

Документ подписан простой электронной подписью

Информация о владельце:

ФИО: Фурсов Владимир Александрович

Должность: И.о. директора Пятигорского института (филиал) Северо-Кавказского
федерального университета

Дата подписания: 05.06.2026 09:53:28

Уникальный программный ключ:

1c378726a41fd0143ae5bccc8ba81860b0b0aa62

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ
ФЕДЕРАЦИИ**

**Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования**

«СЕВЕРО-КАВКАЗСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Пятигорский институт (филиал) СКФУ

Методические указания

по выполнению лабораторных работ

по дисциплине «ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЕ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ»

для студентов направления подготовки

13.03.02 Электроэнергетика и электротехника

Пятигорск 2026 г.

Содержание

№ п/п	Стр.
	Введение
1.	Цель и задачи изучения дисциплины
2.	Оборудование и материалы
3.	Наименование лабораторных работ
4.	Содержание лабораторных работ
4.1	Лабораторная работа №1. Качество электрической энергии. Автоматизированная система контроля и учета электроэнергии в централизованных комплексах диспетчерского управления.
4.2	Лабораторная работа № 2. Компенсация реактивной мощности. Пуск в ход синхронного компенсатора реактивной мощности.
4.3	Лабораторная работа № 3. Токи короткого замыкания. Определение соотношения токов короткого замыкания различных видов при замыкании в одной и той же точке сети, питающейся от источника практически бесконечной мощности.
4.4	Лабораторная работа №4. Токи короткого замыкания. Исследование влияния на динамическую устойчивость натурального синхронного генератора длительности короткого замыкания в электроэнергетической системе.
4.5	Лабораторная работа №5. Релейная защита и автоматика в системах электроснабжения промышленных зданий и предприятий. Децентрализованные комплексы релейной защиты и автоматики электроэнергетических систем.
4.6	Лабораторная работа №6. Релейная защита и автоматика в системах электроснабжения промышленных зданий и предприятий. Централизованная интеллектуальная защита распределительной сети.
4.7	Лабораторная работа №7. Релейная защита и автоматика в системах электроснабжения промышленных зданий и предприятий. Максимальная токовая защита с независимой выдержкой времени линии электропередачи и вводного выключателя.
7.8	Лабораторная работа №8. Электробаланс и определение потерь электрической энергии. Исследование влияния параметров элементов, схемы и режима электрической системы на его устойчивость.

- 4.9 Лабораторная работа №9. Оптимизация систем электроснабжения. Дистанционное управление и отображение режимных параметров в централизованных комплексах диспетчерского управления.
- 5 Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины
 - 5.1 Перечень основной и дополнительной литературы, необходимой для освоения дисциплины
 - 5.2 Перечень учебно-методического обеспечения самостоятельной работы обучающихся по дисциплине
 - 5.3 Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети Интернет, необходимых для освоения дисциплины

Приложения

Введение

Целью работы в лаборатории является углубление и закрепление приобретенных теоретических знаний путем экспериментальной проверки теоретических положений, а также знакомство с электронными компонентами, оборудованием, измерительными приборами и аппаратурой, используемыми в лаборатории.

В результате выполнения лабораторных работ студенты должны приобрести умения и навыки по сборке и исследованию электронных схем и приборов, измерениям электрических величин. Тематика лабораторных работ полностью соответствует содержанию основных разделов курса, изучаемого в высших технических учебных заведениях. В предлагаемом учебном пособии описано одиннадцать лабораторных работ. В описании каждой лабораторной работы сформулирована ее цель, изложены основные теоретические положения, описана схема установки для проведения экспериментального исследования, даны рекомендации по проведению опытов и обработке результатов измерений, а также контрольные вопросы.

1. Цель и задачи изучения дисциплины

Цель изучения дисциплины «Электроснабжение промышленных предприятий» состоит в получении знаний о построении и режимах работы систем электроснабжения промышленных и гражданских объектов, а также объектов сельского хозяйства и транспортных систем.

Задачей дисциплины является изучение физических основ формирования режимов электропотребления, освоение основных методов расчёта интегральных характеристик режимов и определения расчётных нагрузок, показателей качества электроснабжения, изучение методов достижения заданного уровня надежности оборудования и систем электроснабжения.

2. Оборудование и материалы

Аппаратные средства:

– Научно-исследовательский комплекс «Автоматизированные средства управления и защиты в системах электроснабжения промышленных предприятий»

Учебная аудитория для проведения учебных занятий, оснащена оборудованием и техническими средствами обучения. Переносной ноутбук, проектор, доска магнитно-маркерная.

3. Наименование лабораторных работ

Для заочной формы обучения предусмотрены следующие лабораторные работы: лабораторная работа №6. Качество электрической энергии. – 2 часа, лабораторная работа №11. Компенсация реактивной мощности – 2 часа, лабораторная работа №12 Токи короткого замыкания- 2 часа, лабораторная работа №15 Релейная защита и автоматика в системах электроснабжения промышленных зданий и предприятий- 2 часа.

№ Темы дисциплины	Наименование тем дисциплины, их краткое содержание	Объем часов	Из них практическая подготовка, часов
8 семестр			
6	Лабораторная работа №1. Качество электрической энергии. Автоматизированная система контроля и учета электроэнергии в централизованных комплексах диспетчерского управления.	4	

	Изучить принципы реализации системы учета электроэнергии.		
11	Лабораторная работа № 2. Компенсация реактивной мощности. Пуск в ход синхронного компенсатора реактивной мощности. Приобрести навыки по включению синхронного компенсатора реактивной мощности без нагрузки на валу.	4	
12	Лабораторная работа № 3. Токи короткого замыкания. Определение соотношения токов короткого замыкания различных видов при замыкании в одной и той же точке сети, питающейся от источника практически бесконечной мощности. Приобретение навыков опытного определение соотношение токов КЗ различных видов.	4	2
12	Лабораторная работа №4. Токи короткого замыкания. Исследование влияния на динамическую устойчивость натурального синхронного генератора длительности короткого замыкания в электроэнергетической системе. Исследовать влияние на статическую устойчивость натурального синхронного генератора однофазных, двухфазных и трехфазных коротких замыканий.	4	
15	Лабораторная работа №5. Релейная защита и автоматика в системах электроснабжения промышленных зданий и предприятий. Децентрализованные комплексы релейной защиты и автоматики электроэнергетических систем. Изучить принципы реализации комплекса релейной защиты и автоматики электростанции с применением типовых устройств.	4	2
15	Лабораторная работа №6. Релейная защита и автоматика в системах электроснабжения промышленных зданий и предприятий. Централизованная интеллектуальная защита распределительной сети. Изучить принципы реализации централизованного комплекса релейной защиты и автоматики электростанции.	4	
15	Лабораторная работа №7. Релейная защита и автоматика в системах электроснабжения промышленных зданий и предприятий. Максимальная токовая защита с независимой выдержкой времени линии электропередачи и вводного выключателя. Изучить принцип действия максимальной токовой защиты.	4	
16	Лабораторная работа №8. Электробаланс и определение потерь электрической энергии.	4	

	Исследование влияния параметров элементов, схемы и режима электрической системы на его устойчивость. Определить влияние длины линии электропередачи (ее эквивалентного сопротивления) на предел статической устойчивости СГ в номинальном режиме.		
17	Лабораторная работа №9. Оптимизация систем электроснабжения. Дистанционное управление и отображение режимных параметров в централизованных комплексах диспетчерского управления. Изучить принципы реализации системы передачи, обработки и отображения сигналов телеизмерений и теле сигнализации и телеуправления.	4	
	Итого за 8 семестр:	36	4
	Итого:	36	4

4. Содержание лабораторных работ

Лабораторная работа №1. Качество электрической энергии. Автоматизированная система контроля и учета электроэнергии в централизованных комплексах диспетчерского управления.

Цель работы: Изучить принципы реализации системы учета электроэнергии.

Основы теории:

В связи с переходом к рыночной экономике возникла необходимость повысить эффективность управления энергопотреблением, поскольку это отвечает экономическим интересам поставщиков и потребителей электроэнергии. Одними из направлений решения данной задачи являются точный контроль и учет электроэнергии. Именно это направление должно обеспечить значительную часть общего энергосбережения, потенциал которого составляет более 1/3 всего нынешнего объема энергопотребления.

Новые экономические отношения в сфере управления энергопотреблением проявляются в формировании единого рынка электроэнергии. Исходя из вышесказанного, рынок электроэнергии должен представлять собой многокомпонентный механизм согласования экономических интересов поставщиков и потребителей электроэнергии. Одним из самых важных компонентов рынка электроэнергии является его инструментальное обеспечение, которое представляет собой совокупность систем, приборов, устройств, каналов связи, алгоритмов и т. п. для контроля и управления параметрами энергопотребления. Базой формирования и развития инструментального обеспечения являются автоматизированные системы контроля и учета потребления электроэнергии.

В условиях государственного централизованного планирования энергопотребления баланс экономических интересов производителей и потребителей электроэнергии сводился к уровню государственных планов,

при этом потребитель должен был получать запланированное количество

дешевой электроэнергии в удобное для него время. Поэтому основное назначение электроэнергетической отрасли состояло в надежном, бесперебойном энергоснабжении потребителей в запланированных объемах. Для достижения этой цели осуществлялось управление процессом производства, передачи и распределения электроэнергии. Нагрузка регулировалась методом прямого управления по требованию правительственных органов и энергокомпаний. В этих условиях электрическая энергия рассматривалась, прежде всего, как физическая субстанция, поэтому первоочередным (и единственно необходимым) сред-

ством управления энергопотреблением) являлась автоматизированная система диспетчерского управления (АСДУ), выполняющая роль регулятора потоков электрической энергии в процессе ее производства, передачи и распределения. Потребность в учете больших потоков электроэнергии при ее экспорте и при перетоках между энергосистемами, объединенными энергетическими системами и в масштабах Единой энергетической системы, обусловила необходимость создания локальных автоматизированных систем измерения (контроля) электроэнергии (АСИЭ). В период перехода к рыночной экономике электроэнергия становится полноценным товаром, объектом купли-продажи. Поскольку процесс купли-продажи завершается только после оплаты (реализации), электроэнергия как товар выражается не только количеством, но и стоимостью. При этом основными рыночными параметрами становятся количество полезно отпущенной энергии и ее оплаченная стоимость, а формирующиеся розничный и оптовый рынки электроэнергии представляют собой по сути рынок полезно потребленной электроэнергии.

Развитие рынка электроэнергии на основе экономического метода управления потребовало создания полномасштабных иерархических систем: автоматизированных систем измерения электроэнергии (АСИЭ), учета потребления и сбыта электроэнергии (АСУПСЭ), диспетчерского управления

(АСДУ), контроля и учета энергопотребления (АСКУЭ). Основная особенность экономического метода управления рассмотрение энергопотребления как главного звена, управляющего рынком электроэнергии, который в свою очередь представляется совокупностью собственно технологического процесса (производства, передачи, распределения и потребления электроэнергии), учетно-финансового процесса энергопотребления, а также политико-экономического (отражающего текущую политику в области энергоиспользования). Это и является предпосылкой для управления рынком электроэнергии посредством создания единой, интегрированной, системы управления энергопотреблением на базе систем АСИЭ, АСУПСЭ, АСДУ и АСКУЭ.

Организация общероссийского оптового и розничного рынков энергии и мощности обуславливает необходимость повышения точности и достоверности учета электроэнергии путем создания отраслевой иерархической системой АСКУЭ и ее интеграции с банковскими системами для контроля и ускорения платежей на оптовом и розничном рынках энергии и мощности.

Современное состояние технических средств учета электроэнергии и оснащение энергосистем средствами вычислительной техники создают предпосылки для создания АСКУЭ, обеспечивающей выдачу необходимой коммерческой информации в реальном масштабе времени на все уровни управления и обслуживающие их банки.

Указание по технике безопасности:

Указания по технике безопасности при выполнении лабораторных работ приведены в приложение А.

Указания по выполнению лабораторной работы:

На лабораторной стойке «Модель электростанции №1» собрать схему лабораторных испытаний, соответствующую режиму №1.

На лабораторной стойке «Модель электростанции №2» собрать схему лабораторных испытаний, соответствующую режиму №2.

Включить автоматы источников питания моделей электростанций №1 и №2.

На персональном компьютере централизованного комплекса диспетчерского управления (ЦКДУ) запустить программный комплекс «DeltaProfi» (Пуск – Программы – Лабораторный комплекс – DeltaProfi). Загрузить необходимую конфигурацию программы командой «Работы – ИЭС – Комплекс ДУ – АСКУЭ». Запустить программу в работу кнопкой «Пуск» или командой главного меню «Управление – Пуск» или горячей клавишей F5.

На персональном компьютере модели электростанции №1 запустить программный комплекс «DeltaProfi» (Пуск – Программы – Лабораторный комплекс – DeltaProfi). Загрузить необходимую конфигурацию программы командой «Работы – ИЭС – Электростанция №1 – АСКУЭ». Запустить программу в работу кнопкой «Пуск» или командой главного меню «Управление – Пуск» или горячей клавишей F5.

На персональном компьютере модели электростанции №2 запустить программный комплекс «DeltaProfi» (Пуск – Программы – Лабораторный комплекс – DeltaProfi). Загрузить необходимую конфигурацию программы командой «Работы – ИЭС – Электростанция №2 – АСКУЭ». Запустить программу в работу кнопкой «Пуск» или командой главного меню «Управление – Пуск» или горячей клавишей F5.

Исследовать работу электроэнергетической сети в режиме одностороннего питания. Для этого, дистанционно включить выключатели Q6 и Q7 электростанции №1 (щелчком левой кнопки мыши по изображению выключателя на мнемосхеме локального комплекса управления электростанции). Аналогичным образом включить выключатель Q6 на электростанции №2. На централизованном комплексе диспетчерского управления подать команды на включение выключателей линий электропередач W1 и W2 со стороны электростанции №1 и №2. Через 10 минут записать текущие показания приборов учета электроэнергии на электростанциях и ЦКДУ.

Включить в работу энергоблок электростанции №2. Для этого, перевести тумблер SA1 разрешения работы частотного преобразователя в положение «Вперед». Изменяя положение потенциометра RP1 модуля преобразователя частоты, задать уставку по частоте 50Гц, соответствующую частоте вращения приводного двигателя 1500 об/мин. Подать дистанционную команду на включение генераторного выключателя Q3. Включить тумблер подачи питания «Сеть» модуля возбуждения. Плавно повышая сигнал задания потенциометром RP1, установить _ номинальный ток возбуждения генератора 0,8А. Увеличивая сигнал задания мощности приводного двигателя потенциометром RP1 перевести генератор в режим выдачи активной мощности 50 Вт. Через 10 минут записать текущие показания приборов учета электроэнергии, определить расход электрической энергии по линиям электропередач и нагрузкам за данный интервал времени.

Отключить генератор электростанции №2 от сети дистанционной командой отключения выключателя Q3. Перевести потенциометры RP1 модуля возбуждения и модуля преобразователя частоты в крайнее левое положение. Отключить переключатель «Сеть» источника возбуждения синхронного генератора. Переключатель SA1 разрешения работы частотного преобразователя перевести в среднее положение.

На ЦКДУ подать команды теле отключения всех выключателей в электроэнергетической системе. Отключить автоматы источников питания моделей электростанций №1 и №2.

Остановить работу программ управления на электростанциях №1 и №2 кнопкой «Стоп», командой главного меню «Управление – Стоп» или горячей клавишей F6. Аналогичным образом, остановить работу программы управления на ЦКДУ. Внимание! При останове работы программ на локальных комплексах управления электростанциями, программное обеспечение на ЦКДУ выдает сообщение, о том, что один из клиентов информационной сети был отключен. Это не является ошибкой.

Проанализировать полученные данные, определить баланс по приборам учета электроэнергии, объяснить возможные расхождения. Оформить отчет по лабораторной работе. В отчете отразить, для чего необходим учет электроэнергии, в чем разница между коммерческим и техническим учетом электроэнергии, зачем необходим учет реактивной электрической энергии.

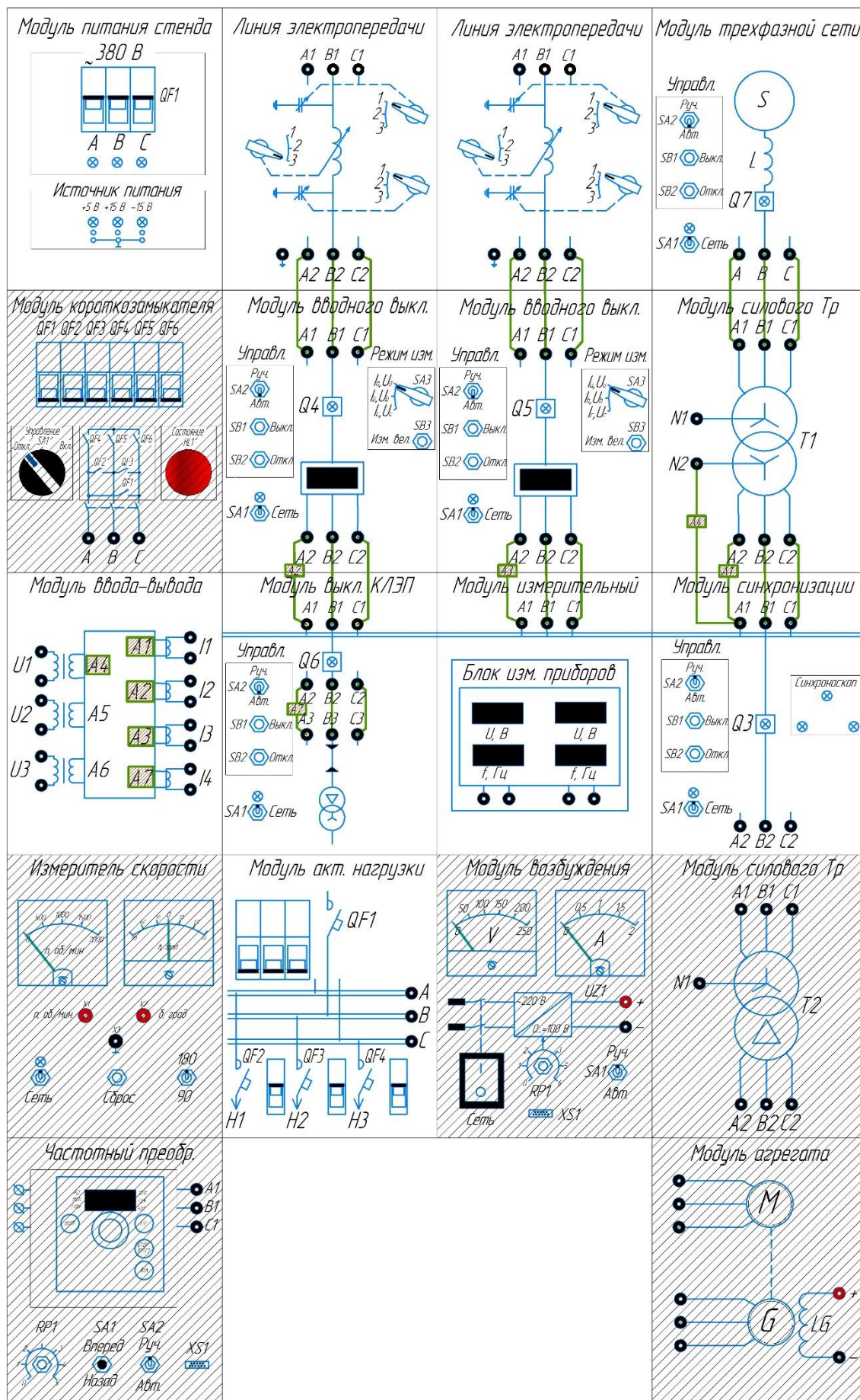


Рисунок 9.1 – Схема соединений лабораторной стойки №1

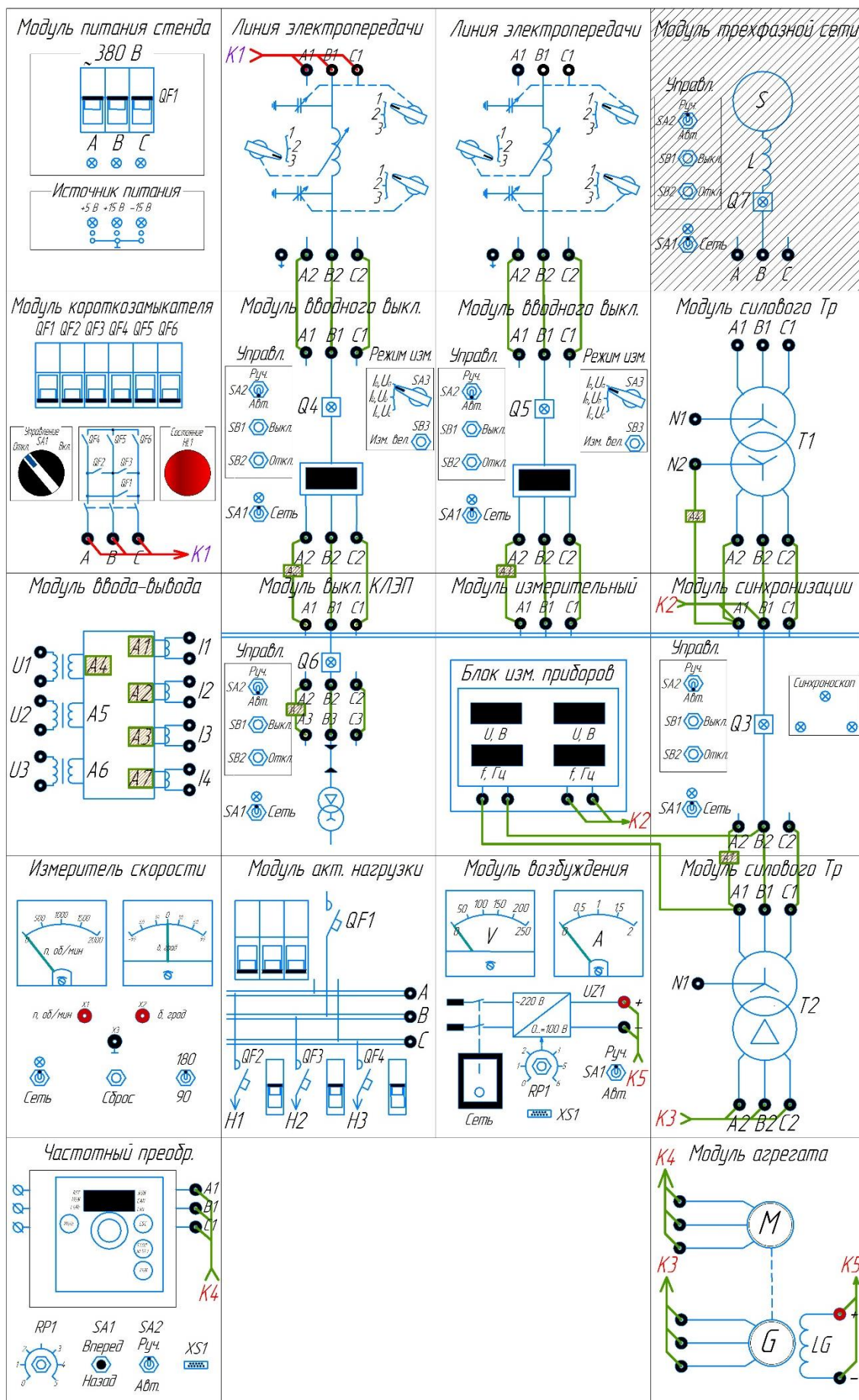


Рисунок 9.2 – Схема соединений лабораторной стойки №2

Содержание отчета:

Отчет должен содержать:

1. Название работы;
2. Цель работы;
3. Краткие теоретические сведения;
4. Описание используемого оборудования и материалов;
5. Порядок выполнения работы;
6. Вычисления и обработка результатов;
7. Выводы.

Контрольные вопросы:

1. Расшифровать аббревиатуру АСКУЭ.
2. Определить цели и задачи АСКУЭ.
3. Дать краткую характеристику уровням АСКУЭ.
4. Перечислить основные нормативно-правовые документы, определяющие направления и принципы в организации учета электроэнергии.
5. Определить основные способы организации АСКУЭ, раскрыть принцип построения и решаемые задачи.

Лабораторная работа № 2. Компенсация реактивной мощности. Пуск в ход синхронного компенсатора реактивной мощности.

Цель работы: Приобрести навыки по включению синхронного компенсатора реактивной мощности без нагрузки на валу.

Основы теории:

Существуют несколько способов пуска компенсатора. Все они в основном заключаются в том, что в процессе пуска ротор машины разгоняется до скорости, близкой к скорости вращающегося поля, после чего компенсатор входит в синхронизм и начинает работать как синхронный.

Выделяют пуск с помощью разгонного двигателя, частотный и асинхронный пуск.

Для осуществления последнего на роторе в полюсных наконечниках размещают пусковую обмотку. Эта обмотка выполняется по типу короткозамкнутой обмотки асинхронного двигателя. При пуске трехфазная обмотка статора включается в сеть, ротор компенсатора приходит во вращение и разворачивается до скорости, близкой к синхронной. Вхождение в синхронизм достигается после подачи постоянного тока в обмотку возбуждения.

В данном эксперименте обмотки ротора универсальной машины переменного тока выполняют роль пусковых при разгоне компенсатора. По окончании разгона в обмотки ротора подается постоянный ток и происходит втягивание машины в синхронизм.

Указание по технике безопасности:

Указания по технике безопасности при выполнении лабораторных работ приведены в приложение А.

Указания по выполнению лабораторной работы:

- Замыкаем обмотку возбуждения двигателя.
- Включите выключатель АЗ кнопкой «ВКЛ».
- Включаем двигатель как асинхронный.
- Включите выключатель АЗ кнопкой «ВКЛ». Двигатель М1 должен прийти во вращение.
- Размыкаем обмотку возбуждения и подключаем к ней возбудитель. Действие производим быстро и именно в указанной последовательности, во избежание включения возбудителя G3 на короткое замыкание.

-
- The diagram illustrates a power system for a laboratory experiment. It features a three-phase power source (A1, A5) connected to a transformer (A2) and a motor (M1). The motor is connected to a load (A3) and a generator (G1). The generator is connected to a load (A4) and a meter (G2). The motor is also connected to a meter (G3). The diagram includes various electrical symbols and labels for components and measurements.

16

Содержание отчета:

Отчет должен содержать:

1. Название работы;
2. Цель работы;
3. Краткие теоретические сведения;
4. Описание используемого оборудования и материалов;
5. Порядок выполнения работы;
6. Вычисления и обработка результатов;
7. Выводы.

Контрольные вопросы:

1. Принцип действия синхронной машины и особенности ее конструкции. От чего зависит частота вращения синхронного двигателя?
2. При каких условиях можно использовать асинхронную машину в качестве синхронной?
3. Каково назначение синхронного компенсатора?
4. Какой ток возбуждения называется нормальным?
5. Охарактеризуйте работу синхронного компенсатора в режиме недовозбуждения и в каких случаях такой режим применяется?
6. Охарактеризуйте работу синхронного компенсатора в режиме перевозбуждения и в каких случаях такой режим применяется?
7. Поясните порядок переключений обмотки возбуждения при асинхронном пуске СК.
8. Какой режим (перевозбуждения или недовозбуждения) является расчетным для СК и почему?
9. По каким признакам, находясь на щите управления или в машинном зале, можно узнать, что данный СК находится в асинхронном режиме?
10. Как изменится режим СК после потери возбуждения?

Лабораторная работа № 3. Токи короткого замыкания. Определение соотношения токов короткого замыкания различных видов при замыкании в одной и той же точке сети, питающейся от источника практически бесконечной мощности.

Цель работы: Приобретение навыков опытного определение соотношение токов КЗ различных видов.

Основы теории:

Коротким замыканием (КЗ) называется соединение между фазами, фазой и землей (нулевым проводом), непредусмотренные нормальными условиями работы сети.

В большинстве случаев причиной возникновения КЗ в системе является нарушение изоляции электрического оборудования вследствие износа изоляции, не выявленного своевременно при профилактических испытаниях, или из-за перенапряжений. КЗ могут быть вызваны ошибочными действиями обслуживающего персонала, механическими повреждениями кабельных линий, схлестыванием, набросом на провода или перекрытием птицами проводов воздушных линий.

При возникновении КЗ общее сопротивление цепи системы электроснабжения уменьшается, вследствие чего токи в ветвях системы резко увеличиваются, а напряжения на отдельных участках системы снижаются.

Короткие замыкания в трехфазных сетях разделяют на трех-, двух-, однофазные и двухфазные на землю, а системы токов и напряжений получаются искаженными. Трехфазное КЗ является симметричным, поскольку при нем все три фазы оказываются в одинаковых условиях. Все остальные виды КЗ являются несимметричными, поскольку фазы оказываются в разных условиях, а системы токов и напряжений получаются искаженными

Короткое замыкание сопровождается переходным процессом. Рассмотрим переходный процесс, возникающий при трехфазном КЗ в цепи, питающейся от источника бесконечной мощности.

Источником бесконечной мощности называется такой источник, на зажимах которого в нормальном режиме и при КЗ сохраняется симметричная и неизменная по величине трехфазная система напряжений. Угол φ между током и напряжением каждой фазы определяется соотношением активных и индуктивных сопротивлений всей цепи, включая нагрузку.

Короткое замыкание делит цепь на две части:

- правую - с сопротивлениями r_1 и $x_1 = \omega L_1$ в каждой фазе

- левую - содержащую источник питания и сопротивления цепи КЗ r_k и $x_k = \omega L_k$. Процессы обеих частей схемы при трехфазном КЗ протекают независимо.

Правая часть рассматриваемой цепи оказывается зашунтированной коротким замыканием, и ток в ней будет поддерживаться до тех пор, пока запасенная в индуктивности L энергия магнитного поля не перейдет в тепло, выделяющееся в активном сопротивлении r_l . Величина тока при активно-индуктивном характере сопротивления цепи не превысит тока нормального режима, который постепенно затухая до нуля, не представляет опасности для оборудования.

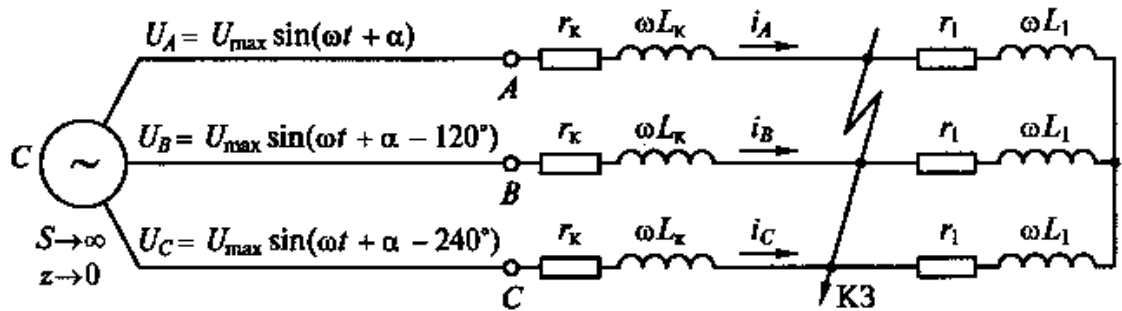


Рисунок 2.1 – Трехфазное КЗ в цепи, питающейся от источника бесконечной мощности

Изменение режима в левой части цепи, содержащей источник питания, при наличии индуктивности L_k также сопровождается переходным процессом. Из курса ТОЭ уравнение этого процесса:

$$u = i \cdot r_k + L_k \cdot \frac{di}{dt}$$

Решение этого уравнения даст выражение для мгновенного значения тока в любой момент времени t от начала КЗ.

$$i_{kt} = \frac{U_m}{z_k} \cdot \sin(\omega \cdot t + \alpha - \varphi_k) + i_{a0} \cdot e^{-\frac{t}{T_a}}$$

$$T_a = \frac{L_k}{r_k} = \frac{x_k}{\omega \cdot r_k}$$

Вынужденная составляющая тока КЗ имеет периодический характер с частотой, равной частоте напряжения источника. Называют эту составляющую обычно периодическим током КЗ. Амплитуда периодической составляющей тока КЗ обозначается как I_{pm} и определяется отношением U_m/z_k :

$$i_{nt} = \frac{U_m}{z_k} \cdot \sin(\omega \cdot t + \alpha - \varphi_k) = I_{nm} \cdot \sin(\omega \cdot t + \alpha - \varphi_k)$$

Переходный процесс при питании цепи от источника бесконечной мощности завершается после затухания апериодической составляющей тока, и далее полный ток КЗ равен его периодической составляющей, неизменной по амплитуде.

Действующее значение тока для произвольного момента времени КЗ равно:

- периодической составляющей:

$$I_{it} = I_{i0} = \frac{I_{im}}{\sqrt{2}} = const$$

- апериодической составляющей

$$I_{at} = I_{at}$$

- полного тока КЗ

$$I_{kt} = \sqrt{I_{it}^2 + I_{at}^2}$$

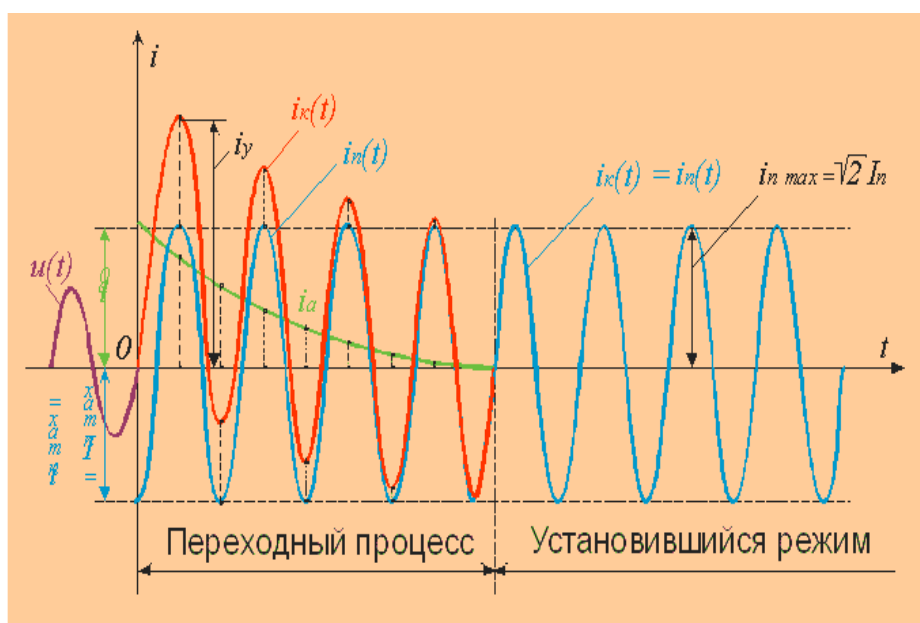


Рисунок 2.2 – Изменение тока трехфазного короткого замыкания и его составляющих для случая возникновения максимального значения апериодической составляющей

Указание по технике безопасности:

Указания по технике безопасности при выполнении лабораторных работ приведены в приложение А.

Указания по выполнению лабораторной работы:

Убедитесь, что устройства, используемые в эксперименте, отключены от сети электропитания.

Соедините гнезда защитного заземления устройств, используемых в эксперименте, с гнездом "РЕ" трехфазного источника питания G1.

Соедините вилки питания 220 В устройств, используемых в эксперименте, сетевыми шнурами с розетками удлинителя.

Соедините аппаратуру в соответствии с электрической схемой соединений.

Смоделируйте интересующий вид короткого замыкания. Для моделирования трехфазного замыкания соедините точки K1, K2, K3 и K4; двухфазного – K1 и K2; двухфазного на землю – K1, K2 и K4; однофазного – K1 и K4.

Смоделируйте режим работы нейтралей трансформаторов исследуемой сети. Для моделирования глухозаземленной нейтрали соедините точки N1 (N3) и N2. Для случая изолированной нейтрали оставьте эти точки несоединенными.

Номинальные фазные напряжения трансформаторов A1 и A5 выберите равными 127 В.

Выберите мощность индуктивной нагрузки A7 – 100 % от 40 Вар во всех фазах, активной A6 – 10% от 50 Вт во всех фазах.

Переключатель режима работы выключателя A4 установите в положение «РУЧН.».

Установите следующие параметры моделей линий электропередачи A2 и A3: $R = 200$ Ом, $L/R = 1,2/32$ Гн/Ом, $C = 0$ мкФ.

Приведите в рабочее состояние персональный компьютер A10 и запустите программу «Многоканальный осциллограф».

Включите автоматические выключатели и устройство защитного отключения источника G1.

Включите ключ-выключатель источника G1.

Для регистрации токов фаз выберите сканирование каналов АСН0-АСН8, АСН2-АСН10, АСН4-АСН12; для регистрации напряжений выберите каналы АСН1-АСН9, АСН3-АСН11, АСН5-АСН13. Отобразите панель цифровых индикаторов нажатием на виртуальную кнопку. Настройте панель на регистрацию действующих значений сигналов. Выберите подходящие множители (0,1 для токов и 200 – для напряжений).

Для измерения токов и напряжений схемы также можно использовать блок мультиметров P1.

Нажмите кнопки «ВКЛ» включения сканирования первого, второго и третьего каналов виртуального осциллографа.

Нажмите кнопку «ВКЛ» источника G1. Включите выключатель «СЕТЬ» трехполюсного выключателя A5.

Смоделируйте короткое замыкание, нажав кнопку «ВКЛ» трехполюсного выключателя А4. По цифровым индикаторам определите значения установившихся токов и напряжений при коротком замыкании.

Отключите выключатель А4 нажатием на кнопку «ОТКЛ» на его передней панели.

Для анализа влияния удаленности точки короткого замыкания от генератора можно изменять положение точки КЗ и параметры моделей элементов.

Внимание! Запрещается моделировать короткие замыкания при суммарном индуктивном сопротивлении линий менее 0,6 Гн. Запрещается моделировать однофазное КЗ на землю при емкостях фаз линий более 0,18 мкФ.

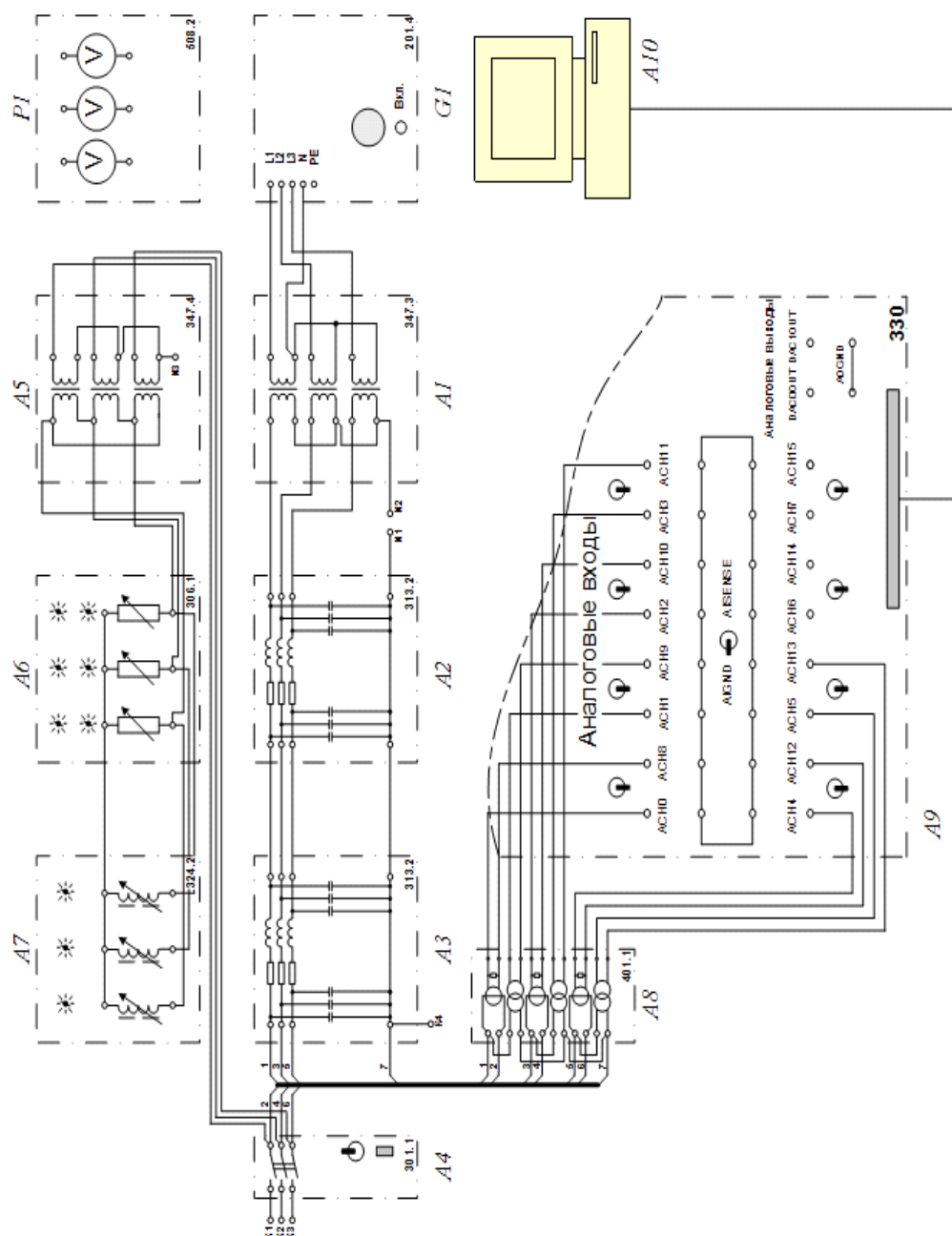


Рисунок 2.3 – Принципиальная схема исследования соотношения токов короткого замыкания различных видов при замыкании в одной и той же точке сети

Содержание отчета:

Отчет должен содержать:

1. Название работы;
2. Цель работы;
3. Краткие теоретические сведения;
4. Описание используемого оборудования и материалов;
5. Порядок выполнения работы;
6. Вычисления и обработка результатов;
7. Выводы.

Контрольные вопросы:

1. Каковы причины возникновения КЗ в электроустановках?
2. Чем определяется наличие периодической и аperiodической составляющих в токе КЗ?
3. Дайте определение ударного тока КЗ.
4. Через какой промежуток времени после появления КЗ, возникает ударный ток?
5. Какой эффект дает применение быстродействующих устройств релейной защиты и отключающих аппаратов?
6. Какие виды КЗ возможны в сетях с эффективно заземленными и незаземленными нейтральными?
7. Каковы преимущества и недостатки сетей с изолированными, компенсированными, эффективно заземленными и глухо заземленными нейтральными?
8. Какое воздействие на электрооборудование вызывает ток КЗ?

Лабораторная работа №4. Токи короткого замыкания. Исследование влияния на динамическую устойчивость натурального синхронного генератора длительности короткого замыкания в электроэнергетической системе.

Цель работы: исследовать влияние на статическую устойчивость натурального синхронного генератора однофазных, двухфазных и трехфазных коротких замыканий.

Основы теории:

В любой момент времени в электроэнергетической системе может возникнуть резкое нарушение квазиустановившегося режима работы, из-за короткого замыкания, включения или отключения линий электропередачи, генерирующего оборудования или электроустановок потребителя и т.п. Следствием возникшего возмущения является отклонение скоростей вращения роторов генераторов от синхронной, в результате в энергосистеме возникают качания роторов генераторов станций, что ведет к возникновению качаний перетоков активной и реактивной мощности, а также напряжений и токов. Если возникающие колебания затухают, то считается, что динамическая устойчивость сохраняется, в противном случае – динамическая устойчивость нарушается.

Под понятием динамической устойчивости понимают способность энергосистемы переходить от исходного устойчивого режима к другому, также устойчивому режиму либо вернуться к установившемуся режиму, близкому к исходному, после больших изменений ее параметров.

Основным методом исследования динамической устойчивости электрических систем на современном этапе является численное интегрирование дифференциальных уравнений, описывающих поведение системы.

Но существует более простой и наглядный метод, основанный на энергетическом подходе к анализу динамической устойчивости, который называется методом площадей. В данном методе кинетическая энергия системы определяется по площади графика переходного процесса.

Задача исследования заключается в сравнении площадей ускорения и торможения, то есть сравнения кинетической энергии, полученной в процессе ускорения ротора генератора с той энергией, которая расходуется в процессе торможения ротора.

В качестве примера рассмотрим короткое замыкание с отключением параллельной линии электропередачи в простейшей схеме сети, которая состоит из генератора, работающего через силовой трансформатор и двухцепную линию электропередачи на шины бесконечной мощности.

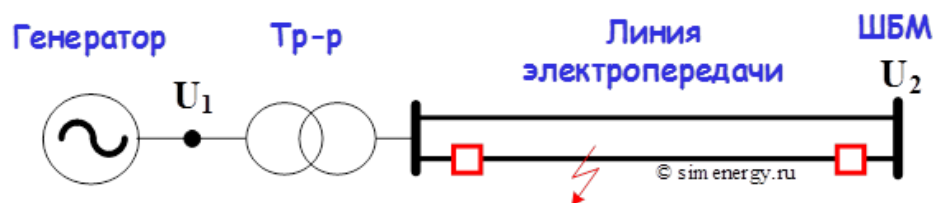


Рисунок 3.1 – Расчетная схема сети

Если сделать допущение о том, что на генераторе установлено АРВ СД, которое контролирует напряжение на стороне генераторного напряжения, а также пренебречь активными сопротивлениями в расчетной схеме сети, то электромагнитная мощность, которая передается от генератора, определяется следующим выражением:

$$P_{эм} = \frac{U_1 \cdot U_2}{(x_{тр} + X_{\Sigma ЛЭП})} \cdot \sin(\delta_{21})$$

В записанном выражении переменная U_1 представляет собой модуль линейного напряжения на шинах станции, приведенный к стороне ВН, а переменная U_2 - модуль линейного напряжения в точке шин бесконечной мощности.

Взаимный угол между вектором напряжения U_2 и вектором напряжения U_1 обозначается через переменную - δ_{21} , для которого в качестве положительного направления принимается направление против часовой стрелки от вектора напряжения U_2 .

В доаварийном режиме работы генератор работает в режиме, который соответствует точке «а», расположенной на угловой характеристике для нормального режима работы (Н.Р.). В рассматриваемом примере мощность турбины принимается неизменной за всё время переходного процесса ($P_T = const$), так как регулятор скорости не успевает за это время изменить мощность, развиваемую турбин.

В некоторый момент времени возникает короткое замыкание, которое вызывает снижение напряжение в сети. Короткое замыкание в расчетной сети, моделируется шунтом короткого замыкания на землю. В зависимости от вида короткого замыкания (однофазное, двухфазное, двухфазное с землей или трехфазное) величина шунта меняется.

В результате короткого замыкания отдаваемая мощность в сеть уменьшается: происходит переход электромагнитной мощности из точки «а» характеристики нормального

режима в точку «b» характеристики аварийного режима (А.Р.). Такое скачкообразное изменение активной мощности между двумя характеристиками происходит из-за того, что угол δ мгновенно измениться не может вследствие инерции ротора.

В результате на валу системы турбина-генератор возникает избыточный ускоряющий момент, обусловленный разностью моментов (мощностей) турбины и электромагнитной мощности генератора. Под влиянием ускоряющего момента ротор генератора начнет ускоряться относительно энергосистемы (вектор напряжения U_1 будет перемещаться относительно вектора напряжения U_2). В результате взаимный угол δ_{21} будет увеличиваться и величина электромагнитной мощности перейдет из точки «b» в точку «с».

В точке «с» происходит отключение поврежденной линии электропередачи действием устройств РЗА. После отключения КЗ электромагнитная мощность переходит на характеристику послеаварийного режима (П.А.Р.): происходит переход электромагнитной мощности из точки «с» характеристики аварийного режима (А.Р.) в точку «d» характеристики послеаварийного режима (П.А.Р.). В рассматриваемом примере в точке «d» электромагнитная мощность меньше мощности турбины, поэтому на ротор будет продолжать действовать ускоряющий момент (частота вращения ротора будет расти).

В точке «е» выдаваемая мощность в сеть становится равной мощности турбины, однако в связи с тем, что ротор приобрел некоторую избыточную кинетическую энергию, он продолжит увеличивать скорость вращения. В случае, когда выдаваемая мощность генератора в сеть становится больше мощности турбины, на валу системы турбина-генератор возникает избыточный тормозящий момент, который снижает скорость вращения ротора. В некоторой точке «i» генератор израсходует запасенную кинетическую энергию и ротор начнет перемещаться в обратном направлении. После нескольких колебаний с постепенно затухающей амплитудой относительное движение ротора прекратится и генератор перейдет в новый установившийся режим работы. Если же ротор пройдет за точку, соответствующую углу $\delta_{кр}$, то избыточный момент вновь станет ускоряющим и генератор выйдет из синхронизма.

Работа сил на пути ускорения выражается интегралом:

$$A_{\text{уск}} = \int_{\delta_0}^{\delta_1} \Delta P \cdot d\delta$$

Заштрихованная площадь криволинейной фигуры «abcde», называется площадью ускорения, и соответствует (эквивалентна) энергии, запасаемой ротором в процессе ускорения.

Работа сил на пути торможения выражается интегралом, аналогично:

$$A_{\text{торм}} = \int_{\delta_1}^{\delta_{\text{max}}} \Delta P \cdot d\delta$$

Заштрихованная площадь криволинейной фигуры, называется площадью торможения, и соответствует (эквивалентна) энергии, теряемой ротором в процессе торможения.

Таким образом, система будет сохранять устойчивость тогда, когда возможная площадь торможения $A_{\text{торм}}$ будет больше площади ускорения $A_{\text{уск}}$. Если площадь ускорения будет превышать площадь торможения, то генератор выйдет из синхронизма с приемной системой. Приведенный метод оценки динамической устойчивости электроэнергетической системы получил название метода площадей.

Снижения длительности короткого замыкания, которая обеспечивается с помощью применения современных устройств РЗА и выключателей. Время отключения короткого замыкания (работа устройств РЗА и время отключения выключателя) может достигать 40-50 мсек.

Форсировка возбуждения на генераторах, также способствует повышению устойчивости. Форсировка возбуждения вводится в работу при глубоком снижении напряжения генератора вследствие короткого замыкания. Форсировка повышает ЭДС генераторов и напряжение на шинах электростанции, что приводит к уменьшению сброса электрической мощности.

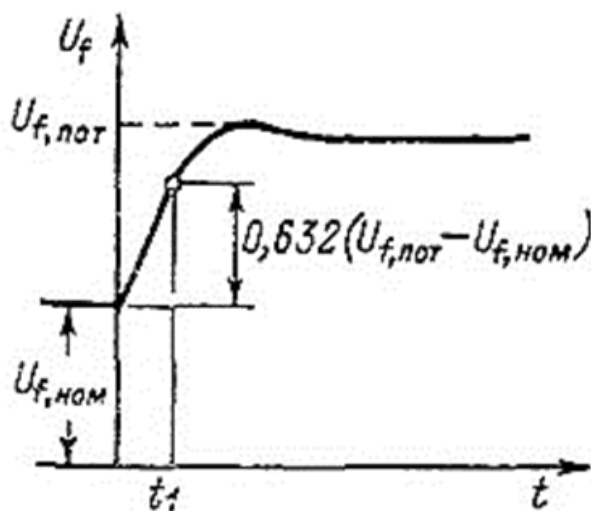


Рисунок 3.2 – Изменение напряжения возбуждения при форсировке возбуждения

Важными техническими характеристиками системы возбуждения генераторов являются: быстродействие, определяемое скоростью нарастания напряжения на обмотке ротора при форсировке, и кратность форсировки, которая определяется отношением потолочного напряжения к номинальному напряжению возбуждения.

Эффективным средством повышения устойчивости являются все виды автоматического повторного включения (АПВ). Успешное АПВ увеличивает площадку торможения. Отключение части генерирующего оборудования в передающей части энергосистемы. Данное мероприятие приводит к снижению мощности турбины от исходной мощности, что приводит к увеличению максимальной площадки торможения. Одновременно происходит увеличение критического угла δ . Чтобы исключить нежелательное снижение частоты в энергосистеме, ограничение мощности генераторов в передающей части энергосистемы выполняется совместно с отключением части потребителей в приемной ее части.

4. Применение кратковременной импульсной разгрузки тепловых турбин (ИРТ) через систему регулирования является эффективным средством повышения устойчивости. Импульсная разгрузка турбины применяется с целью компенсации избыточной кинетической энергии, приобретенной за время короткого замыкания и бестоковой паузы БАПВ (ОАПВ).

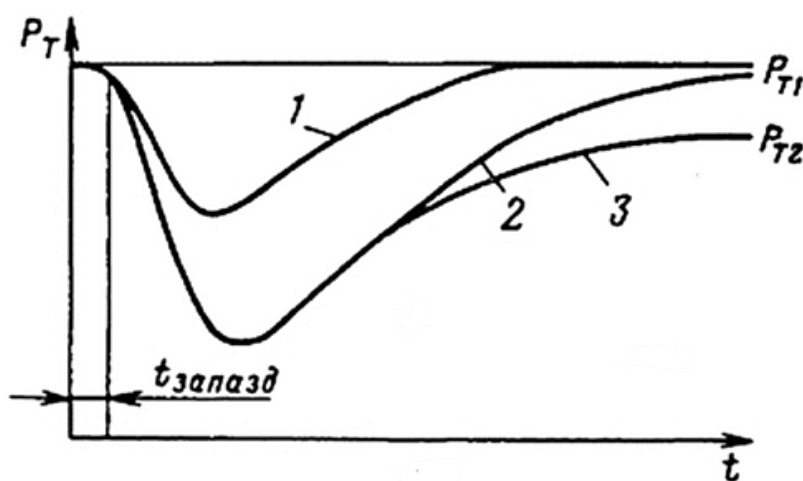


Рисунок 3.3 – Импульсная разгрузка турбины через электрогидравлический преобразователь

Для выполнения импульсной разгрузки тепловые турбины оборудуются специальными электрогидравлическими преобразователями (ЭГП), которые преобразуют электрические сигналы в гидравлические воздействия на систему регулирования частоты вращения. Электрогидравлический преобразователь обеспечивает быстрый ввод в систему регулирования сигнала разгрузки. После снятия сигнала разгрузки система регулирования восстанавливает мощность турбины до первичного значения. Глубина и скорость разгрузки

зависят от параметров регулирующего импульса: амплитуды и длительности. Снижение мощности турбины начинается с запаздывания 0,15 – 0,2 сек., обусловленным инерционностью элементов гидравлической системы регулирования. Минимальное значение мощности достигается через 0,5 – 0,7 сек. после подачи импульса регулирования.

Для снижения мощности турбины в послеаварийном режиме воздействие через ЭГП дополняется воздействием на ограничение мощности турбины (ДРТ) через механизм управления турбиной (МУТ).

Указание по технике безопасности:

Указания по технике безопасности при выполнении лабораторных работ приведены в приложение А.

Указания по выполнению лабораторной работы:

ВНИМАНИЕ! ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА ВЫПОЛНЯЕТСЯ ПРИ ОДНОВРЕМЕННОМ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ДВУХ ЛАБОРАТОРНЫХ СТОЕК «Модель электростанции №1» и «Модель электростанции №2». Собрать схему лабораторных испытаний в соответствии с рис.5 (питание стенда должно быть ОТКЛЮЧЕНО!). Модуль ввода-вывода используется для измерения фазных токов и напряжений. Для этого, измерительные каналы тока А1, А2, А3 включены последовательно в фазы А, В и С между модулем синхронизации и силовым трансформатором Т2. Измерительные каналы по напряжению А4, А5, А6 подключены к клеммам А1, В1, С1 модуля силового трансформатора, измерение напряжений осуществляется относительно общей точки обмоток силового трансформатора Т2. На противоположной лабораторной стойке, собрать схему в соответствии с рис.3.1. Продольную составляющую на модулях линий электропередач установить минимальной (переключатель SA1 в положение 1). Для обеспечения достаточной величины тока однофазного короткого замыкания, нейтрали трансформаторов со стороны ЛЭП и нейтраль самой ЛЭП должны быть объединены. Поперечные составляющие ЛЭП должны быть включены (переключатели SA2 и SA3 в положении 2).

Перевести переключатели режима управления всех задействованных блоков в положение «Руч». Установить потенциометры задания RP1 модуля частотного преобразователя и модуля возбуждения в крайнее левое положение.

На персональном компьютере запустить программный комплекс «DeltaProfi» (Пуск – Программы – Лабораторный комплекс – DeltaProfi). Открыть лабораторную работу командой «Работы – Переходные процессы – Синхронизация генератора с сетью». Запустить

программу в работу кнопкой «Пуск» или командой главного меню «Управление – Пуск» или горячей клавишей F5.

Подать питание на стенд (включить автомат модуля питания стенда).

Включить все задействованные модули, имеющие индивидуальный тумблер подачи питания «Сеть».

Включить выключатель Q4 (кнопка SB1 на лицевой панели модуля).

На противоположной лабораторной стойке: включить питание стенда, включить выключатели Q4 и Q7.

Включить генератор на параллельную работу с сетью.

Установить исходный режим загрузки синхронного генератора, приблизительно равный половине его номинальной мощности (регулируя задание частотного преобразователя).

Отрегулировать ток возбуждения для перевода генератора в режим выдачи реактивной мощности (управляя током возбуждения синхронного генератора).

С помощью автоматических выключателей QF1..QF6, расположенных на лицевой панели модуля короткозамыкателя, выбрать трехфазное короткое замыкание. Провести опыт короткого замыкания (перевести переключатель SA1 модуля короткозамыкателя в положение «Вкл» и через несколько секунд перевести его в положение «Откл») одновременно наблюдая за режимом работы СГ.

В случае потери устойчивости выполнить действия по ресинхронизации генератора с сетью.

Повторить опыт при следующих видах коротких замыканий: однофазное, двухфазное, двухфазное на землю. При этом ток возбуждения должен оставаться неизменным ($i_v = \text{const}$).

Повторить опыты при других значениях тока возбуждения (больше и меньше начального).

Отключить стенд в соответствии с ПОРЯДКОМ ОТКЛЮЧЕНИЯ СТЕНДА в лабораторной работе №3, отключить все модули и питание стенда на противоположной лабораторной стойке, обработать полученные результаты и оформить отчет по лабораторной работе.

*Исследование влияния на статическую устойчивость натурного
синхронного генератора вида короткого замыкания в электроэнер-
гетической системе*

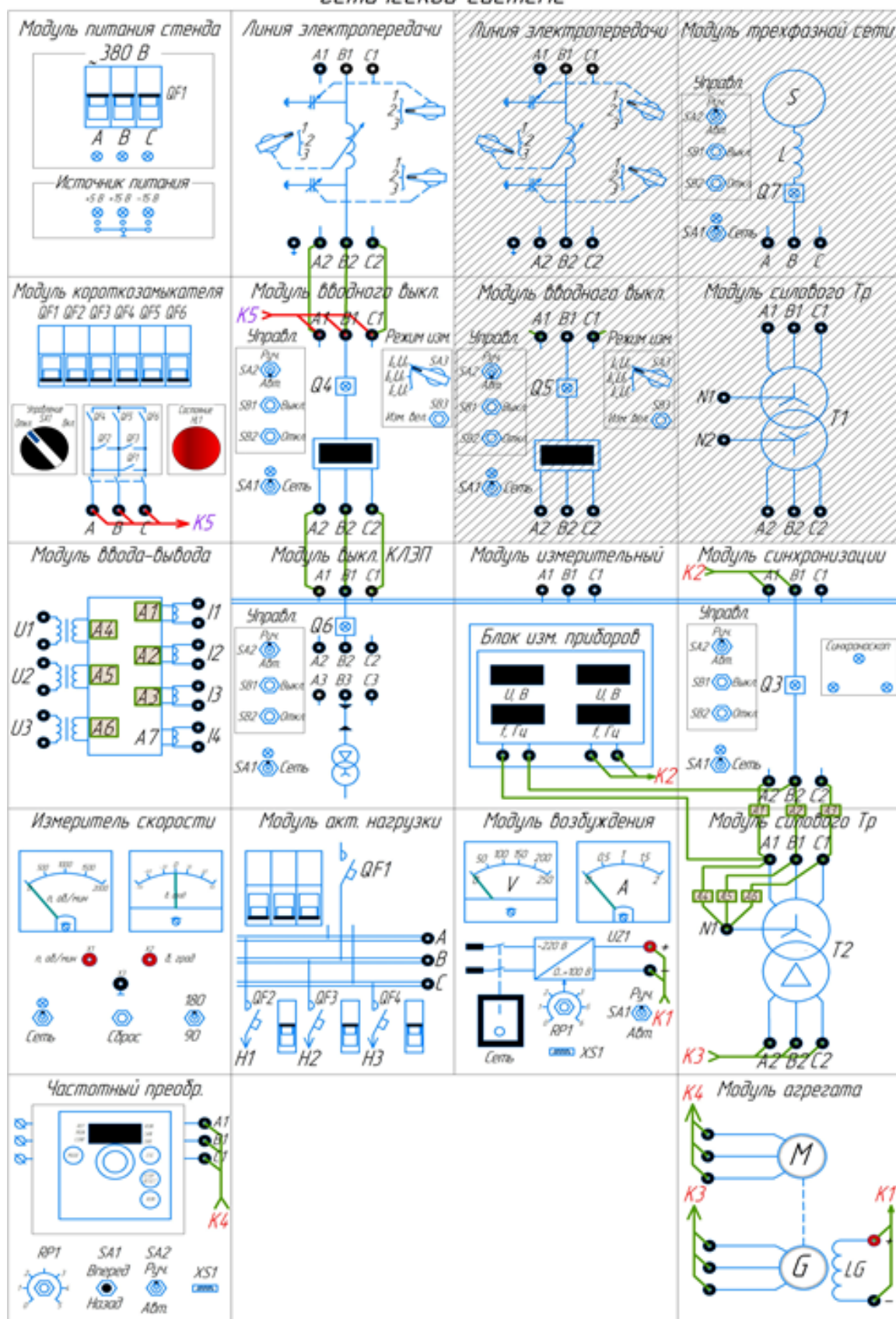


Рисунок 3.4 – Схема включения стойки №1

Исследование влияния на статическую устойчивость натурального синхронного генератора вида короткого замыкания в электроэнергетической системе

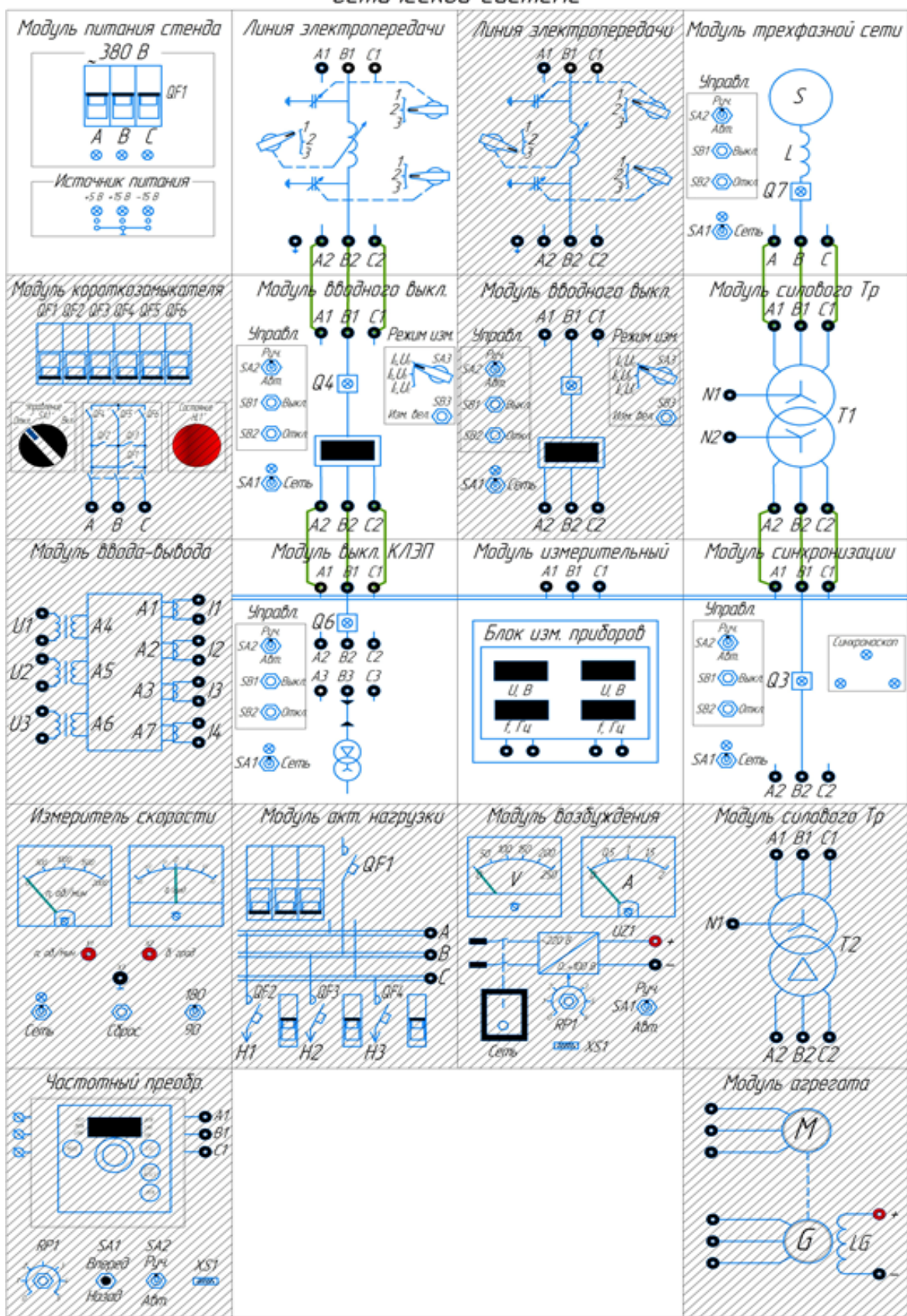


Рисунок 3.5 – Схема включения стойки №2

Содержание отчета:

Отчет должен содержать:

1. Название работы;
2. Цель работы;
3. Краткие теоретические сведения;
4. Описание используемого оборудования и материалов;
5. Порядок выполнения работы;
6. Вычисления и обработка результатов;
7. Выводы.

Контрольные вопросы:

1. Чем отличается статическая и динамическая устойчивости системы?
2. Какие параметры определяются при оценке статической (динамической) устойчивости системы?
3. Перечислите основные методы расчета динамической устойчивости.
4. Как и почему изменяются характеристики мощности генератора в нормальном, аварийном и после аварийном режимах?
5. Как определяется динамическая устойчивость простейшей электрической системы методом площадей?
6. Как изменяется вид характеристики аварийного режима системы в зависимости от места короткого замыкания и (или) вида короткого замыкания?
7. В чем суть графического метода анализа динамической устойчивости?
8. Какими уравнениями описывается процесс движения системы при нарушении динамической устойчивости?
9. Что является причинами больших качаний синхронных машин?
10. Как определяется предельный угол отключения короткого замыкания?
11. Каков порядок расчета динамической устойчивости методом последовательных интервалов?

Лабораторная работа №5. Релейная защита и автоматика в системах электроснабжения промышленных зданий и предприятий. Децентрализованные комплексы релейной защиты и автоматики электроэнергетических систем.

Цель работы: Изучить принципы реализации комплекса релейной защиты и автоматики электростанции с применением типовых устройств

Основы теории:

В современных условиях параметры магистральных (питающих) ЛЭП 110 кВ и выше регулируются за счет подключения к линии через определенные расстояния управляемых шунтирующих реакторов (УШР), компенсирующих излишнюю емкость ЛЭП и ее излишнюю реактивную емкостную мощность.

Конфигурация распределительных сетей 6, 10 и 35 кВ в зависимости от ситуации может автоматически меняться за счет включения в них через определенные промежутки необслуживаемых автономных автоматических секционных переключателей — пунктов автоматического секционирования. Такой секционный переключатель со своей автономной автоматикой получил название «пункт секционирования столбовой» (ПСС), или «реклоузер» {recloser}, — умный, или интеллектуальный, переключатель, а распределительные сети с такими устройствами стали называть интеллектуальными сетями.

Реклоузеры — это новое поколение интеллектуального автономного коммутационного оборудования, предназначенного для установки на воздушных линиях электропередачи напряжением 6, 10 и 35 кВ и на ответвлениях от них. Применение реклоузеров в распределительных сетях вызвано тем, что 80—90% повреждений в них неустойчивы и самоустраняются в бес- токовую паузу в течение нескольких секунд. Поэтому отключение линии и последующее автоматическое включение ее приводит к устранению причины повреждения и исключает длительные перерывы электроснабжения. Идеология применения реклоузеров — это децентрализованная автоматизация управления воздушными сетями с помощью интеллектуальных устройств, которые анализируют режимы работы электрической сети и автоматически производят ее реконфигурацию в аварийных режимах. В результате этого локализуется место повреждения и восстанавливается электроснабжение потребителей неповрежденных участков сети. Идеология децентрализованной автоматики получила широкое распространение благодаря ее очевидным преимуществам по сравнению с централизованной системой управления.

Реклоузер, или пункт автоматического секционирования, устанавливается на опорах воздушных линий. Он предназначен для работы в условиях умеренного климата при температуре окружающей среды от -60°C до 50°C . Отличительной особенностью реклоузера является простота монтажа и эксплуатации.

Реклоузер содержит (рис. 4.1):

- вакуумный выключатель ВВ;
- систему первичных преобразователей тока и напряжения: датчики тока ДТ (катушки Роговского) и датчики напряжения ДН (емкостные делители напряжения);
- автономную систему оперативного питания — модуль бесперебойного питания МБП с резервным источником (малогабаритная необслуживаемая аккумуляторная батарея);
- модуль управления МУ;
- микропроцессорную систему релейной защиты и противоаварийной автоматики — модуль микропроцессора ММП;
- трансформаторы напряжения ТН типа ОЛ;
- нелинейные ограничители перенапряжений ОПН для защиты от грозовых перенапряжений;
- систему портов для подключения устройств телемеханики;
- комплекс программного обеспечения.

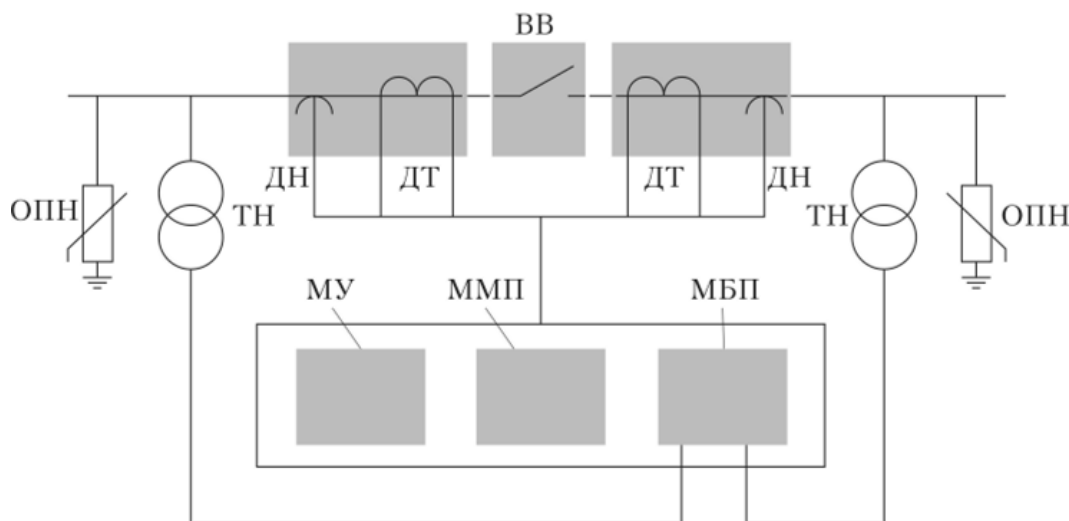


Рисунок 4.1 – Принципиальная схема реклоузера РВА/TEL-10

На рис. 4.1 приведены схемы включения пунктов автоматического секционирования (реклоузеров) в сетях с односторонним и двухсторонним питанием. В радиальных сетях с односторонним питанием (рис. 8.35, а) реклоузеры без АВР устанавливаются на ЛЭП через определенные участки (обычно 8—10 км), в результате чего увеличивается надежность

электроснабжения потребителей отдельных участков, по мере приближения их к центру питания. В сетях с двухсторонним питанием (рис. 4.2, б) дополнительно устанавливается один реклоузер с функцией АВР, находящийся в нормально отключенном положении.

Комплекс устройств, объединенных в реклоузере, позволяет с помощью микропроцессорной защиты и автоматики определить возникновение повреждения и с помощью коммутационной аппаратуры выделить повреждение, т.е. разделить (секционировать) линию на отдельные участки и с помощью АПВ и АВР восстановить питание на неповрежденных участках в кратчайшие сроки. Информация о месте повреждения и переконфигурировании электросети передается с помощью устройств телемеханики диспетчеру района. Предусмотрено и дистанционное управление реклоузером.

Реклоузеры позволяют повысить надежность электроснабжения потребителей, снизить недоотпуск электроэнергии, сократить число аварийных отключений ЛЭП, сократить затраты на обслуживание ЛЭП, повысить технический уровень эксплуатации сетей и реализовать современные принципы автоматизации и управления распределительными сетями.

Рассмотренная выше трехступенчатая токовая защита (две ступени токовой отсечки и МТЗ) реализуется в реклоузерах не аппаратным, а программным способом. Это позволяет выполнить не только третью ступень, но и все три ступени с выдержкой времени, зависящей от значения тока (рис. 4.3).

Для настройки токовой защиты от междуфазных коротких замыканий можно использовать 12 типов стандартных времятоковых характеристик или создать собственную характеристику (характеристику пользователя).

Кроме ненаправленной токовой защиты может подключаться и направленная токовая защита. Число ступеней защиты может быть увеличено до четырех. Дополнительно предусмотрена защита от однофазных замыканий на землю (033) с контролем тока нулевой последовательности, защита минимального и максимального напряжения. Предусмотрен технический учет электроэнергии, автоматическое повторное включение и автоматическое включение резерва. Автоматическая частотная разгрузка (АЧР) позволяет проводить отключение нагрузки, выдавать сигнал при снижении частоты ниже уставки. Электронный журнал оперативных событий отражает все события, происходящие с реклоузером. Счетчик операций включения и отключения вакуумного выключателя измеряет суммарное число операций, что позволяет определять механический износ контактов выключателя, выраженный в процентах.

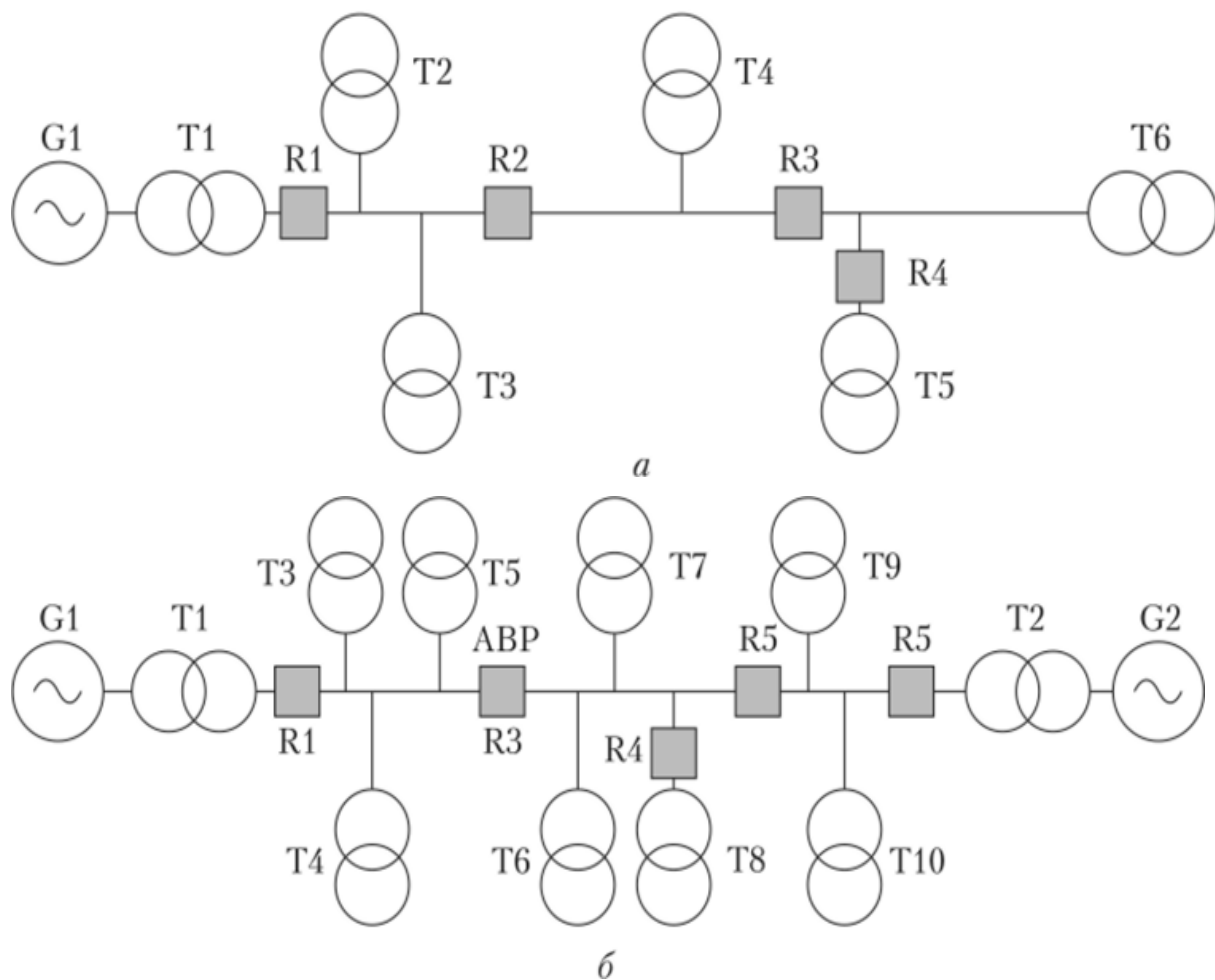


Рисунок 4.2 – Схемы включения реклоузеров в сетях с односторонним (а) и двух-
сторонним (б) питанием

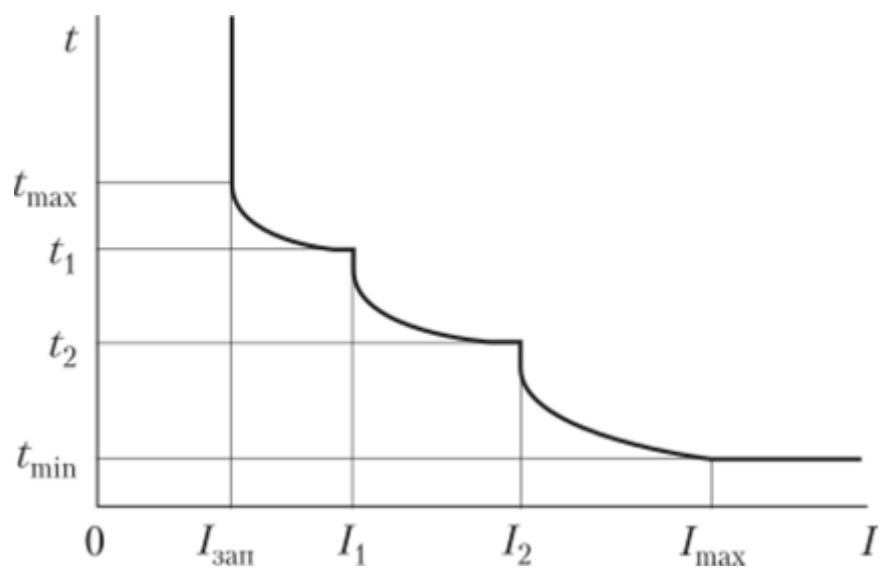


Рисунок 4.3 – Зависимость времени срабатывания ступеней защиты от тока

Для работы с реклоузером разработано специальное программное обеспечение TELUS, которое позволяет изменять основные настройки аппарата и уставки защит.

В заключение укажем, что в одной главе невозможно рассмотреть все виды релейной защиты и автоматики (РЗА) в электроэнергетике. Так, не было упоминания о поперечной дифференциальной защите, дистанционной защите, защите от замыканий на землю и многом другом. Здесь были даны лишь основные понятия о релейной защите и автоматике и подходы к выполнению РЗА.

Указание по технике безопасности:

Указания по технике безопасности при выполнении лабораторных работ приведены в приложение А.

Указания по выполнению лабораторной работы:

На лабораторной стойке «Модель электростанции №1» собрать схему лабораторных испытаний, соответствующую режиму №2. На лабораторной стойке «Модель электростанции №2» собрать схему лабораторных испытаний, соответствующую режиму №4. Подключить модуль короткозамыкателя для создания трехфазного короткого замыкания на линии электропередачи W2.

Включить автоматы источников питания моделей электростанций №1 и №2.

На персональном компьютере централизованного комплекса диспетчерского управления (ЦКДУ) запустить программный комплекс «DeltaProfi» (Пуск – Программы – Лабораторный комплекс – DeltaProfi). Загрузить необходимую конфигурацию программы командой «Работы – ИЭС – Комплекс ДУ – БСПА». Запустить программу в работу кнопкой «Пуск» или командой главного меню «Управление – Пуск» или горячей клавишей F5.

На персональном компьютере модели электростанции №1 запустить программный комплекс «DeltaProfi» (Пуск – Программы – Лабораторный комплекс – DeltaProfi). Загрузить необходимую конфигурацию программы командой «Работы – ИЭС – Электростанция №1 – БСПА». Запустить программу в работу кнопкой «Пуск» или командой главного меню «Управление – Пуск» или горячей клавишей F5.

На персональном компьютере модели электростанции №2 запустить программный комплекс «DeltaProfi» (Пуск – Программы – Лабораторный комплекс – DeltaProfi). Загрузить необходимую конфигурацию программы командой «Работы – ИЭС – Электростанция №2 – БСПА». Запустить программу в работу кнопкой «Пуск» или командой главного меню «Управление – Пуск» или горячей клавишей F5.

Исследовать работу электроэнергетической сети в режиме одностороннего питания. Для этого, дистанционно включить выключатель Q6 электростанции №1 (щелчком левой кнопки мыши по изображению выключателя на мнемосхеме локального комплекса управления электростанции). Аналогичным образом включить выключатель Q6 на электростанции №2. На централизованном комплексе диспетчерского управления подать команды на включение выключателей линии электропередачи W2 со стороны электростанции №1 и №2.

На электростанции №1 перевести переключатель SA1 в положение «Вперед». Изменяя положение потенциометра RP1 модуля преобразователя частоты, задать уставку по частоте 50Гц, соответствующую частоте вращения приводного двигателя 1500 об/мин. Включить тумблер «Сеть» источника возбуждения синхронного генератора. Изменяя положение потенциометра RP1 модуля возбуждения, установить номинальный ток возбуждения 0,8А. С мнемосхемы ПК подать команду на включение выключателя Q3. Изменяя положение потенциометра RP1 модуля преобразователя частоты, восстановить номинальную частоту напряжения в сети 50 Гц.

Измерить величину тока рабочего режима линии электропередачи W2.

Рассчитать токи срабатывания защит. Определить уставки срабатывания защит по времени. Задать полученные уставки защит. Для этого, вызвать диалоговое окно настройки параметров защиты двойным щелчком левой кнопки мыши по прямоугольнику «ТН32» на мнемосхеме локального комплекса управления и защиты электростанции. Задать уставки срабатывания для защиты «ТН31».

Аналогичным образом задать уставки срабатывания защит «ТН31» и «ТН32» на электростанции №1.

На централизованном комплексе диспетчерского управления подать команды на включение выключателей линии электропередачи W1 со стороны электростанции №1 и №2.

Определить уставки срабатывания дифференциальной защиты сборных шин. Для этого, открыть диалоговое окно настройки параметров защиты «ДЗШ», включить короткозамыкатель переключателем SA1, зафиксировать ток в обмотке дифференциального реле тока, отключить короткозамыкатель, рассчитать ток срабатывания реле тока, задать полученное значение в диалоговом окне параметров дифференциальной защиты. Аналогичным образом задать уставки срабатывания защиты «ДЗШ» на электростанции №1.

На электростанциях №1 и №2 перевести все защиты в работу (щелчок правой кнопки мыши по обозначению соответствующей защиты на мнемосхеме ПК).

На электростанции №2 переключатель SA1 модуля короткозамыкателя перевести в положение «Вкл» для создания режима короткого замыкания. При правильно выбранных уставках, произойдет селективное отключение линии электропередачи W2. При этом, отключенное состояние коммутационных аппаратов линии W2 отображается одновременно на локальных комплексах управления и защиты и на ЦКДУ. Кроме того, отображается сработавшее состояние защит на электростанциях и по каналу БСПА на ЦКДУ (прямоугольники защит на мнемосхемах имеют красный цвет). Выполнить квитирование защит (одинарный щелчок левой кнопкой мыши по изображению защиты на мнемосхеме электростанции). Обратите внимание, что квитирование защит с ЦКДУ не доступно, однако, при квитировании защиты на локальном комплексе управления и защиты станции, сигнализация срабатывания защиты сбрасывается и на ЦКДУ.

Переключатель SA1 модуля короткозамыкателя перевести в положение «Откл». На ЦКДУ подать команды теле отключения всех выключателей в электроэнергетической системе. На электростанции №2 перевести потенциометр RP1 модуля возбуждения в крайнее левое положение, отключить тумблер подачи питания модуля возбуждения «Сеть». Перевести потенциометр RP1 модуля преобразователя частоты в крайнее левое положение, переключатель SA1 установить в среднее положение. Отключить автоматы источников питания моделей электростанций №1 и №2.

Остановить работу программ управления на электростанциях №1 и №2 кнопкой «Стоп», командой главного меню «Управление – Стоп» или горячей клавишей F6. Аналогичным образом, остановить работу программы управления на ЦКДУ. Внимание! При останове работы программ на локальных комплексах управления электростанциями, программное обеспечение на ЦКДУ выдает сообщение, о том, что один из клиентов информационной сети был отключен. Это не является ошибкой.

Оформить отчет по лабораторной работе.

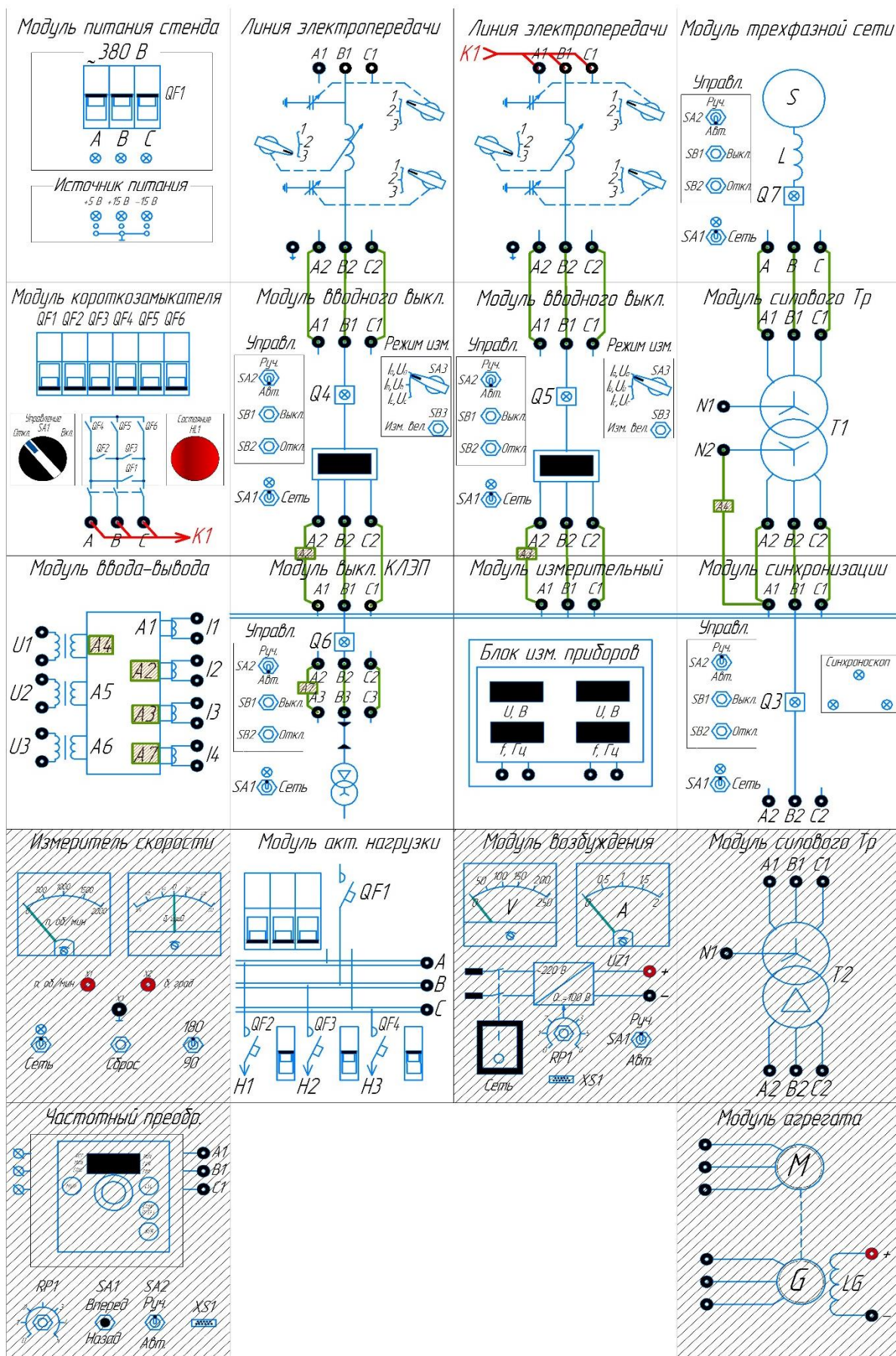


Рисунок 4.5 – Схема соединений лабораторной стойки №2

Содержание отчета:

Отчет должен содержать:

1. Название работы;
2. Цель работы;
3. Краткие теоретические сведения;
4. Описание используемого оборудования и материалов;
5. Порядок выполнения работы;
6. Вычисления и обработка результатов;
7. Выводы.

Контрольные вопросы:

1. Схемы устройств автоматического повторного включения.
2. Назначение устройств автоматического повторного включения.
3. Особенности устройств АПВ – линий с двухсторонним питанием.
4. Требования к устройствам АВР, принципы их выполнения и расчет параметров.
5. Схемы устройств автоматического включения резерва.

Лабораторная работа №6. Релейная защита и автоматика в системах электроснабжения промышленных зданий и предприятий. Централизованная интеллектуальная защита распределительной сети.

Цель работы: Изучить принципы реализации централизованного комплекса релейной защиты и автоматики электростанции

Основы теории:

При эксплуатации и проектировании электрической схемы всегда уделяется внимание вопросам ее безопасного использования. С этой целью все электрические приборы защищаются специальными устройствами, которые подбирают и располагают строго по определенной, иерархической зависимости.

Например, когда мобильный телефон стоит на зарядке, то ее протекание контролирует встроенная в аккумулятор защита. Она отключает зарядный ток по окончании набора емкости. Когда же внутри АКБ возникнет короткое замыкание, то установленный в зарядное устройство предохранитель перегорает и обесточивает схему.

Если это по каким-либо причинам не произойдет, то возникшую неисправность в розетке контролирует автоматический выключатель квартирного щитка, а его работу страхует главный автомат. Эту последовательность поочередного срабатывания защит можно рассматривать и дальше.

Ее закономерности определяются принципом селективности, который еще называют избирательностью, подчеркивая функцию выбора или определения места возникновения повреждения, которое необходимо отключить.

Методы избирательности электрических защит формируются во время создания проекта и поддерживаются при эксплуатации таким образом, чтобы своевременно выявить место возникновения неисправности в электрооборудовании и отделить его от действующей схемы с наименьшими потерями для нее.

При этом зону обхвата защит по селективности подразделяют на:

1. абсолютную;
2. относительную.

Первый тип защиты полностью контролирует свой рабочий участок и устраняет повреждения только в нем. По этой закономерности работают встроенные в электроприборы предохранители.

Устройства, созданные по относительному принципу, выполняют больше функций. Они отключают неисправности внутри своей зоны и соседних, но когда в них не отработали защиты абсолютного типа.

Качественно настроенная защита определяет:

1. место и вид повреждения;
2. отличие ненормального, но допустимого режима от ситуации, способной нанести весьма серьезные повреждения оборудованию электроустановки внутри контролируемой зоны.

Устройства, настроенные только по первому действию, работают обычно в неответственных сетях до 1000 вольт. Для высоковольтных электроустановок стараются внедрить оба этих принципа. С этой целью в состав защиты вводят:

- схемы взаимных блокировок;
- точные измерительные органы;
- системы обмена информацией;
- специальные логические алгоритмы.

Между двумя последовательно подключенными силовыми выключателями выполняется защита от сверхтоков, превышающих номинальные значения нагрузки по любой причине. При этом ближний к потребителю с повреждением выключатель должен размыканием своих контактов обесточивать неисправность, а дальний — продолжать подачу напряжения на своем участке.

В этом случае рассматривается два вида селективности:

1. полная;
2. частичная.

Если ближняя к неисправности защита способна полностью ликвидировать повреждения на всем диапазоне уставок без задействования удаленного выключателя, то ее считают полной.

Частичная избирательность присуща ближним защитами, настроенным на срабатывание до какого-то предельного тока селективности I_s . Если он превышен, то вступает в работу удаленный выключатель.

Пределы токов, назначенные для срабатывания автоматических выключателей защит, разделяют на две группы:

1. режим перегрузок;
2. зону коротких замыканий.

Для упрощения разъяснения применим этот принцип к токовым характеристикам автоматических выключателей.

Они настраиваются на работу в зоне перегруза номинальных токов на величину до $8 \div 10$ крат.

Для области перегрузок по току создаются защиты, работающие по принципу времятоковой селективности.

Зона коротких замыканий формируется на основе:

- токовой;
- временной;
- энергетической;
- зонной избирательности.

Временная селективность создается за счет выбора разных выдержек времени для срабатывания защиты. Этот способ может быть применен даже к устройствам с одной уставкой тока, но разным временем, как показано на рисунке.

Например, ближайшая к оборудованию защита №1 настраивается на работу при коротком замыкании со временем, близким к 0,02 с, а ее работу страхует более отдаленная №2 с настройкой на 0,5 с.

Самая дальняя защита со временем отключения в одну секунду резервирует работу предыдущих устройств при их возможном отказе.

Токовая селективность настраивается для срабатывания по превышению допустимых нагрузок. Довольно грубо этот принцип можно пояснить следующим примером.

Три защиты последовательно контролируют ток КЗ и настроены на отключение со временем 0,02 с, но с разными токовыми уставками в 10, 15 и 20 ампер. За счет этого оборудование будет отключаться вначале от защитного устройства №1, а №2 и №3 будут избирательно его страховать.

Реализация временной или токовой селективности в чистом виде требует использования чувствительных датчиков или реле тока и времени. При этом создается довольно сложная электрическая схема, которая на практике обычно объединяет оба рассмотренных принципа, а не применяется в чистом виде.

Времятоковая селективность защит

Для защиты электроустановок с напряжением до 1000 вольт применяют автоматические выключатели, которые обладают объединенной времятоковой характеристикой. Рассмотрим этот принцип на примере двух последовательно включенных автоматов, разнесенных по концам линии со стороны нагрузки и питания.

Времятоковая избирательность определяет способ срабатывания выключателя, настроенного на более быстрое отключение при расположении около потребителя электроэнергии, а не на генераторном конце.

На левом графике показан случай наибольшего времени отключения верхней кривой защиты со стороны нагрузки, а на правом — наименьшего времени выключателя на конце подвода питания. Это позволяет более детально анализировать проявление селективности защит.

Выключатель «В», расположенный ближе к питаемому оборудованию, за счет применения времятоковой селективности работает раньше и быстрее, а выключатель «А» резервирует его в случае отказа.

Токовая селективность защит

При этом способе избирательность может формироваться за счет создания определенной конфигурации сети, например, включенной в схему кабельной или воздушной линии электропередач, обладающей электрическим сопротивлением. В этом случае значение тока короткого замыкания между генератором и потребителем зависит от места возникновения повреждения.

На кабельном конце со стороны питания оно будет иметь максимальное значение, например, 3 кА, а на противоположном — минимальное, допустим, 1 кА.

При возникновении КЗ около выключателя А не должна работать защита конца В ($I_{кз1кА}$), то он и должен снимать напряжение с оборудования. Для точной работы защит необходимо учесть величину реальных токов, проходящих через выключатели при аварийном режиме.

Следует понимать, что для обеспечения полной избирательности по этому методу необходимо иметь большое сопротивление между обоими выключателями, которое может образоваться за счет:

- протяженной линии электропередачи;
- вставкой обмотки трансформатора;
- включением в разрыв кабеля уменьшенного сечения или другими способами.

Поэтому при таком способе селективность чаще всего бывает частичной.

Временная селективность защиты

Этот метод избирательности обычно дополняет предыдущий способ с учетом времени:

- определения защитой места и начала развития неисправности;
- срабатывания на отключение.

Формирование алгоритма работы защиты производится за счет постепенного приближения уставок по току и времени при перемещениях токов КЗ к источнику питания.

Избирательность по времени может создаваться автоматами одних номиналов по току, когда у них есть возможность регулировки задержки на срабатывание.

При этом способе защиты выключателя В отключают неисправность, а выключателя А — контролируют весь процесс и находятся в готовности к работе. Если за время, отведенное для срабатывания защит В короткое замыкание не устранилось, то повреждение ликвидируется работой защит стороны А.

Метод основан на использовании специальных новых видов автоматических выключателей, выполненных в литом корпусе и способных максимально быстро работать, когда токи коротких замыканий еще даже не успели достичь своих максимальных значений.

Подобные скоростные автоматы работают в течение нескольких миллисекунд, когда еще действуют апериодические составляющие переходных процессов. В таких условиях из-за высокой динамичности протекания нагрузок сложно согласовать реально действующие времятоковые характеристики защит.

Конечный пользователь практически не может отследить характеристики энергетической селективности. Их предоставляет производитель в виде графиков, программ расчета, таблиц.

При этом способе для расцепителей термоманитного и электронного принципа, расположенных на стороне питания необходимо учесть специфические условия работы.

Этот тип избирательности является разновидностью временной характеристики. Для его работы используются измерительные устройства тока на каждой стороне, между которыми постоянно происходит обмен информацией и сравнение векторов токов.

Зонная селективность может быть сформирована двумя способами:

1. В логическое устройство контроля защиты поступают одновременно сигналы с обоих концов контролируемого участка. Оно сравнивает значения поступивших токов и определяет выключатель, который должен быть отключен;
2. Сведения о завышенных значениях векторов тока от обеих сторон поступают в виде блокировочного сигнала на логическую часть защиты более высокого уровня иерархии по стороне питания. Если на ней присутствует блокировочный сигнал снизу, то отключается нижерасположенный выключатель. Когда запрета на отключение снизу не поступило, то напряжение снимает вышерасположенная защита.

При этих способах отключение происходит намного быстрее, чем при временной избирательности. Это обеспечивает меньшие повреждения электрооборудования, снижение динамических и тепловых нагрузок внутри системы.

Однако, способ зонного разделения селективности требует создания дополнительных сложных технических систем измерения, логики и обмена информацией, что удоро-

жает стоимость оборудования. По этим причинам такие методы, основанные на высокочастотной блокировке, применяются на высоковольтных линиях электропередач и подстанциях, передающих большие потоки мощности электроэнергии в непрерывном режиме.

Для этого используются быстродействующие воздушные, масляные или элегазовые выключатели, способные коммутировать огромные токовые нагрузки.

Указание по технике безопасности:

Указания по технике безопасности при выполнении лабораторных работ приведены в приложение А.

Указания по выполнению лабораторной работы:

На лабораторной стойке «Модель электростанции №1» собрать схему лабораторных испытаний, соответствующую режиму №2.

На лабораторной стойке «Модель электростанции №2» собрать схему лабораторных испытаний, соответствующую режиму №2. Подключить модуль короткозамыкателя для создания трехфазного короткого замыкания на линии электропередачи W1.

Включить автоматы источников питания моделей электростанций №1 и №2.

На персональном компьютере централизованного комплекса диспетчерского управления (ЦКДУ) запустить программный комплекс «DeltaProfi» (Пуск – Программы – Лабораторный комплекс – DeltaProfi). Загрузить необходимую конфигурацию программы командой «Работы – ИЭС – Комплекс ДУ – Централизованная защита распределительной сети». Запустить программу в работу кнопкой «Пуск» или командой главного меню «Управление – Пуск» или горячей клавишей F5.

На персональном компьютере модели электростанции №1 запустить программный комплекс «DeltaProfi» (Пуск – Программы – Лабораторный комплекс – DeltaProfi). Загрузить необходимую конфигурацию программы командой «Работы – ИЭС – Электростанция №1 – Централизованная защита распределительной сети». Запустить программу в работу кнопкой «Пуск» или командой главного меню «Управление – Пуск» или горячей клавишей F5.

На персональном компьютере модели электростанции №2 запустить программный комплекс «DeltaProfi» (Пуск – Программы – Лабораторный комплекс – DeltaProfi). Загрузить необходимую конфигурацию программы командой «Работы – ИЭС – Электростанция №2 – Централизованная защита распределительной сети». Запустить программу в работу кнопкой «Пуск» или командой главного меню «Управление – Пуск» или горячей клавишей F5.

Дистанционно включить выключатели Q4 и Q6 электростанции №1 (щелчком левой кнопки мыши по изображению выключателя на мнемосхеме локального комплекса управления электростанции). Аналогичным образом включить выключатели Q4 и Q6 на электростанции №2.

На электростанции №1 перевести тумблер SA1 разрешения работы модуля преобразователя частоты в положение «Вперед». Изменяя положение потенциометра RP1 модуля преобразователя частоты, задать уставку по частоте 50Гц, соответствующую частоте вращения приводного двигателя 1500 об/мин. Включить тумблер «Сеть» источника возбуждения синхронного генератора. Изменяя положение потенциометра RP1 модуля возбуждения, установить номинальный ток возбуждения 0,8А. С мнемосхемы ПК подать команду на включение выключателя Q3. Изменяя положение потенциометра RP1 модуля преобразователя частоты, восстановить номинальную частоту напряжения в сети 50 Гц.

Аналогичным образом, ввести в работу энергоблок на электростанции №2.

По показаниям на мнемосхеме ЦКДУ определить величину тока в линии электропередачи W1. Рассчитать ток срабатывания защиты. Открыть диалоговое окно настройки параметров централизованного комплекса релейной защиты и автоматики командой «Сеть — Защита — Централизованный комплекс РЗА распределительной сети». Ввести рассчитанные уставки срабатывания защит для линий электропередач W1 и W2.

Дистанционно включить выключатель Q5 на электростанции №1 и №2. Включить централизованный комплекс релейной защиты и автоматики распределительной сети одноименным переключателем в окне параметров РЗА.

На электростанции №2 переключатель SA1 модуля короткозамыкателя перевести в положение «Вкл» для создания режима короткого замыкания. При правильно выбранных уставках, должно произойти селективное отключение линии электропередачи W1. Переключатель SA1 модуля короткозамыкателя перевести в положение «Откл».

Отключить выключатель Q3 на электростанции №1. Снять ток возбуждения синхронного генератора, переводом потенциометра RP1 модуля возбуждения в крайнее левое положение. Остановить приводной двигатель переводом потенциометра RP1 модуля преобразователя частоты в крайнее левое положение. Отключить переключатель «Сеть» модуля возбуждения. Переключатель SA1 разрешения работы модуля преобразователя частоты перевести в среднее положение.

Аналогичным образом отключить энергоблок на электростанции №2.

На ЦКДУ подать команды теле отключения всех выключателей в электроэнергетической системе. Отключить автоматы источников питания моделей электростанций №1 и №2.

Остановить работу программ управления на электростанциях №1 и №2 кнопкой «Стоп», командой главного меню «Управление – Стоп» или горячей клавишей F6. Аналогичным образом, остановить работу программы управления на ЦКДУ. Внимание! При останове работы программ на локальных комплексах управления электростанциями, программное обеспечение на ЦКДУ выдает сообщение, о том, что один из клиентов информационной сети был отключен. Это не является ошибкой.

Оформить отчет по лабораторной работе.

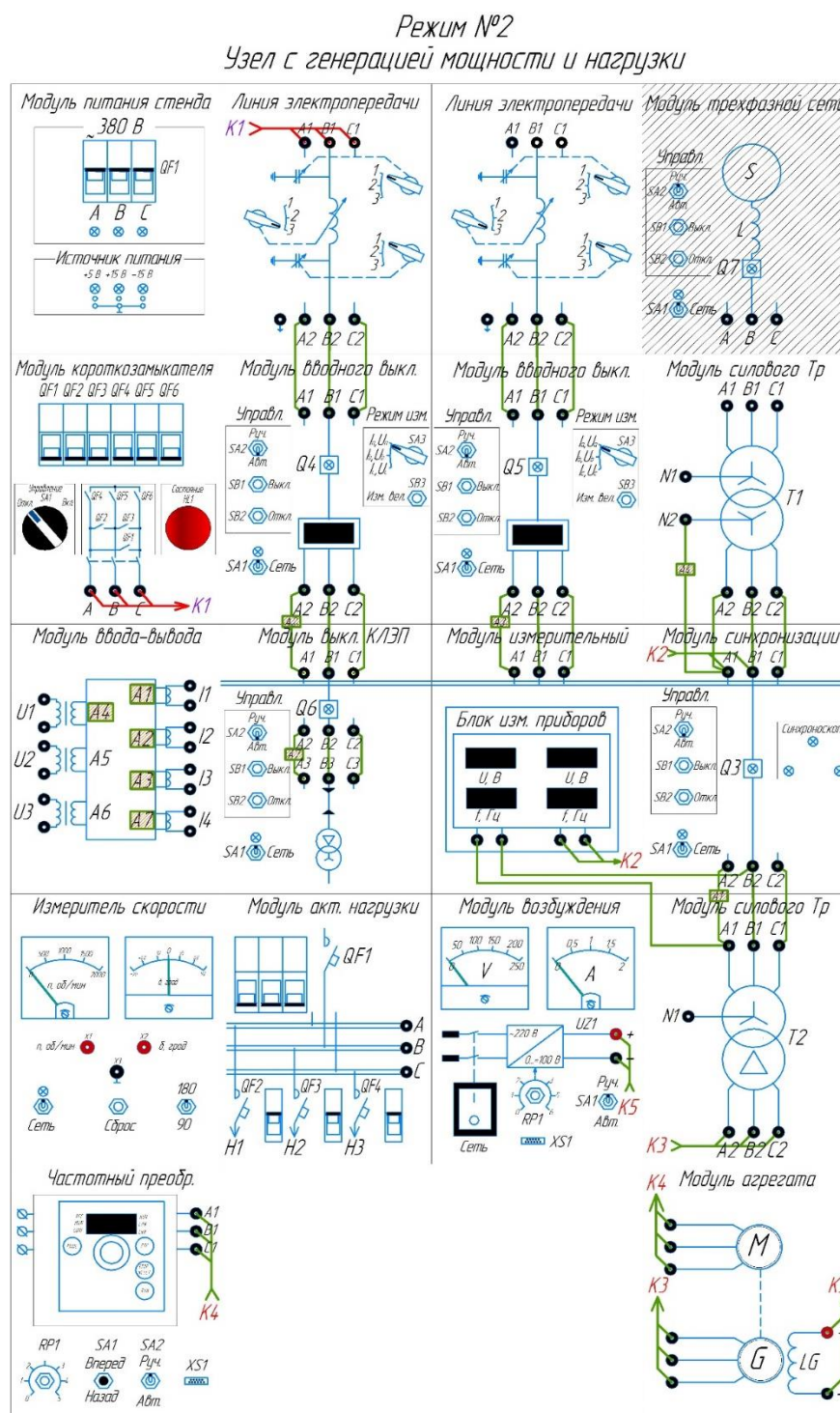


Рисунок 5.1 – схема соединения лабораторной стойки №1 и №2

Содержание отчета:

Отчет должен содержать:

1. Название работы;
2. Цель работы;
3. Краткие теоретические сведения;
4. Описание используемого оборудования и материалов;
5. Порядок выполнения работы;
6. Вычисления и обработка результатов;
7. Выводы.

Контрольные вопросы:

1. Направленная защита от ОЗЗ по основной гармонике.
2. Неселективная защита, реагирующая на напряжение нулевой последовательности.
3. Защита однофазных замыканий на землю.

Лабораторная работа №7. Релейная защита и автоматика в системах электроснабжения промышленных зданий и предприятий. Максимальная токовая защита с независимой выдержкой времени линии электропередачи и вводного выключателя.

Цель работы: Изучить принцип действия максимальной токовой защиты

Основы теории:

Способы выполнения релейной защиты ЛЭП от коротких замыканий весьма разнообразны. Наиболее распространенными являются защиты, у которых в качестве пускового органа используется реле, реагирующие на увеличение тока. Такими защитами являются: максимальная токовая защита, токовая отсечка, дифференциальная токовая защита. При этом реле тока, могут включаться по разным схемам и реагировать на ток фазы, на сумму или разность токов, на ток обратной или нулевой последовательности и т.п. При КЗ на линии напряжение прямой последовательности снижается. При несимметричных КЗ возникают напряжения обратной и нулевой последовательностей. Защиты, реагирующие на снижение или повышение напряжений называются защитами минимального или максимального напряжений, соответственно.

При двухстороннем питании линии токовую защиту дополняют реле направления мощности, с целью обеспечения ее селективного действия. Дифференциальная защита реагирует только на повреждения в защищаемом участке линии и действует без выдержки времени.

Одним из признаков появления КЗ, является увеличение тока в линии. Токовые защиты приходят в действие, при увеличении тока в фазах линии сверх определенного значения, в качестве реле реагирующих на возрастание тока служат максимальные токовые реле. Токовые защиты подразделяются на максимальные токовые защиты (МТЗ) и токовые отсечки. Главное различие между этими защитами заключается в способе обеспечения селективности. Селективность действия МТЗ достигается с помощью выдержки времени, токовых отсечек – выбором тока срабатывания.

МТЗ являются основным видом защит для сетей с односторонним питанием, при этом защита устанавливается вначале каждой линии со стороны источника питания (радиальная сеть с односторонним питанием).

В нормальном режиме работы сети ни одна из защит не должна срабатывать, для этого ток срабатывания защиты $I_{с.з.}$ принимается больше, чем ток проходящий по защища-

емому участку. Под током $I_{с.з.}$, понимают минимальный первичный ток защищаемого элемента, при котором защита срабатывает, ток проходящий при этом по обмотке реле называется током срабатывания реле $I_{с.р.}$

При КЗ, например, в точке К1, ток КЗ проходит по всем участкам сети, расположенным между источником питания и местом повреждения, таким образом приходят в действие все защиты однако по условиям селективности должна сработать на отключение только 3 защита. Для обеспечения такой селективности МТЗ, выполняются с выдержками времени нарастающими от потребителя к источнику питания. Соответственно при КЗ в точке К2, быстрее всех срабатывает защита 2, а защита 1, имеющая большее время, не действует. Рассмотренный принцип подбора выдержек времени называются ступенчатым.

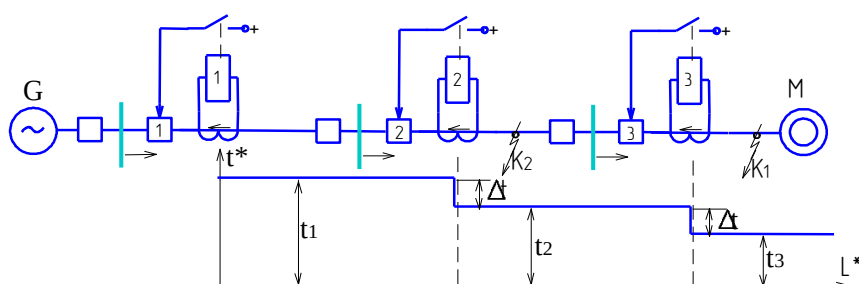


Рисунок 6.1 – Согласование характеристик максимальных токовых защит с независимой выдержкой времени

Указание по технике безопасности:

Указания по технике безопасности при выполнении лабораторных работ приведены в приложение А.

Указания по выполнению лабораторной работы:

Собрать схему лабораторных испытаний рис. 2 (ВСЕ модули стенда должны быть ОТКЛЮЧЕНЫ!).

Подключить аналоговые каналы модуля ввода-вывода для измерения фазных токов вводного выключателя и выключателя кабельной ЛЭП на первой секции сборных шин (каналы А1 и А2 к фазам А и С модуля вводного выключателя, каналы А3 и А7 к фазам А и С модуля выключателя кабельной ЛЭП). Вход модуля выключателя короткозамыкателя QK3 подключить к модулю короткозамыкателя, а выход — к клеммам А3, В3, С3 модуля выключателя кабельной ЛЭП 1СШ (точка К1). Перевести переключатели SA1 модуля трехфазной сети, SA2 модуля вводного выключателя, модулей выключателя кабельной ЛЭП, модуля двигательной нагрузки и модуля секционного выключателя в положение «Авт». Пе-

перевести переключатели SA3 модулей вводного выключателя и выключателя короткозамыкателя в верхнее положение. Включить автоматические выключатели QF1..QF3 на лицевой панели модуля короткозамыкателя. Включить автоматические выключатели QF1.. QF4 на модулях активной нагрузки. Включить питание стенда автоматическим выключателем QF1, расположенным на модуле питания стенда. Включить питание всех модулей, имеющих индивидуальный тумблер подачи питания SA1 «Сеть».

На персональном компьютере запустить программный комплекс «DeltaProfi» (Пуск - Программы - Лабораторный комплекс - DeltaProfi). Открыть лабораторную работу командой «Работы - Релейная защита и автоматика - Работа №02 МТЗ с независимой выдержкой времени».

В программе «DeltaProfi» перевести защиты МТ31, МТ32 в режим работы «действие на сигнал» (двойной щелчок левой кнопкой мыши на прямоугольники «МТ31» и «МТ32», в появившемся диалоговом окне установить переключатель «Режим работы» в положение «сигнал»).

Запустить программу в работу кнопкой «Пуск» или командой главного меню «Управление - Пуск» или горячей клавишей F5.

Дистанционно включить выключатель Q1 одинарным щелчком левой кнопки мыши по зеленому прямоугольнику «Q1». Программа всегда отображает текущее состояние выключателя (зеленый — отключен, красный — включен). Аналогичным образом включить выключатели Q3 и Q6. При этом на мнемосхеме отображаются мгновенные значения токов во вторичных обмотках измерительных трансформаторов тока.

Записать значение тока во вторичной обмотке измерительного трансформатора ТА6, пропорциональное току нагрузки $I_{н. макс}$

Рассчитать ток срабатывания защиты МТ32 по классической формуле:

$$I_{с.з.} = \frac{k_n \cdot k_z}{k_b} \cdot I_{н. макс}.$$

Коэффициент надежности принять равным $k_n = 1,055$.

Коэффициент запуска двигательной нагрузки принять равным $k_z = 1$. Коэффициент возврата реле тока принять равным $k_b = 0,97$.

Открыть диалоговое окно настройки параметров защиты двойным щелчком левой кнопкой мыши на прямоугольнике «МТ32»; в появившемся диалоговом окне ввести расчетный ток срабатывания защиты. Диалоговое окно закрыть. Включить выключатели Q5, Q7 и Q8. Записать значение тока во вторичной обмотке измерительного трансформатора ТА3, пропорциональное току нагрузки ввода №1 $I_{вв. макс}$.

Рассчитать ток срабатывания защиты МТ31 по классической формуле:

$$I_{с.з.} = \frac{k_n \cdot k_z}{k_v} \cdot I_{н. макс}$$

Коэффициент надежности принять равным $k_n = 1,050$.

Коэффициент запуска двигательной нагрузки принять равным $k_z = 1,92$. Коэффициент у возврата реле тока принять равным $k_v = 0,97$.

Открыть диалоговое окно настройки параметров защиты двойным щелчком левой кнопкой мыши на прямоугольнике «МТ31»; в появившемся диалоговом окне ввести расчетный ток срабатывания защиты. Диалоговое окно закрыть.

Рассчитать выдержки времени срабатывания защит МТ31 и МТ32 в соответствии со ступенчатым принципом обеспечения селективности действия. Задать полученные выдержки времени в диалоговых окнах настройки параметров защит.

Перевести защиты МТ31 и МТ32 в режим работы «действие на отключение». Создать короткое замыкание включением выключателя короткозамыкателя. При правильно выбранных уставках, срабатывает защита МТ32, отключая выключатель Q 6.

Отключить выключатель короткозамыкателя. Отключить все выключатели. Отключить питание стенда. Изменить точку подключения выключателя короткозамыкателя для создания короткого замыкания на первой секции сборных шин (клеммы А1, В1, С1 модуля выключателя кабельной ЛЭП. Точка К2). Включить питание стенда. Сбросить указательное реле защиты МТ32. Включить выключатели Q1, Q3, Q5, Q6, Q7 и Q8.

Создать короткое замыкание включением выключателя короткозамыкателя. При правильно выбранных уставках, срабатывает защита МТ31, отключая выключатель Q3.

Отключить выключатель короткозамыкателя. Отключить все выключатели. Отключить питание стенда. Изменить точку подключения выключателя короткозамыкателя для создания короткого замыкания на второй секции сборных шин (клеммы А1, В1, С1 модуля выключателя кабельной ЛЭП. Точка К3). Включить питание стенда. Сбросить указательное реле защиты МТ31. Включить выключатели Q1, Q3, Q5, Q6, Q7 и Q8.

Создать короткое замыкание включением выключателя короткозамыкателя. При правильно выбранных установках, срабатывает защита МТ31, отключая выключатель Q3.

Отключить выключатель короткозамыкателя. Отключить все выключатели. Отключить питание стенда. Изменить точку подключения выключателя короткозамыкателя для создания короткого замыкания на кабельной ЛЭП первой секции сборных шин (клеммы А3, В3, С3 модуля выключателя кабельной ЛЭП. Точка К1). Включить питание стенда. Сбросить указательное реле защиты МТ31. Включить выключатели Q1, Q3, Q5, Q6, Q7 и Q8.

Перевести защиту МТЗ2 в режим работы «действие на сигнал» для имитации её отказа. Создать короткое замыкание включением выключателя короткозамыкателя. При правильно выбранных уставках, срабатывает защита МТЗ1, отключая выключатель Q3.

Отключить все выключатели. Остановить программу кнопкой «Стоп», командой главного меню «Управление — Стоп» или горячей клавишей F6. Отключить питание стенда.

Сделать выводы о селективности действия защиты, определить, какие из исследованных точек короткого замыкания относятся к основной и какие к резервной зоне действия защиты МТЗ1. Оформить отчет по лабораторной работе.

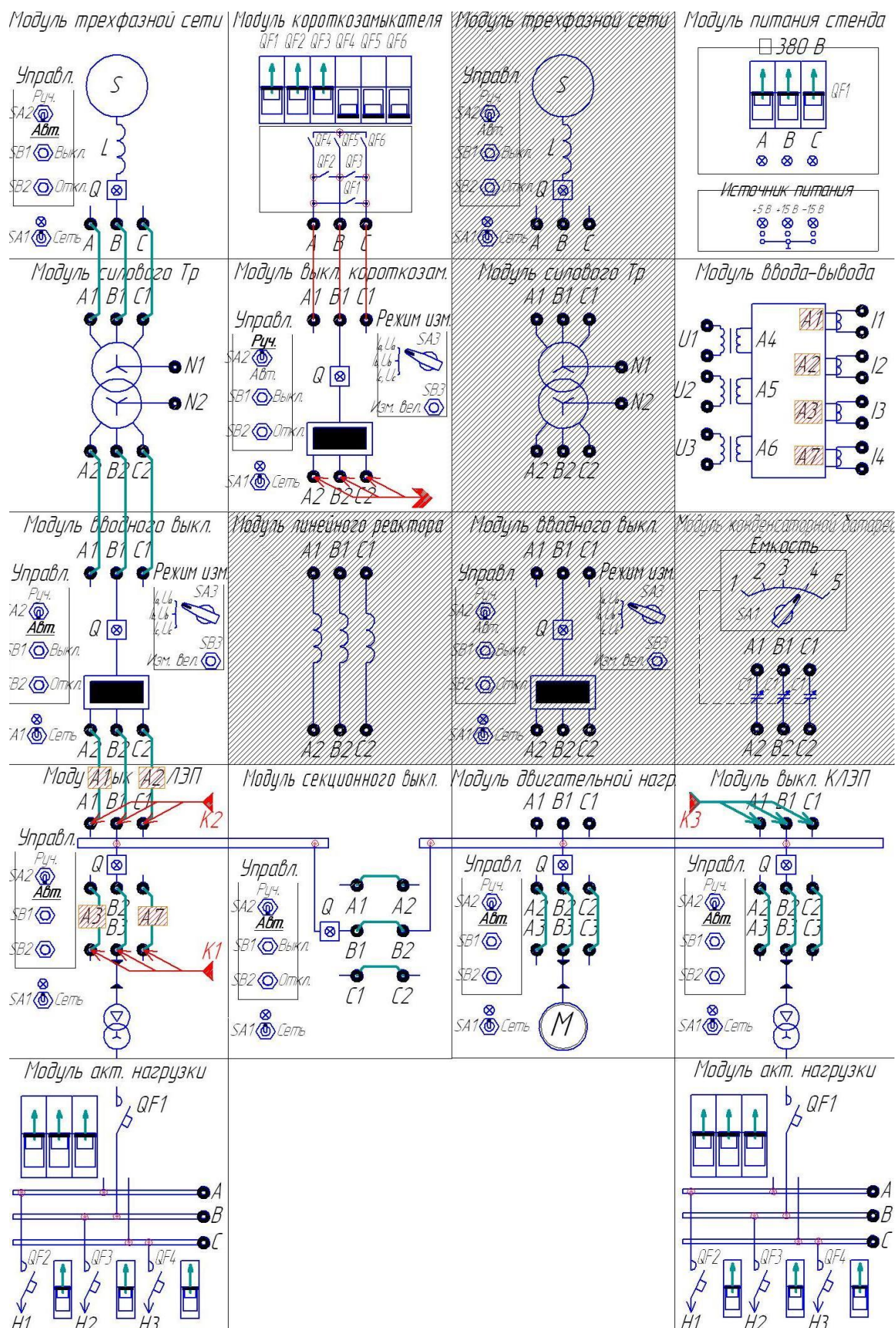


Рисунок 2.1 – Максимальная токовая защита с независимой выдержкой времени линии электропередачи и вводного выключателя. Схема электромонтажная

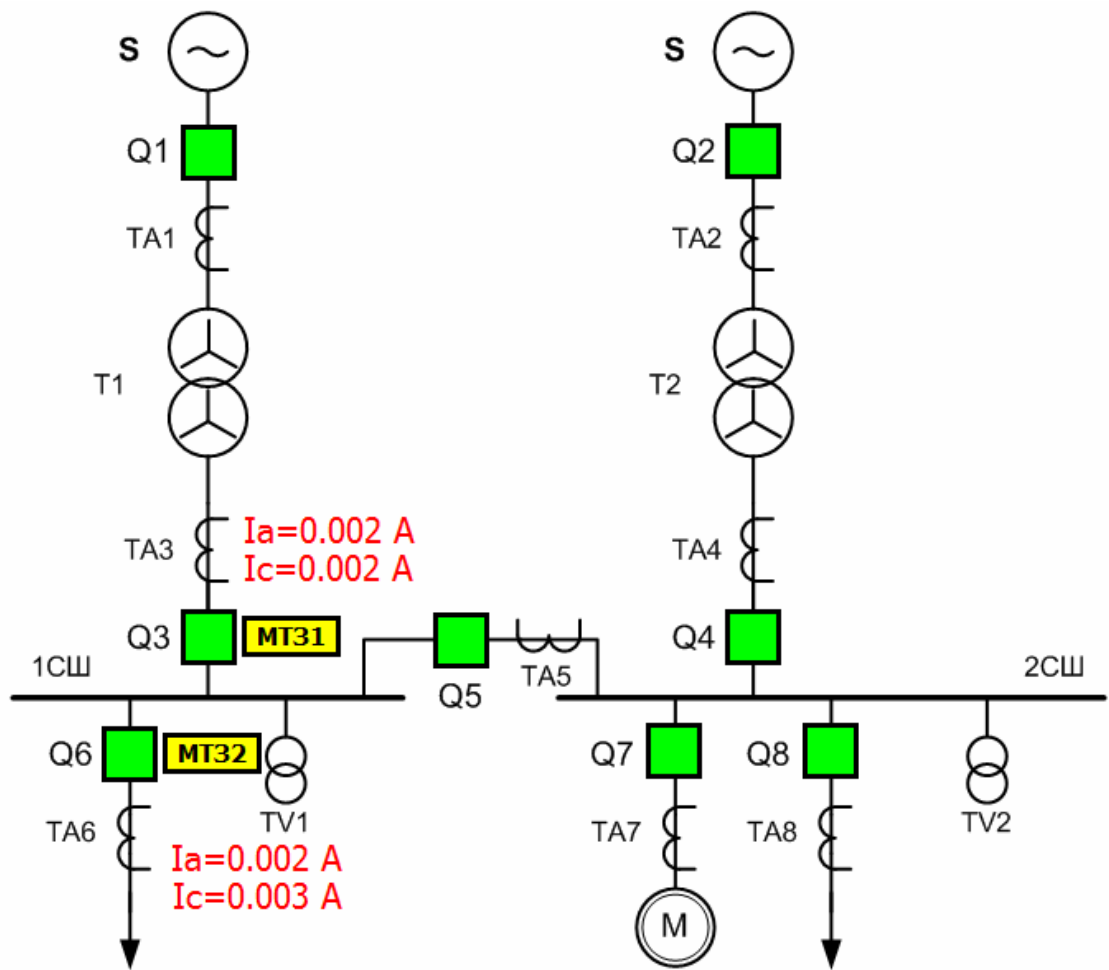


Рисунок 2.2 – Максимальная токовая защита с независимой выдержкой времени линии электропередачи и вводного выключателя. Мнемосхема

Содержание отчета:

Отчет должен содержать:

1. Название работы;
2. Цель работы;
3. Краткие теоретические сведения;
4. Описание используемого оборудования и материалов;
5. Порядок выполнения работы;
6. Вычисления и обработка результатов;
7. Выводы.

Контрольные вопросы:

1. Выбор времени действия защиты МТЗ.
2. Трехфазная схемы защиты МТЗ на постоянном оперативном токе.
3. Двухфазнаясхемы защиты МТЗ на постоянном оперативном токе.

Лабораторная работа №8. Электробаланс и определение потерь электрической энергии. Исследование влияния параметров элементов, схемы и режима электрической системы на его устойчивость.

Цель работы: Определить влияние длины линии электропередачи (ее эквивалентного сопротивления) на предел статической устойчивости СГ в номинальном режиме.

Основы теории:

Статическая устойчивость – способность энергосистемы возвращаться к установившемуся режиму после малых возмущений режима, при которых изменения параметров очень малы по сравнению с их средними значениями.

Динамическая устойчивость – способность энергосистемы возвращаться к установившемуся режиму работы после значительных возмущений (КЗ, отключение любого элемента энергосистемы и т.п.), при которых изменения параметров режима по сравнению со значениями этих параметров без перехода к асинхронному режиму.

Расчет статической и динамической устойчивости выполняется для:

выбора основной схемы энергосистемы и уточнения размещения основного оборудования;

выбора рабочих режимов энергосистем;

выбора мероприятий по повышению устойчивости энергосистем;

определения параметров настройки систем регулирования и управления, релейной защиты (РЗ), автоматического повторного включения (АПВ) и др.;

определения параметров настройки систем ПК, предназначенных для повышения устойчивости энергосистем;

проверки выполнения нормативных показателей устойчивости.

При определении методов анализа динамической устойчивости оператор системы передачи (ОСП) применяет следующие правила:

Если границы статической устойчивости достигаются ранее границ динамической устойчивости, ОСП с учетом аварийных ситуаций из перечня аварийных ситуаций должен выполнять анализ динамической устойчивости только на основе результатов расчетов динамической устойчивости, выполненных для долгосрочного планирования.

Если при планировании отключений пределы динамической устойчивости достигаются ранее границ статической устойчивости, ОСП с учетом аварийных ситуаций из перечня аварийных ситуаций должен провести анализ динамической устойчивости на этапе оперативного планирования на день вперед, пока эти режимы существуют. ОСП должен

подготовить корректирующие действия, которые будут использоваться в случае необходимости во время работы в реальном времени.

Если сеть в режиме реального времени находится в ситуации "N", а границы динамической устойчивости достигаются ранее границ статической устойчивости, ОСП с учетом аварийных ситуаций из перечня аварийных ситуаций должен проводить анализ динамической устойчивости на всех этапах оперативного планирования и быть способным быстрее повторно оценивать пределы динамической устойчивости после существенного изменения режима.

Если анализ динамической устойчивости указывает на нарушение границ устойчивости, ОСП должен разработать, подготовить и активизировать корректирующие действия с целью поддержания устойчивости системы передачи. Эти корректирующие действия могут охватывать пользователей системы передачи / распределения.

ОСП должен настроить оборудование, релейная защита и противоаварийная автоматика таким образом, чтобы при ликвидации нарушений, способных привести к широкомасштабной потере устойчивости системы, был меньше, чем критическое время устранения повреждений, исчисленный ним при анализе динамической устойчивости.

Объектом исследования динамической устойчивости является расчет реакции системы на конкретный набор аварий, обычно однофазных или трехфазных КЗ, которые можно устранить путем отключения линий электропередачи. Выполняется проверка реакции генераторов для того, чтобы убедиться, что все оборудование работает синхронно, затухания колебаний в энергосистеме остаются на допустимом уровне и восстановление напряжения после аварии происходит должным образом.

Моделирование переходных процессов должно учитывать все соответствующие воздействия во временных рамках, представляющих интерес, обычно несколько секунд после возникновения аварии, является объектом анализа переходных режимов. Также необходимо точно воспроизвести реакцию системы учитывая частоту зафиксированных колебаний. Обычно, колебания в энергосистеме возникают в диапазоне от 0,2 до 2 Гц. Также очень важным является моделирование способности (или неспособности) станции контролировать напряжение в этих временных рамках.

Запас статической устойчивости для установившегося режима работы энергосистем определяется его близостью к границе области устойчивости. Этот запас характеризуется коэффициентами запаса. По условиям статической устойчивости энергосистем нормируют минимальные коэффициенты запаса по активной мощности в сечениях и минимальные коэффициенты запаса по напряжению в узлах нагрузки. Кроме того, устанавливают группы

нормативных возмущений, при которых должны обеспечиваться как динамическая устойчивость, так и нормативные запасы статической устойчивости в послеаварийных режимах.

Для определения коэффициента запаса статической устойчивости по активной мощности в сечении схемы выполняются утяжеления режима путем увеличения перетока мощности в сечении до получения предельного по устойчивости режима.

Во время эксплуатации для контроля за соблюдением нормативных запасов статической устойчивости следует, как правило, использовать значение перетоков активной мощности. При необходимости задают как функции перетоков в других сечениях максимально допустимые и аварийнодопустимые перетоки. Такие перетоки и напряжение следует считать контролируемыми параметрами. В зависимости от конкретных условий как контролируемые можно использовать другие параметры режима энергосистемы, в частности значения углов между векторами напряжения на концах линии электропередачи. Допустимые значения контролируемых параметров, при которых обеспечивается нормативный коэффициент запаса по активной мощности, устанавливают на основе расчетов соответствующих режимов работы энергосистем.

Для контроля соблюдения нормативных запасов напряжения в эксплуатационной практике можно использовать напряжение в любых узлах энергосистемы. Допустимые значения напряжения в контролируемых узлах устанавливают по расчетам режимов работы энергосистем.

Для получения полной картины по статической устойчивости режимов работы энергоблоков электростанций ОЭС Украины, необходимо осуществить проверку исходных нормальных, ремонтных и послеаварийных режимов колеблющуюся устойчивость с учетом соответствующих математических моделей как самих генераторов, так и их систем возбуждения с АРВ.

Ниже показано скольжение роторов генераторов и напряжений на выходе АРЗ 57 генераторов электростанций Украины. Как видно из этих зависимостей - исходный режим работы всех генераторов статически устойчив.

Указание по технике безопасности:

Указания по технике безопасности при выполнении лабораторных работ приведены в приложение А.

Указания по выполнению лабораторной работы:

ВНИМАНИЕ! ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА ВЫПОЛНЯЕТСЯ ПРИ ОДНОВРЕМЕННОМ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ДВУХ ЛАБОРАТОРНЫХ СТОЕК «Модель электростанции №1» и «Модель электростанции №2». Собрать схему лабораторных испытаний в соответствии с рис.7.1 (питание стенда должно быть ОТКЛЮЧЕНО!). Модуль ввода-вывода используется для измерения фазных токов и напряжений. Для этого, измерительные каналы тока A1, A2, A3 включены последовательно в фазы А, В и С между модулем синхронизации и силовым трансформатором Т2. Измерительные каналы по напряжению A4, A5, A6 подключены к клеммам A1, B1, C1 модуля силового трансформатора, измерение напряжений осуществляется относительно общей точки обмоток силового трансформатора Т2. На противоположной лабораторной стойке, собрать схему в соответствии с рис.7.2. Продольную составляющую на модулях линий электропередач установить минимальной (переключатель SA1 в положение 1), поперечную составляющую отключить (переключатели SA2, SA3 в положение 1).

Перевести переключатели режима управления всех задействованных блоков в положение «Руч». Установить потенциометры задания RP1 модуля частотного преобразователя и модуля возбуждения в крайнее левое положение.

На персональном компьютере запустить программный комплекс «DeltaProfi» (Пуск – Программы – Лабораторный комплекс – DeltaProfi). Открыть лабораторную работу командой «Работы – Переходные процессы – Синхронизация генератора с сетью». Запустить программу в работу кнопкой «Пуск» или командой главного меню «Управление – Пуск» или горячей клавишей F5.

Подать питание на стенд (включить автомат модуля питания стенда).

Включить все задействованные модули, имеющие индивидуальный тумблер подачи питания «Сеть».

Включить выключатель Q4 (кнопка SB1 на лицевой панели модуля). На противоположной лабораторной стойке: включить питание стенда, включить выключатели Q4 и Q7.

Включить генератор на параллельную работу с сетью (выполнить пункты 7..13 согласно методическим указаниям к лабораторной работе №3). Установить номинальный ток возбуждения синхронного генератора 1А.

Плавное повышение напряжения управления приводного двигателя определить величину предела статической устойчивости синхронного генератора. **ВНИМАНИЕ!** При достижении предела статической устойчивости генератор перейдет в режим асинхронного хода. Длительное пребывание (более 10 сек) в этом режиме не допустимо, поэтому, в случае потери устойчивости необходимо:

снизить величину напряжения управления приводным двигателем до тех пор, пока генератор не втянется в синхронизм;

если ресинхронизация не произошла, необходимо отключить связь с трехфазной сетью (кнопка SB2 модуля синхронизации), снять возбуждение генератора (потенциометр RP1 модуля возбуждения), отрегулировать частоту вращения электромашинного агрегата (потенциометр RP1 модуля частотного преобразователя) до номинального значения и произвести повторную синхронизацию генератора с сетью.

Определить предел статической устойчивости генератора при другом значении сопротивления ЛЭП (определить влияние длины линии электропередачи на устойчивость параллельной работы СГ). Для этого выключить стенд, установить переключатели SA1 модулей линий электропередач в положение 2, определить предел статической устойчивости в соответствии с рекомендациями к данной лабораторной работе.

Отключить стенд в соответствии с ПОРЯДКОМ ОТКЛЮЧЕНИЯ СТЕНДА в лабораторной работе №3, отключить все модули и питание стенда на противоположной лабораторной стойке, обработать полученные результаты и оформить отчет по лабораторной работе.

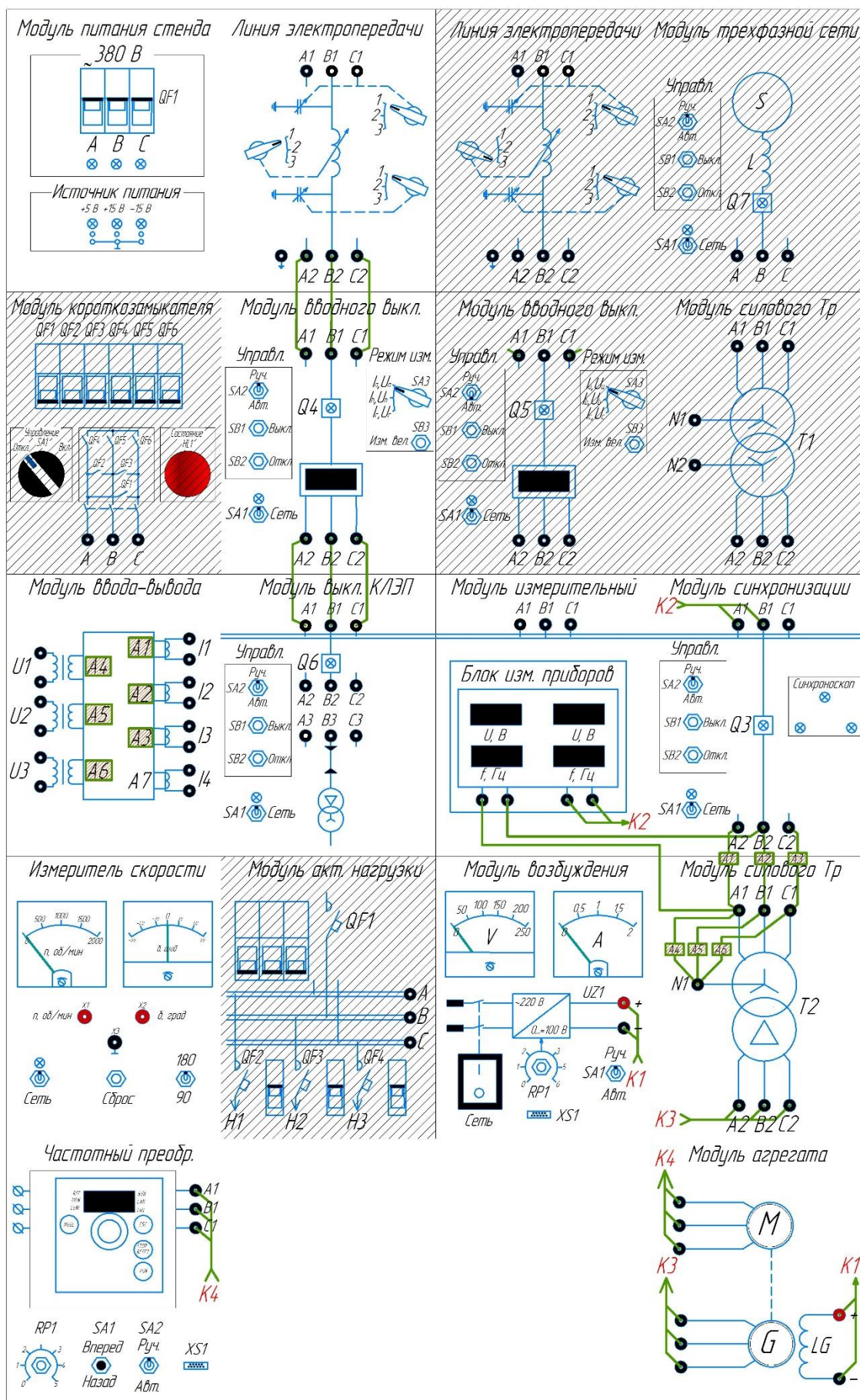


Рисунок 7.1 – Схема соединений лабораторной стойки №1

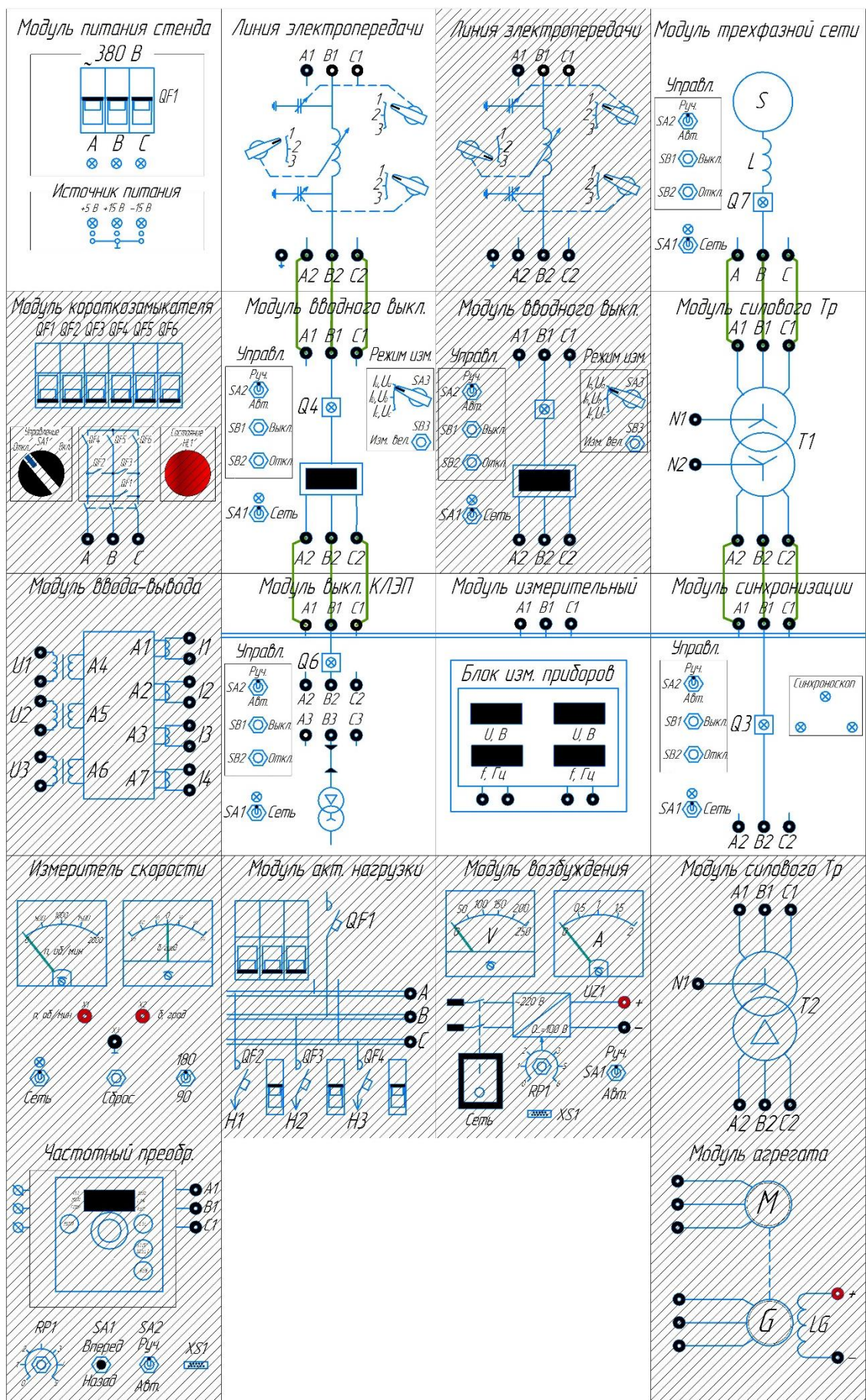


Рисунок 7.2 – Схема соединений лабораторной стойки №2

Содержание отчета:

Отчет должен содержать:

1. Название работы;
2. Цель работы;
3. Краткие теоретические сведения;
4. Описание используемого оборудования и материалов;
5. Порядок выполнения работы;
6. Вычисления и обработка результатов;
7. Выводы.

Контрольные вопросы:

1. По какому практическому критерию определяется статическая устойчивость од-
номашинной энергосистемы?
2. Почему уменьшается предел статической устойчивости одномашинной энергоси-
стемы при подключении шунтирующего реактора?
3. Почему повышается предел статической устойчивости одномашинной энергоси-
стемы при подключении конденсаторной батареи?
4. Почему в уточненной модели энергосистемы угловые характеристики $P_1(\delta)$ и P_2
(δ) не совпадают?

Лабораторная работа №9. Оптимизация систем электроснабжения. Дистанционное управление и отображение режимных параметров в централизованных комплексах диспетчерского управления.

Цель работы: Изучить принципы реализации системы передачи, обработки и отображения сигналов телеизмерений и теле сигнализации и телеуправления.

Основы теории:

Энергосистема представляет собой единую сеть, состоящую из источников электрической энергии – электростанций, электрических сетей, а также подстанций, которые осуществляют преобразование и распределение произведенной электроэнергии. Для управления всеми процессами производства, передачи и распределения электрической энергии существует система оперативно-диспетчерского управления.

Энергосистема страны может включать в себя несколько предприятий разной формы собственности. Каждое из электроэнергетических предприятий имеет отдельную службу оперативно-диспетчерского управления.

Все службы отдельных предприятий управляются центральной диспетчерской системой. В зависимости от величины энергосистемы центральная диспетчерская система может разделяться на отдельные системы по регионам страны.

Энергосистемы смежных стран могут включаться на параллельную синхронную работу. Центральная диспетчерская система (ЦДС) осуществляет оперативно-диспетчерское управление межгосударственными электрическими сетями, по которым осуществляются перетоки мощностей между энергосистемами смежных стран.

Задачи оперативно-диспетчерского управления энергосистемой:

поддержание баланса между количеством производимой и потребляемой мощности в энергосистеме;

надежность электроснабжения снабжающих предприятий от магистральных сетей 220-750 кВ;

синхронность работы электростанций в пределах энергосистемы;

синхронность работы энергосистемы страны с энергосистемами смежных стран, с которыми есть связь межгосударственными линиями электропередач.

Исходя из вышеперечисленного, следует, что система оперативно-диспетчерского управления энергосистемой обеспечивает ключевые задачи в энергосистеме, от выполнения которых зависит энергетическая безопасность страны.

Организация процесса оперативно-диспетчерского управления (ОДУ) в энергетике осуществляется таким образом, чтобы обеспечить распределение различных функций по нескольким уровням. При этом каждый уровень подчиняется вышестоящему.

Например, самый начальный уровень - оперативно-технический персонал, который осуществляет непосредственно операции с оборудованием в различных точках энергосистемы, подчиняется вышестоящему оперативному персоналу - дежурному диспетчеру подразделения энергоснабжающего предприятия, за которым закреплена электроустановка. Дежурный диспетчер подразделения, в свою очередь подчиняется диспетчерской службе предприятия и т.д. вплоть до центральной диспетчерской системы страны.

Процесс управления энергосистемой организован таким образом, чтобы обеспечить непрерывный контроль и управление всеми составляющими объединенной энергосистемы.

Для обеспечения нормальных условий работы как отдельных участков энергосистемы, так и энергосистемы в целом, для каждого объекта разрабатываются специальные режимы (схемы), которые следует обеспечивать в зависимости от режима работы того или иного участка электрической сети (нормальный, ремонтный, аварийный режимы).

Для обеспечения выполнения главных задач ОДУ в энергосистеме помимо оперативного управления существует такое понятие как оперативное ведение. Все операции с оборудованием на том или ином участке энергосистемы осуществляются по команде вышестоящего оперативного персонала - это процесс оперативного управления.

Выполнение операций с оборудованием в той или иной мере оказывает влияние на работу других объектов энергосистемы (изменение потребляемой или вырабатываемой мощности, снижение надежности электроснабжения, изменение значений напряжения). Следовательно, такие операции должны предварительно согласовываться, то есть выполняться с разрешения того диспетчера, который осуществляет оперативное обслуживание данных объектов.

То есть, в оперативном ведении диспетчера находится все оборудование, участки электрической сети, режим работы которых может измениться в результате операций на оборудовании смежных объектов.

Например, линия соединяет две подстанции А и Б, при этом подстанция Б получает питание от А. Отключение линии со стороны подстанции А осуществляется оперативным персоналом по команде диспетчера данной ПС. Но отключение данной линии должно производиться только по согласованию с диспетчером подстанции Б, так как данная линия находится в его оперативном ведении.

Таким образом, при помощи двух основных категорий - оперативное управление и оперативное ведение, осуществляется организация оперативно-диспетчерского управления энергосистемой и ее отдельными участками.

Для организации процесса ОДУ разрабатываются и согласовываются между собой инструкции, указания и различная документация для каждого отдельного подразделения в соответствии с уровнем, к которому относится та или иная оперативная служба. Для каждого уровня системы ОДУ имеется свой индивидуальный перечень необходимой документации.

Указание по технике безопасности:

Указания по технике безопасности при выполнении лабораторных работ приведены в приложение А.

Указания по выполнению лабораторной работы:

На лабораторной стойке «Модель электростанции №1» собрать схему лабораторных испытаний, соответствующую режиму №1.

На лабораторной стойке «Модель электростанции №2» собрать схему лабораторных испытаний, соответствующую режиму №2.

Включить автоматы источников питания моделей электростанций №1 и №2.

На персональном компьютере централизованного комплекса диспетчерского управления (ЦКДУ) запустить программный комплекс «DeltaProfi» (Пуск – Программы – Лабораторный комплекс – DeltaProfi). Загрузить необходимую конфигурацию программы командой «Работы – ИЭС – Комплекс ДУ – ТСиТИ». Запустить программу в работу кнопкой «Пуск» или командой главного меню «Управление – Пуск» или горячей клавишей F5.

На персональном компьютере модели электростанции №1 запустить программный комплекс «DeltaProfi» (Пуск – Программы – Лабораторный комплекс – DeltaProfi). Загрузить необходимую конфигурацию программы командой «Работы – ИЭС – Электростанция №1 – ТСиТИ». Запустить программу в работу кнопкой «Пуск» или командой главного меню «Управление – Пуск» или горячей клавишей F5.

На персональном компьютере модели электростанции №2 запустить программный комплекс «DeltaProfi» (Пуск – Программы – Лабораторный комплекс – DeltaProfi). Загрузить необходимую конфигурацию программы командой «Работы – ИЭС – Электростанция №2 – ТСиТИ». Запустить программу в работу кнопкой «Пуск» или командой главного меню «Управление – Пуск» или горячей клавишей F5.

Исследовать работу электроэнергетической сети в режиме одностороннего питания. Для этого, дистанционно включить выключатели Q6 и Q7 электростанции №1 (щелчком левой кнопки мыши по изображению выключателя на мнемосхеме локального комплекса управления электростанции). Аналогичным образом включить выключатель Q6 на электростанции №2. На централизованном комплексе диспетчерского управления подать команды на включение выключателей линии электропередачи W1 со стороны электростанции №1 и №2. Записать текущие значения режимных параметров на электростанциях и ЦКДУ.

Включить выключатели линии электропередачи W2, подачей дистанционных команд с локальных комплексов управления станциями №1 и №2. Записать изменившиеся значения режимных параметров.

Исследовать работу электроэнергетической сети в режиме двухстороннего питания. Для этого, перевести тумблер SA1 разрешения работы частотного преобразователя в положение «Вперед». Изменяя положение потенциометра RP1 модуля преобразователя частоты, задать уставку по частоте 50Гц, соответствующую частоте вращения приводного двигателя 1500 об/мин. Подать дистанционную команду на включение генераторного выключателя Q3. Включить тумблер подачи питания «Сеть» модуля возбуждения. Плавное повышение сигнала задания потенциометром RP1, установить номинальный ток возбуждения генератора 0,8А. Увеличивая сигнал задания мощности приводного двигателя потенциометром RP1 перевести генератор в режим выдачи активной мощности 50 Вт. Записать текущие значения режимных параметров.

На ЦКДУ подать дистанционные команды на отключение одной из линий электропередач. Записать изменившиеся значения режимных параметров.

Внимание! При потере устойчивости синхронного генератора, вызванного отключением одной из ЛЭП, необходимо отключить генератор от сети выключателем Q3 (дистанционно, на мнемосхеме локального комплекса управления электростанции №2).

Отключить генератор электростанции №2 от сети дистанционной командой отключения выключателя Q3. Перевести потенциометр RP1 модуля возбуждения в крайнее левое положение. Перевести потенциометр RP1 модуля «Преобразователь частоты» в крайнее левое положение. Отключить переключатель «Сеть» источника возбуждения синхронного генератора. Переключатель SA1 разрешения работы частотного преобразователя перевести в среднее положение.

На ЦКДУ подать команды теле отключения всех выключателей в электроэнергетической системе. Отключить автоматы источников питания моделей электростанций №1 и №2.

Остановить работу программ управления на электростанциях №1 и №2 кнопкой «Стоп», командой главного меню «Управление – Стоп» или горячей клавишей F6. Аналогичным образом, остановить работу программы управления на ЦКДУ. Внимание! При останове работы программ на локальных комплексах управления электростанциями, программное обеспечение на ЦКДУ выдает сообщение, о том, что один из клиентов информационной сети был отключен. Это не является ошибкой.

Проанализировать полученные данные, сделать выводы о влиянии параметров электроэнергетической сети на режим работы потребителей и статическую устойчивость синхронных генераторов. Оформить отчет по лабораторной работе. В отчете отразить, какие преимущества дает использование системы телеизмерений, теле сигнализации и телеуправления.

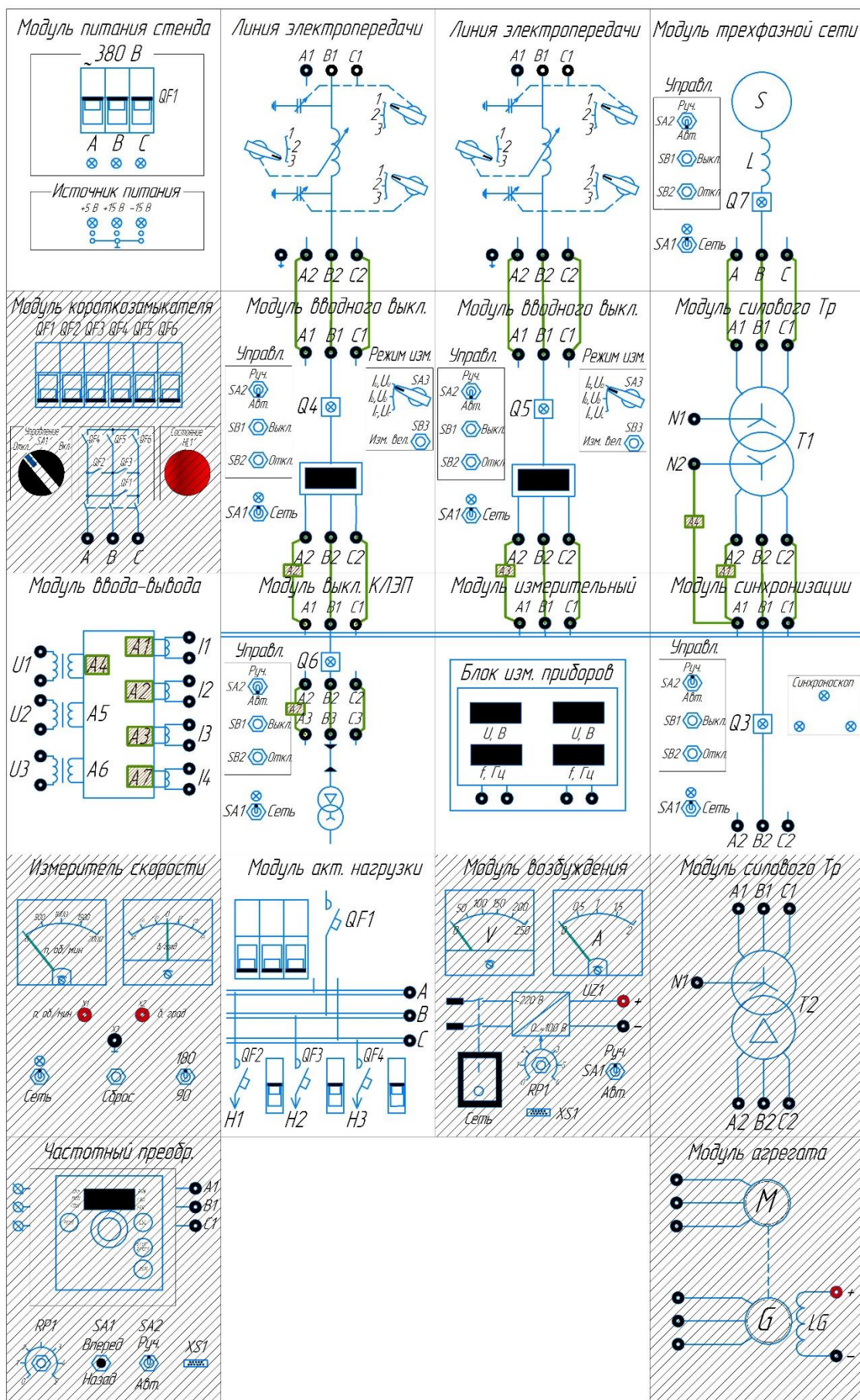


Рисунок 8.1 – Схема соединений лабораторной стойки №1

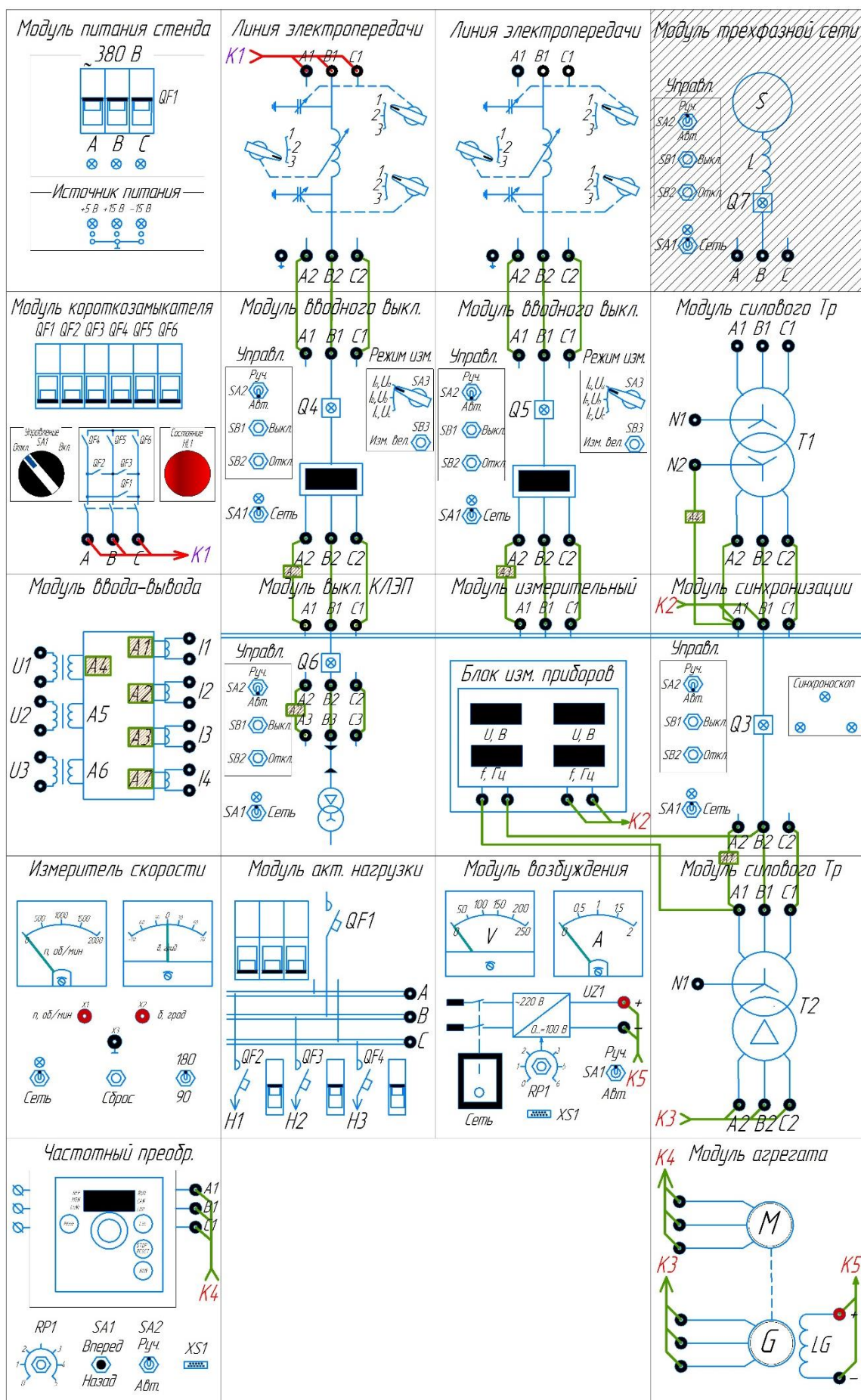


Рисунок 8.2 – Схема соединений лабораторной стойки №2

Содержание отчета:

Отчет должен содержать:

1. Название работы;
2. Цель работы;
3. Краткие теоретические сведения;
4. Описание используемого оборудования и материалов;
5. Порядок выполнения работы;
6. Вычисления и обработка результатов;
7. Выводы.

Контрольные вопросы:

1. Какие задачи оперативного контроля и управления?
2. Структура АСКУЭ, построенная с применением ПЭВМ.
3. Развитие систем автоматизации и диспетчеризации СЭС
4. Основные задачи АСДУ?

5. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

5.1 Перечень основной и дополнительной литературы, необходимой для освоения дисциплины

5.1.2 Перечень основной литературы:

1. Сибикин, Ю.Д. Основы проектирования электроснабжения объектов : учебное пособие / Ю.Д. Сибикин. - Москва ; Берлин : Директ-Медиа, 2015. - 357 с. : ил., схем., табл. - Библиогр. в кн. - ISBN 978-5-4475-3979-5 ; То же [Электронный ресурс]. - URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=469117>

2. Данилов, М.И. Инженерные системы зданий и сооружений (электроснабжение с основами электротехники) : учебное пособие / М.И. Данилов, И.Г. Романенко ; Министерство образования и науки Российской Федерации, Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Северо-Кавказский федеральный университет». - Ставрополь : СКФУ, 2015. - 223 с. : ил. - Библиогр. в кн. ; То же [Электронный ресурс]. - URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=457214>

5.1.3 Перечень дополнительной литературы:

1. Сибикин, Ю.Д. Основы проектирования электроснабжения промышленных и гражданских зданий: учебник / Ю.Д. Сибикин. - 6-е изд., перераб. - Москва ; Берлин : Директ-Медиа, 2016. - 508 с. : схем., табл., ил. - Библиогр. в кн. - ISBN 978-5-4475-8608-9 ; То же [Электронный ресурс]. - URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=459494>

5.2 Перечень учебно-методического обеспечения самостоятельной работы обучающихся по дисциплине

1. Методические указания по выполнению практических работ по дисциплине «Электроснабжение промышленных предприятий».

2. Методические указания по выполнению лабораторных работ по дисциплине «Электроснабжение промышленных предприятий».

3. Методические указания по организации и проведению самостоятельной работы по дисциплине «Электроснабжение промышленных предприятий».

5.3 Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети Интернет, необходимых для освоения дисциплины

1. <http://www.biblioclub.ru> -ЭБС "Университетская библиотека онлайн"

2. <http://www.iprbookshop.ru/> - Электронно- библиотечная система IPRbooks

Указание по технике безопасности

До начала работы студенты обязаны изучить правила техники безопасности при работе с электроустановками. Об изучении правил техники безопасности и получении инструктажа студенты расписываются в специальном журнале. Студенты, не изучившие правила техники безопасности и не прошедшие инструктаж, к выполнению лабораторных работ не допускаются.

Учебная группа (или подгруппа) разбивается на бригады, число которых указывается преподавателем, а состав бригад комплектуется студентами на добровольных началах. Список группы (подгруппы), разбитой на бригады, староста предоставляет преподавателю, ведущему лабораторные занятия.

Каждая из бригад выполняет лабораторную работу в соответствии с графиком, находящемся в лаборатории.

Перед каждым занятием студент обязан подготовиться к выполнению лабораторной работы по данному методическому пособию и рекомендуемой литературе. Перед началом работы преподаватель проверяет знания студентов по содержанию выполняемой работы. Плохо подготовленные студенты к выполнению лабораторной работы не допускаются.

Работая в лаборатории, необходимо соблюдать следующие правила:

К выполнению лабораторной работы следует приступать только после полного уяснения ее содержания и получения допуска к ней.

2. Начинать работу следует с ознакомления с приборами и оборудованием, применяемыми в данной работе.

3. На лабораторном столе должны находиться только предметы, необходимые для выполнения данной работы.

4. Расположение аппаратуры на рабочем столе должно быть таким, чтобы схема соединений получилась наиболее простой, наглядной и работа с аппаратурой была удобной.

5. Желательно, чтобы схему собирал один из членов бригады, а другие контролировали.

6. При сборке сложных схем следует вначале соединить главную, последовательную цепь, начиная сборку от одного зажима источника тока и заканчивая на другом, а затем уже подключить параллельные цепи.

7. После того, как схема будет собрана, необходимо убедиться в правильной установке движков реостатов, автотрансформаторов и рукояток других регулирующих устройств.

8. Собранная схема обязательно должна быть проверена преподавателем или старшим лаборантом и только с их разрешения может быть включена под напряжение.

9. При включении схемы особое внимание следует обратить на показания амперметров и других измерительных приборов. В случае резкого движения стрелки амперметра к концу шкалы схему необходимо немедленно отключить от источника напряжения.

10. Необходимо бережно относиться к аппаратуре, используемой в работе. Обо всех замеченных неисправностях или повреждениях студент должен немедленно сообщить преподавателю или лаборанту.

11. После выполнения работы студент обязан, не разбирая схемы показать полученные данные преподавателю. Если результаты измерений верны, то преподаватель их подписывает. Эксперимент с неправильными результатами следует повторить.

12. Схему следует разбирать только после ее отключения от сети.

13. Категорически запрещается:

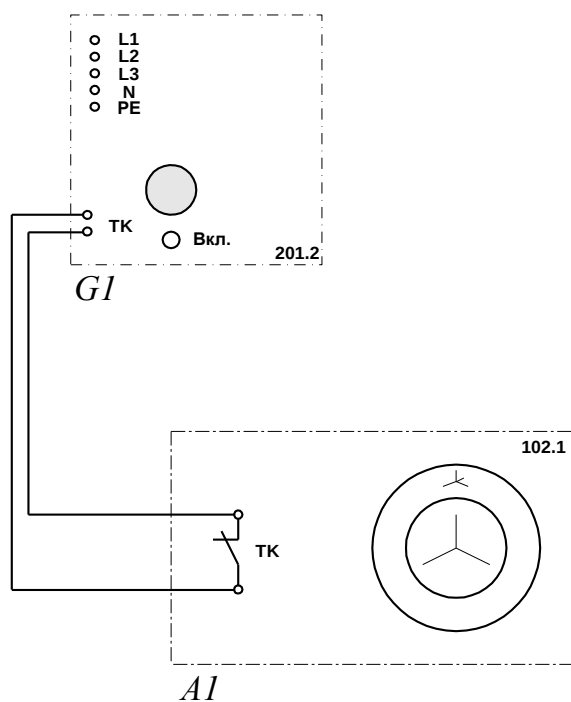
- трогать руками оголенные провода и части приборов, находящиеся под напряжением, даже если оно невелико;
- производить изменения в схеме при подключенном источнике питания;
- заменять или брать оборудование, или приборы с других рабочих мест
- без разрешения преподавателя или лаборанта;
- отходить от приборов и машин, находящихся под напряжением или оставлять схему под напряжением при обработке результатов измерений;
- перегружать приборы током или напряжением, превышающим номинальное значение.

Проверку наличия, подаваемого к схеме или элементам схемы напряжения необходимо производить только контрольной лампочкой или вольтметром, соблюдая правила техники безопасности.

При работе в лаборатории следует строго соблюдать меры предосторожности, так как электрический ток, проходящий через тело человека, величиной в 0,025 А уже является опасным для жизни.

Приложение Б

Электрическая схема соединений тепловой защиты машины переменного тока



Перечень аппаратуры:

Обозначение	Наименование	Тип	Параметры
A1	Машина переменного тока	102.1	100 Вт / 230 В ~ / 1500 мин ⁻¹
G1	Трёхфазный источник питания	201.2	400 В ~ / 16 А

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ
ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
«СЕВЕРО-КАВКАЗСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
Пятигорский институт (филиал) СКФУ

Методические указания
по выполнению практических работ
по дисциплине «ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЕ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ»
для студентов направления подготовки
13.03.02 Электроэнергетика и электротехника

Пятигорск 2026 г.

Содержание

№ п/п	Стр.
	Введение
1.	Цель и задачи изучения дисциплины
2.	Оборудование и материалы
3.	Наименование практических работ
4.	Содержание практических работ
4.1	Практическая работа №1. Внутрицеховое электроснабжение. Внутрицеховые электрические сети напряжением до 1 кВ.
4.2	Практическая работа № 2. Электрические нагрузки. Электрические нагрузки промышленных предприятий.
4.3.	Практическая работа № 3. Системы электроосвещения промышленных предприятий. Расчет освещения цеха.
4.4	Практическая работа №4. Выбор числа и мощности силовых трансформаторов. Силовые трансформаторы подстанций.
4.5	Практическая работа № 5. Выбор места расположения питающих подстанций и схем электроснабжения промышленного предприятия. Определение местоположения цеховой подстанции.
4.6	Практическая работа №6. Коммутационные аппараты, шины и шинопроводы в системах электроснабжения. Коммутационные и защитные аппараты до 1 кВ.
4.7	Практическая работа №7. Конструктивное исполнение электрических сетей, трансформаторных подстанций и распределительных устройств напряжением свыше 1000 В. Питающая и распределительная сеть 6 – 10 кВ предприятий.
4.8	Практическая работа № 8. Компенсация реактивной мощности. Компенсация реактивной мощности.
4.9	Практическая работа № 9. Защитные меры электробезопасности. Расчет контура заземления.
4.10	Практическая работа № 10. Релейная защита и автоматика в системах электроснабжения промышленных зданий и предприятий. Расчет и выбор элементов релейной защиты цехового трансформатора.

- 4.11 Практическая работа № 11. Электробаланс и определение потерь электрической энергии. Потери мощности и энергии в элементах системы электро-снабжения.
- 5 Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины
 - 5.1 Перечень основной и дополнительной литературы, необходимой для освое-ния дисциплины
 - 5.2 Перечень учебно-методического обеспечения самостоятельной работы обу-чающихся по дисциплине
 - 5.3 Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети Интернет, необходимых для освоения дисциплины
- Приложение

Введение

Практические занятия создают оптимальные дидактические условия для деятельностного освоения студентами содержания и методологии изучаемой дисциплины. Практические занятия занимают преимущественное место при изучении общепрофессиональных и профессиональных дисциплин. Практические занятия проводятся с целью выработки практических умений и приобретения навыков в решении задач, отработки упражнений, выполнении чертежей, производстве расчётов и т.п.

Целью практических занятий является формирование практических умений – профессиональных (выполнять определённые действия, операции, необходимые в последующем в профессиональной деятельности) или учебных, необходимых в последующей учебной деятельности по общепрофессиональным и профессиональным дисциплинам.

Библиографический список содержит сведения о справочной литературе и дополнительных изданиях, необходимых для углубленного изучения отдельных вопросов.

1. Цель и задачи изучения дисциплины

Цель изучения дисциплины «Электроснабжение промышленных предприятий» состоит в получении знаний о построении и режимах работы систем электроснабжения промышленных и гражданских объектов, а также объектов сельского хозяйства и транспортных систем.

Задачей дисциплины является изучение физических основ формирования режимов электропотребления, освоение основных методов расчёта интегральных характеристик режимов и определения расчётных нагрузок, показателей качества электроснабжения, изучение методов достижения заданного уровня надежности оборудования и систем электроснабжения.

2. Оборудование и материалы

Аппаратные средства: переносной ноутбук, проектор, доска магнитно-маркерная.

Учебная аудитория для проведения учебных занятий, оснащена оборудованием и техническими средствами обучения.

3. Наименование практических работ

Для заочной формы обучения предусмотрены следующие практические работы:

Практическая работа № 4. Электрические нагрузки- 2 часа, практическая подготовка – 2 часа, Практическая работа № 7. Выбор числа и мощности силовых трансформаторов- 2 часа, Практическая работа №9. Коммутационные аппараты, шины и шинопроводы в системах электроснабжения- 2 часа, Практическая работа №11. Компенсация реактивной мощности- 2 часа.

№ Темы дисциплины	Наименование тем дисциплины, их краткое содержание	Объем часов	Из них практическая подготовка, часов
8 семестр			
1	Практическая работа №1. Внутрицеховое электроснабжение. Внутрицеховые электрические сети напряжением до 1 кВ. Изучить основные внутрицеховые электрические сети напряжением до 1 кВ.	2	

2	Практическая работа № 2. Электрические нагрузки. Электрические нагрузки промышленных предприятий. Приобрести навыки расчета электрических нагрузок промышленных предприятий.	2	2
3	Практическая работа № 3. Системы электроосвещения промышленных предприятий. Расчет освещения цеха. Приобрести практические навыки по расчету освещения.	2	
4	Практическая работа №4. Выбор числа и мощности силовых трансформаторов. Силовые трансформаторы подстанций. Познакомиться с конструкцией силовых трансформаторов и их выбором на подстанцию.	2	
5	Практическая работа № 5. Выбор места расположения питающих подстанций и схем электроснабжения промышленного предприятия. Определение местоположения цеховой подстанции. Приобрести практические навыки по расчету и выбору местоположения цеховой подстанции.	2	
6	Практическая работа №6. Коммутационные аппараты, шины и шинопроводы в системах электроснабжения. Коммутационные и защитные аппараты до 1 кВ. Изучить выбор и расчет коммутационных и защитных аппаратов до 1 кВ.	2	
7	Практическая работа №7. Конструктивное исполнение электрических сетей, трансформаторных подстанций и распределительных устройств напряжением свыше 1000 В. Питающая и распределительная сеть 6 – 10 кВ предприятий. Изучить основные схемы питающих и распределительных сетей 6 – 10 кВ предприятия.	4	2
8	Практическая работа № 8. Компенсация реактивной мощности. Компенсация реактивной мощности. Изучить основные компенсирующие устройства реактивной мощности.	4	
9	Практическая работа № 9. Защитные меры электробезопасности. Расчет контура заземления. Приобрести практические навыки по определению количества заземлителей.	4	
10	Практическая работа № 10. Релейная защита и автоматика в системах электроснабжения промышленных зданий и предприятий. Расчет и выбор элементов релейной защиты цехового трансформатора.	4	

	Приобрести практические навыки по выбору элементов релейной защиты.		
11	Практическая работа № 11. Электробаланс и определение потерь электрической энергии. Потери мощности и энергии в элементах системы электроснабжения. Изучить расчет потерь мощности в системах электроснабжения промышленного предприятия.	4	
18	Практическая работа № Техничко-экономические расчеты при проектировании промышленного предприятия. Общие положения. Методика технико-экономических расчетов. Основные технико-экономические показатели	4	
	Итого за 8 семестр:	36	4
	Итого:	36	4

4. Содержание практических работ

Практическая работа №1. Внутрицеховое электроснабжение. Внутрицеховые электрические сети напряжением до 1 кВ.

Цель: Изучить основные внутрицеховые электрические сети напряжением до 1 кВ.

Основы теории:

Цеховые электроприемники напряжением до 1 кВ на большинстве промышленных предприятий являются основными потребителями электроэнергии. Передача и распределение ее между электроприемниками осуществляется с помощью внутрицеховых электрических сетей до 1 кВ различного назначения.

Электрооборудование многочисленных технологических установок подключается к силовым сетям цеха. Подъемно-транспортные устройства цеха питаются с помощью сетей передвижных установок (троллейных линий).

Осветительные электрические сети предназначены для передачи мощности к цеховым электроосветительным приборам. Наиболее распространенным напряжением внутрицеховых сетей всех назначений является 380/220 В, иногда 660 В. Конструктивное выполнение цеховых электрических сетей осуществляется в основном изолированными проводами, кабелями, комплектными шинопроводами. Расчет цеховых электрических сетей независимо от их назначения производится прежде всего по допустимому нагреву токовыми

Нагрузками продолжительных режимов работы присоединенных электро-приемников. Выбор сечений проводов и кабелей по этому показателю для силовых сетей напряжением до 1 кВ заключается в соблюдении расчетного условия

$$I_{\text{доп}} \geq \frac{I_p}{K_{\text{попр}}}$$

где I_p – длительный расчетный ток линии;

$I_{\text{доп}}$ – допустимый ток проводника;

$k_{\text{попр}}$ – коэффициент, учитывающий условия прокладки (при нормальных условиях $k_{\text{попр}} = 1$).

Выбранные сечения проводников необходимо привести в соответствие с токами их защитных аппаратов, используя следующее условие:

$$I_{\text{доп}} \geq \frac{I_3 k_3}{k_{\text{попр}}},$$

где I_3 – номинальный ток защитного аппарата или ток его срабатывания;

k_3 – отношение длительно допустимого тока проводника к номинальному току защитного аппарата или току его срабатывания, определяемое по табл. П10

Силовые сети до 1 кВ отдельных цехов могут выполняться комплектными распределительными и магистральными шинопроводами (табл. П11 и П12). Расчет таких сетевых элементов по допустимому нагреву током продолжительных режимов сводится к выполнению следующего условия:

$$I_n \geq I_p,$$

где I_n – номинальный ток шинопровода;

I_p – расчетный ток группы электроприемников, присоединенных к шинопроводу.

Для магистрального шинопровода в качестве I_p может быть принят номинальный ток цехового трансформатора, если к нему подключен только шинопровод. Распределительный шинопровод может иметь промежуточное место подключения к электрической сети по всей длине. В этом случае за I_p принимается ток наиболее нагруженного плеча, длина которого определяется от места присоединения питающей линии до конца шинопровода. Расчетный ток плеча шинопровода

$$I_{rp} = i_{рш} \ell_p,$$

где ℓ_p – длина расчетного участка шинопровода;

$i_{рш}$ – расчетная удельная токовая нагрузка на 1 м длины шинопровода.

Удельная токовая нагрузка шинопровода определяется из выражения

$$i_{рш} = \frac{S_{рш}}{\sqrt{3} \cdot U_n \cdot \ell_{ш}},$$

где $S_{рш}$ – полная расчетная мощность группы электроприемников, присоединенных к шинопроводу;

$\ell_{ш}$ – длина всего распределительного шинопровода.

Протяженные участки шинопроводов проверяются дополнительно на допустимую потерю напряжения. Для магистральных шинопроводов при одинаковых значениях $\cos\varphi$ ответвлений

$$\Delta U = \frac{\sqrt{3} \cdot 10^2 \cdot \Sigma I_{pi} \cdot \ell_i}{U_n} (r_0 \cdot \cos\varphi + x_0 \cdot \sin\varphi),$$

где $I_{pi} \cdot \ell_i$ – электрический момент отдельного участка шинопровода;

r_0 и x_0 – удельные активное и индуктивное сопротивления шинопровода;

$\cos\varphi$ – коэффициент активной мощности присоединенных нагрузок;

n – количество участков.

Полученное расчетным путем ΔU не должно превышать допустимых значений ΔU для шинпровода, равных 1,5 – 1,8 %. Для распределительных шинпроводов равномерно распределенная нагрузка заменяется сосредоточенной и прикладывается в середине расчетного участка шинпровода. Выражение для определения ΔU шинпровода имеет следующий вид:

$$\Delta U = \frac{0,5 \cdot \sqrt{3} \cdot 10^2 \cdot I_p \cdot \ell_p}{U_H} (r_0 \cdot \cos\varphi + \sin\varphi)$$

Расчетная величина ΔU распределительного шинпровода сравнивается с допустимой ΔU доп = 2...2,5 %.

Электрические сети подъемно-транспортных устройств часто выполняются в виде троллейных линий из профильной стали или комплектными троллейными шинпроводами. Их расчет сводится к выбору размеров стальных уголков или троллейного комплектного моно шинпровода (ШМТ) по нагреву расчетным током и допустимой потере напряжения.

При выборе шинпровода по первому условию производится сравнение тридцатиминутной токовой нагрузки крановой установки I_{30} с допустимым током для определенного профиля угловой стали или шинпровода ШМТ. Значение I_{30} определяется из выражения

$$I_{30} = \frac{\sqrt{(P_{\text{потр}} \cdot k_{30})^2 + (P_{30} \cdot \tan\varphi)^2}}{\sqrt{3} \cdot U},$$

где $P_{\text{потр}}$ – потребляемая мощность крановой установки;

k_{30} – коэффициент спроса, определяемый по графикам.

Величина потребляемой мощности крановой установки

$$P_{\text{потр}} = \frac{P_H}{\eta},$$

где P_H – суммарная номинальная, приведенная к ПВ = 1 мощность электродвигателей крановой установки;

η – коэффициент полезного действия.

Выбранный шинпровод проверяется на допустимую потерю напряжения (для ШМТ) по формуле:

$$\Delta U = \sqrt{3}(R \cos\varphi + X \sin\varphi) I_{\text{пик}} L,$$

где L – длина расчетного участка троллея;

Ри X – активное и реактивное сопротивление расчетного участка;

$I_{\text{пик}}$ – пиковый ток крановой установки.

Величина пикового тока

$$I_{\text{пик}} = I_{\text{пуск наиб}} + (I_M - I_H k_H),$$

где $I_{\text{пуск наиб}}$ – пусковой ток самого мощного двигателя крановой установки;

$I_{\text{м}}$ – максимальный расчетный ток, принимаемый равным I_{30} ;

$I_{\text{н}}$ – номинальный, приведенный к $P_{\text{В}} = 1$ ток самого мощного электродвигателя;

$k_{\text{и}}$ – коэффициент использования.

При расчете троллеев рекомендуется принимать значение $\cos\varphi = 0,45 \dots 0,5$ для кранов малой грузоподъемности с асинхронными короткозамкнутыми двигателями. Для кранов большой грузоподъемности значение $\cos\varphi = 0,6$ при использовании двигателей с фазным ротором.

Расчет осветительных электрических сетей ведется по двум условиям: допустимому нагреву током продолжительного режима и допустимой потере напряжения. Отклонение напряжения в осветительных сетях согласно не должно превышать $2,5 \dots 5\%$ номинального напряжения.

Расчетная мощность осветительных электроприемников

$$P_{\text{ро}} = k_{\text{со}} \cdot P_{\text{уо}} \cdot k_{\text{п}},$$

где $P_{\text{уо}}$ – суммарная установленная мощность ламп;

$k_{\text{со}}$ – коэффициент спроса осветительной нагрузки;

$k_{\text{п}}$ – коэффициент, учитывающий потери мощности в пускорегулирующих устройствах (ПРА).

Величина коэффициента спроса осветительной нагрузки принимается равной от 0,6 до 0,95 в зависимости от назначения производственных помещений, в которых используются осветительные приборы. Коэффициент $k_{\text{п}}$ может иметь значения, равные:

- 1,1 – для ламп ДРЛ, ДРИ, ДНАТ;
- 1,2 – для люминесцентных ламп при стартерной схеме включения;
- 1,3 – для люминесцентных ламп при бесстартерной схеме включения.

Расчетный ток групповой сети определяется по формулам: для трехфазных линий:

$$I_{\text{ро}} = \frac{P_{\text{ро}} \cdot 10^3}{3 \cdot U_{\text{ф}} \cdot \cos\varphi};$$

для двухфазных линий с нулевым проводником

$$I_{\text{ро}} = \frac{P_{\text{ро}} \cdot 10^3}{2 \cdot U_{\text{ф}} \cdot \cos\varphi};$$

для однофазных линий

$$I_{\text{ро}} = \frac{P_{\text{ро}} \cdot 10^3}{U_{\text{ф}} \cdot \cos\varphi};$$

Рекомендуемые значения коэффициента активной мощности для люминесцентных ламп и питающих линий – $0,9 \dots 0,95$; для ламп ДРЛ, ДРИ, ДНАТ – $0,5 \dots 0,6$.

Нагрев проводников групповых осветительных сетей не превысит допустимого, если будет выполняться следующее расчетное условие:

$$I_{po} \leq I_{доп}.$$

Осветительная сеть, выбранная по условиям нагрева, проверяется на допустимую потерю напряжения, рассчитанную по формуле:

$$\Delta U_{д} = U_{xx} - U_{пит} - \Delta U_T,$$

где U_{xx} – вторичное напряжение холостого хода трансформатора, принимаемое равным 105 %;

$U_{пит}$ – напряжение у самой удаленной лампы, принимаемое по нормам 95 % от номинального напряжения лампы;

ΔU_T – потери напряжения в трансформаторе.

$$\Delta U_T = \beta_T (U_a \cos \varphi + U_p \sin \varphi) + \frac{\beta_T}{200} (U_p \cos \varphi + U_a \sin \varphi)^2,$$

где β_T – коэффициент загрузки трансформатора;

U_a и U_p – активная и реактивная составляющие напряжения короткого замыкания трансформатора;

$\cos \varphi$ – коэффициент активной мощности нагрузки трансформатора.

При использовании трансформаторов, для которых $S_n \leq 1000$ кВА, формула приобретает более простой вид:

$$\Delta U_T = \beta_T (U_a \cos \varphi + U_p \sin \varphi).$$

$$U_a = \frac{\Delta P_k}{S_n} \quad \text{и} \quad U_p = \sqrt{U_k^2 - U_a^2},$$

где ΔP_k – потери короткого замыкания трансформатора;

S_n – номинальная мощность трансформатора.

Сечение проводов осветительных сетей определяется по формуле:

$$q = \frac{M}{C \Delta U_q},$$

где $M_{прив}$ – приведенный момент нагрузки.

Значение этого момента:

$$M_{прив} = \Sigma M + \Sigma \alpha \cdot m,$$

где ΣM – сумма моментов расчетного и всех последующих по направлению мощности участков с одинаковым числом проводов в линии;

$\Sigma \alpha \cdot m$ – сумма приведенных моментов участков с другим числом проводов в линии;

α – коэффициент приведения моментов, принимаемый по справочной литературе.

Сечение проводов, рассчитанное по формуле, округляется до ближайшего стандартного, с учетом которого по определяется действительная потеря напряжения на расчетном участке. Расчет последующих участков с меньшим количеством проводов производится аналогично по остаточной потере напряжения:

$$\Delta U_{до} = \Delta U_{д} - \Delta U_{ф}.$$

Из двух расчетных условий основным становится то, при котором сечение проводов осветительной сети окажется большим.

Задания:

Задание №1

Два асинхронных электродвигателя, использующихся для привода вентиляторов, предполагается подключить к распределительному шкафу ШР-11. Выбрать номинальные токи их защитных аппаратов, встроенных в шкаф, сечение и марку проводов ответвлений к двигателю, определить способ и место их прокладки. Номинальные параметры двигателей: $P_{н1} = 11$ кВт; $U_n = 380$ В; $\eta = 87\%$; $\cos\varphi = 0,86$; $k_{пуск} = 7$; $P_{н2} = 15$ кВт; $\eta = 89\%$; $\cos\varphi = 0,88$; $k_{пуск} = 7$.

Задание №2

Асинхронный двигатель, используемый для привода производственного механизма повторно-кратковременного режима работы, предполагается подключить к распределительному шкафу ПР8501. Выбрать параметры защитного аппарата, встроенного в шкаф и предназначенного для защиты ответвления; сечение и марку проводов ответвления, и способ его прокладки в цехе.

Номинальные данные двигателя: $P_n = 7,5$ кВт; $U_n = 380$ В; $\eta = 87,5\%$; $\cos\varphi = 0,88$; $k_{пуск} = 7$; ПВ = 45 %.

Задание №3

Определить сечение проводников и способ прокладки линии, питающей распределительный шкаф ШР-11 от цеховой ТП. Расчетная токовая нагрузка присоединенных электроприемников к шкафу равна $I_p = 120,5$ А; $U_n = 380$ В. Линию предполагается подключить к сборным шинам цеховой ТП через автоматический выключатель ВА51-33; $I_n = 160$ А; $I_{срз} = 1600$ А.

Задание №4

Группу электроприемников с расчетной нагрузкой в 15 кВА предполагается подключить к распределительному шинопроводу ШРА-4, $I_n = 250$ А, длина 75 м. Питание шинопровода будет осуществляться от цеховой ТП мощностью 1х630 кВА на напряжении 380 В.

Наибольший пусковой ток одного из присоединенных электродвигателей равен 195 А. Выбрать сечение, марку и место присоединения питающего кабеля к шинопроводу, а также параметры автоматического выключателя, установленного в начале питающей линии (на ТП).

Задание №5

Электроприемники механического цеха подключены к пяти распределительным шинопроводам ШРА-4 длиной по 30 м каждый. Шинопроводы установлены поперек цеха на расстоянии 10 м друг от друга. Расчетная токовая нагрузка для первых двух шинопроводов по 350 А, для третьего – 220 А, для четвертого и пятого – по 110 А. Коэффициент мощности для всех групп электроприемников $\cos\varphi = 0,8$.

Питание распределительных шинопроводов предполагается осуществить через силовые ящики (табл. П18) от магистрального шинопровода ШМА-4, проложенного вдоль цеха на высоте 5 м от пола и подключенного к цеховому трансформатору мощностью $S_n = 1600$ кВА автоматическим выключателем.

Самым мощным электроприемниками цеха является электродвигатель ($P_n = 22$ кВт, $U_n = 380$ В, $\eta = 90$ %, $\cos\varphi = 0,79$, $k_{пуск} = 6,5$). Выбрать тип магистрального шинопровода и головной автомат к нему; типы распределительных шинопроводов и питающие их ответвления от ШМА. Проверить напряжение на выводах самого удаленного электродвигателя.

Задание №6

Выбрать троллеи из угловой стали для мостового крана, имеющего пять асинхронных электродвигателей с фазным ротором напряжением 380 В. Параметры двигателей при ПВ = 25 % приведены в табл. 3.1. Режим работы крана средний. Расчетная длина наиболее нагруженного плеча троллеев = 40 м от места подключения питающего ответвления. Расстояние между фазами троллеев составляет 250 мм, коэффициент мощности всех электродвигателей крана $\cos\varphi = 0,55$.

Таблица 3.1 – Параметры двигателя

Механизм крана	Паспортная мощность двигателей, кВт
Главный подъем	22

Вспомогательный подъем	11
Механизм передвижения моста	2х16
Механизм передвижения тележки	3,5
Всего	68,5

Задание №7

Выбрать троллейный шинопровод для мостового крана со средним режимом работы. На кране установлены асинхронные электродвигатели с короткозамкнутым ротором, паспортные данные которых: подъем – 15 кВт, передвижение моста – 2х11 кВт, передвижение тележки – 2,2 кВт, ПВ = 30 %. Питание крана осуществляется на напряжении 380 В от цеховой ТП. Расчетная длина троллеев $\ell_{\text{расч}} = 50$ м.

Задание №8

Выбрать сечение проводов питающей линии длиной 25 м осветительной сети цеха на участке от РП до осветительного щитка(ЩО). Освещение предполагается выполнить лампами ДРЛ, суммарная установленная мощность которых $P_n = 15$ кВт. Допустимая потеря напряжения $\Delta U_{\text{доп}} = 2,5$ %.

Контрольные вопросы:

1. Элементы, входящие в системы внешнего электроснабжения, их назначение.
2. Виды схем внутризаводской сети СЭС, их преимущества и недостатки.
3. В чем заключается особенность использования схем глубокого ввода ГПП промышленных предприятий.
4. Основные характеристики СЭС при наличии заводских блок-станций.
5. Определения местоположения ГПП предприятия.
6. Построение внутрицеховых СЭС.
7. Основные виды внутрицеховых сетей. Классификация цеховых сетей напряжением до 1 кВ по конструктивным признакам.
8. Электропомещения и их классификация.
9. Особо опасные помещения и требования к электроустановкам, размещенным в них.
10. Какие помещения относят к влажным помещениям, и какие к жарким.

11. Блок «трансформатор-магистраль» и его использование. Распределительные шиопроводы и распределительные пункты.
12. Назначение, характеристики КРУ напряжением до 1000 В.

Практическая работа № 2. Электрические нагрузки. Электрические нагрузки промышленных предприятий.

Цель: Приобрести навыки расчета электрических нагрузок промышленных предприятий.

Основы теории:

Расчет электрических нагрузок производится для каждого электрического узла, от которого питаются электроприемники. В сетях напряжением до 1 кВ на различных ступенях распределения в качестве электрического узла могут рассматриваться распределительные пункты, шкафы, сборки, распределительные, троллейные, магистральные шинопроводы, цеховые трансформаторные подстанции. Нагрузки определяются по цеху, корпусу, предприятию в целом.

Метод коэффициента расчетной нагрузки. Согласно Указаниям по расчету электрических нагрузок расчетная активная нагрузка группы электроприемников, подключенных к электрическому узлу:

$$P_p = K_p \sum_{i=1}^n K_{Hi} P_{Hi}$$

где K_p - коэффициент расчетной нагрузки;

P_{Hi} и K_{Hi} - номинальная активная мощность и среднее значение коэффициента использования отдельного электроприемника; n - количество электроприемников в группе.

Эффективное число электроприемников

$$n_{\text{э}} = \frac{(\sum_{i=1}^n P_{Hi})^2}{\sum_{i=1}^n P_{Hi}^2}$$

где P_{Hi} - номинальная мощность отдельного электроприемника в группе.

Полученное расчетом округляется до ближайшего меньшего целого числа.

При большом количестве электроприемников в группе для магистральных шинопроводов, сборных шин цеховых трансформаторных подстанций (ТП цеха, корпуса, предприятия в целом величину $n_{\text{э}}$ можно определить также по упрощенному выражению:

$$n_{\text{э}} = \frac{2 \sum_{i=1}^n P_{Hi}}{P_{H \text{ наиб}}}$$

где $P_{H \text{ наиб}}$ - номинальная мощность самого мощного электроприемника в группе.

Если найденное по последнему выражению $n_{\text{э}}$ окажется больше n , то принимают $n_{\text{э}} = n$. Это же условие для $n_{\text{э}}$ сохраняется, если

$$\frac{P_{\text{н наиб}}}{P_{\text{н мин}}} \leq 3$$

Для группы, состоящей из электроприемников различных категорий (с различными $K_{\text{и}}$), средневзвешенный коэффициент использования

$$K_{\text{и}} = \frac{\sum_{i=1}^m K_{\text{и}i} P_{\text{н}i}}{\sum_{i=1}^m P_{\text{н}i}}$$

а) для питающих сетей напряжением до 1 кВ в зависимости от n_3 ,
при $n_3 \leq 10$

$$Q_p = 1.1 \sum_{i=1}^n K_{\text{и}} P_{\text{н}} \tan \varphi$$

при $n_3 > 10$

$$Q_p = \sum_{i=1}^n K_{\text{и}} P_{\text{н}} \tan \varphi$$

б) для магистральных шинопроводов и на шинах цеховых ТП, а также при определении реактивной нагрузки по цеху, корпусу, предприятию

$$Q_p = K_p \sum_{i=1}^n K_{\text{и}} P_{\text{н}} \tan \varphi = P_p \tan \varphi$$

К расчетным активной и реактивной нагрузкам силовых электроприемников до 1кВ должны быть добавлены при необходимости осветительные нагрузки $P_{\text{ро}}$ и $Q_{\text{ро}}$

Расчет электрических нагрузок электроприемников напряжением выше 1 кВ осуществляется в целом аналогично расчету, приведенному для электроприемников напряжением до 1 кВ, с учетом некоторых особенностей. Для электродвигателей напряжением выше 1 кВ вместо $K_{\text{и}}$ принимается значение коэффициента загрузки K_3 и находится расчетная нагрузка

$$P_{\text{рд}} = K_3 P_{\text{нд}}$$

где $P_{\text{нд}}$ - номинальная активная мощность высоковольтного электродвигателя.

При определении расчетной нагрузки предприятия подсчитывается количество присоединений к сборным шинам 6 - 10 кВ распределительного пункта (РП) или главной понизительной подстанции (ГПП), от которых питается предприятие. В зависимости от количества присоединений и средневзвешенного $K_{\text{и}}$ по табл. ПЗ определяется значение коэффициента одновременности K_o . При этом принимается величина $K_p = 1$. Аналогичное значение K_p принимается и в тех случаях, когда расчетная нагрузка определяется для выбора кабеля 6-10 кВ, питающего цеховую ТП.

Расчетная нагрузка силовых электроприемников до 1 кВ характерных групп, приведенная к вводу предприятия, определяется по формуле

$$P_p = K_o \sum_{i=1}^n K_{и} P_H$$

$$Q_p = K_o \sum_{i=1}^n K_{и} P_H \tan \varphi = P_p \tan \varphi$$

Результирующая нагрузка предприятия определяется с учетом осветительной и высоковольтной нагрузок, а также средств компенсации реактивной мощности Q и потерь мощности в трансформаторах.

Метод коэффициента спроса. На первой стадии проектирования системы электроснабжения могут быть неизвестными мощности отдельных электроприемников характерных групп и режим их работы. Расчетная максимальная нагрузка для таких групп электроприемников определяется следующим образом:

$$P_p = K_c P_H$$

$$Q_p = P_p \tan \varphi$$

Значения коэффициентов спроса $K_{сисосф}$ для указанных групп электроприемников определяются из.

Расчетная нагрузка узла системы электроснабжения определяется в этом случае с учетом коэффициента разновременности максимумов нагрузок отдельных групп электроприемников:

$$S_p = \sqrt{\left(\sum_{i=1}^n P_{pi}\right)^2 + \left(\sum_{i=1}^n Q_{pi}\right)^2} K_{pm}$$

где n - количество характерных подгрупп электроприемников.

Значение K_{pm} можно приближенно принять равным 0,9.

Метод удельных плотностей нагрузки. Если имеются сведения о величинах производственных площадей отдельных цехов, например, машиностроительных предприятий, то расчетную активную нагрузку можно определить, используя выражение

$$P_p = p_{уд} \cdot F$$

где F - площадь размещения приемников группы, m^2 ;

$p_{уд}$ - удельная плотность нагрузки на 1 m^2 производственной площади, $кВт/m^2$. Значения удельных плотностей нагрузок $p_{уд}$ принимаются по справочной литературе.

Метод удельного расхода электроэнергии. При наличии данных по удельному расходу электроэнергии на единицу продукции расчет нагрузок по отдельным цехам, предприятию в целом можно выполнить, используя выражение

$$P_p = \frac{M \cdot \mathcal{E}_{\text{уд}}}{T}$$

где М - выпуск продукции в натуральном выражении за время ТЗ назначение удельных расходов электроэнергии на единицу продукции.

Электрические нагрузки однофазных электроприемников.

Однофазные электроприемники учитываются при определении суммарных нагрузок как трехфазные, если они равномерно распределены между фазами трехфазной сети. Считаются неравномерно распределенными те однофазные электроприемники, номинальная мощность которых составляет более 15 % суммарной мощности трехфазных и однофазных приемников, присоединенных к электрическому узлу. Для таких электроприемников определяется трехфазная номинальная условная мощность:

при включении однофазных электроприемников на фазное напряжение

$$P_{\text{ну}} = 3 \cdot P_{\text{нмф}}$$

$$P_{\text{ну}} = \sqrt{3} \cdot P_{\text{нл}}$$

Мощность отдельной фазы в этом случае определяется как полу сумма номинальных мощностей плеч, прилегающих к данной фазе.

При большом количестве однофазных электроприемников в группе, включенных на фазное и линейное напряжение и не распределенных равномерно, номинальная мощность отдельной фазы определяется с учетом коэффициентов приведения линейных нагрузок к данной фазе и фазному напряжению. Например, для фазы А

$$P_{H(a)} = P_{ab}p_{(ab)a} + P_{ca}p_{(ca)a} + P_{ao}$$

$$Q_{H(a)} = P_{ab}p_{(ab)a} + P_{ca}p_{(ca)a} + Q_{ao}$$

где b - однофазная нагрузка, включенная в плечо АВ трехфазной сети;

P_{ac} - то же в плечо АС;

P_{ao} и Q_{ao} - нагрузки, включенные на фазу А и нулевой провод;

$P_{(ab)a}$, $P_{(ca)a}$, $q_{(ab)a}$ - коэффициенты приведения линейных нагрузок, определяемые из справочных таблиц.

Расчетные активную и реактивную нагрузки для однофазных электроприёмников, включенных в трехфазную сеть, можно определить по формулам

$$P_{\text{py}} = K_p \sum_{i=1}^n K_{\text{и}} P_{\text{нui}}$$

при $n_3 \leq 10$

$$Q_{py} = 1.1 \sum_{i=1}^n K_{\text{и}} P_{\text{н}yi} \tan \varphi$$

при $n_3 > 10$

$$Q_{py} = \sum_{i=1}^n K_{\text{и}} P_{\text{н}yi} \tan \varphi$$

Для узла, подключенного к трехфазной электрической сети, имеющей трехфазные и однофазные электроприемники, расчетные активная и реактивная нагрузки определяются по формулам:

$$P_{p\text{ уз}} = K_p \left(\sum_{i=1}^{m1} K_{\text{и}} P_{\text{н}i} + \sum_{i=1}^{m2} K_{\text{и}} P_{\text{н}yi} \right) + \sum_{i=1}^{m3} K_{\text{и}} P_{\text{н}i} + \sum_{i=1}^{m4} K_{\text{и}} P_{\text{н}yi}$$

при $n_3 \leq 10$

$$Q_{p\text{ уз}} = 1.1 \left(\sum_{i=1}^{m1} K_{\text{и}} P_{\text{н}i} \tan \varphi_i + \sum_{i=1}^{m2} K_{\text{и}} P_{\text{н}yi} \tan \varphi_i \right) + \sum_{i=1}^{m3} K_{\text{и}} P_{\text{н}i} \tan \varphi_i + \sum_{i=1}^{m4} K_{\text{и}} P_{\text{н}yi} \tan \varphi_i$$

при $n_3 > 10$

$$Q_{p\text{ уз}} = \sum_{i=1}^{m1} K_{\text{и}} P_{\text{н}i} \tan \varphi_i + \sum_{i=1}^{m2} K_{\text{и}} P_{\text{н}yi} \tan \varphi_i + \sum_{i=1}^{m3} K_{\text{и}} P_{\text{н}i} \tan \varphi_i + \sum_{i=1}^{m4} K_{\text{и}} P_{\text{н}yi} \tan \varphi_i$$

где m_1 и m_2 – количество трёхфазных и однофазных электроприемников с переменным графиком нагрузок;

m_3 и m_4 – количество трёхфазных и однофазных электроприемников с мало меняющимся графиком нагрузок.

Задания:

Задание №1

Определить n_3 для электроприемников механического участка инструментального цеха со следующими данными:

- а) токарные станки: 4 х (7 + 1,1 + 0,25) кВт;
- б) строгальные станки: 2 х (4,5 + 0,5) кВт; 2 х (5,5 + 0,75) кВт;
- в) сверлильные станки: 3 х (7,5 + 0,25) кВт; 3 х (3 + 0,25) кВт;
- г) заточные станки: 2 х 2,8 кВт; 2 х 4,5 кВт;
- д) механические ножовки: 3 х (3,2 + 0,3) кВт.

Задание №2

В трехфазную электрическую сеть 380/220 В включены однофазные электроприемники:

а) печи сопротивления: $P_n = 12$ кВт, $\cos\varphi=0,95$, $n = 2$, $U_H= 220$ В;

б) сварочные трансформаторы: $S_{ca}= 75$ кВА, ПВ = 45 %, $\cos\varphi= 0,55$, $n= 1$, $U_H =380$ В;

Определить трехфазную условную номинальную мощность.

Задание №3

От шин вторичного напряжения цеховой ТП питаются следующие группы трехфазных электроприемников:

а) 35 электродвигателей продолжительного режима работы от 5,5 до 10 кВт суммарной мощностью $\Sigma P_H = 265$ кВт; $K_n = 0,18$; $\cos\varphi = 0,75$;

б) 8 электродвигателей повторно-кратковременного режима работы от 4,0 до 7 кВт; $\Sigma P_H = 42$ кВт; ПВ = 50 %; $K_n = 0,15$; $\cos\varphi = 0,55$;

в) 20 электродвигателей продолжительного режима работы от 3 до 15 кВт; $\Sigma P_H = 175$ кВт; $K_n = 0,2$; $\cos\varphi = 0,7$;

г) 15 электродвигателей продолжительного режима работы от 5 до 7,5 кВт; $\Sigma P_H = 100$ кВт; $K_n = 0,3$; $\cos\varphi = 0,65$.

Определить для них полную расчетную нагрузку.

Задание №4

Группа цехов тракторного завода имеет следующие установленные мощности электроприемников:

а) агрегатный цех $P_H = 3000$ кВт;

б) прессово-штамповочный цех $P_H = 4000$ кВт;

в) механический цех $P_H = 3500$ кВт;

г) покрасочный цех $P_H = 1800$ кВт.

Определить для них полную расчетную нагрузку.

Задание №5

Технологические участки ремонтно-механического цеха имеют следующие номинальные мощности электроприемников:

а) участок станков универсального назначения: 6 х (4,5 + 1 + 0,25) кВт - нормальный режим; 5 х (7 + 1,5 + 0,25) кВт - нормальный режим; 5 х (14 + 2 + 0,75) кВт - тяжелый режим;

б) участок специализированных станков с электродвигателями от 0,25 до 5,5 кВт суммарной мощностью $P_a = 87$ кВт;

в) электросварочный участок, сварочные трансформаторы:

$S_{\text{пасп1}} = 37$ кВА; ПВ = 40 %; $\cos\varphi = 0,5$; $U_H = 380$ В;

$S_{\text{пасп2}} = 32$ кВА; ПВ = 40 %; $\cos\varphi = 0,5$; $U_H = 380$ В;

$S_{\text{пасп3}} = 22$ кВА; ПВ = 60 %; $\cos\varphi = 0,5$; $U_H = 380$ В,

Определить полную расчетную нагрузку электроприемников цеха.

Задание №6

Группа цехов автомобильного завода питается от отдельного РП на напряжении 10 кВ и имеет следующие данные:

- сборочный цех; $P_p = 1800$ кВт; $\cos\varphi = 0,7$; $K_H = 0,2$;
- цех задних мостов: $P_n = 2900$ кВт; $\cos\varphi = 0,75$; $K_H = 0,25$;
- цех кабин: $P_H = 2300$ кВт; $\cos\varphi = 0,7$; $K_K = 0,3$;
- покрасочный цех: $P_H = 1500$ кВт; $\cos\varphi = 0,65$; $K_H = 0,4$;
- гальванический цех: $P_H = 1700$ кВт; $\cos\varphi = 0,8$; $K_H = 0,5$;
- компрессорная: электроприемники напряжением до 1 кВ: $P_H = 1300$ кВт; $\cos\varphi = 0,7$; $K_H = 0,35$, электродвигатели напряжением 10 кВ: $P_H = 4000$ кВт; $n = 3$; $\cos\varphi = 0,75$; $K_3 = 0,85$.

Количество присоединений к РП $n = 10$. Самый мощный электроприемников в группе напряжением 380 В - электродвигатель, у которого $P_H = 15$ кВт. Определить полную расчетную нагрузку на шинах РП.

Контрольные вопросы:

1. Каким образом связаны расчетные активная и реактивная мощности?
2. В каких случаях необходимо использовать систему общего освещения?
3. В каком случае необходимо провести корректировку расчетной активной мощности?
4. Как зависит нормируемая освещенность дорог и проездов от интенсивности движения автомобилей?
5. Охарактеризовать способы установки прожекторов для освещения открытых площадок.
6. Какие данные являются исходными при расчете уличного освещения точечным методом?

Практическая работа № 3. Системы электроосвещения промышленных предприятий. Расчет освещения цеха.

Цель: Приобрести практические навыки по расчету освещения.

Основы теории:

В соответствии со СНиП 2-4-79 для освещения производственных помещений, как правило, следует предусматривать газоразрядные лампы низкого и высокого давления. Для расчета общего равномерного освещения при горизонтальной поверхности основным является метод светового потока (коэффициента использования), учитывающий световой поток лампы при освещении дуговыми ртутными лампами.

Расчет по методу коэффициента использования ведется в следующем порядке:

1. Определяется требуемая нормами освещенность (табл.2.1). Выбор нормируемой освещенности осуществляется в зависимости от размера объекта различения, контраста объекта с фоном и коэффициента отражения рабочей поверхности.
2. Определяется группа и предварительное количество светильников при их выгодном расположении. Выгодное расстояние L между светильниками или рядами светильников выбирают исходя из отношения (L/h) для получения наименьшей неравномерности распределения освещенности, в зависимости от классификационных групп светильников (табл.2.2).
3. Определяется индекс помещения.
4. Определяется коэффициент использования светового потока. Значения КПД светильника выбирается из табл.2.
5. Определяется необходимый световой поток каждого ряда светильников и световой поток одной лампы. По полученному значению выбирается стандартная лампа (Приложение: табл.2.3).
6. Определяется общая мощность освещения.

Задания:

Задание №1

Задание №1

1. Произвести светотехнический и электрический расчет освещения цеха.
2. Определить тип, мощность и количество ламп для общего освещения цеха.
3. Начертить план размещения светильников.

Таблица 2.1 – Нормы освещенности рабочих поверхностей в производственных помещениях

Характер зрительной работы	Наименьший размер объекта различения	Разряд работ	Контраст объекта с фоном	Характеристика фона	Норма освещенности Комб. Общ.	
Наивысшая точность	Менее 0,15 мм	1	Малый	Темный	5000	1500
				Средний	4000	1250
				Светлый	3000	1000
			Средний	Темный	2500	750
				Средний	2500	750
				Светлый	1500	400
			Большой	Темный	2500	400
				Средний	1500	300
				Светлый	1250	300
Очень высокая точность	От 0,15 до 0,3 мм	2	Малый	Темный	4000	1250
				Средний	3000	750
				Светлый	2000	500
			Средний	Темный	2000	500
				Средний	1500	500
				Светлый	1000	300
			Большой	Темный	1000	500
				Средний	750	300
				Светлый	750	200
Высокая точность	От 0,3 до 0,5 мм	3	Малый	Темный	2000	500
				Средний	1000	300
				Светлый	750	300
			Средний	Темный	1000	300
				Средний	750	200
				Светлый	400	200
			Большой	Темный	600	200
				Средний	400	200
				Светлый	400	150
Средняя точность	От 0,5 до 1 мм	4	Малый	Темный	750	300
				Средний	600	200

			Средний	Светлый	400	150
				Темный	500	200
				Средний	400	150
			Большой	Светлый	300	100
				Темный	400	150
				Средний	300	100
				Светлый	200	100
Малая точность	От 1 до 5 мм	5	Малый	Темный	300	200
				Средний	200	150
				Светлый	-	150
			Средний	Темный	-	150
				Средний	-	100
				Светлый	-	75
				Темный	-	100
			Большой	Средний	-	100
				Светлый	-	75
Грубая работа	Более 5 мм	6	Не зависимо от характеристик фона и контраста		-	150
Работа в горячих цехах со светящимися материалами	Более 5 мм	7	Не зависимо от характеристик фона и контраста		-	200

Таблица 2.2 – Основные характеристики светильников

Группа светильников	L/h	КПД при индексе помещения i					
		0,6	0,8	1,25	2	3	5
Д1	1,3	36	48	57	66	76	85
Д2	0,96	42	51	65	71	85	90
Г1	0,91	45	56	65	76	78	84
Г2	0,77	55	66	80	92	98	99
Г3	0,66	63	72	83	91	96	99
Г4	0,57	68	73	81	87	91	94
К1	0,49	70	78	86	92	96	98
К2	0,42	72	80	91	96	99	99

Таблица 2.3 – Основные характеристики ламп

Лампы накаливания			Люминисцентные лампы		
мощность	тип	световой поток	мощность	тип	световой поток
15	В	105	20	ЛДЦ	780
25	В	220	20	ЛД	870
40	БК	400	20	ЛБ	1120
40	БК	460	30	ЛДЦ	1375
60	Б	790	30	ЛД	1560
100	Г	1350	30	ЛБ	1995
150	Г	2000	40	ЛДЦ	1995
200	Г	2800	40	ЛД	2225
300	Г	4600	40	ЛБ	1850
500	Г	8300	80	ЛДЦ	3380
750	Г	13100	80	ЛД	3865
1000	Г	18600	80	ЛБ	4960

Контрольные вопросы:

1. Методы расчёта осветительных нагрузок.
2. Освещения производственных помещений.

Практическая работа №4. Выбор числа и мощности силовых трансформаторов. Силовые трансформаторы подстанций.

Цель: Познакомиться с конструкцией силовых трансформаторов и их выбором на подстанцию.

Основы теории:

Основным и наиболее дорогостоящим элементом любой системы электроснабжения предприятия являются силовые трансформаторы цеховых и главных понижающих подстанций. Эффективное использование суммарной трансформаторной мощности на предприятии позволяет проектировать наиболее экономичную систему его электроснабжения.

Экономичность принимаемых технических решений при выборе мощности трансформаторов и их количества определяется в результате сравнения приведенных затрат, например, двух вариантов (не учитывая влияния компенсации реактивной мощности на выбор трансформаторов, величины приведенных затрат для каждого варианта):

$$Z_{T1} = EK_{T1} + \left[\Delta P_{xx1} + \left(\frac{S}{S_{H1}} \right)^2 \cdot \Delta P_{H1} \right] \cdot C_0,$$
$$Z_{T2} = EK_{T2} + \left[\Delta P_{xx2} + \left(\frac{S}{S_{H2}} \right)^2 \cdot \Delta P_{H2} \right] \cdot C_0,$$

где K_{T1} и K_{T2} – капитальные затраты по трансформаторам;

S и S_H – средняя нагрузка и номинальная мощность трансформаторов;

ΔP_{xx} и ΔP_H – потери активной мощности в трансформаторе при холостом ходе и при номинальной нагрузке;

C_0 – удельная стоимость активных потерь.

Можно также воспользоваться разницей приведенных затрат сравниваемых вариантов:

$$\Delta Z_T = Z_{T2} - Z_{T1} = E \Delta K_T + \left[\Delta P_{xx} + \left(\frac{S}{S_{H1}} \right)^2 \cdot \Delta P_H \right] \cdot C_0,$$

где $\Delta K_T = K_{T2} - K_{T1}$; $\Delta P_{xx} = \Delta P_{xx2} - \Delta P_{xx1}$; $\Delta P_H = \frac{\Delta P_{H2}}{K_2} - \Delta P_H$; $K = \frac{S_{H2}}{S_{H1}}$; $E = P_H + \frac{\Delta Z}{\Delta K}$

– коэффициент дополнительных капитальных вложений.

Выбор количества и мощности трансформаторов цеховых ТП определяется рядом общих положений (величина нагрузки, распределение электроприемников по площади цеха, режим их работы); а также местными условиями (условия окружающей среды, наличие свободного места установки подстанции), в которых трансформатор будет работать.

Поскольку в этих случаях сравниваются в основном трансформаторы мощностью 630, 1000, 1600 и 2500 кВ·А, то при удельных плотностях нагрузок на единицу производственной площади $S_{уд} < 0,2$ кВ·А/м², $S_{уд} = 0,2 \dots 0,3$ кВ·А/м² и $S_{уд} > 0,3$ кВ·А/м² рекомендуется использовать трансформаторы номинальной мощностью 630...1000 кВ·А, 1600 кВ·А и 2500 кВ·А соответственно (табл. П21). Состав электроприемников конкретных цехов с учетом категории надежности их электроснабжения регламентирует целесообразность использования одно- или двухтрансформаторных ТП. При выборе трансформаторов на главных понизительных подстанциях, от которых предполагается электроснабжение предприятий, следует учитывать то обстоятельство, что своих проектных мощностей предприятия достигают по прошествии нескольких лет работы. Поэтому с учетом реальных нагрузок и динамики их роста следует выбирать такие мощности трансформаторов, чтобы спустя 10 – 15 лет работы их можно было заменить на более мощные, а существующие передать в эксплуатацию другим потребителям.

При проектировании и эксплуатации подстанций необходимо предусматривать экономически целесообразный режим работы трансформаторов. Сущность его состоит в том, что при наличии нескольких трансформаторов, работающих на общие шины, количество включенных трансформаторов определяется условием минимума приведенных потерь мощности. Приведенные потери включают в себя потери активной мощности в самих трансформаторах, а также потери в элементах системы электроснабжения по всей цепи питания от источников до рассматриваемого трансформатора при передаче к нему реактивной мощности, т.е.

$$\Delta P'_T = \Delta P'_{xx} + k_3^2 \Delta P'_{кз},$$

где $\Delta P'_{xx} = \Delta P_{xx} + k_{ип} \Delta Q_{xx}$, - приведенные потери холостого хода трансформаторов;

$\Delta P'_{кз} = \Delta P_{кз} + k_{ип} \Delta Q_{кз}$ – приведенные потери нагрузочные;

k_3 – коэффициент нагрузки;

$k_{ип}$ – коэффициент изменения потерь, который задается энергосистемой в пределах 0,02-0,05;

$\Delta Q_{xx} = \frac{I_{xx} \%}{100} S_{HT}$ – реактивная мощность холостого хода трансформатора;

$\Delta Q_{кз} = \frac{I_{к} \%}{100} S_{HT}$ – реактивная мощность трансформатора при номинальной нагрузке.

$$\Delta P'_T = \Delta P'_{xx} + \frac{\Delta P_{кз}}{S_{HT}^2} \cdot S^2,$$

где S – значение нагрузки трансформатора.

Полученное уравнение представляет собой параболу. Для количества работающих трансформаторов одинаковой мощности n и $n - 1$ при неизменной нагрузке подстанции обе

параболы, представленные графически, будут иметь общую точку пересечения, в которой справедливо равенство

Задания:

Задание №1

Определить количество и мощность цеховых трансформаторов для двух вариантов. Сравнить экономические показатели вариантов с учетом затрат на установку БНК-0,38 кВ (табл. П22). В цехе имеются электроприемники всех категорий по надежности электроснабжения.

Вариант а. Расчетные нагрузки цеха $P_p = 4300$ кВт, $Q_p = 5000$ кВар, $S_{уд} = 0,3$ кВА/м². Компенсация реактивной мощности в сети 0,38 кВ отсутствует.

Вариант б. Исходные расчетные данные те же, но в цеховой сети установлены БНК-0,38 кВ суммарной мощностью $Q_{бк} = 2000$ кВар.

Задание №2

Группа из трех цехов предприятия имеет потребителей II и III категорий. Расчетные нагрузки цехов:

$$\begin{aligned} P_{p1} &= 2500 \text{ кВт}, P_{p2} = 1800 \text{ кВт}, P_{p3} = 2000 \text{ кВт}, \\ Q_{p1} &= 2000 \text{ кВар}, Q_{p2} = 1900 \text{ кВар}, Q_{p3} = 2100 \text{ кВар} \end{aligned}$$

Расстояние между цехами 50 м.

Определить количество и мощность цеховых трансформаторов, предусмотрев для потребителей II категории двухтрансформаторные ТП (вариант а). Для варианта б предусматриваются однострансформаторные ТП с резервированием в 20 % по вторичному напряжению между цехами. Дать экономическое сравнение вариантов.

Задание №3

Группа из четырех промышленных объектов имеет потребителей I, II и III категорий. Расчетные нагрузки каждого объекта:

$$\begin{aligned} P_{p1} &= 3000 \text{ кВт}, P_{p2} = 3500 \text{ кВт}, P_{p3} = 2500 \text{ кВт}, P_{p4} = 5000 \text{ кВт}, \\ Q_{p1} &= 2800 \text{ кВар}, Q_{p2} = 3200 \text{ кВар}, Q_{p3} = 3000 \text{ кВар}, Q_{p4} = 4500 \text{ кВар}. \end{aligned}$$

Ближайший энергообъект (ТЭЦ) находится на расстоянии 6 км. Определить количество и мощность силовых трансформаторов подстанции, от которой предполагается питать промышленные объекты. Коэффициент разновременности максимумов нагрузки $k_{рм} = 0,81$.

Задание №4

Определить количество и мощность трансформаторов на подстанции глубокого ввода 110/10 кВ, от которой предполагается осуществить электроснабжение машиностроительного завода. Максимальная суточная нагрузка завода в течение двух часов $S_M = 23$ МВ·А.

Коэффициент заполнения графика $k_{зг} = 0,7$. Нагрузка потребителей I категории составляет $S_p = 4$ МВ·А.

Контрольные вопросы:

1. Сформулируйте общие положения по выбору числа трансформаторов на подстанции.
2. По каким критериям выбирается мощность трансформаторов?
3. Как производится проверка трансформатора с учётом его перегрузочной способности?
4. Укажите порядок расчёта ТП.
5. Чем обусловлен существующий ряд мощностей трансформаторов?

Практическая работа № 5. Выбор места расположения питающих подстанций и схем электроснабжения промышленного предприятия. Определение местоположения цеховой подстанции.

Цель: Приобрести практические навыки по расчету и выбору местоположения цеховой подстанции.

Основы теории:

Теория определения местоположения источника питания, можно сказать, основана на законах классической механики (определения центра тяжести). Характерна общность подхода: от выбора места для шкафов 2УР, трансформаторов 3УР, подстанций РП-10 кВ и ГПП до расположения ТЭЦ, УРП и других источников питания энергосистем. Уровни имеют различные ограничения. Например, для ТЭЦ важны потребители горячей воды и размещение паровых воздуходувок; для ГПП – возможность размещения вблизи энергоемких агрегатов и особенности ввода ЛЭП высокого напряжения; для подстанций 4УР – необходимость технологического управления высоковольтным оборудованием или разбросанность подстанций 3УР, определяемых, в свою очередь, характером нагрузки и строительными решениями по отделению (сооружению); для 2УР – количество, единичная мощность, режимы работы электроприемников и территориальная выделенность участков и т. д.

Длина линий от i -го потребителя до источника питания ИП в прямоугольной системе может быть выражена через координаты ИП x, y и координаты потребителей x_i, y_i (электроприемников для 2УР; шкафов 2УР и электроприемников, питающихся от щита низкого напряжения трансформатора для 3УР; трансформаторов 3УР и высоковольтных электродвигателей для 4УР; агрегатов и ТП, питающихся от 5УР, и распределительных подстанций для 5УР):

$$l_i = \sqrt{(x - x_i)^2 + (y - y_i)^2} \quad \text{или} \quad l_i = |x - x_i| + |y - y_i|.$$

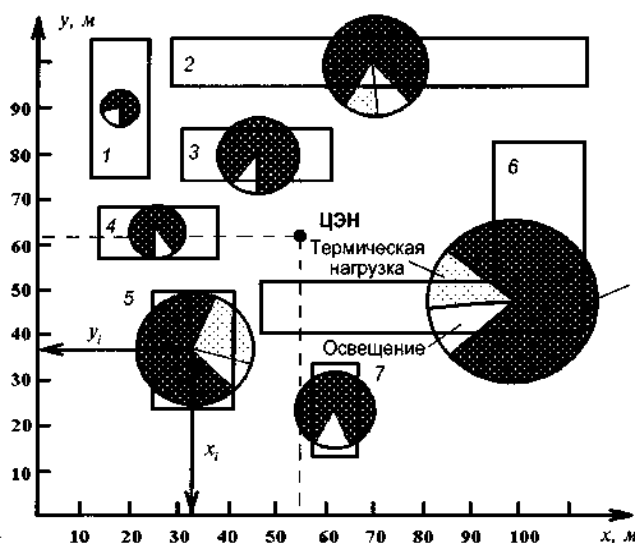
Теория выбора места расположения источников питания была создана, когда для расчетов использовали величины приведенных затрат $З$. Для отдельной линии электропередачи $З$ определяли по уравнению

$$З_i = \left(EK_i + P_i^2 \delta (\alpha K_{\text{пм}} + \beta \tau_i) \right) / \gamma U_{\text{ном}}^2 F_i l_i = z_i l_i$$

Суммарные приведенные затраты для n линий (радиально-лучевая сеть) теоретически определимы, если взять за основу детерминистскую точку зрения, согласно которой

существуют однозначные исходные данные для каждой линии к моменту принятия решения о размещении ИП, соответствующие реальности после завершения строительства и выхода на проектную производительность.

Имеется ряд математических методов, позволяющих аналитически определить условный центр электрических нагрузок промышленного предприятия или отдельных его цехов. При отыскании центра электрических нагрузок, например, цеха для размещения распределительной подстанции 4УР, используется план цеха с расположением ТП 10/0,4 кВ (ЗУР) и отдельных высоковольтных электроприемников 1 УР, а при отыскании центра электрических нагрузок предприятия средней мощности (для крупного поиск центра не имеет смысла) используется его генеральный план, а в качестве отдельных потребителей рассматриваются цеха предприятия. Наибольшее распространение получил метод, согласно которому если считать нагрузки цеха равномерно распределенными по его площади, то центр нагрузок (ЦЭН) можно принять совпадающим с центром тяжести фигуры, изображающей цех в плане (рис.). В действительности же нагрузки цеха распределены по его площади неравномерно, поэтому центр нагрузок не совпадает с центром тяжести цеха в плане.



Наличие многоэтажных зданий цехов и расположение электроприемников на различных отметках обуславливают учет в расчетах третьей координаты. Координатой 2 для двух- и трехэтажных зданий не имеет смысла пользоваться, в частности учитывать требования о размещении оборудования выше нулевой отметки. Координатой 2 можно пренебречь и в случае, когда расстояние от центра нагрузки потребителя, например, КТП, до центра ИП, например, РП 10 кВ, в 1,5 раза больше высоты здания. Практически учет третьей координаты в реальном проектировании промышленных предприятий не требуется.

При разработке схемы электроснабжения промышленных предприятий рекомендуется размещать источники питания с наибольшим приближением к

центру питаемой нагрузки, под которым понимается условный центр. Проведя аналогию между массами и электрическими нагрузками производств, цехов, отделений, участков, Рр координаты их центра для размещения источника питания следующего уровня системы электроснабжения можно определить по формулам:

$$x_0 = \frac{\sum_{i=1}^n P_i x_i}{\sum_{i=1}^n P_i}; \quad y_0 = \frac{\sum_{i=1}^n P_i y_i}{\sum_{i=1}^n P_i}.$$

Описанный метод отыскания центра электрических нагрузок (ЦЭН) отличается простотой и наглядностью, он легко реализуется на ЭВМ. Погрешность расчетов по этому методу не превышает 5-10 % и определяется точностью исходных данных

В общем случае такой подход не обеспечивает минимума приведенных затрат на сеть. При двух неодинаковых нагрузках центр будет между нагрузками, ближе к наибольшей. Если сюда поместить ИП, то приведенные затраты на сеть сложатся из затрат на участок сети, питающий меньшую нагрузку, и затрат на участок сети, питающий большую нагрузку. Если строго исходить из минимума приведенных затрат, то ИП следует совместить с наибольшей нагрузкой, что обеспечивает явно меньшие затраты, так как вся сеть будет состоять только из относительно дешевого провода, питающего меньшую нагрузку. При числе нагрузок больше двух в общем случае возникает аналогичная ситуация.

При решении вопроса о размещении ИП и определении их мощностей возможны три случая:

1) местоположение определено условиями генплана или требованиями технологов;

2) местоположение можно варьировать в ограниченных пределах, но известны нагрузки, которые предполагается питать от каждого ИП;

3) не известны число ИП, распределение нагрузок по отдельным ИП.

Для некоторых ИП на местоположение накладываются ограничения. Это наиболее общий случай, отвечающий реальной практике и характерный для всех уровней системы электроснабжения.

В первом случае задача сводится к распределению нагрузок по отдельным источникам питания и к определению мощностей ИП.

Во втором случае задача может быть решена методом линейного программирования, если ограничения на размещение ИП могут быть заданы в виде системы линейных неравенств:

$$\varphi_k = a_k x + b_k y + c_k \geq 0, \quad k = 1, 2, \dots, m.$$

Центр электрических нагрузок определяется как некоторая постоянная точка на генеральном плане промышленного предприятия. В действительности центр смещается, что объясняется: изменениями потребляемой мощности отдельным приемником, цехом и предприятием в целом в соответствии с графиком нагрузки (на стадии проектирования график известен приблизительно, а на стадии эксплуатации постоянно меняется); изменениями сменности и других социально-экономических и экологических условий; развитием предприятия. В связи с этим центр электрических нагрузок описывает во времени на генеральном плане промышленного предприятия фигуру сложной формы поэтому правильнее говорить не о центре как некоторой стабильной точке, а о зоне рассеяния.

Задачи, связанные с построением рациональных систем электроснабжения промышленных предприятий, относятся к числу оптимизационных. В электрике выделилось два подхода к решению задач оптимизации: статический и динамический. При статическом подходе к решению проектных задач не учитывается изменение электрических нагрузок во времени. При динамическом подходе учитывается динамика систем электроснабжения во времени на перспективу 5, 10, 20 лет, особенно в части изменения электрических нагрузок, поэтому принимаемые решения получаются более обоснованными.

При переходе к конкретному проектированию следует помнить, что проектировщики широко применяют профессионально-логический метод. Суть его применительно к выбору местоположения подстанции заключается в том, что опытный проектировщик часто принимает решение, не прибегая к вычислениям координат. Он пользуется хорошими знаниями объектов проектирования, объектом-аналогом, учитывает реальные ограничения и другие неформализуемые сведения.

Задачу выбора местоположения подстанций приходится решать на различных уровнях системы электроснабжения. Опыт проектирования показывает, что выбор местоположения цеховых ТП осуществляется, как правило, без построения картограммы нагрузок цеховых потребителей электроэнергии. Объясняется это тем, что расположение цеховых ТП в центре питаемых ими нагрузок часто оказывается невозможным из-за различных ограничений (технологических, транспортных и т. п.). Поэтому для отыскания центра цеховой сети используют приближенные методы. Для упрощенного определения координат в цеховой сети можно воспользоваться методикой, применяемой при прокладке участков сети по взаимно перпендикулярным направлениям, которая заключается в следующем:

- 1) чтобы найти координату x_0 центра нагрузок, необходимо передвигать параллельно самой себе проведенную произвольно на плане цеха вертикальную линию до тех пор, пока разность сумм нагрузок левее и правее этой линии поменяет знак или станет равной нулю, т. е. нагрузки станут равными;

2) передвигая параллельно самой себе горизонтальную линию, находят такое ее положение, при котором разность сумм нагрузок выше и ниже этой линии изменит знак или станет равной нулю. Это положение линии даст координату уд центра нагрузок.

Оптимальное положение РП обычно будет не в центре нагрузок, получающих питание от него, поскольку это приводит к обратным потокам энергии, вызывающим увеличение расхода проводникового материала и потерь электроэнергии. Как правило, РП смещена к наибольшей нагрузке и располагается ближе к источнику питания. Выбор места РП II первую очередь определяется наличием двигателей напряжением выше 1 кВ (компрессорные, насосные, воздуходувные и т. п.) и электротехнологических установок, например, из-за взрывоопасное, то сооружается отдельно стоящая распределительная подстанция.

Особенно важен вопрос о размещении подстанций 5УР и 4УР, которые для средних и крупных предприятий определяют схему. В этом случае проектирование систем электрообеспечения предприятий осуществляется на основе генерального плана объекта, на который наносятся все производственные цеха и отдельные участки предприятия. Расположение цехов на генеральном плане определяется технологическим процессом производства, а также архитектурно-строительными и эксплуатационными требованиями.

Выбор типа и места расположения подстанций осуществляют следующим образом: на генеральный план предприятия наносят нагрузки цехов, отделений или участков с уточнением напряжения, рода тока и очередности ввода в эксплуатацию; выявляют сосредоточенные нагрузки и находят центры групп распределенных нагрузок 3УР (2УР); предварительно намечают места расположения подстанций и производят распределение нагрузок между ними. Учитывая возможности применения унифицированных схем и комплектных распределительных устройств, намечают типы подстанций (закрытая или открытая, отдельно стоящая, пристроенная, встроенная, внутрицеховая), определяют их ориентировочные габариты. Выбранное место расположения подстанции согласовывают с генпланом, технологами, строителями. Для отыскания местоположения подстанций 5УР и 4УР широко применяют картограмму нагрузок.

Картограмма представляет собой размещенные на генеральном плане кругов, площади которых в принятом масштабе равны расчетным нагрузкам цехов. Аналогично на плане цеха можно разместить нагрузки отделений, участков, крупных электроприемников. Каждому цеху, отдельному зданию, сооружению соответствует окружность, центр которой совмещают с центром нагрузок цеха, т. е. с символической точкой потребления ими электроэнергии. Поэтому расположение главной понизительной или распределительной под-

станции вблизи питаемых ими нагрузок позволяет приблизить высокое напряжение к центру потребления электроэнергии и сократить протяженность как сетей высокого напряжения предприятия, так и цеховых электрических сетей.

$$r_i = \frac{1}{m} \sqrt{\frac{P_{p(i)}}{\pi}}.$$

Картограмма электрических нагрузок дает возможность проектировщику наглядно представить распределение нагрузок по территории промышленного предприятия. Она состоит из окружностей, причем площадь круга πr_i^2 , ограниченная каждой из этих окружностей, с учетом принятого масштаба равна расчетной нагрузке $P_{p(i)}$ соответствующего цеха, что определяет радиус окружности: нагрузки до и выше 1 кВт. Все это дает представление о структуре

Каждый круг может быть разделен на секторы, соответствующие силовой нагрузке, нагрузке на технологические процессы (электроплавка, сварка, нагрев и др) и осветительной нагрузке. Иногда на картограмме разделяют на нагрузки до и выше 1 кВт. Все это дает представление о структуре нагрузок. Цеха, которые должны быть построены во вторую очередь, или нагрузки цехов, связанных с расширением производства, графически изображают различно (цветом, пунктиром).

Аналогичен подход к построению картограмм реактивных нагрузок и построению их центра. Реактивные нагрузки могут питаться от конденсаторных установок, которые располагаются в местах потребления реактивной мощности, а также от синхронных компенсаторов и синхронных электродвигателей. В связи с этим для отыскания оптимальных условий и мест установки источников реактивной мощности нужно находить отдельно центры потребления реактивной мощности предприятия.

Задания:

Задание №1

Определить местоположения подстанции - это найти координаты центра нагрузок.

По исходным данным построить оси X и Y генплана и нанести центры электрических нагрузок каждого цеха.

С учетом размеров территории выбрать масштаб нагрузок, ориентируясь на наибольшую и наименьшую.

Генплан 3х2 км с силовыми нагрузками цехов (5 мм=0,1 км)

Таблица 9.1 – Исходные данные для расчета

Параметр	Номер цеха				
	Ц1	Ц2	Ц3	Ц4	Ц5
P, кВт	100	160	1000	400	25
X, км	0,6	1,45	2,4	1,55	0,4
Y, км	1,45	1,25	0,9	0,55	0,4
cosφ	0,7	0,75	0,9	0,8	0,6

Контрольные вопросы:

1. Что такое «картограмма нагрузок»? Для чего она строится?
2. Каким образом определяется цент нагрузок?
2. Что такое «зона рассеяния центра нагрузок»? Каким образом её найти?
3. Как изменяются годовые затраты при смещении местоположения ГПП от зоны рассеяния центра нагрузок?

Практическая работа №6. Коммутационные аппараты, шины и шинопроводы в системах электроснабжения. Коммутационные и защитные аппараты до 1 кВ.

Цель: Изучить выбор и расчет коммутационных и защитных аппаратов до 1 кВ.

Основы теории:

Управление режимами работы электроприемников напряжением до 1 кВ осуществляется коммутационными аппаратами: рубильниками, пакетными выключателями, магнитными пускателями. При этом, рубильники и пакетные выключатели обеспечивают только неавтоматическое (ручное) управление, а магнитные пускатели позволяют обеспечить и дистанционное управление.

Защита электрооборудования, элементов электрических сетей до 1 кВ от коротких замыканий осуществляется плавкими предохранителями и автоматическими выключателями (автоматами). Для защиты электрооборудования от перегрузок используются тепловые элементы магнитных пускателей или автоматов.

При выборе плавких предохранителей необходимо обеспечить выполнение следующих расчетных условий:

- номинальный ток плавкой вставки предохранителя $I_{вс}$ должен быть равным номинальному току электроприемника I_n или превышать его, т.е.

$$I_{вс} \geq I_n$$

- плавкий предохранитель не должен срабатывать при кратковременных увеличениях тока в защищенной цепи, например во время пуска электро-двигателя. В этом случае

$$I_{вс} \geq \frac{I_{кр}}{\alpha}$$

При защите предохранителем ответвления к одиночному электродвигателю кратковременный максимальный ток линии

$$I_{кр} = I_{пуск}$$

Если предохранителем защищается магистраль, питающая группу электроприемников, то

$$I_{кр} = I_{пик} = I_{пуск.наиб} + (I_p - k_i I_{н\text{ наиб}}),$$

где $I_{пуск.наиб}$ – пусковой ток одного или группы одновременно запускаемых электродвигателей, при включении которых в линии возникает наибольший пусковой ток;

I_p – длительный расчетный ток линии;

$I_{н\text{ наиб}}$ – номинальный ток электроприемника (при ПВ = 100%), имеющего наибольший пусковой ток;

k_n – коэффициент использования, характерный для электроприемников с $I_{\text{пуск.наиб}}$

Коэффициент кратковременной тепловой перегрузки $\alpha = 2,5$ – для легких условий; $\alpha = 1,6 \dots 2$ – для тяжелых условий пуска.

Из двух рассмотренных расчетных условий при выборе предохранителя принимается то из них, которое обеспечивает наибольшее значение $I_{вс}$.

Номинальный ток плавкой вставки предохранителя, защищающего ответвление к сварочному аппарату:

$$I_{вс} \geq 1,2 I_{нс} \sqrt{ПВ}.$$

где $I_{нс}$ – номинальный ток сварочного аппарата при паспортной продолжительности включения.

Условия селективной работы предохранителей двух последовательно соединенных участков сети будут обеспечиваться, если номинальный ток вставки предохранителя предшествующего участка сети на две ступени превышает ток вставки предохранителя предшествующего участка сети на две ступени превышает ток вставки предохранителя, следующего за ним по направлению потока мощности участка сети.

Выбор автоматических выключателей и магнитных пускателей основан на выполнении следующих расчетных условий:

- номинальный ток расцепителя любого типа (теплового, электромагнитного) автомата, а также нагревательного элемента магнитного пускателя выбирается по длительному расчетному току линии:

$$I_n \geq I_{дл};$$

- ток срабатывания автомата с электромагнитным или комбинированным расцепителем проверяется по максимальному кратковременному току линии согласно условию

$$I_{ср.з} \geq 1,25 I_{кр}$$

где $I_{кр}$ – кратковременный максимальный ток линии.

Коэффициентом 1,25 учитывается неточность в определении тока $I_{кр}$ при разбросе характеристик электромагнитных расцепителей автоматов.

Задания:

Задание №1

Выбрать предохранители для защиты от коротких замыканий электродвигателей токарного станка, имеющего многодвигательный привод:

$$P_{H1} = 7,5 \text{ кВт}; U_H = 380 \text{ В}; \cos\varphi = 0,8; \eta = 87\%; k_{\text{пуск}} = 7.$$

$$P_{H2} = 4 \text{ кВт}; U_H = 380 \text{ В}; \cos\varphi = 0,78; \eta = 85\%; k_{\text{пуск}} = 6,5.$$

$$P_{H3} = 0,75 \text{ кВт}; U_H = 380 \text{ В}; \cos\varphi = 0,75; \eta = 82\%; k_{\text{пуск}} = 6.$$

Задание №2

Выбрать магнитный пускатель для управления асинхронным двигателем, номинальные параметры которого следующие:

$$P_H = 11 \text{ кВт}; U_H = 380 \text{ В}; \cos\varphi = 0,85; \eta = 87\%;$$

Задание №3

Выбрать автоматический выключатель для защиты асинхронного двигателя с фазным ротором, номинальные параметры которого следующие:

$$P_H = 11 \text{ кВт}; U_H = 380 \text{ В}; \cos\varphi = 0,86; \eta = 88\%; k_{\text{пуск}} = 2,5.$$

Задание №4

Выбрать предохранитель, защищающий ответвление к сварочному аппарату, номинальные параметры которого следующие:

$$S_H = 32 \text{ кВт} \cdot \text{А}; U_H = 380 \text{ В}; \text{ПВ} = 45\%.$$

Задание №5

Выбрать предохранитель для защиты от токов короткого замыкания асинхронного электродвигателя с номинальными параметрами:

$$P_H = 22 \text{ кВт}; U_H = 380 \text{ В}; \cos\varphi = 0,85; \eta = 89\%; k_{\text{пуск}} = 6,5.$$

Задание №6

К распределительному щиту цеха напряжением 380 В, выполненному панелями серии П (табл. П7), подключены радиальными питающими линиями шинопровод ШРА-4 и шкаф ШР-11. Расчетные нагрузки присоединенных электродвигателей составляют:

$$\text{Для шинопровода: } S_p = 12 \text{ кВт} \cdot \text{А}; P_{H \text{ наиб}} = 10 \text{ кВт}; k_{\text{пуск}} = 6,5; \cos\varphi = 0,76;$$

$$\eta = 85\%; \text{ для шкафа } S_p = 96 \text{ кВт} \cdot \text{А}; P_{H \text{ наиб}} = 22 \text{ кВт}; k_{\text{пуск}} = 6; \cos\varphi = 0,78;$$

$$\eta = 86\%.$$

Расставить предохранители для защиты питающих линий, определить номинальные токи их плавких вставок.

Контрольные вопросы:

1. Условия выбора защитной аппаратуры в электрических цепях напряжением до 1кВ.
2. Режимы работы электротехнических устройств.
3. Классификация электрических аппаратов.
4. Токоведущие и контактные детали электрических аппаратов.

Практическая работа №7. Конструктивное исполнение электрических сетей, трансформаторных подстанций и распределительных устройств напряжением выше 1000 В. Питающая и распределительная сеть 6 – 10 кВ предприятий.

Цель: Изучить основные схемы питающих и распределительных сетей 6 – 10 кВ предприятия.

Основы теории:

Передача и распределение электроэнергии на напряжении 6 – 10 кВ осуществляется в тех случаях, когда предприятия расположены недалеко (1 – 3 км) от источника питания и имеют сравнительно небольшие электрические нагрузки.

Система электроснабжения на напряжении 6 – 10 кВ таких предприятий включает в себя несколько составных элементов: питающую сеть 6 – 10 кВ, распределительный пункт и распределительную сеть того же напряжения с присоединенными к ней цеховыми трансформаторами.

Вся сеть напряжением 6 – 10 кВ таких предприятий выполняется, как правило, кабелями. Их пропускная способность определяется несколькими расчетными критериями в зависимости от используемых схемных решений: экономической плотностью тока, нагревом тока нагрузки продолжительного, послеаварийного режимов и термической устойчивостью тока аварийного режима.

Сечение жил кабеля по экономической плотности тока определяется по выражению

$$F_{\text{э}} = \frac{I_p}{j_{\text{э}}},$$

где I_p – расчетный ток линии в продолжительном режиме работы;

$j_{\text{э}}$ – экономическая плотность тока, принимаемая в зависимости от числа часов использования максимальной нагрузки, рода изоляции и материала проводника. По справочной литературе принимается ближайшее стандартное сечение и указывается допустимая токовая нагрузка.

Ток продолжительного режима работы линии

$$I_n \geq I_p,$$

где I_n – номинальный ток кабеля, принимаемый по табл. П20 и корректируемый с учетом условий прокладки соответствующими коэффициентами.

Послеаварийный режим может возникнуть в тех случаях, когда одна из линий, питающих электроустановку, отключается (при КЗ или ремонте), а оставшаяся в работе несет удвоенную нагрузку. Сечение жил кабеля для такого режима определяется по условию

$$F_{\text{ту}} = \frac{\sqrt{B_{\text{к}}}}{C},$$

где $B_{\text{к}}$ – тепловой импульс от тока короткого замыкания;

C – расчетный коэффициент.

Величина теплового импульса

$$B_{\text{к}} = I_{\infty}^2 (t_{\text{откл}} + T_{\text{а}}),$$

где I_{∞} – действующее значение установившегося тока КЗ в начале линии;

$t_{\text{откл}}$ – время отключения КЗ;

$T_{\text{а}}$ – постоянная времени затухания апериодической составляющей тока КЗ, определяемая по выражению

$$T_{\text{а}} = \frac{x_{\Sigma}}{\omega \cdot r_{\Sigma}},$$

где x_{Σ} и r_{Σ} – результирующие индуктивное и активное сопротивления короткозамкнутой цепи;

ω – угловая частота.

Из перечисленных критериев определяющим в конкретных условиях становится тот, который обуславливает наибольшее сечение жил кабеля.

Задания:

Задание №1

Определить сечение радиальных кабельных линий, проложенных в земляной траншее и питающих двухсекционный РП напряжением 10 кВ. Расчетная нагрузка присоединенных потребителей $S_{\text{р}} = 8,5$ МВ·А. Время использования максимальной нагрузки $T_{\text{м}} = 4000$ ч, установившийся ток КЗ на шинах источника питания $I_{\infty} = 9$ кА, $T_{\text{а}} = 0,01$ с.

Задание №2

Две двухтрансформаторные ТП подключены к двойной сквозной магистрали. Номинальная мощность и коэффициент загрузки трансформаторов $S_{\text{н}} = 1000$ кВ·А, $k_3 = 0,7$. Ток короткого замыкания на шинах РП напряжением 10 кВ, куда подключены магистрали, $I_{\infty} = 5,8$ кА, $T_{\text{а}} = 0,01$ с, $T_{\text{м}} = 3500$ ч. Выбрать кабели магистралей с учетом потерь в трансформаторах ТП.

Задание №3

Выбрать кабели радиальных линий напряжением 10 кВ, питающих двухтрансформаторную ТП мощностью 2×1600 кВ·А и коэффициентом загрузки $k_z = 0,7$. Ток КЗ на шинах РП, куда подключены линии, $I_\infty = 6$ кА, $T_a = 0,01$ с, $T_m = 3000$ ч. Кабели будут проложены в земляной траншее.

Задание №4

Определить сечение кабельной линии напряжением 10 кВ, питающей по схеме одиночной магистрали три однострансформаторные ТП с трансформаторами $S_n = 630$ кВ·А, $k_z = 0,85$. Ток КЗ на шинах РП, куда присоединена магистраль, для двух вариантов: а) $I_\infty = 12$ кА, б) $I_\infty = 5,5$ кА. Для обоих вариантов $T_a = 0,01$ с, $T_m = 3000$ ч.

Контрольные вопросы:

1. Перечислить требования, предъявляемые к распределительным сетям на предприятии.
2. Какие существуют схемы питания промышленных предприятий? Приведите примеры.
3. Для чего секционируют системы шин?
4. Перечислить типы цеховых трансформаторных подстанций.
5. Указать особенности распределения электроэнергии внутри цеха на напряжении до 1000 В.

Практическая работа № 8. Компенсация реактивной мощности. Компенсация реактивной мощности.

Цель: Изучить основные компенсирующие устройства реактивной мощности.

Основы теории:

Экономическое значение реактивной мощности (РМ), потребляемой из энергосистемы в часы больших нагрузок ее сети, определяется с учетом суммарных расчетных нагрузок (активной и реактивной) потребителя [10]:

$$\Delta \Xi_{\text{э}} = \overline{P}_{\text{р}} \cdot \operatorname{tg} \varphi_{\text{э}}.$$

Математическое ожидание расчетных нагрузок потребителя

$$\overline{P}_{\text{р}} = P_{\text{р}} \cdot k_0, \quad \overline{Q}_{\text{р}} = \Delta Q_{\text{р}} \cdot k_0,$$

где k_0 – коэффициент приведения расчетных нагрузок, равный 0,9.

Нормативное значение коэффициента $\operatorname{tg} \varphi_{\text{эн}}$, которым пользуется энергоснабжающей организации, определяется по выражению

$$\operatorname{tg} \varphi_{\text{эн}} = \frac{240}{\alpha \cdot d_{\text{макс}} + 50b} \operatorname{tg} \varphi_{\text{Б}} \cdot k_1,$$

где $d_{\text{макс}}$ – отношение потребления энергии в квартале максимума нагрузки энергосистемы к потреблению ее в квартале максимума нагрузки предприятия; при отсутствии необходимых данных $d_{\text{макс}} = 1$;

α – основная ставка тарифа на активную мощность, руб./кВт·год;

b – дополнительная ставка тарифа на активную энергию, руб./кВт·ч;

$\operatorname{tg} \varphi_{\text{Б}}$ – базовый коэффициент реактивной мощности, принимаемый равным 0,25; 0,3; 0,4 для сетей 6 – 20 кВ, присоединенных к шинам подстанции с высшим напряжением 35, 110 и 220 – 330 кВ соответственно;

k_1 – коэффициент удорожания конденсаторов, принимаемый равным кратности повышения тарифа на электроэнергию:

$$k_1 = k_w = \frac{\alpha \cdot k_{w1} + b \cdot k_{w2} \cdot 10^{-2} \cdot T_M}{\alpha + b \cdot T_M \cdot 10^{-2}},$$

где T_M – число часов использования максимальной нагрузки, определяемое характером и сменностью работы потребителя в год, ч:

для односменных предприятий – 1800 – 2500;

для двухсменных предприятий – 3500 – 4500;

для трехсменных предприятий – 5000 – 7000.

k_{w1} и k_{w2} – коэффициент увеличения основной и дополнительной ставок тарифа на электроэнергию (определяются делением действующих ставок тарифа на 60 и $1,8 \cdot 10^{-2}$) соответственно. Если в результате расчета окажется, что $\text{tg}\varphi_{\text{эн}} > 0,6$, то его значение принимается равным 0,6. Такое же значение $\text{tg}\varphi_{\text{эн}}$ принимается и для шин генераторного напряжения 6 – 20 кВ.

Выбор средств компенсации РМ осуществляется в два расчетных этапа:

при потреблении РМ из энергосистемы в пределах экономического ее значения $Q_{\text{э}}$;

при потреблении РМ из энергосистемы, превышающем экономическое значение $Q_{\text{п}}$.

На первом этапе определяется мощность батарей низковольтных конденсаторов (БНК), устанавливаемых в сетях до 1 кВ по критерию выбора минимального числа цеховых трансформаторов.

Для каждой группы цеховых трансформаторов одинаковой мощности определяется минимальное их количество по выражению

$$N_{\text{Тмин}} = \frac{P_{\text{рн}}}{\beta_{\text{Т}} \cdot S_{\text{Тн}}},$$

где $P_{\text{рн}}$ – суммарная расчетная активная нагрузка напряжением до 1 кВ данной группы цеховых трансформаторов;

$\beta_{\text{Т}}$ – коэффициент загрузки трансформаторов, зависящий от категории потребителей по надежности электроснабжения;

$S_{\text{Тн}}$ – номинальная единичная мощность цехового трансформатора, зависящая от удельной плотности нагрузки на единицу производственной площади [7].

Полученное значение округляется до ближайшего большего целого числа.

Наибольшая РМ, которую можно передать в сеть до 1 кВ при заданном $\beta_{\text{Т}}$, определяется:

для трансформаторов, заполненных маслом или негорючей жидкостью:

$$Q_{\text{Т}} = \sqrt{(1,1\beta_{\text{Т}}S_{\text{Тн}}N_{\text{Тмин}})^2 - P_{\text{рн}}^2},$$

для сухих трансформаторов

$$Q_{\text{Т}} = \sqrt{(1,05\beta_{\text{Т}}S_{\text{Тн}}N_{\text{Тмин}})^2 - P_{\text{рн}}^2}.$$

Мощность низковольтных конденсаторов

$$Q_{\text{нк1}} = Q_{\text{рн}} = Q_{\text{Т}},$$

где $Q_{\text{рн}}$ – суммарная расчетная реактивная нагрузка до 1 кВ рассматриваемой группы цеховых трансформаторов. При условии, что $Q_{\text{нк1}} < 0$, БНК в сети до 1 кВ не устанавливаются.

В зависимости от номинальной мощности и частоты вращения синхронные электродвигатели рассматриваются индивидуально в целях использования их реактивной мощности для компенсации.

Располагаемая реактивная мощность синхронных двигателей, у которых $P_{нд} > 2500$ кВт или $n > 1000 \frac{1}{\text{мин}}$, используется для компенсации реактивной мощности у потребителей:

$$Q_{д1} = \sum (Q_{др} - Q_{дн}) \cong \sum 0,2 \cdot Q_{дн}.$$

Участие в компенсации реактивной мощности синхронных двигателей, у которых $P_{нд} \leq 2500$ кВт или $n \leq 1000 \frac{1}{\text{мин}}$, целесообразно только при соответствующем технико-экономическом обосновании.

Для этого определяется соотношение

$$R = \frac{C_{Qэ}}{C_{рг}}.$$

Удельная стоимость потребления реактивной мощности и энергии из энергосистемы, не превышающего экономического значения

для потребителей, имеющих приборы учета $Q_{\text{макс}}$:

$$C_{Qэ} = (C_1 + d_1 T_{M_{Qэ}} \cdot 10^{-2}) \cdot 1,6 \cdot K_1,$$

где C_1 – плата за 1 квар потребленной реактивной мощности, $C_1 = 1,2$ руб./квар·год;

d_1 – плата за 1 квар·ч потребленной реактивной энергии, $d_1 = 0,03$ коп./квар·ч;

$T_{M_{Qэ}}$ – годовое число часов использования максимальной реактивной мощности при потреблении из энергосистемы $Qэ$.

Значение $T_{M_{Qэ}}$ определяется в зависимости от соотношения ψ и K_M по выражениям:

$$\text{при } \psi \leq K_M T_{M_{Qэ}} = \frac{T_{\Gamma}(K_M - 2\psi + 1)}{2(1 - \psi)};$$

$$\text{при } \psi < K_M T_{M_{Qэ}} = \frac{T_{\Gamma}(1 - \psi)}{2(1 - K_M)}$$

где ψ – степень компенсации, величина которой может быть принята равной 0,7; 0,6; 0,5; 0,25 для ГПП с первичным напряжением 35, 110, 220, 500 кВ соответственно и при потреблении из энергосистемы $Qэ$, при питании от шин генераторного напряжения $\psi = 0,25$;

K_M – отношение натуральной минимальной нагрузки к натуральной максимальной нагрузке, принимаемое для 1-, 2-, 3-сменной и непрерывной работы равным 0,9; 0,8; 0,7; 0,6 соответственно;

T_{Γ} – годовой фонд рабочего времени; для 1-, 2-, 3-сменной и непрерывной работы принимается 2000, 4000, 6000, 8500 ч соответственно.

Удельная стоимость потерь активной мощности в синхронных двигателях и конденсаторах при генерировании ими реактивной мощности:

$$C_{\text{пр}} = \alpha \cdot K_{W1} + b \cdot T_{\Gamma} \cdot 10^{-2} \cdot K_{W2}.$$

После определения величины соотношения R по табл. П23 находится коэффициент α . Суммарная реактивная мощность от синхронных двигателей номинальной мощностью $P_{\text{нд}} \leq 2500$ кВт и скорости

$$n \leq 1000 \frac{1}{\text{мин}};$$

$$Q_{\text{д2}} = \sum \alpha \cdot Q_{\text{дн}}.$$

Реактивная мощность от синхронных двигателей, которую экономически целесообразно использовать для компенсации при одновременном потреблении из энергосистемы $Q_{\text{э}}$, определяется по формуле

$$Q'_{\text{д}} = Q_{\text{д1}} + Q_{\text{д2}}.$$

После определения $Q_{\text{д1}}, Q_{\text{нк}}, Q'_{\text{д}}$ составляется баланс реактивной мощности на границе балансового разграничения с энергосистемой:

$$\Delta Q' = \overline{Q_p} - Q_{\text{нк1}} - Q'_{\text{д}} - Q_{\text{э}}.$$

Если $\Delta Q' < 0$, то рекомендуется уменьшить значение $Q_{\text{э}}$ до обеспечения условия $\Delta Q' = 0$. При $\Delta Q' > 0$ рассматривается возможность получения дополнительной реактивной мощности от следующих источников:

- 1) синхронных двигателей мощностью до 2500 кВт и $n \leq 1000 \frac{1}{\text{мин}}$, если располагаемая мощность этих двигателей не используется полностью при потреблении из энергосистемы экономического значения $Q_{\text{э}}$;
- 2) БНК, дополнительно устанавливаемых сверх $Q_{\text{нк}}$;
- 3) БВК, устанавливаемых в узлах нагрузки 6 – 10 кВ;
- 4) энергосистемы, величина которой превышает экономическое значение $Q_{\text{п}} = \Delta Q'$.

Целесообразность более полного использования реактивной мощности от синхронных двигателей мощностью 2500 кВт и $n \leq 1000 \frac{1}{\text{мин}}$ определяется по табл. П23 с учетом следующих положений.

Для предприятий с 1-, 2-, 3-сменной работой затраты на генерирование реактивной мощности синхронными двигателями сопоставляются с затратами на потребление реактивной мощности из энергосистемы, превышающее экономическое ее значение, и на генерирование реактивной мощности установками БНК. При этом используются следующие соотношения:

$$R = \frac{C_{Q_{\text{п}}}}{C_{\text{рг}}} \text{ и } R = \frac{З_{\text{нк}}}{C_{\text{рг}}}.$$

Для предприятий с непрерывным режимом работы затраты на генерирование реактивной мощности синхронными двигателями сопоставляются с затратами на потребление реактивной мощности из энергосистемы, превышающее экономическое значение, и на генерирование реактивной мощности установками БВК. Соответствующие этому соотношения:

$$R = \frac{C_{Q_{\text{п}}}}{C_{\text{рг}}} \text{ и } R = \frac{З_{\text{вк}}}{C_{\text{рг}}}.$$

В указанных соотношениях $C_{Q_{\text{п}}}$ – удельная стоимость потребления реактивной мощности и энергии из энергосистемы $Q_{\text{п}}$, превышающее экономическое значение;

$З_{\text{нк}}$ и $З_{\text{вк}}$ – удельные затраты на компенсацию реактивной мощности установками БНК и БВК, руб./квар.

Удельная величина $C_{Q_{\text{п}}}$ для потребителей, имеющих приборы учета максимальной реактивной мощности:

$$C_{Q_{\text{п}}} = \left(C_2 + d_2 T_{M_{Q_{\text{п}}}} \cdot 10^{-2} \right) \cdot \frac{2K_1 K_w}{1 + K_1},$$

где C_2 – плата за 1 квар потребленной из энергосистемы реактивной мощности, превышающей экономическое значение, $C_2 = 3,6$ руб./квар·год);

d_2 – плата за 1 квар·ч реактивной энергии для потребителей, имеющих приборы учета $Q_{\text{макс}}$, $d_2 = 0,09$ коп./квар·ч);

$T_{M_{Q_{\text{п}}}}$ – годовое число часов использования максимальной реактивной мощности при ее потреблении из энергосистемы, превышающем экономическое значение. Величина определяется по формулам (7.12) и (7.13) при значениях ψ

$$\psi = 1 - \frac{Q_{\text{п}}}{Q_{\text{р}}},$$

где $Q_{\text{п}}$ – потребление из энергосистемы реактивной мощности, превышающее экономическое значение.

Удельные затраты на компенсацию реактивной мощности конденсаторными установками БНК и БВК:

$$З_{\text{нк}} = 0,22C_{\text{нк}} + З_{\text{рнк}},$$

$$З_{\text{вк}} = 0,22(C_{\text{вк}} + C_{\text{в}}) + З_{\text{рвк}},$$

где $C_{\text{нк}}$, $C_{\text{вк}}$, $C_{\text{в}}$ – удельная стоимость батарей БНК, БВК и выключателя 6 – 10 кВ. Их значения можно принять:

$$C_{\text{нк}} = 7,5 - 10,5 \text{ руб./квар},$$

$$C_{\text{БК}} = 3,7 - 4,9 \text{ руб./квар} ,$$

$$C_{\text{В}} = 0,5 - 3 \text{ руб./квар} - \text{ для камер КСО},$$

$$C_{\text{В}} = 0,9 - 5,1 \text{ руб./квар} - \text{ для камер КРУ}.$$

Значения $C_{\text{НК}}$, $C_{\text{БК}}$, $C_{\text{В}}$ должны быть откорректированы в связи с увеличением стоимости компенсирующих устройств на текущий период времени.

Значения $Z_{\text{рнк}}$ и $Z_{\text{рвк}}$ определяются следующим образом:

$$Z_{\text{рнк}} = C_{\text{рг}} \cdot \Delta P_{\text{кн}},$$

$$Z_{\text{рвк}} = C_{\text{рг}} \cdot \Delta P_{\text{кв}},$$

где $\Delta P_{\text{кн}}$ и $\Delta P_{\text{кв}}$ – удельные потери активной мощности в установках БНК и БВК, принимаемые равными: $\Delta P_{\text{кн}} = 0,004 \text{ кВт/квар}$; $\Delta P_{\text{кв}} = 0,002 \text{ кВт/квар}$.

По найденному наименьшему значению R определяется из табл. П23 коэффициент α .

С учетом номинальной реактивной мощности синхронных двигателей

$$Q_{\text{Дз}} = \sum \alpha \cdot Q_{\text{дн1}}.$$

Если значение R окажется меньше рассчитанного по формуле (7.10), то величина $Q_{\text{Дз}} = Q_{\text{Д2}}$.

Результирующее значение используемой реактивной мощности от синхронного двигателя

$$Q_{\text{д}}'' = Q_{\text{д1}} + Q_{\text{Дз}}.$$

Снова составляется баланс реактивной мощности:

$$\Delta Q'' = \overline{Q}_{\text{р}} + Q_{\text{нк1}} - Q_{\text{д}}'' - Q_{\text{э}}.$$

Если $\Delta Q'' > 0$, то для предприятий с 1-, 2-, 3-сменной работой рассматривается целесообразность дополнительной установки БНК мощностью $Q_{\text{нк2}}$. С этой целью определяется значение экономически целесообразной реактивной мощности $Q_{\text{тэ}}$, которую можно передать через цеховые трансформаторы в сеть до 1 кВ по критериям минимальных активных потерь в сети 6 – 10 кВ, стоимости БНК и стоимости потребляемой реактивной мощности (энергии) из энергосистемы.

При потреблении из энергосистемы мощности $Q_{\text{п}}$, превышающем экономическое значение,

$$Q_{\text{тэ}} = \frac{Z_{\text{нк}} - C_{Q_{\text{н}}}}{2A}.$$

Задания:

Задание №1

Предприятие с двухсменной работой питается от подстанции напряжением 110/10 кВ и имеет расчетную активную нагрузку $P_p = 4,5$ МВт.

Определить для предприятия значение Q_3 .

Задание №2

Определить мощность низковольтных батарей конденсаторов Q_{HK} для группы цехов машиностроительного предприятия, расчетные нагрузки которых составляют:

вариант *a*

- механический цех: $P_p = 2200$ кВт, $Q_p = 3100$ кВар;
- агрегатный цех: $P_p = 1800$ кВт, $Q_p = 2000$ кВар;
- термический цех: $P_p = 2300$ кВт, $Q_p = 2600$ кВар;
- сборочный цех: $P_p = 1300$ кВт, $Q_p = 1500$ кВар

вариант *б*

- инструментальный цех: $P_p = 800$ кВт, $Q_p = 900$ кВар;
- ремонтный цех: $P_p = 400$ кВт, $Q_p = 500$ кВар;
- электролизный цех: $P_p = 450$ кВт, $Q_p = 250$ кВар;
- покрасочный цех: $P_p = 600$ кВт, $Q_p = 500$ кВар.

Задание №3

На предприятии с двухсменным режимом работы используются четыре синхронных электродвигателя ($P_{нд} = 1600$ кВт, $n = 1000$ мин⁻¹, $U_n = 10$ кВ, $\cos\phi = 0,88$). Определить суммарную реактивную мощность, которую экономически целесообразно получать от синхронных двигателей. Электроснабжение предприятия осуществляется от ГПП-220/10 кВ.

Задание №4

На предприятии с трехсменным режимом работы используются четыре синхронных электродвигателя. Один из них имеет номинальные параметры: $P_n = 3$ МВт, $n = 1500$ мин⁻¹, $U_n = 10$ кВ, $\cos\phi = 0,89$. Остальные электродвигатели имеют одинаковые параметры: $P_n =$

1,25 МВт, $n = 500 \text{ мин}^{-1}$, $U_H = 10 \text{ кВ}$, $\cos\phi = 0,87$. Электроснабжение предприятия осуществляется от ТЭЦ на напряжении 10 кВ. Определить суммарную реактивную мощность, которую экономически целесообразно получать от всех синхронных электродвигателей.

Задание №5

На предприятии с двухсменным режимом работы установлены два синхронных электродвигателя с номинальными параметрами: $P_H = 1,25 \text{ мВт}$, $n = 500 \text{ мин}^{-1}$, $U_H = 10 \text{ кВ}$, $\cos\phi = 0,89$. Электроснабжение предприятия с расчетной реактивной нагрузкой $Q_p = 4,5 \text{ МВар}$ осуществляется от подстанции 110/10 кВ. Составить и проанализировать баланс реактивной мощности по предприятию, для которого $Q_{\Sigma} = 1,3 \text{ МВар}$; $Q_{HK1} = 1,2 \text{ МВар}$.

Задание №6

Результаты анализа баланса реактивной мощности по предприятию показали, что $Q'\Delta > 0$. Определить величину дополнительной реактивной мощности $Q_{ДЗ}$, которую могут генерировать два синхронных двигателя (исходные данные из задачи 5). Составить и проанализировать баланс реактивной мощности $Q''\Delta$ по предприятию.

Задание №7

Расчетная нагрузка предприятия с двухсменным режимом работы, питающегося от ГПП-220/10 кВ, составляет: $P_p = 3,5 \text{ МВт}$ $Q_p = 4,3 \text{ МВар}$. Анализ баланса реактивной мощности по предприятию показал, что $Q'\Delta = 870 \text{ кВар}$ и $Q''\Delta = 630 \text{ кВар}$. Определить величины дополнительной реактивной мощности низковольтных батарей конденсаторов и Q_{2HK} и Q_{HK} .

Задание №8

Предприятие с расчетными нагрузками $P_p = 6000 \text{ кВт}$, $Q_p = 7000 \text{ кВар}$ имеет непрерывный режим работы и питается от ГПП-220/10 кВ. Анализ балансов реактивной мощности показал, что $\Delta Q' = 1200 \text{ кВар}$, $Q'\Delta Q''\Delta = 900 \text{ кВар}$. Осуществить дополнительные мероприятия по компенсации реактивной мощности на предприятии.

Контрольные вопросы:

1. Для чего производится компенсация реактивной мощности на предприятии?
2. Перечислите методы естественной компенсации реактивной мощности.

3. Каким образом происходит искусственная компенсация реактивной мощности?
4. Укажите типы компенсирующих устройств. Отметьте достоинства и недостатки каждого вида.
5. Определите порядок выбора компенсирующего устройства.

Практическая работа № 9. Защитные меры электробезопасности. Расчет контура заземления.

Цель: Приобрести практические навыки по определению количества заземлителей.

Основы теории:

При расчете заземляющего устройства определяются тип заземлителей, их количество и место размещения, а также сечение заземляющих проводников. Этот расчет производится для ожидаемого сопротивления заземляющего устройства в соответствии с существующими требованиями ПУЭ. Расчетное значение удельного сопротивления грунта в месте устройства заземления:

$$\rho = \rho_{\text{изм}} \cdot \psi,$$

где $\rho_{\text{изм}}$ – измеренное сопротивление грунта;

ψ – коэффициент повышения сопротивления.

При отсутствии данных измерения удельного сопротивления грунта для расчетов пользуются примерными значениями (табл.10.1)

Таблица 10.1 – Удельные сопротивления грунтов

Грунт	Удельное сопротивление ρ , Ом·м
Песок	700
Супесь	300
Глина	40
Суглинок	100
Чернозем	60
Гравий, щебень	200
Каменистые почвы	400

Расчетные значения коэффициентов повышения сопротивления для различных грунтов приведены в табл.10.2

Таблица 10.2 – Коэффициенты повышения сопротивления

Характер грунта	Глубина заложения, м	Расчетные коэффициенты		
		ψ_1	ψ_2	ψ_3

Суглинок	0,8-3,8	2	1,5	1,4
Гравий, щебень	0-2	1,8	1,2	1,1
Песок	0-2	2,4	1,56	1,2
Глина	0-2	2,4	1,36	1,2
Супесь	0,7-1	2,2	1,5	1,1
Чернозем	0-3	2,4	1,4	1,3
Каменистые почвы	0-2	2,5	1,51	1,2

ψ_1 – удельное сопротивление грунта соответствует минимальному значению, грунт влажный.

ψ_2 – удельное сопротивление грунта соответствует среднему значению, грунт средней влажности.

ψ_3 – удельное сопротивление грунта соответствует наибольшему значению, грунт сухой.

Сопротивление одиночного заземлителя:

- пруткового электрода диаметром 12 мм, длиной 5 м

$$R_o = 0,00227 \cdot \rho$$

- угловой стали размером 50x50x5 мм, длиной 2,5 м

$$R_o = 0,0034 \cdot \rho$$

- трубы диаметром 60 мм, длиной 2,5 м

$$R_o = 0,00325 \cdot \rho$$

- число вертикальных заземлителей:

$$n = R_o / (\eta \cdot R_z),$$

где η – коэффициент использования.

Заземлители соединяют между собой посредством горизонтальных полос. По форме расположения заземлителей различают выносное и контурное заземление.

Способ размещения заземлителей (в ряд или по контуру) определяется по плану установки. Полосовая сталь, применяемая для электрической связи между электродами, является дополнительным заземлением. Ввиду сравнительно большого сопротивления соединительных полос оно мало влияет на общее сопротивление заземляющего устройства.

Поэтому в практических расчетах проводимость соединительных полос можно не учитывать.

Задания:

Задание №1

Задание №1

Рассчитать количество заземлителей заземления подстанции напряжением 6/0,4 кВ.
На стороне напряжения 6 кВ нейтраль изолирована, на стороне 0,4 кВ – глухо заземлена.

Таблица 10.3 – Исходные данные для расчета

Вариант	$\ell_{\text{в}}$	$\ell_{\text{к}}$	заземлитель	Влажность грунта
1	10	20	труба	песок влажный
2	15	5	прутковый электрод	супесь средней влажности
3	20	10	труба	глина сухая
4	12	2	угловая сталь	суглинок влажный
5	14	4	угловая сталь	чернозем сухой
6	18	6	прутковый электрод	гравий средней влажности
7	10	8	труба	каменистые почвы влажный
8	20	15	угловая сталь	суглинок сухой
9	15	20	прутковый электрод	супесь влажный
10	12	5	труба	каменистые почвы сухой
11	18	15	угловая сталь	чернозем средней влажности
12	14	10	прутковый электрод	гравий влажный
13	10	4	прутковый электрод	глина средней влажности
14	15	6	труба	песок средней влажности
15	20	8	прутковый электрод	чернозем сухой

Контрольные вопросы:

1. Что применяют в качестве заземлителей.
2. Виды заземления по расположению заземлителей.
3. Требования ПУЭ к занулению.
4. Требования ПУЭ к заземлению.

Практическая работа № 10. Релейная защита и автоматика в системах электроснабжения промышленных зданий и предприятий. Расчет и выбор элементов релейной защиты цехового трансформатора.

Цель: Приобрести практические навыки по выбору элементов релейной защиты.

Основы теории:

Защита, устанавливаемая на силовом трансформаторе, должна или обеспечивать его отключение при коротких замыканиях, или подавать сигнал о ненормальном режиме работы трансформатора. Установленная на трансформаторе защита выполнена на оперативном переменном токе с применением реле прямого действия типов РТМ и РТВ, реле косвенного действия типа РТ-80 и газового реле. Защита от внутренних повреждений в трансформаторе осуществляется газовым реле ПГ-22.

Задания:

Задание №1

Выбрать типы защит и определить уставки срабатывания реле для защиты силового трансформатора в соответствии со следующими данными.

Таблица 11.1 – Исходные данные для расчета релейной защиты

№ п/п	Электроприемник	Схема РЗ	I _к , кА	
			1	2
1	ТМ – 100/10/0,4	НЗ	0,2	0,04
2	ТМ – 250/10/0,4	НЗ	6	1,2
3	ТМ – 250/6/0,4	Разн.	12,5	2,4
4	ТМ – 250/10/0,4	Разн.	12,5	2,4
5	ТМ – 160/6/0,4	НЗ	0,3	0,06
6	ТМ – 250/6/0,4	НЗ	0,4	0,08
7	ТМ – 1000/10/0,4	НЗ	2,5	0,5
8	ТМ – 160/10/0,4	НЗ	3	0,6
9	ТМ – 160/10/0,4	Разн.	4	0,8
10	ТМ – 630/10/0,4	НЗ	1	0,2
11	ТМ – 400/10/0,4	НЗ	0,7	0,14
12	ТМ – 160/6/0,4	НЗ	0,8	0,16

13	ТМ – 160/6/0,4	Разн.	2,5	0,5
14	ТМ – 400/10/0,4	Разн.	2	0,4
15	ТМ – 630/10/0,4	Разн.	3,2	0,64

Контрольные вопросы:

1. Назначение релейной защиты.
2. Виды релейной защиты и основные требования к устройствам автоматики в системах электроснабжения.
3. Принцип действия дифференциальная токовая защита.
4. Принцип действия максимальная токовая защита.
5. Принцип действия токовой отсечки.
6. Какие показатели учитываются при расчёте оперативного тока релейной защиты?

Практическая работа № 11. Электробаланс и определение потерь электрической энергии. Потери мощности и энергии в элементах системы электроснабжения.

Цель: Изучить расчет потерь мощности в системах электроснабжения промышленного предприятия.

Основы теории:

Работа таких элементов системы электроснабжения, как линии электропередачи, силовые трансформаторы, токоограничивающие реакторы, сопровождается потерями мощности и энергии.

зависимости от исходных данных их можно определить для линий электропередач:

– по среднеквадратичному току $I_{\text{ск}}$,

– по максимальному току $I_{\text{м}}$.

Среднеквадратичный ток оценивается выражением

$$I_{\text{ск}} = k_{\phi} I_{\text{ср}}.$$

Среднее значение тока при известном расходе активной электроэнергии за время T_d

$$I_{\text{ср}} = \frac{\mathcal{E}_a}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{н}} \cos \varphi_{\text{св}} \cdot T_d},$$

где T_d – время действительной работы линии;

$\mathcal{E}_a$ – расход активной энергии за время T_d ;

$\cos \varphi_{\text{св}}$ – средневзвешенное значение коэффициента активной мощности.

Коэффициент формы графика $k_{\phi} = 1,05 \dots 1,1$ для электроприемников продолжительного режима работы при $n > 2$ и электроприемников повторно-кратковременного режима работы при $n > 20$. Для электроприемников повторно-кратковременного режима работы при $n < 20$

$$k_{\phi} = \sqrt{1 + \frac{1 - \text{ПВ}}{n_{\text{э}} \cdot \text{ПВ}}}$$

где ПВ – продолжительность включения электроприемников;

$n_{\text{э}}$ – эффективное число электроприемников.

Потери активной мощности и энергии в линии:

$$\Delta P = 3 I_{\text{ск}}^2 R_{\text{л}} 10^{-3};$$

$$\Delta \mathcal{E}_a = \Delta P \cdot T_d.$$

Потери реактивной мощности:

$$\Delta Q = 3 I_{\text{ск}}^2 x_{\text{л}} 10^{-3};$$

$$\Delta \mathcal{E}_p = \Delta Q \cdot T_d,$$

где $R_{\text{л}}$ и $x_{\text{л}}$ – активное и индуктивное сопротивления линии.

При известном расходе активной энергии за определенное время (сутки, год), а также известной величине максимальной активной нагрузки $P_{\text{м}}$ можно найти время $T_{\text{м}}$, в течение которого линия, работая с неизменной максимальной нагрузкой, передает эту энергию потребителю:

$$T_{\text{м}} = \frac{\mathcal{E}_a}{P_{\text{м}}}.$$

По известным значениям $\mathcal{E}_a$ и $T_{\text{м}}$ определяется максимальный ток за рассматриваемый период времени:

$$I_{\text{м}} = \frac{\mathcal{E}_a}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{н}} \cos \varphi_{\text{св}} T_{\text{м}}}.$$

Потери активной и реактивной мощности в линиях:

$$\Delta P_{\text{л}} = 3 I_{\text{м}}^2 R_{\text{л}} 10^{-3};$$

$$\Delta Q_{\text{л}} = I_{\text{м}}^2 x_{\text{л}} 10^{-3},$$

Для определения потерь энергии в этом случае учитывается время максимальных потерь τ . Его значение находится по графикам зависимости $\tau = f(T_{\text{м}}, \cos \varphi)$. При отсутствии графиков для определения τ можно воспользоваться приближенным выражением:

$$\tau = (0,124 + \frac{T_{\text{м}}}{10^4})^2 \cdot 8760.$$

Потери активной и реактивной энергии в линиях:

$$\mathcal{E}_a = \Delta P \cdot \tau;$$

$$\mathcal{E}_p = \Delta Q \cdot \tau.$$

В трансформаторах потери мощности и энергии определяются по их каталожным данным, если известна фактическая нагрузка S .

Суммарные активные и реактивные потери мощности:

$$\Delta P_{\text{Т}} = \Delta P_{\text{xx}} + (\frac{S}{S_{\text{нт}}})^2 \cdot \Delta P_{\text{кз}};$$

$$\Delta Q_{\text{Т}} = \frac{S_{\text{нт}}}{100} [i_{\text{xx}} + (\frac{S}{S_{\text{нт}}})^2 \cdot U_{\text{к}}]$$

Потери энергии:

$$\Delta \mathcal{E}_{\text{рт}} = \frac{S_{\text{нт}}}{100} [i_{\text{xx}} \cdot T_{\text{в}} + U_{\text{к}} (\frac{S}{S_{\text{нт}}})^2 \cdot \tau,$$

$$\Delta \mathcal{E}_{\text{ат}} = \Delta P_{\text{xx}} T_{\text{в}} + \Delta P_{\text{кз}} (\frac{S}{S_{\text{нт}}})^2 \cdot \tau;$$

где $T_{\text{в}}$ – время включения трансформатора.

В токоограничивающих реакторах потери активной и реактивной мощности:

$$\Delta P_p = 3\Delta P_{\text{нф}} \left(\frac{I}{I_H}\right)^2;$$

$$\Delta Q_p = 3\Delta Q_{\text{нф}} \left(\frac{I}{I_H}\right)^2$$

где $\Delta P_{\text{нф}}$ и $\Delta Q_{\text{нф}}$ – потери активной и реактивной мощности в одной фазной обмотке реактора при номинальном токе [9];

I – фактическая токовая нагрузка фазной обмотки реактора.

Потери активной и реактивной энергии в трехфазном реакторе:

$$\Delta \mathcal{E}_a = \Delta P_p \cdot T_B,$$

$$\Delta \mathcal{E}_p = \Delta Q_p \cdot \tau.$$

Задания:

Задание №1

Цеховая ТП с трансформаторами 2х1600 кВА подключена двумя радиальными линиями ($l = 0,8$ км), выполненными кабелем ААБ-10(3х70). Годовой расход электроэнергии электроприемниками цеха $\mathcal{E}_{\text{аг}} = 9000 \cdot 10^3$ кВт·ч при $\cos\phi = 0,87$. Время действительной работы линии $T_d = 5500$ ч. Определить потери активной и реактивной мощности и энергии в линиях.

Задание №2

Определить годовые потери активной и реактивной электроэнергии в трансформаторе $S_H = 1000$ кВА с коэффициентами загрузки $k_3 = 0,85$. Число часов использования максимальной нагрузки $T_M = 3500$ ч, $\cos\phi = 0,8$.

Задание №3

Двухсекционный РП питается радиальными линиями, $l=1,5$ км, выполненными кабелем ААШвУ-10(3х185). Годовой расход электроэнергии присоединенных потребителей $40000 \cdot 10^3$ кВт·ч. при $\cos\phi = 0,88$. Время действительной работы линий $T_d = 7500$ ч. Определить потери активной и реактивной мощности в линиях.

Задание №4

Определить годовые потери активной энергии в трехфазном реакторе РБА-10-630-0,56УЗ, максимальная токовая нагрузка которого $I_{\text{макс}} = 520$ А, потери в фазной обмотке при номинальном токе кВт. $\Delta P_{\text{нф}} = 4.6$ кВт

Контрольные вопросы:

1. Потери электроэнергии в трансформаторах, причины и способы их снижения.
2. Потери электроэнергии в линии и пути их снижения.

5. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

5.1 Перечень основной и дополнительной литературы, необходимой для освоения дисциплины

5.1.2 Перечень основной литературы:

1. Сибикин, Ю.Д. Основы проектирования электроснабжения объектов : учебное пособие / Ю.Д. Сибикин. - Москва ; Берлин : Директ-Медиа, 2015. - 357 с. : ил., схем., табл. - Библиогр. в кн. - ISBN 978-5-4475-3979-5 ; То же [Электронный ресурс]. - URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=469117>

2. Данилов, М.И. Инженерные системы зданий и сооружений (электроснабжение с основами электротехники) : учебное пособие / М.И. Данилов, И.Г. Романенко ; Министерство образования и науки Российской Федерации, Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Северо-Кавказский федеральный университет». - Ставрополь : СКФУ, 2015. - 223 с. : ил. - Библиогр. в кн. ; То же [Электронный ресурс]. - URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=457214>

5.1.3 Перечень дополнительной литературы:

1. Сибикин, Ю.Д. Основы проектирования электроснабжения промышленных и гражданских зданий: учебник / Ю.Д. Сибикин. - 6-е изд., перераб. - Москва ; Берлин : Директ-Медиа, 2016. - 508 с. : схем., табл., ил. - Библиогр. в кн. - ISBN 978-5-4475-8608-9 ; То же [Электронный ресурс]. - URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=459494>

5.2 Перечень учебно-методического обеспечения самостоятельной работы обучающихся по дисциплине

1. Методические указания по выполнению практических работ по дисциплине «Электроснабжение промышленных предприятий».

2. Методические указания по выполнению лабораторных работ по дисциплине «Электроснабжение промышленных предприятий».

3. Методические указания по организации и проведению самостоятельной работы по дисциплине «Электроснабжение промышленных предприятий».

5.3 Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети Интернет, необходимых для освоения дисциплины

1. <http://www.biblioclub.ru> -ЭБС "Университетская библиотека онлайн"

2. <http://www.iprbookshop.ru/> - Электронно- библиотечная система IPRbooks

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ
ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
«СЕВЕРО-КАВКАЗСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
Пятигорский институт (филиал) СКФУ

Методические указания
по организации и проведению самостоятельной работы
по дисциплине «ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЕ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ»
для студентов направления подготовки
13.03.02 Электроэнергетика и электротехника

Пятигорск 2026 г.

Содержание

Введение

- 1 Общая характеристика самостоятельной работы обучающегося при изучении дисциплины «Электроснабжение промышленных предприятий»
- 2 План-график выполнения самостоятельной работы
- 3 Контрольные точки и виды отчетности по ним
- 4 Методические рекомендации по изучению теоретического материала
- 5 Методические указания по подготовке к экзамену.
- 6 Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

Введение

Самостоятельная работа – планируемая учебная, учебно-исследовательская, научно-исследовательская работа студентов, выполняемая во внеаудиторное (аудиторное) время по заданию и при методическом руководстве преподавателя, но без его непосредственного участия (при частичном непосредственном участии преподавателя, оставляющем ведущую роль за работой студентов).

Самостоятельная работа студентов в ВУЗе является важным видом учебной и научной деятельности студента.

Ведущая цель организации и осуществления СРС должна совпадать с целью обучения студента – подготовкой бакалавра с высшим образованием. При организации СРС важным и необходимым условием становятся формирование умения самостоятельной работы для приобретения знаний, навыков и возможности организации учебной и научной деятельности.

Целью самостоятельной работы студентов является овладение фундаментальными знаниями, профессиональными умениями и навыками деятельности по профилю, опытом творческой, исследовательской деятельности. Самостоятельная работа студентов способствует развитию самостоятельности, ответственности и организованности, творческого подхода к решению проблем учебного и профессионального уровня.

Общая характеристика самостоятельной работы обучающегося при изучении дисциплины «Электроснабжение промышленных предприятий»

Самостоятельная работа - планируемая учебная, учебно-исследовательская, научно-исследовательская работа студентов, выполняемая во внеаудиторное (аудиторное) время по заданию и при методическом руководстве преподавателя, но без его непосредственного участия (при частичном непосредственном участии преподавателя, оставляющем ведущую роль за работой студентов).

Самостоятельная работа студентов в ВУЗе является важным видом учебной и научной деятельности студента. Самостоятельная работа студентов играет значительную роль в рейтинговой технологии обучения. В связи с этим, обучение в ВУЗе включает в себя две, практически одинаковые по объему и взаимовлиянию части – процесса обучения и процесса самообучения. Поэтому СРС должна стать эффективной и целенаправленной работой студента.

К современному специалисту общество предъявляет достаточно широкий перечень требований, среди которых немаловажное значение имеет наличие у выпускников определенных способностей и умения самостоятельно добывать знания из различных источников, систематизировать полученную информацию, давать оценку конкретной финансовой ситуации. Формирование такого умения происходит в течение всего периода обучения через участие студентов в практических занятиях, выполнение контрольных заданий и тестов, написание курсовых и выпускных квалификационных работ. При этом самостоятельная работа студентов играет решающую роль в ходе всего учебного процесса.

Ведущая цель организации и осуществления СРС должна совпадать с целью обучения студента – подготовкой специалиста и бакалавра с высшим образованием. При организации СРС важным и необходимым условием становятся формирование умения самостоятельной работы для приобретения знаний, навыков и возможности организации учебной и научной деятельности.

Формы самостоятельной работы студентов разнообразны. В соответствии с рабочей программой дисциплины предусмотрены следующие виды самостоятельной работы студента:

- самостоятельное изучение литературы;
- самостоятельное решение задач;
- выполнение курсового проекта.

Цель самостоятельного изучения литературы – самостоятельное овладение знаниями, опытом исследовательской деятельности.

Задачами самостоятельного изучения литературы являются:

- углубление и расширение теоретических знаний;
- формирование умений использовать нормативную, правовую, справочную документацию и специальную литературу;
- развитие познавательных способностей и активности студентов.

Цель самостоятельного решения задач - овладение профессиональными умениями и навыками деятельности по профилю будущей деятельности.

Задачами самостоятельного решения задач являются:

- систематизация и закрепление полученных теоретических знаний и практических умений студентов;
- формирование самостоятельности мышления, способностей к саморазвитию, самосовершенствованию и самореализации;
- развитие исследовательских умений.

Целью самостоятельного выполнения расчетно-графической работы по дисциплине является овладение фундаментальными знаниями, профессиональными умениями и навыками деятельности по профилю, опытом творческой, исследовательской деятельности.

Задачами данного вида самостоятельной работы студента являются:

- систематизация и закрепление полученных теоретических знаний и практических умений студентов;
- углубление и расширение теоретических знаний;
- формирование умений использовать нормативную, правовую, справочную документацию и специальную литературу;
- развитие познавательных способностей и активности студентов: творческой инициативы, самостоятельности, ответственности и организованности;
- формирование самостоятельности мышления, способностей к саморазвитию, самосовершенствованию и самореализации;
- развитие исследовательских умений;
- использование материала, собранного и полученного в ходе самостоятельных занятий на семинарах, на практических и лабораторных занятиях, при написании курсовой работы.

В результате освоения дисциплины формируются следующий перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесённых с планируемыми результатами освоения образовательной программы:

Код, формулировка компетенции	Код, формулировка индикатора	Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю), характеризующие этапы формирования компетенций, индикаторов
ПК-1 Способен участвовать в проектировании систем электроснабжения	ИД-1 _{ПК-1} Выполняет сбор и анализ данных для проектирования систем	Способен выполнять сбор и анализ данных для проектирования систем
	ИД-2 _{ПК-1} Выбирает типовые проектные решения систем электроснабжения	Способен выбирать типовые проектные решения систем электроснабжения
	ИД-4 _{ПК-1} Участвует в разработке документации для отдельных разделов проекта системы электроснабжения	Знает общие требования к проектированию систем электроснабжения промышленных предприятий. Умеет участвовать в разработке документации для отдельных разделов проекта системы электроснабжения объектов. Владеет навыками использования нормативной документации.
ПК-2 Способен анализировать режимы работы систем электроснабжения	ИД-2 _{ПК-2} Рассчитывает режимы работы систем электроснабжения	Знает методы и средства теоретического и экспериментального исследования электрических цепей. Умеет выбирать электрооборудование на основе полученных результатов расчетов. Владеет навыками понимания взаимосвязи задач проектирования и эксплуатации системы электроснабжения промышленного предприятия.
	ИД-5 _{ПК-2} Применяет инженерно-технические расчеты для решения задач профессиональной деятельности	Способен применять инженерно-технические расчеты для решения задач профессиональной деятельности

План-график выполнения самостоятельной работы

Коды реализуемых компетенций, индикатора(ов)	Вид деятельности студентов	Средства и технологии оценки	Объем часов, в том числе		
			СРС	Контактная работа с преподавателем	Всего
Очная форма обучения					
8 семестр					
ПК-1 ИД-4 _{ПК-1} ПК-2 ИД-2 _{ПК-2}	Самостоятельное изучение литературы по темам №1-18	Собеседование	58,32	6,48	64,8
	Подготовка к лекциям	Собеседование	2,43	0,27	2,7
	Подготовка к практическим занятиям	Письменный отчет о решении типовых, разноуровневых задач	4,86	0,54	5,4
	Подготовка к лабораторным занятиям	Собеседование	7,29	0,81	8,1
Итого за 8 семестр:			72,9	8,1	81
Итого:			72,9	8,1	81
Заочная форма обучения					
8 семестр					
ПК-1 ИД-4 _{ПК-1} ПК-2 ИД-2 _{ПК-2}	Самостоятельное изучение литературы по темам №1-18	Собеседование	160,38	17,82	178,2
	Подготовка к лекциям	Собеседование	0,72	0,08	0,8
	Подготовка к практическим занятиям	Письменный отчет о решении типовых, разноуровневых задач	1,44	0,16	1,6
	Подготовка к лабораторным занятиям	Собеседование	2,16	0,24	2,4
Итого за 8 семестр:			164,7	18,3	183
Итого:			164,7	18,3	183

Контрольные точки и виды отчетности по ним

№ п/п	Вид деятельности студентов	Сроки выполнения	Количество баллов
8 семестр			
1.	Практическое занятие № 3	6 неделя	25
2.	Лабораторное занятие № 5	10 неделя	15
3.	Практическое занятие № 8	16 неделя	15
	Итого за 8 семестр		55
	Итого		55

Максимально возможный балл за весь текущий контроль Максимально возможный балл за весь текущий контроль устанавливается равным 55. Текущее контрольное мероприятие считается сданным, если студент получил за него не менее 60% от установленного для этого контроля максимального балла. Рейтинговый балл, выставяемый студенту за текущее контрольное мероприятие, сданное студентом в установленные графиком контрольных мероприятий сроки, определяется следующим образом:

Уровень выполнения контрольного задания	Рейтинговый балл (в % от максимального балла за контрольное задание)
Отличный	100
Хороший	80
Удовлетворительный	60
Неудовлетворительный	0

Рейтинговая система для заочной формы обучения не предусмотрена.

Методические рекомендации по изучению теоретического материала

Самостоятельная работа студента начинается с внимательного ознакомления с содержанием учебного курса.

Изучение каждой темы следует начинать с внимательного ознакомления с набором вопросов. Они ориентируют студента, показывают, что он должен знать по данной теме. Вопросы темы как бы накладываются на соответствующую главу избранного учебника или учебного пособия. В итоге должно быть ясным, какие вопросы темы учебного курса и с какой глубиной раскрыты в конкретном учебном материале, а какие вообще опущены. Требуется творческое отношение и к самому содержанию дисциплины.

Вопросы, составляющие ее содержание, обладают разной степенью важности. Есть вопросы, выполняющие функцию логической связки содержания темы и всего курса, имеются вопросы описательного или разъяснительного характера, а также исторического экскурса в область изучаемой дисциплины. Все эти вопросы не составляют сути понятийного, концептуального содержания темы, но необходимы для целостного восприятия изучаемых проблем.

Изучаемая дисциплина имеет свой категориально-понятийный аппарат. Научные понятия — это та база, на которой строится каждая наука. Понятия — узловые, опорные пункты как научного, так и учебного познания, логические ступени движения в учебе от простого к сложному, от явления к сущности. Без ясного понимания понятий учеба крайне затрудняется, а содержание приобретенных знаний становится тусклым, расплывчатым.

Студент должен понимать, что самостоятельное овладение знаниями является главным, определяющим. Высшая школа создает для этого необходимые условия, помогает будущему высококвалифицированному специалисту овладеть технологией самостоятельного производства знаний.

В самостоятельной работе студентам приходится использовать литературу различных видов: первоисточники, монографии, научные сборники, хрестоматии, учебники, учебные пособия, журналы и др. Изучение курса предполагает знакомство студентов с большим объемом научной и учебной литературы, что, в свою очередь, порождает необходимость выработки у них рационально-критического подхода к изучаемым источникам.

Чтобы не «утонуть» в огромном объеме рекомендованных ему для изучения источников, студент, прежде всего, должен научиться правильно их читать. Правильное чтение рекомендованных источников предполагает следование нескольким несложным, но весьма полезным правилам.

Предварительный просмотр книги включает ознакомление с титульным листом книги, аннотацией, предисловием, оглавлением. При ознакомлении с оглавлением необходимо выделить разделы, главы, параграфы, представляющие для вас интерес, бегло их просмотреть, найти места, относящиеся к теме (абзацы, страницы, параграфы), и познакомиться с ними в общих чертах.

Научные издания сопровождаются различными вспомогательными материалами — научным аппаратом, поэтому важно знать, из каких основных элементов он состоит, каковы его функции.

Знакомство с книгой лучше всего начинать с изучения аннотации — краткой характеристики книги, раскрывающей ее содержание, идейную, тематическую и жанровую направленность, сведения об авторе, назначение и другие особенности. Аннотация помогает составить предварительное мнение о книге.

Глубже понять содержание книги позволяют вступительная статья, в которой дается оценка содержания книги, затрагиваемой в ней проблематики, содержится информация о жизненной и творческой биографии автора, высказываются полемические замечания, разъясняются отдельные положения книги, даются комментарии и т.д. Вот почему знакомство с вступительной статьей представляется очень важным: оно помогает студенту сориентироваться в тексте работы, обратить внимание на ее наиболее ценные и важные разделы.

Той же цели содействует знакомство с оглавлением, предисловием, послесловием. Весьма полезными элементами научного аппарата являются сноски, комментарии, таблицы, графики, списки литературы. Они не только иллюстрируют отдельные положения книги или статьи, но и сами по себе являются дополнительным источником информации для читателя.

Если читателя заинтересовала какая-то высказанная автором мысль, не нашедшая подробного освещения в данном источнике, он может обратиться к тексту источника, упоминаемого в сноске, либо к источнику, который он может найти в списке литературы, рекомендованной автором для самостоятельного изучения.

Существует несколько форм ведения записей:

— план (простой и развернутый) — наиболее краткая форма записи прочитанного, представляющая собой перечень вопросов, рассматриваемых в книге или статье. Развернутый план представляет собой более подробную запись прочитанного, с детализацией отдельных положений и выводов, с выпиской цитат, статистических данных и т.д. Развернутый план — неоценимый помощник при выступлении с докладом на конкретную тему на семинаре, конференции;

— тезисы — кратко сформулированные положения, основные положения книги, статьи. Как правило, тезисы составляются после предварительного знакомства с текстом источника, при его повторном прочтении. Они помогают запомнить и систематизировать информацию.

Составление конспектов

Большую роль в усвоении и повторении пройденного материала играет хороший конспект, содержащий основные идеи прочитанного в учебнике и услышанного в лекции. Конспект — это, по существу, набросок, развернутый план связного рассказа по основным вопросам темы.

В какой-то мере конспект рассчитан (в зависимости от индивидуальных особенностей студента) не только на интеллектуальную и эмоциональную, но и на зрительную память, причем текст конспекта нередко ассоциируется еще и с текстом учебника или записью лекции. Поэтому легче запоминается содержание конспектов, написанных разборчиво, с подчеркиванием или выделением разрядкой ключевых слов и фраз.

Самостоятельно изученные темы предоставляются преподавателю в форме конспекта, по которому происходит собеседование. Теоретические темы курса (отдельные вопросы), выносимые на самостоятельное изучение, представлены ниже.

Типовые контрольные задания и иные материалы, характеризующие этапы формирования компетенций

Вопросы для собеседования

Рейтинговая система успеваемости студентов не предусмотрена для заочной формы обучения.

1. В чем заключается процесс производства электроэнергии на тепловых и атомных электростанциях?
2. Каковы направления использования солнечной и геотермальной энергии?
3. На чем основана работа МГД-генераторов?
4. Что такое экономическое сечение?
5. Трансформаторы какой мощности применяют на цеховых ТП?
6. Что дает использование возобновляемых источников энергии?
7. Влияние энергетических объектов на окружающую среду.
8. В чем заключается особенность производства электроэнергии?
9. В каких случаях сети не подлежат выбору по экономической плотности тока?
10. Как рекомендуется загружать трансформаторы подстанций и почему?
11. Принцип работы энергетической системы?
12. Назовите ряд номинальных напряжений выше 1 кВ

13. Разберите условную (иерархическую) схему городской электрической сети. Назовите назначения ТП, ГПП, РП, ВРУ.
14. Назовите виды коротких замыканий
15. Что такое «ударный» ток?
16. По каким признакам классифицируются электроприемники?
17. Что понимают под номинальной мощностью электродвигателя, силового трансформатора?
18. Определите номинальную мощность кранового электродвигателя, имеющего мощность $R_{\text{пасп}} = 2,7$ кВт при $P_{\text{Впасп}} = 25\%$
19. Область применения магистральных радиальных схем
20. Как составляется схема замещения?
21. На какое время допустим перерыв электроснабжения для электроприемников III категории?
22. Возможно ли питание электроприемников II категории от одного трансформатора?
23. Относятся ли к числу независимых источников питания две секции шин подстанции, если каждая из них имеет питание от независимого источника и секции шин не связаны между собой?
24. Дайте определение подстанции
25. По каким формулам производится расчет сопротивлений короткозамкнутой цепи?
26. Какие электроприемники относятся к особой группе?
27. Дайте сравнительную характеристику радиальной и магистральной схем
28. Что такое питающая, распределительная, групповая сети?
29. Назначение и область применения выключателей нагрузки.
30. Какой ток представляет термическое действие тока к.з.?
31. Каковы особенности электропроводок, выполненных открыто, скрыто?
32. Область применения пластмассовых труб в электропроводках?
33. В каких помещениях обязательно применение проводников с медными жилами?
34. Какой ток представляет электродинамическое действие тока к.з.?
35. Какие элементы системы электроснабжения требуют проверки на термическую устойчивость к токам к.з.?
36. Какие графики нагрузки Вы знаете?
37. Что собой представляет площадь, ограниченная суточным графиком нагрузки?

38. Что собой представляет оплата за потребленную электроэнергию по двух-ставочному тарифу? Какие электроприемники производят оплату по такому тарифу?
39. Какие элементы системы электроснабжения требуют проверки на электродинамическую устойчивость к токам к.з.?
40. По какой формуле осуществляется проверка высоковольтного кабеля на термическую устойчивость к токам к.з.?
41. Как определить среднегодовую мощность, зная количество потребленной электроэнергии за год и годовое количество часов работы предприятия?
42. Перечислите основные показатели, характеризующие работу электроприемника.
43. Назовите основные физические величины, характеризующие графики нагрузки.
44. Каким требованиям должны удовлетворять высоковольтные выключатели?
45. В каких электроустановках применяется защитное заземление, а в каких защитное зануление?
46. Перечислите методы расчета электрических нагрузок.
47. Дайте определение эффективного числа электроприемников
48. По каким формулам определяются средние нагрузки за максимально загруженную смену?
49. Охарактеризуйте основные типы трансформаторных подстанций предприятий.
50. Как осуществляется расчет заземляющего устройства?
51. Как учитываются в расчете нагрузок однофазные электроприемники, распределенные по фазам с неравномерностью не выше 15%?
52. Каким методом рассчитываются электрические нагрузки осветительных установок?
53. Как определяется полная нагрузка силового трансформатора?
54. Каково назначение изоляторов? Какие типы изоляторов применяются в схемах подстанций?
55. Чему равно сопротивление заземляющего контура при напряжении 660/380В; 380/220В, 220/127В?
56. По каким формулам определяются потери мощности в линиях и трансформаторах?
57. Дайте определение времени максимальных потерь τ .
58. Как определяется величина длительно допустимого тока для проводников, проложенных во взрывоопасных помещениях?
59. Что представляет площадь круга картограммы?
60. Назовите принцип классификации реле, применяемых в релейной защите

61. Что такое длительно допустимый ток и как он определяется?
62. Чем опасен перегрев проводников?
63. Определите величину длительно допустимого тока для четырех проводов марки АПВ, проложенных в пластмассовой трубе и имеющих сечение 16мм².
64. Как рассчитать радиус окружности?
65. Область применения максимальной токовой защиты?
66. Что такое отклонение напряжения?
67. В чем разница между падением и потерей напряжения в линии?
68. В чем заключается проверка электрической сети на потерю напряжения?
69. Как определяется сектор осветительной нагрузки?
70. Поясните принцип действия продольной и поперечной дифференциальной защиты.
71. Постройте векторную диаграмму для определения потери напряжения.
72. Какие электроприемники являются основными потребителями реактивной мощности?
73. С помощью векторной диаграммы поясните целесообразность компенсации реактивной мощности.
74. По каким формулам рассчитываются электрические нагрузки U выше 1 кВ?
75. Когда применяется максимально-направленная защита, принцип действия?
76. По какой формуле можно рассчитать мощность компенсирующего устройства?
77. Что такое естественная компенсация реактивной мощности?
78. Что относится к специальным компенсирующим устройствам?
79. Перечислите наиболее вероятные виды повреждения в силовых трансформаторах.
80. Как осуществляется защита от замыканий на землю?
81. Какими электрическими аппаратами осуществляется защита электрических сетей и электроприемников напряжением до 1 кВ?
82. От чего осуществляется защита электрических сетей и электроприемников?
83. Что такое электромагнитный расцепитель, тепловой расцепитель?
84. В каких случаях целесообразно применение отдельно стоящих цеховых ТП?
85. Как осуществляется защита воздушных и кабельных линий?
86. Условия выбора плавкого предохранителя
87. Условия выбора автоматического выключателя
88. Какое влияние оказывает категория электроприемников на выбор схемы электроснабжения?

89. Какая подстанция называется внутрицеховой? Пристроенной? встроенной?
90. Какие факторы влияют на старение изоляции?
91. По каким параметрам характеризуется режим работы проектируемого предприятия?
92. На какие категории делятся электроприемники по надежности электроснабжения?
93. Какие параметры определяются по суточным и годовым графикам по продолжительности?
94. Каким образом связаны расчетные активная и реактивная мощности?
95. В каких случаях необходимо использовать систему общего освещения?
96. В каком случае необходимо провести корректировку расчетной активной мощности?
97. Как зависит нормируемая освещенность дорог и проездов от интенсивности движения автомобилей?
98. Охарактеризовать способы установки прожекторов для освещения открытых площадок.
99. Какие данные являются исходными при расчете уличного освещения точечным методом?
100. С расчета какого параметра начинается выбор числа и мощности трансформаторов цеховых ТП при количестве трансформаторов одного типоразмера до трех и больше трех?
101. Каким образом определяется место установки цеховой ТП, питающей несколько цехов?
102. Сколько трансформаторов и в каких случаях устанавливаются на цеховых ТП?
103. По каким критериям определяется рекомендованный коэффициент загрузки силовых трансформаторов цеховых ТП?
104. Каким образом определяются номинальные мощности силовых трансформаторов?
105. В каких случаях применяется радиальная схема внутризаводского электроснабжения?
106. В каких случаях применяются двухступенчатые радиальные схемы с промежуточными РП?
107. В каких случаях применяется магистральная схема внутризаводского электроснабжения?

108. В чем заключаются достоинства применения силовых трансформаторов с масляным охлаждением?
109. Назовите достоинства применения сухих трансформаторов.
110. В чем состоит актуальность компенсации реактивной мощности непосредственно у потребителя?
111. Каким образом выбирается фактическая мощность конденсаторных установок для установки на цеховых ТП?
112. Что такое картограмма электрических нагрузок?
113. Для чего рассчитывается ЦЭН?
114. Как реализуется выбор местоположения ГПП?
115. В каких случаях допустимо применять однотрансформаторные ГПП?
116. В каких случаях допустимо применять ГПП с количеством трансформаторов больше двух?
117. В чем недостаток применения СД в качестве источника реактивной мощности?
118. Из каких, составляющих складывается суммарная активная нагрузка предприятия?
119. Как определяется полная расчётная мощность завода?
120. Что такое главная схема подстанции?
121. Укажите требования, предъявляемые к схемам распределительных устройств.
122. Охарактеризуйте три основные категории подстанций.
123. Каким образом в схемах с отделителями и короткозамыкателями производится отключение трансформатора при коротком замыкании в нем?
124. В чем состоит назначение короткозамыкателей в схемах с отделителями и короткозамыкателями?
125. Объясните назначение обходной системы шин.
126. В чем заключается назначение обходного выключателя?
127. Каким образом производится ограничение тока короткого замыкания на НН подстанций?
128. По каким параметрам реализуется выбор и проверка сечения проводников, питающих ЛЭП?
129. Какие составляющие учитываются при определении приведенных затрат?
130. Каким образом определяются издержки на потери электроэнергии в силовых трансформаторах?
131. Каким образом выбирается место установки РП?

132. Каким образом рассчитывается полная мощность, проходящая по участку КЛ напряжением 10 кВ, питающего РП, ТП и высоковольтных потребителей?

133. По какому критерию выполняется проверка выбранного сечения КЛ напряжением 10 кВ?

134. Каким требованиям должны удовлетворять проводники осветительной сети?

135. Каким образом определяется момент нагрузки в общем случае при разном расстоянии между светильниками и неодинаковой мощности ламп в них для трехпроводной осветительной сети?

136. Как подразделяются внутренние перенапряжения и причины их возникновения?

137. Перечислите виды разрядников и поясните принцип их действия.

138. Область применения стержневых и тросовых молниеотводов.

139. Как выполняется молниезащита III категории?

140. Как определяется радиус зоны защиты молниеотвода? От каких величин он зависит?

141. Выбор сечения проводников по допустимому нагреву электрическим током

142. Компенсация реактивной мощности

143. Расчет мощности компенсирующих устройств реактивной мощности

144. Размещение компенсирующих устройств в системах электроснабжения

Методические указания по подготовке к экзамену

Изучение дисциплины «Электроснабжение промышленных предприятий» завершается экзаменом. Подготовка к экзамену способствует закреплению, углублению и обобщению знаний, получаемых, в процессе обучения, а также применению их к решению практических задач. Готовясь к экзамену, студент ликвидирует имеющиеся пробелы в знаниях, углубляет, систематизирует и упорядочивает свои знания. На экзамене студент демонстрирует то, что он приобрел в процессе обучения по конкретной учебной дисциплине.

На консультации перед экзаменом студентов познакомят с основными требованиями, ответят на возникшие у них вопросы. Поэтому посещение консультаций обязательно.

При подготовке к экзамену необходимо использовать конспекты лекций по дисциплине, учебники и учебные пособия (из списка основной и дополнительной литературы) или конспект литературы, прочитанной по указанию преподавателя в течение семестра.

Вначале следует просмотреть весь материал по сдаваемой дисциплине, отметить для себя трудные вопросы. Обязательно в них разобраться. В заключение еще раз целесообразно повторить основные положения.

Систематическая подготовка к занятиям в течение семестра позволит использовать время экзаменационной сессии для систематизации знаний.

Вопросы к экзамену

1. Классификацию приемников электроэнергии и их характеристики.
2. Изменение частоты в сети и способы ее регулирования.
3. Способы определения, приведенного числа приемников.
4. Баланс активных и реактивных мощностей.
5. Защита электрических сетей осветительных установок.
6. Выбор сечений проводов и жил кабелей силовых электроприемников.
7. Методику технико-экономических расчетов.
8. Расчет токов КЗ в установках постоянного тока.
9. Нормирование показателей качества электроэнергии.
10. Расчет цеховых сетей повышенной частоты.
11. Режимы работы нейтрали в системах электроснабжения.
12. Отклонения и колебания напряжения.
13. Графики электрических нагрузок и показатели, характеризующие приемники электроэнергии.
14. Показатели несинусоидальности напряжений.

15. Метод удельных плотностей нагрузок.
16. Характеристика производственных помещений.
17. Общие рекомендации по выбору метода определения расчетных нагрузок.
18. Техничко-экономические показатели в системах электроснабжения.
19. Режим КЗ в цеховых сетях напряжения до 1000 В.
20. Шкала номинальных мощностей силовых трансформаторов.
21. Расчет сетей передвижных установок.
22. Режимы работы и регулирование мощности компенсирующих устройств.
23. Характерные приемники электроэнергии.
24. Показатели несимметрии напряжений.
25. Схемы и конструктивные исполнения междцеховых электрических сетей.
26. Виды освещения и требования к системам их электроснабжения.
27. Вероятностный и статистический методы определения нагрузки.
28. Защита цеховых электрических сетей.
29. Использование математических методов в технико-экономических расчетах.
30. Шины и шинопроводы в системах электроснабжения.
31. Расчет систем молниезащиты промышленных объектов.
32. Определять расчетные нагрузки.
33. Определять расчетные нагрузки по средней мощности и коэффициенту формы.
34. Определять центр электрических нагрузок.
35. Определять нагрузки по удельному расходу электроэнергии и удельной нагрузке на единицу площади.
36. Определять средние нагрузки.
37. Определять среднеквадратические нагрузки.
38. Определять рациональное напряжение приближенным и аналитическим способом.
39. Выбор сечений осветительных сетей.
40. Выбор сечения жил кабелей и проводов по экономическим соображениям.
41. Выбор числа и мощности силовых трансформаторов.
42. Выбор трехобмоточных трансформаторов и трансформаторов с расщепленной обмоткой низшего напряжения (НН).
43. Выбор сечения жил кабелей и проводов ВЛ линий по нагреву.
44. Выбор сечения жил кабелей и проводов по действию токов КЗ.
45. Выбор рационального напряжения при равномерно распределенной нагрузке.
46. Выбор места расположения источника питания промпредприятия.

47. Выбор аппаратуры защиты электроцехового оборудования и сетей.
48. Выбор шин в цеховых электрических сетях.

Перечень основной и дополнительной литературы, необходимой для освоения дисциплины

Перечень основной литературы:

1. Сибикин, Ю.Д. Основы проектирования электроснабжения объектов : учебное пособие / Ю.Д. Сибикин. - Москва ; Берлин : Директ-Медиа, 2015. - 357 с. : ил., схем., табл. - Библиогр. в кн. - ISBN 978-5-4475-3979-5 ; То же [Электронный ресурс]. - URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=469117>

2. Данилов, М.И. Инженерные системы зданий и сооружений (электроснабжение с основами электротехники) : учебное пособие / М.И. Данилов, И.Г. Романенко ; Министерство образования и науки Российской Федерации, Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Северо-Кавказский федеральный университет». - Ставрополь : СКФУ, 2015. - 223 с. : ил. - Библиогр. в кн. ; То же [Электронный ресурс]. - URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=457214>

Перечень дополнительной литературы:

1. Сибикин, Ю.Д. Основы проектирования электроснабжения промышленных и гражданских зданий: учебник / Ю.Д. Сибикин. - 6-е изд., перераб. - Москва ; Берлин : Директ-Медиа, 2016. - 508 с. : схем., табл., ил. - Библиогр. в кн. - ISBN 978-5-4475-8608-9 ; То же [Электронный ресурс]. - URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=459494>

Перечень учебно-методического обеспечения самостоятельной работы обучающихся по дисциплине

1. Методические указания по выполнению практических работ по дисциплине «Электроснабжение промышленных предприятий».
2. Методические указания по выполнению лабораторных работ по дисциплине «Электроснабжение промышленных предприятий».
3. Методические указания по организации и проведению самостоятельной работы по дисциплине «Электроснабжение промышленных предприятий».

Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети Интернет, необходимых для освоения дисциплины

1. <http://www.biblioclub.ru> - ЭБС "Университетская библиотека онлайн"
2. <http://www.iprbookshop.ru/> - Электронно- библиотечная система IPRbooks