлорированные углеводороды, некоторые эфиры кремниевой, фосфорной, органической кислот, полиорганосилоксаны);

г) до 200 некоторые типы фторуглеродов, хлор(фтор)органосилоксаны;

д) до 250 (полифенилэфиры и специальные полиорганосилоксяны).

Классификация по верхнему пределу допустимой температуры зависит также от особенностей эксплуатации жидкого диэлектрика и требуемого срока службы. По степени горючести: горючие и негорючие.

Трансформаторное масло используют как диэлектрик в различной высоковольтной аппаратуре. В трансформаторах масло является также охлаждающей средой, в масляных выключателях – дугогасящей средой.

Масло характеризуется достаточно высокой электрической прочностью (12-20МВ/м), малыми диэлектрическими потерями, удовлетворительной теплопроводностью 0,0015 Вт/(см). Оно, как и другие жидкие диэлектрики, способно восстанавливать свою электрическую прочность после пробоя. Масло можно очищать и сушить, тем самым восстанавливая его электроизоляционные свойства.

Трансформаторное масло стареет (окисляется) под влиянием кислорода воздуха, высокой температуры и солнечного света. Процессу старения масла способствует соприкосновение его с лаковой изоляцией и металлами (особенно с медью). Масло обладает гигроскопичностью, понижающей его электрическую прочность.

Старение масла можно определить по изменению цвета, наличию механических примесей (шлама), воды и другим внешним признакам. Одной из наиболее важных электрических характеристик жидких диэлектриков является их электрическая прочность, где – пробивное напряжение, МВ; h – толщина испытываемого слоя жидкого диэлектрика (расстояние между электродами), м. Значение пробивного напряжения зависит от формы и размеров электродов, расстояния между ними, давления и температуры жидкого диэлектрика, характера приложенного напряжения (постоянное,

переменное), степени загрязнения волокнами, водой и другими примесями. Снижение электроизоляционных свойств жидкого диэлектрика может привести к аварии в электрической установке, поэтому для обеспечения нормальной работы аппаратуры периодически проверяют качество диэлектрика и, в первую очередь, его электрическую прочность. Определение качества масла (электрической прочности) в соответствии с требованиями ГОСТ 6581-75 «Материалы электроизоляционные жидкие. Методы электрических испытаний», производится между дисковыми электродами с закругленными краями диаметром 25 мм при расстоянии между ними 2,5 мм.

Порядок выполнения работы

1. Прежде чем приступить к работе на аппарате, заземлите его прилагаемым к аппарату гибким медным проводом, сечение которого не менее 4 мм^2.

2. Установите АИМ-90 на диэлектрическую подставку. Сосуд для испытания жидких диэлектриков представлен на рисунке 4.21.

3. Кабель источника подсоедините к соответствующим разъёмам.

4. Перед проведением опыта сосуд со стандартными электродами промойте мыльным раствором и произведите естественную сушку. Протирать сосуд нельзя.

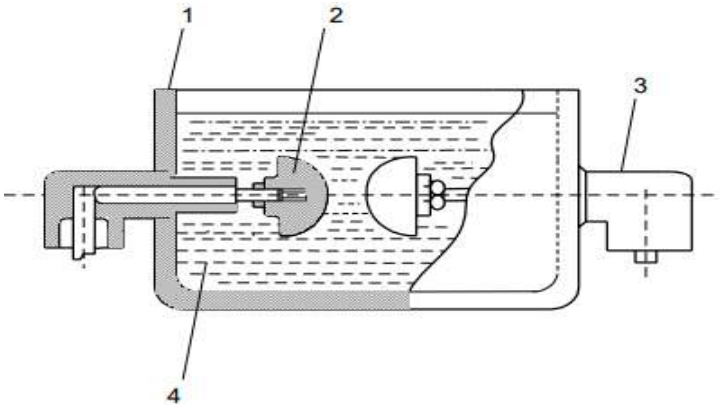


Рисунок 4.21 - Сосуд для испытания жидких диэлектриков 1 – фарфоровая ванна, 2 – электрод, 3 – изолятор, 4 – испытываемый жидкий диэлектрик

5. Работу на аппарате производите, стоя на резиновом коврике.

6. Плавно поднимите защитный щиток измерительного блока.

7. Установите ванну с маслом на соответствующие электроды.

8. Плавно опустите защитный щиток измерительного блока.

9. Подключите установку АИМ-90 к питающей сети.

10. Включите питание стенда нажатием клавиши «Сеть» высоковольтного блока.

11. Нажмите, отпустите кнопку «Запуск» высоковольтного блока. При этом на цифровом индикаторе будут отображаться значения линейно возрастающего испытательного напряжения.

12. При возникновении пробоя светится индикатор пробой.

13. Нажмите и опустите кнопку «Сброс» высоковольтного блока. При этом показания цифрового индикатора обнуляться.

14. Повторите последовательность операции п.п.10 и 11 пять раз, выдерживая время между пробоями 8-10 минут.

15. Выключите питание стенда нажатием клавиши «Сеть» высоковольтного блока.

16. Вычислите среднее значение электрической прочности:

$$E_{\text{пр,ср.}} = \frac{U_{\text{пр}}}{h} \qquad (4.7)$$

где E –электрическая прочность, МВ/м;

h – толщина слоя жидкого диэлектрика,м

17. Результаты расчетов сведите в таблицу 4.4.

Таблица 4.4 Сводная результатов измерений и расчетов для жидкостей

№	Жидкий диэлектрик	h (мм)	U (кВ)	Епр (кВ/мм)
1	2	3	4	5
1	трансформаторное масло	2,5	7,5	
2	кабельное масло	2,5	7	
3	конденсаторное масло	2,5	27	

Контрольные вопросы

1.Как влияет на электрическую прочность масла большое число следующих друг за другом пробоев?

2. Почему при стандартном испытании масла берут среднее из пяти значений пробивного напряжения, а не удовлетворяются одним или двумя значениями?

3. В каких электрических аппаратах применяют трансформаторное масло?

4. От каких факторов зависит значение пробивного напряжения?

5. Какие функции в трансформаторе выполняет трансформаторное масло и какие требования предъявляются к нему?

Лабораторная работа № 4.2

Тема: **Определение электрической прочности твёрдых диэлектриков**.

Цель работы: сформировать умения определять электрическую прочность твёрдых диэлектриков

Оборудование и материалы: лабораторный стенд «Изучение диэлектрической прочности твердых диэлектриков»; образцы твердых диэлектриков (лакоткань, картон, пластмасса, резина).

Краткие теоретические сведения

При увеличении напряжения, приложенного к изоляции в электрической установке, может произойти электрический пробой изоляции

[39]. Через диэлектрик проходит ток очень большой величины, и в диэлектрике образуется проводящий канал с малым электрическим сопротивлением. В результате пробоя диэлектрик выходит из строя. Напряжение, при котором происходит пробой, называется пробивным, обозначается $U_{пр.}$и выражается в киловольтах.

Для обеспечения надёжности работы электрических установок рабочее напряжение ($U_{раб}$) электроизоляционных материалов должно быть значительно ниже пробивного напряжения ($U_{пр}$).

Способность электроизоляционных материалов противостоять пробою называется электрической прочностью.

Электрическая прочность Е МВ/м, определяется отношением пробивного напряжения к толщине диэлектрика в месте пробоя и вычисляется по формуле (однородное поле)6

$$E=U/h, \qquad (4.8)$$

где h – толщина диэлектрика, мм.

Электрическая прочность твердых диэлектриков зависит от их структуры, толщины, окружающей температуры и других факторов. Электрическая прочность диэлектрика может быть повышена пропиткой его маслами, лаками или компаундами. Для обеспечения надежности работы электрических установок рабочее напряжение U электроизоляционных материалов должно быть значительно ниже пробивного напряжения U. Различают четыре вида пробоя твердых диэлектриков:

1) электрический пробой макроскопически однородных диэлектриков;
2) электрический пробой неоднородных диэлектриков;
3) тепловой (электротепловой) пробой;
4) электрохимический пробой.

Каждый из указанных видов пробоя может иметь место для одного и того же материала в зависимости от характера электрического поля (постоянного или переменного, импульсного, низкой или высокой частоты), наличия в диэлектрике дефектов, в частности закрытых пор, от условий охлаждения, времени воздействия напряжения.

Электрический пробой макроскопически однородных диэлектриков. Этот вид пробоя характеризуется весьма быстрым развитием, он протекает за время, меньшее 10-10 с, и не обусловлен тепловой энергией, хотя электрическая прочность при электрическом пробое в некоторой степени зависит от температуры. Электрический пробой по своей природе является чисто электронным процессом, когда из немногих начальных электронов в твердом теле создается электронная лавина. Электроны рассеивают энергию своего движения, накопленную в электрическом поле, возбуждая упругие колебания кристаллической решетки. Электроны, достигшие определенной критической скорости, производят отщепление новых электронов, и стационарное состояние нарушается, т.е. возникает ударная ионизация

электронами в твердом теле. Чисто электрический пробой имеет место, когда исключено влияние электропроводности и диэлектрических потерь, обуславливающих нагрев материала, а также отсутствует ионизация газовых включений. Для однородного поля и полной однородности структуры материала напряженность поля при электрическом пробое может служить мерой электрической прочности вещества. Такие условия удается наблюдать для монокристаллов щелочногалоидных соединений и некоторых органических полимеров. В этом случае Е достигает сотен мегавольт на метр и более. Для однородных материалов наблюдается заметная разница между значениями пробивного напряжения в однородном и неоднородном полях (Рисунок 4.18).

Электрический пробой неоднородных диэлектриков. Такой пробой характерен для технических диэлектриков, содержащих газовые включения, и так же, как и электрический пробой однородного диэлектрика, весьма быстро развивается. Пробивные напряжения для неоднородных диэлектриков, находящихся во внешнем однородном или неоднородном поле, как правило, невысоки и мало отличаются друг от друга (Рисунок 4.22 и 4.23). Принято считать, что в однородном поле электрическая прочность стекол, фарфора и других твердых диэлектриков не зависит от толщины образца. Однако основные работы по изучению влияния степени однородности поля на электрическую прочность проводились лишь со стеклом при очень малых толщинах образцов – от 0,05 до 0,2-0,5 мм, когда число дефектов невелико.

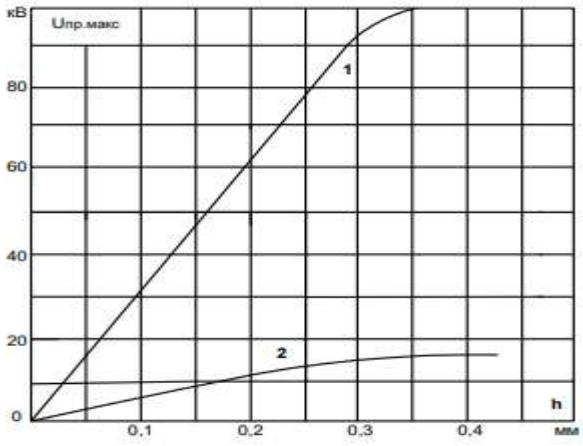


Рисунок 4.22 – Зависимость пробивного напряжения от толщины при 50 Гц для одного из сортов технического стекла 1 – однородное поле; 2 – резко неоднородное поле

Из рисунков 4.22 и 4.26 видно, что с увеличением толщины образца усиливается неоднородность структуры, возрастает число газовых включений и снижаются электрические прочности как в однородном, так и в неоднородном поле. Иногда на опыте можно наблюдать, что электрическая прочность керамики при электродах, создающих внешнее неоднородное поле, будет даже выше, чем

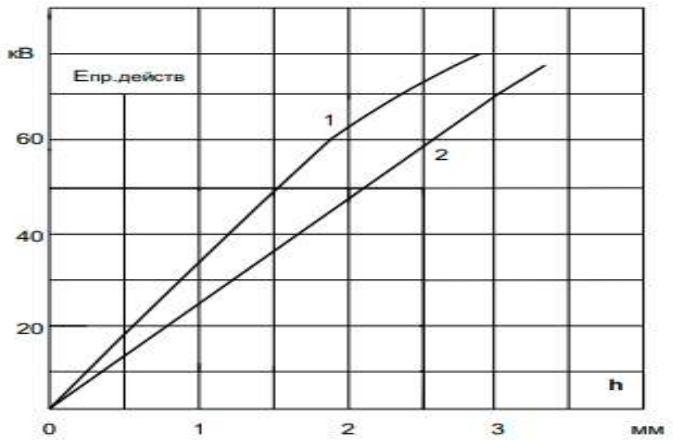


Рисунок 4.23 -Зависимость пробивного напряжения от толщины при 50 Гц для электротехнического фарфора 1 – однородное поле; 2 – резко неоднородное

Так, электрическая прочность образцов рутиловой керамики толщиной 1,6-1,7 мм при постоянном напряжении для электродов игла – плоскость составляет примерно 24 МВ/м, а плоских электродов – всего 12,5 – 15 МВ/м. Из этого следует, что чем меньше площадь электродов, тем выше может быть значение электрической прочности керамических материалов вследствие уменьшения числа инородных включений, попадающих в пределы поля, хотя поле в этом случае резко неоднородное. Снижение электрической прочности твердых диэлектриков при увеличении площади электродов наблюдается не только у керамики, но и у других материалов: бумаги, картона, лакотканей.

Электрическая прочность твердых диэлектриков практически не зависит от температуры до некоторого ее значения. Выше этого значения наблюдается заметное снижение электрической прочности, что говорит о появлении механизма теплового пробоя.

Низкой электрической прочностью отличаются диэлектрики с открытой пористостью (непропитанная бумага, дерево, пористая керамика). Электрическая прочность их сравнительно мало отличается от таковой для воздуха; исключение составляет бумага с повышенной плотностью.

Твердые диэлектрики с закрытыми порами, например, плотная керамика, характеризуется более высокой электрической прочностью. Наличие газовых включений в твердой изоляции особенно опасно при высоких частотах. Высокой электрической прочностью характеризуются диэлектрики, имеющие плотную структуру и не содержащие газовых включений. К ним относятся: слюда, бумага, тщательно пропитанная жидким диэлектриком, стекла.

Порядок выполнения работы

1. Изучите внимательно устройство лабораторной установки: стенд состоит из двух блоков, измерительного и высоковольтного, соединенных между собой высоковольтным и блокировочным кабелями. Измерительный блок устанавливается на стойку и штатив. Внешний вид блоков приведен на рисунках 4.24-4.25.



Рисунок 4.24 – Передняя панель высоковольтного блока 1 – цифровой индикатор выходного напряжения; 2 - выключатель сетевого питания. «СЕТЬ»; 3 – световой индикатор «ПРОБОЙ»; 4 – кнопка «ЗАПУСК»; 5 – кнопка «СБРОС»

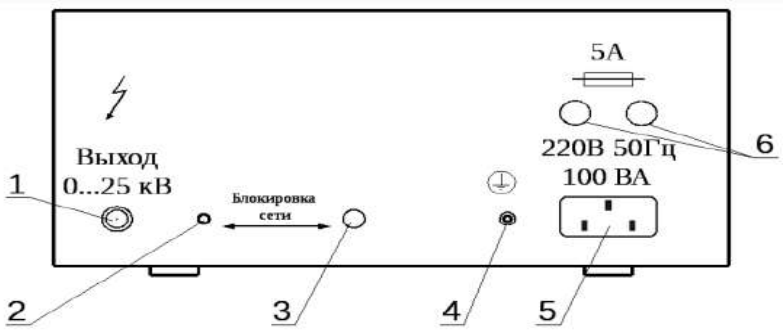


Рисунок 4.25 – Задняя панель высоковольтного блока 1 – высоковольтное гнездо «ВЫХОД 0…25 кВ»; 2 – кнопка блокировки сети»; 3 – гнездо блокировки сети; 4 – клемма защитного заземления; 5 – гнездо подключения сетевого шнура; 6 – держатели предохранителей.

Стол измерительной камеры выполнен из изоляционного материала, с вмонтированным электродом, на который подается положительный испытательный потенциал с выхода высоковольтного блока посредством соединительного кабеля с высоковольтным коаксиальным разъемом, снабженным штырем, управляющим кнопкой БЛОКИРОВКА СЕТИ высоковольтного блока (Рис.4.26). При отсоединенном разъеме эта кнопка отключает электропитание от высоковольтного блока.

Внутри измерительной камеры расположено устройство крепления испытуемого образца и две стойки с винтами предварительной установки "0" измерительной головки. Измерительная камера снаружи закрыта защитным прозрачным щитком, который при открывании блокирует, посредством вмонтированного в измерительный блок концевого выключателя, электропитание высоковольтного блока, подводящееся к нему посредством соединительного кабеля от гнезда БЛОКИРОВКА СЕТИ. В основании измерительного блока имеется отверстие для установки его на стойку и штатив.

Сверху на измерительном блоке расположена измерительная головка для измерения толщины образца с ручкой коррекции установки «0» и рычагом перемещения подвижного стержня. Внутри измерительного блока

расположены измерительная камера, в которую введен подвижный стержень измерительной головки. На стержне расположены испытательные электроды четырех типоразмеров, которые меняются посредством вращения.

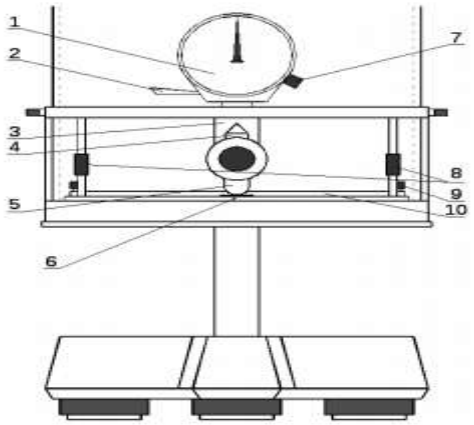


Рисунок 4.26 – Передняя панель измерительного блока 1 – измерительная головка; 2 – рычаг перемещения подвижного стержня; 3 – подвижный стержень; 4., 5 – электроды подвижного стержня; 6 – положительный электрод; 7 – ручка коррекции установки «0»; 8 – винты грубой установки «0»; 9 – винты прижимной планки; 10 – прижимная планка.

Электроды измерительного стержня электрически соединены с корпусом (общим проводом) высоковольтного блока и клеммой защитного заземления, расположенной на задней стенке измерительного блока(Рис.4.27).

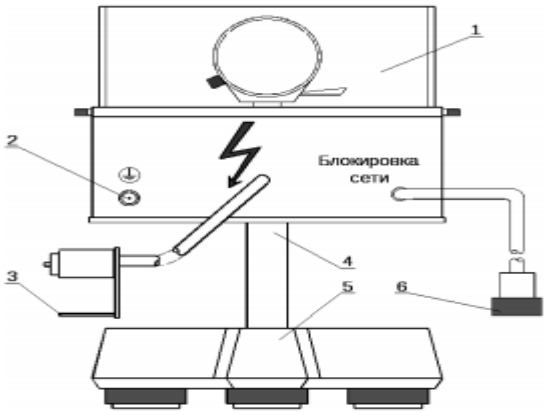


Рисунок 4.27 – Задняя панель измерительного блока 1 – защитный щиток; 2 – клемма заземления; 3 – штырь разъема высоковольтного кабеля; 4 – стойка; 5 – лабораторный штатив; 6 – разъем блокировки сетевого питания высоковольтного блока

2. Выключите питание стенда нажатием клавиши СЕТЬ высоковольтного блока.

3.Плавно поднимите защитный щиток измерительного блока.

4.Вращением винтов поднимите прижимную планку устройства крепления. Легким нажимом на боковой рычаг 2 поднимите подвижный

стержень вверх и введите между электродом и столом измерительной камеры испытуемый образец, после чего плавно отпустите боковой рычаг головки.

6.Вращением винтов опустите прижимную планку устройства крепления образца.

7. Плавно опустите защитный щиток измерительного блока.

8. Зафиксируйте значение толщины образца по показаниям индикатора измерительной головки.

9.Включите питание стенда нажатием клавиши СЕТЬ высоковольтного блока.

10.Нажмите и отпустите кнопку ЗАПУСК высоковольтного блока. При этом на цифровом индикаторе будут отображаться значения линейно возрастающего испытательного напряжения.

11.При возникновении пробоя начнёт светиться индикатор ПРОБОЙ и сработает звуковая сигнализация, зафиксируйте показания цифрового индикатора (гарантированное время фиксации значения напряжения пробоя 20с).

12.Нажмите и отпустите кнопку СБРОС высоковольтного блока. При этом показания цифрового индикатора обнуляются.

13.Выключите питание стенда нажатием клавиши СЕТЬ высоковольтного блока.

14.Плавно поднимите защитный щиток измерительного блока.

15.Вращением винтов поднимите прижимную планку устройства, крепления образца.

16.Легким нажимом на боковой рычаг измерительной головки поднимите подвижный стержень вверх и сместите испытуемый образец для получения новой точки пробоя.

17.Повторите последовательно операции согласно п 5-16 для каждого образца три раза.

18.При необходимости смены типоразмера испытательного электрода, повторите последовательно операции согласно п 3-16.

19.Запишите данные в таблицу 4.5

20.Стенд отключите от питающей сети, а защитный щиток опустите вниз.

Таблица 4.5 – Данные измерений и расчетов

№	Наименование испытуемого материала	Измеренные величины				Вычисленные величины	
		h,м	$U_{пр}$,кВ			$U_{пр}$,ср.кВ	$E_{пр.}$,кВ/м
			1	2	3		
1							
2							
3							

21. Вычислите среднее значение пробивного напряжения для каждого испытуемого образца:

$$U_{пр,ср.} = \frac{\sum U_{пр}}{N} \quad (4.8)$$

где $U_{пр}$ –пробивное напряжение (кВ);

N –число электродов.

22. Вычислите среднее значение электрической прочности:

$$E_{пр,ср.} = \frac{U_{пр}}{h} \quad (4.9)$$

где E –электрическая прочность, МВ/м;

h – толщина диэлектрика,м.

23. Проанализируйте результаты, полученные в ходе выполнения лабораторной работы, и сделайте выводы.

24. Запишите контрольные вопросы и подготовьтесь к устному ответу.

Контрольные вопросы

1. Почему у твёрдых диэлектриков, пропитанных электроизоляционными жидкостями, увеличивается электрическая прочность?
2. В каких единицах измеряют пробивное напряжение и электрическую прочность? Какова связь между этими параметрами?
3. Зависит ли электрическая прочность твёрдых диэлектриков от скорости повышения напряжения?

Практическая работа №4.5

Тема: **Определение температуры вспышки паров трансформаторного масла**

Цель работы: ознакомление с технологией измерения температуры вспышки паров трансформаторного масла с использованием прибора Бренкена. Научить определять температуру вспышки паров трансформаторного масла по справочной литературе.

Оборудование и материалы: схема прибора Бренкена (Рис.4.9), образцы жидких диэлектриков.

Краткие теоретические сведения

Температура вспышки паров трансформаторного масла, находящегося в закрытом тигле должна быть не ниже135ºС [39]. При уменьшении температуры вспышки паров масла увеличивается интенсивность его испарения, что приводит к изменению его состава и образованию вредных и вазрывоопасных газов. Иногда количество газов резко увеличивается в связи с повреждениями в трансформаторе. Об этом сигнализирует газовая защита трансформатора.

Чтобы предотвратить аварии в трансформаторах и масляных выключателях и выявить возможные повреждения аппаратов, периодически определяют температуру вспышки масла. Для определения температуры вспышки нефтепродуктов используют прибор Бренкена. Для определения

температуры вспышки паров трансформаторного масла, его заливают в тигель 1, предварительно промытый бензином.

Уровень масла в тигле должен быть ниже края тигля на 12 мм. Нагревают тигель с песчаной баней 2 со скоростью 10°С в минуту, затем снижают скорость нагрева до 4°С в минуту за 40°С до ожидаемой температуры вспышки. За 10°С до ожидаемой температуры вспышки по краю тигля проводят пламенем. Моментом вспышки трансформаторного масла считается появление большого синего пламени над всей поверхностью масла.

Порядок выполнения работы

1.Подготовьте прибор Бренкена для выполнения практической части лабораторной работы (Рис.4.28).

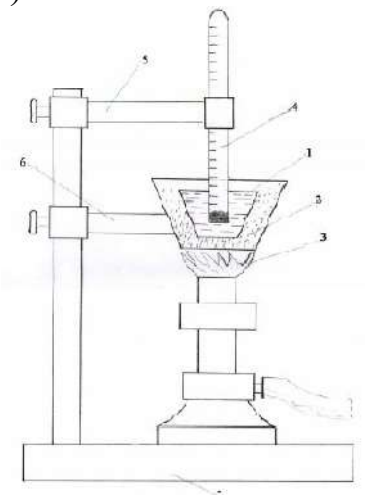


Рисунок 4.28-Прибор Бренкена: 1-стальной тигель для испытываемой жидкости; 2-баня, заполненная сухим песком; 3-спиртовая горелка; 4- термометр; 5-держатель термометра; 6-держатель тигля; 7-стойка прибора для крепления держателя термометра, тигля и установки горелки

2.Залейте масло в тигель и определите температуру вспышки паров трансформаторного масла.

3.Результаты замера занесите в таблицу 4.6.

4.Повторите опыты также с другими видами масел.

Таблица 4.6 Результаты измерений

№	Вид жидкого диэлектрика	Температура вспышки, не менее, ºС
1	Трансформаторное масло	
2	Совол	
3	Октол	

Контрольные вопросы

1.Дайте краткое описание прибора Бренкена.

2.Опишите технологию определения температуры вспышки паров масла с помощью прибора Бренкена.

3.Что называется температурой вспышки паров масла?

4.Каким последствиям приводит уменьшение температуры вспышки паров масла?

5.Перечислите недостатки экспериментируемых масел?

6.Существуют ли заменители данных масел? В чем их преимущество?

4.2 Слесарная обработка деталей и узлов при сборке

Под слесарными работами подразумевают обработку металлов в холодном состоянии, выполняемую слесарями ручным способом при помощи различных инструментов [46,47].

Ремонтные слесарные работы производят для поддержания оборудования в рабочем состоянии; они состоят из исправлений или замены вышедших из строя деталей и узлов машин и оборудования. К слесарным работам относятся следующие основные операции: разметка, рубка, правка, гибка, опиливание, шабрение, притирка, сверление, резьбонарезание и др. Для производства всех этих работ имеются специальные инструменты и приспособления.

Обработку металлов вручную называют слесарной обработкой. Слесарные работы делятся на основные, сборочные и ремонтные. Основными слесарными работами называются операции по приданию деталям заданной чертежом формы, размеров и состояния поверхности. Сборочные слесарные работы выполняются при сборке узлов изделий, при сборке машин и приборов из отдельных узлов [46,47].

Слесарная обработка дополняет станочную механическую или является завершающей операцией при изготовлении металлических изделий соединением деталей, сборке машин и механизмов, а также их регулировке. Слесарные работы состоят из разнообразных технологических операций, в которые входят: разметка, рубка, правка и гибка металлов, резка металлов ножовкой и ножницами, опиливание металла, сверление, зенкование и развертывание, нарезание резьбы, клепка, шабрение, притирка и доводка, паяние, лужение.

Некоторые из перечисленных операций могут производиться и при горячем состоянии металлов (рубка, клепка, гибка). Многие слесарные операции выполняются не только ручным, но и механическим способом.

Заготовки для деталей машин поступают на обработку в механические и слесарные цеха в виде поковок сортового металла. В зависимости от назначения деталей одни заготовки остаются необработанными, другие обрабатываются частично или полностью. При обработке с поверхности заготовки удаляется слой металла, в результате чего уменьшается ее размер. Разность между размером заготовки до и после обработки является величиной припуска на обработку. Чтобы знать оптимальные размеры вести обработки заготовку необходимо разметить.

Разметкой называется операция нанесения на обрабатываемую заготовку разметочных линий, определяющих контуры будущей детали или места, подлежащие обработке. Разметку выполняют точно и аккуратно, потому что ошибки, допущенные при разметке, могут привести к тому, что изготовленная деталь окажется браком. Так же возможно, что неточно отлитую забракованную заготовку можно исправить тщательной разметкой, перераспределив припуски для каждой разметочной поверхности. Точность, достигаемая при обычных методах разметки, составляет примерно 0,5 мм. При тщательной разметке ее можно повысить до сотых долей миллиметра.

Разметка применяется преимущественно в единичном и мелкосерийном производстве. На заводах крупносерийного и массового производства надобность в разметке отпадает благодаря использованию специальных приспособлений – кондукторов, упоров и т. п.

В зависимости от формы размечаемых заготовок и деталей разметка делится на плоскостную и пространственную.

Плоскостная разметка выполняется на поверхностях плоских деталей, на полосовом и листовом материале и заключается в нанесении на заготовку контурных параллельных и перпендикулярных линий, окружностей, дуг, углов, осевых линий, разнообразных геометрических фигур по заданным размерам или контуров различных отверстий по шаблонам.

Приемами плоскостной разметки нельзя разметить даже самое простое тело, если поверхности его не прямолинейны. При плоскостной разметке нельзя нанести горизонтальные риски на боковую поверхность тела вращения, перпендикулярно его оси, так как к ней нельзя приложить разметочный инструмент в виде угольника или линейки и провести параллельные линии.

Пространственная разметка – распространенная в машиностроении, отличается от плоскостной. Трудность пространственной разметки состоит в том, что приходится не просто размечать отдельные поверхности детали, расположенные в различных плоскостях и под различными углами друг к другу, а увязывать разметку этих отдельных поверхностей между собой.

Для проведения разметки заготовку осматривают, проверяют, нет ли у нее пороков (раковин, трещин, пузырей). После этого намеченную к разметке поверхность очищают от окалины и остатков формовочной земли. Удаляют с детали неровности и приступают к окрашиванию поверхности. Окрашивание заготовки производится для того, чтобы разметочные линии были отчетливо видны при обработке. Черные, т.е., необработанные, а также грубо обработанные поверхности окрашивают мелом, скоросохнущими красками или лаками. Мел (порошок) разводят в воде до густоты молока и в полученную массу прибавляют немного льняного масла и сиккатива. Не рекомендуется натирать размечаемую поверхность куском мела, так как мел быстро осыпается и разметочные линии пропадают. Для окрашивания чисто обработанных поверхностей применяют медный купорос в растворе или кусками. Раствор медного купороса (две-три чайные ложки на стакан воды)

наносится на поверхность кистью или тряпочкой; кусковым купоросом натирают смоченные водой поверхности. В обоих случаях поверхность покрывается тонким и прочным медным слоем, на котором отчетливо видны разметочные линии.

Риски обычно наносятся в следующем порядке: сначала проводят все горизонтальные риски, затем вертикальные, после этого наклонные и, наконец, окружности, дуги и закругления.

Так как риски во время работы легко затереть руками и они тогда станут плохо заметны, по линиям рисок набивают кернером небольшие углубления. Эти углубления – керны должны быть неглубокими и разделяться риской пополам. Расстояния между кернерами определяют на глаз. На длинных линиях простого очертания эти расстояния принимаются от 20 до 100 мм; на коротких линиях, а также в углах, перегибах или закруглениях – от 5 до 10 мм. На обработанных поверхностях точных изделий керны по разметочным линиям не делаются.

Рубкой называется обработка металла режущим и ударным инструментом, в результате которой удаляются лишние слои металла или разрубается на части металл, предназначенный для дальнейшей обработки. проводится рубка в тисках на плите или наковальне.

При помощи рубки производят: удаление излишних слоев металла с поверхностей заготовок; выравнивание неровных и шероховатых поверхностей; удаление твердой корки и окалины; обрубание кромок на кованых и литых заготовках; обрубание после сборки выступающих кромок листового материала, концов полос и уголков; разрубание на части листового и сортового материала; вырубание отверстий в листовом материале по намеченным контурам; прирубание кромок в стык под сварку; срубание головок заклепок при их удалении; вырубание смазочных канавок и шпоночных пазов.

Рубку металла (листового, полосового, проволоки и т. п.) производят зубилами крейцмейселями с помощью молотка. При этом заготовку устанавливают на плиту или закрепляют в слесарных тисках.

Резка металла – операция разделения металла на части [47].

Резку прутков, труб, полосового металла выполняют вручную пилами-ножовками. Более крупные заготовки разрезаются на приводных ножовочных станках, на отрезных станках, а также газовой или электродуговой резкой. Для разрезания листового материала толщиной до 2 мм используют ручные и стуловые ножницы, а для более толстых — рычажные ножницы с механическим приводом.

Разметка служит для нанесения на заготовку (поковку, отливку и т. п.) рисок (линий), указывающих границы последующей механической обработки. Размечают металл на разметочных плитах различными инструментами: масштабными линейками, чертилками, рейсмасами, угольниками, циркулями, кернерами.

Опиливанием называется обработка поверхности изделия режущим инструментом – напильником, при помощи которого с обрабатываемого изделия снимается слой металла. Опиливание производится после операций рубки или резки для отделки поверхности обрабатываемого изделия и придания ему более точных размеров. В опытном или единичном производстве опиливание применяется также для пригонки деталей при сборке.

Опиливанием называют обработку поверхностей заготовок напильником для устранения неровностей предыдущей обработки и достижения необходимой точности размеров, формы и шероховатости поверхности.

В слесарном деле основными видами опиловочных работ являются:

1) опиливание наружных плоских и криволинейных поверхностей;
2) опиливание наружных и внутренних углов, а также сложных или фасонных поверхностей;
3) опиливание углублений и отверстий, пазов и выступов, пригонка их друг к другу.

Правкой металла называется исправление вмятин, коробления, кривизны и других недостатков в листовом, прутковом материале. Правка представляет собой подготовительную операцию, предшествующую основным операциям по обработке металлов. Металл подвергается правке как в холодном, так и нагретом состоянии.

Выбор способа зависит от величины прогиба, размеров и материала изделия. Правка может выполняться ручным способом – на стальной, чугунной плитах или на наковальне, а также машинным – на правильных вальцах и прессах.

Правку применяют для исправления неровностей, коробления, поводки листового и пруткового материала. Тонкие (толщиной до 1 мм) листы из жести, алюминия, красной меди, латуни и других мягких материалов правят на плите деревянным молотком, а более толстые — стальными молотками на плите или на наковальне. Погнутые валы и другие крупные детали выправляют на прессах.

Гибку тонких металлических листов и пруткового проката производят в тисках равномерными ударами деревянного молотка, а более толстых — стальным молотком. Для ускорения процесса гибки применяют специальные приспособления.

Шабрение служит для получения требуемой по условиям эксплуатации шероховатости поверхности или для плотного прилегания сопрягаемых поверхностей деталей машин. Шабрение является окончательной операцией (при обработке направляющих поверхностей вкладышей подшипников, станин станков и машин) и осуществляется специальным режущим инструментом - шабером.

Притирку выполняют твердыми шлифовальными порошками, которые наносят на специальные притиры из мягкой стали, серого чугуна, меди,

твердых пород дерева и других материалов. Форма притира должна соответствовать форме обрабатываемой поверхности. Перемещая притир со шлифовальным порошком по обрабатываемой поверхности, снимают с нее очень тонкий (0,001-0,002 мм) слой неровностей, благодаря чему достигается плотное соприкосновение сопрягаемых деталей.

Сверлением называется процесс образования отверстий в сплошном материале режущим инструментом -- сверлом. Для сверления применяют спиральные сверла различных диаметров, электросверлилки и другие инструменты.

Сверлят небольшие и неглубокие отверстия сверлами с помощью ручных, электрических и пневматических дрелей. Крупные и глубокие отверстия сверлятся на станках.

Нарезают резьбу при слесарных работах метчиками и плашками. Метчики служат для нарезания внутренней резьбы, а плашки — наружной. При сборке деталей и узлов машин применяют те же слесарные операции.

Лабораторная работа №4.3

Тема: **Сборка конструкции деталей по чертежам и схемам в соответствии с технологическими картами**

Цель работы: усвоить методику разработки и составления технологических схем сборки.

Оборудование и материалы: полотно колпачковой тарелки в сборе; мотор-редуктор типа МРВ-02; мотор редуктор типа МРВ-04; комплект сборочных чертежей (поузловой и общей сборки изделия); технологические карты сборки узлов изделий.

Краткие теоретические сведения

Мотор-редукторы предназначены для привода малогабаритной химической аппаратуры с перемешивающими устройствами. Изготавливаются только вертикальным, выходным валом вниз, с кольцевой канавкой на выходном валу. Вращение вала в любую сторону. Работа в следующих условиях: температура окружающей среды от –40°С до +50°С, повышенная запыленность, неагрессивная среда [41,49].

Мотор-редукторы представляют собой компактные агрегаты, в которых редуктор и мотор монтируются в одном корпусе. В большинстве случаев мотор-редукторы имеют зубчатые передачи. Они более экономичны, чем тихоходные электродвигатели, имеют более высокий КПД. Но из-за сложности конструкции мотор-редукторы применяются редко.

Как правило одной ступени бывает недостаточно для достижения необходимого диапазона передаточных чисел мотор-редукторов, поэтому широкое применение нашли двух и трёхступенчатые мотор-редукторы. Не редкостью, также, являются четырёх и пятиступенчатые мотор-редукторы.

Редуктором называют агрегат, содержащий передачи зацеплением и предназначенный для повышения вращающего момента и уменьшения угловой скорости двигателя.

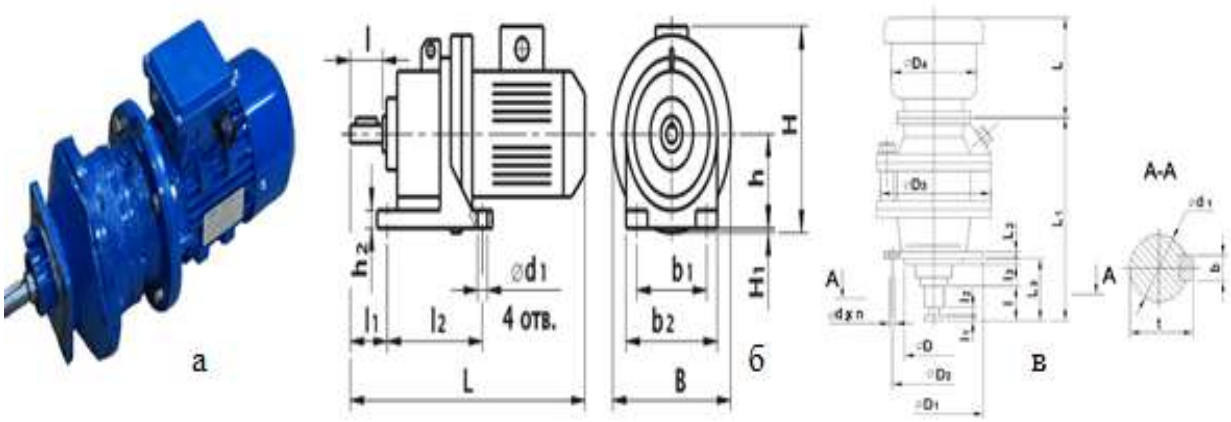
Назначение редуктора — понижение угловой скорости и соответственно повышение вращающего момента ведомого вала по сравнению с ведущим. Механизмы для повышения угловой скорости, выполненные в виде отдельных агрегатов, называют *ускорителями* или *мультипликаторами.*

Мотор-редуктор МРВ02-0,12, МРВ02-0,25, МРВ02-0,75, МРВ04-0,25, МРВ04-0,75 бывают одно- и двухступенчатые, предназначены для привода малогабаритной химической аппаратуры с перемешивающими устройствами. Изготавливаются только вертикальным, выходным валом вниз, с кольцевой канавкой на выходном валу. Вращение вала в любую сторону.

Условия применения планетарных мотор-редукторов МРВ02-0,12, МРВ02-0,25, МРВ02-0,75, МРВ04-0,25, МРВ04-0,75:

- режим работы S1 по ГОСТ 183 продолжительность работы по 8 - 24 ч/сут;
- нагрузка постоянная или переменная в пределах номинального крутящего момента;
- атмосфера типа I и II по ГОСТ 15150 при запыленности воздуха не более 10 мг/м³;
- температура окружающей среды от -40 до +50° С;
- окружающая среда - неагрессивная, невзрывоопасная, относительной влажностью до 80%;
- климатические исполнения - У2, У3, Т2 и Т3 по ГОСТ 15150.

На рисунке 4.29 представлены внешний вид мотора-редуктора МРВ-02 и МРв04, а также габаритные и присоединительные размеры[45].



.

а- внешний вид, б-габариты; в- присоединительные размеры

Рисунок 4.29 - Мотор-редуктор типа МРВ-02 и типа МРВ-04

В соответствии с ГОСТом Республики Казахстан редукторы и мотор-редукторы общемашиностроительного применения классифицируют в зависимости от:

- вида применяемых передач (зубчатые, червячные или зубчато-червячные);

- числа ступеней (одноступенчатые, двухступенчатые и т. д.);

- взаимного расположения геометрических осей входного и выходного валов в пространстве (горизонтальное и вертикальное);

- типу зубчатых колес (цилиндрические, конические, коническо-цилиндрические и т. д.);

- способа крепления редуктора (на приставных лапах или на плите, фланец со стороны входного/выходного вала насадкой);

- расположения оси выходного вала относительно плоскости основания и оси входного вала (боковое, нижнее, верхнее) и числа входных и выходных концов валов.

- особенностям кинематической схемы (развернутая, соосная, с раздвоенной ступенью и т. д.).

Тип и конструкция редуктора определяются видом, расположением и количеством отдельных его передач (ступеней).

Самый простой зубчатый редуктор – одноступенчатый. Используется при малых передаточных числах $i \leq 8 \ldots 10$, обычно $i \leq 6{,}3$.

Двухступенчатый цилиндрический зубчатый редуктор является наиболее распространенным (их потребность оценивается в 65%). Для них наиболее характерны числа i = 8-40.

Трехступенчатые редукторы применяются при больших передаточных числах. Однако имеется тенденция замены их более компактными планетарными редукторами.

Конические зубчатые редукторы применяются в том случае, когда быстроходный тихоходный валы должны быть взаимно перпендикулярны. Обычно передаточное число таких редукторов невелико $i \leq 6{,}3$. При i >12,5 применяют *коническо-цилиндрические* редукторы.

Конические зубчатые редукторы применяются для передачи вращающего момента между валами, оси которых пересекаются под некоторым углом, как правило, равным 90°.

Коническо-цилиндрические редукторы(Рис.4.30) представляют собой совокупность конического редуктора с одноступенчатым цилиндрическим, в котором отражены все преимущества и недостатки названных редукторов.

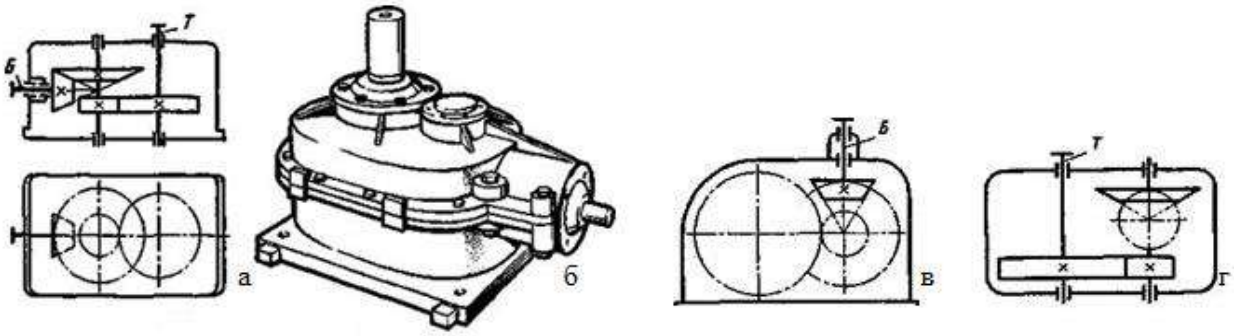
В двухступенчатых коническо-цилиндрических редукторах коническая пара может иметь прямые, косые или криволинейные зубья. Цилиндрическая пара также может быть либо прямозубой, либо косозубой [49].

Наиболее употребительный диапазон передаточных чисел для таких редукторов u = 8÷15. Наибольшие значения при прямозубых конических колесах u_{max} = 22; при конических колесах с круговыми зубьями u_{max} = 34.

При последовательном соединении нескольких простых планетарных передач можно получить редуктор с большим передаточным отношением (Рис.4.30, а).

Очевидно, применение соосных редукторов ограничивается случаями, когда нет необходимости иметь два выходных конца быстроходного или тихоходного вала, а совпадение геометрических осей входного и выходного валов удобно при намеченной общей компоновке привода. Соосные

редукторы очень удобны для использования в машинах с повторно-кратковременным режимом работы.

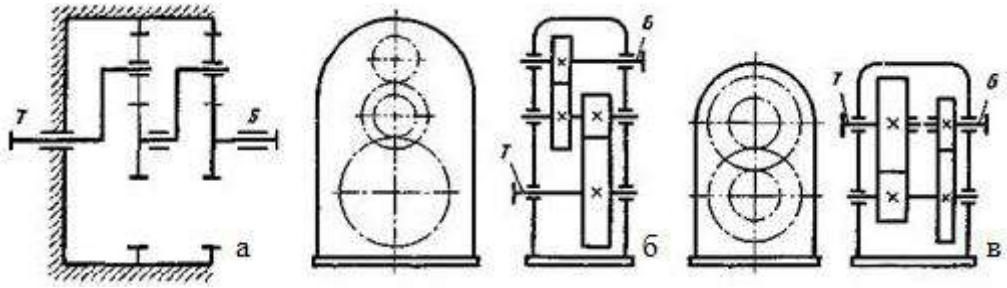


а – кинематическая схема; б – общий вид; в, г- с вертикальный быстроходный вал редуктора

Рис. 4.30 -Двухступенчатый коническо-цилиндрический редуктор с вертикальным тихоходным валом

Схемы вертикальных цилиндрических двухступенчатых редукторов приведены на рисунке 4.31[45,49].

Для многоступенчатых редукторов и мотор-редукторов показателями назначения являются *межосевое расстояние* и *радиус расположения осей сателлитов* и задают их по величине выходной ступени с обозначением $a_{\omega T}$ и $R_т$.



а-планетарный; б -выполненный по развернутой схеме (трехосного); в -соосный

Рис. 4.31- Кинематические схемы двухступенчатых цилиндрических вертикальных редукторов

К определяющим параметрам относят межосевые расстояния, внешние делительные диаметры конических колес, радиусы водил или делительные диаметры центральных колес с внутренними зубьями в планетарных передачах, ширину колес, модули и передаточные отношения, коэффициенты, диаметры червяка и число винтов червяка (для червячных передач).

Порядок выполнения работы

1.Работа рассчитана на 4 часа и состоит из двух частей: 1 – сборка редуктора; 2 – сборка полотна колпачковой тарелки [44,49].

3.Перед выполнением лабораторной работы группа разбивается на пять подгрупп, каждая из которых получает индивидуальный узел и сопровождающую информацию. После составления схемы сборки подгруппы обмениваются данными с другими подгруппами для составления общей технологической схемы сборки изделия.

4. По полученному варианту изучите узловые и общий сборочные чертежи.

5. Определите вид сборки, обеспечивающий заданную точность и программу выпуска.

6. Проведите анализ на технологичность деталей, узлов и изделия в целом.

7. В отчет занесите эскиз узла и спецификации к нему.

8. Составьте технологические схемы узловой и общей сборки.

9. В качестве примера составьте технологический эскиз на один вариант технологической операции.

10. Определите нормы времени по нормативным материалам.

11. Оформите отчет по выполненной лабораторной работе.

Контрольные вопросы

1. В чем сущность методов полной взаимозаменяемости, неполной, групповой, методов пригонки и регулирования?

2. Обосновать целесообразность применения того или иного метода сборки.

3. Каковы организационные формы сборки?

4. Каковы принципы осуществления стационарной и подвижной сборки?

5. Какие задачи решает технологическая схема сборки?

6. Каковы рекомендации и принцип построения технологических схем сборки?

7. В чем суть нормирования и определения трудоемкости сборочных работ?

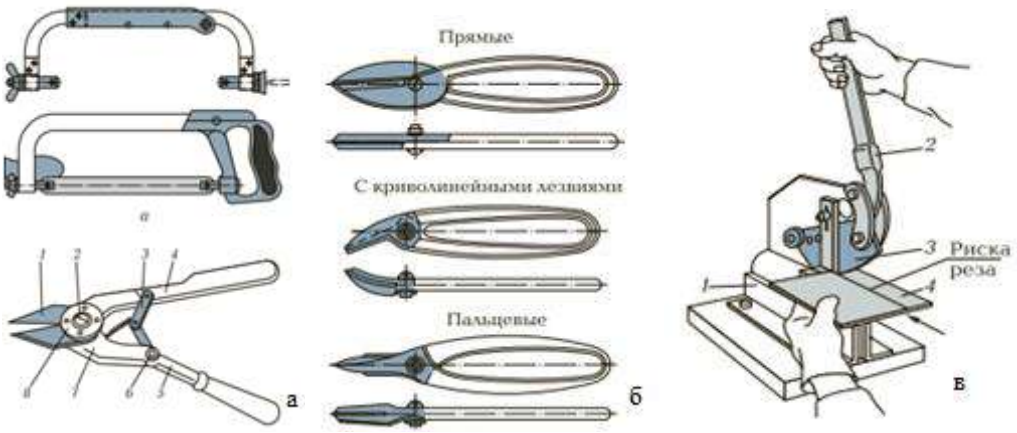
4.5 Инструменты и контрольно-измерительные приборы для выполнения слесарных и слесарно-сборочных работ

Слесарные инструменты, применяемые при выполнении слесарных и слесарно-сборочных работ резанием. В зависимости от формы и размеров заготовок или деталей резку осуществляют вручную (ручными ножницами, ручными ножовками, рычажными ножницами) или механическим способом (при помощи механических ножовок, дисковых пил и др.) [48]. Ручная резка

металла может производиться ручными ножницами или ручными ножовками (Рис.4.32).

Для прямолинейного резок металла небольшой толщины применяют ручные ножницы, одну рукоятку которой зажимают в тисках [46,48].

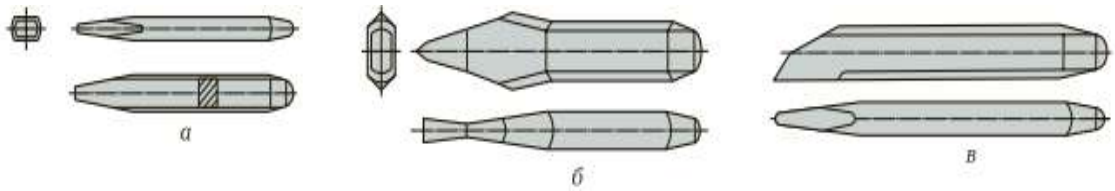
Ручная ножовка – инструмент, состоящий из двух главных частей: ножовочного полотна и специальной оправы, в которой помещается ножовочное полотно. Эта оправа носит название рамки или станка.



А-ножовочный станик; б-ручные ножницы; в-ручные настольные рычажные ножницы: 1-основание, 2-рукоятка, 3-нож, 4-заготовка.

Рисунок 4.32 –Инструменты для резки металла

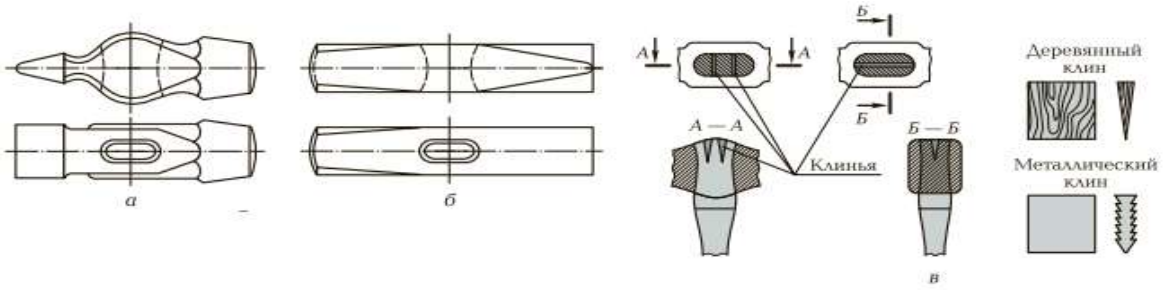
Слесарные инструменты, применяемые при рубке. В качестве режущего инструмента при рубке используют зубило, крейцмейсель и канавочник, которые изготавливаются из инструментальной углеродистой стали (Рис.4.33).



а-зубило; б-крейцмесель; в- канавочник

Рисунок 4.33-Инструменты для рубки

В качестве ударного инструмента применяют молотки с круглым или квадратным бойком, или пневматические молотки (Рис.4.34). Твердость рабочей части инструмента для рубки после его закалки должна превышать твердость обрабатываемых материалов и составлять не менее 50HRC[48].



а- с круглым бойком; б- с квадратным бойком; в- способы крепления рукоятки

Рисунок 4.34 – Слесарные молотки

Слесарное зубило предназначено для удаления слоя материала плоской поверхности и разрезания на части листового, полосового и профильного материала.

Крейцмейсель отличается от зубила более узкой рабочей частью и применяется для прорубания канавок, шпоночных пазов и других работ.

Канавочник применяют для прорубания смазочных канавок во вкладышах и втулках подшипников скольжения и профильных канавок специального назначения.

Рубка производится в тисках, на плите или на наковальне; громоздкие детали могут обрабатываться рубкой в месте их размещения. Обрабатываемая рубкой деталь должна быть закреплена неподвижно.

Слесарные инструменты, применяемые при выполнении слесарных и слесарно-сборочных работ гибкой и правкой. При правке металлов используют следующие инструменты: правильную плиту, молотки, гладилки, гибочные вальцы, винтовые прессы и т.д. *Правильная плита* изготавливается из стали, серого чугуна.

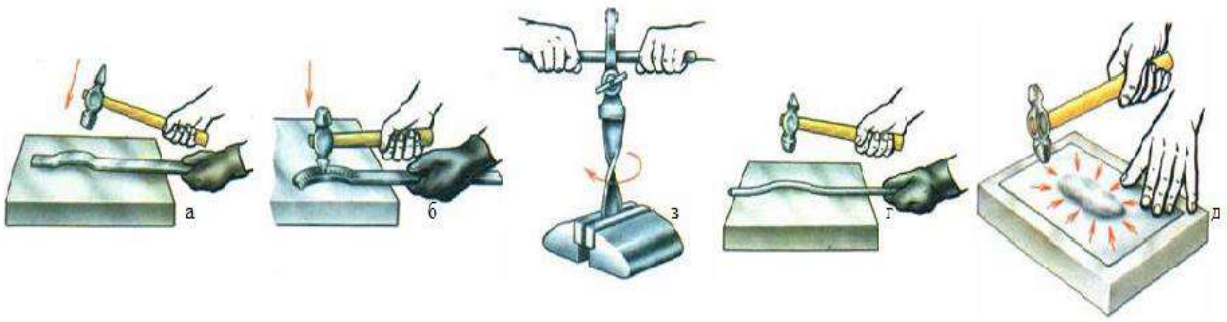
Молотки для правки применяют с круглым гладким полированным бойком, так как применение молотков с квадратным бойком приводит к некачественной правке.

Гладилки применяют при правке тонкого листового и полосного металла.

Гибочные вальцы бывают ручными и приводными. Они представляют из себя ручные и приводные трехвалки, которые правят заготовки прямые иизогнутые по радиусу, имеющие на поверхности выпуклости и вмятины.

Винтовые прессы предназначены для правки валов и деталей из угловой стали.

Правка (Рис. 4.35,а). - устранение дефектов заготовок из листового, полосового, пруткового материала (например, вогнутостей, выпуклостей, волнистостей), а также дефектов деталей (например, изгибов, короблений).



а-стальные полосы, изогнутой по широкой плоскости; б- стальные полосы, изогнутой по ребру; в- скрученные полосы; г- круглый пруток на плите; д- -правка листового металла

Рисунок 4.35-Виды правки

При большом изгибе полосы на ребро удары наносят носком молотка для односторонней вытяжки (удлинения) мест изгиба (Рис. 4.35,б). Полосы, имеющие скрученный изгиб, правят методом раскручивания с помощью ручных тисков (Рис. 4.35, в). Правку металлических прутков можно производить также на плите или наковальне (Рис. 4.35, г) [48].

При использовании для гибки металлов различных оправок их форма должна соответствовать форме профиля изготовляемой детали с учётом деформации металла (Рис. 4.36). Расчёт длины заготовки выполняют по чертежу с учётом радиусов всех изгибов.

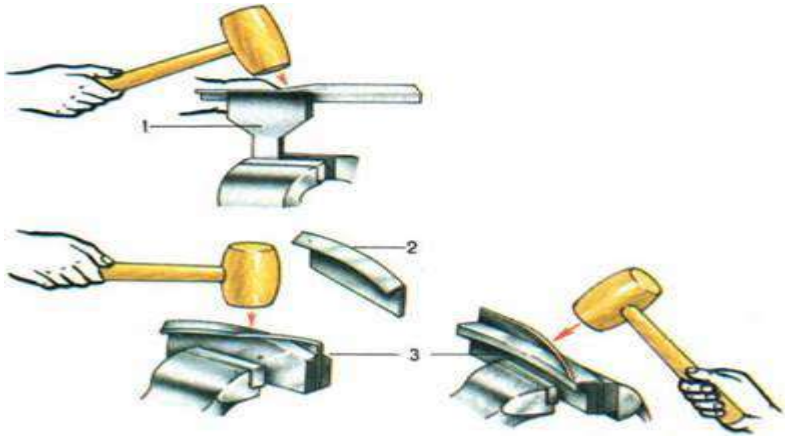


Рисунок 4.36- Сгибание листового металла на оправках: 1, 3 - оправки; 2 - готовая деталь

Гибке могут подвергаться цельнотянутые и сварные стальные трубы, а также трубы из цветных металлов и сплавов. Гнут трубы с наполнителем (обычно сухой речной песок) или без него, в зависимости от материала трубы, её диаметра и радиуса изгиба (Рис. 4.37).

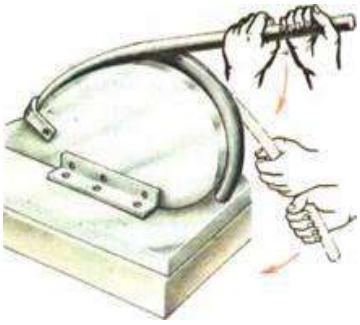
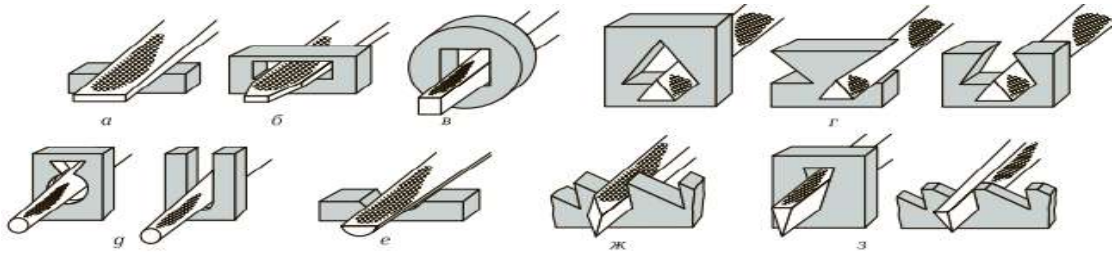


Рисунок 4.37- Сгибание трубы с использованием специального приспособления

Горячая гибка труб выполняется, как правило, с наполнителем. При горячей гибке соблюдать меры пожарной безопасности [47].

Опиливание подразделяется на предварительное черновое и окончательное (чистовое и отделочное), выполняемое различными напильниками (Рис.4.38) [48].

Напильники представляют собой режущие инструменты в виде стальных закаленных брусков различного профиля с населенными на рабочих поверхностях зубьями. Одинарная насечка наносится под углом 70–80° к ребру напильника [48].

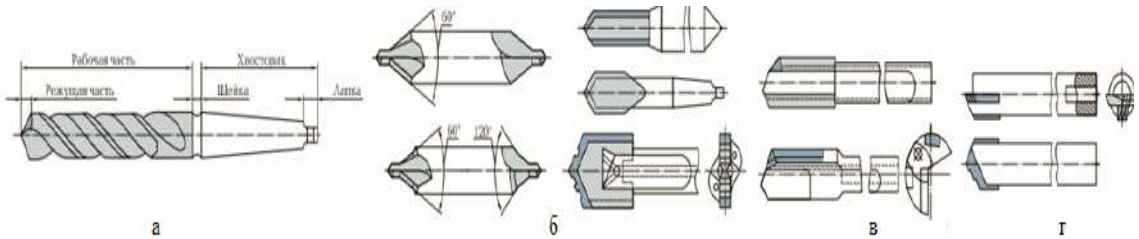


а-б-плоские; в-квадратная; г-трехгранная, д-круглая; е-полукруглая; ж-ромбическая; з-ножовочная

Рисунок 4.38 – Формы поперечного сечения напильников и обрабатываемых поверхностей

Для сверления применяют спиральные сверла различных диаметров, электросверлилки и другие инструменты.

Спиральное сверло состоит из рабочей части и хвостовика, которым оно закрепляется в шпинделе станка (Рис 4.39) [47,48].



а-спиральные; б- центровочные; в- перовые; г- ружейные для глубокого сверления

Рисунок 4.39- Сверла для обработки отверстий

Хвостовики бывают двух типов: конические и цилиндрические.
На рисунке 4.40 представлены различные зенкеры [48].

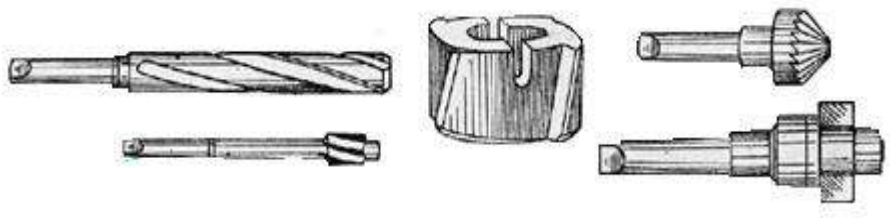


Рисунок 4.40–Зенкеры

По конструкции зенкеры бывают цилиндрические и конические.

Развертывание. Отверстия, полученные сверлением, часто для обеспечения высокой точности подвергают дополнительной обработке - развертыванию.

Слесарные инструменты, применяемые для нарезания резьбы. Многие детали машин, строительных конструкций и бытовых приборов скрепляют между собой при помощи *резьбовых соединений*. В резьбовых соединениях применяют болты, шпильки и винты.

Болт — цилиндрический стержень с головкой на одном конце и с резьбой на другом (Рис. 4.41, а) [47].

Шпилька — цилиндрический стержень с резьбой на обоих концах (Рис. 4.36, 6). Один конец шпильки ввинчивается в одну из соединяемых деталей, а на другой конец устанавливают скрепляемую деталь и навинчивают гайку.

Винт — цилиндрический стержень с резьбой для ввинчивания в одну из соединяемых деталей и головкой различных форм (Рис. 4.37, в).

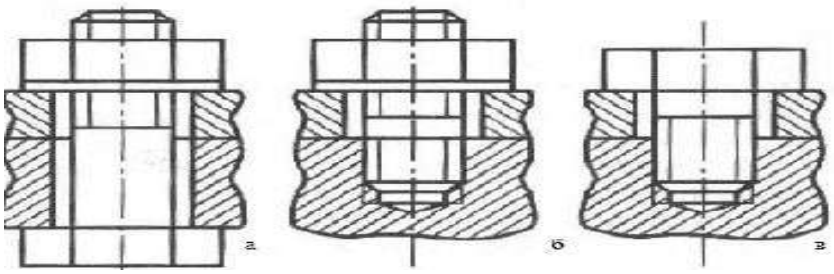


Рисунок 4.41– Резьбовые соединения при помощи: а-болта4 б-шпильки4 в- винта

Резьба — это выступы на поверхности винтов и гаек, расположенные по винтовой линии. Основными элементами резьбы являются угол подъема винтовой линии α, шаг резьбы р, угол профиля γ, наружный и внутренний диаметры резьбы (Рис. 4.42).

Для нарезания *наружной* крепежной *резьбы* используют специальный инструмент — *плашки* (Рис. 4.42, а). Плашка имеет вид гайки из закаленной стали.

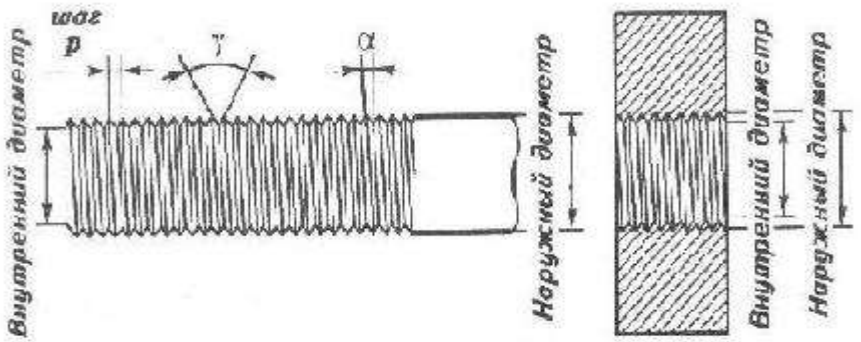
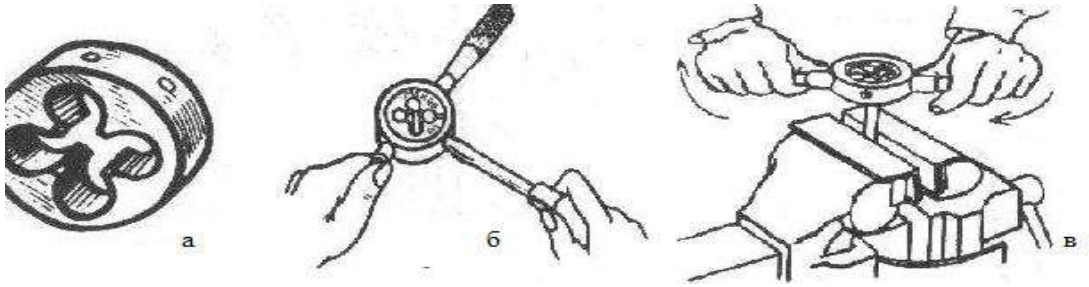


Рисунок 4.42- Элемнты резьбы

Плашку для нарезания требуемой резьбы (диаметр резьбы и ее шаг обозначены на поверхности плашки) закрепляют в *плашкодержателе* (Рис. 4.43, б), накладывают на верхний торец стержня и с небольшим нажимом, без перекосов, вращают ее (Рис. 4.43,в)[48].

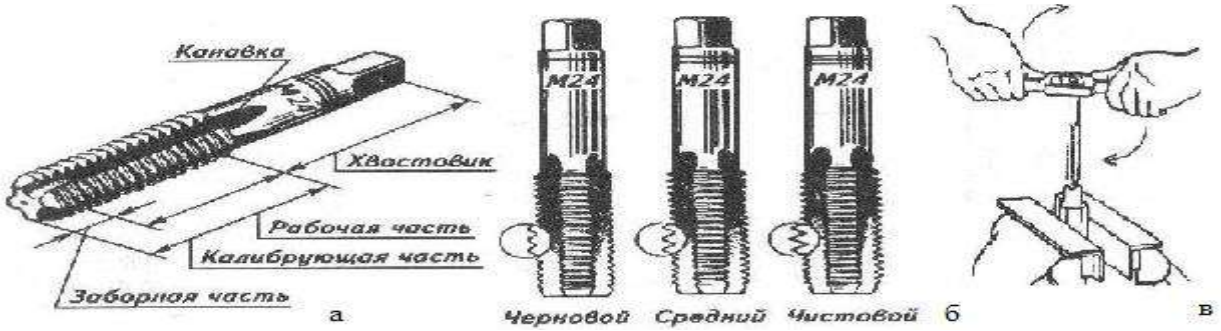


а- плашка; б-закрепление плашки; в-нарезание резьбы плашкой

Рисунок 4.43 – Работа с плашкой

Внутреннюю резьбу (резьбу в отверстии) нарезают *метчиком* (Рис. 4.44). Он состоит из хвостовика и рабочей части. Рабочая часть метчика представляет собой винт с продольными канавками.

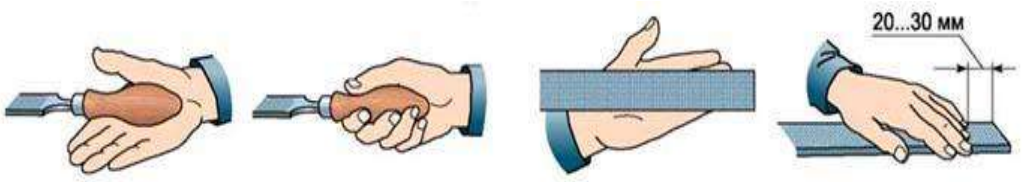
Напильник – стальной брусок с насечкой на поверхности – эффективный и относительно недорогой инструмент для обработки изделий из металла, дерева и других материалов[48].



а- устройство; б- комплект для нарезания метрической резьбы; в-нарезание резьбы мечиком

Рисунок 4.44 –Мечики

Схема обработки детали напильником (Рис.4.45) *[48]*.



,

Рисунок 4.45- Работа с напильником

Относительно тисков правильное положение корпуса и ног – около 45 градусов; левая нога при этом у верстака, а противоположная смещена чуть вправо и назад; при таком положении корпуса ног и рук при рабочем ходе инструмента основная нагрузка ложится на левую ногу, а при возвратном процессе – на правую (Рис.4.46);

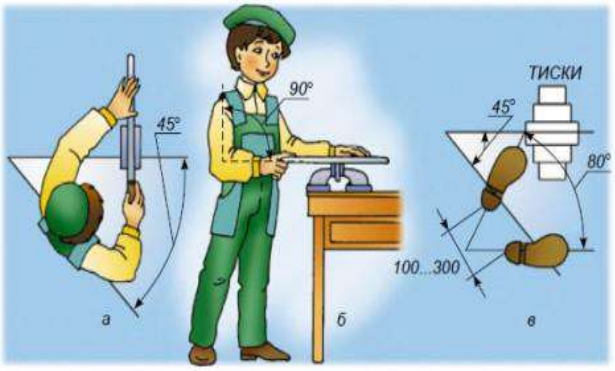


Рисунок 4.46- Положение корпуса и ног при работе у верстака

Варианты опиливания (Рис.4.47)*:*

• ***поперечное-***продольная ось тисков должна составлять с напильником прямую линию – инструмент движется вперед-назад;

• ***перекрестное-***напильник «работает» под углом 30-40 градусов;

• ***продольное-***вперед-назад движется короткая часть напильника (работают, взявшись ладонью поперек напильника) [46,48].



Рисунок 4.47- Варианты опиливания

Нельзя удалять стружку голыми руками или сдувая ее – для этого придумали щетки (Рис.4.48).

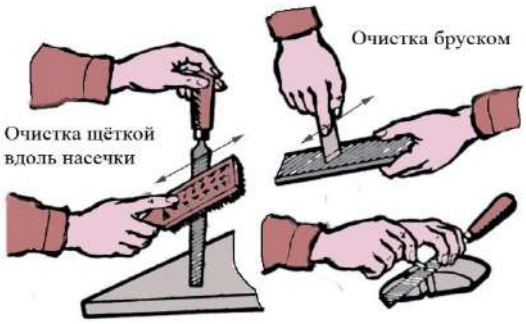


Рисунок 4.48- Приемы очистки напильника

Запрещается обхватывать носок бруска рукой – пальцы должны быть поверх плоскости изделия (Рис.4.49, а). Исходя из рекомендаций по работе, можно понять, каких ошибок следует избегать.

Не рекомендуется (Рис.4.49,б):

• работать с изделием, предназначенным для иной задачи; например, нерационально, для черновой обработки использовать брусок с частой насечкой;

• прикладывать усилия при обратном ходе инструмента;

• пренебрегать правилами безопасной работы;

• работать в одном направлении; избегая чередования вектора движения бруска, вы получаете неплоскостность поверхности обрабатываемой детали;

• игнорировать эксплуатационные правила; это одна из самых распространенных ошибок, ведущая к снижению срока службы инструмента;

• располагать корпус и ноги неправильно; некорректная позиция ведет к быстрому утомлению.



Рисунок 4.49- Ошибки при работе с напильником

Слесарные инструменты, применяемые при выполнении слесарных и слесарно-сборочных работ клепкой. Для соединения деталей заклепками с полукруглыми головками вам потребуются тиски, струбцины, молоток,

натяжки, обжимки, поддержки, сверлильный станок или дрель, бородок. Большинство этих инструментов и приспособлений хорошо известно [47,48].

Обжимка (Рис. 4.50) -это стальной стержень, один конец которого называется бойком, а в центре другого конца сделано неглубокое гнездо.



Рисунок 4.50- Обжимка

Для ручной клепки применяются следующие инструменты: слесарный молоток (как правило, используется молоток с квадратным бойком), поддержка под закладную головку и обжимку.

Натяжка (Рис. 4.51, а) служит для осаживания листов, подлежащих клепке, вдоль стержня заклепки.

Обжимка (Рис. 4.51, б) представляет собой стержень, на конце которого выполнено углубление для формирования после осаживания бойком молотка замыкающей полукруглой головки заклепочного соединения.

Чеканы (Рис. 4.51, в) представляют собой зубило с плоской и закругленной частью; они применяются для создания герметичности заклепочного шва, которая достигается за счет подчеканивания краев листов в заклепочном шве.

Пистонница (Рис. 4.51, г) представляет собой специальный инструмент для развальцовывания трубчатых заклепок.

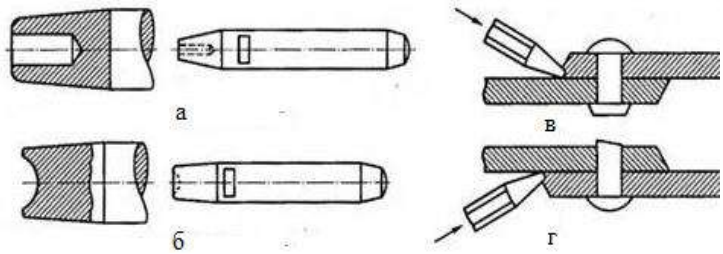


Рисунок 4.51-Инструменты для выполнения заклепки

Проведение работ по изготовлению приспособлений для сборки и ремонта. Ремонт приспособлений -один из сложных видов работ [48].

По объему и сложности работ различают текущий и капитальный ремонты приспособлений. Текущий ремонт сводится к замене или исправлению одной-двух изношенных или сломанных деталей без разборки и регулировки всего приспособления. Капитальный ремонт характеризуется частичной или полной разборкой приспособления и его узлов, сменой

изношенных деталей, сборкой, пригонкой и регулированием приспособления, как это делается при его изготовлении.

4.6 Работы по изготовление приспособлений для сборки и ремонта

Практическая работа №4.6

Тема: **Выполнение разметки металлов**

Цель работы: Овладеть приёмами разметки металлов.

Оборудование и материалы: слесарный верстак, чертилка, кернер, слесарный циркуль, линейка, угольник, транспортир, молоток.

Краткие теоретические сведения

Разметкой называется операция нанесения на поверхность заготовки точек и линий (рисок), определяющих согласно чертежу контуры детали или места, подлежащие обработке. Разметочные линии (риски) могут быть контурными, контрольными или вспомогательными. Контурными называют риски, которые определяют контур будущей детали и показывают границы обработки. Контрольные риски проводят параллельно контурным «в тело» детали. Они служат для проверки правильности обработки, если исчезнут контурные линии. Вспомогательными рисками намечают оси симметрии, центры радиусов закруглений и т. д. Риски получают путем царапания поверхности металла или специального покрытия размечаемых поверхностей (мелового, слоя меди, осевшего из раствора медного купороса, слоя лака или краски).

При выполнении указанных видов разметки применяется разнообразный контрольно-измерительный и разметочный инструмент (Рис.4.52).

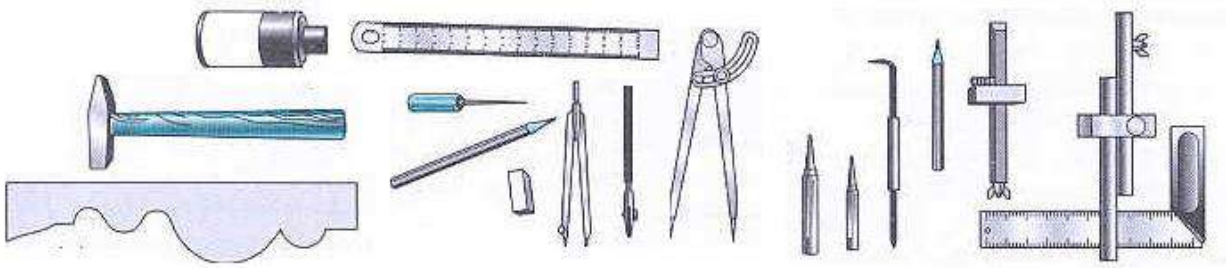
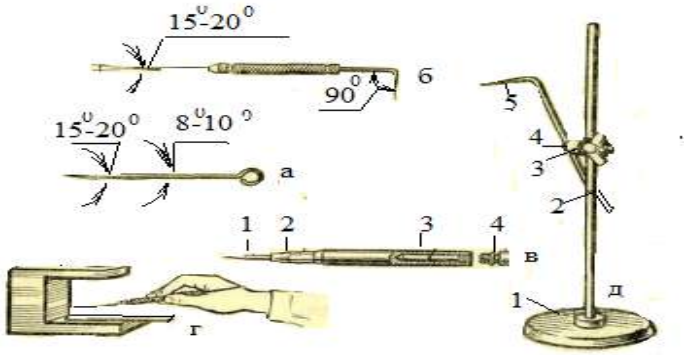


Рисунок 4.52- Инструменты для разметки и наметки

Контрольно-измерительные инструменты: измерительные металлические линейки, угольники, угломеры, штанген-инструменты. К специальному разметочному инструменту относят чертилки, кернеры, разметочные циркули, рейсмусы.

Чертилки (Рис. 4.53) служат для нанесения линий (рисок) на размечаемую поверхность заготовки.

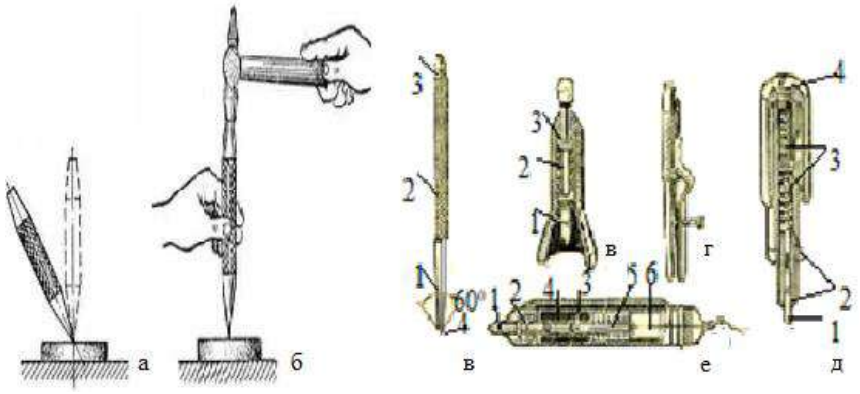


а - чертилка круглая; б - чертилка с отогнутым концом; в - чертилка со вставными иглами (1 - игла; 2 - корпус; 3 -запасные иглы; 4 - пробка); г - применение чертилки с отогнутым концом; д - рейсмус. (1 - подставка; 2 - стойка; 3 - хомутик; 4 - винт; 5 - чертилка).

Рисунок 4.53-Инструменты для нанесения рисок

Кернеры (Рис. 4.54) применяют для нанесения углублений (кернов) на предварительно размеченных линиях. Изготовляют кернеры из инструментальной углеродистой стали.

Рабочую (острие) и ударную части подвергают термообработке. Кернеры подразделяют на: обыкновенные, специальные, механические (пружинные), электрические.



а-установка кернера;б-кернение; в - обыкновенный (1 - ударная часть; 2 - стержень; 3 - рабочая часть; 4 - коническая часть); г -кернер-колокол (центроискатель) (1 - рабочая часть; 2 - колокол; 3 - головка); в - кернер-циркуль; д - механический (1 - рабочая часть; 2 - ударник; 3 - пружина; 4 - винт); е - электрический (1 - кернер; 2, 5 - пружины; 3 - ударник; 4 -катушка; 6 - корпус).

Рис.4.54 - Кернеры

Одним из основных инструментов для пространственной разметки является рейсмус. Он служит для нанесения параллельных рисок и для проверки установки деталей на разметочной плите. Рейсмусом наносят все разметочные линии, параллельные плоскости плиты (Рис. 4.55), а при помощи угольника — вертикальные линии.



Рис. 4.55-Рейсмус

Порядок выполнения работы

1.Изучите теоретический материал.

2.Получите инструменты и выполните разметку металла.

3. Покажите результаты контрольно-измерительных работ преподавателю.

4.Ответьте на контрольные вопросы.

Контрольные вопросы

1.Объясните сущность использования разметки.

2.Для чего предназначена чертилка, кернер, рейсмус?

3.В чем их недостатки и преимущества при использовании для разметки металлов?

Практическая работа №4.7

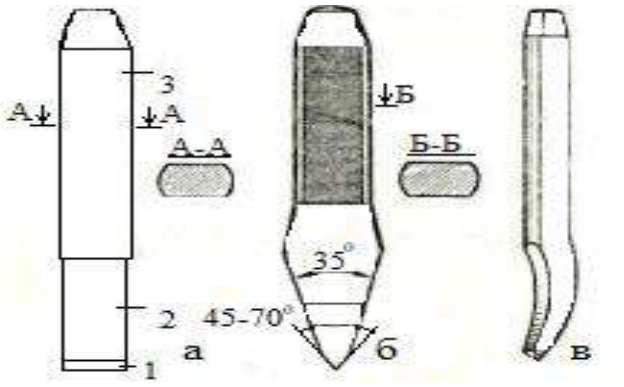
Тема: **Выполнение рубки металлов**

Цель работы: овладеть приёмами рубки металлов.

Оборудование и материалы: слесарный верстак, тиски, зубило, молоток, металлическая плита.

Краткие теоретические сведения

Рубкой называется обработочная операция, при которой с заготовки удаляются слои металла или заготовка разрубается на части. Физической основой рубки является действие клина, форму которого имеет рабочая (режущая) часть зубила или крейцмейселя (рис.4.56).



а)-зубило;б- крейцмессель; в-канавочник

Рисунок 4.56 –Инструменты для рубки

Разрубание листового материала на части можно выполнять на плите. Основным рабочим режущим инструментом при рубке является зубило или крейцмейсель.

Порядок выполнения работы

1.После проведения инструктажа по технике безопасности выполните упражнения. Упражнения в постановке корпуса и ног при рубке, в держании молотка и зубила, в движениях при кистевом, локтевом и плечевом ударах.

2.Выполните упражнения в разметке мебельного уголка из стали и покажите преподавателю на оценку

3.Соблюдая технику безопасности под руководством преподавателя выполните рубку:

а) листовой стали по уровню губок тисков;

б) металла навесным ударом;

в) стали выше уровня губок тисков;

г) металла слесарным зубилом;

д) металла слесарным крейцмейселем;

4. Запиливание кромок изделия напильником.

5. Вырубание стержня для шила.

6. Изготовление изделий из стали (мебельного уголка).

7. Уберите рабочее место. Оцените свою деятельность, выявите сильные и слабые стороны ваших работ.

Контрольные вопросы

1.Составьте таблицу «Классификация применяемых инструментов, назначение, конструктивные особенности, особенности применения».

2.Составьте интеллектуальную карту и опишите приемы выполнения рубки по каждой выполненной работе.

Практическая работа №4.8

Тема: **Нарезание резьбы. Клёпка Шабрение**

Цель работы: закрепить знания, полученные при прохождении тем: «Нарезание резьбы. Клёпка Шабрение»; научиться выбирать инструмент для выполнения операций в зависимости от обрабатываемого материала, практического назначения элементов изделия и используемого оборудования.

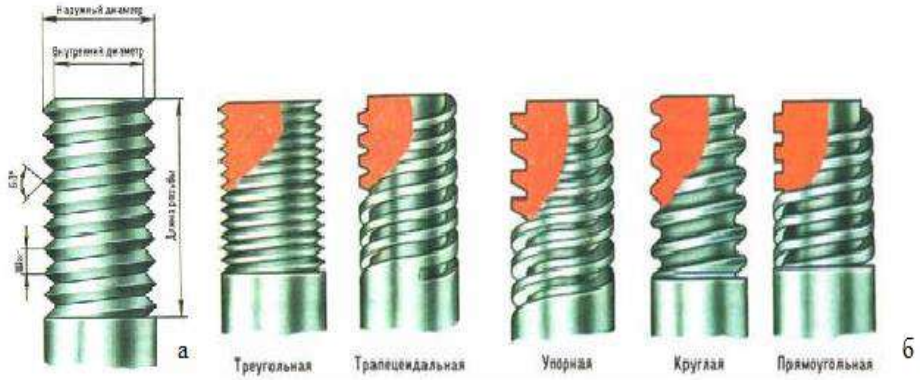
Краткие теоретические сведения

Приёмы нарезания резьбы и особенно применяемый при этом режущий инструмент во многом зависят от вида и профиля резьбы. Резьба представляет собой винтовую канавку постоянного сечения на наружной (наружная резьба) или внутренней (внутренняя резьба) цилиндрической или конической поверхности.

Виды резьбы. Резьбы бывают однозаходные, образованные одной винтовой линией (ниткой), или многозаходные, образованные двумя и более

нитками. По направлению винтовой линии резьбы подразделяются на правые и левые. Профилем резьбы называется сечение её витка в плоскости, проходящей через ось цилиндра или конуса, на котором выполнена резьба. Для нарезания резьбы важно также знать основные её элементы: шаг, наружный и внутренний диаметры (Рис. 4.53, а) и форму профиля резьбы. Шагом резьбы (*t*) называют расстояние между двумя одноимёнными точками соседних профилей резьбы, измеренное параллельно оси резьбы. Наружный диаметр (*d*1) - расстояние между крайними наружными точками резьбы в направлении, перпендикулярном оси резьбы. Внутренний диаметр (*d*2) - расстояние между крайними внутренними точками резьбы в направлении, перпендикулярном оси. По форме профиля резьбы подразделяют на треугольные, прямоугольные, трапецеидальные, упорные (профиль в виде неравнобокой трапеции) и круглые (Рис. 4.53,б). В зависимости от системы размеров резьбы делятся на метрические, дюймовые и трубные. В метрической резьбе угол треугольного профиля равен 60°, элементы резьбы выражаются в миллиметрах.

Нарезание внутренней резьбы. Внутреннюю резьбу в отверстиях нарезают специальным режущим инструментом - *метчиком*. Для нарезания резьбы вручную применяют комплекты ручных метчиков, состоящие обычно из трёх или двух метчиков. В комплект из трёх метчиков входят черновой, получистовой (средний) и чистовой метчики. Первым и вторым метчиками нарезают резьбу предварительно, а третьим придают ей окончательный размер и форму. Номер каждого метчика в комплекте отмечен числом рисок на хвостовой части. В комплект из двух метчиков входят черновой и чистовой метчики. При нарезании резьбы метчики закрепляют в специальном *приспособлении для нарезания резьбы* - воротке.



а-элементы резьбы; б-формы профиля резьбы

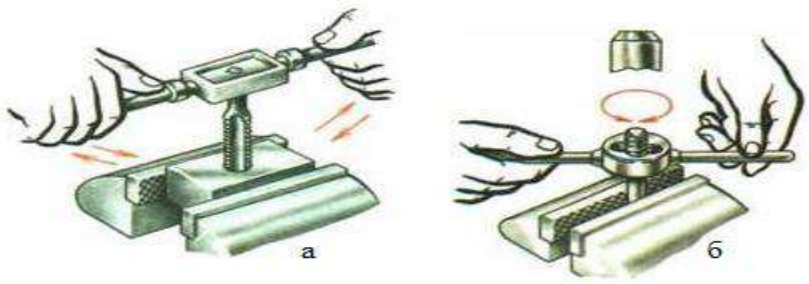
Рисунок 4.57-Резьба

При нарезании внутренней и наружной резьбы важно правильно выбрать диаметр сверла для получения отверстия под внутреннюю резьбу и диаметр стержня под наружную. Чтобы узнать шаг резьбы, с помощью штангенциркуля или измерительной линейки определяют высоту 10 ниток метчика и полученный результат делят на 10.

Нарезание внутренней резьбы выполняют в следующей последовательности. Деталь с предварительно просверленным в ней отверстием закрепляют в тисках таким образом, чтобы ось отверстия была строго вертикальна.

Прижимая левой рукой вороток к метчику, правой проворачивают его до врезания на несколько витков в металл. Взяв вороток двумя руками (Рис. 4.58, а), начинают медленно и попеременно его вращать (1...1,5 оборота по часовой стрелке, 0,5 оборота - против). Делается это для того, чтобы ломалась образующаяся стружка и тем самым облегчался процесс резания.

Нарезание наружной резьбы. Нарезание наружной резьбы вручную осуществляется с помощью *плашек* - круглых (цельных или разрезных) либо призматических (Рис. 4.58,б).



а-внутренний метчиком; б- наружной резьбы плашкой

Рисунок4.58-Нарезание резьбы

Порядок выполнения работы

1. Дать определения метрической и трубной резьбам. В чём их конструктивные особенности?

2. Расшифровать маркировки резьб по вариантам по таблице 4.7.

Таблица 4.7 - Марки резьб

вар.	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27
	M12x1	M8x0.75	M14x1,25	M45x2	M68x4	M36x1,5	M48x3	M60x3	M24x2	M30x1,5	M16x1,5	M42x2	M56x3
	M6	M8	M10	M12	M14	M16	M18	M20	M22	M24	M27	M30	M33
	G1/16″	G1/8″	G1/4″	G3/8″	G1/2″	G3/4″	G1″	G1 1/4″	G11/2″	G2″	G2 1/2″	G3″	G3 1/2″

3.Сделать эскиз клёпочного соединения двух одинаковых пластин четырьмя заклёпками 110×120×4 (мм). Межосевые размеры и диаметры заклёпок принять произвольно. Поставить все необходимые размеры для изготовления соединения в соответствии с ГОСТ(таблица). В таблице 4.8 указаны типы заклепки с головками: 1-полукруглой; 2-цилиндрической; 3-полукруглой потайной; 4- полупотайной;5-рубчатой; 6-потайной.

Таблица4.8- Размеры для заклепок по ГОСТу

вар.	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27
Раз-меры пластины	80x130x4	110x120x5	150x100x6	70x130x4	80x140x7	110x160x9	90x120x3	110x170x4	150x120x5	110x150x6	115x80x7	140x120x8	110x160x9
Тип заклепок	1	2	3	4	5	1	2	4	4	5	1	2	6
Тип шва	1ряд ный	2ряд ный	1ряд ный	2ряд ный	1ряд ный	2ряд ный	1ряд ный	2ряд ный	1ряд ный	2ряд ный	1ряд ный	2ряд ный	1ряд ный

4. Составьте таблицу типичных дефектов клёпки, причин их появления и способов предупреждения.

Контрольные вопросы

1. Назовите правила, которые необходимо соблюдать при шабрении.
2. Перечислите типичные дефекты при шабрении, причины их появления (возникшие не по вине человека проводящего обработку) и способы предупреждения.

4.7 Выявление и устранение дефектов деталей и механизмов машин в процессе слесарно - сборочных работ

В машиностроении существуют несколько способов соединения деталей. Деталь - материальный объект, входящий в соединение, который не может быть разделен на более мелкие объекты.

Принято различать соединения деталей подвижные и неподвижные (Рис.4.59).

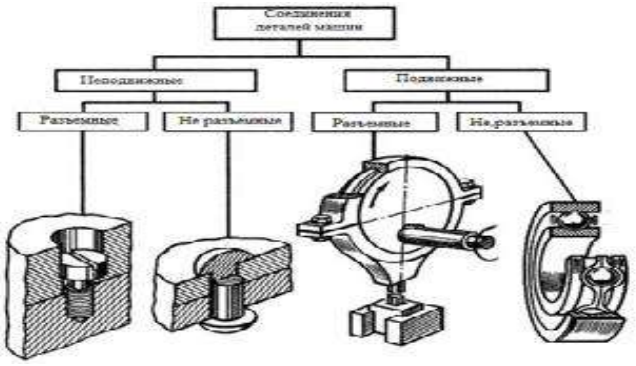


Рисунок 4.59 –Классификация соединений деталей

В *подвижных* соединениях детали движутся друг относительно друга, а в *неподвижных* жестко скреплены друг с другом. Каждый из этих двух типов соединений подразделяют на две основные группы: разъемные и неразъемные.

Разъемными называются такие соединения, которые позволяют производить многократную сборку и разборку сборочной единицы без повреждения деталей. К разъемным неподвижным соединениям относятся резьбовые, штифтовые, шпоночные, шлицевые, профильные, клеммовые.

Неразъемными называются такие соединения, которые могут быть разобраны лишь путем разрушения. *Подвижные неразъемные* соединения собирают с применением развальцовки, свободной обжимки.

Сварные соединения образуются путём местного нагрева деталей в зоне сварки. Наибольшее распространение получили электрические виды, основными из которых являются дуговая и контактная сварка.

Соединения с натягом осуществляются подбором соответствующих посадок, в которых натяг создаётся необходимой разностью посадочных размеров насаживаемых одна на другую деталей.

Резьбовые соединения являются наиболее распространёнными разъёмными соединениями. Их образуют болты, винты, шпильки, гайки и другие детали, снабжённые резьбой.

Шпоночные соединения состоят из вала, шпонки и ступицы охватывающей детали.

Шпоночные соединения подразделяют на:

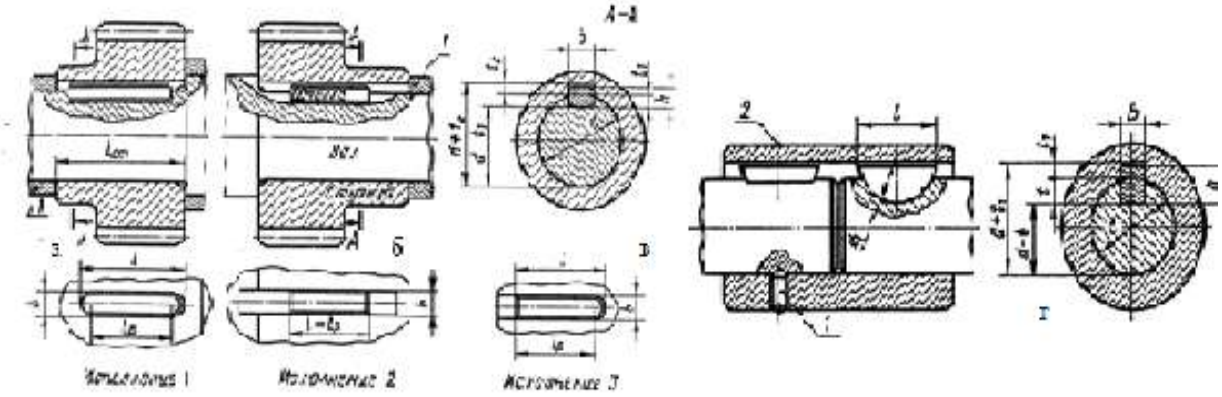
- ненапряжённые (при сборке соединений в деталях не возникает предварительных напряжений);
- с призматическими шпонками (рабочие грани – боковые, не удерживают детали от осевого смещения вдоль вала) по форме торцов различают:
- со скруглёнными торцами;
- с плоскими торцами;
- с одним плоским;
- с другим скруглённым торцом;
- с сегментными шпонками (рабочие грани – боковые, применяют при передаче небольших вращающих моментов, просты в изготовлении, удобны при монтаже и демонтаже – шпонки свободно вставляют в паз и вынимают) (Рис.4.56);
- напряжённые (при сборке соединений в деталях возникают предварительные (монтажные) напряжения):
- с клиновыми шпонками (имеют форму односкосных самотормозящих клиньев с уклоном 1:100, не требуют стопорения ступицы от продольного перемещения вдоль вала, хорошо воспринимают ударные и знакопеременные нагрузки) (Рис. 4.60);
- с тангенциальными шпонками (состоят из двух форму односкосных клиньев с уклоном 1:100 каждый, работают узкими гранями, вводятся в пазы ударом, применяются для передачи больших вращающих моментов с переменным режимом работы, в соединении ставят две пары тангенциальных шпонок под углом 120°) (Рис.4.60).

Достоинства шпоночных соединений:

- простота конструкции;
- сравнительная лёгкость монтажа и демонтажа.

Недостатки шпоночных соединений:

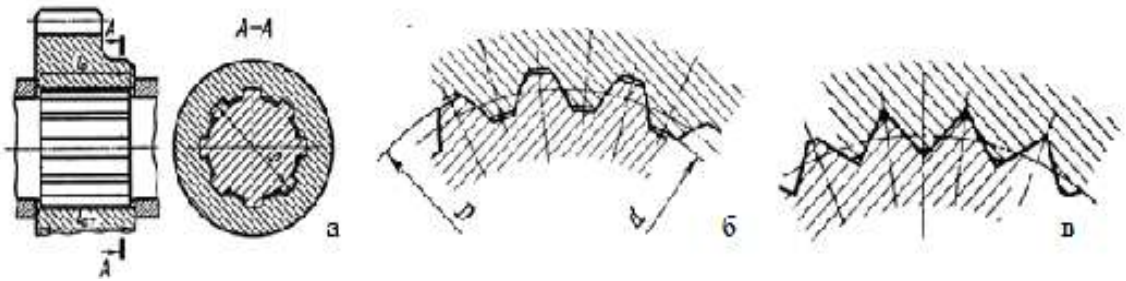
- шпоночный паз ослабляет вал и ступицу охватывающей детали не только уменьшением сечения, но, главное, значительной концентрацией напряжений изгиба и кручения;
- трудоёмкость изготовления.



а-призматические; б- сегментные: 1 – винт установочный, 2 – кольцо замковое пружинное; в- клиновая; г- тангенциальная

Рисунок 4.60 – Соединения шпонками

Шлицевые соединения образуются выступами – зубьями на валу и соответствующими впадинами – *шлицами* в ступице охватывающей детали (Рис.4.61).



а-прямобочное; б-эвольвентное; в- треугольное

Рисунок 4.61 – Шлицевые соединения по форме зубьев

Виды износа и деформации деталей и узлов, причины износов электрооборудования (механический, электрический и моральный). По виду износ электрооборудования может быть механическим, моральным и электрическим.

Обеспечить надежное сопротивление элемента или конструкции в целом - означает обеспечить их прочность, жесткость, устойчивость и выносливость.

Прочность - способность тела сопротивляться внешним нагрузкам. Жесткость - способность тела сопротивляться изменению своих размеров и формы под воздействием внешних нагрузок.

Устойчивость - способность тела под нагрузкой сохранять первоначальную форму устойчивого равновесия.

Выносливость - способность материала сопротивляться переменным силовым воздействиям длительное время.

Практическая работа № 4.9

Тема: **Расчеты на прочность**

Цель работы: научится рассчитывать балку на прочность при растяжении и сжатии.

Краткие теоретические сведения

Для определения продольной силы необходимо воспользоваться методом сечений и собрать сумму всех сил на ось OX. Для этого рекомендуется рассмотреть пример.

Например, для бруса со ступенчато-переменным и поперечным сечением, построить эпюры продольных сил и нормальных напряжений (Рис.4.62). *Решение*.

1 Разбивают брус на 3 участка: ab, bc, cd.

2 Определяют значения продольных сил и строят эпюру.

$$F1 - N1 = 0; \quad (4.10)$$

$$N1 = F1 = 80 \text{ кН}$$

$$F_1 + F_2 - N_{II} = 0 \quad (4.11)$$

$$N_{II} = F_1 + F_2 = 80 + 40 = 120 \text{ кН}$$

$$F_1 + F_2 - F_3 - N_{III} = 0; \quad (4.12)$$

$$N_{III} = F_1 + F_2 - F_3 = 80 + 40 - 190 = -70 \text{ кН}$$

Знак минус указывает, что фактически направление силы N_{III} противоположно указанному, т.е. сила N_{III} испытывает сжатие.

3. Вычисляют нормальные напряжения по формуле:

$$\sigma = N/A \quad (4.13)$$

При определении нормальных напряжений добавляются ещё 2 участка (теперь их пять) так как диаметр бруса неравномерный.

Задание. Для заданного двухступенчатого стального бруса, нагруженного двумя силами F_1 и F_2 , построить эпюры продольных сил (N_z).

Определить площади поперечных сечений и диаметр каждой ступени бруса из условия прочности; построить эпюры нормальных напряжений; определить удлинение (укорочение) каждой ступени и найти перемещение свободного конца бруса в соответствии с рисунками 4.62.При расчетах принять $[\sigma]$=150МПа: Е=2·105МПа.

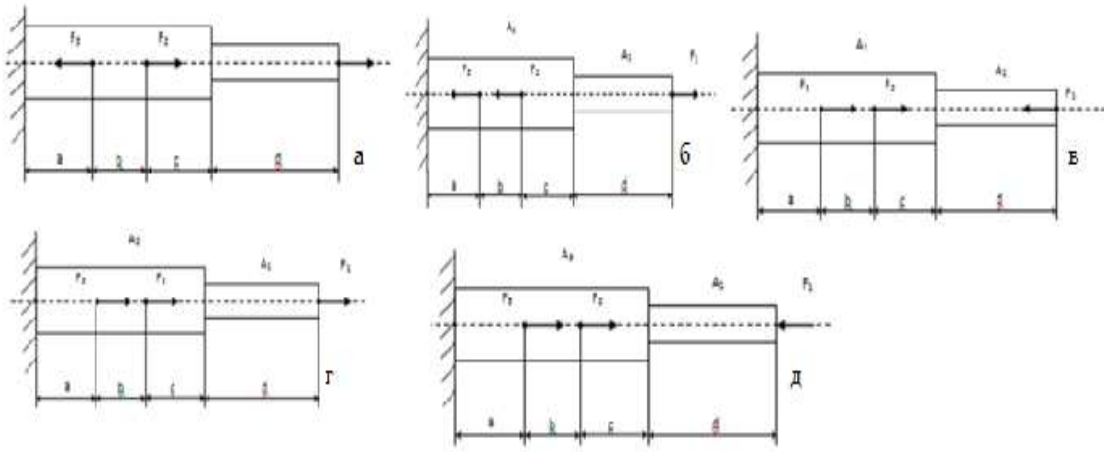


Рисунок 4.62- Варианты схем для определения прочности балки при растяжении и сжатии

Данные по вариантам в таблице 4.9 Для всех вариантов принять [σ]=160 МПа, Е=2·105 МПа.

Таблица 4.9-Исходные данные задания по вариантам

Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Рисунок	а)	б)	в)	г)	д)	а)	б)	в)	г)	д)
F_1,кН	10	8	5	4	15	12	25	6	8	6
F_2,кН	12	25	6	8	6	16	20	9	10	14
F_3,кН	16	10	12	12	9	9	13	5	13	9
a,м	0,3	0,2	0,4	0,2	0,6	0,7	0,7	0,2	0,8	0,4
b,м	0,9	0,6	0,9	0,6	0,8	0,3	0,2	0,4	0,2	0,6
c,м	0,7	0,7	0,2	0,8	0,4	0,4	0,3	0,5	0,4	0,5
d,м	0.4	0,3	0,5	0,4	0,5	0,9	0,6	0,9	0,6	0,8
A_1, $см^2$	0,32	0,48	0,25	0,14	0,6	0,38	0,41	0,63	0,32	0,48
A_2,$см^2$	0,56	0,69	0,36	0,8	0,75	0,69	0,52	0,74	0,56	0,69

Порядок выполнения работы

1. Выполнить чертеж.
2. Разбить брус на участки, провести сечения.
3. Рассчитать продольную силу и нормальное напряжение для каждого участка.
4. Построить эпюры продольных сил и нормальных напряжений.
5. Определить перемещение и построить эпюру перемещений.
6. Рассчитать выдержит ли брус заданную нагрузку. Сделать вывод.

Контрольные вопросы

1 Объясните метод сечений.

2 Расскажите правила построения эпюр.

3 Нарисуйте и расскажите правило знаков.

Практическая работа № 4.10

Тема: **Составление дефектной ведомости**

Цель работы: научиться составлять дефектную ведомость

Краткие теоретические сведения

Ф.И. членов группы _____

Наименование аппаратуры защиты и управления_____

Назначение аппаратуры управления и защиты _____

Дефектная ведомость.

Вид неисправности:

Возможные причина неисправности:

Устранение неисправности:

Приложение1.

Вариант 1. ***Эксплуатация и ремонт пускорегулирующей аппаратуры***

I. В основном эксплуатация пускорегулирующей аппаратуры сводится к проверке… *1. на ощупь*.

II. Основное требование к постоянным контактным соединениям заключаются… *2. с помощью термосвечей или термоплёнки*.

III. Если установка отключена, нагрев проверяют… *3. по наличию нагара, копоти и следов оксида.*

IV. При невозможности отключения установки нагрев проверяют… *4. в отсутствие их нагара.*

V. Отключающие контакты рубильников магнитных пускателей, автоматов проверяют … *5. от нагара копоти и оксида.*

VI. Обнаруженные нагревающиеся контактные соединения должны быть проверены на плотность затяжки… *6. бархатным напильником, а затем протирают чистой ветошью.*

VII. Отключающие контакты рубильников магнитных пускателей следует систематически очищать… *7. категорически запрещено.*

VIII. Поверхности загрязнённых отключающих контактов очищают… *8.гаек соединительных болтов.*

IX. Чистить отключающие контакты наждачным полотном… *9. отключающих контактов электромагнитов и механизмов.*

Вариант 2. ***Эксплуатация и ремонт магнитного пускателя***

I. При повреждении гибких связей можно ограничиться… *1. сильное гудение в электромагнитной системе.*

II. Если пластин с изломами более 20% следует … *2. чрезмерным перегревом сердечника.*

III. Не исключено повреждение короткозамкнутого витка, что объясняет главным образом … *3. это означает, что качество ремонта и*

регулировки неудовлетворительно .

IV. Повреждённый короткозамкнутый виток должен быть… *4. динамометра и полоски тонкой бумаги закладываемой между контактами.*

V. Новый короткозамкнутый виток может быть изготовлен в монтажных мастерских… *5. начальное и конечное нажатие главных контактов.*

VI. Когда ремонт закончен, необходимо проверить… *6. установить новые магнитные связи.*

VII. Начальное и конечное нажатие определяют с помощью… *7. замена повреждённых пластин.*

VIII. Если при проверке контактов после ремонта будет обнаружен нагрев контактов или катушек… *8. из латуни со строгим сохранением прежних размеров.*

IX. О неудовлетворительном качестве ремонта будет свидетельствовать также… *9. заменён новым. I II III IV V VI VII VIII IX I II III IV V VI VII VIII IX*

Низковольтная пускозащитная аппаратура служит для включения и отключения главных цепей в системах, передающих электрическую энергию от источника электрической энергии к потребителю. Кроме этого, они используются в цепях управления электроприводами. К пускозащитной аппаратуре могут быть отнесены: рубильники; магнитные пускатели; автоматические выключатели; защитно-отключающие устройства (например, УВТЗ, ФУЗ и т.д.).

Порядок выполнения работы

1.Изучите теоретический материал по ремонту пускорегулирующей аппаратуры до 1000 вольт

2.Заполните дефектную ведомость (Рис.4.10) на ремонт

пускорегулирующей аппаратуры по образцу по группам: 1- рубильник; 2- магнитный пускатель; 3 – кнопочный пост; 4- автоматический выключатель; 5 – тепловое реле.

Таблица 4.10 – Дефектная ведомость на ремонт пускорегулирующей аппаратуры до1000 вольт

Вид неисправности	Возможные причина неисправности	Устранение неисправности

3. Заполнить дефектную ведомость

Контрольные вопросы

1.Какие виды неисправностей вам известны?

2.Что такое модернизация и реконструкция?

3.Чем они отличаются?

4.8 Структура и технологические процессы участка и предприятия

Вводная беседа. Цели и задачи практики Техника безопасности и промышленная санитария. *Вводная беседа.* Целью практики является: освоение обучающимися общих и профессиональных компетенций, а также приобретение необходимых умений и опыта практической работы по слесарным работам. Задачами практики являются формирование у обучающихся практических профессиональных умений, приобретение первоначального практического опыта по основным видам профессиональной деятельности.

Требования безопасности при прохождении практики

До выезда на практику, практикант должен пройти вводный инструктаж по охране труда, получить задание, в том числе: дневник, индивидуальное задание, командировочное удостоверение.

Вводный инструктаж проводит руководитель практики от учебного учреждения на общем собрании. После проведения вводного инструктажа производится запись в журнале, и каждый обучающийся расписывается в том, что усвоил правила техники безопасности. Кроме вводного инструктажа обучающиеся должны пройти *первичный инструктаж* на рабочем месте.

Организация рабочего места слесаря. Расположение инструмента на слесарном верстаке.

Рабочим местом называется часть производственной площади цеха или мастерской с оборудованием, приспособлениями, инструментом и материалами, необходимыми для выполнения определенного производственного задания.

На каждую практическую работу обучающимся дают задания в виде инструкционно- технологических карт.

Инструкционно-технологические карты по теме: «Разметка»

Ф.И. обучающегося _____

Задание № 1	Окрашивание поверхности под разметку.
1	2
Контролируемые виды знаний, умений и навыков	Знать назначение инструментов, оборудования и материалов. Уметь выполнять окрашивание поверхности под разметку соблюдением техники безопасности.
Нормированное время выполнения, мин	10 мин
Критерии оценки выполнения задания	«5»- задание выполнено без ошибок.
	«4»- допущены незначительные недочеты.
	«3»- допущены ошибки при окрашивании поверхности.
	«2»- выполнено окрашивание с ошибками, недочетами и отсутствует объяснение.
Технология выполнения задания	Техника безопасности.
	Ознакомиться с оборудованием и инструментами.
	Перечислите их основные конструктивные элементы.
	Выполнить окрашивание поверхности под разметку.
	Контроль работ.
Перечень необходимого оборудования и инструментов	Рефлекторный светильник, учебные заготовки; шаблоны, кисть малярная, фен для сушки поверхностей.
Перечень расходных материалов	Медный купорос, мел, ветошь, быстросохнущий лак, наждачная бумага.

Инструкционно-технологические карты по теме: «Гибка и правка заготовок»

Ф.И. обучающегося_____

Задание № 1	Гибка полосового металла под прямым углом в слесарных тисках.
1	2
Контролируемые виды знаний, умений и навыков	Знать назначение инструментов, оборудования и материалов. Уметь выполнять гибку полосового металла под прямым углом в слесарных тисках.
Нормированное время выполнения, мин	30 мин
Критерии оценки выполнения задания	«5»- задание выполнено без ошибок.
	«4»- допущены незначительные недочеты.
	«3»- допущены ошибки при выполнении гибки полосового металла под прямым углом в слесарных тисках.
	«2»- выполнена гибка полосового металла под прямым углом. в слесарных тисках, с недочетами и отсутствует объяснение.
Технология выполнения задания	Техника безопасности
	Ознакомиться с оборудованием и инструментами.
	Перечислите их основные конструктивные элементы
	Выполните гибку полосового металла под прямым углом в слесарных тисках.
	Контроль работ.
Перечень необходимого оборудования и инструментов	Слесарные молотки, молотки со вставками из мягкого металла, измерительные линейки, чертилка, разметочный инструмент, штангенциркуль, тиски.
Перечень расходных материалов	Полосовая металлическая пластина.

Краткие выводы

Слесарные и слесарно-сборочные работы являются важнейшим процессом в любой металлообработке, промышленном и индивидуальном производстве. Особенностью слесарно-сборочных работ является их высокая трудоемкость, снизить которую позволяет современное оборудование, обеспечивающее механизацию и автоматизацию процесса.

Слесарные, слесарно-сборочные и слесарно-разборочные работы дополняют и завершают изготовление и обработку металлоконструкций. Слесарная обработка металлов выполняется в строгой последовательности, включая в себя несколько этапов работы:

– подготовительные работы (резка, рубка, правка, гибка);

– основная обработка заготовки (токарные работы, фрезерование);

– отделочные работы.

Сегодня для выполнения слесарных, слесарно-сборочных и слесарно-разборочных работ все чаще используются станки с ЧПУ, позволяющие не только автоматизировать процесс, но и обеспечить высокую точность всех работ.

Контрольные вопросы

1.Какие металлы обладают большой пластичноттью?

2.Какой буквой обозначают плоские провода?

3.Что характеризует хрупкий излом?

4.Какие виды ремонтов определяют по объему и сложности работы?

РАЗДЕЛ 5. ОСНОВЫ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ

Введение

Данный раздел формирует знания, умения и навыки по основам электроснабжения.

Цель раздела: формирование у обучающихся знаний, необходимых для решения задач, связанных с электроснабжением предприятий, необходимых в производственной деятельности.

Задачи:

- научить обучающегося современным методам проектирования, сооружения и эксплуатации электрических сетей и подстанций напряжением 0,38 - 110 кВ;
- способствовать развитию способностей у обучающихся по выбору электрического оборудования и инженерных систем электрических сетей и трансформаторных подстанций напряжением 0,38 - 110 кВ.

5.1 Выбор схем и электрооборудования внутреннего электроснабжения

Практическая работа № 5.1

Тема: **Применение методики построения схем электроснабжения цехов.**

Цель работы: формирование практических навыков построения схем цехового электроснабжения.

Оборудование и материалы: мультимедиа-проектор, экран; стол ученический; бумага для черчения ф.А4; карандаш чернографитный твердость М; ластик; точилка для карандашей механическая; линейка металлическая 30см.

Краткие теоретические сведения.

Как уже упоминалось в 2.1, все электроприемники согласно ПУЭ РК 2015 подразделяют на три категории в отношении обеспечения надежности [55, 56].

Внутрицеховые сети выполняют по радиальной, магистральной или смешанной схемам. На выбор схемы влияют категория потребителей по надежности электроснабжения, взаимное расположение электропотребителей по площади цеха, их единичная мощность, связанность электроприемников единым технологическим процессом и характеристика окружающей среды.

Радиальные схемы применяют в помещениях с любой окружающей средой. Данные схемы характерны тем, что от источника питания (КТП) прокладывают линии, питающие непосредственно электроприемники большой мощности или комплектные распределительные устройства (шкафы, пункты, сборки, щиты), от которых по отдельным линиям питаются электроприемники малой и средней мощности. Распределительные устройства следует располагать в центре электрических нагрузок данной группы потребителей (если позволяет окружающая среда) с целью

уменьшения длины распределительных линий. Линии, по которым производят электроподключение распределительные устройства, называются питающими и выполняются , как правило, кабельными линиями. Радиальные схемы требуют установки на цеховых подстанциях большого числа коммутационных аппаратов и значительного расхода кабелей [55, 56].

Радиальные схемы следует применять [58]:

– для электроснабжения потребителей I категории;

– для электроснабжения мощных ЭП, не связанных единым технологическим процессом;

– для электроснабжения потребителей, взаимное расположение которых делает нецелесообразным питание их по магистральной схеме;

– для питания насосных и компрессорных станций;

– во взрывоопасных, пожароопасных и пыльных помещениях, в которых распределительные устройства должны быть вынесены в отдельные помещения с нормальной средой.

Наиболее экономичными являются магистральные схемы. Широкое применение получили схемы «блок трансформатор – магистраль» (БТМ) без распределительных устройств на подстанциях. В схемах БТМ целесообразно использование комплектных шинопроводов: в питающей сети – магистральных шинопроводов серии ШМА, в распределительной сети – распределительных шинопроводов серии ШРА. Магистральные схемы с шинопроводами обеспечивают высокую степень надежности электроснабжения. Их основными достоинствами являются универсальность и гибкость, позволяющие производить изменения технологического процесса и перестановку технологического оборудования в цехах без существенного изменения электрических сетей.

Магистральные схемы применяют[55, 56, 58]:

– для питания электроприемников, связанных единым технологическим процессом, когда прекращение питания одного электроприемника вызывает необходимость прекращения всего технологического процесса;

– для питания большого числа мелких электроприемников, не связанных единым технологическим процессом, равномерно распределенных по площади цеха.

Магистральные шинопроводы прокладываются в цехе на высоте 4 ÷ 4,5 метров от пола, распределительные шинопроводы для удобства эксплуатации устанавливаются, как правило, на высоте 2,5 ÷ 3 метров.

На практике наибольшее распространение получили смешанные схемы.

Радиальные линии показаны на рисунке 5.1 а. Магистральные линии могут быть двух типов: с соединением электроприемников в «цепочку» (Рис. 5.1, б); с присоединением электроприемников непосредственно к распределительной магистрали (Рис. 5.1, в). В настоящее время для АПП преимущественно применяются магистральные распределительные линии первого типа.

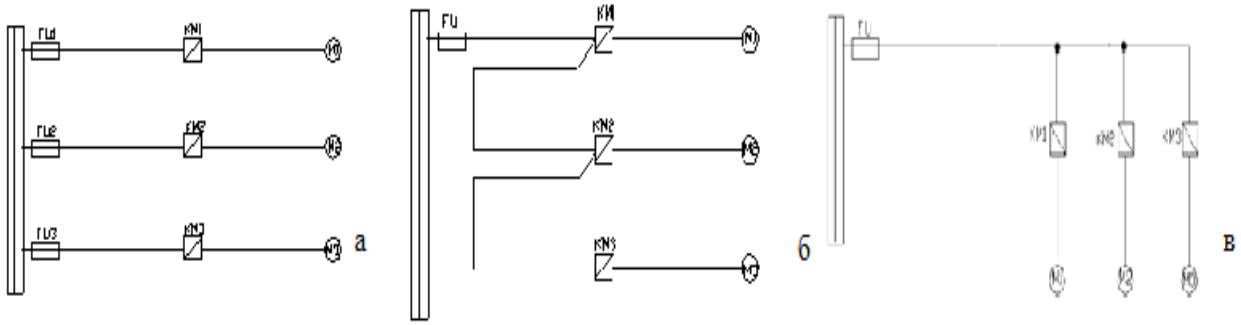
Питание зданий электроэнергией может выполнятся от встроенной в здание (пристроенной к зданию) трансформаторной подстанции, либо от отдельно стоящей трансформаторной подстанции. Для потребителей обладающих, как правило, установленной мощностью не более 300 кВт, электроснабжение электроприемников обычно выполняется от отдельно стоящей трансформаторной подстанции [55, 56].

На вводе в здание устанавливается главный распределительный щит (ГРЩ), предназначенный для подключения силовых распределительных щитов (ШР) и осветительных щитов (ШО, ЩАО).

Количество силовых (ШР) и осветительных (ЩО) распределительных щитов определяется количеством электроприемников и плотностью их распределения по площади здания.

Из экономических соображений силовые распределительные щиты для нормальных производственных помещений принимают с плавкими предохранителями. Для взрывопожароопасных зон принимают, обычно, щиты с автоматическими выключателями. Осветительные щитки принимают, как правило, с автоматическими выключателями. Питание щитов рабочего и аварийного освещения выполняется по разным линиям, а для потребителей I и II категорий и от разных вводов.

Количество электроприемников соединяемых в «цепочку» ограничивается нормативными документами [9], в зависимости от вида защитного аппарата линии (плавкий предохранитель или автоматический выключатель) и мощности электроприемников.



а-радиальная схема; б- магистральная схема в цепочку; в- магистарльная схема

Рисунок 5.1 – Принципиальная однолинейная схема распределительной сети

Для линий защищенных плавкими предохранителями максимальное количество электроприемников соединяемых «цепочку» равно четырем, при условии равенства мощностей электроприемников. Для электроприемников имеющих пусковой аппарат с тепловым реле должно выполняться условие [55]:

$$I_{П.В.} \le 4I_{Н.Э.}, \qquad (5.1)$$

где $I_{П.В.}$ - ток плавкой вставки предохранителя, А;

$I_{н.э.}$ - номинальный ток нагревательного элемента теплового реле, А.

Отсюда максимальное количество электроприемников соединенных в «цепочку» равно четырем.

Для линий, защищаемых автоматическими выключателями, должно выполняться условие[55, 56]:

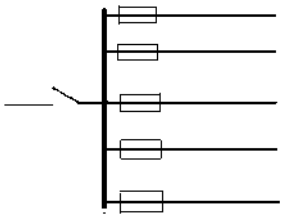
$$I_{н.р.} \leq 2I_{н.э.}, \tag{5.2}$$

где $I_{н.р.}$ - номинальный ток расцепителя автоматического выключателя, А;

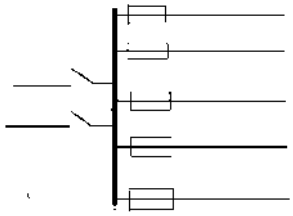
Отсюда, максимальное количество электроприемников соединяемых в «цепочку» для линии защищаемой автоматическими выключателями равно двум.

Технические данные часто используемых распределительных щитов с плавкими предохранителями приведены в таблице 5.1, распределительных пунктов с автоматическими выключателями в таблице 5.2 [55, 56].

Таблица 5.1 – Технические данные распределительных щитов с плавкими предохранителями

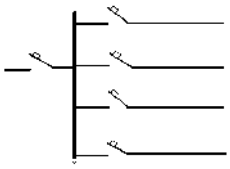
Схема	Тип шкафа	Номинальный ток, А	Количество и ток рубильников на вводе	Количество и номинальный ток трехфазных групп предохранителей
1	2	3	4	5
	ШР11–73701–22	250	1х250	5хНПН2–60
	ШР11–73702–22			5хНПН2–100
	ШР11–73703–22		1х400	2хПН2–60+3хПН2–100
	ШР11–73504–22	400		8хНПН2–60
	ШР11–73505–22			8хПН2–100
	ШР11–73506–22			8хПН2–250
	ШР11–73707–22			3хПН2–100+2хПН2–250
	ШР11–73708–22			5хНПН2–250

Продолжение таблицы 5.1

1	2	3	4	5
	ШР11–73509–22			4хНПН2–60+4хПН2–100
	ШР11–73519–22	400	2х400	8хПН2–100
	ШР11–73520–22			8хПН2–250
	ШР11–73521–22			4хНПН2–60+4хПН2–100
	ШР11–73522–22			2хНПН2–60+4хПН2–100
	ШР11–73523–22			6хПН2–100+2хПН2–250
	ШР11–73523–54			6хПН2–100+2хПН2–250

Шкафы ШР11 напольного исполнения шириной 500 (700) мм, высотой 1600 мм. Шкафы с IP54,имеют в обозначении цифры 54 вместо 22.

Таблица 5.2 – Технические данные распределительных пунктов с автоматическими выключателями.

Схема	Тип распределительного пункта	$I_{ном}$ шкафа, А	Тип вводного автомата	Количество и тип автоматических выключателей
	ПР11-3054-21У3	250	А3726	4-АЕ2046
	ПР11-3060-21У3			6-АЕ2046
	ПР11-3068-21У3		А3736	8-АЕ2046
	ПР11-3078-21У3	400		10-АЕ2046
	ПР11-3118-21У3			4-АЕ2066
	ПР11-3120-21У3			6-АЕ2066
	ПР11-3122-21У3			8-АЕ2066
	ПР11-3124-21У3			12-АЕ2066
То же	ПР24Д-7214-21У	630	А3794	4-А3716
	ПР24Д-7218-21У			6-А3716
	ПР24Д-7213-21У			2-А3716+2-А3726
	ПР24Д-7215-21У			4-А3716+2-А3726
	ПР24-7208-21У		--	8-А3716
	ПР24-7210-21У			12-А3716

* Шкафы навесного исполнения.

Шкафы со степенью защиты IP54 имеют в обозначении маркировку 54У3 вместо 21У3.

Порядок выполнения работы

1. Сформировать таблицу категорий электроснабжения нижеперечисленных потребители по надежности:

- реанимационные отделения;
- частный сектор;
- тяговые подстанции городского электрифицированного транспорта;
- установки связи, диспетчерские пункты городских систем;
- серверные помещения;
- лифты;
- спортивные сооружения, в которых может быть большое скопление людей;
- дачные и гаражные кооперативы;
- устройства пожарной сигнализации;
- родильные отделения;
- детские заведения;
- противопожарные устройства, охранная сигнализация крупных зданий с большим количеством находящихся в них людей;
- городские учреждения, учебные заведения;
- крупные торговые центры;
- котельные и насосные станции;
- многоквартирные жилые дома;
- медицинские учреждения и аптечные пункты.

Все результаты собственного анализа внести в таблицу 5.2.1

Таблица 5.2.1 - Результаты проведения анализа

Категория электроснабжения по обеспечив надежности	Потребитель
1	2

Сформировать три группы обучающихся. Изучить характеристики потребителей, в каждой группе создать однолинейную принципиальную схему электроснабжения для групп потребителей по вариантам.

На рисунке 5.2 приведен план расположения электроприемников в здании. Для всех электроприемников указаны номер по плану расположения (над чертой) и мощность в кВт (под чертой). Помещение столярного цеха пожароопасное (зона класса П-II по ПУЭ), остальные помещения с нормальной средой. Электроприемниками цеха являются электродвигатели, управление которых предусматриваем магнитными пускателями устанавливаемыми вблизи рабочих машин.

Вариант 1. Составить схему распределения электроэнергии для помещения «венткамера» от источника питания ЩР. Выбрать распределённый щит ЩР с учетом всех потребителей помещений цеха

Вариант 2. Составить схему распределения электроэнергии ля помещения «столярный цех 1-помещение 3» и выбрать распределительный щит.

Вариант 3. Составить схему распределения электроэнергии для помещения «столярный цех 2 – помещение 4» .

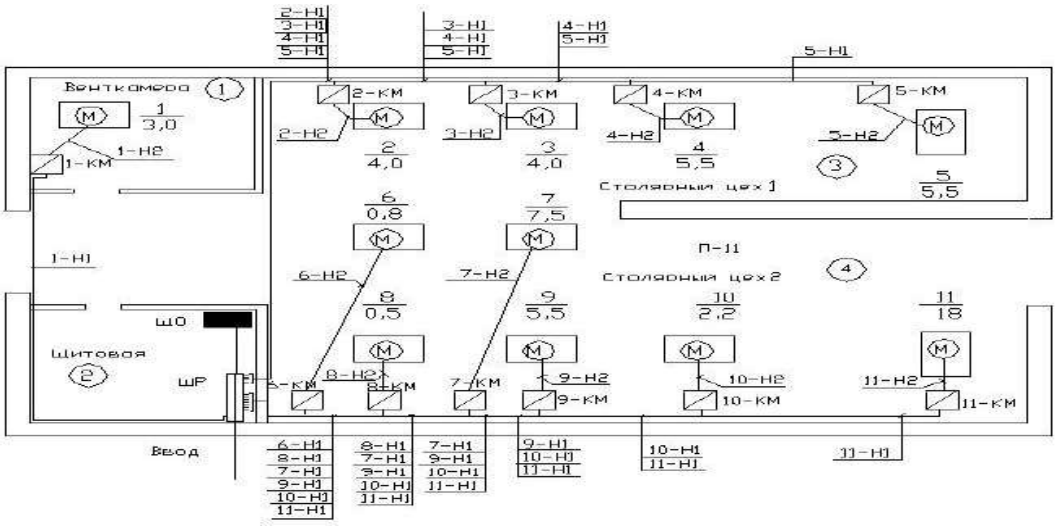


Рисунок 5.2 – План расположения силового электрооборудования

Контрольные вопросы

1. Раскрыть особенности электроснабжения потребителей в зависимости от категорий надежности.
2. Как классифицируют схемы электроснабжения по конфигурации?
3. В каких случаях используют радиальные схемы электроснабжения?
4. В каких случаях используются магистральные схемы электроснабжения?
5. Раскрыть особенности установки аппаратов защиты в электрических сетях.

Практическая работа № 5.2

Тема: **Определение конструктивных особенностей линий электропередачи и электрооборудования подстанций**

Цель работы: Формирование знаний и практических навыков расчета элементов линий электропередачи и подстанций электрических сетей.

Оборудование и материалы: мультимедиа-проектор, экран; стол ученический; бумага для черчения ф.А4; карандаш чернографитный твердость М; ластик; точилка для карандашей механическая; линейка металлическая 30см.

Краткие теоретические сведения.

Линии электропередачи. Электроснабжение потребителей напряжением 380/220 В производится путем транспортировки электроэнергии по электрическим сетям от источника питания (подстанции) до распределительных щитовых устройств.

В классическом понимании различают кабельные (КЛ) и воздушные (ВЛ) линии электропередачи, кроме того набирает популярность использования современных газоизолиррованных линий (ГИЛ). Линии по роду тока бывают постоянного и переменного тока [56, 57].

Воздущная линия характерна тем, что провода поддерживаются над землей с помощью специальных элементов

Конструкция основных элементов ВЛ выше 1000 В представлена на рисунке 5.3 [57, 58]

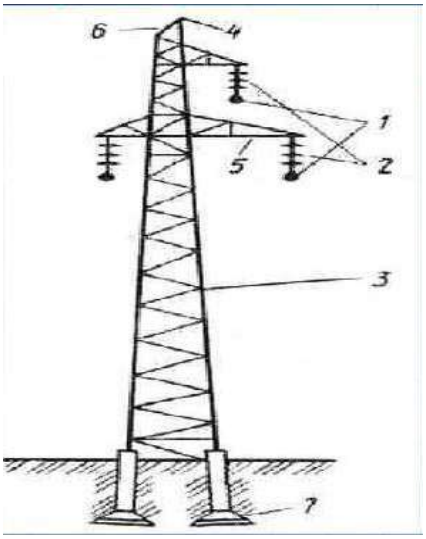


Рисунок 5.3 – Конструкция элементов ВЛ

Элементами конструкции ВЛ в общем случае являются:

1 – провода линии электропередачи;

2 – изоляторы (линейная арматура);

3 – стойка опоры;

4 – грозозащитный трос;

5 – траверсы опоры;

6 – трубостойки;

7 – фундамент с заземлением.

Дополнительным оборудованием для линий электропередачи являются разрядники, аппаратура высокочастотной связи, секционирующие устройства.

На ВЛ в настоящее время применяются следующие типы **проводов**:

- неизолированные (голые) провода, применяют как на воздушных линиях до 1кВ, так и на воздушной линии выше 1 кВ;
- изолированные провода применяют часто на воздушных линиях до 1 кВ, а также и на ВЛ до 35 кВ. Воздушная линия электропередачи напряжением до 1 кВ с применением самонесущих изолированных проводов (СИП) обозначается ВЛИ. Самонесущий изолированный провод представляет собой скрученные в жгут изолированные жилы, причем несущая жила может быть, как изолированной, так и неизолированной;

- защищенные провода, применяют на воздушных линиях напряжением выше 1 кВ и до 20 кВ. В отличии от голых проводов, эти имеют защитную изолирующую оболочку. Воздушная линия электропередачи с применением защищенных проводов обозначается ВЛЗ.

Голые провода изготавливаются обычно сталеалюминиевыми, алюминиевыми или из алюминиевого сплава, реже медными или стальными. Спецификация на неизолированные провода для воздушных линий электропередачи приведена в ГОСТ 839-80.

Сталеалюминиевые провода (обозначаются АС) имеют высокую механическую прочность и обладают хорошей электрической проводимостью. Они получили наиболее широкое распространение, особенно на ВЛ выше 1 кВ [58].

Алюминиевые провода (обозначаются А) характеризуются достаточной механической прочностью и высокой электрической проводимостью. Они часто применяются на ВЛ до 35 кВ включительно и в отдельных случаях на ВЛ 110 кВ.

Конструкция проводов представлена на рисунке 5.4.

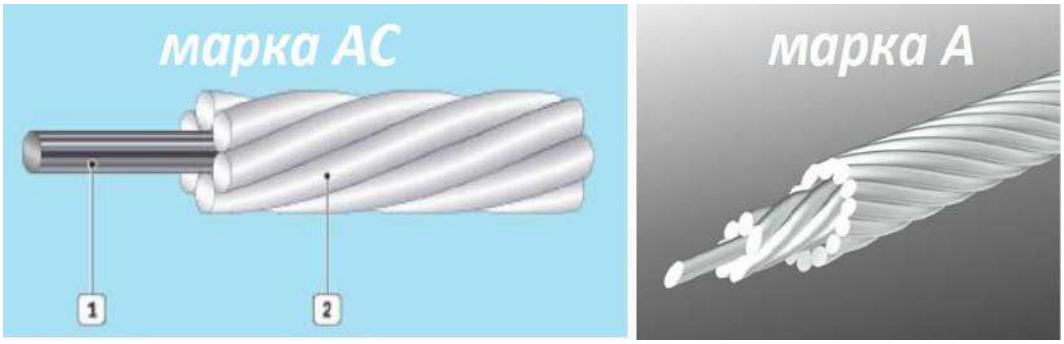


Рисунок 5.4 – Провода ВЛ

Элементами конструкции провода марки АС являются [55-58]:

1 – стальная часть провода;

2 – алюминиевая часть провода.

Самонесущие изолированные провода (СИП) в отличие от проводов неизолированных имеют изолирующее полиэтиленовое покрытие на фазных проводах и, в зависимости от модификации, имеют или не имеют подобное покрытие на несущем нейтральном проводе. Кроме того, есть разновидность СИП без несущего провода, у которого все четыре провода изолированы.

Изоляторы на ВЛ применяться штыревые, подвесные, стержневые и опорно-стержневые изоляторы (рисунок 5.5).

На ВЛ до 1000 В применяют штыревые изоляторы. На ВЛ 6-20 кВ на промежуточных опорах применяют любые типы изоляторов, а на анкерных — подвесные и в некоторых случаях штыревые изоляторы. На ВЛ 35 кВ — подвесные и стержневые, допускается также применять штыревые изоляторы. На ВЛ 110 кВ и выше — подвесные, стержневые и опорно-стержневые изоляторы. Изоляторы изготовляют фарфоровыми, стеклянными

и из полимерных материалов. ПУЭ РК рекомендуется на ВЛ 330 кВ применять, как правило, стеклянные изоляторы, на ВЛ 35-220 кВ — стеклянным или полимерным изоляторам [55-58].

Линейная арматура – это специальные типовые детали, назначение которых является соединении проводов, гирлянд изоляторов, подвески изоляторов на опорах линий электропередачи [55-58].



Рисунок 5.5 – Изоляторы воздушных линий: а - фафоровый штыревой; б - стеклянный штыревой; в - стеклянный подвесной

По назначению арматура делится на несколько групп:

- сцепная арматура;
- поддерживающая арматура;
- соединительная арматура;
- защитная арматура;
- контактная арматура;
- арматура для крепления штыревых изоляторов;
- арматура для самонесущих изолированных проводов (арматура СИП).

Сцепная – служит для сцепления элементов гирлянд изоляторов между собой и крепления гирлянд и тросов к опоре (скобы, серьги, пестики, ушки, промежуточные звенья и коромысла).

Поддерживающая – служит для крепления проводов или тросов к гирляндам промежуточных опор (глухие, качающиеся, выпускающие и скользящие зажимы).

Соединительная – служит для соединения проводов и тросов в местах, подверженных тяжению – в пролете (различные зажимы, монтируемые обжатием или прессованием).

Защитная – служит для защиты изоляторов от повреждения в случаях образования дуги короткого замыкания, а проводов от разрушения вследствие вибрации (рога, кольца, разрядники, виброгасители).

Контактная – служит для соединения и ответвления проводов и тросов в местах, не находящихся под тяжением – в петлях анкерных опор

Арматура для СИП имеет широкую линейку, предназначена для крепления самонесущих изолированных проводов на опорах и фасадах

зданий, подключения потребителей, подключения СИП к неизолированным линиям, кабелем, а так же для ввода в трансформаторные подстанции.

Опора воздушной линии электропередачи (опора ЛЭП) – сооружение для удержания проводов воздушной линии электропередачи на заданном расстоянии от поверхности земли и друг от друга.

Воздушные линии 6- 20 кВ, в настоящее время, в РК строятся, в основном, на железобетонных опорах по типовому проекту 3.4.07.1 – 143 в качестве стоек опор по типовому проекту приняты железобетонные стойки типов СВ 105 и СВ 164 длиной 10,5м и 16,4 м соответственно.

Линии ВЛ – 0,38 кВ в РК в настоящее время сооружаются в основном на железобетонных опорах по типовому проекту 3.407.1 – 136. Опоры ВЛ выполняются на базе железобетонных стоек СВ 95 и СВ 105 длиной 9,5 и 10,5 м соответственно. Также используются и металлические, и деревянные опоры.

Основные типы опор в сетях напряжением 0,38 кВ представлены в таблице 5.3

Таблица 5.3 – Основные типы железобетонных опор ВЛ – 0,38 кВ для подвески до пяти проводов

№ п.п	Наименование	Марка	Тип стойки	Применение.
1	Промежуточная.	П1	СВ95-2	
2	Анкерная	А1		
3	Угловая промежуточная.	УП1	---	Угол поворота до 45^0
4	Угловая анкерная.	УА1	---	Угол поворота до 90^0
5	Ответвительная анкерная.	ОА1	---	
6	Перекрестная.	Пк1	---	
7	Переходная промежуточная.	ПП1	СВ105-5	
8	Переходная анкерная.	ПА1	---	
9	Переходная угловая анкерная	ПУА1	---	

Опоры рассчитаны на подвеску неизолированных проводов марки А сечением 16 – 95 мм^2 и АС сечением 16 – 50 мм. Для ВЛ – 0,38 кВ в III РКУ по гололеду рекомендуется применять провода марок А – 25, А – 35, А – 50, А – 70, А – 95, исходя из условий механической прочности. Пролеты между опорами ВЛ – 0,38 кВ при подвеске четырех проводов марок А – 25, А –50 составляют не более 35м, и не более 30м для проводов марок А – 70, А – 95, в III РКУ по гололеду. Пролеты ответвлений от опор к зданиям составляют для проводов А – 25, А –50, не более 15м, для проводов А- 70, А – 95, не более 10м, для тросовых проводов марки АВТ не более 20м.

Промежуточные опоры устанавливаются на прямых участках трассы линии, и они необходимы для поддержания проводов и тросов. Обычно составляют 80—90 % всех опор ВЛ.

Анкерные опоры устанавливаются на прямых участках трассы для перехода через инженерные сооружения или естественные преграды, воспринимают продольную нагрузку от тяжения проводов и тросов.

Концевые опоры – разновидность анкерных, их устанавливают в конце или начале линии. При нормальных условиях работы ВЛ они воспринимают нагрузку от одностороннего натяжения проводов и тросов.

Угловые опоры устанавливаются на углах поворота трассы линии электропередачи, при нормальных условиях воспринимают равнодействующую сил натяжения проводов и тросов смежных пролётов, направленную по биссектрисе угла, дополняющего угол поворота линии на 180°. При небольших углах поворота (до 15—30°), где нагрузки невелики, используют угловые промежуточные опоры. Если углы поворота больше, то применяют угловые анкерные опоры, имеющие более жёсткую конструкцию и анкерное крепление проводов.

Переходная опора предназначена для пересечений линией дорог, рек, ущелий, имеют увеличенную длину стойки.

Также различают транспозиционные опоры, эстетические (декоративные) опоры, и др.

По способу закрепления в грунте различают опоры, устанавливаемые непосредственно в грунт, и поры, устанавливаемые на фундаменты. Фундаменты опор выполняют либо рамного типа с заливкой бетоном, либо с креплением на стальную трубу или железобетонную сваю.

Кроме воздушных линий электропередачи в настоящее время широко применяются кабельные линии, особенно при высоких плотностях нагрузки потребителей и в условиях плотной застройки. Кабельные линии имеют ряд преимуществ по сравнению с воздушными, а именно:

- невосприимчивость к атмосферным воздействиям (гололед, ветер, гроза);
- меньшая площадь, занимаемая линией,
- меньший расход строительных материалов (леса, стали, цемента);
- меньшая частота отказов.

Для КЛ6 – 10 кВ рекомендуется применять кабели марки ААБ или ААШв, для КЛ – 0,38 кВ рекомендуется применять наиболее экономичные кабели марки АВВГ, при необходимости обеспечения кабелей от механических повреждений, например в местах возможных частых раскопок, применяют бронированные кабели напряжением 1 кВ марки ААБ. В настоящее время популярны кабели с изоляцией из сшитого полиэтилена (XLPE), которые отличаются высокой надёжностью и обеспечивает меньшее количество различных повреждений, и многие другие особенности монтажа по сравнению с бумажно-масляными кабелями.

Марки кабелей указаны для прокладки в траншеях. В одной траншее допускается прокладка не более шести силовых кабелей. Минимальная глубина прокладки кабелей 0,38 – 20 кВ составляет 0,7м (обычно 0,9м) от поверхности земли, кабели в земле прокладываются ,,змейкой” (с запасом по длине до 3%) для компенсации деформаций из-за возможных смещений почвы. Расстояние по горизонтали между кабелями в траншее должно составлять не менее 0,1м. Габариты для прокладки кабельных линий в земле

определены ПУЭ РК 2015. Защита от механических повреждений выполняется для КЛ – 6 – 10 кВ железобетонными плитами или глиняными кирпичами на всем протяжении, для КЛ – 0,38 – только в местах частых раскопок. При количестве силовых кабелей, следующих в одном направлении более 20, кабели прокладываются в кабельных каналах или туннелях

Подстанции электрической сети до 10 кВ. Электрическая подстанция это электроустановка, назначение которой является прием, преобразование и распределение электрической энергии. Подстанция состоит из трансформаторов или других преобразователей электрической энергии, систем управления, распределительных и вспомогательных устройств.

В зависимости от места и способа присоединения подстанции к электрической сети нормативные документы не устанавливают классификации подстанций по месту и способу присоединения к электрической сети. Однако ряд источников даёт классификацию исходя из применяющихся типов конфигурации сети и возможных схем присоединения подстанций [2].

Тупиковые – питаемые по одной или двум радиальным линиям.

Ответвительные – присоединяемые к одной или двум проходящим линиям на ответвлениях.

Проходные – присоединяемые к сети путём захода одной линии с двухсторонним питанием.

Узловые – присоединяемые к сети не менее чем тремя питающими линиями.

В распределительных сетях 6(10) кВ коммунально-бытового сектора и малой и средней промышленности, преобладают подстанции глубокого ввода (ПГВ), а также трансформаторные пункты (ТП).

Подстанция ПГВ, - это подстанция, на которую подается напряжение от 35 до 220 кВ, обычно она выполнена с применением упрощенных схем коммутации на стороне первичного напряжения, и получает питание или от энергетической системы напрямую, или от центрального распределительного пункта на самом предприятии

Трансформаторный пункт - это подстанция с первичным напряжением, равным 35 кВ, 10 кВ или 6 кВ, которая питает напряжением 230 и 400 В непосредственно приемники электроэнергии. Иначе эти подстанции, в электрических сетях промышленных объектов, именуют цеховыми подстанциями, или городскими.

Схема типовой подстанции тупикового типа представлена на рисунке 5.6 [57].

В УВН 10 кВ подстанции принята одинарная секционированная на две секции двумя разъединителями QS3 и QS4 система сборных шин. Это позволяет работать на одной секции без отключения другой. Вводы подстанции W1 и W2, для удешевления и упрощения обслуживания могут

выполняться на выключателях нагрузки QW1 и QW1 с заземляющими ножами.

На присоединениях понижающих трансформаторов устанавливают выключатели нагрузки QW5, QW6 в комплекте с предохранителями FU11, FU12.

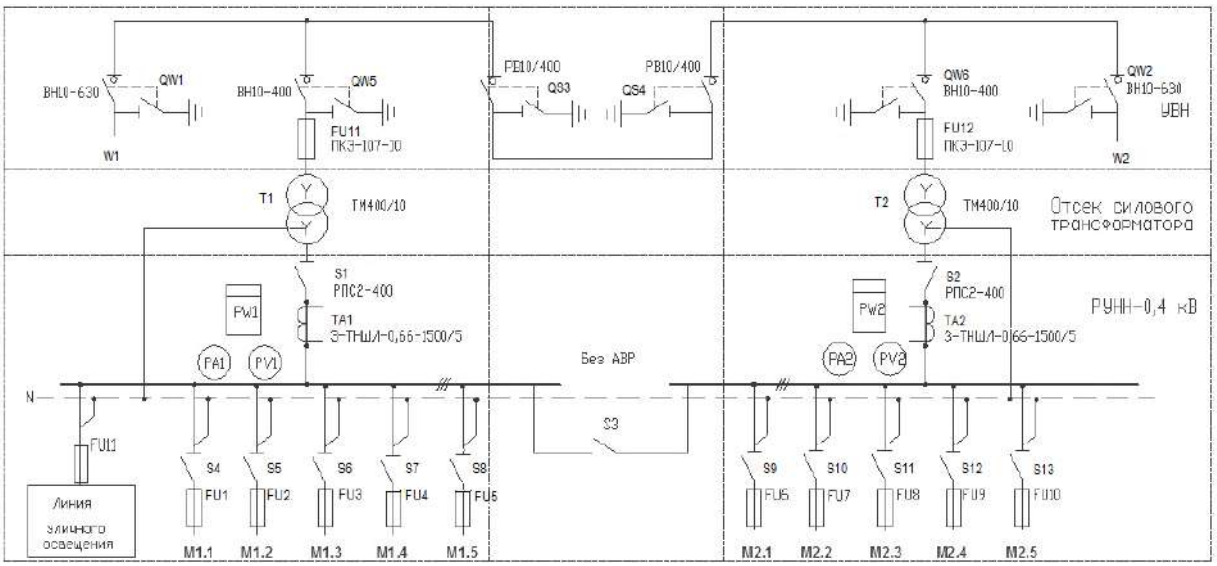


Рисунок 5.6 – Схема принципиальная электрическая тупиковой ТП 10/0,38 кВ

Пунктиром показана блокировочная связь разъединителей и их заземляющих ножей, которая не позволяет включать разъединитель при включенном заземляющем ноже и включать заземляющий нож при включенном разъединителе.

Заземление каждой секции сборных шин предусматривается заземляющими разъединителями типа РВ-10. При наличии воздушных линий 10 кВ, должна быть предусмотрена установка рязрядников РВО-10, подключаемых к секциям шин через разъединители.

Распределительное устройство РУНН 0,4 кВ выполняется из щитов серии ЩО-70, которые в зависимости от назначения комплектуются различными аппаратами, рассчитанными на широкий диапазон токов. В РУ-0,4 кВ принята одинарная секционированная рубильником S3 на две секции системы сборных шин. Питание каждой секции осуществляется от своего трансформатора Т1 и Т2, подключенного к шинам через рубильники S1 и S2. К трансформаторам тока ТА1 и ТА2 подключаются амперметры и счетчики активной и реактивной энергии. При раздельной работе секций шин может бытьпредусмотрено автоматическое включение резерва (АВР), которое осуществляется включением смененного рубильник межсекционного автоматического выключателя (нормально он отключен) при включении трансформатора Т1 или Т2. При отсутствии АВР секционирование выполняют рубильником, как показано на схеме. Разрядники типа РВН-0,5 для защиты изоляции трансформаторов и оборудования РУ-0,4 кВ от перенапряжения устанавливают только при наличии воздушных линий 04,

кВ. В цепи каждого присоединения линий устанавливаются рубильники S4 – S13 и предохранители FU1- FU10 (возможно применение автоматических выключателей). Питание уличного освещения возможно присоединением к одной их секций шин ТП с зашитой и коммутацией аналогичными аппаратами [55-57].

Конструктивное выполнение трансформаторных подстанций весьма разнообразно и зависит от многих исходных данных: назначения, места расположения, мощности, напряжения питающей сети и потребителей, которых питает подстанция, категории потребителей, конструктивного выполнения линий (кабельные ил душные) и др.

На рисунке 5.7 представлен план подстанции согласно типового проекта 407-3-660.03.

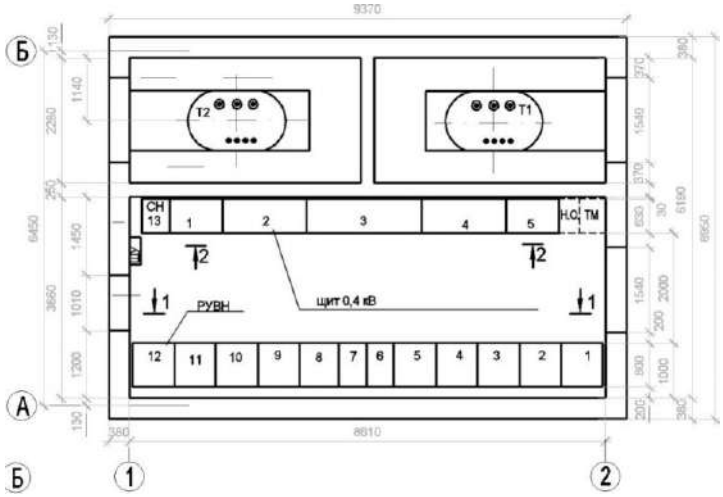


Рисунок 5.7 – План двух трансформаторной ТП с первичным напряжением 10 кВ

Подстанция имеет РУ-10 кВ (3), состоящее из камер серии КСО, условленными в два ряда с одним коридором обслуживания. Распределительные щиты 0,4 кВ (2) расположены в помещении между помещениями трансформаторов (1) и РУ-10 кВ. Распределительное устройство 0,4 кВ выполняется из ячеек серии ЩО-70. Соединение трансформаторов с РУ-0,4 кВ осуществляется плоскими шинами, которые проходят через проемы в стене, отделяющей помещения трансформаторов от помещения РУ-0,4 кВ. Соединение трансформаторов с РУ-10 кВ осуществляется кабелями. В помещении РУ-0,4 кВ предусматривается установка панели уличного освещения, групповые щитки электроосвещения, обогрева и вентиляция, щиты счетчиков линий и трансформаторов.

Разрядники РВН располагаются в помещениях трансформаторов и присоединяются к вводам 0,4 кВ. В случае отсутствия перехода кабельных линий 0,4 кВ на воздушные, установка разрядников РВН1У1 не требуется. Крепление оборудования и конструкций осуществляется с помощью дюбелей, болтов и электросварки к закладным деталям в стенах и полу, предусмотренным в строительной части подстанции.

Порядок выполнения работы

1. Сформировать три группы обучающихся, выполнить индивидуальные задания по вариантам:

1 группа. Составить классификационные признаки проводов воздушных линий электропередачи. Оформить в виде блок-схемы.

2 группа. Составить классификационные признаки линейной арматуры линий электропередачи. Оформить в виде блок-схемы.

3 группа. Составить классификационные признаки опор воздушных линий электропередачи. Оформить в виде блок–схемы.

2. Изучить схемы и конструкцию трансформаторной подстанции 10/04 кВ по вариантам на рисунках 5.8 -5.10). Заполнить таблицу 5.4.

Таблица 5.4 – Формирование назначения элементов схемы по вариантам

Наименование позиции	Элемент	Назначение в схеме
РУ 10 кВ		
1….n		
РУ 0,38 кВ		
1…..m		

3. Сформировать план подстанции ТП-10/0,38 кВ на основании анализа рисунков 5.10-5.12. по примеру рисунка 5.9 с расстановкой ячеек РУ ВН и ВУ НН. Серии ячеек РУ ВН и шкафов РУ НН можно выбрать, воспользовавшись каталогом АО "Кентауский трансформаторный завод", РК.

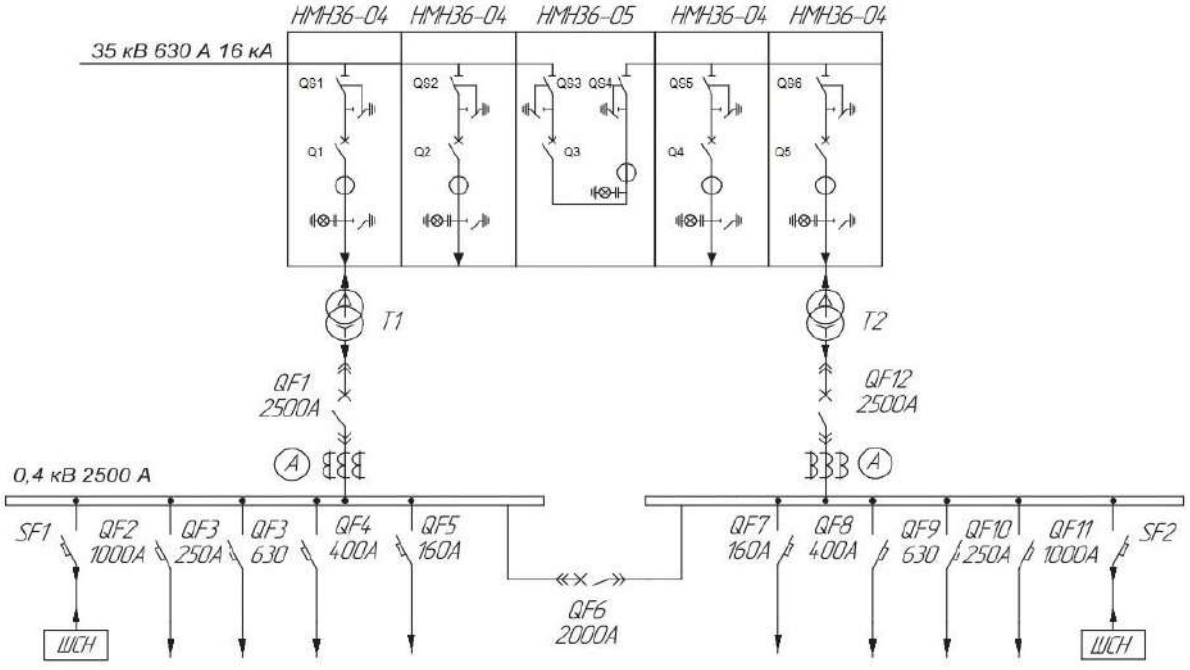


Рисунок 5.8– Схема принципиальная ТП 35/0,4 кВ (вариант 1)

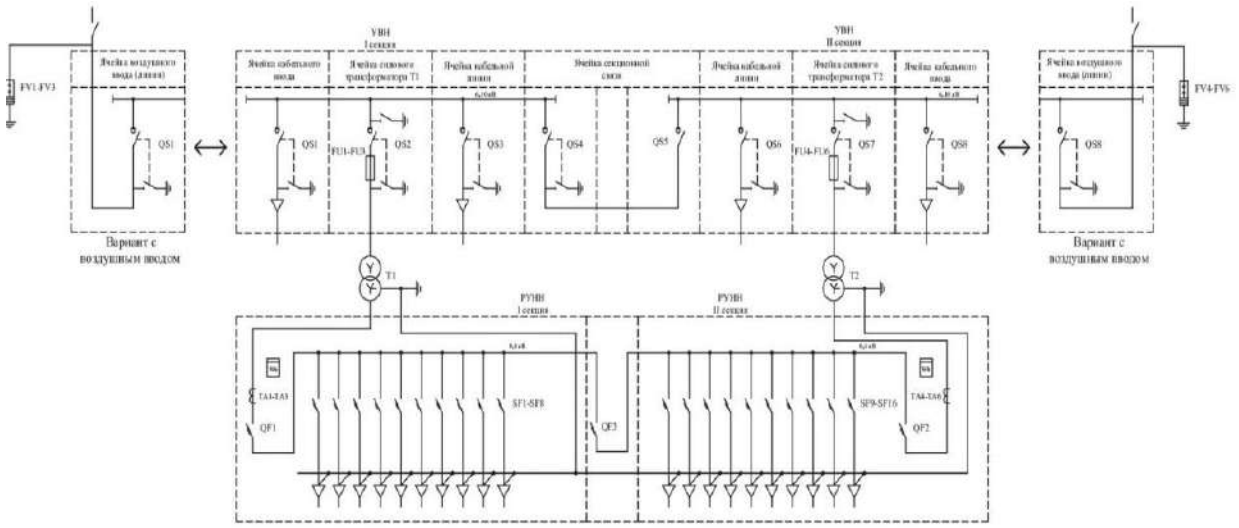


Рисунок 5.9 – Схема принципиальная ТП 10/0,4 кВ (вариант 2)

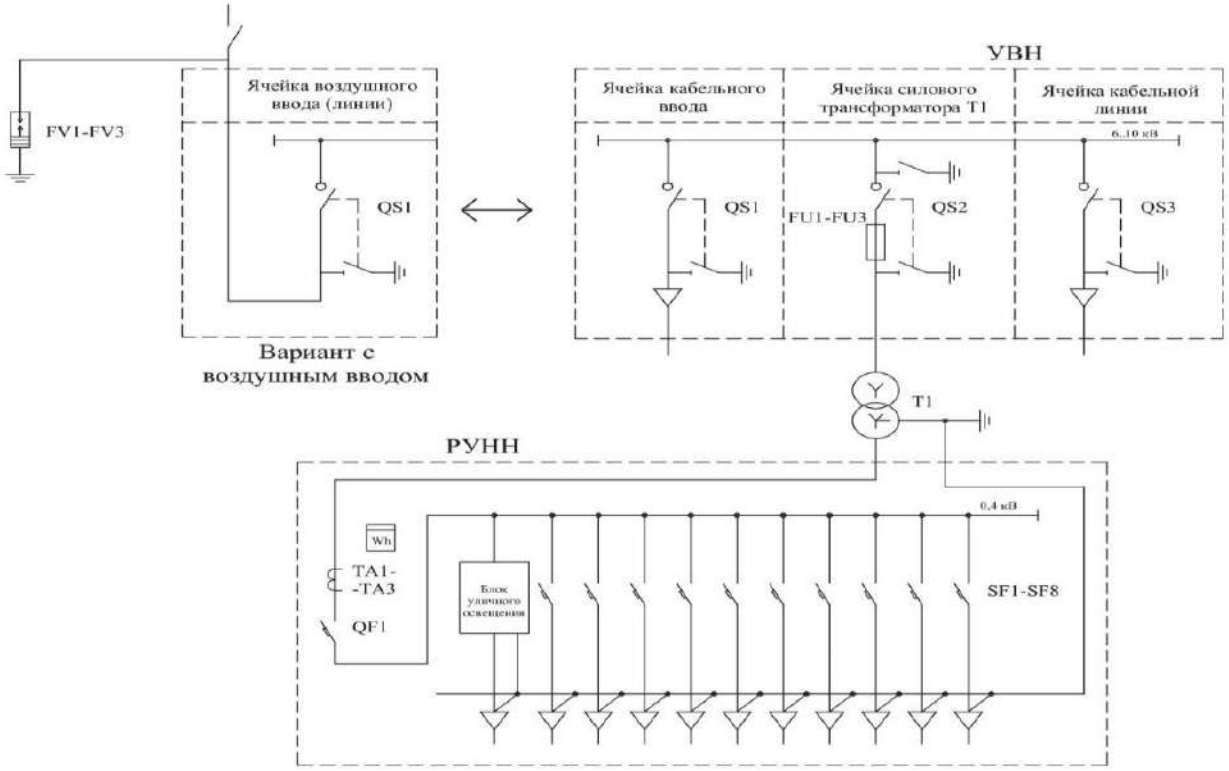


Рисунок 5.10 – Схема принципиальная ТП 10/0,4 кВ (вариант 3)

Контрольные вопросы

1.Раскрыть основные виды и дать характеристику проводов воздушных линий электропередачи.

2.Раскрыть основные виды идать характеристику линейной арматуре ВЛ.

3. Раскрыть основные виды и дать характеристику опор ВЛ.

4. Дать характеристику кабельным линиям электропередачи.

5. Описать виды и дать характеристику подстанций электрических сетей.

Практическая работа № 5.3

Тема: **Компенсация реактивной мощности, расчет мощности компенсирующего устройства**

Цель работы: Формирование знаний и навыков расчета устройств компенсации реактивной мощности.

Оборудование и материалы: мультимедиа-проектор, экран; стол ученический; бумага для черчения ф. А4; карандаш чернографитный твердость М; ластик; точилка для карандашей механическая; линейка металлическая 30см.

Краткие теоретические сведения

Под компенсацией реактивной мощности понимается установка местных источников реактивной мощности, благодаря которым повышается пропускная способность сетей и уменьшаются потери электроэнергии в линиях и трансформаторах [55, 56]. Для выбора мощности компенсирующих устройств необходимо знать естественное (без компенсации) значение величины расчетной реактивной мощности и заданное значение коэффициента мощности нагрузки после выполнения компенсации ($cos\varphi_к$). Мощность компенсирующего устройства (в кВАр) определяется по выражению [55]:

$$Q_{к.у..}=\alpha \cdot P_р \cdot (tg\varphi_е - tg\varphi_к), \quad (5.3)$$

где: $P_р$-расчетная активная нагрузка потребителя, кВт;

$tg\varphi_е$, $tg\varphi к$ –естественный и компенсированный тангенсы угла сдвига фаз между током и напряжением;

α - коэффициент, учитывающий естественное повышение cos φ, принимается равным $\alpha = 0{,}85 – 0{,}9$.

Чаще всего значение коэффициента мощности после компенсации находится в пределах 0,93 – 0,97 (среднее значение 0,95. Выбирается ближайшее каталожное значение конденсатора.

Определение количества конденсаторов в компенсирующем устройстве с учетом типа конденсатора, определяется выражением [55, 56]:

$$N_{КУ}= \frac{Q_{КУ}}{Q_1}, \quad (5.4)$$

где: Q_1- мощность одного конденсатора, кВАр;

Реактивная мощность конденсатора в одной фазе, кВАр [55, 56]:

$$Q_ф= \frac{Q_{КУ}}{3}. \quad (5.5)$$

Количество конденсаторов в одной фазе трехфазной системы определяется [55, 56]:

$$N_1 = \frac{N_{КУ}}{3}. \quad (5.6)$$

Емкость батареи конденсаторов в мкФ рассчитывается по выражению:

$$C_{БК} = \frac{Q_{КУ}}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot U_{ном}^2 \cdot 10^{-3}}. \quad (5.7)$$

По рассчитанной мощности и ёмкости выбирается стандартное компенсирующее устройство. На предприятиях малой и средней мощности для этой цели обычно используют батареи конденсаторов (БК). Они выпускаются для электроустановок напряжением до 1000 В трехфазными с номинальными напряжениями 0,22; 0,38; 0,66 кВ. Мощность единицы таких конденсаторов составляет от 4 до 50 кВАр в зависимости от габарита. Мощность конденсаторов пропорциональна квадрату напряжения сети (Q = ωCU2), поэтому батареи конденсаторов обычно соединяют в «треугольник». Конденсаторы включаются в сеть параллельно электроприемникам, вследствие чего компенсация носит название поперечной (параллельной) в отличие от продольной, при которой конденсаторы включаются в сеть последовательно [55, 56].

Маркировка конденсаторов расшифровывается следующим образом: К – косинусный силовой конденсатор для повышения коэффициента мощности; М – пропитка конденсаторной бумаги выполненная минеральным маслом; С – пропитка выполнена синтетическими жидкостями; 0,1,2 – исполнения в корпусах нулевого, первого и второго габаритов; 0,23;0,38;0,66 – номинальное напряжение в кВ; 4,9,18 и т.п. – мощность конденсатора в кВАр.; 3 – количество изолированных выводов; У3 – климатическое исполнение и категория размещения по ГОСТ 1282-79. В новых проектах следует применять конденсаторы серии КС (серия КМ снята с производства), сведения о некоторых конденсаторах серии КС приведены в таблице 5.5.После отключения конденсаторных батарей, на их обкладках сохраняется напряжение равное напряжению сети, поэтому в целях электробезопасности конденсаторы следует замыкать на разрядные сопротивления.

Таблица 5.5 – Силовые конденсаторы 0,38 кВ (I-V серий)

Тип, марка	f, Гц	$Q_н$, кВАр	С, мкФ	Масса, кг
КСО-0,38-12,5-3У3	50	12,5	276	18
КС1-0,38-14-3У3	50	14,0	309	30
КС1-0,38-20-3У3	50	20,0	441	30
КС1-0,38-22,5-3У3	50	22,5	497	30
КС1-0,38-25-3У3	50	25,0	542	30
КС2-0,38-28-3У3	50	28,0	618	60
КС2-0,38-36-3У3	50	36,0	54	60
КС2-0,38-40-3У3	50	40,0	882	60
КС2-0,38-45-3У3	50	45,0	994	60
КС2-0,38-50-3У3	50	50,0	1102	60

Для отдельных конденсаторных батарей напряжением 0,38 кВ в качестве разрядных резисторов, обычно, используют лампы накаливания (2 лампы напряжением 220 В, включенные последовательно для каждой фазы).

При мощностях 50 кВАр и более, конденсаторные установки выпускаются промышленностью в виде комплектных конденсаторных установок (ККУ), в которых предусмотрена установка коммутационных, защитных и регулирующих аппаратов. ККУ, как правило, имеют устройства для регулирования реактивной мощности батарей (при мощности более 200 кВАр – обязательно) [55, 56].

Регулирование может выполняться по реактивному току нагрузки, либо по напряжению сети. Данные о некоторых типах ККУ приведены в таблице 5.6.

Для защиты конденсаторных установок могут использоваться плавкие предохранители или автоматические выключатели. Ток плавкой вставки выбирается по условию [55-57]:

$$I_{п.в.} \geq к_н \cdot I_{к.у} . \qquad (5.8)$$

Ток расцепителя автоматического выключателя – по условию:

$$I_{н.р..} \geq к_н \cdot I_{к.у} , \qquad (5.9)$$

где $к_н$ –коэффициент надежности равный 1,1-1,2;
$I_{к.у.}$- номинальный ток конденсаторной установки, А.

Таблица 5.6 – Комплектные конденсаторные установки 0,38 кВ

Тип, марка	$Q_н$, кВАр	Число ступеней регулирования	Мощность ступени, кВАр	С, мкФ	Масса, кг
УК-0,38-50	50	-	-	1102	100
УК-0,38-75	75	-	-		150
УК-0,38-100	100	-	--		180
УК-0,38-150	150	-	-		245
УКБН-0,38-100	100	2	50		195
УКБН-0,38-200	200	4	50		365
УКБН-0,38-300	300	6	50		530
УКЛН-0,38-150	150	3	50		335
УКЛН-0,38-300	300	6	50		575
УКЛН-0,38-450	450	9	50		820
УКЛН-0,38-600	600	4	150		1150

Порядок выполнения работы

1. Сформировать три группы обучающихся.
2. Произвести выбор мощности конденсаторной батарей (по таблицам 5.5 или 5.6) в сети напряжением 0,38 кВт двух трансформаторной

подстанции согласно алгоритму (формулы 5.1 – 5.7) по вариантам согласно таблицы 5.7.

3. Начертить схему подключения компенсирующего устройства с учетом уровня напряжения, числа рассчитанных конденсаторов для каждой фазы, защитных аппаратов и возможности контроля напряжения.

4. Сделать выводы о выполненной работе.

Таблица 5.7 – Исходные данные к расчетам

Вариант	Расчетная мощность потребителя, кВт	Способ регулирования	Коэффициент мощности, cos ϕ	
			Естествен-ный	Компенси-рованный
1	100,0	Не регулируемые	0,7	0,93
2	200,0	Регулируемые	0,75	0,95
3	300,0	Регулируемые	0,8	0,97

Контрольные вопросы

1.Что такое компенсация реактивной мощности?

2.Назовите устройства компенсации реактивной мощности.

3. Какой диапазон коэффициента мощности должен после компенсации.

4. Какими аппаратами защищают конденсаторные установки для КРМ.

Практическая работа № 5.4

Тема: **Определение потери напряжения, мощности и энергии в элементах электрической сети**

Цель работы: Формирование базовых знаний о методах расчета падения и потерь напряжения, мощности и электроэнергии в элементах электрических сетей.

Оборудование и материалы: мультимедиа-проектор, экран; стол ученический; калькулятор.

Краткие теоретические сведения

Расчет потерь напряжения. Передача электроэнергии от источников питания к электроприемникам сопровождается потерей напряжения в линиях и трансформаторах. Поэтому напряжение у потребителей не сохраняет постоянного значения [55, 56].

Различают *отклонения* и *колебания* напряжения.

Отклонения напряжения обусловлены медленно протекающими процессами изменения нагрузок в отдельных элементах сети, изменением режимов напряжения на источниках питания. В результате таких изменений напряжения в отдельных точках сети меняется по величине, отклоняясь от номинального значения [55, 56].

Колебания напряжения – это быстро протекающие (со скоростью не менее 1% в минуту) кратковременные изменения напряжения. Возникают при резких нарушениях нормального режима работы при резких включениях или отключениях мощных потребителей, коротких замыканиях.

Отклонения напряжения выражаются в процентах по отношению к номинальному напряжению сети [55, 56]:

$$[\Delta U_i] = \frac{U_i - U_{\text{ном}}}{U_{\text{ном}}} \cdot 100\%. \qquad (5.10)$$

Колебания напряжения рассчитываются следующим образом:

$$V_t = \frac{U_{\max} - U_{\min}}{U_{\text{ном}}} \cdot 100\%, \qquad (5.11)$$

где $U_{\max}, U_{\min}$ – наибольшее и наименьшее значения напряжения в одной и той же точке сети.

Чтобы обеспечить нормальную работу электроприемников, на их шинах необходимо поддерживать напряжение, близкое к номинальному.

Отклонение напряжения характеризуется показателем установившегося отклонения напряжения, для которого установлены следующие нормы: нормально допустимые установившегося отклонения напряжения δUу на выводах электроприемников равны соответственно +/-5 от номинального напряжения электрической сети напряжением до 1 кВ [55, 56]:

Максимально допустимое отклонение в электрической сети напряжением до 1 кВ нормируется показателем +/-10%.

При расчете сетей напряжением до 35 кВ включительно принимаются следующие допущения [55-58]:

- не учитывается зарядная мощность ЛЭП;
- не учитывается индуктивное сопротивление кабельных ЛЭП;
- не учитываются потери мощности в стали трансформаторов. Потери мощности в стали трансформаторов учитываются лишь при подсчете потерь активной мощности и электроэнергии во всей сети;
- при расчете потоков мощности не учитываются потери мощности, т.е . мощность в начале участка равна мощности в конце участка;
- не учитывается поперечная составляющая падения напряжения. Это значит, что не учитывается сдвиг напряжения по фазе между узлами схемы;
- расчет потерь напряжения ведется по номинальному напряжению, а не по реальному напряжению в узлах сети.

С учетом допущений, принятых при расчете местных сетей, напряжение в любом *i*-м узле сети рассчитывается по упрощенной формуле [55, 56]:

$$U_i = U_{\text{ип}} - \Delta U_{\text{ип-}i} = U_{\text{ип}} - \frac{1}{U_{\text{ном}}} \cdot \sum_{j=1}^{i} (P_j \cdot R_j + Q_j \cdot X_j), \qquad (5.12)$$

где P_j, Q_j – соответственно активная и реактивная мощности, протекающие по участку j;

R_j, X_j – соответственно активное и индуктивное сопротивления участка j.

Неучет потери мощности в местных сетях позволяет рассчитывать потери напряжения либо по мощностям участков, либо по мощностям нагрузок.

Если расчет ведется по мощностям участков, то учитываются активное и реактивное сопротивления этих же участков. Если расчет ведется по мощности нагрузок, то необходимо учитывать суммарные активные и реактивные сопротивления от ИП до узла подключения нагрузки. Применительно к рисунку 5.11 имеем [55, 56]:

- по мощностям участков

$$\Delta U_{\text{ип-}i} = \frac{1}{U_{\text{ном}}} \cdot \sum_{j=1}^{i} (P_j \cdot R_j + Q_j \cdot X_j); \qquad (5.13)$$

- по мощностям нагрузок

$$\Delta U_{\text{ип-}i} = \frac{1}{U_{\text{ном}}} \cdot \sum_{j=1}^{i} (P_{\text{нj}} \cdot R_{\text{ип-}j} + Q_{\text{нj}} \cdot X_{\text{ип-}j}). \qquad (5.14)$$

В неразветвленной сети наибольшая потеря напряжения – это потеря напряжения от источника питания (ИП) до конечной точки сети.

В разветвленной сети наибольшая потеря напряжения определяется следующим образом:

- рассчитывается потеря напряжения от ИП до каждой конечной точки;
- среди этих потерь выбирается наибольшая. Ее величина не должна превышать допустимую потерю напряжения для данной сети.

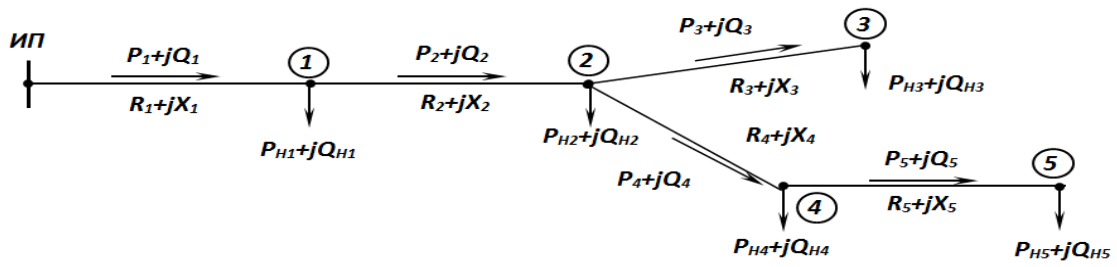


Рисунок 5.11 – Участок электрической сети

Расчет потерь мощности в линиях электропередачи. Потери активной мощности на участке линии электропередачи (рис. 5.12) обусловлены активным сопротивлением проводов и кабелей, а также несовершенством их изоляции. Мощность, теряемая в активных сопротивлениях трехфазной ЛЭП и расходуемая на ее нагрев, определяется по формуле [55, 56]:

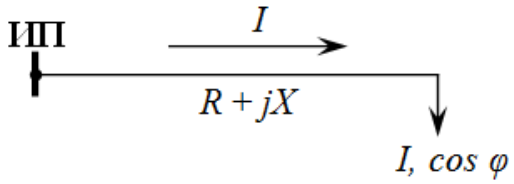


Рисунок 5.12 – Параметры ЛЭП для расчета потерь

$$\Delta P = 3I^2R = 3\cdot[(I\cos\varphi)^2 + (I\cos\varphi)^2]\cdot R =$$
$$= 3\cdot(I_{\text{а}}^2 + I_{\text{р}}^2)\cdot R = 3\cdot[(\frac{P}{\sqrt{3}U})^2 + (\frac{Q}{\sqrt{3}U})^2]\cdot R =$$
$$= 3\cdot(\frac{P^2}{3U^2} + \frac{Q^2}{3U^2})\cdot R = \frac{P^2+Q^2}{3U^2}R = \frac{S^2}{3U^2}R,$$

где $I, I_{\text{а}}, I_{\text{р}}$ – полный, активный и реактивный токи в линии эоектропередачи;
P, Q, S – активная, реактивная и полная мощности в начале или конце линии;
U – линейное напряжение в начале или конце линии;
R – активное сопротивление одной фазы .

Потери активной мощности в проводимостях сети обусловлены несовершенством изоляции. В воздушных ЛЭП – появлением короны и, в очень незначительной степени, утечкой тока по изоляторам. В кабельных ЛЭП – появлением тока проводи мости, а его абсорбции. Рассчитываются потери по формуле [55, 56]:

$$\Delta P = U^2\cdot G, \qquad (5.15)$$

где *U* – линейное напряжение в начале или конце линии;
G – активная проводимость ЛЭП.

При проектировании воздушных ЛЭП потери мощности на корону стремятся свести к нулю, выбирая такой диаметр провода, когда возможность возникновения короны практически отсутствует.

Потери реактивной мощности на участке ЛЭП обусловлены индуктивными сопротивлениями проводов и кабелей. Реактивная мощность, теряемая в трехфазной ЛЭП, рассчитывается аналогично мощности, теряемой в активных сопротивлениях[55, 56]:

$$\Delta Q = 3I^2 X = \frac{P^2 + Q^2}{U^2} X = \frac{S^2}{U^2} X. \qquad (5.16)$$

Расчет потерь мощности в трансформаторах. Потери активной и реактивной мощности в трансформаторах и автотрансформаторах разделяются на потери в стали и потери в меди (нагрузочные потери). Потери в стали – это потери в проводимостях трансформаторов. Они зависят от приложенного напряжения. Нагрузочные потери – это потери в сопротивлениях трансформаторов. Они зависят от тока загрузки [55-58].

Потери активной мощности в стали трансформаторов – это потери на перемагничивание и вихревые токи. Определяются потерями холостого хода трансформатора $\Delta P_{\text{х}}$, которые приводятся в его паспортных данных.

Потери реактивной мощности в стали определяются по току холостого хода трансформатора, значение которого в процентах приводится в его паспортных данных [55, 56]:

$$\Delta Q_{\text{ст}} = \Delta Q_{\text{х}} = \frac{I_{\text{х}}}{100} S_{\text{ном}}. \qquad (5.17)$$

Потери мощности в обмотках трансформатора можно определить двумя путями:

- по параметрам схемы замещения;
- по паспортным данным трансформатора.

Потери мощности по параметрам схемы замещения определяются по тем же формулам, что и для ЛЭП [55, 56]:

$$\Delta P_{\text{мд}} = \frac{S^2}{U^2} R_{\text{т}}; \; \Delta Q_{\text{мд}} = \frac{S^2}{U^2} X_{\text{т}}, \qquad (5.18)$$

где S – мощность нагрузки;
U – линейное напряжение на вторичной стороне трансформатора.

Для трехобмоточного трансформатора или автотрансформатора потери в меди определяются как сумма потерь мощности каждой из обмоток.

Полные потери мощности в двухобмоточном трансформаторе равны:

$$\Delta P_{\text{т}} = \Delta P_{\text{х}} + \Delta P_{\text{к}} (\frac{S}{S_{\text{ном}}})^2; \qquad (5.19)$$

$$\Delta Q_{\text{т}} = \Delta Q_{\text{х}} + \frac{U_{\text{к}}}{100} \cdot \frac{S^2}{S_{\text{ном}}}. \qquad (5.20)$$

Если на подстанции с суммарной нагрузкой S работает параллельно n одинаковых трансформаторов, то их эквивалентные сопротивления в n раз меньше, а проводимости в n раз больше. Тогда [55, 56]:

$$\Delta P_{\text{т}} = n \cdot \Delta P_{\text{х}} + \frac{1}{n} \cdot \Delta P_{\text{к}} (\frac{S}{S_{\text{ном}}})^2; \quad (5.21)$$

$$\Delta Q_{\text{т}} = n \cdot \Delta Q_{\text{х}} + \frac{1}{n} \cdot \frac{U_{\text{к}}}{100} \cdot \frac{S^2}{S_{\text{ном}}}. \quad (5.22)$$

Для nпараллельно работающих одинаковых трехобмоточных трансформаторов (автотрансформаторов) потери мощности рассчитываются по формулам [55, 56]:

$$\Delta P_{\text{т}} = n \cdot \Delta P_{\text{х}} + \frac{1}{n} [\Delta P_{\text{кв}} (\frac{S_{\text{в}}}{S_{\text{ном}}})^2 + \Delta P_{\text{кс}} (\frac{S_{\text{с}}}{S_{\text{ном}}})^2 + \Delta P_{\text{кн}} (\frac{S_{\text{н}}}{S_{\text{ном}}})^2]; \quad (5.23)$$

$$\Delta Q_{\text{т}} = n \cdot \Delta Q_{\text{х}} + \frac{1}{100 \cdot n \cdot S_{\text{ном}}} (U_{\text{кв}} \cdot S_{\text{в}}^2 + U_{\text{кс}} \cdot S_{\text{с}}^2 + U_{\text{кн}} \cdot S_{\text{н}}^2), \quad (5.24)$$

где $S_{\text{в}}$, $S_{\text{с}}$, $S_{\text{н}}$ – соответственно мощности, проходящие через обмотки высшего, среднего и низшего напряжений трехобмоточного трансформатора.

Величина потерь электроэнергии зависит от характера изменения нагрузки в рассматриваемый период времени. Например, в ЛЕП, работающей с неизменной нагрузкой, потери электроэнергии за время tрассчитываются следующим образом [55, 56]:

$$\Delta W = \Delta P \cdot t, \quad (5.25)$$

где $\Delta P -$ суммарные потери активной мощности ЛЭП.

Потери электроэнергии в трансформаторах при заданном графике нагрузки при использовании его паспортных данных рассчитываются по формулам [55, 56]:

для двухобмоточных

$$\Delta W_{\text{т}} = [n \cdot \Delta P_{\text{х}} + \frac{1}{n} \cdot \Delta P_{\text{к}} (\frac{S}{S_{\text{ном}}})^2] \cdot \Delta t_i; \quad (5.26)$$

- для трехобмоточных трансформаторов (автотрансформаторов)

$$\Delta W_{\text{т}} = \{n \cdot \Delta P_{\text{х}} + \frac{1}{n} [\Delta P_{\text{кв}} (\frac{S_{\text{в}}}{S_{\text{ном}}})^2 + \Delta P_{\text{кс}} (\frac{S_{\text{с}}}{S_{\text{ном}}})^2 + \Delta P_{\text{кн}} (\frac{S_{\text{н}}}{S_{\text{ном}}})^2]\} \cdot \Delta t_i. \quad (5.27)$$

При неизвестном графике нагрузок используется детерминированный метод – через $\tau_м$. Метод основан на двух допущениях:

- максимальные потери в электрической сети наблюдаются в период максимума нагрузки в энергосистемы (утренний максимум с 9 до 11 часов; вечерний – с 17 до 21 часа);
- графики активной и реактивной мощности подобны, т.е. график реактивной мощности пересчитан из графика активной мощности.

Время максимальных потерь $\tau_м$ – это время, в течении которого при работе потребителя с максимальной нагрузкой из сети потребляется такое же количество электроэнергии, что и при работе по реальному графику нагрузки.

Выражение для определения ΔW данным методом [55, 56]:

$$_{\Delta}W_т = P_х\ T_в + к_з^2 \cdot Рк\ \tau\ , \qquad (5.28)$$

где $P_х$, $P_к$ – номинальные потери мощностей холостого хода и короткого замыкания в трансформаторе, кВт;

$к_з$ - коэффициент загрузки элементов электрической сети, кВт ($к_з = S_р/S_{НОМ}$);

$T_в$, τ - время включения электрооборудования (8760 часов/год) и максимальных потерь электроэнергии, час.

Порядок выполнения работы

1. Решить задачи по условиям и вариантам. Сделайте выводы.

1.1 Рассчитать годовые потери электроэнергии в двухцепной линии, выполненной сталеалюминевыми проводами при условиях, заданных в таблице 5.8. Коэффициент мощности потребителей считать 0,95.

1.2 Рассчитать годовые потери мощности и электроэнергии в двухобмоточном трансформаторе по паспортным данным и данным, заданных в таблице 5.9.

1.3 Линия электропередачи магистральная выполнена из алюминиевого провода сечение которого равно 50 мм^2, номинальное напряжение ВЛ равно 0,38 кВ. На расстоянии L1 от РП находится потребитель мощностью Р1, через L2 от РП расположен потребитель мощностью Р2, а в удалении L3 метров от РП имеется потребитель мощностью Р3. Коэффициент мощности потребителей по вариантам. Требуется составить однолинейную электрическую схему сети и вычислить потерю напряжения в линии. Данные указаны в таблице 5.10. Для расчётов использовать [1, 2, 3].

Таблица 5.8 – Данные к первому заданию

№ варианта	Сечение провода / число проводов в фазе	Длина линии, км	Мощность нагрузки, кВт	Напряжение, кВ
1-5	120/19	30	5000	35
6-10	70/11	20	500	10
11-15	95/16	10	700	10

Таблица 5.9– Данные ко второму заданию

№ варианта	Тип трансформатора	Cos ϕ	Мощность нагрузки, кВт	Время наибольшей нагрузки τ
1-5	ТДН 16000/110	0,95	10000	4000
6-10	ТМН 4000/35	0,9	2500	3500
11-15	ТМ 1000/10	0,85	500	3500

Таблица 5.10 – Данные к третьему заданию

№ варианта	L1, м	L2, м	L3, м	P1, кВт	P2, кВт	P3, кВт	cos ϕ1	cos ϕ2	cos ϕ3
1-5	50	120	170	15	40	30	0,92	0,95	0,9
6-10	30	60	150	30	20	10	0,85	0,95	0,93
11-15	100	150	200	35	25	20	0,94	0,92	0,95

Контрольные вопросы

1. Что такое отклонение и колебание напряжения?

2. Какие допущения применяют при расчете сети до 35 кВ на потерю напряжения.

3.Особенности расчета потери напряжения в разветвленной электрической сети.

4. Какие особенности расчета потерь мощности в трансформаторах.

5. В чем суть детерменированного метода расчета потерь.

Практическая работа № 5.5

Тема: **Выбор автоматического выключателя**

Цель работы: Формирование знаний и навыков выбора автоматических выключателей защиты электрической цепи

Оборудование и материалы: мультимедиа-проектор, экран; стол ученический; калькулятор.

Краткие теоретические сведения

Автоматические выключатели предназначены для автоматического отключения электрических цепей при к.з. или перегрузках, а также для нечастого включения и отключения нагрузки. Отключение выключателя при перегрузках и к.з. выполняется встроенными в выключатель расцепителями. Выключатель может иметь тепловой и электромагнитный расцепитель, а также полупроводниковый или электронный расцепитель. Выключатели по отдельному заказу могут иметь дополнительные [55-57]:

- минимальный – отключающий цепь при снижении напряжения ниже заданного уровня (менее 0,7 U_H);

- независимый – для отключения выключателя дистанционно или от специальных защит.

Различают токоограничивающие и нетокоограничивающие выключатели.

Токоограничивающие выключатели ограничивают значение тока к.з. за счет быстрого введения в цепь тока сопротивления электрической дуги (в первый полупериод от начала процесса к.з.) и последующего быстрого отключения к.з., при этом ток к.з. не достигает максимального расчетного значения. Токоограничение начинается с некоторого значения тока, определяемого характеристикой токоограничения конкретного выключателя.

Нетокоограничивающие выключатели не ограничивают ток к.з. в цепи и он успевает достичь максимального расчетного значения.

Автоматические выключатели характеризуются следующими параметрами [55, 57]:

номинальное напряжение $U_{Н.В.}$ – значение напряжения, которое длительно выдерживает изоляция главных и вспомогательных цепей выключателя, В;

–номинальный ток $I_{Н.В.}$ – значение тока, которое выдерживают главные токоведущие части выключателя в длительном режиме, А;

–номинальный ток расцепителя $I_{Н.Р.}$ – максимальное значение тока, при котором расцепитель не срабатывает, А;

–предельная коммутационная способность (ПКС) выключателя – максимальное значение тока к.з., которое выключатель способен включить и отключить несколько раз, оставаясь в исправном состоянии, кА;

–одноразовая предельная коммутационная способность (ОПКС) – максимальное значение тока к.з., которое выключатель может отключить только один раз, при этом дальнейшая его работа не гарантируется, А;

–электродинамическая стойкость – максимальное амплитудное значение тока к.з., которое способен пропустить выключатель во включенном положении без остаточных деформаций и разрушения, кА;

–термическая стойкость – максимально допустимое количество тепла которое может быть выделено в выключателе при прохождении через него тока к.з., $кА^2 \cdot$ с;

–полное время отключения – общее время срабатывания расцепителей, механизма свободного расцепления, расхождения силовых контактов и гашения дуги, с;

–защитная характеристика – зависимость времени срабатывания выключателя от проходящего через него тока.

Автоматические выключатели могут иметь следующие защитные характеристики:

–обратнозависимая от тока (рис. 5.13 а); такую характеристику имеют тепловые расцепители, они имеют малые ПКС и быстродействие;

–независимая от тока (рис. 5.13 б); такую характеристику имеют электромагнитный или полупроводниковый без выдержки времени расцепители;

–ограничено зависимая от тока двухступенчатая (рис. 5.13 в); такую характеристику имеют комбинированные расцепители;

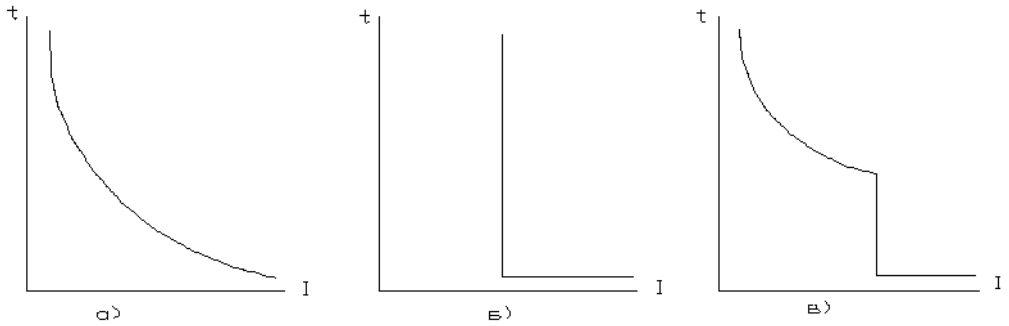


Рисунок 5.13 – Защитные характеристики автоматических выключателей

Рекомендуемые для выбора при проектировании серии выключателей приведены в таблицах 5.11 и 5.12 [55, 56].

Таблица 5.11 – Автоматические трехполюсные выключатели с комбинированными расцепителями серий А2000, А3700, ВА51

Тип выключ.	$I_{Н}$, А	Номинальные токи расцепителей $I_{Н.Р.}$, А	$\frac{I_{С.О.}}{I_{Н.Р.}}$	ПКС, кА	Собственное время отключения, с
АЕ2026	16	0,4; 0,5; 0,6; 0,8; 1,0; 1; 1,25; 1,6; 2; 2,5; 3,15; 4; 5; 6,3; 8; 10; 12,5; 16	12	1,0	0,04
АЕ2046М	63	0, 6; 0,8; 1; 1,25; 1,6; 2; 2,5; 3,15; 4; 5; 6,3; 8; 10; 12,5; 16; 20; 25; 31,5; 40; 50; 63	12	1,5	0,04
АЕ2056М	100	10; 12,5; 16; 20; 25; 31,5; 40; 50; 63; 80; 100	12	2,4	0,04
АЕ2066	160	16; 20; 25; 31,5; 40; 50; 63; 80; 100; 125; 160	12	3,5	0,04
А3716Ф А3716Б*	160	16; 20; 25; 32; 40; 50; 63; 80; 100; 125; 160	10	5,5÷25	0,04 0,01
А3726Ф А3726Б*	250	160; 200; 250	10	35	0,04 0,01
А3736Ф А3796Н	630	250; 320; 420; 500; 630	10	50	0,04 0,04
ВА51–25	25	6,3; 8; 10; 12,5; 16; 20; 25	10	2,0	0,04
ВА51–31	100	16; 20; 25; 31,5; 40; 50; 63; 80; 100	10	4,5	0,04
ВА51–33	160	80; 100; 125; 160	10	12,5	0,04
ВА51–35	250	100; 125; 160; 200; 250	12	12	0,04
ВА51–37	400	250; 320; 400	10	25	0,04
ВА51–39	630	400; 500; 630	10	35	0,04

*Токоограничивающие выключатели

Номинальное напряжение выключателей 660 В.

Таблица 5.12 – Автоматические трехполюсные выключатели с полупроводниковыми расцепителями серий А3700С и “Электрон” [55, 57].

Тип выключат.	$I_н$, А	МТЗ $I_{н.р.}$	$\frac{I_{с.о.}}{I_{н.р.}}$	Время срабатывания (с) при токе		ПКС, кА
				$I_{с.о.}$	$6I_{н.раб.}$	
А3714Б	160	20; 25; 32; 40; 50; 63; 80; 100; 125; 160	2; 3; 5; 7; 10	0,1; 0,25; 0,4	4; 8; 16	18
А3734С	250 400 630	160; 200; 250 250; 320; 400 400; 500; 630	2; 3; 5; 7; 10	0,1; 0,25; 0,4	4; 8; 16	50,5
Э06	1000	630; 800; 1000	3; 5; 7; 10	0,25; 0,45; 0,7	4; 8; 16	40
Э16	1600	630; 1000; 1600	3; 5; 7; 10	0,25; 0,45; 0,7	4; 8; 16	45
Э25	4000	1000; 1600; 2500; 4000	3; 5; 7	0,25; 0,45; 0,7	4; 8; 16	65

Выключатели выбирают исходя из следующих условий:

1. соответствия номинального напряжения выключателя $U_{нв}$ номинальному напряжению сети $U_с$[55, 56]

$$U_{нв} \geq U_с \ . \qquad (5.29)$$

2. соответствия номинального тока расцепителя автомата $I_{н.р.}$ расчетному рабочему току электроприемника или группы электроприемников $I_Р$ [55, 56]

$$I_{н.р.} \geq K_{н1} \cdot I_Р \ , \qquad (5.30)$$

где $K_{н1}$ – коэффициент надежности равный 1,2 ÷ 1,4

3. соответствия тока, срабатывания отсечки (электромагнитного расцепителя) $I_{с.о.}$ пиковому току электроприемника или группы электроприемников $I_{пик.}$[55, 56]:

$$I_{с.о.} \geq K_{н2} \cdot I_{пик} \ , \qquad (5.31)$$

где $K_{н2}$ – коэффициент надежности, $K_{н2}$=1,4 для автоматических выключателей с комбинированным расцепителем на номинальные токи до 100 А, $K_{н2}$=1,25 для автоматических выключателей с комбинированным расцепителем на номинальные токи более 100 А, $K_{н2}$=1,5 для выключателей с полупроводниковым расцепителем.

4. условие предельной коммутационной способности [55, 56]:

$$ПКС \geq I^{(3)}_к \ , \qquad (5.32)$$

где $I^{(3)}_к$ – максимальный ток трехфазного к.з. в месте установки выключателя.

Порядок выполнения работы

1. Решить задачу по условиям и вариантам таблицы 5.13.

Выбрать автоматический выключатель для защиты групповой линии. Для расчетов использовать данные таблиц 5.11 и 5.12. Сделать выводы.

Таблица 5.13 – Данные к заданию

№ варианта	$I_Р$, А	$I_{пик}$, А	$I^{(3)}_к$, А
1-5	20,0	65,0	780
6-10	40,0	90,0	1240
11-15	80,0	170,0	1600

Контрольные вопросы

1.В чем назначение автоматического выключателя?

2.Какие основные отличия токоограничивающего и нетокоограничивающего автоматического включателя?

3.Опишите защитные характеристики автоматического выключателя.

4.Раскройте условия выбора автоматического выключателя.

Практическая работа № 5.6

Тема: **Определение расчетных значений токов в электрических сетях зданий**

Цель работы: Формирование знаний и навыков определения расчетных токовых и мощностей нагрузки в элементах электрических сетей.

Оборудование и материалы: мультимедиа-проектор, экран; стол ученический; калькулятор.

Краткие теоретические сведения

Определение расчетных токов на различных участках электрической сети.

Под расчетным током (нагрузкой) участка электрической сети понимается величина условного тока, вызывающего такой же нагрев проводников, что и действительный ток, протекающий по этому участку за одинаковый интервал времени. Для основной массы электрооборудования и проводников расчетный интервал времени в настоящее время составляет 30 минут

Для одиночных электроприемников подключенных к электрической сети расчетный ток принимают равным его номинальному значению. Для трехфазных электроприемников с симметричной нагрузкой расчетный ток определяют по выражению [55, 56]:

$$I_p = \frac{P_H}{\sqrt{3} \cdot U_H \cdot \cos\varphi_H \cdot \eta_H}, \qquad (5.33)$$

где $P_Н$, $U_Н$,$\cos\varphi_Н$, $\eta_Н$ – номинальные значения активной мощности (кВт), напряжения (кВ), коэффициента мощности и КПД соответственно.

Для однофазных электроприемников или электроприемников включенных на междуфазное напряжение, расчетный ток [55, 56]:

$$I_p = \frac{P_H}{U_H \cdot \cos\varphi_H \cdot \eta_H} \quad (5.34)$$

Для трансформаторов расчетный ток определяется, исходя из значений полной номинальной мощности (в кВА).

$$I_p = \frac{S_H}{\sqrt{3} \cdot U_H} \quad \text{для трехфазных трансформаторов,} \quad (5.35)$$

$$I_p = \frac{S_H}{U_H} \text{ для однофазных трансформаторов} \quad (5.36)$$

Для электронагревательных приборов значения коэффициента мощности и КПД равны единице, расчетный ток электронагревательных приборов определяют по выражению [55, 56]:

$$I_p = \frac{P_H}{\sqrt{3} \cdot U_H} \text{ для трехфазных электроприемников,} \quad (5.37)$$

$$I_p = \frac{P_H}{U_H} \quad \text{для однофазных электроприемников} \quad (5.38)$$

Расчетная нагрузка (мощность) линии питающей узел электрической сети (распределительный щит) может быть определена одним из следующих методов [55, 56]:

а) метод коэффициента спроса:

$$P_p = K_C \cdot \sum_{i=1}^{n} P_{Hi} \ , \quad (5.39)$$

где P_{Hi} – номинальная мощность электроприемника подключенного к узлу, кВт;

K_C – коэффициент спроса, определяемый по справочным данным в зависимости от количества электроприемников и графика их работы. (табл. 5.14, 5.15).

Таблица 5.14 – Коэффициенты спроса для силового оборудования производственного назначения

K_C, при числе электроприемников									
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1–2	3	5	8	10	15	20	30	50	100
1,0	0,9	0,8	0,75	0,7	0,65	0,65	0,6	0,55	0,50

Таблица 5.15 – Коэффициенты спроса для питающих сетей электроосвещения

№	Наименование зданий	$К_С$
1	Небольшие производственные здания	1,0
2	Производственные здания, состоящие из крупных пролетов	0,95
3	То же, состоящее из многих мелких помещений	0,85
4	Административно–бытовые и лабораторные корпуса	0,8
5	Складские здания, состоящие из многих отдельных помещений	0,6
6	Линии питающие щитки аварийного освещения	1,0

б) *метод коэффициента максимума* [55, 56]:

$$P_p = K_M \cdot K_u \cdot \sum_{i=1}^{n} P_{Hi} \ , \qquad (5.40)$$

где $к_и$ – коэффициент использования для данной группы электроприемников (таблица 5.16);
$К_М$ – коэффициент максимума.

Коэффициент максимума определяется по таблицам (таблица 5.17) или диаграммам [4] в зависимости от $К_и$ и эффективного числа электроприемников данной группы $n_{Э;}$

$$n_э = \frac{(\sum P_{Hi})^2}{\sum P_{Hi}^2} \cdot \qquad (5.41)$$

в) метод коэффициента загрузки

$$P_p = \sum \frac{P_{Hi} \cdot K_{3i}}{\eta_i} + \sum \frac{P_{KHi} \cdot K_{3Ki} \cdot t}{0{,}5 \cdot \eta_{Ki}}, \qquad (5.42)$$

где $Р_{Нi}$, $Р_{КНi}$ – номинальные мощности электроприемников работающих более 0,5 часа и менее 0,5 часа соответственно, кВт;
$К_{3i}$, $К_{3Ki}$ – коэффициенты загрузки электроприемников (таблица 5.18);
η_i, η_{Ki} – КПД электроприемников;
t – время работы электроприемников, работающих менее 0,5 часа, час;

Таблица 5.16 – Зависимость коэффициента спроса ($К_С$) от коэффициента использования ($К_И$)

$К_И$	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
$К_С$	0,5	0,6	0,65÷0,7	0,75÷0,8	0,85÷0,9	0,92÷0,95	1,0

Таблица 5.17 – Коэффициент максимума $К_М$ для различных коэффициентов $К_И$ в зависимости от $n_э$

$n_э$	$К_И$									
	0,1	0,15	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,94
4	3,43	3,11	2,64	2,14	1,87	1,65	1,46	1,29	1,14	1,05
5	3,23	2,87	2,42	2	1,76	1,57	1,41	1,26	1,12	1,04
6	3,04	2,64	2,24	1,88	1,66	1,51	1,37	1,23	1,1	1,04
7	2,88	2,48	2,1	1,8	1,58	1,45	1,33	1,21	1,09	1,04
8	2,72	2,31	1,99	1,72	1,52	1,4	1,3	1,2	1,08	1,04
9	2,56	2,2	1,9	1,65	1,47	1,37	1,28	1,18	1,08	1,03
10	2,42	2,1	1,84	1,6	1,43	1,34	1,26	1,16	1,07	1,03
12	2,24	1,96	1,75	1,52	1,36	1,28	1,23	1,15	1,07	1,03
14	2,1	1,85	1,67	1,45	1,32	1,25	1,2	1,13	1,07	1,03
16	1,99	1,77	1,61	1,41	1,28	1,23	1,18	1,12	1,07	1,03
18	1,91	1,7	1,55	1,37	1,26	1,21	1,16	1,11	1,06	1,03
20	1,84	1,65	1,5	1,34	1,24	1,2	1,15	1,11	1,06	1,03
25	1,71	1,55	1,4	1,28	1,21	1,17	1,14	1,1	1,05	1,03

Таблица 5.18 – Средние величины коэффициентов загрузки по активной мощности некоторых видов электроприемников

Наименование электроприемников	$К_З$
Автоматы и полуавтоматы	0,8
Транспортеры скребковые	0,7
Транспортеры шнековые	0,4
Кормораздатчики	0,5
Вентиляторы	0,6–0,8
Навозоуборочные транспортеры	0,5
Насосы, компрессоры	0,7
Нагревательные и осветительные установки	1,0

Определение пиковых нагрузок. Для выбора аппаратов защиты сетей кроме расчетных токов необходимо знать и пиковые токи, создаваемые отдельными электроприемниками (пусковые токи электродвигателей) за некоторый малый интервал времени (1–2 сек.) [55, 56].

Для одиночных электроприемников пиковый ток равен пусковому току.

$$I_{\text{пик}} = K_i \cdot I_{\text{н}}, \tag{5.43}$$

где $К_i$ – кратность пускового тока, определяется по паспортным данным электроприемника.

Для группы электроприемников пиковый ток складывается из пускового тока электроприемника имеющего наибольший пусковой ток ($I_{пуск.м}$) и расчетного тока группы электроприемников ($I_{P\Sigma}$) за вычетом расчетного тока электроприемника имеющего наибольший пусковой ток (I_{Pi}).[55, 56]

$$.I_{пик} = I_{пуск.н} + (I_{р\sum} \quad - I_{рi} \tag{5.44}$$

Порядок выполнения работы

1. Решить задачу по условиям и вариантам.

Определить значения расчетных токов для группы силового щита ШР питающей электроприемники по вариантам (рисунок 5.14). Сделать выводы.

Расчет произвести по вариантам в таблице 5.19

Таблица 5.19 – Исходные данные по вариантам

№ варианта	№ потребителей в схеме рисунка 5.19
1-5	1
6-10	2,3
11-15	4,5

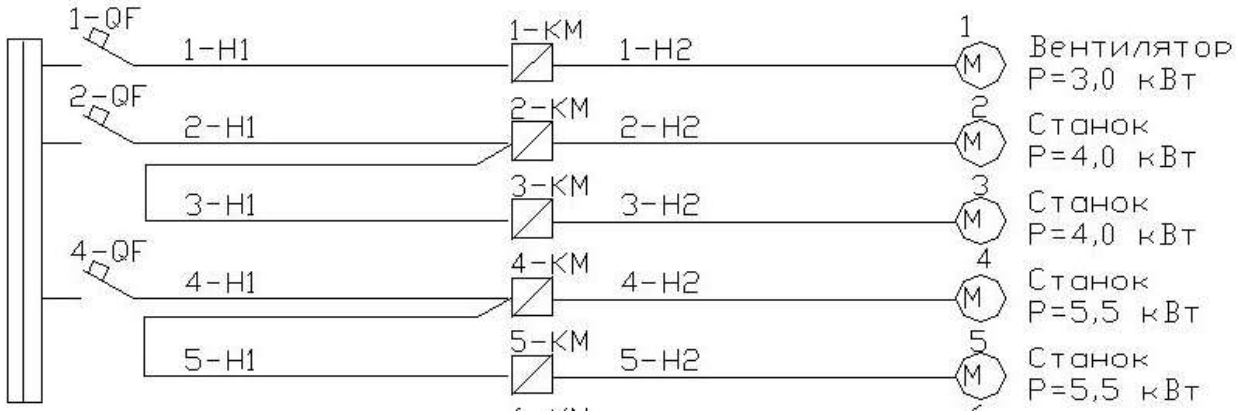


Рисунок 5.14 – Принципиальная схема распределительной сети

Контрольные вопросы

1.Что понимают под расчетной нагрузкой электроприемника?

2.Как определяется расчетный ток для трехфазных электроприемников с симметричной нагрузкой?

3.Как определяется расчетный ток трансформаторов?

4.В чем суть метода коэффициента спроса?

5.В чем суть метода коэффициента максимума нагрузки?

Практическая работа № 5.7

Тема: **Расчет сечения проводниковой продукции по допустимому нагреву и потере напряжения**

Цель работы: Формирование знаний и навыков определения сечения линий электропередачи различными способами.

Оборудование и материалы: мультимедиа-проектор, экран; стол ученический; калькулятор.

Краткие теоретические сведения

Выбор сечения проводов и кабелей по допустимому нагреву. При прохождении тока по проводникам, в них выделяется тепло. Нагрев проводников не должен быть больше нормируемого значения, для проводов и кабелей с пластмассовой и резиновой изоляцией температура жил не должна превышать +65°С. Температура проводников, при нормируемых значениях температуры окружающей среды (+25°С для воздуха и +15°С для земли), определяется протекающим по ним током.

Допустимым длительным током проводника называют такое значение протекающего тока, которое при нормируемых условиях охлаждения нагревает проводник до температуры не выше допустимой.

Значение допустимого тока, для одножильного провода (кабеля), может быть определено по выражению током [55, 56, 58].

Допустимым длительным током проводника называют такое значение протекающего тока, которое при нормируемых условиях охлаждения нагревает проводник до температуры не выше допустимой.

Значение допустимого тока, для одножильного провода (кабеля), может быть определено по выражению [55, 56]:

$$I_{доп} \approx \frac{\pi}{2}\sqrt{cd^3\gamma(t-t_0)} \quad , \tag{5.45}$$

где с - коэффициент теплоотдачи поверхности провода (кабеля), Вт/м^2; d- диаметр проводника, м; γ - проводимость материала проводника, сим/м; t – допустимая температура проводника, С^{o}; t^{o} – температура окружающей среды, С^{o}.

При выборе сечения проводника по допустимому нагреву должно выполняться условие [55, 56]:

$$,I_{\text{доп}} \geq I_{\text{р}} \tag{5.46}$$

где $I_Р$ – расчетный ток проводника, А.

В практических расчетах значения допустимых токов проводников определяют по таблицам, приведенным в ПУЭ РК 2015 (таблицы 5.20-5.24)

При определении количества проводников, прокладываемых в одной трубе (или жил многожильного провода) заземляющие и нулевые защитные проводники в расчет не принимаются [55, 56, 58].

При прокладке проводников в среде, температура которой выше нормируемой, к табличным значениям токов применяют снижающие коэффициенты (ПУЭ РК таблица 5.25.)[55, 56]:

$$I_{\text{доп}}^{1} = K \cdot I_{\text{доп}} , \quad (5.47)$$

где К – поправочный коэффициент.

Во взрывоопасных зонах всех классов при выборе сечения проводников должно выполняться условие [55, 56] :

$$I_{\text{доп}} = 1{,}25 \cdot I_{\text{н.д}} , \quad (5.48)$$

где $I_{\text{н.д.}}$ – номинальный ток электродвигателя.

Для четырехжильных кабелей с пластмассовой изоляцией, в тех случаях, когда нулевой провод является рабочим, длительно допустимый ток определяется по таблице 5.23., как для трехжильных кабелей с применением снижающего коэффициента равного 0,92. [59].

Таблица 5.20 – Провода и шнуры с резиновой и поливиниловой изоляцией с медными жилами [59]

Сечение токопроводящей жилы, мм^2	Допустимые токовые нагрузки, А					
	Провода, проложенные открыто	Провода, проложенные в одной трубе				
		два одножильных	три одножильных	четыре одножильных	один двухжильный	один трехжильный
0,5	11	–	–	–	–	–
0,75	15	–	–	–	–	–
1,0	17	16	15	14	15	14
1,2	20	18	16	15	16	14,5
1,5	23	18	17	16	18	15
2,0	26	24	22	20	23	19
2,5	30	27	25	25	25	21
3,0	34	32	28	26	28	24
4,0	41	38	35	30	32	27
5,0	46	42	39	34	37	31
6,0	50	46	42	40	40	34
8,0	62	54	51	46	48	48
10	80	70	60	50	55	50
16	100	85	80	75	80	70
25	140	115	100	90	100	85
35	170	135	125	115	125	100
50	215	185	170	150	180	135
70	270	225	210	185	185	175
85	330	275	255	225	245	215
120	385	315	290	280	285	250
150	440	360	330	–	–	–
185	510	–	–	–	–	–

Таблица 5.21 – Изоляции проводов и шнуров

Сечение токопроводящей жилы, мм^2	Допустимые токовые нагрузки, А					
	Провода, проложенные открыто	Провода, проложенные в одной трубе				
		два одножильных	три одножильных	четыре одножильных	один двухжильный	один трехжильный
1	2	3	4	5	6	7
1	2	3	4	5	6	7
2,0	21	19	18	15	17	14
2,5	24	20	19	19	19	16
3,0	27	24	22	21	22	18
4,0	32	28	28	23	25	21
5,0	38	32	30	27	28	24
6,0	39	36	32	30	31	26
8,0	46	43	40	37	38	32
10	80	50	47	39	42	38
16	75	60	60	55	60	55
25	105	85	80	70	75	65
35	130	100	95	85	95	75
50	165	140	130	120	125	105
70	210	175	165	140	150	135
95	255	215	200	175	180	185
120	295	240	220	200	230	190
150	340	275	255	–	–	–

Таблица 5.22 – Провода и кабели с медными жилами, с резиновой изоляцией в металлических защитных оболочках и в свинцовой, кабели с полихлорвиниловой, найритовой или резиновой оболочках [59].

Сечение токопроводящей жилы, мм^2	Допустимые токовые нагрузки, А$^{X/}$				
	Провода и кабели				
	одножильные	двухжильные		трехжильные	
	При прокладке				
	в воздухе	в воздухе	в земле	в воздухе	в земле
1,5	23	19	33	19	27
2,5	30	27	44	25	38
4	41	38	55	35	49
6	50	50	70	42	60
10	80	70	105	55	90
16	100	90	135	75	115
25	140	115	175	95	150
35	170	140	210	120	180
50	215	175	265	145	225
70	270	215	320	180	275
95	325	260	385	220	330
120	385	300	445	260	385
150	440	350	505	305	435
185	510	405	570	350	500
240	605	–	–	–	–

Таблица 5.23 – Кабели с алюминиевыми жилами, с резиновой или пластмассовой изоляцией в свинцовой, полихлорвиниловой и резиновой оболочках, бронированные и небронированные [59].

Сечение токопроводящей жилы, мм^2	Допустимые токовые нагрузки, А				
	Провода и кабели				
	одножильные	двухжильные		трехжильные	
	При прокладке				
	в воздухе	в воздухе	в земле	в воздухе	в земле
2,5	23	21	34	19	29
4	31	29	42	27	38
6	38	38	55	32	46
10	60	55	80	42	70
16	75	70	105	60	90
25	105	90	135	75	115
35	130	105	160	90	140
50	165	135	205	110	175
70	210	165	245	140	210
95	250	200	290	170	255
120	295	230	340	200	295
150	340	270	390	235	335
185	390	310	440	270	385
240	465	–	–	–	–

Таблица 5.24 – Шнуры переносные шланговые легкие и средние, кабели переносные шланговые тяжелые, кабели шахтные гибкие шланговые, прожекторные и провода переносные с медными жилами [59]

Сечение токопроводящей жилы, мм^2	Допустимые токовые нагрузки, А$^{X/}$		
	Шнуры, провода и кабели		
	одножильные	двухжильные	трехжильные
0,5	–	12	–
0,75	–	16	14
1,0	–	18	16
1,5	–	23	20
2,5	40	33	28
4	50	43	36
6	65	55	45
10	90	75	60
16	120	95	80
25	160	125	105
35	190	150	130
50	235	185	160
70	290	235	200

X/ Токовые нагрузки относятся к шнурам, проводам и кабелям, как с заземляющей жилой, так и без таковой.

Таблица 5.25 –Поправочные коэффициенты к длительно допустимым токам проводов и кабелей, прокладываемых в помещениях при температуре воздуха, превышающей +25°С [59]

Провод или кабель	Поправочный коэффициент при расчетной температуре воздуха, °С				
	30	35	40	45	50
Провода и кабели с резиновой или пластмассовой изоляцией, $t_{доп}$ = +65°С	0,94	0,87	0,79	0,71	0,61
Кабели с бумажной изоляцией, $t_{доп}$ = +80°С	0,95	0,9	0,85	0,8	0,74
Неизолированные проводники, $t_{доп}$ = +70°С	0,94	0,88	0,81	0,74	0,67

Выбор сечения проводников по потерям напряжения

Допустимые потери напряжения во внутренних сетях до 1 кВ зданий определяют, исходя из обеспечения отклонения напряжения у электроприемников в пределах допустимых (в настоящее время ± 5% Uн для основной массы электроприемников). В сетях напряжением менее 42 В допускается потеря напряжения до 10%, считая от выводов низкого напряжения понижающих трансформаторов [55, 56].

Допустимая потеря напряжения во внутренних сетях электроснабжения достаточно точно может быть определена только с учетом данных питающего трансформатора и линии электропередачи 0,38 кВ. При отсутствии таких данных, ориентировочно, на основании опыта проектирования принимают во внутренних сетях зданий следующие допустимые потери напряжения:

- в осветительных сетях не более 2,5%;
- в силовых сетях не более 4%.

В общем случае потери напряжения в трехфазных сетях переменного тока напряжением до 1 кВ может быть определена по выражению [55, 56]:

$$\Delta U_{\%} = \frac{\sqrt{3}\cdot 100}{U_{н}} I \cdot \ell \left(r_{o} \cdot \cos\varphi + x_{o} \cdot \sin\varphi \right). \qquad (5.49)$$

Если мощность в линии выразить через P (кВт), Q (кВАр), а $U_н$ выразить в кВА, то [55, 56]

$$\Delta U_{\%} = \frac{\ell}{10 \cdot U_{н}^{2}} \left(P \cdot r_{o} + Q \cdot x_{o} \right), \qquad (5.50)$$

где ℓ - длина линии, км;

r_o, x_o – удельное активное и реактивное сопротивления, соответственно, Ом/км.

Для однофазной линии [55, 56]:

$$\Delta U_{ф\%} = \frac{200}{U_{ф}} I_{ф} \cdot \ell \left(r_{o} \cdot \cos\varphi + x_{o} \cdot \sin\varphi \right) \quad . \qquad (5.51)$$

здесь $U_ф$ измеряется в В.

$$_{\Delta}U_{Ф\%} = \frac{2 \cdot \ell}{10 \cdot U_Ф^2}\left(P_Ф \cdot r_O + Q_Ф \cdot x_O\right), \quad (5.52)$$

где $U_ф$ в кВ, $P_ф$ в кВт, $Q_ф$ в кВАр.

При значении cosφ = 1 допускается пренебрегать реактивным сопротивлением сети и потери напряжения в линии, определяются по упрощенной формуле[55, 56]:

$$\Delta U_{\%} = \frac{P \cdot \ell}{10 \cdot U_Н^2} r_O = \frac{P \cdot \ell}{C_3 \cdot F} = \frac{M}{C_3 \cdot F}, \quad (5.53)$$

$$\Delta U_{Ф\%} = \frac{2P \cdot \ell}{10 \cdot U_Ф^2} r_O = \frac{P \cdot \ell}{C_1 \cdot F} = \frac{M}{C_1 \cdot F}, \quad (5.54)$$

где C_1, C_3 – коэффициенты (таблица 5.26);
F – сечение проводника, мм^2.

По этим же выражениям допускается определять потерю напряжения для электроприемников с cosφ = 0,9 при проводке выполненной кабелями или проводами в трубах до сечения 70 (120) мм^2 включительно и при cosφ = 0,5 ÷ 0,6 при кабелях или проводах в трубах сечением до 16 (25)мм^2 включительно. В скобках указаны сечения алюминиевых проводов, вне скобок – медных.

Таблица 5.26 - Значение коэффициента С

Коэффици-ент	Напряжение сети, В	Сеть	Коэффициент С для проводов	
			Медных	Алюминиевых
С3	380/220	Трехфазная с нулевым проводом	77	46
С2	380/220	Двухфазная с нулевым проводом	34	20
С1	220	Однофазная	12,8	7,7
С	36	однофазная	0,34	0,2

Для магистральных линий одного сечения с разными длинами участков и подключенными нагрузками общая потеря напряжение в линии определяется, как сумма потерь напряжений отдельных участков [55, 56]:

$$\Delta U_{\%} = \frac{\Sigma P_i \cdot \ell_i}{C \cdot F}, \quad (5.55)$$

где P_i – мощность i – го участка, кВт;

ℓ_i – длина i – го участка, м.

При различных сечениях участков магистрали потеря напряжения определяется для каждого участка в зависимости от его сечения. Общая потеря напряжения в линии [55, 56]:

$$\Delta U_{\%} = \Sigma \frac{P_i \cdot \ell_i}{C \cdot F} \quad , \tag{5.56}$$

где F_i – сечение проводников i – го участка, мм^2.

Сечение проводников, при котором обеспечивается потеря напряжения в линии, не больше допустимой для радиальной линии определяется по выражению [55, 56]:

$$F \geq \frac{P \cdot \ell}{C \cdot \Delta U_{доп}}. \tag{5.57}$$

для магистральной линии одного сечения

$$F \geq \frac{\Sigma P_i \cdot \ell_i}{C \cdot \Delta U_{доп}}, \tag{5.58}$$

где $_{\Delta}U_{доп}$ – допустимая потеря напряжения, %.

Для групповых осветительных сетей расчет по потере напряжения может быть упрощен, если светильники или группы светильников одинаковой мощности присоединены к линии с одинаковыми интервалами (рисунок 5.15). В этом случае суммарный момент нагрузки линии определяется умножением мощности всех светильников на длину линии от начала до среднего светильника:

$$\sum M = P \cdot L \quad , \tag{5.59}$$

где L – приведенная длина $L = \ell + L_1$, м.

При проектировании осветительных сетей необходимо стремиться к равномерной нагрузке и равенству моментов различных фаз, что обеспечивает одинаковые отклонения напряжения у светильников, питаемых от разных фаз.

В трехфазных, четырехпроводных сетях электроосвещения для получения равенства моментов следует присоединять светильники к фазам в порядке А, В, С, С, В, А …, считая от конца линии. Такие линии можно рассчитывать, как трехфазные с равномерной нагрузкой фаз.

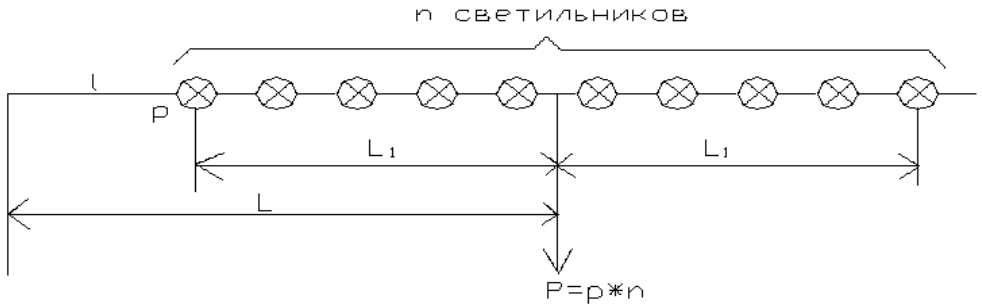


Рисунок 5.15 – Упрощенная схема расчета групповой сети

Порядок выполнения работы

1. Решить задачу по условиям и вариантам.

1.1 Выбрать необходимое по допустимой потере напряжения сечение проводников групповой линии электроосвещения с расчетной схемой, приведенной на рисунке 5.15, Напряжение осветительной сети 220 В, допустимая потеря напряжения в электропроводке 2,5%. Исходные данные по вариантам представлены в таблице 5.27.

1.2 Выбрать сечение проводника по условию допустимого нагрева по вариантам согласно рисунку 5.14. Исходные данные для расчета взять в таблице 5.28. При расчетах и выборе проводника использовать каталоги Казцентрэлектропровод, и таблицы приложения ПУЭ РК 2015 (или табл. 5.20 – 5.25).

Таблица 5.27 – Исходные данные для задачи 1.1

№ варианта	n, шт	p, кВт	L1, км	L2, км
1-5	10	100	15	20
6-10	15	150	15	15
11-15	20	200	10	15

Таблица 5.28 – Исходные данные для задачи 1.2

№ варианта	№ потребителей в схеме рисунка 5.19	Исполнение	N2, об/мин	cosφ=	η	Ki (кратность пускового тока)
1-5	4,5	Открыто	1500	0,85	0,78	6
6-10	2,3	В трубе	3000	0,8	0,82	6
11-15	1	В трубе	3000	0,9	0,85	6

Контрольные вопросы

*1.*Что понимают под длительным допустимым током?

2.Раскрыть суть метода выбора сечения проводника по допустимому нагреву.

3.В чем суть метода выбора сечения проводника по допустимой потере напряжения?

4.Как определяется суммарный момент нагрузки линии в осветительных сетях?

5.2 Выбор электродвигателя для различного рода рабочих машин

Практическая работа № 5.8

Тема: **Построение механической и электромеханической характеристик асинхронного двигателя**

Цель работы: формирование знаний по методике расчета и построения механической и электромеханической характеристик асинхронного двигателя.

Оборудование и материалы: мультимедиа-проектор, экран; стол ученический; калькулятор, карандаш, линейка.

Краткие теоретические сведения

С помощью электромеханической и механической характеристик можно определить основные свойства электрического двигателя и проверить их соответствие требованиям технологической машины [25, 30].

Электромеханическая характеристика в асинхронном ЭД определяет зависимость между скоростью вращения ротора ω (или скольжением s) и током статора I_1 или током ротора I'_2.

Скорость идеального холостого хода определяется выражением, рад/сек:

$$w_0=2\pi f_{1ном}/p \ . \qquad (5.60)$$

Приведенные значения индуктивного и активного сопротивления обмотки ротора и индуктивное сопротивление короткого замыкания, Ом[25]:

$$\begin{cases} x'_2 = x_2 \cdot K^2 \\ P'_P = P_2 \cdot K^2 \\ x_k = x_1 \cdot x'_2 \end{cases} \qquad (5.61)$$

Характерные точки электромеханической характеристики (I'_2(s)[25]:

$$I_{кз}=I_{пуск}=U_{1ф}/\sqrt{(Rc+R'_p)^2}+\sqrt{x_k^2}=$$

$$s_1=-R'_p/R_c$$

$$I_{max}=\frac{U_{1\phi}}{x_k}$$

$$U_{1\phi}/\sqrt{R_c^2+x_k^2}\ \text{А}.$$

Для расчета электромеханической характеристики $I'_{2\,(s)}$ используют формулу, подставляя в нее найденные значения параметров [25]:

$$I'_2 = U_{1\phi}/\sqrt{(R_c=\frac{R'_p}{s})+x_k^2} \ , \qquad (5.62)$$

где $U_{1ф}$ – действующее значение фазного напряжения питающей сети, В.

В режиме идеального холостого хода через обмотки статора протекает только ток намагничивания Iμ, который создает магнитный поток в статоре, поэтому ток статора определяется как геометрическая сумма приведенного тока ротора и намагничивающего тока [25, 30]:

$$\begin{cases} x_2' = x_2 \cdot K^2 \\ P_P' = P_2 \cdot K^2 \\ x_k = x_1 \cdot x_2' \end{cases} \quad (5.63)$$

Характерные точки электромеханической характеристики (I_2'(s):

$$I_{кз}=I_{пуск}=U_{1ф}/\sqrt{\left(Rc + R_p'\right)^2} + \sqrt{x_k^2} =$$

$$s_1=-\frac{R_p'}{R_c}$$

$$I_{max}=\frac{U_{1\phi}}{x_k}$$

$$U_{1\phi}/\sqrt{R_c^2 + x_k^2}\ \text{А}.$$

Для расчета электромеханической характеристики $I_{2\,(s)}'$ используем формулу, подставляя в нее найденные значения параметров:

$$I_2' = U_{1\phi}/\sqrt{(R_c = \frac{R_p'}{s}) + x_k^2}\ , \quad (5.64)$$

где $U_{1ф}$ – действующее значение фазного напряжения питающей сети, В.

В режиме идеального холостого хода через обмотки статора протекает только ток намагничивания Iμ, который создает магнитный поток в статоре, поэтому ток статора определяется как геометрическая сумма приведенного тока ротора и намагничивающего тока:

$$I_1 = \sqrt{\left(I_2'\right)^2 + I_\mu^2}\ . \quad (5.65)$$

Данное выражение можно использовать для определения электромеханической характеристики асинхронного двигателя $I_1 = f(s)$ или $I_1 = f(\omega)$ Механической характеристикой асинхронного двигателя принято называть зависимость электромагнитного момента M от скольжения $M = f(s)$ или $\omega = f(M)$, как показано на рисунке 5.23, уравнение статической

механической характеристики АД определяется упрощённой формулой Клосса[25, 30]:

$$M=2M_k / \frac{s}{s_k}+\frac{s_k}{s}, \quad (5.66)$$

где Мк – максимальный момент двигателя, Н*м;
S_k – критическое скольжение.

При этом Мк и sк можно определить через перегрузочную способность двигателя λ[25, 30]:

$$M_к=\lambda_м M_{ном} \quad , \quad (5.67)$$

$$s_k = s_н \cdot (1 + \sqrt{\lambda^2 - 1}. \quad (5.68)$$

Порядок выполнения работы

Рассчитать и построить естественные электромеханическую и механическую характеристики двигателя. Сделать выводы. Асинхронный двигатель типа МТН кранового электропривода. Данные для вариантов представлены в таблице 5.29.

Таблица 5.29 – Варианты заданий

Параметр	Варианты									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$P_{ном}$, кВт	7,5	15	11	4	15	1,1	30	3,0	7,5	37
$n_{ном}$, об/мин	1440	2940	960	1420	720	2920	580	1430	730	575
$\lambda_м=M_к/M_{ном}$	2,2	1,9	2,0	2,2	2,0	1,9	1,8	2,2	1,7	1,8
$U_{1ном}$,В	380	380	380	380	380	380	380	380	380	380
2p	4	2	6	4	8	2	10	4	8	10
f_1,Гц	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50

Контрольные вопросы

1.Что понимают под механической характеристикой электродвигателя?

2.Что понимают под электромеханической характеристикой электродвигателя?

3.Перечислите характерные точки для построения электромеханической характеристики асинхронного двигателя.

4.В чем суть формулы Клосса для построения механической характеристики асинхронного двигателя.

Практическая работа № 5.9

Тема: **Расчет электрических и электромеханических характеристик электроприводов**

Цель работы: формирование знаний по методикам расчета и построения механической и электромеханической характеристик двигателя постоянного тока.

Оборудование и материалы: мультимедиа-проектор, экран; стол ученический; калькулятор, карандаш, линейка.

Краткие теоретические сведения

Схема включения двигателя постоянного тока с независимым возбуждением (ДПТ НВ) приведена на рисунке 5.16 [25, 30].

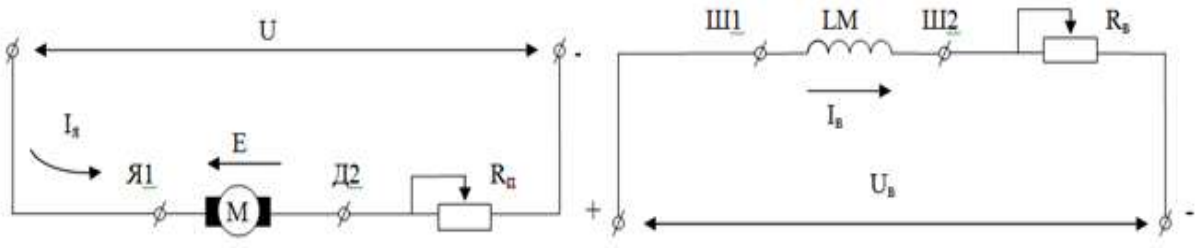


Рисунок 5.16 – Схема пуска ДПТ НВ

Якорь двигателя и обмотка возбуждения LM получает питание от независимых источников напряжения U и Uв. Поэтому ток в обмотке возбуждения Iв не зависит от тока якоря Iя. Мощность источника Uв не превышает 15% от мощности источника U.

При вращающемся якоре в его обмотке наводится э.д.с. вращения E. На схеме включения двигателя направление E встречно по отношению к направлению U, что соответствует двигательному режиму работы. Величина E равна [25, 30]:

$$E = k \cdot w \cdot \Phi, \qquad (5.69)$$

где w – угловая скорость двигателя;

Ф –поток двигателя;

$\kappa = \dfrac{pN}{2\pi a}$ – конструктивный коэффициент двигателя, данные, для расчёта которого приводятся в справочниках.

Здесь p – число пар полюсов двигателя; N – число активных проводников обмотки якоря; a – число пар параллельных ветвей обмотки якоря.

Направление якорного тока $I_я$, как и направление E, на схеме включения показано для двигательного режима работы.

Допустимое значение якорного тока двигателя $I_{я.доп.}$ ограничивается условиями коммутации и механической прочностью якоря и не должно превышать номинальный ток $I_{я.н.}$ более чем в 2,5 раза - $I_{я.доп.} \le 2{,}5 \cdot I_{я.н.}$.

В соответствии с уравнением равновесия напряжений при установившемся режиме работы двигателя напряжение U, приложенное к

якорной цепи двигателя, уравновешивается падением напряжения в якорной цепи $I_Я R_{ЯЦ}$ и наведённой в обмотке якоря э.д.с. вращения E[25, 30]:

$$U = I_Я R_{ЯЦ} + E, \tag{5.70}$$

где $R_{ЯЦ} = R_Я + R_{ДП} + R_{КО} + R_П$ – суммарное сопротивление якорной цепи.

Здесь $R_Я$ – сопротивление обмотки якоря; $R_{ДП}$ – сопротивление обмотки дополнительных полюсов; $R_{КО}$ – сопротивление компенсационной обмотки; $R_П$ – сопротивление пускового реостата.

Величина $I_Я$ в установившемся режиме будет равна[25, 30]:

$$I_Я = \frac{U - E}{R_{ЯЦ}}. \tag{5..71}$$

Для того чтобы построить естественные характеристики достаточно знать координаты двух точек. Первая точка соответствует режиму холостого хода M = 0 (I = 0); ω = $ω_0$). Вторая точка соответствует номинальному режиму M=$M_{ном}$ (I=$I_{ном}$); ω=$ω_{ном}$).

Номинальное значение силы тока:

$$I_н = P_н \cdot \eta \cdot U_н \ . \tag{5.72}$$

Значение номинального электрического сопротивления [25, 30]:

$$R_{ном} = \frac{U_{ном}}{I_{ном}} \tag{5.73}$$

Номинальная угловая скорость:

$$w_{ном} = \frac{2 \cdot \pi n_{ном}}{60}. \tag{5.74}$$

Номинальный момент[25, 30]:

$$M_{ном} = P_н / ω_н \ . \tag{5.75}$$

Конструктивная постоянная

$$K = pN/(2\pi a). \tag{5.76}$$

Сопротивление якоря

$$R_а = \frac{U_{ном} - k\omega_{ном}}{I_{ном}}. \tag{5.77}$$

Определим значение добавочного сопротивления:

$$R_д = 2\ R_{а.} \qquad (5.78)$$

Скорость идеального холостого хода

$$\omega_0 = U_{ном}/k \quad . \qquad (5.79)$$

Уравнения естественных скоростной и механической характеристик двигателя, соответственно [25, 30]:

$$\omega(I) = \frac{U_{ном}}{K \cdot \Phi} - \frac{R_Я}{K \cdot \Phi} \cdot I \quad , \quad \omega(M) = \frac{U_{ном}}{K \cdot \Phi} - \frac{R_Я}{K^2 \cdot \Phi^2} \cdot M \quad . \qquad (5.80)$$

Из уравнений характеристик можно найти и построить механическую и электромеханическою характеристику, как показано на рисунке 5.17 :

– значение тока короткого замыкания (пусковой ток):

$$I_п = U_{ном}/R_Я \quad . \qquad (5.81)$$

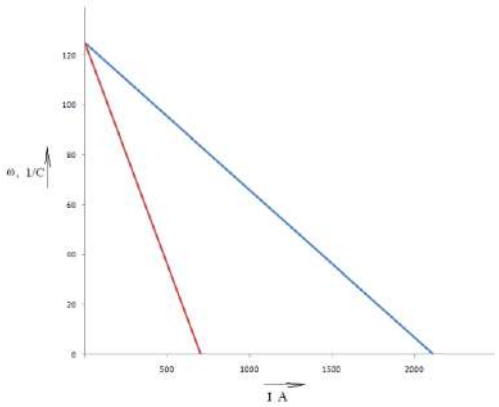


Рисунок 5.17 – Естественная и реостатная электромеханическая и механическая характеристики в именованных единицах

– значение критического момента (пусковой момент):

$$M_п = U_{ном} \cdot k/R_Я \, . \qquad (5.82)$$

Порядок выполнения работы

По паспортным данным двигателя постоянного тока с независимым возбуждением рассчитать и построить естественную и реостатную электромеханические (скоростные) и механические характеристики двигателя в именованных единицах, при заданном добавочном сопротивлении цепи якоря $R_{д..}$ Сделать выводы. Данные для вариантов представлены в таблице 5.30.

Таблица 5.30 – Варианты заданий

Вариант	Рн, кВт	Uн, В	$n_н$, мин$^{-1}$	η, %	Rд*
1	1,60	110	750	68	0,5
2	1,60	220	750	68,5	0,6
3	2,50	110	1000	72	0,7
4	2,50	220	1000	73,5	0,8
5	2,50	440	1000	73	0,4
6	4,0	110	1500	77,5	0,5
7	4,0	220	1500	79	0,6
8	4,0	440	1500	79	0,7
9	7,0	220	2200	81	0,8
10	7,0	440	2240	83	0,4

Контрольные вопросы

1.Объясните принципы включения двигателя постоянного тока независимого возбуждения.

2.Перечислите характерные точки для построения механической характеристики двигателя постоянного тока независимого возбуждения.

3.Объясните принципы построения искусственной механической характеристики двигателя постоянного тока независимого возбуждения.

Практическая работа № 5.10

Тема: **Выбор электродвигателя для различных рабочих машин**

Цель работы: Формирование знаний и навыков расчета и выбора мощности двигаешься для некоторых производственных механизмов и машин.

Оборудование и материалы: мультимедиа-проектор, экран; стол ученический; калькулятор.

Краткие теоретические сведения

Выбор мощности компрессора. При рабочем режиме привод обеспечивает передачу механической работы преобразуемой компрессором в энергию компримируемого агента, и преодоление сил трения, движущихся элементов компрессора двигателя и передаточного механизма [25].

В процессе останова привод должен обеспечивать плавное гашение момента инерции движения элементов компрессора, передачи и двигателя.

Уравнение движения привода для вращения движения имеет вид[25]:

$$M_{ДВ}=M_{СТ}+M_{ДИН}, \quad (5.83)$$

где, $M_{ДВ}$ – крутящий момент, развиваемый двигателем;
$M_{СТ}$ – момент на валу компрессора, создаваемый статическими силами (трения, скручивания, массы растяжения, сжатия);
$M_{ДИН}$ – динамический (инерционный) момент привода, приведенный к валу двигателя [25].

$$\mathrm{M_{дин}} = J_{\mathrm{прив}} \cdot \alpha, \tag{5.84}$$

где, $J_{ПРИВ}$ – момент инерции движущихся частей, приведенный к валу двигателя;

α - угловое ускорение (α,=0 при установившемся режиме, α,≥0 в процессе ускорения, α,≤0 в процессе торможения).

$\mathrm{M_{ДИН}}$ проявляется только во время переходных процессов и представляет собой мощность, передаваемую или получаемую от инерционных масс с изменением частоты вращения.

При установившемся режиме устойчивая работа привода в агрегате с компрессором обеспечивается в том случае, если мощность, развиваемая двигателем, приведенная к валу компрессора, будет равна мощности, потребляемой компрессором [25].

$$N_{ДВ} \cdot \eta_{П} \cdot \eta_{МЕХ} = N_{К}, \tag{5.85}$$

где, $N_{ДВ}$– мощность на валу двигателя;
$\eta_{П}$– КПД передачи;
$\eta_{МЕХ}$ – механический КПД компрессора;
$N_{К}$ – потребляемая мощность компрессора.

В процессе работы компрессорного агрегата в результате отклонения фактических параметров (плотности, молекулярной массы, температуры и давления на приеме и противодавления нагнетательного газопровода) компримируемого газа от расчетных происходит изменение во времени потребляемой компрессором мощности. Поэтому номинальную мощность привода компрессора определяют по максимальной мощности, потребляемой компрессором, с учетом коэффициента запаса α, равного 1,1÷1,5.

$$\mathrm{N_{ДВ}} = \frac{\mathrm{N_{МАА}} \cdot \alpha}{\eta_{\mathrm{П}} \cdot \eta_{\mathrm{МЕЕ}}}, \tag{5.86}$$

где $\eta_{П}$ – КПД передачи;
$\eta_{МЕХ}$ – механический КПД компрессора;
$N_{МАХ}$ – максимальная мощность потребляемая компрессором.

Номинальные паспортные параметры двигателя характеризуются его номинальной мощностью ($\mathrm{N_{НОМ}}$ – полезной механической мощностью на валу при максимальной расчетной нагрузке (в кВт); номинальной частотой вращения ($\eta_{\mathrm{НОМ}}$) – частотой вращения вала двигателя при максимальной расчетной нагрузке и номинальном моментом вращения; $\mathrm{M_{НОМ}}$ – моментом,

развиваемым на валу двигателя при номинальных мощности и частоте вращения) [25].

Помимо номинальных характеристик привода во время выбора типа привода необходимо учитывать изменение крутящегося момента привода при переходных режимах.

За цикл работы компрессорного агрегата на различных режимах частота вращения вала двигателя во время возрастания от нуля до номинального значения в период запуска, изменяется в широких пределах при установившемся режиме в зависимости от изменения режима работы компрессора и уменьшается до нуля при остановке компрессора (агрегата).

Соответствующим образом изменяется крутящий момент двигателя, связанный с мощностью двигателя и частотой вращения зависимостью:

$$M_{ДВ}=N_{ДВ}/\omega, \qquad (5.87)$$

где ω – угловая скорость вращения.

Важное значение имеет характер зависимости крутящего момента от частоты вращения. Например, если при вынужденном изменении режима работы компрессора уменьшение частоты вращения вала двигателя вызовет уменьшение крутящего момента двигателя и соответственно падение развиваемой мощности, и будет происходить самоторможение компрессорного агрегата, то такой двигатель не может быть выбран в качестве привода.

По механической характеристике привода или двигателя (зависимости крутящегося момента М от изменения частоты вращения вала двигателя n) оценивается не только крутящий момент, необходимый для преодоления момента инерции всех движущихся частей компрессорного агрегата, и мощность компрессорного агрегата в установившемся режиме, но также возможность плавного (бесступенчатого) регулирования режима работы компрессорного агрегата [25].

Выбор мощности насоса. Для приводов насосов водоснабжения применяют электродвигатели, выбор которых зависит от параметров и условий работы насоса.

Выбор параметров насоса и электродвигателя для его привода выполняется в следующем порядке:

- суточный расход воды ($м^3$ /сут)

$$Q_{\text{сут}} = k_{\text{сут}} \cdot \sum g_i \cdot N_i, \qquad (5.88)$$

где g_i - среднесуточная норма потребления на единицу измерения данного потребителя, л/сут;

N -число единиц измерения данного потребителя;

$k_{сут}$ - коэффициент суточной неравномерности, $k_{сут} = 1{,}1 \div 1{,}3$.

- максимальный часовой расход воды (м^3/ч)

$$Q_{\text{мех}} = \frac{k_{\text{ч}} \cdot Q_{\text{с}}}{24} \quad , \tag{5.89}$$

где $k_{\text{ч}}$- коэффициент часовой неравномерности (принимается по нормативным документам).
- секундный расход воды (м^3/с) [25].

$$Q_{\text{с}} = \frac{Q_{max}}{3600} + Q_{\text{п}}, \tag{5.90}$$

где $Q_{\text{п}}$- дополнительный противопожарный расход, принимаемый по нормативным документам.

- полное расчетное давление насоса (кПа).

В предварительных расчетах полное расчетное давление насоса допускается определить по выражению [25]:

$$\text{Н} = 1{,}1 \cdot \text{Н}_{\text{г}} + \text{Н}_{\text{св}} \ , \tag{5.91}$$

где $\text{Н}_{\text{г}}$-геометрический напор, т.е. расстояние по вертикали от наинизшего уровня воды в водоисточнике до наивысшей точки подъема воды, м (коэффициент 1,1 учитывает потери напора в трубопроводах и местных сопротивлениях); $\text{Н}_{\text{св}}$- свободный напор в системе водоснабжения, $H_{св} = 2 \div 6$ м; метры водяного столба переводят в кПа (1 метр водяного столба равен 9,81 кПа)
- по секундному расходу воды и полному расчетному давлению насоса подбирают по каталогам насос с соблюдением условий:

$$Q_{нас} \geq Q_{с} \ ; \ H_{нас} \geq H \ , \tag{5.92}$$

- Расчетная мощность электродвигателя для привода насоса (кВт):

$$\text{Р}_{\text{дв}} = \frac{k_{\text{з}} \cdot \gamma \cdot Q_{\text{с}} \cdot H}{1000 \cdot \eta_{\text{н}} \cdot \eta_{\text{п}}}, \tag{5.93}$$

где $k_з$ - коэффициент запаса, принимаемый равным 2,0 при мощности электродвигателя до 0,75 кВт; 1,5 при мощности от 0,75 до 1,5 кВт; 1,2 при мощности от 1,5 до 3,5 кВт;1,15 при мощности от 3,5 до 35 кВт; 1,1 при мощности свыше 35 кВт; γ - плотность перекачиваемой жидкости , н/м^3; $\eta_Н$ - коэффициент полезного действия насоса (для центробежных насосов 0,5-0,8; для вихревых 0,25-0,5; для поршневых 0,5-0,6); $\eta_П$- КПД передачи (для ременных передач 0,96; для зубчатых 0,98; при непосредственном

присоединении валов насоса и электродвигателя 1,0). Q_c - секундная подача насоса, м^3/с; Н - напор насоса, кПа [25].η
- по каталогу, с учетом условий работы насоса, подбирают электродвигатель с соблюдением условия:

$$P_н \geq P_{дв} \quad ; \qquad n_{дв} \approx n_{нас} \tag{5.94}$$

где Рн - номинальная мощность электродвигателя, кВт; $n_{дв}$ и $n_{нас}$ - номинальная скорость вращения двигателя и насоса соответственно, об/мин.

Выбор мощности вентилятора. Вентиляция производственных помещений выполняется для поддержания в допустимых пределах влажности, температуры и вредных газов. Для вентиляции используют центробежные и осевые вентиляторы, которые непосредственно соединяются с электродвигателями. Вентиляторы выбирают по подаче и полному давлению. Расчетная подача вентилятора $Q_в$ определяется исходя из воздухообмена необходимого для обеспечения требуемых параметров воздуха в помещении, расчетное давление вентилятора определяется по величине потерь давления воздуха в воздуховодах.

Воздухообмен в общем случае можно определять по выражению:

$$L_B = G \cdot L_{уд} \text{ или } \quad L_B = V \cdot K_p, \tag{5.95}$$

где G- суммарная масса всей живой массы в помещении, кг;
$L_{уд}$ - воздухообмен на 1 кг живой массы, м^3/кгч;
V – объем помещения, м^3;
$К_р$ - минимальная кратность воздухообмена.

Значение $L_{уд}$ принимают по нормативным документам [18]. После определения $L_в$ определяют его кратность К, которая для жилых, животноводческих помещений должна быть в пределах $3 \div 5$.

При необходимости значение $L_в$ корректируют для обеспечения необходимой кратности воздухообмена.

Необходимое расчетное давление вентилятора определяют по выражению:

$$H = \frac{\gamma V^2}{2}\left(\frac{\lambda l}{d} + \sum \beta\right), \tag{5.96}$$

где γ -плотность воздуха (в среднем 1,2 кг/м^3); v- скорость движения воздуха в воздухопроводе (обычно 12-15 м/с); λ - коэффициент трения (для круглых стальных воздуховодов λ=0,02); l - длина воздуховода, м ; d – внутренний диаметр воздуховода , м; $\sum \beta$ - сумма коэффициентов местных сопротивлений.(обычно составляет 1-1,5)[25]. По расчетным значениям $L_в$ и

H выбирают в каталоге вентилятор с соблюдением условий: $Q_B \geq L_B$; $H_B \geq H$. Расчетная мощность электродвигателя для привода вентилятора определяется по выражению:

$$\mathrm{P}_{\text{расч}} = \frac{k \cdot Q_B \cdot H_B \cdot 10^{-3}}{3600 \cdot \eta_B \cdot \eta_{\text{П}}}, \quad (5.97)$$

где k - коэффициент запаса (принимается 1,5 при $P_д$ до 0,5 кВт; 1,3-до 1 кВт; 1,2 – до 2 кВт; 1,15- до 5 кВт;1,1 свыше 5 кВт); $\eta_в$ - КПД вентилятора (для ц/б $\eta_в$=0,4-0,6); $\eta_п$ - КПД передачи

По полученному значению $P_{расч.}$ выбирают по каталогу электродвигатель с соблюдением условий[25]**:**

$$P_н \geq P_{расч.} \quad ; \; n_н \geq n_{вент}. \quad (5.98)$$

Порядок выполнения работы

Сформировать три группы обучающихся. Изучить характеристики потребителей, в каждой группе создать однолинейную принципиальную схему электроснабжения для групп потребителей по вариантам

1. Выбрать насос и электродвигатель к нему для водоснабжения коровника для дойных коров с автопоилками. Забор воды осуществляется из скважины, погружным центробежным насосом, геометрический напор задан исходными данными. Исходные данные по вариантам взять в таблице 5.31.

2. Выбрать вентилятор и электродвигатель к нему для обеспечения притока свежего воздуха в помещение коровника размером 12х40х3 (h) м. Венткамера расположена в торце здания, воздуховод выполнен из оцинкованной стали, диаметр воздуховода и его длина заданы в исходных данных Масса одного животного задана в исходных данных по вариантам в таблице 5.32.

Таблица 5.31 – Исходные данные к задаче 1

№ варианта	Количество животных, шт	Напор, м.
1-5	50	25
6-10	100	30
11-15	150	40

Таблица 5.32 – Исходные данные к задаче 2

№ варианта	Количество животных, шт	Диаметр воздуховода, мм.	Длина воздуховода, м.	Масса одного животного кг.
1-5	150	500	20	300
6-10	100	300	45	400
11-15	100	400	50	350

Контрольные вопросы

1.Напишите основное уравнение движения электропривода.

2.Раскройте принципы выбора мощности двигателя компрессора.

3.Раскройте принципы выбора мощности двигателя насоса.

4.Раскройте принципы выбора мощности двигателя вентилятора.

5.3. Выбор электрооборудования с учетом аварийных режимов работы

Практическая работа № 5.11

Тема: **Расчет токов короткого замыкания**

Цель работы: формирование знаний по методам расчета токов аварийных режимов электрических сетей.

Оборудование и материалы: мультимедиа-проектор, экран; стол ученический.

Краткие теоретические сведения

Расчет токов к.з. во внутренних сетях здания необходим для проверки распределительных щитов и токопроводов, а также аппаратов защиты линий питания электроприемников I категории по режиму короткого замыкания. Величину токов к.з. так же необходимо знать для проверки чувствительности защит от однофазных замыканий на корпус [56, 61-63].

Для расчета токов к.з. составляют схему замещения, в которую входят сопротивления всех элементов цепи к.з. (рисунок 5.18). Сопротивление отдельных элементов схемы замещения определяется следующим образом [56, 61-63].

Питающая энергосистема. Сопротивление питающей энергосистемы принимают равным нулю, это практически не влияет на результат расчетов токов к.з.

Силовые трансформаторы. Активные и индуктивные сопротивления понижающего трансформатора (в Ом) приведенные к стороне низшего напряжения [56, 61-63]:

$$Z_T = \frac{U_K \cdot U_H^2}{10 \cdot S_H} \quad (5.99)$$

$$r_T = \frac{P_K \cdot U_H^2}{10^3 \cdot S_H^2} \quad (5.100)$$

$$X_T = \sqrt{Z_T^2 - r_T^2} \quad (5.101)$$

где S_H – номинальная мощность трансформатора, кВА;

U_H – номинальное линейное напряжение обмотки Н.Н., кВ;

P_K – мощность потерь к.з. в трансформаторе, кВт;

U_K – напряжение к.з. трансформатора, %.

Значения полных сопротивлений трансформатора при трехфазных к.з. (Z_T) и при однофазных к.з. (Z_{TO}) приведены в таблице 5.33.

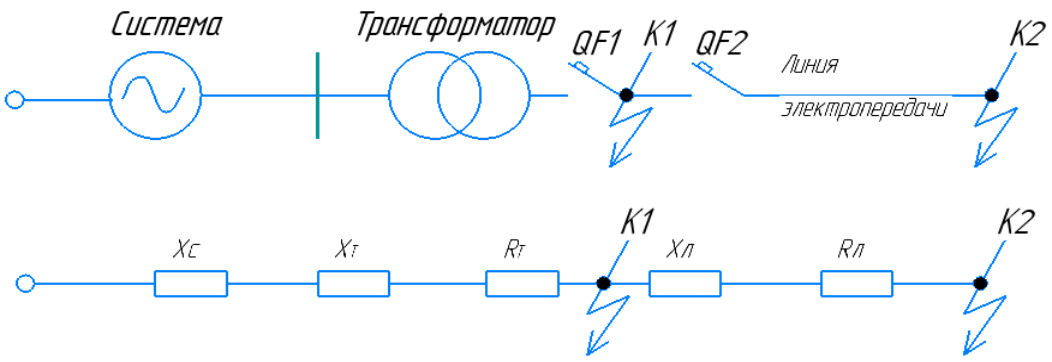


Рисунок 5.18 – Расчетная и эквивалентная схема замещения электрической сети

Таблица 5.33 –Полные сопротивления трансформаторов 10/0,38 кВ

Мощность Трансформатора кВА	25	40	63	100	160	250	400	630	1000	1600
Z_Tсхема Y / Y, Ом	0.29	0,18	0,11	0,07	0,03	0,045	0,018	0,014	0,008	0,004
Z_{TO}для схемы Y / Y, Ом	1,04	0,65	0,41	0,26	0,162	0,104	0,065	0,043	0,027	0,017
Z_{TO} для схемы «звезда-зигзаг», Ом	0,22	0,14	0,09	0,06	0,05	0,03	0,016	0,014	0,009	0,006

Кабели. Активное и индуктивное сопротивление кабелей определяются по выражениям [56, 61-63]:

$$X_K = X_{уд} \cdot \ell \qquad Z_K = \sqrt{X_K^2 + r_K^2} \qquad (5.102)$$

$$r_K = r_{уд} \cdot \ell \qquad Z_K = Z_{уд} \cdot \ell, \qquad (5.103)$$

где $X_{УД}$, $r_{УД}$, $Z_{УД}$ – индуктивное, активное и полное удельные сопротивления кабелей, Ом/км;

ℓ - длина кабеля, км.

Значения удельных сопротивлений кабелей приведены в таблице 5.34

Таблица 5.34 – Полные сопротивления кабелей, с алюминиевыми жилами

Сечение фазных жил, мм^2	4	6	10	16	25	35	50	70	95	120	150	185	240
Zуд, Ом/км	9,6	5,5	3,3	2,4	1,54	1,1	0,77	0,55	0,41	0,32	0,26	0,21	0,16
$Z^*_{ПК}$, Ом/км кабели с пластмассовой оболочкой		16,3	10,4	6,3	3,9	3,6	2,3	2,12	1,53	1,44	1,04	0,99	
$Z^*_{ПК}$, Ом/км кабели с металлической оболочкой		7,3	4,6	3,0	2,0	1,52	1,1	0,84	0,66	0,56	0,45	0,39	

* сопротивление петли «фаза–нуль».

Для кабелей с медными жилами сопротивления уменьшаются в 1,7 раз.

Шины и шинопроводы. Сопротивление шин и шинопроводов определяют так же, как и для кабелей. Значения удельных сопротивлений шинопроводов приведены в таблице 5.35

Таблица 5.35 – Удельные сопротивления шинопроводов

Сечение, мм^2	25x3	30x3	30x4	40x4	40x5	50x5	50x6	60x6	60x8	80x8	80x10	100x10
$r^*_{уд}$, Ом/км	0,47	0,39	0,29	0,22	0,17	0,14	0,11	0,09	0,07	0,05	0,04	0,036
$X^*_{уд}$, Ом/кмпри $a_{ср}$=100мм	0,17	0,16	0,16	0,14	0,14	0,13	0,13	0,12	0,12	0,10	0,102	0,090

* Удельные сопротивления приведены для алюминиевых шин, для медных шин сопротивления уменьшаются в 1,7 раза.

Трансформаторы тока и коммутационные аппараты, влияние этих элементов на величину токов к.з. не велико (не превышает 5%), поэтому их сопротивление обычно не учитывают [56, 61-63].

При определении максимального тока к.з. не учитывается и переходное сопротивление ($R_П$) в месте повреждения. При определении максимального тока к.з. для проверки чувствительности защит, в схему замещения вводят активное сопротивление $R_П$=0,015 Ом, которое учитывает переходные сопротивления контактов всех аппаратов, включенных в цепь и сопротивление электрической дуги в месте повреждения [56].

Ток трехфазного к.з. определяется по выражению [56]:

$$I_K^{(3)} = \frac{U_{C.P.H.}}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{X_\Sigma^2 + r_\Sigma^2}} \approx \frac{U_{C.P.H.}}{\sqrt{3} \cdot Z_\Sigma}, \quad (5.104)$$

где X_Σ, r_Σ, Z_Σ – результирующие реактивное, активное, полное сопротивления соответственно, Ом;

$U_{С.Р.Н.}$ – среднее напряжение, В (для сети 0,38 кВ равно 400В).

Ударный ток к.з. определяется по выражению [56]:

$$i_y = K_y \cdot \sqrt{2} \cdot I_K^{(3)} \quad , \quad (5.105)$$

где K_y – ударный коэффициент, его значение определяется в зависимости от отношения результирующих сопротивлений цепи X_Σ/r_Σ.

Для трансформаторов мощностью 400 кВА и более значение ударного коэффициента на шинах 0,38 кВ можно принимать равным 1,5. Для шин распределительных щитов, где имеется большое влияние кабелей, K_y=1,1. Ток однофазного к.з., при большой мощности питающей системы, определяется по выражению [56]:

$$I_K^{(1)} = \frac{U_\Phi}{Z_{TO} + Z_П} \quad , \quad (5.106)$$

где $U_Ф$ – фазное напряжение сети, В;

$Z_{ТО}$ – расчетное сопротивление трансформатора при однофазных к.з., Ом: $Z_П$ – полное сопротивление петли “фаза – нуль”, $Z_П = Z_{П.К.} \cdot L$,

где $Z_{П.К.}$ – удельное сопротивление петли “фаза – нуль”, Ом/км;

L – длина кабельной линии, км.

Порядок выполнения работы

Для схемы, приведенной на рисунке 5.18, рассчитать токи к.з.: максимального в точке К–1 и минимального в точке К–2. Сделать выводы. Данные для вариантов представлены в таблице 5.36.

Таблица 5.36 – Варианты заданий

Параметр	Варианты									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$U_{с.р.н}$, В	400									
Мощность трансформатора Sт, кВА	25	40	63	100	160	250	400	630	1000	1600
Марка и сечение кабеля	16	25	35	50	70	95	120	150	185	240
L линии ,м	20	50	75	100	125	150	200	250	300	350

Контрольные вопросы

1. Что подразумевается под коротким замыканием?

2.Какие существуют типы коротких замыканий?

3.Назовите причины возникновения коротких замыканий.

4.Чем характерна расчетная и эквивалентная схемы замещений для расчета токов короткого замыкания?

Практическая работа № 5.12

Тема: **Выбор высоковольтного оборудования**

Цель работы: формирование знаний способам выбора и проверки защитного и коммутационного электрического оборудования сетей выше 1000 В.

Оборудование и материалы: мультимедиа-проектор, экран; стол ученический.

Краткие теоретические сведения

Все элементы распределительного устройства проектируемой галвной понизиталеьнйо подстанции предприятия должны надёжно работать в условиях длительных нормальных режимов, а также обладать термической и динамической стойкостью при возникновении самых тяжелых коротких замыканий. Поэтому при выборе аппаратов, шин, кабелей и других элементов РУ очень важна проверка соответствия их параметров длительным рабочим и аварийным кратковременным режимам, возникающих в эксплуатации. Кроме этого, следует учитывать внешние условия работы РУ (влажность, загрязнённость воздуха, окружающую температуру и т.д.), так как эти условия могут потребовать оборудования специального исполнения повышенной надёжности [56].

Выбор электрических аппаратов. Электрические аппараты должны удовлетворять следующим требованиям:

Изоляция аппаратов соответствует номинальному напряжению установки [55,56,58]:

$$U_{ном.ап.} \geq U_{ном.уст.}. \qquad (5,107)$$

Рабочий ток присоединения в максимальном режиме не превышает номинальный ток аппарата [55,58].

$$I_{раб.уст.} \leq I_{ном.ап.}. \qquad (5.108)$$

Аппарат противостоит электродинамическому действию тока к.з. [55]

$$i_{уд.уст.} \leq i_{пс.с}, \qquad (5.109)$$

где $i_{уд.уст.}$ – ударный ток к.з. в цепи, где установлен аппарат, *кА*;

$i_{.пс.с.}$ – номинальный ток электродинамической стойкости аппарата, *кА*.

При коротких замыканиях температура токоведущих частей не превышает предельно допустимые значения [55, 58].

$$B_K \le I_{пр.т} \cdot t_ф , \tag{5.110}$$

где B_K – тепловой импульс к.з., $кА^2 \cdot с$;

$$B_K = (I_K)^2 \cdot t_ф , \tag{5.111}$$

$t_ф$ – время от начала к.з. до его отключения;

$I_{пр.т.}$ – предельный ток термической стойкости аппарата.

Предельно отключаемый ток выключателей должен быть больше максимального тока к.з. в месте его установки. [55,58]

$$I_{пр.отк.} \ge I_K^{(3)} . \tag{5.112}$$

Допустимая предельная мощность выключателя должна быть больше мощности к.з. в месте его установки [55,58].

$$S_{пр.отк.} \ge S_K , \tag{5.113}$$

$$S_{к.з.} = \sqrt{3} \cdot U_{ном.} \cdot I_K^{(3)} . \tag{5.114}$$

Разъединители используются для коммутации электрических цепей без тока, а также для создания видимого разрыва цепи в воздухе. Между силовыми выключателем и разъединителем следует предусматривать механическую и электромагнитную блокировки, не допускающие отключения разъединителя при включенном выключателе, когда в цепи протекает ток нагрузки [56, 61-63].

Высоковольтные предохранители в сетях выше 1 КВ необходимы для отключения защищаемой цепи размыканием специально предусмотренных для этого токоведущих частей под действием тока, превышающего определённое пороговое значение [56, 61-63].

Условиями выбора предохранителя является соответчике токового значения его плавкой вставки $I_{ном.п.вс}$рабочему току $I_р$защищаемой цепи:

$$I_{ном.п.вс} \ge I_р \cdot K_{зап} , \tag{5.115}$$

где $K_{зап}$ – коэффициент запаса, предусматривающий увеличение рабочего тока относительно расчетного значения, равен 1,1…1,2.

После выбора предохранителя по номинальному току плавкой вставки, производят проверку по каталожному значению предельно отключаемого тока $I_{пр.откл}$на предмет его неразрушения от действия тока к.з. по условию:

$$I_{\text{пр.откл}} \geq I_{\text{к}}^{3}. \quad (5.116)$$

Если в цепи установлены последовательно несколько предохранителей, то еще производится проверка их на селективность срабатывания.

Выбор измерительных трансформаторов тока и напряжения.
Трансформаторы тока. Условие выбора трансформаторов тока [55]:

$$\text{а)}\ U_{ном.Т.Т.} \geq U_{ном.сети} \quad (5.117)$$

$$\text{б)}\ I_{ном.} \geq I_{раб.мах.} \quad (5.118)$$

$$\text{в)}\ k_{дин.} \cdot \sqrt{2} \cdot I_{1ном.} \geq i_{уд.} \quad (5.119)$$

$$\text{г)}\ (k_T \cdot I_{1ном.})^2 \cdot t_T \geq B_к \quad (5.120)$$

$$\text{д)}\ z_{2ном.} \geq z_2 \quad (5.121)$$

Трансформаторы напряжения. Условие выбора трансформаторов напряжения [55]:

$$\text{а)}\ U_{ном.Т.Н.} \geq U_{ном.сети} \quad (5.122)$$

$$\text{б)}\ S_{2ном.Т.Н.} \geq S_2 \quad (5.123)$$

где S_2 – вторичная нагрузка трансформатора напряжения.

Выбор и проверка шин. Сечение сборных шин выбирают по условию нагрева $I_{раб.мах.} \leq I_{дл.доп.шин}$.

и проверяют по термической и механической прочности.

Условие термической стойкости шин [55,58]:

$$\left(F \cdot C\right)^2 \geq \left(I_K^{(3)}\right)^2 \cdot t_ф = B_K \quad (5.124)$$

где F – сечение сборных шин, $мм^2$;

C – коэффициент, значение которого для алюминиевых проводников равно 91.

Условие механической стойкости шин [55]:

$$\sigma_{доп.} \geq \sigma_{расч.}\ , \quad (5.125)$$

где $\sigma_{доп}$ – допустимое механическое напряжение для шин (для алюминиевых шин марки АД31Т $\sigma_{доп} = 137\ МПа$), [55,58, 62]

$$\sigma_{расч.} = \frac{M}{10 \cdot W} \quad , \tag{5.126}$$

где M – момент нагрузки, $Н \cdot м$.

$$M = 1{,}76 \cdot i_y^2 \cdot \frac{l^2}{a} \cdot 10^{-7} , \tag{5.127}$$

где l – длина шины, между точками опоры, *м*;
a – расстояние между шинами, *м*;
(Обычно для шин 10 кВ $l = 2$ *м*; $a = 0{,}30$ *м*.)
W- момент сопротивления шины, $м^3$;

$$W = \frac{в \cdot h^2}{6} \quad , \tag{5.128}$$

где *в* – ширина шины, *м*;
h – толщина шины, *м*.

Выбор опорных изоляторов. Условия проверки изоляторов на соответствие параметрам сети.

а) по напряжению

$$U_H \geq U_C.$$

б) по механической прочности [55,58]

$$F_{доп.} \geq F_{расч.}$$

$$F_{расч.} = 1{,}76 \cdot \left(i_y\right)^2 \cdot \frac{l}{a} \cdot 10^{-7}$$

Выбор трансформаторов собственных нужд. Состав потребителей собственных нужд (с. н.) электрических подстанций (или ГРП) зависит от типа подстанции и электрооборудования, мощности трансформаторов ГПП.

Наиболее ответственными потребителями собственных нужд ГПП (ГРП) являются система связи, телемеханика, освещение, вентиляция, электрообогрев и системы охлаждения трансформаторов, электроприводы выключателей, аккумуляторный сектор и т.п.

Мощность трансформаторов собственных нужд выбирается по нагрузкам с. н. с учётом коэффициентов загрузки и одновременности, при этом отдельно учитываются летняя и зимняя нагрузки, а также нагрузка в период ремонтных работ на подстанции.

Два трансформатора с.н. устанавливают на всех двухтрансформаторных подстанциях 35 кВ и выше. Предельная мощность каждого трансформатора собственных нужд должна быть не более 630 кВ А

Ориентировочно можно принять нагрузку с. н. тупиковой ГПП (ГРП) по схеме без выключателей на стороне высокого напряжения 63-160 кВ А, транзитной подстанции 160-250 кВ А, узловой 400-630 кВА.

Порядок выполнения работы

Для схемы, приведенной на рисунке 6.7, выбрать блок разъединитель-предохранитель для защиты трансформатора Т на стороне высшего напряжения Сделать выводы. Данные для вариантов представлены в таблице 5.37.

Таблица 5.37 –Исходные данные к задаче по вариантам

Параметр	Варианты									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$U_{с.р.н}$, кВ	10									
Расчетная мощность нагрузки Sн, кВА	20	30	50	70	140	200	300	500	750	1300
Ток к.з. $I^2_{к.з}$, кА	0,2	0,3	0,5	0,8	1,3	2,1	3,1	5,5	8,0	14,0
Ударный ток $i_{уд.уст.,}$ кА	0,3	0,4	0,6	0,9	1,5	2,2	3,4	6,0	9,0	15,0
Фиктивное время,$t_{ф,}$ сек	1,0									

Контрольные вопросы

1.В чем назначение силовых выключателей? Какие условия их выбора?

2.В чем назначение предохранителей? Какие условия их выбора?

3.В чем назначение измерительных трансформаторов тока и напряжения? Какие условия их выбора?

4.В чем назначение и каковы условия выбора сборных шин?

5.Раскрыть особенности выбора трансформаторов собственных нужд подстанций.

Краткие выводы

Учебно-практические материалы модуля «Основы электроснабжения потребителей» направлены на формирование знаний и практических навыков по расчету и проектированию систем электроснабжения на различных ее уровнях.

Знания и навыки, полученные при изучении модуля, обеспечат обучающемуся способности чтения и составления электрических схем для расчета характеристик режимов электрической сети и схем электроснабжения объектов различного назначения, показателей качества электроэнергии; навыки практического выбора параметров оборудования систем электроснабжения и выбора параметров защитных, коммутационных, регулирующих и компенсирующих устройств.

Большой объем приведенной современной справочной информации позволит обучающимся успешно выполнять курсовые работы по электротехническим дисциплинам, и дипломное проектирование.

Контрольные вопросы

1.Перечислите методы расчета электрических нагрузок потребителей.

2.Охарактеризуйте различие схем электрических сетей по конфигурации и выполняемым функциям.

3.Раскройте назначение и электротехнические характеристики автоматического выключателя.

4. Перечислите и раскройте основные способы выбора сечения линий электропередачи.

РАЗДЕЛ 6. ИЗМЕРЕНИЕ, ДИАГНОСТИКА И ОСНОВЫ МОНТАЖА ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ

Введение

Данный раздел формирует необходимые знания, навыки и умения в области электроизмерений, технологии диагностики ремонта и силового и осветительного электрооборудования электрических сетей, атакже основам электромонтажных работ. В результате изучения модуля обучающиеся осваивают знания и навыки производства электроизмерений, процессам производства диагностики, ремонта и оршанизации монтажа различных электросетевых объектов и технических средств, требований безопасности при производстве ремонтных и наладочных работ.

Цель раздела: формирование у обучающихся практических профессиональных умений и навыков проведения измерений электрических параметров оборудования и его режимов, принципов диагностики, ремонта и основ монтажа электротехнического оборудования.

Задачи:

- Освоить принципы электроизмерений, диагностики и ремонта электрооборудования электросетевых объектов;
- производить слесарно-сборочные и электромонтажные работы приборов, узлов и механизмов электрооборудования;
- готовность пользоваться основными методами защиты производственного персонала от возможных последствий аварийных ситуаций в электроустановках.

6.1 Выбор измерительных приборов с идентификацией измеряемых величин

Практическая работа № 6.1

Тема: **Оценка погрешности измерений и измерительных приборов**

Цель работы: формирование навыков определения погрешности измерений и средств измерения.

Оборудование и материалы: экран; стол ученический.

Краткие теоретические сведения

Метрологическое обеспечение производства относится к основным видам производственной деятельности, обеспечивающей поддержание параметров технологических процессов в заданных режимах. Задачи обеспечения единства и достоверности измерений на производстве, соответствие применяемых систем измерения (СИ) и методов измерений государственным документам и поверочным схемам решает метрологическая служба [64, 65].

Измерительный процесс

Измерением называется нахождение значения физической величины опытным путём с помощью специальных технических средств.

Физической величиной называется свойство, общее в качественном отношении для многих физических объектов, но в количественном отношении индивидуальное для каждого из них.

Размер физической величины – количественное содержание в данном объекте свойства, соответствующего понятию физическая величина.

Значение физической величины – оценка в виде некоторого числа принятых единиц. Основное уравнение измерений [64, 65]:

$$X=\{X\}[X], \qquad (6.1)$$

где X– значение физической величины;

{X}–числовое значение;

[X]– единицы.

Пример: U = 5В

Истинное – значение физической величины, которое идеальным образом отражало бы в качественном и количественном отношении соответствующее свойство объекта.

Действительное – значение физической величины, найденное экспериментальным путём и настолько близкое к истинному, что может быть использовано вместо него в практических целях.

Средство измерения – техническое средство используемое при измерениях и имеющее нормированные (заданные) характеристики.

Погрешность измерения (ошибки измерений).

Погрешность измерения (ошибки измерений) – отклонение метрологических свойств или параметров средств измерения от номинальных, влияющее на точность результата измерения (создающее так называемые инструментальные ошибки измерения). **Погрешности измерений классифицируются** [64, 65]:

а) по причине возникновения (методические, инструментальные, субъективные);

б) по форме выражения (абсолютная, относительная);

в) по характеру измерения во времени (систематическая, случайная).

Абсолютная погрешность измерения – погрешность измерения выраженная в единицах измеряемой величины [64, 65].

$$\Delta X=X-X_{и}\ , \qquad (6.2)$$

где:X–результат измерения

$X_{и}$ – истинное значение

Пример : Δ=±1В

Абсолютная погрешность не может служить мерой точности, т.к. не несёт информации о соотношении между погрешностью и значением измеряемой физической величины.

Относительная погрешность – погрешность, равная отношению абсолютной погрешности к действительному значению измеряемой величины [64, 65].

$$\delta_X = \frac{\Delta X}{X} \cdot 100\% , \qquad (6.3)$$

где: ΔX- абсолютная погрешность измерения,

X- действительное значение измеряемой величины

Пример : $\delta_X = \pm 1\%$.

Систематическая погрешность – составляющая погрешности измерения, которая остается постоянной или изменяется закономерно при повторении измерения одной и той же физической величины.

Случайная погрешность - составляющая погрешности измерения, изменяющаяся во времени случайным образом.

К случайным относятся и грубые погрешности.

Грубая погрешность – погрешность, которая значительно отличается от ожидаемого результата.

Погрешность средства измерения

Погрешность средства измерения – отклонение метрологических свойств или параметров средств измерения от номинальных, влияющее на точность результата измерения (создающее так называемые инструментальные ошибки измерения).

Абсолютная погрешность средства измерения – математическая разность между приближенным значением X некоторой величины и ее точным значением Xи, или [64, 65]:

$$\Delta = X - X_и . \qquad (6.4)$$

Относительная погрешность средства измерения измеряется также, как и погрешность измерений (формула 6.3).

Приведенная погрешность средства измерения – погрешность средства измерения, определяемая как отношение абсолютной погрешности к некоторому нормирующему значению [64, 65].

$$\gamma_X = \frac{\Delta X}{X_n} \cdot 100\% , \qquad (6.5)$$

где: **ΔX-** абсолютная погрешность измерения, Xn - нормирующее значение;

Xn – выбирается в зависимости от характеристик шкал и характера зависимости абсолютной погрешности от значения измеряемых физических величин.

Основная погрешность в метрологии – погрешность средства измерения, определяемая в нормальных условиях применения.

Дополнительная погрешность измерения – погрешность, возникшая вследствие отклонения влияющих величин от номинальных значений.

Основная и дополнительные погрешности определяются при постоянном входном напряжении и поэтому называются статическими.

Для средства измерения с преобладающей статической погрешностью, погрешность нормируется путем установления класса точности.

Класс точности – выражается числом погрешности, соответствующей нормальным условиям работы прибора. Допустимая погрешность вычисляется от алгебраической разности верхнего и нижнего пределов измерения [64, 65].

Класс точности присваивается при выпуске средства измерения из производства и обозначаются цифрами: 0,1; 0,15; 0,2; 0,25; 0,4; 0,5; 0,6; 1,0; 1,5; 2,0; 2,5; 4,0.

Порядок выполнения работы

1. Амперметром класса точности 2.0 со шкалой (0…50) А измерены значения тока 0; 5; 10; 20; 25; 30; 40; 50 А. Рассчитать зависимости абсолютной, относительной и приведённой основных погрешностей от результата измерений. Результаты представить в виде таблицы 6.1 и графиков. Сделать выводы.

Таблица 6.1 – Результаты погрешностей измерений

I,A	ΔI,A	δI,%	γI,%
1	2	3	4

2. Вольтметром класса точности 0.5 со шкалой (0…100) В измерены значения напряжения 0; 10; 20; 40; 50; 60; 80; 100 В. Рассчитать зависимости абсолютной и относительной погрешностей от результата измерений. Результаты представить в виде таблицы 6.2 и графиков. Сделать выводы

Таблица 6.2 – Результаты расчёта значений погрешностей

V,A	ΔV,A	δV,%	γV,%
1	2	3	4

Контрольные вопросы

1.Что такое измерение? Напишите основное уравнение измерений.

2.Что такое погрешность измерений? Что такое абсолютная и относительная погрешности?

3. Охарактеризуйте погрешность средств измерений

4.Определить предел измерения вольтметра, если αmax = 150 дел., CU = 0,1 В/дел.

6.Определить максимальную абсолютную погрешность ваттметра класса точности 0,5 с Uном = 150 В, Iном = 2 А

Лабораторная работа № 6.1

Тема: **Поверка амперметра и вольтметра**

Цель работы: формирование навыков по методике поверки измерительных приборов методом сличения.

Оборудование и материалы: амперметр; вольтметр; реостат ползунковый - 5 Ом, 3А; набор сопротивлений; набор соединительных проводов, клемм и перемычек.

Краткие теоретические сведения

Под поверкой средств измерения понимается определение погрешностей средств измерения и установление их пригодности к применению [64, 65].

Поверка измерительного прибора в большинстве случаев осуществляется путем сличения его показаний с показаниями образцового прибора. Образцовые приборы подбираются по роду тока, номинальной величине, классу точности. Допускаемая погрешность образцового прибора должна быть по крайней мере в пять раз меньше допускаемой погрешности поверяемого [64, 65].

Вариация показаний b определяется как разность действительных значений измеряемой величины при одном и том же показании прибора:

$$b = \left| X_{\text{о.м}} - X_{\text{о.б}} \right| , \tag{6.6}$$

где $X_{\text{о.м}}$, $X_{\text{о.б}}$ – показания образцового прибора при подводе указателя поверяемого прибора к отметке шкалы со стороны больших и соответственно меньших значений.

Допускаемая вариация показаний b не должна превышать предела допускаемой основной абсолютной погрешности[64, 65]:

$$\Delta_{\text{доп}} = \pm 0{,}01 K_n X_N , \tag{6.7}$$

где K_n – число, обозначающее класс точности поверяемого прибора;
X_N – нормирующее значение, которое принимается равным конечному диапазону измерений для приборов, имеющих нулевую отметку в начале шкалы.

Поправка П к поверяемому прибору – это разность между показаниями образцового X_0 и поверяемого X приборов или абсолютная погрешность, взятая с обратным знаком [64, 65]:

$$П = X_0 - X = -\Delta. \qquad (6.8)$$

Порядок выполнения работы

1) Произвести внешний осмотр поверяемых приборов с целью выявления механических повреждений. Проверить работу корректора, который должен позволять смещать указатель прибора в обе стороны от нулевой отметки на 5% длины шкалы. Установить стрелку на нулевую отметку. Установить приборы в рекомендуемое для них положение. Паспортные данные занести в таблицу 6.3.

Таблица 6.3 – Технические характеристики измерительных устройств

Наименование прибора	Система прибора	Класс точности	Диапазон измерений	Заводской номер
Амперметр Вольтметр Ваттметр				

2) Собрать экспериментальную установку для поверки амперметра (рисунок 6.1), вольтметра (рисунок 6.2). Реостат r_2служит для грубой регулировки, его сопротивление в 10 – 20 раз больше сопротивления r_1, позволяющего плавно изменять измеряемую величину. Подать питание на установку и убедиться в возможности плавной регулировки показаний в пределах всей шкалы поверяемого прибора. Прогреть прибор номинальным током в течение 15 мин.

3) Определить приведенные погрешности на каждом оцифрованном делении поверяемого прибора два раза: сначала при возрастании измеряемой величины от нуля до наибольшего значения по шкале, а затем на тех же оцифрованных делениях при убывании X от наибольшего значения по шкале до нуля.

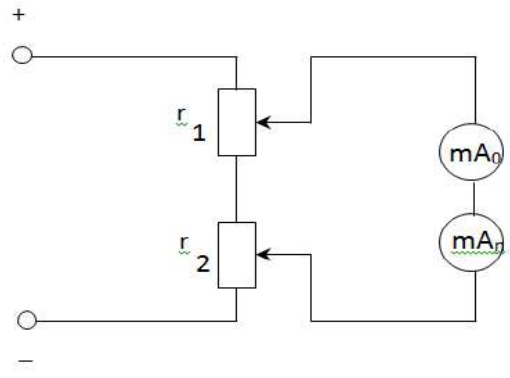


Рисунок 6.1 – Схема поверки амперметра

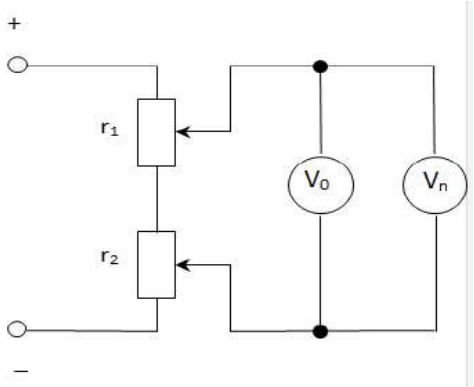


Рисунок 6..2 – Схема поверки вольтметра

Если случайно пройдена желаемая отметка шкалы, то нужно вернуться к исходному положению (к началу или концу шкалы) и снова подвести указатель к нужной отметке.

4) Определить невозвращение указателя к нулевой отметке. Для этого измеряемую величину нужно плавно уменьшить от максимального значения до нуля, затем, отключив питание с установки, отметить невозвращение указателя к нулевой отметке.

5) Вычислить абсолютные, приведенные погрешности и вариации b по выражениям (6.4), (6.5) и (6.6). При расчете поправки П по уравнению (6.8), необходимо принимать среднее значение для каждой пары действительных значений X_0, полученных на соответствующем оцифрованном делении шкалы. Результаты измерений и вычислений занести в таблицу 6.4.

6) По результатам поверки сделать заключение о том, не превосходят ли полученные вариации пределов допускаемых для поверяемого прибора абсолютных погрешностей. Сравнивая величину Кп с максимальной приведенной погрешностью, установить, соответствует ли прибор обозначенному на нем классу точности. Сделать общий вывод о возможности дальнейшей эксплуатации поверяемого прибора.

Контрольные вопросы

1.По каким характеристикам подбираются образцовые и проверяемые приборы?

2.Что называется поправкой и вариацией?

3.Что называют приведенной, основной и дополнительной погрешностью?

4. Что означает цифра класса точности?

Таблица 6.4 – Результаты измерений при поверке приборов

Показания поверяемого прибора X		Показания образцового прибора X_0					Поправка к поверяемому прибору П	Абсолютные погрешности		Приведенные погрешности		Вариация показаний b
		при увеличении		при уменьшении		среднее значение		при увеличении	при уменьшении	при увеличении	при уменьшении	
дел.	В (А)	дел.	В (А)	дел.	В (А)	В (А)	В (А)	В (А)		%		В (А)

6.2 Измерение электрических величин

Лабораторная работа № 6.2

Тема: **Измерение сопротивлений**

Цель работы: формирование навыков измерения средних сопротивлений, ознакомление с поверкой моста методом сличения с показаниями магазина образцовых сопротивлений.

Оборудование и материалы: мост одинарный сопротивлений Р333; электродвигатель однофазный; электродвигатель трехфазный; набор соединительных проводов, клемм и перемычек.

Краткие теоретические сведения

Моста постоянного тока типа Р-333 предназначен для [64, 65]:

1. Измерения сопротивлений по схеме одинарного моста от 5•103 до 999,9•10 3 Ом.
2. Определение места повреждения кабеля при помощи петли Варлея.
3. Определение места повреждения кабеля при помощи петли Муррея.
4. Измерение асимметрии проводов.
5. Использование в качестве магазина сопротивлений.

Мост имеет внутреннюю батарею питания, встроенный нуль-индикатор (гальванометр), четыре отсчетных омических декады (х1000; х100;х10;х1;), ручку "множитель", переключатель рода работ "Схема" (измерение сопротивлений, ПВ - петля Варлея, ПМ - петля Муррея), кнопки "Вкл. " "I", "грубо" и "точно" для включения и настройки гальванометра, а также зажимы 1, 2, 3, 4, для подключения измеряемых элементов.

Предусмотрена возможность подключения внешнего гальванометра и внешнего источника питания, па откидной крышке моста укреплен шильдик (табличка) с кратким описанием и инструкцией по эксплуатации моста.

Принципиальная схема моста Р-333 приведена на рисунке 6.3 [64, 65]

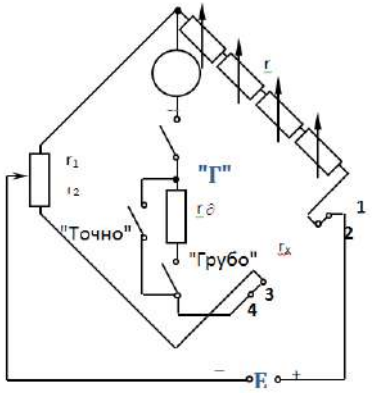


Рисунок 6.3 – Принципиальная электрическая схема моста постоянного тока Р-333

Сопротивления rx, r_1, r_2 и r составляют плечи моста. Сравнительное плечо r представляет собой четырехдекадный плавнорегулируемый магазин сопротивлений с верхним пределом измерения 9999 Ом (1000 × 9 + 100 × 9 + 10 × 9 + 9). Плечи отношения r1/r2 содержат восемь

катушек сопротивлений. При помощи переключателя плеч различные комбинации соединений этих катушек позволяют получить r1/r2 = n = 100; 10; 1; 0,01; 0,001; 0,0001. В диагонали моста включаются источник питания и нуль-индикатор. Внутренняя батарея питания, состоящая из пяти элементов, расположена в кассете на лицевой панели моста. В качестве нуль-индикатора в мост вмонтирован магнитоэлектрический гальванометр, включаемый в схему при помощи кнопок "Г" и "Грубо" или "Т" и "Точно". Измеряемое сопротивление подключается к мосту с помощью зажимов "1 – 2 – 3 – 4".

Измерение сопротивления r_x состоит в том, что при нажатой кнопке "Г", а затем "Т" изменяют r, r_1, r_2 и добиваются равновесия моста (отсутствия тока гальванометра). При этом [64, 65]:

$$r_x r_2 = r_1 r; \tag{6.9}$$

$$r_x = \frac{r_1}{r_2} r = nr \tag{6.10}$$

При измерении сопротивлений от 10 до 9999 Ом r_x подключается к зажимам 2 – 3, а 1 – 2 замыкаются перемычкой, зажимы 3 – 4 при этом соединяются автоматически (рисунок 6.4). В данном случае rx измеряется вместе с сопротивлениями контактов и соединительных проводов rп.

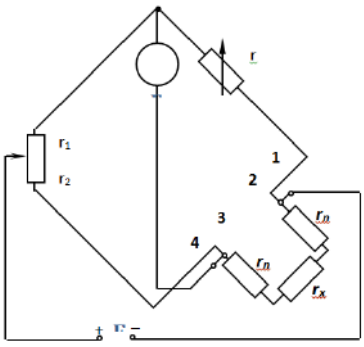


Рисунок 6.4 – Двухпроводная схема включения моста Р333

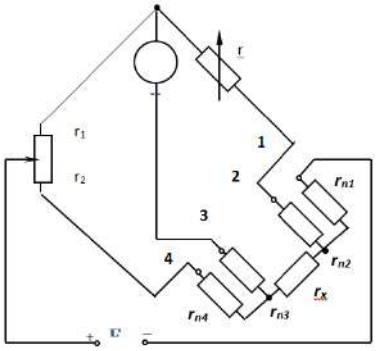


Рисунок 6.5 – Четырехпроводная схема включения моста Р333

Вносимая погрешность незначительна, так как схема применяется при rx, больших 10 Ом. При измерении мостом малых сопротивлений (меньше 10 Ом) на результат измерения существенное влияние оказывает сопротивление соединительных проводов и контактов. Для уменьшения этого влияния используют четырехпроводную схему включения (рисунок 6.5), снимая перемычку 1 – 2.

Сопротивления двух соединительных проводов rn2, rn4 (от зажимов 2 и 4) входят в сопротивления плеч моста r, r1, значения последних значительно больше сопротивлений проводов. Сопротивления двух других проводов rn1, rn3 (от зажимов 1 и 3) включены в цепь источника питания гальванометра. В уравнение равновесия они не входят и, следовательно, не вносят погрешности в результат измерения rx [64, 65].

Порядок выполнения работы

1) Измерить мостом Р333 по двух- и четырехпроводной схеме сопротивления, значение которых заранее не известно. Для этого необходимо:

- подключить измеряемое сопротивление r_x к зажимам моста 2 – 3, клеммы 1 – 2 замкнуть перемычкой, установить отношение плеч $n = r_1/r_2 = 1$, нажать кнопку "Г";
- кратковременно нажимая кнопку "Грубо" и изменяя значение сравнительного плеча r начиная со старших декад, добиться нулевого отклонения стрелки;
- определить порядок величины измеряемого сопротивления, для которого по таблице, представленной на приборе, нужно выбрать значение n, обеспечивающее при равновесии моста использование всех декад сравнительного плеча;
- установить необходимое n, кратковременно нажимая кнопку "Грубо", изменяя значения старших декад сравнительного плеча, добиться минимального отклонения стрелки, после этого можно пользоваться кнопкой "Точно";
- кратковременно нажимая кнопку "Точно", продолжать уравновешивание моста изменением сопротивления r в младших декадах до тех пор, пока стрелка установится на нуль;
- по значениям сравнительного плеча r и отношения n вычислить измеряемое сопротивление r_x по выражению (6.10). Результаты эксперимента и вычислений занести в таблицу 6.5.

Таблица 6.5 – Измерение сопротивлений

№п/п	$n = \frac{r_1}{r_2}$	r, Ом	r_x, Ом	Схема включения
1 2				Двухпроводная
3 4				Четырехпроводная

2) Поверить мост комплектно. Комплектная поверка заключается в сравнении (сличении) показаний моста со значениями образцовых мер сопротивления. При поверке в диапазоне сопротивлений от 10 до 99900 Ом измеряемые сопротивления подключить к зажимам моста 2 – 3, замкнув перемычкой зажимы 1 – 2. В диапазоне меньше 10 Ом сопротивление r_xподключить, используя четырехзажимную схему, сняв имеющуюся перемычку 1 – 2. Показания образцового магазина сопротивлений в этом случае берутся без поправки. По данным испытаний вычислить абсолютные погрешности

$$\Delta = r_x - r_м, \quad , \qquad (6.11)$$

где $r_м$ – значение сопротивления, установленное на магазине сопротивления.

Относительная погрешность

$$\beta = \frac{r_x - r_м}{r_м} \cdot 100\%. \qquad (6.12)$$

Исходные данные и результаты расчетов свести в таблицу 6.6.

Таблица 6.6 - Результаты поверки моста постоянного тока

№п/п	rм, Ом	$n = \frac{r_1}{r_2}$	r, Ом	rx, Ом	β, %	Схемавключения
1 2						Двух-проводная
3 4						Четырех-проводная

Контрольные вопросы

1.Вывести уравнение равновесия одинарного моста.

2.По каким причинам ограничивается диапазон измеряемых мостом.

3.Когда и почему используется схема двух – и четырехпроводного подключения измеряемого сопротивления к мосту?

4.По каким причинам нельзя измерять малые сопротивления?

Лабораторная работа № 6.3

Тема: **Измерение электрических параметров при помощи осциллографа**

Цель работы: формирование навыков измерений напряжения, тока и сопротивления с помощью электронного осциллографа.

Оборудование и материалы: осциллограф цифровой; электродвигатель однофазный, амперметр, вольтметр, измерительный трансформатор тока, ЛАТР, реостат; набор соединительных проводов, клемм и перемычек.

Краткие теоретические сведения

Электронные осциллографы используются в качестве приборов для визуального наблюдения и записи периодических электрических процессов.

Они широко применяются в электроизмерительной технике, так как позволяют вести наблюдения формы кривой исследуемого напряжения и тока. Осциллографом также можно производить прямые измерения напряжения и косвенные измерения тока по падению напряжения на резисторе с известным сопротивлением [64, 65].

Значение измеряемой амплитуды определяется по формуле [64, 65]:

$$U_m = m_y n_y k_y, \qquad (6.13)$$

где m_v – коэффициент отклонения луча по вертикали, В/дел.;

n_y – отклонение луча по вертикали, дел.;

k_y – коэффициент деления напряжения делителем канала вертикального отклонения (k_y= 1, k_y= 10).

Значение измеряемого временного интервала вычисляется по формуле:

$$t = m_t n_x M_p, \tag{6.14}$$

где m_t– коэффициент развертки, время/дел.;

n_x – отклонение луча по горизонтали, дел.;

M_p – множитель развертки (M_p= 0,2, M_p= 1).

Измеряемое переменное напряжение подается на вход канала *Y*, генератор развертки обычно отключают. Электронный луч на экране прочерчивает вертикальную прямую линию, длина которой при синусоидальном и симметричном напряжении переменного тока будет пропорциональна удвоенной амплитуде измеряемого переменного напряжения [64, 65]:

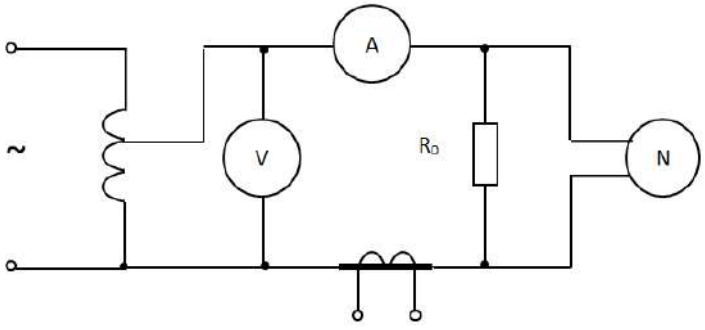
$$n_y = \frac{2U_m}{m_v k_y}. \tag{6.15}$$

Значение коэффициентов m_v, k_y определяют по положению соответствующих переключателей на передней панели осциллографа. Для оценки формы исследуемого напряжения включают генератор развертки.

Порядок выполнения работы

1) Ознакомиться с инструкцией по эксплуатации электронного осциллографа и подготовить его к работе.

2) Собрать электрическую цепь по схеме, представленной на рисунке 6.6.. В качестве нагрузки включен измерительный трансформатор тока (ИТТ) на холостом ходу. Входное напряжение установить не более 15 В, в этом случае сопротивление R_0 составляет 100 Ом.



Рисунке 6.6 – Схема для измерений цифровым осциллографом

3) Амперметром и вольтметром измерить действующие значения тока и напряжения при различных значениях коэффициента трансформации ИТТ. При этих же значениях измерить амплитудные значения тока и напряжения осциллографом. Для этого канал Y осциллографа последовательно подключить к клеммам вольтметра и резистора R_0. Убедиться в том, что ток имеет несинусоидальную форму, а напряжение осталось синусоидальным. При измерениях воспользоваться соотношениями для амплитудных значений:

$$U_m = \frac{n_y m_v k_y}{2}; \tag{6.16}$$

$$I_m = \frac{U_m}{R_0} = \frac{n_y m_v k_y}{2R_0}. \tag{6.17}$$

Рассчитать коэффициенты амплитуды сигналов по формулам:

$$k_a = \frac{I_m}{I}; \tag{6.18}$$

$$k_v = \frac{U_m}{U}, \tag{6.19}$$

где I, U – действующие значения измеренных величин.

Результаты для двух измерений и расчетов свести в таблицу 6.7. Сделать вывод относительно коэффициента амплитуды для синусоидального и несинусоидального сигналов. В таблице $K_{т.т}$ – коэффициент трансформации измерительного трансформатора тока.

Таблица 6.7 – Результаты измерений сигналов

Измеряемая величина	Действующее значение В, А	R_0, Ом	$K_{т.т}$	Амплитудное значение В, А	Коэффициент амплитуды k_a

4) Зарисовать осциллограммы напряжений и тока на графиках, указав масштабы по времени и измеряемой величине.

5) Измерить по несколько значений активного r_x и комплексного $\underline{z}$ сопротивления. Измерения и расчет составляющих комплексного сопротивления выполнить по методике, изложенной в пункте “Основные теоретические положения”. Все результаты измерений и расчетов свести в таблицу 6.8.

Таблица 6.8 – Результаты измерений сопротивлений осциллографом

Действующее значение U, В	Амплитудное значение U_{m0}, В	Добавочное сопротивление $R_д$, Ом	Измеряемое сопротивление R_x, Ом	Примечания

Контрольные вопросы

1.Пояснить назначение электронно-лучевых осциллографов, назвать их разновидности.

2.Начертить упрощенную блок-схему электронно-лучевого осциллографа.

3.Описать принцип измерения тока, комплексного сопротивления и частоты с помощью электронно-лучевого осциллографа.

4.Указать характер изменения коэффициента амплитуды в зависимости от формы измеряемого переменного напряжения.

6.3 Выявление и устранение дефектов и неисправностей электрооборудования в процессе осмотра и на этапе подготовки к ремонту

Лабораторная работа № 6.4

Тема: **Измерение сопротивления изоляции обмоток электродвигателей**

Цель работы: Формирование знаний и навыков измерения сопротивления изоляции обмоток электродвигателей.

Оборудование и материалы: мегомметр в комплекте, асинхронный трёхфазный электродвигатель.

Краткие теоретические сведения

Изоляция обмоток электродвигателя – неидеальный изолятор. При соединении проводников с сетью через изоляцию на корпус проходит электрический ток. Но этот ток очень мал, так как сопротивление изоляции достигает миллионов омов. Ток через изоляцию не превышает десятых долей миллиампера в машинах низкого напряжения и нескольких миллиампер в машинах высокого напряжения. Измерение сопротивления изоляции обмоток электрических машин входит в программу контрольных операций по проверке качества их обмоток [60-63].

На рисунке 6.7 показано узлы наличия изоляции в обмотках асинхронного двигателя.



Рисунок 6.7 – Асинхронный электродвигатель в разрезе

Методика измерения сопротивления изоляции [60-63].

Требования безопасности

1. Измерения мегаомметром разрешается выполнять обученным лицам из электротехнического персонала. В установках напряжением выше 1000 В измерения производят по наряду два лица, одно из которых должно иметь по электробезопасности не ниже IV группы. Проведение измерений в процессе монтажа или ремонта оговаривается в наряде в строке «Поручается». В установках напряжением до 1000 В измерения выполняют по распоряжению два лица, одно из которых должно иметь группу не ниже III.

2. Перед началом испытаний необходимо убедиться в отсутствии людей, работающих на той части электроустановки, к которой присоединён испытательный прибор, запретить находящимся вблизи него лицам прикасаться к токоведущим частям и, если нужно, выставить охрану.

3. Для контроля состояния изоляции электрических машин в соответствии с методическими указаниями или программами измерения мегаомметром на остановленной или вращающейся, но не возбуждённой машине, могут проводиться оперативным персоналом или, по его распоряжению, в порядке текущей эксплуатации работниками электролаборатории. Испытания изоляции роторов, якорей и цепей возбуждения может проводить одно лицо с группой по электробезопасности не ниже III, испытания изоляции статора – не менее чем два лица, одно из которых должно иметь группу не ниже IV, а второе – не ниже III.

4. При работе с мегаомметром прикасаться к токоведущим частям, к которым он присоединён, запрещается. После окончания работы необходимо снять остаточный заряд с проверяемого оборудования посредством его кратковременного заземления. Лицо, производящее снятие остаточного заряда, должно пользоваться диэлектрическими перчатками и стоять на изолированном основании.

Измерение сопротивления изоляции мегаомметром осуществляется на отключенных токоведущих частях, с которых снят заряд путём предварительного их заземления. Заземление с токоведущих частей следует снимать только после подключения мегаомметра. При снятии заземления необходимо пользоваться диэлектрическими перчатками.

Проведение измерений

Сопротивление изоляции измеряют мегаомметрами (100-2500 В) со значениями измеренных показателей в Ом, кОм и МОм.

Средства измерений: к средствам измерения изоляции относятся мегаомметры – ЭСО 202, Ф4100, М4100/1-М4100/5, М4107/1, М4107/2, Ф4101. Ф4102/1, Ф4102/2, ВМ200/G и другие, выпускаемые отечественными и зарубежными фирмами. Типовой мегомметр представлен на рисунке 6.8.



Рисунок 6.8 – Общий вид мегомметра

Требования к квалификации. К выполнению измерений сопротивления изоляции допускается обученный электротехнический персонал, имеющий удостоверение о проверке знаний и квалификационную группу по электробезопасности не ниже 3-й, при выполнении измерений в установках до 1000 В, и не ниже 4-й, при измерении в установках выше 1000 В.

Мегаомметр

Мегаомметр представляет собой переносной генератор постоянного тока, смонтированный вместе с измерительной системой.

Правила использования мегаомметра.

Существуют мегаомметры на напряжения 500, 1000 и 2500 В. Генератор мегаомметра вращают вручную с помощью его рукоятки, соединённой через повышающий редуктор с валом генератора. При меньшей частоте вращения напряжение будет меньше, а при большем центробежном регуляторе прибора отсоединит редуктор от вала генератора и напряжение не поднимется выше номинального [60-63].

Во время проведения измерений стрелка прибора не сразу останавливается в каком-то определённом положении. Сначала она показывает меньшее сопротивление, постепенно показания увеличиваются и стрелка устанавливается на цифре, определяющей сопротивление изоляции обмотки относительно корпуса. При влажной изоляции эти показания почти одинаковы, при сухой установившееся значение на 30-50 % больше промежуточного. Отношение показаний R_{60} / R_{15} называют ***коэффициентом абсорбции***, его значение характеризует степень увлажнения изоляции.

Коэффициент абсорбции.

Коэффициент абсорбции определяет увлажнение изоляции. Коэффициент абсорбции – это отношение измеренного сопротивления изоляции через 60 секунд после приложения напряжения мегаомметра (R_{60}) к измеряемому сопротивлению изоляции через 15 секунд (R_{15}). Если изоляция сухая, то коэффициент абсорбции намного больше единицы, а увлажнённой изоляции коэффициент абсорбции близок к единице. Значение коэффициента абсорбции должно отличаться (в сторону уменьшения) от заводских данных не более, чем на 20 %, а его значение должно быть не ниже 1,3 при температуре 10-30°С. При невыполнении этих условий изделие подлежит сушке [60-63].

Требования к сопротивлению изоляции обмоток. Допустимые нормы сопротивления изоляции указывают в технических условиях или ГОСТ на каждые типы машин [60-63].

Сопротивление изоляции обмоток электрической машины (r в МОм) относительно ее корпуса и между обмотками при рабочей температуре машины должно быть не менее значения, получаемого по формуле (но не менее 0,5 МОм)[60-63]:

$$R = \frac{U_н}{1000 + (P_н / 100)}, \qquad (6.20)$$

где$U_н$ – номинальное напряжение обмотки машины, В;

$P_н$ – номинальная мощность машины, кВ·А, а для машин постоянного тока – кВт.

Для измерения сопротивления изоляции обмоток, номинальное напряжение которых составляет 127-660 В, можно пользоваться только мегаомметром с напряжением 1000 В, так как при применении мегаомметра на напряжение 2500 В изоляция может быть пробита.

Расчётной рабочей температурой называется температура, к которой приводятся сопротивления обмоток электрической машины при подсчёте потерь в ней. Она принимается равной [60-63]

75 °С для обмоток, предельные допустимые превышения температуры которых соответствуют классам нагревостойкости А, Е, В;

115°С – для обмоток, предельные допустимые превышения температуры которых соответствуют классам нагревостойкости F, Н.

В случае измерения сопротивления изоляции при температуре ниже расчётной полученное по этой формуле сопротивление изоляции следует удваивать на каждые 20°С (полные и неполные) разности между рабочей температурой и той температурой, при которой выполнено измерение.

Необходимо учесть, что для получения правильных показаний мегаомметра следует устранять остаточные заряды обмотки путём заземления на несколько минут перед каждым измерением.

Методы измерения сопротивления изоляции обмоток относительно корпуса машины и между обмотками, а также методы измерения сопротивлений обмоток установлены ГОСТ 11828-75.

Сопротивление изоляции изолированных деталей. В процессе изготовления электрической машины измеряют не только сопротивление изоляции обмоток, но и всех изолированных деталей относительно корпуса: изоляции коллектора, контактных колец, щёточных болтов и др. [60-63].

Порядок проведения работы

1. Получить инструктаж преподавателя о мерах безопасности при работе с мегаомметром, с записью в журнале по ТБ.

2. Подготовить рабочее место для проведения испытаний изоляции обмоток асинхронного электродвигателя.

3. Произвести измерение изоляции обмоток асинхронного

электродвигателя с фиксацией результатов измерений.

4. Определить коэффициент абсорбции изоляции обмоток данного асинхронного электродвигателя.

5. Составить заключение о допустимости включения данного электродвигателя в работу.

Контрольные вопросы

1.Какие правила безопасности следует соблюдать при работе с мегаомметром?

2.В чем физическая суть коэффициента абсорбции?

3.Какое минимальное сопротивление изоляции обмоток электродвигателей?

4.Почему для измерений сопротивлений изоляции статора и ротора применяют разные мегаомметры?

5.Что необходимо делать с результатами измерений сопротивления обмоток, если измерения производятся не при расчётной температуре?

Лабораторная работа № 6.5

Тема: **Исследование правильности соединения обмоток машин переменного тока**

Цель работы: формирование знаний и навыков определения правильного подсоединения обмоток машин переменного тока.

Оборудование и материалы: мегомметр в комплекте, асинхронный трёхфазный электродвигатель.

Краткие теоретические сведения

В собранных электродвигателях как после монтажа, так и после ремонта неисправности в обмотке статора обычно появляются при включении двигателя на обкаточном стенде. Все вновь отремонтированные двигатели должны иметь такое же обозначение (маркировку выводов) обмотки, как новые [60-63].

Маркировка концов обмотки статора трёхфазных асинхронных двигателей в соответствии с ГОСТ 183-74 приведена в таблице 6.9.

Таблица 6. 9 – Обозначение выводов обмоток машин переменного тока

Схема соединения обмоток статора	Число выводов	Наименование выводов	Обозначение выводов	
Внешнее соединение в звезду и треугольник	6	Первая фаза Вторая фаза Третья фаза	C1 C2 C3	C4 C5 C6
Внутреннее соединение в звезду	3 или 4	Первая фаза Вторая фаза Третья фаза Нулевая фаза	C1 C2 C3 0	– – – –
Внутреннее соединение в треугольник		Первая фаза Вторая фаза Третья фаза	C1 C2 C3	– – –

Обозначения выводов обмотки электрических машин наносят непосредственно на кабельных наконечниках, на шинных концах, на специальных обжимах, плотно закреплённых на проводах обмоток, или на вводной колонке рядом с выводами. Цвета проводов выводов приведены в таблице 6.10 [60-63].

Таблица 6.10 – Цвет проводов выводов для трёхфазных асинхронных электрических машин

Схема соединения обмотки	Число выводов	Вид вывода	Цвет вывода	
			Начало	Конец
Открытая схема	6	Первая фаза	Желтый	Желтый с черным
		Вторая фаза	Зеленый	Зеленый с черным
		Третья фаза	Красный	Красный с черным
Соединение звездой	3 или 4	Первая фаза	Желтый	
		Вторая фаза	Зеленый	
		Третья фаза	Красный	
		Нулевая фаза	Черный	
Соединение треугольником	3	Первая фаза	Желтый	
		Вторая фаза	Зеленый	
		Третья фаза	Красный	

Обмотки машин трехфазного переменного тока могут быть соединены в звезду или треугольник. Концы обмоток соединяют либо наглухо внутри машины, либо снаружи на панели зажимов [60-63].

Проверка правильности соединений выводов трехфазных обмоток сводится к определению начал и концов каждой фазы.

Прежде чем определять начала и концы обмоток, необходимо найти выводы каждой фазы «прозвонкой».

Затем соединяют концы обмоток, например, в звезду.

При определении начал и концов обмоток способом вольтметра и источника переменного тока пониженного напряжения – соединяют последовательно какие-либо две фазы и пропускают по ним ток пониженного напряжения (например, 36 В). Для контроля силы тока, которая не должна превышать номинальную, включают амперметр. К третьей фазе подключают вольтметр или лампу накаливания [60-63].

Если включённые две фазы соединены неправильно, т. е. разноимёнными концами, то вольтметр покажет почти полное напряжение. Если концы одной из двух последовательно соединённых обмоток поменять местами, то соединение будет правильным и вольтметр на третьей фазе покажет незначительное напряжение близкое к нулю. После этого нужно определить начало и конец третьей фазы. Для этого к одной из фаз, начало и конец которой уже определены, присоединяют последовательно третью фазу, начало и конец которой ещё не установлены [60-63].

Опыт следует произвести два раза, каждый раз подводя напряжение к различной паре выводов. Этот опыт для короткозамкнутого асинхронного

двигателя следует проводить при напряжении $(0{,}3\ldots0{,}5)U_н$ во избежание перегрева обмоток; при фазном роторе его обмотка должна быть разомкнута.

Порядок проведения лабораторной работы

1. Получить инструктаж преподавателя о мерах безопасности при работе с мегаомметром, с записью в журнале по ТБ.
2. Подготовить рабочее место для определения полярности обмоток асинхронного электродвигателя.
3. Определить пары концов обмоток прозвонкой.
4. Собрать схему для определения начала и конца двух обмоток.
5. По показаниям вольтметра определить правильность /неправильность (начало, конец) соединения испытываемых обмоток. Обозначить концы обмоток в соответствии с ГОСТ.
6. Собрать схему для определения начала и конца оставшейся обмотки.
7. Определить и обозначить начало и конец третьей обмотки.
8. Составить отчет о проведенной работе.

Контрольные вопросы

1.Что такое «прозвонка» обмоток и для чего она проводится?

2. Каким образом должны соединяться концы и начала обмоток в схеме «звезда»?

3.Каким образом должны соединяться обмотки в схеме «треугольник»?

4.В какой цвет окрашиваются выводы проводов трёхфазных асинхронных двигателей?

Лабораторная работа №6.6

Тема: **Исследование работы светодиодных ламп**

Цель работы: Формирование знаний и навыков конструкции, способов включения и принципа работы светодиодных ламп.

Оборудование и материалы: светодиодная лампа с цоколем, лабораторный автотрансформатора, 1000Вт; набор соединительных проводов, клемм и перемычек.

Краткие теоретические сведения

Принцип действия светодиодов. P-n переход – «составляющая» полупроводниковой техники и представляет собой ни что иное, как соединение двух кусков полупроводника различной проводимости (один из них имеет избыток электронов n-типа, другой избыток дырок p-типа). Если к данному переходу подсоединить источник питания, положительным полюсом к p-части, то через него будет проходить ток [60-63].

Полупроводники – это вещества, в которых электрический ток образуется движением электронов, а величина удельного сопротивления находится в пределах между проводниками и диэлектриками. Полупроводниками являются химические элементы IV, V и VI групп периодической системы Д. И. Менделеева – графит, кремний, германий,

селен и другие, а также многие окислы и другие соединения различных металлов. Количество подвижных носителей зарядов в полупроводниках в обычных условиях невелико, однако оно возрастает в сотни и тысячи раз при некоторых внешних воздействиях (нагревание, действие света и т. д.), а также при наличии в полупроводнике определённых примесей. Полупроводники делятся на электронные (типа n) и дырочные (типа p). В полупроводнике n-типа в качестве носителей зарядов рассматриваются электроны, которые при образовании тока перемещаются по всему полупроводнику подобно свободным электронам в металлах. В полупроводнике p-типа в качестве носителей зарядов рассматриваются так называемые дырки (под дырками понимается свободное место у атома, которое может быть занято посторонним ему электроном). Дырки считаются эквивалентом положительного заряда, равного электрону [60-63].

При соединении кристалла p-типа с кристаллом n-типа в области их контакта образуется p-n переход, который обладает свойством запирающего слоя (рисунок 6.9)..

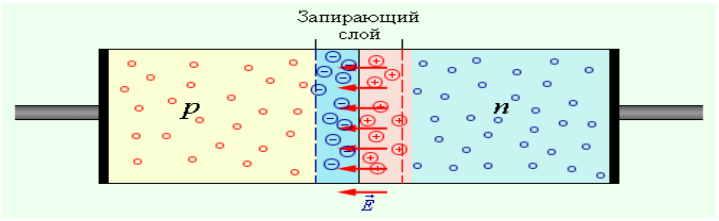


Рисунок 6.9 – Запирающий слой p-n перехода

В области места контакта двух полупроводников n-типа и p-типа возникает процесс диффузии: дырки из p-области переходят в n-область, а электроны, наоборот, из n-области в p-область. Таким образом, в области контакта полупроводников происходит образование двойного электрического слоя, поле которого препятствует процессу диффузии электронов и дырок навстречу друг другу [60-63]

В случае присоединения n-p перехода к внешнему источнику тока, когда его положительный полюс соединён с p-областью, а отрицательный – с n-областью, показатель напряжённости электрического поля в запирающем слое уменьшится и облегчит переход основных носителей тока через контактный слой. Вследствие этого дырки из p-области и электроны из n-области будут двигаться навстречу друг другу, пересекая n-p переход, что приведёт к созданию тока в прямом направлении (рисунок 6.10) [60-63].

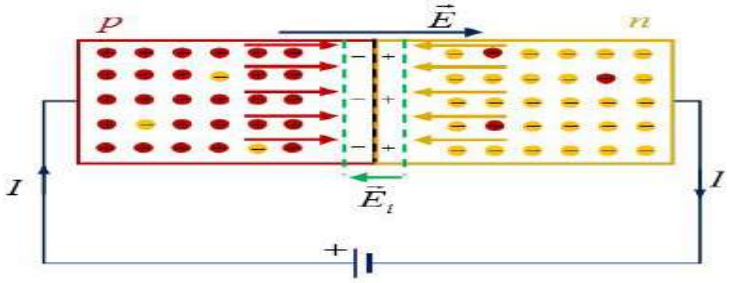


Рисунок 6.10 –Приложение напряжения к p-n переходу

В месте соприкосновения двух полупроводников (p-n переход), при приложении электричества, происходит рекомбинация электронов с дырками, при этом происходит высвобождение энергии в виде фотонов света (рисунок 6.11).



Рисунок 6.11 – Высвобождение энергии в виде фотонов света

Основные части осветительного прибора [60-63]:

– светодиоды;

– драйвер;

– цоколь;

– корпус.

Светоизлучающий диод. Буквенно его обозначают сокращением СИД (СД) в русском языке или LED в английском. Собственно, это и есть источник света светодиодной лампы.

В электрических схемах в качестве их обозначений используются обозначения обычных диодов, только с добавлением двух стрелочек, обозначающих излучение света 

.

Как при любом физическом процессе, во время преобразования электронов в фотоны, существуют потери энергии, обусловленные следующими причинами:

– часть световых частиц просто теряется внутри даже такого тонкого слоя;

– при выходе из полупроводника возникает оптическое преломление световых волн на границах кристалл/воздух, искажающее длину волны.

Применение специальных мер, например, использование сапфировой подложки, позволяет создать бóльший световой поток. Такие конструкции применяются для установки в лампы освещения, но не для обычных светодиодов, используемых в качестве индикаторов. Габариты кристалла весьма маленькие и от одного источника можно получить небольшой поток света. Поэтому для ламп освещения такие светодиоды объединяют довольно большими группами. При этом, создать от них равномерное освещение во все стороны весьма проблематично: каждый светодиод является точечным источником [60-63].

Величина излучаемого светового потока полупроводниковых материалов зависит от тока, проходящего через p-n переход. Чем больше ток, тем выше излучение, но до определённого значения (рисунок 6.12).



Рисунок 6.12 – Зависимость светового потока от тока светодиода

Маленькие габариты, как правило, не позволяют использовать токи, превышающие 20 миллиампер для индикаторных конструкций. У мощных осветительных ламп применяется теплоотвод и дополнительные меры защиты, использование которых, однако, строго ограничено.

При запуске световой поток лампы пропорционально возрастает с увеличением тока, но затем из-за образования тепловых потерь начинает снижаться. Следует понимать, что процесс выделения фотонов из проводника не связан с тепловой энергией, светодиоды относятся к источникам холодного света.

Однако, проходящий через светодиод ток в местах контактов различных слоёв и электродов преодолевает переходное сопротивление этих участков, вызывающее нагрев материалов. Выделяемое тепло вначале только создаёт потери энергии, но при увеличении тока может повредить конструкцию [60-63].

Количество светодиодных кристаллов, установленных в одну лампу, может превышать сотню работающих элементов. На каждый из них необходимо подвести оптимальный ток. Для этого создают стеклотекстолитовые платы с токопроводящими дорожками. Они могут иметь самую различную конструкцию (рисунок 6.13).



Рисунок 6.13 – Конструкции светодиодов

К контактным площадкам плат припаиваются светодиодные кристаллы. Чаще всего их формируют в определённые группы и запитывают последовательно друг с другом. Через каждую созданную цепочку пропускают один и тот же ток.

Такую схему проще реализовать технически, но она обладает одним главным недостатком – при нарушении одного любого контакта вся группа перестаёт светить, что является основной причиной поломки лампы.

Драйверы. Подвод постоянного напряжения к каждой группе светодиодов выполняется от специального устройства, которое раньше называли блоком питания, а сейчас – термином «драйвер».

Цоколь. Осветительные лампы для квартирного освещения на российском рынке снабжаются цоколем Е27, который позволяет использовать их в обычных патронах от ламп накаливания.

Корпус. Для защиты светодиодов осветительных ламп не требуется создавать каких-либо герметичных колб, как у ламп накаливания, из которых выкачан воздух и создана специальная газовая среда.

Ранее был создан синий светодиод, следом появились зелёные, жёлтые и белые.

По типу соединения индикаторные делятся на:

– тройные AIGaAs (алюминий – галлий – мышьяк) – оранжевый и жёлтый свет в областях видимого цветового спектра;

– тройные GaAsP (галлий – мышьяк – фосфор) – жёлто-зелёный и красный свет в областях видимого спектра;

– двойные GaP (галлий – фосфор) – оранжевый и зелёный свет в областях видимого спектра.

Цвет. В зависимости от полупроводника, на основе которого выполнен светодиод, так же отличается цвет, излучаемый светодиодом. В продаже чаще всего можно встретить светодиоды таких цветов: красный, оранжевый, жёлтый, зелёный, синий, фиолетовый, ультрафиолетовый. Существуют также светодиоды, работающие в инфракрасном диапазоне, но поскольку их излучение не видно невооружённому глазу – их применение ограничено пультами ДУ и видеокамерами ночного видения.

Преимущества светодиодов перед другими видами ламп следующие:

1. Дают холодное свечение. Не нагревают имеющиеся рядом электроприборы.
2. Имеют малые габариты, компактные и лёгкие. Не бьются при транспортировке и при падении с высоты. Не перегорают.
3. Не нуждаются в использовании громоздких светофильтров и защитных колпаков. Могут работать и освещать улицы под дождём и под градом.
4. Имеют красивый дизайн и малые габариты.
5. Длительный период эксплуатации. Могут работать на протяжении 20 и более лет.
6. Низкое энергопотребление – в 10 раз меньше обычной лампы накаливания.
7. Экологически безвредны. Не имеют внутри газов и ртутных паров.
8. Пожаро - и взрывобезопасны.

Порядок проведения работы

1. Получить инструктаж преподавателя о мерах безопасности при работе с лабораторным трансформатором, с записью в журнале по технике безопасности.

2. Подготовить схему для включения светодиодной лампы с возможностью изменения подаваемого напряжения при помощи лабораторного трансформатора (рисунок 6.14).

3. Фиксировать изменение интенсивности светового потока светодиодной лампы при изменении подаваемого напряжения ± 5 % от номинального.

4. Составить отчет о проведенной лабораторной работе.

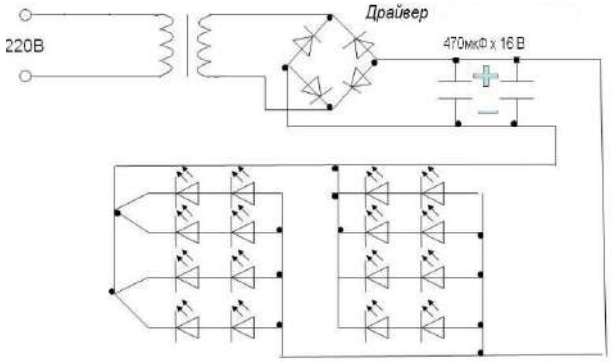


Рисунок 6.14 – Лабораторная схема подключения светодиодной лампы

Контрольные вопросы

1.В чем принципиальное устройство светодиодных ламп?

2.От чего зависит интенсивность свечения светодиодных ламп?

3.От чего зависит цвет, излучаемый светодиодными лампами?

4.Что такое драйвер? В чем его назначение?

5.Какое напряжение подаётся на вход светодиодной лампы, можно ли сделать светодиодную лампу на переменном напряжении?

6.4 Проведение ремонтных работ в производственных силовых и осветительных электроустановках

Лабораторная работа № 6.7

Тема: **Выявление неисправностей и ремонт электросветительных устройств**

Цель работы: формирование знаний и навыков по выявлению дефектов и ремонту средств электроосвещения, и устранению неполадок.

Оборудование и материалы: светильники рабочего освещения; набор соединительных проводов, клемм и перемычек.

Краткие теоретические сведения

Светильники аварийного освещения должны отличаться от светильников рабочего освещения знаками или окраской [60-63].

Питание светильников аварийного и рабочего освещения должно осуществляться от независимых источников. При отключении рабочего

освещения переключение на аварийное должно происходить автоматически или вручную, согласно проектным решениям, исходя из целесообразности по местным условиям и в соответствии с требованиями правил устройства электроустановок [60-63].

Питание сети аварийного освещения по схемам, отличным от проектных, не допускается.

Наименования электроприемников (в частности, светильников) должны быть изложены так, чтобы работники, включающие или отключающие единично расположенные или групповые светильники, смогли бы безошибочно производить эти действия.

Использование сетей освещения для подключения каких-либо переносных или передвижных электроприемников не допускается.

Для питания переносных (ручных) электрических светильников в помещениях с повышенной опасностью и в особо опасных помещениях должно применяться напряжение не выше 50 В, а при работах в особо неблагоприятных условиях и в наружных установках - не выше 12 В.

Вилки приборов на напряжение 12 - 50 В не должны входить в розетки с более высоким номинальным напряжением. В помещениях, в которых используется напряжение двух и более номиналов, на всех штепсельных розетках должны быть надписи с указанием номинального напряжения [60-63].

Использование автотрансформаторов для питания светильников сети 12 - 50 В не разрешается.

Применение для переносного освещения люминесцентных ламп, не укрепленных на жестких опорах, не допускается.

Очистку светильников, осмотр и ремонт сети электрического освещения должен выполнять по графику (плану ППР) квалифицированный персонал.

Периодичность работ по очистке светильников и проверке технического состояния осветительных установок Потребителя (наличие и целость стекол, решеток и сеток, исправность уплотнений светильников специального назначения и т.п.) должна быть установлена ответственным за электрохозяйство Потребителя с учетом местных условий. На участках, подверженных усиленному загрязнению, очистка светильников должна выполняться по особому графику [60-63].

Смена перегоревших ламп может производиться групповым или индивидуальным способом, который устанавливается конкретно для каждого Потребителя в зависимости от доступности ламп и мощности осветительной установки. При групповом способе сроки очередной чистки арматуры должны быть приурочены к срокам групповой замены ламп.

При высоте подвеса светильников до 5 м допускается их обслуживание с приставных лестниц и стремянок. В случае расположения светильников на большей высоте разрешается их обслуживание с мостовых кранов, стационарных мостиков и передвижных устройств при соблюдении мер

безопасности, установленных правилами безопасности при эксплуатации электроустановок и местными инструкциями [60-63].

Вышедшие из строя люминесцентные лампы, лампы типа ДРЛ и другие источники, содержащие ртуть, должны храниться в специальном помещении. Их необходимо периодически вывозить для уничтожения и дезактивации в отведенные для этого места.

Осмотр и проверка сети освещения должны проводиться в следующие сроки:

- проверка исправности аварийного освещения при отключении рабочего освещения - 2 раза в год;
- измерение освещенности внутри помещений (в т.ч. участков, отдельных рабочих мест, проходов и т.д.) - при вводе сети в эксплуатацию в соответствии с нормами освещенности, а также при изменении функционального назначения помещения.

Проверка состояния стационарного оборудования и электропроводки аварийного и рабочего освещения, испытание и измерение сопротивления изоляции проводов, кабелей и заземляющих устройств должны проводиться при вводе сети электрического освещения в эксплуатацию, а в дальнейшем по графику, утвержденному ответственным за электрохозяйство Потребителя, но не реже одного раза в три года. Результаты замеров оформляются актом (протоколом) в соответствии с нормами испытания электрооборудования [60-63].

Периодичность планово-предупредительных ремонтов газосветных установок сети рекламного освещения устанавливается в зависимости от их категории (месторасположения, системы технического обслуживания и т.п.) и утверждается ответственным за электрохозяйство Потребителя.

Включение и отключение установок наружного (уличного) и рекламного освещения, как правило, должно осуществляться автоматически в соответствии с графиком, составленным с учетом времени года, особенностей местных условий и утвержденным местными органами власти.

Обо всех неисправностях в работе установок рекламного освещения и повреждениях (мигание, частичные разряды и т.п.) оперативный или оперативно-ремонтный персонал Потребителя обязан немедленно сообщить об этом своим руководящим работникам и принять меры к их устранению. Работа установок рекламного освещения при видимых повреждениях не допускается [60-63].

Неисправности системы освещения и их устранение

1. Не горят отдельные лампы. Эта неисправность чаще всего вызывается перегоранием нитей накала лампы. Такие лампы следует заменять новыми.

Причиной неисправности также может быть плохой контакт в патроне лампы. Чаще всего плохой контакт в патронах наблюдается в подфарниках и фарах.

Для обеспечения хорошего контакта в патронах ламп в фарах следует отогнуть пружинящие контакты и проверить надежность соединения вилки.

На пластмассовой крышке оптического элемента, кроме основных двух пружинящих контактов, имеется третий контакт для соединения отражателя с массой; этот контакт должен надежно прижиматься к цилиндрической части отражателя.

Плохое соединение проводов на соединительных панелях и переключателях также может вызывать прекращение работы одной из ламп.

Неисправный переключатель или выключатель легко можно обнаружить, соединив провода помимо его или соединив клеммы отдельным проводником.

Повреждение цепи или неисправный переключатель можно легко обнаружить с помощью контрольной лампы, в качестве которой можно использовать переносную лампу с отдельными проводами [60-63].

2. Нити накала лампы часто перегорают.

3. Вся система освещения не работает.

Питание системы освещения осуществляется через тепловой биметаллический предохранитель.

При коротких замыканиях в цепях освещения или приборах освещения по предохранителю проходит повышенный ток, который нагревает биметаллическую пластину, а последняя, изгибаясь от нагрева, разрывает цепь питания. Необходимо устранить причину, вызывающую повышенный ток в цепи предохранителя.

Порядок выполнения работы

1. Ознакомиться со светильниками уличного, открытого и закрытого исполнения.

2. Выявить неисправности и причину.

3. Устранить, замерить уровень освещенности.

4. Составить отчет.

5. Ответить на контрольные вопросы.

Контрольные вопросы

1.Что влияет на уровень освещенности?

2.Почему возникают перегрузки и падения напряжения?

3.Зачем нужна чистка светильников?

4. Какие светильники применяются в современном производстве?

5.Как продлить срок службы светильника?

Лабораторная работа № 6.8

Тема: Выявление неисправностей и ремонт щитового оборудования

Цель работы: формирование знаний и навыков по выявлению дефектов и ремонту электрощитов, и устранению неполадок.

Оборудование и материалы: щиты этажные квартирные, щиты силовые, инструменты; набор соединительных проводов, клемм и перемычек.

Краткие теоретические сведения

Внешними признаками неисправности электропроводки является перегорание предохранителей или автоматических защитных устройств и появление специфичного запаха горелой изоляции, иногда искрение или перегрев проводки [60-63].

Повреждения электропроводки и ее элементов могут происходить из-за небрежного или неосторожного с ней обращения, в результате некачественного выполнения монтажных работ, при физическом износе проводов и кабелей [60-63].

Щиты этажные серии (ЩЭ) предназначены для приема, поквартирного и внутриквартирного распределения и учета потребляемой электроэнергии напряжением 220В, а также для защиты групповых линий квартир при перегрузках и коротких замыканиях, защиты от поражения электрическим током, размещения устройств телефонной, телевизионной и других слаботочных сетей. Щиты применяются в многоквартирных жилых зданиях массового строительства, в многоквартирных жилых зданиях, строящихся по индивидуальным проектам, а также в коттеджах [60-63].

Щитки осветительные квартирные предназначены для распределения и учета электроэнергии напряжением 220В, а также для защиты линий квартир при перегрузках и коротких замыканиях.

Ремонт распределительных устройств сводится к ремонту аппаратуры и оборудования (в основном ошиновки) [60-63].

Капитальный ремонт аппаратов и электрооборудования распределительных устройств напряжением до 1000 В проводят в сроки, установленные ответственным за электрохозяйство предприятия (колхоза, совхоза), но не реже одного раза в три года.

Текущий ремонт распределительных устройств проводят между капитальными ремонтами в сроки, установленные графиком, утвержденным ответственным за электрохозяйство, но не реже одного раза в год.

При определении объема текущего ремонта РУ напряжением до 1000 В проверяют следующее [60-63]:

а) состояние контактных соединений сборных шин, наличие местных нагревов. При этом подтягивают все болтовые соединения;

б) состояние спусков от шин к аппаратам, губок рубильников, предохранителей, мест подсоединения кабелей и проводов;

в) состояние разделок кабелей и их закрепление;

г) состояние трансформаторов тока и вторичных цепей;

д) состояние защитных заземлений и сетчатых ограждений.

Шкафы распределительные силовые предназначены для приема и распределения электрической энергии в промышленных электроустановках. Шкафы силовые рассчитаны на номинальные токи до 400 А и напряжение 380 В в сетях с глухозаземленной нейтралью 3-х фазного тока, частотой 50 Гц и с защитой отходящих линий предохранителями от перегрузок и коротких замыканий [60-63].

Ввод и вывод проводов и кабелей в силовых шкафах предусмотрены

снизу и сверху шкафа.

Требования к силовому шкафу для оборудования следующие:

- он должен обладать максимальной гибкостью и широким набором функциональных возможностей;

- должен быть совместим с оборудованием всех основных производителей, т.е. должен иметь стандартизованные размеры и внутреннее устройство;

- должен быть обеспечен широким набором дополнительного оборудования и аксессуаров.

В шкафах зачастую содержится дорогое оборудование, поэтому они нуждаются в защите от несанкционированного вторжения и от влияния сред пребывания, зачастую весьма агрессивных. Шкафы различного функционального назначения (электротехнические, промышленные, телекоммуникационные и т.п.) требуют и разной степени защиты. Защиту принято оценивать по определенной шкале. Прежде всего, шкафы защищают от проникновения твердых тел, в том числе и пыли, а затем - от попадания влаги.

Широкое использование имеют распределительные устройства комплектные, сокращённо КРУ. Их сборка происходит в специализированных мастерских на предприятиях, поставляются они в виде шкафов и всякого рода блоков для дальнейшего монтажа. В них также встроены измерительные приборы и аппараты защиты и автоматики [60-63].

Распределительное устройство (РУ) является составной частью электрической подстанции, которая в свою очередь служит не только для распределения, а также и для преобразования электроэнергии [60-63].

Распределительное устройство напряжением выше 1000 В (10, 35, 220 кВт) содержит в себе масляные и воздушные выключатели, разрядники, разъединители, электрические реакторы. Над эксплуатацией и монтажом таких распределительных устройств работают квалифицированные рабочие, имеющие степень электромонтажника, электрослесаря, электромонтёра.

Порядок выполнения работы

1. Ознакомиться с устройством щитков.
2. Проверить состояние каждого прибора в щитке.
3. Провести замеры.
4. Определить неисправности и выбрать способы ремонта.
5. Составить отчет.
6. Ответить на контрольные вопросы.

Контрольные вопросы

1. Какие основные неисправности в щитках?
2. Кто допускается до ремонтных работ?
3. Какие меры безопасности нужно принять?
4. На какие токи рассчитаны типовые силовые щиты на напряжение 380 В?

Лабораторная работа № 6.9

Тема: **Электрозащитные средства, плакаты и знаки безопасности**

Цель работы: формирование знаний и навыков по обеспечению безопасности ведения работ в электроустановках.

Оборудование и материалы: щиты этажные квартирные, щиты силовые, инструменты; набор соединительных проводов, клемм и перемычек.

Краткие теоретические сведения

Электрозащитные средства - переносимые и перевозимые изделия, защищают людей от поражения электрическим током при работе с электроустановками, а также от воздействия электрической дуги и электромагнитного поля [59, 66].

Средства защиты по характеру их применения делят на две категории: коллективной и индивидуальной защиты. Причем, постоянные ограждения токоведущих частей электроустановок, стационарные заземляющие ножи в понятие средств защиты не включаются.

По назначению все электрозащитные средства делят на 3 группы: изолирующие, ограждающие и вспомогательные [66].

Изолирующие: изолирующие оперативные штанги; штанги для наложения переносного заземления; измерительные штанги; изолирующие клещи для операций с предохранителями; указатели напряжения, диэлектрические перчатки, галоши и коврики; изолирующие лестницы и площадки; инструмент с изолированными рукоятками; изолирующие подставки, колпаки, накладки, захваты.

Ограждающие: переносные ограждения в виде барьеров, щитов и клеток, ограничивающих перемещение персонала вблизи неотключенных токоведущих частей; переносные заземления для защиты людей, работающих на отключенных частях, от ошибочно поданного или наведенного напряжения.

Вспомогательные: защитные средства от падения с высоты (предохранительные пояса, страхующие канаты) и для безопасного подъема на высоту (когти, лестницы); рукавицы для защиты рук при работах с расплавленным металлом, расплавленной кабельной массой и т. п.; противогазы для защиты от отравления газами, образующимися при авариях, в результате расплавления металла и горения изоляционных материалов; защитные очки для защиты глаз от травм и излучений.

Изолирующие электрозащитные средства делят на основные и дополнительные [66].

Основными называются такие защитные средства электроустановок, изоляции которых надежно выдерживают рабочее напряжение и которые позволяют прикасаться к токоведущим частям, находящимся под напряжением. Величина испытательного напряжения для основных защитных средств зависит от напряжения электроустановки, в которой они применяются, и должна составлять: для электроустановок с изолированной нейтралью и нейтралью, заземленной через компенсирующий аппарат, не

менее 3 кратного значения линейного напряжения а, для электроустановок с глухозаземленной нейтралью - не менее трехкратного фазного напряжения.

В электроустановках напряжением до 1кВ *основными* защитными средствами являются: диэлектрические перчатки, инструмент с изолирующими рукоятками, указатели напряжения, работающие на принципе протекания активного тока, изолирующие штанги, изолирующие и электроизмерительные клещи [66].

В электроустановках напряжением выше 1кВ к *основным* защитным средствам относятся: оперативные и измерительные изолирующие штанги; изолирующие и токоизмерительные клещи; указатели напряжения в сети и работающие на принципе протекания емкостного тока, изолирующие устройства и приспособления для ремонтных работ, изолирующие лестницы, площадки, тяги, захваты для переноски гирлянд изоляторов, изолирующие штанги для укрепления зажимов, изолирующие звенья телескопических вышек и др. [66].

Основные защитные средства изготовляются из изоляционных материалов, имеющих устойчивые диэлектрические характеристики и обладающих высокой механической прочностью. К таким материалам относятся: фарфор, бакелит, эбонит, гетинакс, древеснослоистые и пластические материалы. Дерево используется в качестве изоляционного материала после проварки его в высыхающих маслах растительного происхождения (например, льняном) [66].

Дополнительными называются электрозащитные средства, которые не обеспечивают защиту обслуживающего персонала от поражения электрическим током при касании токоведущих частей, находящихся под напряжением. Они могут использоваться только в совокупности с основными защитными средствами, являясь дополнительной мерой защиты обслуживающего персонала от поражения электрическим током. Дополнительные защитные средства служат также для защиты от наведенных потенциалов, напряжения прикосновения, напряжения шага и для защиты от воздействия продуктов горения электрической дуги [66].

К *дополнительным* защитным средствам в электроустановках до 1кВ относятся: диэлектрическое галоши и резиновые коврики, диэлектрические сапоги, изолирующие подставки и накладки, переносные заземления. Применение двух или более дополнительных защитных средств взамен основных недопустимо. Так, например, диэлектрические перчатки и боты в электроустановках напряжением выше 1кВ не могут заменить изолирующей штанги.

Дополнительными защитными средствами в электроустановках напряжением выше 1кВ являются: диэлектрические перчатки, боты и резиновые коврики, изолирующие подставки и накладки, индивидуальные экранирующие комплекты, диэлектрические колпаки, переносные заземления, оградительные устройства, плакаты и знаки безопасности.

Порядок пользования и содержание электрозащитных средств. Все электрозащитные средства должны использоваться по своему назначению и

для того напряжения, величина которого не превышает указанного для них класса напряжения. Основные электрозащитные средства следует использовать в закрытых помещениях, а в открытых электроустановках и на воздушных линиях эти защитные средства могут использоваться только в сухую погоду. Перед каждым использованием средств защиты необходимо произвести их тщательный внешний осмотр, обратив внимание на срок годности (по штампу), а у диэлектрических перчаток проверить отсутствие проколов. Пользоваться неисправными защитными средствами или средствами, срок годности которых истек, запрещается [59, 66].

Защитные средства следует оберегать от увлажнения, загрязнения и механических повреждений. Хранить их необходимо в закрытых помещениях [66].

Средства защиты, находящиеся в индивидуальном пользовании, регистрируют в этом же журнале с указанием даты выдачи, фамилии и подписи лица, получившего их. Все защитные средства, за исключением изолирующих подставок, диэлектрических ковриков, временных переносных заземлений и ограждений, при получении со склада или завода-изготовителя подлежат обязательному испытанию в специальной электротехнической лаборатории. После проведения испытаний и простановки штампа в соответствующих местах (кроме инструмента с изолирующими рукоятками и указателей напряжения до 1кВ, на которых штамп после испытаний не ставится) защитными средствами можно пользоваться. Электроустановка напряжением до 1кВ должна иметь следующие электротехнические защитные средства [66]:

1) изолирующие клещи; 2) токоизмерительные клещи; 3) указатели напряжения; 4) инструмент с изолирующими рукоятками; 5) перчатки резиновые диэлектрические; 6) галоши или сапоги резиновые диэлектрические; 7) коврики резиновые диэлектрические; 8) временные переносные заземления; 9) предохранительные пояса; 10) переносные плакаты и знаки безопасности; 11) защитные очки.

Нормы и сроки электрических испытаний электрозащитных средств представлены в таблице 6.11.

Таблица 6.11 - Электрозащитные средства, применяемые в действующих ЭУ

Защитные средства	Напряжение установки, кВ	Испытательное напряжение, кВ	Продолжительность	Сила тока утечки не более, мА	Срок периодических испытаний,
Перчатки резиновые диэлектрические	До 1	6	1	7,0	6
Галоши резиновые диэлектрические	До 1	3,5	1	2,0	12
Боты резиновые диэлектрические	Любое	15	1	7,5	36
Коврики резиновые диэлектрические	Не проверяются				
Инструмент слесарно-монтажный с	До 1	2	1	-	12

Продолжение таблицы 6.11

изолированными рукоятками					
Указатели напряжения до 1000 В	До 0,5 До 0,6	1 2	1 1	- -	12 12
Изолирующие штанги (кроме измерительных)	Не ниже 110	$3U_л$, но не менее 40	5	-	24
Электроизмерительные клещи	До 0,04 0,04-0,66 0,66-1,0 2-10	0,5 2 3 40	5 5 5 5	- - - -	12 12 12 12
Изолирующие накладки: Жесткие резиновые	До 10 До 15 До 1	20 30 5	5 5 1	- - 6	24 24 36

Плакаты и знаки по электробезопасности. Плакаты, применяемые в электроустановках, подразделяются на [66]:

- предупреждающие плакаты исполняются черными буквами на белом фоне, кайма и стрела - красные;
- запрещающие плакаты - красные буквы на белом фоне («не включать - работа на линии» - на красном фоне белыми буквами и белой каймой) и красной каймой;
- предписывающие плакаты - черные буквы в белом круге на зеленом фоне с белой каймой;
- указательный плакат - черные буквы на синем фоне.

Знаки безопасности, **предупреждающие** (рисунок 6.15) исполняются на желтом фоне черной стрелой и черной каймой или на бетонном фоне черной стрелой и черной каймой.



Рисунок 6.15 – Знаки и плакаты предупреждающие

Порядок выполнения работы

1.Ознакомиться с электрозащитными средствами и предупреждающими плакатами.

2. Провести замеры клещами и указателями напряжения.

3. Составить отчет.

Контрольные вопросы

1.Какие средства называются электрозащитными?

2.Что относится к изолирующим защитным средствам?

3.Что относится к ограждающим защитным средствам?

4.Что относится к вспомогательным защитным средствам?

5.Какие защитные средства называются основными защитными?

6.Какие электрозащитные средства называются дополнительными?

7.Назовите предупреждающие знаки безопасности.

8.Назовите запрещающие плакаты.

9.Какие плакаты относятся к предписывающим?

10.Назовите указательные плакаты.

6.5 Организация электромонтажных работ в производственных силовых и осветительных электроустановках

В данном разделе предлагается материал по основам организации электромонтажных работ (ЭМР) при прохождении обучающимися учебно-ознакомительной и производственной практик.

Сборник технологических карт составлен в помощь мастеру производственного обучения и преподавателю при составлении и оформлении инструкционно-технологической карты к занятию.

Технологические краты включает информацию, обеспечивающую правильность выполнения трудовых операций, действий, их последовательность, качество работы [60-63].

Сборник технологических карт раскрывает возможности творческого использования информации на вводном, текущем и заключительном инструктажах с целью активизации учебно-производственной деятельности учащихся на занятиях по слесарной и производственной практике.

Сборник технологических карт составлен в соответствии с типовым учебным планом технического и профессионального образования по специальности «Техническая эксплуатация, обслуживание и ремонт электрического и электромеханического оборудования (по видам)»

Все технологические карты выполнены по одной лабораторной схеме, что позволяет обучающимся в процессе обучения систематизировать полученные знания и выработать единую методическую схему использования практических приемов, что соответствует требованиям типового учебного плана и программы [60-63].

Во время монтажа электроустановок используется большое количество разнообразных по назначению и свойствам материалов для:

- изготовления конструкций;
- установки и закрепления электрооборудования и отдельных его элементов и узлов;
- соединения силовых и вспомогательных цепей;
- восстановления изоляции;
- предохранения частей оборудования от воздействия окружающей среды.

Требования к этим материалам (технические, экономические, технологические):

- обеспечение высокого качества работ при монтаже;
- надёжность при эксплуатации;
- простота и безопасность в обращении;
- обеспечение ускорения и упрощения работ по монтажу, наладке электроустановок.

Выбор материалов и изделий – важная задача, выполняемая проектировщиками, наладчиками и эксплуатационниками.

Материалы и изделия должны соответствовать условиям и режимам работы электрооборудования. Оценку соответствия проводят по количественным значениям параметров, характеристикам и свойствам.

Классифицировать материалы и изделия по назначению и свойствам можно на следующие группы:

электроизоляционные;

проводниковые;

конструктивные.

Во время монтажа и технического обслуживания электрооборудования производится большое количество разнообразных видов работ. Они отличаются между собой по характеру, трудоемкости, объему и условиям их выполнения. Правильный и обусловленный выбор их позволяет обеспечить высокое качество работ, повысить производительность работ, повысить производительность труда, сократить сроки монтажа и ремонта электрооборудования при высоком уровне безопасности.

Далее представлены технологические карты, которые призваны к выполнению трех основных целей занятий по произвостенном обучению:

Образовательная: закрепить ранее полученные теоретические знания и привить практическое умение при монтаже электрооборудования;

Воспитательная: создать условия для проявления у студентов познавательной активности, интереса к профессии;

Развивающая: способствовать развитию у обучающихся способностей анализировать производственные ситуации, выработать умения и навыки по монтажу элементов электрооборудования различных приборов, аппаратов и электроустановок.

Исследование схемы однолампового светильника с люминесцентными лампами

ФИО обучающегося /группа	
Задание № 1	Составление схем однолампового люминесцентного светильника.
Контролируемые виды знаний, умений и навыков	Требуется знать схемы соединений светильников с люминесцентными лампами, уметь грамотно разъяснить ее.
Нормированное время выполнения, мин	20 мин
Критерии оценки выполнения задания	«5» - задача решена без ошибок.
	«4» - допущена неточность в решении при правильном ответе.
	«3» - в задаче допущена ошибка в вычислениях при правильном ходе решения.
	«2» - записано условие, записана формула, но отсутствует решение и объяснение.
Технология выполнения задания	Техника безопасности
	Изучить и описать устройство ламп дневного света
	Разъяснение схем соединения однолампового люминесцентного светильника.
	Выбор определенной схемы для последующей работы с ней.
	Составление схем однолампового люминесцентного светильника.
	Контроль работ
Перечень необходимого оборудования	Одноламповый люминесцентный светильник, элементы составления схем.
Перечень расходных материалов	Крепежные элементы, соединительные провода, маркировочные приспособления.

Исследование светильников с лампами ДРЛ

ФИО обучающегося /группа	
Задание № 2	Светильник с лампами ДРЛ.
Контролируемые виды знаний, умений и навыков	Требуется составить схему и подключения светильника с лампами ДРЛ.
Нормированное время выполнения, мин	20 мин
Критерии оценки выполнения задания	«5» - задача решена без ошибок.
	«4» - допущена неточность в решении при правильном ответе.
	«3» - в задаче допущена ошибка в вычислениях при правильном ходе решения.
	«2» - записано условие, записана формула, но отсутствует решение и объяснение.
Технология выполнения задания	Техника безопасности
	Разобрать устройство светильника с лампами ДРЛ.
	Составить схему подключения светильника.
	Указать места установки светильника.
	Контроль проделанных работ
Перечень необходимого оборудования	Светильник с лампами ДРЛ, элементы составленных схем.
Перечень расходных материалов	Крепежные элементы, соединительные провода, маркировочные приспособления.

Исследование светильников с лампами ДНаТ

ФИО обучающегося /группа	
Задание № 3	Светильник с лампами ДНаТ.
Контролируемые виды знаний, умений и навыков	Требуется составить схему и подключения светильника с лампами ДНат.
Нормированное время выполнения, мин	20 мин
Критерии оценки выполнения задания	«5» - задача решена без ошибок;
	«4» - допущена неточность в решении при правильном ответе;
	«3» - в задаче допущена ошибка в вычислениях при правильном ходе решения;
	«2» - записано условие, записана формула, но отсутствует решение и объяснение
Технология выполнения задания	Техника безопасности
	Разобрать устройство светильника с лампами ДНат.
	Составить схему подключения светильника.
	Указать места установки светильника.
	Контроль проделанных работ
Перечень необходимого оборудования	Светильник с лампами ДНат, элементы составленных схем.
Перечень расходных материалов	Крепежные элементы, соединительные провода, маркировочные приспособления

Исследование схемы двухлампового светильника с люминесцентными лампами

ФИО обучающегося /группа	
Задание № 4	Составление схем двухлампового люминесцентного светильника.
Контролируемые виды знаний, умений и навыков	Требуется знать схемы соединений светильников с люминесцентными лампами, уметь грамотно разъяснить ее.
Нормированное время выполнения, мин	30 мин
Критерии оценки выполнения задания	«5» - задача решена без ошибок.
	«4» - допущена неточность в решении при правильном ответе.
	«3» - в задаче допущена ошибка в вычислениях при правильном ходе решения.
	«2» - записано условие, записана формула, но отсутствует решение и объяснение.
Технология выполнения задания	Техника безопасности
	Изучить и описать устройство ламп дневного света.
	Разъяснение схем соединения двухлампового люминесцентного светильника.
	Выбор определенной схемы для последующей работы с ней.
	Составление схем двухлампового люминесцентного светильника.
	Контроль работ
Перечень необходимого оборудования	Двухламповый люминесцентный светильник, элементы составления схем.
Перечень расходных материалов	Крепежные элементы, соединительные провода, маркировочные приспособления.

Исследование схем подключения однофазного счетчика э.э.с трансформаторами тока

ФИО обучающегося /группа	
Задание № 5	Выполнить подключение однофазного счетчика электрической энергии с трансформаторами тока.
Контролируемые виды знаний, умений и навыков	Требуется составить схему подключения однофазного счетчика, знать его обозначение, типы, характеристики.
Нормированное время выполнения, мин	30 мин
Критерии оценки выполнения задания	«5» - задача решена без ошибок;
	«4» - допущена неточность в решении при правильном ответе;
	«3» - в задаче допущена ошибка в вычислениях при правильном ходе решения;
	«2» - записано условие, записана формула, но отсутствует решение и объяснение
Технология выполнения задания	Техника безопасности
	Выбрать счетчик электрической энергии.
	Подготовка оборудования и инструментов.
	Составить схему подключения счетчика однофазного с ТТ.
	Контроль работ
Перечень необходимого оборудования	Счетчики электроэнергии, элементы составленных схем.
Перечень расходных материалов	Крепежные элементы, соединительные провода, маркировочные приспособления

Трехфазный счетчик электроэнергии

ФИО обучающегося /группа	
Задание № 6	Трехфазный счетчик электрической энергии
Контролируемые виды знаний, умений и навыков	Требуется составить схему и подключить счетчик трехфазный.
Нормированное время выполнения, мин	30 мин
Критерии оценки выполнения задания	«5» - задача решена без ошибок;
	«4» - допущена неточность в решении при правильном ответе;
	«3» - в задаче допущена ошибка в вычислениях при правильном ходе решения;
	«2» - записано условие, записана формула, но отсутствует решение и объяснение
Технология выполнения задания	Техника безопасности
	Рассказать устройство трехфазного счетчика электрической энергии.
	Рассказать схемы включения трехфазного счетчика электрической энергии.
	Составление схем включения трехфазного счетчика электрической энергии.
	Контроль проделанных работ
Перечень необходимого оборудования	Счетчик электроэнергии, элементы составления схем.
Перечень расходных материалов	Крепежные элементы, соединительные провода, маркировочные приспособления

Исследование предохранителей

ФИО обучающегося /группа	
Задание № 7	Предохранители
Контролируемые виды знаний, умений и навыков	Требуется знать принципы действия, основные конструктивные элементы, характеристики и типы.
Нормированное время выполнения, мин	20 мин
Критерии оценки выполнения задания	«5» - задача решена без ошибок;
	«4» - допущена неточность в решении при правильном ответе;
	«3» - в задаче допущена ошибка в вычислениях при правильном ходе решения;
	«2» - записано условие, записана формула, но отсутствует решение и объяснение
Технология выполнения задания	Техника безопасности
	Перечислить основные виды предохранителей, принцип их действия.
	Указать схематическое обозначения предохранителей.
	Указать места установки предохранителей.
	Контроль проделанных работ
Перечень необходимого оборудования	Предохранители
Перечень расходных материалов	

Исследование автоматических выключателей

ФИО обучающегося /группа	
Задание № 8	Автоматические выключатели, принцип действия и типы.
Контролируемые виды знаний, умений и навыков	Требуется знать принципы работ автоматических выключателей, их основные конструктивные элементы, характеристики и типы.
Нормированное время выполнения, мин	20 мин
Критерии оценки выполнения задания	«5» - задача решена без ошибок;
	«4» - допущена неточность в решении при правильном ответе;
	«3» - в задаче допущена ошибка в вычислениях при правильном ходе решения;
	«2» - записано условие, записана формула, но отсутствует решение и объяснение
Технология выполнения задания	Техника безопасности
	Перечислите виды автоматов и их маркировки
	Описать устройство автоматов.
	Описать принцип действия автоматов
	Контроль проделанных работ
Перечень необходимого оборудования	Автоматические выключатели.
Перечень расходных материалов	Крепежные элементы, соединительные провода, маркировочные приспособления

Исследование пакетных переключателей

ФИО обучающегося /группа	
Задание № 9	Пакетные выключатели и переключатели.
Контролируемые виды знаний, умений и навыков	Знать обозначение, типы, характеристики пакетного выключателя и переключателя.
Нормированное время выполнения, мин	20 мин
Критерии оценки выполнения задания	«5» - задача решена без ошибок;
	«4» - допущена неточность в решении при правильном ответе;
	«3» - в задаче допущена ошибка в вычислениях при правильном ходе решения;
	«2» - записано условие, записана формула, но отсутствует решение и объяснение
Технология выполнения задания	Техника безопасности
	Перечислить типы пакетных выключателей и переключателей.
	Указать схематическое обозначение пакетных выключателей и переключателей.
	Перечислить его характеристики.
	Контроль проделанных работ
Перечень необходимого оборудования	Пакетные выключатели и переключатели, элементы составленных схем.
Перечень расходных материалов	Крепежные элементы, соединительные провода, маркировочные приспособления

Исследование трансформаторов напряжения

ФИО обучающегося /группа	
Задание № 10	Трансформатор напряжения, их типы, характеристики, принцип действия.
Контролируемые виды знаний, умений и навыков	Требуется знать принципы работ трансформатора напряжения, его основные конструктивные элементы, характеристики и способы соединения обмоток.
Нормированное время выполнения, мин	30 мин
Критерии оценки выполнения задания	«5» - задача решена без ошибок;
	«4» - допущена неточность в решении при правильном ответе;
	«3» - в задаче допущена ошибка в вычислениях при правильном ходе решения;
	«2» - записано условие, записана формула, но отсутствует решение и объяснение
Технология выполнения задания	Техника безопасности
	Перечислите типы трансформаторов напряжения.
	Характеристики и способы соединения обмоток
	Расскажите о принципе действия трансформатора напряжения.
	Нарисовать схематическое обозначение ТН
	Контроль проделанных работ
Перечень необходимого оборудования	Трансформаторы напряжения
Перечень расходных материалов	Крепежные элементы, соединительные провода, маркировочные приспособления

Исследование измерительных трансформаторов тока

ФИО обучающегося /группа	
Задание № 11	Трансформатор тока, их типы, характеристики, принцип действия.
Контролируемые виды знаний, умений и навыков	Требуется знать принципы работ трансформатора тока, его основные конструктивные элементы, характеристики.
Нормированное время выполнения, мин	20 мин
Критерии оценки выполнения задания	«5» - задача решена без ошибок;
	«4» - допущена неточность в решении при правильном ответе;
	«3» - в задаче допущена ошибка в вычислениях при правильном ходе решения;
	«2» - записано условие, записана формула, но отсутствует решение и объяснение
Технология выполнения задания	Техника безопасности
	Перечислите типы трансформаторов тока.
	Расскажите о принципе действия трансформатора тока.
	Нарисовать схематическое обозначение ТТ
	Контроль проделанных работ
Перечень необходимого оборудования	Трансформаторы тока.
Перечень расходных материалов	Крепежные элементы, соединительные провода, маркировочные приспособления

Исследование асинхронных трехфазных электродвигателей

ФИО обучающегося /группа	
Задание № 12	Асинхронные электродвигатели трёхфазного тока, их основные конструктивные элементы, характеристики и способы соединения обмоток.
Контролируемые виды знаний, умений и навыков	Требуется знать принципы работ асинхронных электродвигателей, их основные конструктивные элементы, характеристики и способы соединения обмоток.
Нормированное время выполнения, мин	30 мин
Критерии оценки выполнения задания	«5» - задача решена без ошибок.
	«4» - допущена неточность в решении при правильном ответе.
	«3» - в задаче допущена ошибка в вычислениях при правильном ходе решения.
	«2» - записано условие, записана формула, но отсутствует решение и объяснение.
Технология выполнения задания	Техника безопасности
	Ознакомиться с оборудованием
	Перечислите их основные конструктивные элементы.
	Характеристики и способы соединения обмоток.
	Определения «концов» и «начал» у асинхронных электродвигателей.
	Контроль работ
Перечень необходимого оборудования	Асинхронные электродвигатели трёхфазного тока.
Перечень расходных материалов	Крепежные элементы, соединительные провода, маркировочные приспособления.

Нереверсивное управление электроприводами

ФИО обучающегося /группа	
Задание № 13	Нереверсивное управление электроприводом
Контролируемые виды знаний, умений и навыков	Требуется знать схемы подключений, их основные конструктивные элементы, характеристики и принцип действия этой схемы.
Нормированное время выполнения, мин	30 мин
Критерии оценки выполнения задания	«5»- задача решена без ошибок.
	«4»- допущена неточность в решении при правильном ответе.
	«3»- в задаче допущена ошибка в вычислениях при правильном ходе решения.
	«2»- записано условие, записана формула, но отсутствует решение и объяснение.
Технология выполнения задания	Техника безопасности
	Ознакомиться с оборудованием и инструментом.
	Перечислите их основные конструктивные элементы.
	Составить монтажную схему нереверсивного управления.
	Контроль работ
Перечень необходимого оборудования	Аппаратура управления, элементы составления схем.
Перечень расходных материалов	Крепежные элементы, соединительные провода, маркировочные приспособления.

Реверсивное управление электроприводами

ФИО обучающегося /группа	
Задание № 14	Реверсивное управление электроприводом
Контролируемые виды знаний, умений и навыков	Требуется знать схему подключения магнитного пускателя
Нормированное время выполнения, мин	40 мин
Критерии оценки выполнения задания	«5» - задача решена без ошибок.
	«4» - допущена неточность в решении при правильном ответе.
	«3» - в задаче допущена ошибка в вычислениях при правильном ходе решения.
	«2» - записано условие, записана формула, но отсутствует решение и объяснение.
Технология выполнения задания	Техника безопасности
	Ознакомиться с инструментами и материалами.
	Нарисовать монтажную схему реверсивного управления.
	Контроль проделанных работ.
Перечень необходимого оборудования	Магнитный пускатель, кнопочная станция, элементы составления схем.
Перечень расходных материалов	Крепежные элементы, соединительные провода, маркировочные приспособления.

Краткие выводы

Учебно-практические материалы модуля «Измерение, диагностика и основы монтажа электрооборудования» направлены на формирование знаний, умений и навыков по использованию средств электроизмерений, методов определения неисправностей, для ремонта, диагностики и монтажа силового и осветительного оборудования в сетях электроснабжения напряжением до и выше 1000 В, а также использования средств электробезопасности при производстве ремонтных и испытательных работ.

Приобретённые компетенции могут быть полезны обучающимся при прохождении производственной практики, при проведении различных видов работ по монтажу и ремонту электрооборудования предприятий всех отраслей промышленности и сельского хозяйства.

Контрольные вопросы

1.Что относится к средствам измерений?

2. Назовите основные единицы измерения.

3.Что относится к прямому измерению?

4.Назовите основные виды погрешностей.

5.Какие основные принципы диагностики и ремонта электрощитового оборудования?

6.Назовите предупреждающие знаки безопасности.

7. Принципы организации электромонтажных работ.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Учебное пособие разработано коллективом авторов, на основе актуализированных типовых учебных планов и программ для системы ТиППО специальности 0911000 – «Техническая эксплуатация, обслуживание и ремонт электрического и электромеханического оборудования (по отраслям)».

Учебное пособие предназначено для преподавателей и обучающихся учреждений профессионально-технического образования по квалификации «Электрослесарь (слесарь) дежурный и по ремонту оборудования».

Данное учебное пособие раскрывает вопросы профессиональных модулей по специальности.

В учебном пособии рассмотрены вопросы, раскрывающие результаты обучения, позволяющие осуществлять контроль знаний и умений, обучающихся по критериям оценки профессиональных модулей.

Использование пособия предполагает развитие системного, профессионального обучения сложной рабочей профессии по квалификации «Электрослесарь (слесарь) дежурный и по ремонту оборудования».

Материал изложен избирательно в пределах требований производственной квалификационной характеристики.

Глоссарий

Линия электропередачи (ЛЭП) любого напряжения (воздушной или кабельной) – электроустановка, предназначенная для передачи электрической энергии на одном и том же напряжении без трансформации.

Фидер – линия, предназначенная для передачи электроэнергии от распределительного устройства (щита) к распределительному пункту, магистрали или отдельному электроприемнику;

Магистраль – линия, предназначенная для передачи электроэнергии нескольким распределительным пунктам или электроприемникам, присоединенным к ней в разных точках,

Ответвление – линия, отходящая:

а) от магистрали и предназначенная для передачи электроэнергии к одному распределительному пункту или электроприемнику,

б) от распределительного пункта (щитка) и предназначенная для передачи электроэнергии к одному электроприемнику или к нескольким мелким электроприемникам, включенным в «цепочку».

Электроэнергетическая сеть – совокупность электроустановок для передачи и распределения электрической энергии, состоящая из подстанций, распределительных устройств, токопроводов, воздушных и кабельных линий электропередачи, работающих на определенной территории.

Питающая сеть – фидеры, магистрали и ответвления от последних к распределительным пунктам.

Электростанция – это предприятия или установки, предназначенные для производства электроэнергии.

Подстанция – электроустановка, служащая для преобразования и распределения электроэнергии и состоящая из трансформаторов или других преобразователей энергии, распределительных устройств до и выше 1000 В, аккумуляторной батареи устройств управления и вспомогательных сооружений.

Распределительное устройство – электроустановка, служащая для приема и распределения электроэнергии и содержащая коммутационные аппараты, сборные и соединительные шины, вспомогательные устройства (компрессорные, аккумуляторные и др.), а также устройства защиты, автоматики и измерительные приборы.

Электроприемники – специальные устройства (один или несколько механизмов, связанных единым технологическим процессом на конкретной территории), предназначенные для преобразования энергии из электрической в другие типы.

Электрическая машина (электромашина) – машина, преобразующая механическую энергию в электрическую (генератор) или электрическую энергию в механическую (двигатель), а также электрическую энергию в электрическую (преобразователи напряжения, частоты и др.).

Электрический привод – совокупность устройств для преобразования электрической энергии в механическую и регулирования потока преобразованной энергии по определённому закону.

Коэффициент полезного действия (КПД) – характеристика эффективности системы (устройства, машины) в отношении преобразования или передачи энергии.

Эскиз – предварительный набросок, фиксирующий замысел художественного произведения, сооружения, механизма или отдельной его части.

Чертёж – это графический конструкторский документ, содержащий изображение инженерного объекта (например, детали, сборочной единицы, изделия, здания, сооружения и т. п.), а также данные, необходимые для его изготовления, сборки, монтажа ,упаковывания, строительства, контроля и др..

Текстовый процессор (ТП) – компьютерная программа, используемая для набора, сохранения, редактирования и печати текста.

Словарь сокращений

ЭВМ – электронно-вычислительная машина;
ПК – персональный компьютер;
САПР – система автоматизированного проектирования;
ГОСТ – государственный стандарт;
ГР – графический редактор;
УГО – условно-графические обозначения;
АСУ ТП – автоматизированные системы управления технологическими процессами;
ПУЭ – правила устройства электроустановок;
ЖКХ – жилищно-коммунальное хозяйство;
ИП – источник питания;
ЛЭП – линия электропередачи;
ВЛ – воздушная линия электропередачи;
КЛ – кабельная линия;
АВР – автоматический ввод резерва;
ЭДС – электродвижущая сила;
КПД – коэффициент полезного действия;
УКД – универсальный коллекторный двигатель;
ЭМТ – электромагнитный тормоз;
ВН, НН – высшее напряжение, низшее напряжение;
РУ – распределительное устройство;
РУВН – распределительное устройство высшего напряжения;
РУНН – распределительное устройство низшего напряжения;
МЭК – международная электротехническая комиссия;
СТ СЭВ – стандарт стран, входящих в Совет экономической взаимопомощи;
КТП – комплектная трансформаторная подстанция;
ТП – трансформаторная подстанция;
РП – распределительный пункт;
ЭП – электроприемник;
ЭД – электрический двигатель;
АПП – агропромышленное предприятие;
ШР – шит распределительный;
ШО – щит освещения;
СИП – самонесущий изолированный провод;
РКУ – расчетно-климатические условия.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Аверин, В.Н. Компьютерная инженерная графика / В.Н. Аверин. - М.: Academia, 2014. - 240 с. (Профессиональное образование). - ISBN 978-5-4468-1152-6.
2. Большаков, В.П. Инженерная и компьютерная графика: Учебное пособие / В.П. Большаков, В.Т. Тозик, А.В. Чагина. - СПб.: БХВ-Петербург, 2013. - 288 с.
3. Куприков, М.Ю. Инженерная графика: Учебник для ссузов / М.Ю. Куприков, Л.В. Маркин. - М.: Дрофа, 2010. - 495 с.
4. Пуйческу, Ф.И. Инженерная графика: Учебник для студентов учреждений среднего профессионального образования / Ф.И. Пуйческу, С.Н. Муравьев, Н.А. Чванова. - М.: ИЦ Академия, 2013. - 320 с.
5. Чекмарев, А.А. Инженерная графика: Учебник для прикладного бакалавриата / А.А. Чекмарев. - Люберцы: Юрайт, 2016. - 381 с.
6. Алиев, И. И. Электротехнический справочник / И. И. Алиев. - 4-е изд., испр. - Москва: Радио Софт, 2001.
7. Самсонов, В. В. Автоматизация конструкторских работ в среде Компас-3D / В.В. Самсонов, Г.А. Красильникова. - М.: Academia, 2016. - 224 с.
8. Гуревич, Ю.Е. Особенности электроснабжения, ориентированного на бесперебойную работу промышленного потребителя / Ю.Е. Гуревич, К.В. Кабиков. - М.: Торус Пресс, 2016. - 408 с.
9. Куско, А. Сети электроснабжения. Методы и средства обеспечения качества энергии / А. Куско, М. Томпсон. - М.: Додэка XXI, 2011. - 336 с.
10. Свириденко, Э. А. Основы электротехники и электроснабжения / Э.А. Свириденко, Ф.Г. Китунович. - М.: Техноперспектива, 2008. - 436
11. Шеховцов, В. П. Справочное пособие по электрооборудованию и электроснабжению / В.П. Шеховцов. - М.: Форум, Инфра-М, 2014. - 136 с.
12. Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения. - М.: Энергия, 2012. - 282 с.
13. Артемов А.И. Электроснабжение промышленных предприятий в примерах и задачах Под ред. Минченкова В.И. — Смоленск, 2000. — 300 с.
14. Вафин Д.Б. Энергообеспечение предприятий Учебное пособие. — Нижнекамск: Нижнекамский химико-технологический институт (филиал) ФГБОУ ВПО «ЩИТУ», 2013. — 104 с.
15. Усачев И.Н. Приливные электростанции. - М.: Энергия, 2002.
16. Хорольский, В. Я. Надежность электроснабжения / В.Я. Хорольский, М.А. Таранов. - М.: Форум, Инфра-М, 2013. - 128 с.
17. Гужов Н.П. Электрические аппараты напряжением до 1000 В / Нормативный документ от 30 января 2020г.
18. Лоторейчук, Е.А. Теоретические основы электротехники. - М.: ИД «ФОРУМ»: ИНФРА-М, 2009.

19.Демирчян К.С. Нейман Л.Р. Коровкин Н.В. Чечурин В.Л. Теоретические основы электротехники: В 3-х т. Учебник для вузов. Том 3/ Нормативный документ от30января 2020г.

20. Говорков В.А. Электрические и магнитные поля. − М.: Госэнергоиздат, 1960. − 464 с. 6. Калашников С.Г. Электричество. - М.: Наука, 1977. − 592 с.

21. Иллюстрация законов полного тока (а), электромагнитной индукции (б), первого (г) и второго (в) постулатов Максвелла.

22. Бессонов Л.А.. Теоретические основы электротехники. Электические цепи: учебник для вызов, 10-е изд. М.: Гардемарики, 2002

23. Касаткин А.С., Немцов М.В. Электротехника. - М.: Энергоатомиздат, 1995. -240с.

24.Ключев В.И. Теория электропривода / Нормативный документ от 26 декабря 2019г.

25.Вольдек, А.И. Электрические машины / А.И. Вольдек. – М.: Энергия, 1998.

26. Брускин Д.Э., Зорохович А.Е., Хвостов В.С. Электрические машины. - ч. 1,2. -М.: Высшая школа, 1987.

27. Иванов-Смоленский А.В. Электрические машины. - М.: Энергия, 1980.

28. Костенко М.П., Пиотровский Л.М. Электрические машины. - ч.2 Машины переменного тока. - Л.: Энергия, 1993.

29. Кацман М.М. Руководство к лабораторным работам по электрическим машинам и электроприводу. - М.: Высшая школа, 1983. - 215с.

30.Кацман М.М. Электрические машины: учебник для СПО. 11-е изд., стер. М.: Академия, 2016. 496 с.

31.Копылов И.П. Электрические машины. -М.: Высшая школа, Логос, 2000. -607 с.

32.Пиотровский Л.М., Васютинский С.Б., Несговоров Е.Д. Испытание электрических машин. -ч.1.- М., Л.: Госэнергоиздат, 1960.-181с.

33.Дроздов Н.Ф. М.: Электротехнические материалы АКАДЕМА 2000 – 105 с.

34. Казанцев А.П. М Электроматериаловедение. «ДизайнПРО» 2006 – 270 с.

35. Красько А.С., Электроматериаловедение Павлович С.Н. Минск: РИПО, 2012 – 210

36.Дроздов Н.Г., Никулин Н.В. Электроматериаловедение. Учебник для проф.-техн. учебных заведений и подготовки рабочих на производстве.Изд. 4-е, перераб. и доп. — М.: «Высшая школа», 1973. — 312 с.:

37. Пенкин М.А. Технологии электротехнических материалов М.: Энергия, 2002 – 19 с

38. Пионерский М.Н. М.: Электротехнические материалы Энергия, 1990 – 203 с.

39.Типовой лабораторный практикум по ТММ / Э. А. Горов и др. –М. : Машиностроение, 1990.

40.Василенко, Д. Л. Кинематика передаточного механизма. Материалы республиканской конференции студентов и аспирантов Беларуси /Д. Л. Василенко. – Витебск: ВГТУ, 2002

41.Куклин Н.Г., Куклина Г.С. Детали машин: Учебник для машиностроительных специальностей техникумов. – 4-е издание, переработанное и дополненное. – М.: Высшая школа, 1987. – 383 с., ил.

42. Мовнин М.С., Израелит А.Б., Рубашкин А.Г. Основы технической механики – СПб.: Политехника, 2011

43.Аркуша А.И.Техническая механика. Теоретическая механика и сопротивление материалов: Учебник для средних проф. учебных заведений.-7-е изд., стер. -М.: Высшая школа.,2008

44. Аркуша А.И.Техническая механика. -М.: Высшая школа.,2003

45.Ицкович Г.М.Сопротивление материалов: Учебник - М.: Высшая школа.2001

46. Покровский Б.С. Основы слесарного дела: учебник для нач. проф. образования/ Б.С. Покровский. - 3-е изд., перераб. – М.: Издательский центр «Академия», 2010. - 320с.

47. Покровский Б. С. Слесарное дело: учебник для нач. проф. образования/ Б. С. Покровский, В. А. Скакун. - 3-е изд., стер. - М. Издательский центр «Академия», 2004. - 320 с.

48. Покровский Б. С. Справочник слесаря: учеб пособие для нач.проф. образования / Б. С. Покровский, В. А. Скакун. - 4-е изд. стер. - М.: Издательский центр «Академия», 2008. - 384 с

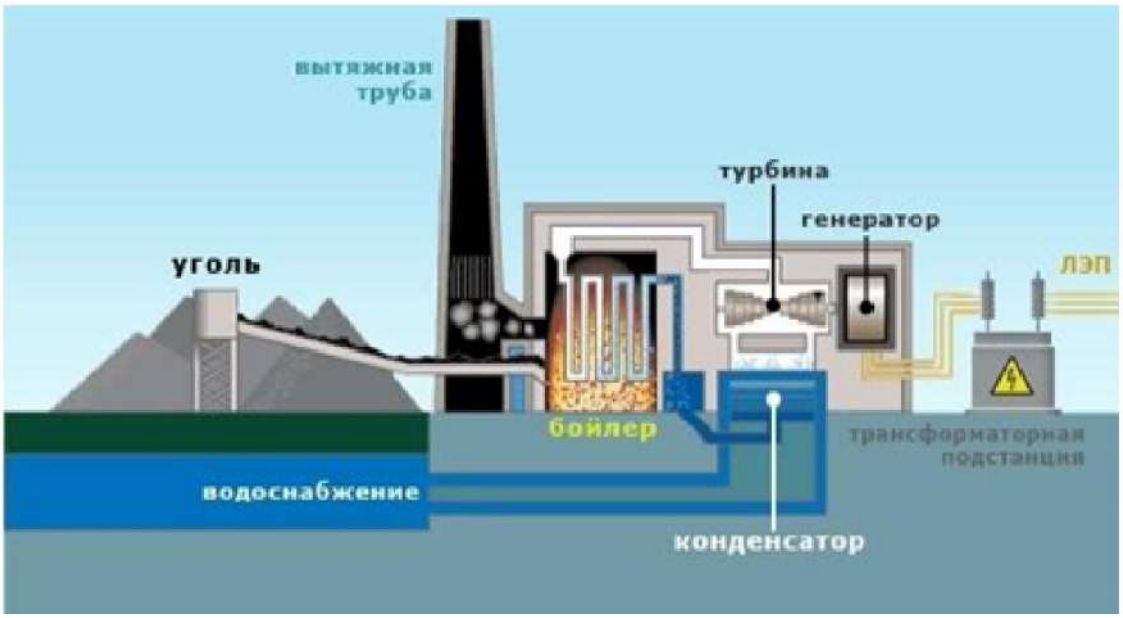
49Коренский В. Ф.Теория механизмов, машин и манипуляторов. Учебно-методический комплекс для студентов специальностей 1-36 01 01, 1-36 01 03В двух тома. Новополоцк «ПГУ» 2008

50.Конюхова, Е.А. Электроснабжение объектов: Учебное пособие для среднего профессионального образования / Е.А. Конюхова. - М.: ИЦ Академия, 2013. - 320 с.

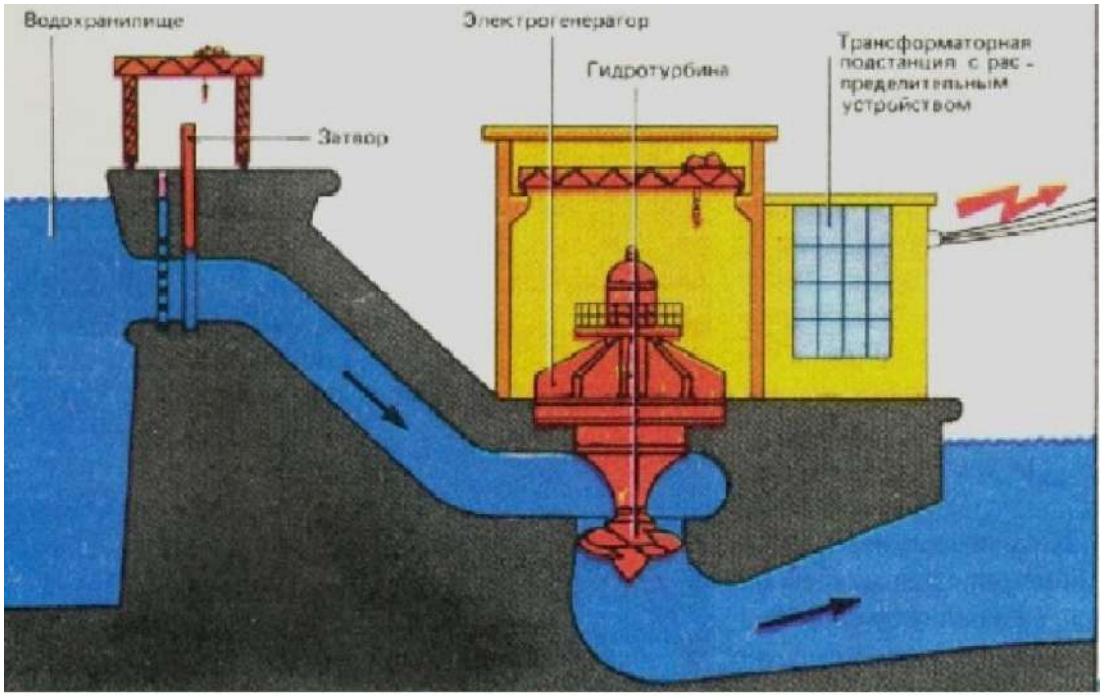
51.Сибикин, Ю.Д. Электроснабжение / Ю.Д. Сибикин. - М.: Радио и связь, 2012. - 328 с.

53.Электрооборудование электрических станций и подстанций: учебник для студентов учреждений среднего проф. образования / Л.Д. Рожкова, Л.К. Карнеева, Т.В. Чиркова. – 6-е изд., стер. – М.: издательский центр «Академия», 2009. – 448с.

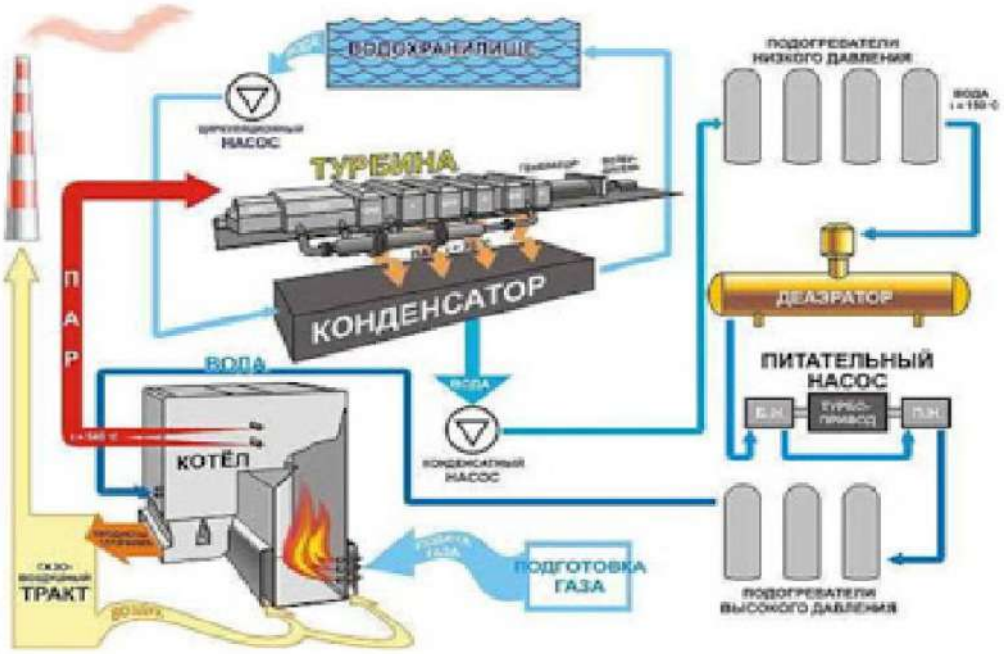
54.Лыкин, А. В. Электрические системы и сети: учебник для среднего профессионального образования / А. В. Лыкин. – Москва: Издательство Юрайт, 2018. – 362 с. Точка доступа URL: https://urait.ru/index.php/bcode/429859


вытяжная труба
турбина
генератор
уголь
ЛЭП
бойлер
трансформаторная подстанция
водоснабжение
конденсатор

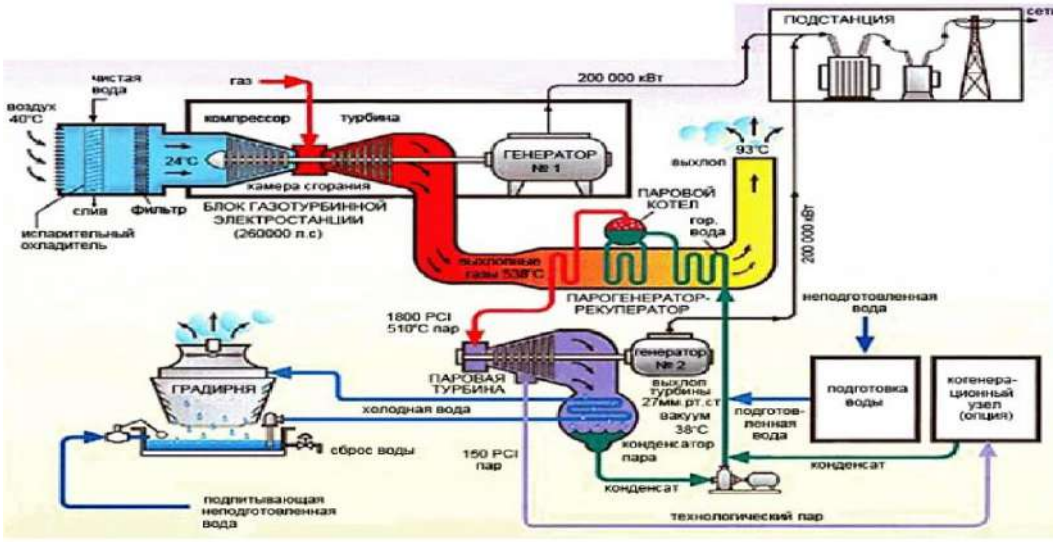
а) ТЭС


Водохранилище
Электрогенератор
Гидротурбина
Трансформаторная подстанция с распределительным устройством
Затвор

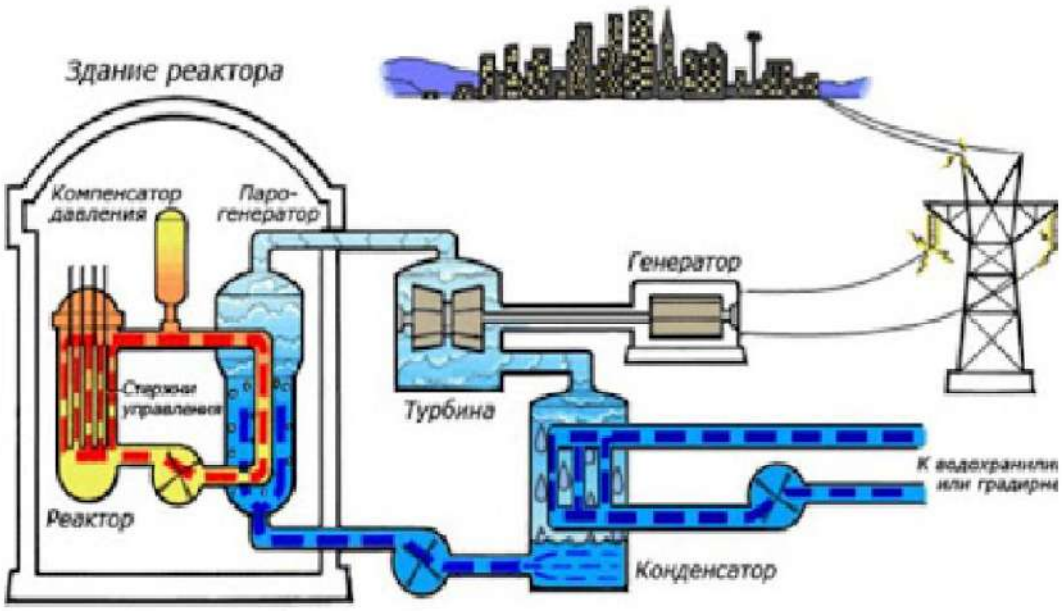
б) ГЭС


ВОДОХРАНИЛИЩЕ
ПОДОГРЕВАТЕЛИ НИЗКОГО ДАВЛЕНИЯ
ВОДА
t ≈ 150 °C
ЦИРКУЛЯЦИОННЫЙ НАСОС
ТУРБИНА
ГЕНЕРАТОР
ВОЗБУДИТЕЛЬ
П
А
Р
КОНДЕНСАТОР
ДЕЛЬЗРАТОР
ПИТАТЕЛЬНЫЙ НАСОС
ВОДА
КОТЁЛ
КОНДЕНСАТНЫЙ НАСОС
ГАЗО-ВОЗДУШНЫЙ ТРАКТ
ПОДГОТОВКА ГАЗА
ПОДОГРЕВАТЕЛИ ВЫСОКОГО ДАВЛЕНИЯ

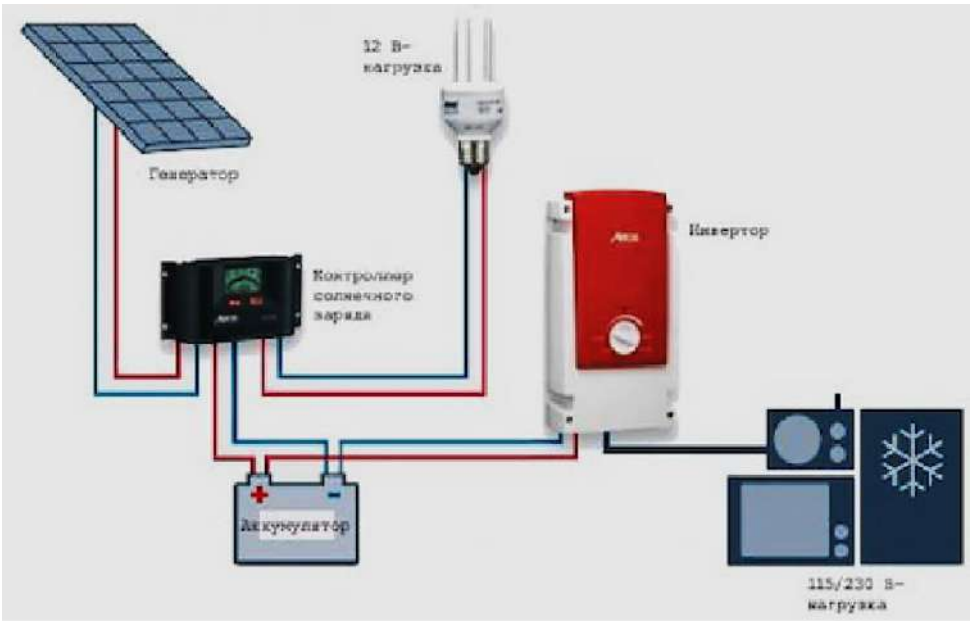
в) ГРЭС


ПОДСТАНЦИЯ
сеть
200 000 кВт
чистая вода
газ
воздух 40°C
компрессор
турбина
24°C
ГЕНЕРАТОР № 1
93°C
выхлоп
камера сгорания
ПАРОВОЙ КОТЕЛ
слив
фильтр
БЛОК ГАЗОТУРБИННОЙ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ (260000 л.с)
гор. вода
испарительный охладитель
выхлопные газы 538°C
200 000 кВт
ПАРОГЕНЕРАТОР-РЕКУПЕРАТОР
неподготовленная вода
1800 PCI 510°C пар
генератор № 2
ГРАДИРНЯ
ПАРОВАЯ ТУРБИНА
выхлоп турбины 27мм.рт.ст вакуум 38°C
подготовка воды
когенерационный узел (опция)
холодная вода
подготовленная вода
сброс воды
конденсатор пара
150 PCI пар
конденсат
конденсат
подпитывающая неподготовленная вода
технологический пар

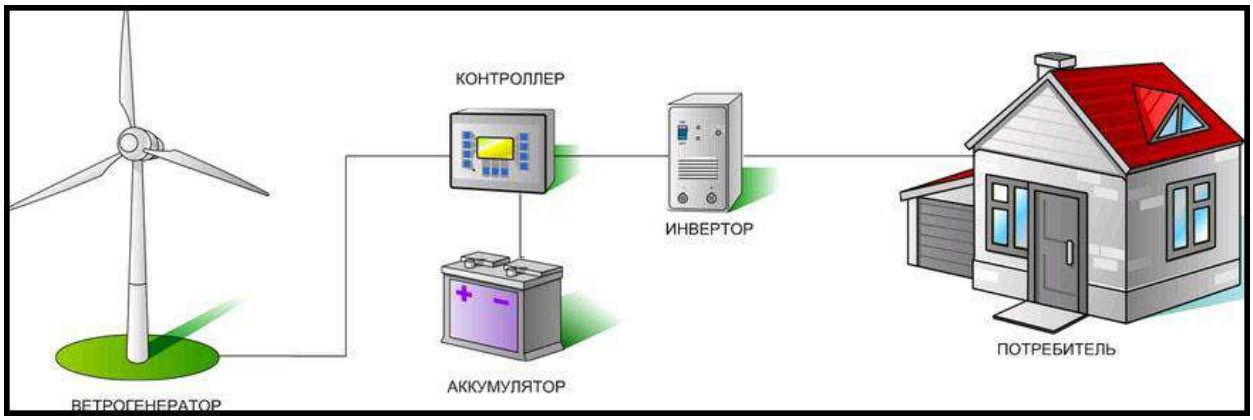
г) ТЭЦ



д) АЭС



е) солнечные батареи



ж) ветрогенератор