

Документ подписан простой электронной подписью

Информация о владельце:

ФИО: Минцаев Магомед Шавалович

Должность: Ректор

Дата подписания: 23.11.2023 14:38:42

Уникальный идентификатор: 236bcc35c296f119d6aafdc22836b21db52dbc07971a86865a5825f9fa4304ce

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Филиал государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Уфимский государственный нефтяной технический университет»  
В. Г. Салавате

Кафедра «Электрооборудование и автоматика промышленных предприятий»

## **ЦИФРОВЫЕ ПОДСТАНЦИИ**

Учебно-методическое пособие  
по организации самостоятельной работы обучающихся

Салават 2021

Учебно-методическое пособие предназначено для магистрантов программы подготовки 13.04.02 «Интеллектуальные средства и системы управления, защиты и диагностики электроэнергетических комплексов».

Учебно-методическое пособие предназначено для самостоятельной работы по дисциплине «Цифровые подстанции» и содержит задания для студентов очной формы обучения. Учебно-методическое пособие поможет студентам приобрести навыки самостоятельной работы с литературой.

Публикуется в авторской редакции.

Составитель: Р.Г. Вильданов, д-р техн. наук, профессор кафедры ЭАПП

Рецензенты: М.Р. Минлибаев, канд. физ.- мат. наук, доцент кафедры ЭАПП

А.С. Хисматуллин, канд. физ.- мат. наук, доцент кафедры ЭАПП

© Уфимский государственный нефтяной технический университет, 2021

## СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	4
1 Темы, выносимые на самостоятельное изучение.....	5
2 Подготовка к промежуточной аттестации .....	6
3 Рекомендации по ведению конспекта лекций.....	8
4 Рекомендации по выполнению лабораторных работ.....	9
5 Задания к практическим занятиям.....	10
5.1 Задание на практическое занятие №1 .....	10
5.2 Задание на практическую работу №2 .....	13
5.3 Задание на практическую работу №3 .....	13
5.4 Задание на практическую работу №4.....	13
5.6 Задание на практическую работу №6 .....	13
5.7 Задание на практическое занятие №7 .....	13
6 Список электронных баз данных .....	14
7 Список рекомендуемой литературы .....	14

## ВВЕДЕНИЕ

«Цифровые подстанции» является вариативной дисциплиной подготовки магистрантов программы подготовки 13.04.02 «Интеллектуальные средства и системы управления, защиты и диагностики электроэнергетических комплексов», целью которой является приобретение знаний по цифровым подстанциям систем электроснабжения. Изучение курса формирует у студента комплекс знаний по цифровым подстанциям систем электроснабжения, дает представление о проектировании цифровых подстанций. При осуществлении профессиональной деятельности знание данной дисциплины позволит квалифицированно выполнять задачи проектирования цифровых подстанций.

В результате освоения дисциплины обучающийся должен знать:

- прикладные задачи и реализацию проектов в области сквозных цифровых технологий;

- принципы руководства проектом по использованию экспертных систем для диагностики оборудования ЦПС, когда оценка состояния оборудования производится на основании обобщающего анализа результатов работы, полученных экспертными программами;

- модели искусственных нейронных сетей и инструментальных средств для диагностики состояния оборудования ЦПС;

- современные информационно-коммуникационные и интеллектуальные технологии, инструментальные среды и программно-технические платформы.

В результате освоения дисциплины обучающийся должен уметь:

- решать прикладные задачи и реализовывать проекты в области сквозных цифровых технологий;

- руководить проектом по использованию экспертных систем для диагностики оборудования ЦПС, когда оценка состояния оборудования производится на основании обобщающего анализа результатов работы, полученных экспертными программами;

- руководить работами по оценке и выбору моделей искусственных нейронных сетей и инструментальных средств для диагностики состояния оборудования ЦПС;

- применять современные информационно-коммуникационные и интеллектуальные технологии, инструментальные среды и программно-технические платформы;

В результате освоения дисциплины обучающийся должен владеть:

- методами решения прикладных задач и реализации проектов в области сквозных цифровых технологий;

- принципами руководства проектом по созданию экспертных систем для диагностики оборудования ЦПС, когда оценка состояния оборудования производится на основании обобщающего анализа результатов работы, полученных экспертными программами;

- навыками руководства работами по оценке и выбору моделей искусственных нейронных сетей и инструментальных средств для диагностики состояния оборудования ЦПС;

- навыками применения современных информационно-коммуникационных и интеллектуальных технологий, инструментальных сред и программно-технических платформ.

## **1 Темы, выносимые на самостоятельное изучение**

### Раздел 1:

- тенденции в построении ЦПС;
- базовые принципы построения ЦПС;
- гарантированное время передачи сигналов ;
- функциональное резервирование ;
- самодиагностика линий;
- принципы электромагнитной безопасности;
- информационная безопасность;
- принципы обеспечения единства измерений;
- структурная схема подстанции.

### Раздел 2:

- уровень процесса;
- уровень присоединения;
- уровень подстанции;
- требования к устройствам, обеспечивающим информационные связи на базе протоколов МЭК 61850-8-1 и МЭК 61850-9-2;
- операционные и неоперационные функции цифровой подстанции;
- функции взаимодействия с субъектами электроэнергетики;
- функциональная диаграмма структуры управления подстанциями. Организация обмена информацией с цифровой подстанцией;
- распределенная система решения функциональных задач;
- протоколы стандарта МЭК 61850 МЭК 61850-8-1;
- протокол передачи данных реального времени и команд диспетчерского управления MMS (Manufacturing Message Specification);
- протокол передачи данных о событиях на подстанции GOOSE (Generic Object Oriented Substation Event );
- протокол передачи оцифрованных мгновенных значений от измерительных трансформаторов тока и напряжения (ТТ и ТН);
- протокол, позволяющий заменить цепи переменного тока, соединяющие устройства РЗА с ТТ и ТН SV (Sampled Values) ;
- логический сервер, логическое устройство, логические узлы;
- имя логического узла. Свободное распределение логических узлов .

### Раздел 3:

- построение цифрового измерительного трансформатора с отдельным модулем объединения;

- полевые преобразователи. Назначение. Основные и вспомогательные функции. Конструктивная реализация;
- требования к структуре комплекса технических средств ПТК цифровой ПС;
- выбор основного электротехнического оборудования цифровой ПС;
- релейная защита и автоматика. Подсистема РЗА общей структуры ПТК цифровой ПС;
- экспертные системы для диагностики оборудования ЦПС;
- состав комплексов технических средств интеллектуальных электронных устройств (ИЭУ) для организации подсистемы РЗА ;
- уровень ПТК присоединения подсистемы РЗА;
- оценка и выбор моделей искусственных нейронных сетей и инструментальных средств для диагностики состояния оборудования ЦПС;
- автоматизированные системы управления технологическими процессами, системы оперативно-технологического и оперативно-диспетчерского управления (АСУ ТП, АСТУ и АСДУ) ;
- функции оперативно-технологического управления;
- программно-технические средства уровня подстанции ;
- требования к интеграции цифровой подстанции в систему цифровой электрической сети;
- современные информационно-коммуникационные и интеллектуальные технологии, инструментальные среды и программно-технические платформы;
- требования к интеграции подстанции в систему предприятия электросетевого комплекса.

## **2 Подготовка к промежуточной аттестации**

Раздел 1. Цели и задачи построения цифровых подстанций. Архитектура цифровых подстанций.

При подготовке к промежуточной аттестации по этому разделу студент должен изучить цели и задачи построения ЦПС, задачи технического характера, задачи экономического характера, тенденции в построении ЦПС, базовые принципы построения ЦПС, архитектуру ЦПС, общие и базовые принципы построения, гарантированное время передачи сигналов, функциональное резервирование.

Раздел 2. Протоколы передачи данных на цифровых подстанциях.

При подготовке к промежуточной аттестации по этому разделу студент должен изучить требования к устройствам, обеспечивающим информационные связи на базе протоколов МЭК 61850-8-1 и МЭК 61850-9-2, операционные и неоперационные функции цифровой подстанции, функции взаимодействия с субъектами электроэнергетики, функциональные диаграммы структуры управления подстанциями, организацию обмена информацией с цифровой подстанцией, распределенную систему решения функциональных задач, протоколы стандарта МЭК 61850 МЭК 61850-8-1, протокол передачи данных реального времени и команд диспетчерского управления MMS (Manufacturing Message Specification), протокол передачи данных о событиях на подстанции GOOSE (Generic Object Oriented Substation Event ), протокол переда-

чи оцифрованных мгновенных значений от измерительных трансформаторов тока и напряжения (ТТ и ТН).

Необходимо также знать протокол, позволяющий заменить цепи переменного тока, соединяющие устройства РЗА с ТТ и ТН SV (Sampled Values) .

Раздел 3. Основное электротехническое оборудование цифровой подстанции

При подготовке к промежуточной аттестации по этому разделу студент должен изучить построение цифрового измерительного трансформатора с отдельным модулем объединения, полевые преобразователи, требования к структуре комплекса технических средств ПТК цифровой ПС, выбор основного электротехнического оборудования цифровой ПС, релейную защиту и автоматику, подсистему РЗА общей структуры ПТК цифровой ПС, состав комплексов технических средств интеллектуальных электронных устройств (ИЭУ) для организации подсистемы РЗА , уровень ПТК присоединения подсистемы РЗА, автоматизированные системы управления технологическими процессами, системы оперативно-технологического и оперативно-диспетчерского управления (АСУ ТП, АСТУ и АСДУ) .

Необходимо также знать требования к интеграции цифровой подстанции в систему цифровой электрической сети.

Контрольные вопросы по дисциплине для подготовки промежуточной аттестации:

- тенденции в построении ЦПС;
- базовые принципы построения ЦПС;
- гарантированное время передачи сигналов ;
- функциональное резервирование ;
- самодиагностика линий;
- принципы электромагнитной безопасности;
- информационная безопасность;
- принципы обеспечения единства измерений;
- структурная схема подстанции.
- уровень процесса;
- уровень присоединения;
- уровень подстанции;
- требования к устройствам, обеспечивающим информационные связи на базе протоколов МЭК 61850-8-1 и МЭК 61850-9-2;
- операционные и неоперационные функции цифровой подстанции;
- функции взаимодействия с субъектами электроэнергетики;
- функциональная диаграмма структуры управления подстанциями. Организация обмена информацией с цифровой подстанцией;
- распределенная система решения функциональных задач;
- протоколы стандарта МЭК 61850 МЭК 61850-8-1;
- протокол передачи данных реального времени и команд диспетчерского управления MMS (Manufacturing Message Specification);
- протокол передачи данных о событиях на подстанции GOOSE (Generic Object Oriented Substation Event );
- протокол передачи оцифрованных мгновенных значений от измерительных трансформаторов тока и напряжения (ТТ и ТН);

- протокол, позволяющий заменить цепи переменного тока, соединяющие устройства РЗА с ТТ и ТН SV (Sampled Values) ;
- логический сервер, логическое устройство, логические узлы;
- имя логического узла. Свободное распределение логических узлов .
- построение цифрового измерительного трансформатора с отдельным модулем объединения;
- полевые преобразователи. Назначение. Основные и вспомогательные функции. Конструктивная реализация;
- требования к структуре комплекса технических средств ПТК цифровой ПС;
- выбор основного электротехнического оборудования цифровой ПС;
- релейная защита и автоматика. Подсистема РЗА общей структуры ПТК цифровой ПС;
- состав комплексов технических средств интеллектуальных электронных устройств (ИЭУ) для организации подсистемы РЗА ;
- уровень ПТК присоединения подсистемы РЗА;
- автоматизированные системы управления технологическими процессами, системы оперативно-технологического и оперативно-диспетчерского управления (АСУ ТП, АСТУ и АСДУ) ;
- функции оперативно-технологического управления;
- программно-технические средства уровня подстанции ;
- требования к интеграции цифровой подстанции в систему цифровой электрической сети;
- требования к интеграции подстанции в систему предприятия электросетевого комплекса.

### **3 Рекомендации по ведению конспекта лекций**

Ниже приводятся методические указания (рекомендации) студентам по изучению дисциплины «Цифровые подстанции».

Самостоятельная работа студентов направлена на:

- работу с конспектом лекций;
- работу с основной и дополнительной литературой;
- работу над темами, вынесенными на самостоятельную проработку;
- подготовку к итоговой аттестации по дисциплине.

Самостоятельная работа студентов предполагает:

- подготовку к практическим и лабораторным занятиям;
- подготовку к письменными устным опросам (тестам либо контрольным работам);
- подготовку к экзамену.

При подготовке к занятиям студент должен просмотреть конспекты лекций, рекомендованную литературу по данной теме; подготовиться к ответу на контрольные вопросы.

Успешное изучение курса требует от студентов посещения лекций, активной работы на лабораторных работах, выполнения всех учебных заданий преподавателя, ознакомления основной и дополнительной литературой.



Запись лекции – одна из форм активной самостоятельной работы студентов, требующая навыков и умения кратко, схематично, последовательно и логично фиксировать основные положения, выводы, обобщения, формулировки. Культура записи лекции – один из важнейших факторов успешного и творческого овладения знаниями. Последующая работа над текстом лекции воскрешает в памяти ее содержание, позволяет развивать аналитическое мышление. В конце лекции преподаватель оставляет время (5-10 минут) для того, чтобы студенты имели возможность задать уточняющие вопросы по изучаемому материалу. Для ведения конспекта лекций желательно использовать тетрадь большого формата. Поскольку для преподавания дисциплины используется презентация, которая в электронном виде предоставляется студентам, графическую часть лекции целесообразно располагать в соответствующих местах текста (например, вклеивать в конспект). Если какая-то лекция пропускается, лучше сразу переписать ее или, по крайней мере, оставить для нее чистые листы. Перед каждой лекцией необходимо проработать предыдущую, это будет помогать освоить новый материал и закрепить прошлые знания. Очень полезно рассказывать материал заинтересованному слушателю (товарищу по учебе), который не только внимательно выслушает, но и задаст массу вопросов. Такой подход к изучению предмета трудно переоценить, он позволяет сформировать устойчивые знания и развить логическое мышление.

Записи по практическим занятиям целесообразно продолжать делать в лекционной тетради.

#### **4 Рекомендации по выполнению лабораторных работ**

Лабораторные работы играют очень большую роль в усвоении дисциплины, т.к. дают возможность получить практические навыки. На лабораторные занятия следует приходиться подготовленными как в теоретическом плане, так и практически. Во-первых, это сформирует четкое представление о предстоящей работе, во-вторых, сэкономит аудиторное время на ее выполнение и позволит вовремя защитить работы. Это является важным фактором, не допускающим отставания от графика защиты и снижающим количество дополнительных попыток, влияющих на оценку.

При подготовке к защите лабораторной работы необходимо прежде всего понимать смысл проводимых работ. Целесообразно проанализировать логичность и достоверность полученных результатов, а в случае сомнений обратиться к преподавателю. В конце описания каждой лабораторной работы всегда приводятся контрольные вопросы для самопроверки знаний. Имейте в виду, что они действительно служат для самоконтроля, а при защите лабораторной работы может понадобиться информация, содержащаяся не только в кратких теоретических сведениях из методички, но и в лекциях или в учебнике.

## 5 Задания к практическим занятиям

### 5.1 Задание на практическое занятие №1

5.1.1 Разработать структурную схему цифровой подстанции для распределительной трансформаторной станции (РТП), имеющей следующие присоединения: цеховой трансформатор ТП1, асинхронный электродвигатель (АД), синхронный электродвигатель (СД). Исходные данные приведены в таблице 5.1.

Таблица 5.1 - Исходные данные

Номер варианта	Элементы схемы				
	Мощность ТП1, кВА	Мощность АД1, кВт	Мощность АД2, кВт	Мощность СД1, кВт	Мощность СД2, кВт
1	630	1800	500	630	800
2	1000	250	400	500	200
3	250	315	1000	1000	250
4	400	1800	400	630	800
5	1000	250	400	500	200
6	630	315	1000	1000	250
7	1000	1800	630	630	800
8	630	200	400	400	200
9	400	315	8	1000	250
10	1000	1800	500	630	63000
11	630	250	400	500	200
12	400	315	1000	200	250
13	1000	1000	500	630	800

5.1.2 Выбрать и разместить на схеме шкафы преобразования дискретных сигналов (ШПДС).

5.1.3 Выбрать и разместить на схеме шкафы преобразователей аналоговых сигналов (ШПАС).

5.1.4 Выбрать и разместить на схеме места подключения цифровых ТТ и ТН. На рисунках 5.1-5.4 приведены примеры схем.

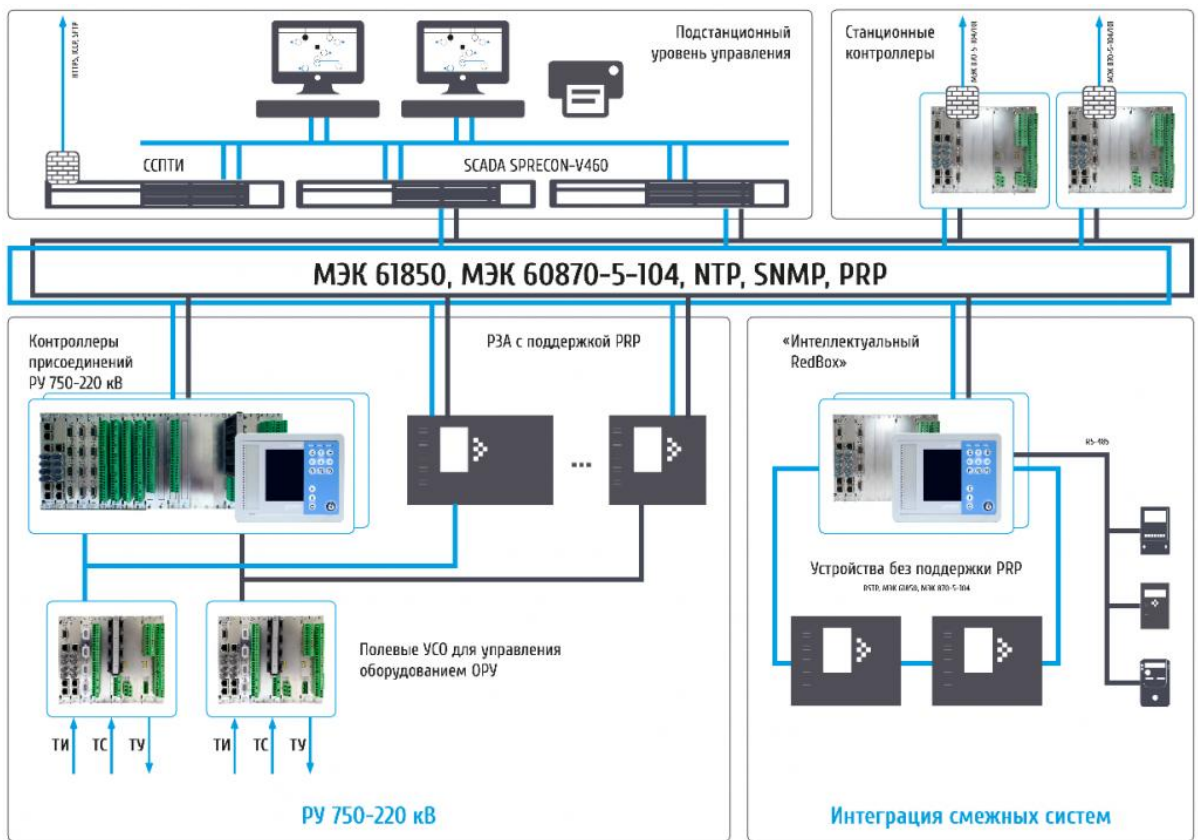


Рисунок 5.1- Пример выполнения структурной схемы ЦПС

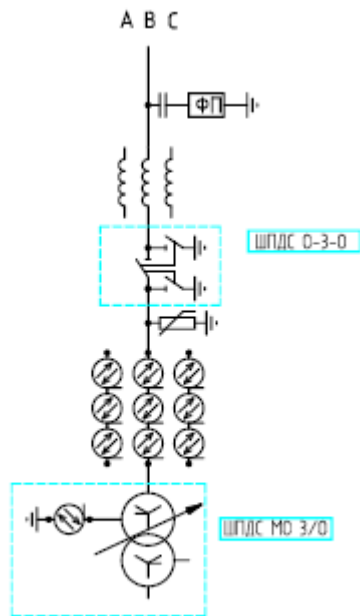


Рисунок 5.2 - Схема распределения ШПАС

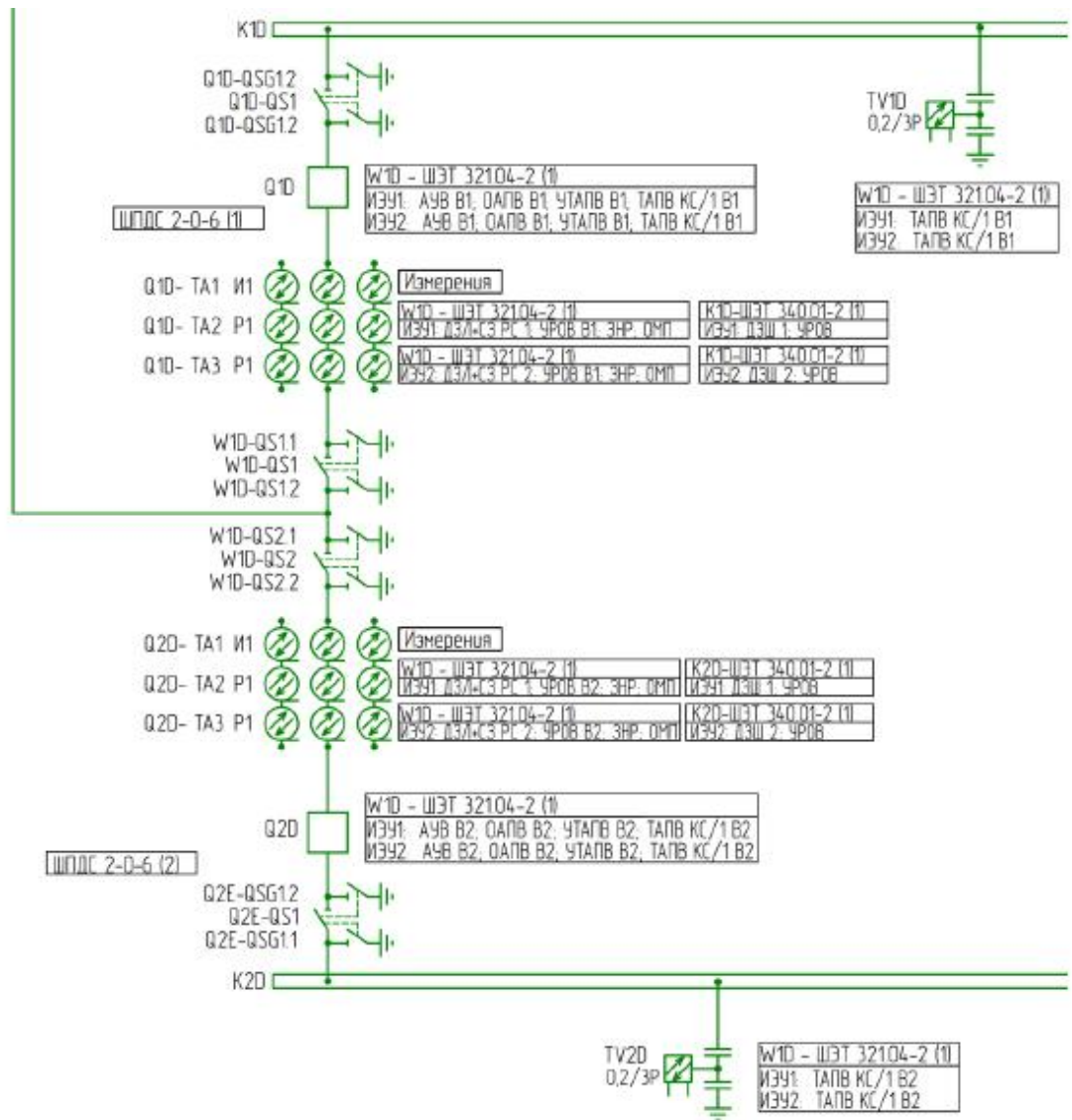


Рисунок 5.3- Пример схемы с изображением мест подключения ШПДС

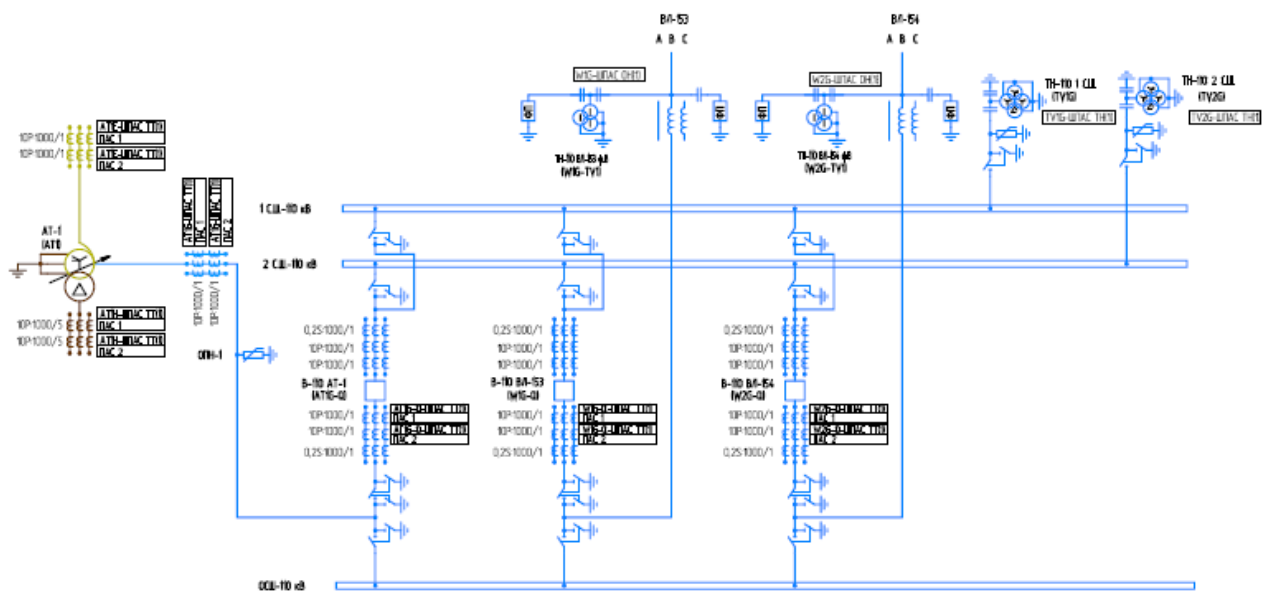


Рисунок 5.4 – Распределение ШПАС по цепям ТТ и ТН

## **5.2 Задание на практическую работу №2**

5.2.1 Произвести сравнительный анализ маршрутизаторов различных производителей.

5.2.2 Выбрать маршрутизаторы для локальной вычислительной сети ЦПС.

5.2.3 Разместить маршрутизаторы на структурной схеме ЦПС.

## **5.3 Задание на практическую работу №3**

5.3.1 Произвести сравнительный анализ коммутаторов различных производителей.

5.3.2 Выбрать коммутаторы для локальной вычислительной сети ЦПС.

5.3.3 Разместить коммутаторы на структурной схеме ЦПС.

## **5.4 Задание на практическую работу №4**

5.4.1 Произвести сравнительный анализ RedBox различных производителей.

5.4.2 Выбрать RedBox для локальной вычислительной сети ЦПС

5.4.3 Разместить RedBox на структурной схеме ЦПС.

## **5.5 Задание на практическую работу №5**

5.5.1 Произвести сравнительный анализ контроллеров присоединения различных производителей.

5.5.2 Выбрать контроллеры присоединения для локальной вычислительной сети ЦПС

5.5.3 Разместить контроллеры присоединения на структурной схеме ЦПС.

## **5.6 Задание на практическую работу №6**

5.6.1 Произвести сравнительный анализ терминалов защиты различных производителей.

5.6.2 Выбрать терминалов защиты для локальной вычислительной сети ЦПС

5.6.3 Разместить терминалов защиты на структурной схеме ЦПС.

## **5.7 Задание на практическое занятие №7**

Выполнить технико-экономическое обоснование цифровых оптических трансформаторов тока и напряжения с учетом необходимого количества цифровых трансформаторов в индивидуальном варианте.

## **6 Список электронных баз данных**

6.1 Электронно-библиотечная система «Издательства «Лань»: [электронный ресурс]. – <http://e.lanbook.com/>.

6.2 Электронно-библиотечная система znanium.com. ООО «Научно-издательский центр Инфра-М»: [электронный ресурс]. – <http://znanium.com/>.

6.3 Электронно-библиотечная система образовательных и просветительских изданий: [электронный ресурс]. – URL <http://www.iqlib.ru>.

6.4 Российское образование. Федеральный портал: [электронный ресурс]. – URL <http://www.edu.ru/modules>.

6.5 Единое окно доступа к образовательным ресурсам: Информационная система: [электронный ресурс]. – URL <http://window.edu.ru>.

6.6 Электронная библиотека УГНТУ: [электронный ресурс]. – <http://bibl.rusoil.net/jirbis2/>

## **7 Список рекомендуемой литературы**

1 Птицына, Л. К. Интеллектуальные системы и технологии : учебное пособие / Л. К.Птицына. — Санкт-Петербург : СПбГУТ им. М.А. Бонч-Бруевича, 2019 — 231 с. — ISBN978-5-89160-183-3. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. —URL: <https://e.lanbook.com/book/180054> (дата обращения: 07.10.2021). — Режим доступа: для авториз. пользователей.

2 Истомин, Д. А. Интеллектуальные системы и технологии : учебное пособие / Д. А.Истомин, В. Ю. Столбов. — Пермь : ПНИПУ, 2017 — 38 с. — ISBN 978-5-398-01885-1 — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL:<https://e.lanbook.com/book/160414> (дата обращения: 07.10.2021). — Режим доступа: для авториз. пользователей

3 Валеев, И. М. Концепция управления цифровыми подстанциями будущего : учебное пособие / И. М. Валеев, В. Г. Макаров ; Казанский национальный исследовательский технологический университет. – Казань : Казанский научно-исследовательский технологический университет (КНИТУ), 2019 – 152 с. – Режим доступа: по подписке. –URL: <https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=612961> (дата обращения: 08.10.2021). –ISBN 978-5-7882-2587-6. – Текст : электронный.

4 Ковцова, И. О. Обработка и передача учетных данных для классических и цифровых электроподстанций / И. О. Ковцова ; Университет «Дубна». – Москва : Прометей, 2016 – 236 с. – Режим доступа: по подписке. – URL: <https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=439193> (дата обращения: 08.10.2021). – Библиогр. в кн. – ISBN 978-5-9908018-7-5. – Текст : электронный.