

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Лысьвенский филиал федерального государственного автономного
образовательного учреждения высшего образования
«Пермский национальный исследовательский политехнический университет»

Факультет: Профессионального образования

Направление: 13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника»

Профиль: Автоматизированный электропривод и робототехнические комплексы

Кафедра: Общенаучных дисциплин

Доцент с и.о. зав кафедрой ОНД

_____ К.В. Кондратьева

« 19 » июня 2026 г.

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА

на тему:

«Реконструкция электроснабжения трансформаторной подстанции 35/6 кВ

Усьва-3 г. Гремячинск»

Студент: _____ В.Ю. Менде

(подпись, дата)

Группа: АЭП-21-16з ЛФ

Состав ВКР:

1. Пояснительная записка на _____ стр.
2. Графическая часть на _____ листах
3. Электронный носитель с материалами ВКР

Руководитель: _____ ст. преподаватель С.А. Нечаев

(подпись, дата)

Проверено

на наличие

заимствования: _____ канд. экон. наук, доцент, К.В. Кондратьева

(подпись, дата)

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Лысьвенский филиал федерального государственного автономного
образовательного учреждения высшего образования
«Пермский национальный исследовательский политехнический университет»

Факультет: Профессионального образования

Направление: 13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника»

Профиль: Автоматизированный электропривод и робототехнические комплексы

Кафедра: Общенаучных дисциплин

Доцент с и.о. зав кафедрой ОНД

_____ К.В. Кондратьева

« 03 » марта 2026 г.

ЗАДАНИЕ
на выпускную квалификационную работу

Фамилия, имя, отчество Менде Владислав Юрьевич

Группа: АЭП-21-1бзЛФ

Начало выполнения работы: 05 февраля 2026 г.

Срок предоставления на кафедру: 11 июня 2026 года

Защита работы на заседании ГЭК: 24 июня 2026 года

1. Выпускная квалификационная работа на тему: «Реконструкция электроснабжения трансформаторной подстанции 35/6 кВ Усьва-3 г. Гремячинск».

2. Исходные данные к работе: технические характеристики установки (оборудования), электропривода, устройств, входящих в состав проекта. Учебная и техническая литература, сайты по автоматизированному электроприводу типовых производственных механизмов и технологических комплексов, автоматизации технологических процессов.

3. Содержание пояснительной записки:

а) Введение. Отразить состояние и актуальность представляемой темы, сформулирована цель и конкретные задачи исследований. Также конкретизировать объект и предмет исследований, принцип его работы. Определить методы исследований и значимость работы для теории и практики, непосредственно для конкретного производства. В краткой форме сформулировать необходимость разработки данной темы, указать текущее состояние разрабатываемой темы, к какой области науки и техники относится выполняемая работа. Описать требования, предъявляемые к безопасности труда.

Общий объем до 5 страниц.

б) Основная часть:

Исследовательский раздел. Изучение и анализ нормативно-правовых документов и теоретических вопросов, состояние дел в избранной предметной области на основе анализа литературных источников, обоснование принятых решений. В данный раздел включить:

- 1) Определение круга решаемых задач, связанных с регулированием технологических параметров;
- 2) Работу полупроводниковых преобразовательных устройств.,
- 3) Детальное рассмотрение особенностей схемы электропитания,
- 4) Подходы к построению современной системы регулирования: управление, контроль параметров, поддержание безопасных условий работы;
- 5) Задачи и функции рассматриваемых устройств.

Объем от 15 до 30 страниц. В конце раздела должны быть сделаны краткие выводы.

в) Технологический (конструкторский) раздел. В данном разделе выполнить сам проект, а именно:

- 1) Построение алгоритма работы схемы электропитания;
- 2) Разработка функциональной схем электропитания;
- 3) Разработка схемы и изучение принципа работы схемы электропитания
- 4) Расчёт и выбор элементов схемы;
- 5) Разработка связи между отдельными элементами, связь с электроприводом, соединение с ПК;
- 6) Сделать описание работы рекуперации в схеме электропитания Полученные результаты сравнить с известными техническими решениями;
- 7) Сделать выводы о проделанной работе.

Объём от 15 до 30 страниц.

Заключение. Краткое изложение решаемых в рамках ВКР задач и полученных результатов, практическая значимость работы для исследуемого объекта, соответствие полученных результатов теме и заданию ВКР. Определить значимость проделанной работы для дальнейшего её использования. Объем до 1,5 страниц.

4. Перечень графического материала.
 - 4.1. Схема электрическая функциональная;
 - 4.2. Схема электрическая структурная;
 - 4.3. Схема электрическая принципиальная;
 - 4.4. Схема электрическая соединений.

5. Дополнительные указания: нет

6. Основная литература

6.1 ГОСТ 7.32-2017 Система стандартов по информации, библиотечному и издательскому делу. Отчет о научно-исследовательской работе. Структура и правила оформления.

6.2 Белов, М.П. Автоматизированный электропривод типовых производственных механизмов и технологических комплексов: Учебник для вузов / М.П. Белов, В.А. Новиков, Л.Н. Рассудов. – М.: Издательский центр «Академия», 2004. – 576 с.

6.3 Белоус, А.И. Полупроводниковая силовая электроника / А.И. Белоус, С.А. Ефименко, А.С. Турцевич. – Москва: Техносфера, 2013. – 216 с. – ISBN 978-5-94836-367-7.

6.4 Билоус О.А., Иванов А.П. Электронные преобразовательные устройства. Электрон. версия учебного пособия. – Пермь: Изд-во ПГТУ, 2010. – 212 с. – Режим доступа: <http://elibr.pstu.ru/docview/?id=486.pdf>, свободный.

6.5 Зиновьев, Г.С. Силовая электроника: учебное пособие для бакалавров / Г.С. Зиновьев. – М.: Юрайт, 2014. – 667 с.

6.6 Лыков, А.Н. Автоматизация технологических процессов и производств: учеб. пособие / А.Н. Лыков. – Пермь: Изд-во Перм. гос. техн. ун-та, 2008. – 423 с.

6.7 Мышляева, И.М. Цифровая схемотехника: Учебник для сред. проф. образования. – М.: Издательский центр «Академия», 2005. – 400с.

6.8 Палагута, К.А. Микроконтроллерное управление электроприводом: Учебное пособие. - М.: МГИУ, 2008. – 298 с.

6.9 Попков, О.З. Основы преобразовательной техники. Учебное пособие – М.: изд-во МЭИ, 2010. – 200с.

6.10 Розанов, Ю.К., Лепанов, М.Г. Силовая электроника Учебник и практикум для вузов; под ред. Розанова Ю.К. Москва: Изд. Юрайт – 2021 – 206 с.

6.11 Силовая полупроводниковая элементная база. Технология производства. Конструктивные решения: учебное пособие / В.Я. Фролов, А.М. Сурма, К.Н. Васерина, А.А. Черников. – Санкт-Петербург : Лань, 2019. – 228 с. – ISBN 978-5-8114-3507-4.

6.12 Электротехнический справочник: В 4 т. /Под общ. ред. профессоров МЭИ В.Г. Герасимова и др. – 8-е изд., испр. и доп. – М.: Издательство МЭИ, 1998, 2002.

Руководитель выпускной квалификационной работы студента

Руководитель ВКР _____ ст. преподаватель С.А. Нечаев
(подпись, дата)

Задание получил _____ В.Ю. Менде
(подпись, дата)

КАЛЕНДАРНЫЙ ГРАФИК ВЫПОЛНЕНИЯ ВЫПУСКНОЙ КВАЛИФИКАЦИОННОЙ РАБОТЫ БАКАЛАВРА

№ п/п	Содержание разделов	Объем этапа, в %	Срок выполнения		Подпись научного руководителя
			начало	конец	
	Введение	5/5	10.02.2026	03.03.2026	
1.	Исследовательский раздел	35/40	23.02.2026	24.04.2026	
1.1.	Постановка задачи проектирования	5/10	23.02.2026	13.03.2026	
1.2.	Проектирование схемы рекуперации энергии	20/25	13.03.2026	24.03.2026	
1.3	Выбор комплектующих изделий	35/40	24.03.2026	04.04.2026	
2.	Технологический (конструкторский) раздел	50/90	24.04.2026	14.06.2026	
2.1.	Разработка структурной и функциональной схем	10/50	24.04.2026	08.05.2026	
2.2.	Разработка принципиальной электрической схемы	25/65	08.05.2026	18.05.2026	
2.3	Реализация поставленных задач и сравнение полученных результатов с известными техническими решениями	50/90	18.05.2026	05.06.2026	
	Заключение	2/92	06.06.2026	07.06.2026	
	Список использованных источников	1/93	08.06.2026	09.06.2026	
	Оформление ВКР	2/95	09.06.2026	10.05.2026	
	Представление ВКР на проверку и отзыв научному руководителю		09.06.2026	10.06.2026	
	Представление ВКР на проверку заведующему кафедрой		09.06.2026	10.06.2026	
	Защита ВКР на заседании ГЭК	5/100	24.06.2026	25.06.2026	

Руководитель ВКР _____ ст. преподаватель С.А. Нечаев
«10» июня 2026 г.

Задание получил _____ В.Ю. Менде
«05» февраля 2026 г.

СОДЕРЖАНИЕ

Аннотация.....	3
Обозначения и сокращения.....	5
Введение.....	6
1. Анализ системы электроснабжения подстанции Усьва-3.....	9
2. Расчет силы токов короткого замыкания.....	16
3. Структура и основные характеристики микропроцессорных устройств	25
4. Сравнительный анализ микропроцессорных устройств защиты.....	29
5. Выбор микропроцессорного устройства для защиты оборудования подстанции 35/6 кВ Усьва-3.....	33
6. Расчет и выбор уставок МТЗ и токовой отсечки.....	36
7. Расчет заземляющего контура подстанции Усьва-3.....	44
8. Охрана труда.....	49
Заключение.....	55
Список использованных источников.....	57

Аннотация

В данной выпускной квалификационной работе описана реконструкция системы электроснабжения, а именно замена устаревшего оборудования в ЗРУ 6кВ на современное на базе микропроцессорных устройств. трансформаторной подстанции 35/6 кВ «Усьва-3» мощностью 2500 кВА, расположенной в п. Усьва Губахинского муниципального района, которая запитана от ВЛ 35 кВ «Угольная-Шумиха». Подстанция входит в зону обслуживания Гремячинского района электрических сетей АО «ОРЭС-Прикамья».

Осуществлен расчет силы токов КЗ, расчет релейной защиты, расчет максимальной токовой защиты (МТЗ), расчет контактов, заземляющих устройств и расчет молниезащиты, выбор микропроцессорного устройства для защиты оборудования подстанции.

Реконструкция рассчитана на базе микропроцессорного реле защиты «Сириус 2-Л-К-5А-220В-И1» отечественного производителя АО «РАДИУС Автоматика»

АО «Объединенные региональные электрические сети Прикамья» - территориальная сетевая организация, осуществляющая деятельность по обслуживанию сетей и транспортировке электрической энергии.

Компания обслуживает электросети на следующих территориях Пермского края: г. Березники, г. Чайковский; Лысьвенский городской округ, Александровский городской округ, Горнозаводский городской округ, Губахинский городской округ, Кизеловский городской округ, Очерский городской округ; пгт. Суксун; г. Верещагино.

Предприятие было учреждено 16 марта 2004 г. Целью учреждения компании было осуществление соглашения о взаимодействии с администрацией Пермского края при реализации инвестиционных проектов в отрасль жилищно-коммунального хозяйства на территории Пермского края, в частности, создание совместно с муниципальными образованиями и администрацией Пермского края

региональной энергосетевой компании и эффективное управление ее деятельностью.

Свою деятельность компания начала с марта 2004 года на территориях Очерского и Гремячинского районов.

В конце 2004 года к территориям, обслуживаемым компанией, присоединился г. Чайковский. В 2005 году предприятие начало работу в г. Кизел и пос. Суксун, в 2006 г. – в г. Горнозаводск, в 2007 – в г. Лысьва и г. Александровск, в 2009 г. – в г. Губаха, в 2016 году - в п. Новый Удмуртской республики, а в 2017 - в Добрянском районе, в 2023 году присоединился г. Березники.

На сегодняшний день производственные подразделения АО «ОРЭС-Прикамья» организованы следующим образом:

На территории г. Гремячинска действует Гремячинский район электрических сетей, в состав которых входит Горнозаводский участок.

На территории г. Лысьва действуют Лысьвенский район электрических сетей.

На территории г. Березники действуют Березниковский район электрических сетей.

В г. Очер и г. Чайковский действуют обособленные подразделения АО «ОРЭС-Прикамья»; Очерское обособленное подразделение также обслуживает ряд объектов электросетевого комплекса г. Верещагино и пгт. Павловский, находящихся в собственности АО «ОРЭС-Прикамья».

На остальных территориях присутствия компании действуют обособленные подразделения, осуществляющие работу по оптимизации потерь энергоресурсов. Работы по эксплуатации электросетевого комплекса производят подрядные организации.

Обозначения и сокращения

АВР – автоматический ввод резерва,
АПВ – автоматическое повторное включение,
АСУ ТП – автоматизированная система управления технологическим процессом,
АЦП – аналого-цифровой преобразователь,
АЧР – автоматическая частотная разгрузка,
ЗОФ – защита от обрыва фаз,
КРУ – комплектное распределительное устройство,
КТП СН – комплектная трансформаторная подстанция собственных нужд,
МТЗ – максимально-токовая защита,
ОЗЗ – однофазное замыкание на землю,
ОЗУ – оперативное запоминающее устройство,
ПЗУ – постоянное запоминающее устройство,
ПС – подстанция,
РЗА – релейная защита и автоматика,
РБМВ – реле блокировки многократных включений выключателя,
РПВ – реле положения включено,
РПО – реле положения отключено,
РФК – реле фиксации команд,
СВ – секционный выключатель,
ТЗНП – токовая защита нулевой последовательности,
ТСН – трансформатор собственных нужд,
ТТНП – трансформатор тока нулевой последовательности,
УРОВ – устройство резервирования при отказе выключателя,
УСО – устройство сбора данных и согласования с объектом,
ЧАПВ – частотное автоматическое повторное включение,
ШМН – шинка минимального напряжения.

ВВЕДЕНИЕ

Подъем промышленной мощности, энергоемкости предприятий дает толчок развитию электроэнергетики Пермского края.

В условиях рыночной экономики наиболее важными вопросами в энергоснабжении потребителей являются стабильность, надежность и качество электроэнергии, что влечёт за собой необходимость строительства новых и модернизацию действующих электроэнергетических объектов, в том числе воздушных и кабельных линий электропередач и районных распределительных понижающих подстанций разных классов напряжения от 35 до 110 кВ.

При проектировании и эксплуатации любой электроэнергетической системы приходится просчитывать возможность возникновения в ней неисправностей и ненормальных режимов работы. Одними из самых распространенных и в то же время наиболее опасных видов повреждений в них являются короткие замыкания (КЗ).

Повреждения и ненормальные режимы работы могут приводить к возникновению в энергетической системе аварий, под которыми обычно понимаются вынужденные нарушения нормальной работы всей системы или ее части, сопровождающиеся перебоями подачи электроэнергии потребителям, недопустимым ухудшением ее качества и разрушением основного оборудования.

Для обеспечения нормального режима работы электрических сетей и предупреждения развития повреждения необходимы мгновенная реакция на изменение режима работы, незамедлительное отсечение повредившегося оборудования от неповрежденного и при необходимости автоматическое включение резервного источника питания потребителей.

Выполнение этих функций возложено на устройства релейной защиты и автоматики. Релейная защита в случае возникновения аварийного или ненормального режима воздействует на отключение коммутационных устройств поврежденных участков сети или оборудования.

Надежность работы релейной защиты заключается в ее правильном и безотказном действии во всех предусмотренных случаях. Она обеспечивается применением высококачественных реле и современных схем защиты, тщательным выполнением монтажа и правильной эксплуатацией защитных устройств.

Необходимо отметить, что с развитием техники релейной защиты ее элементная база подвергается существенным изменениям. В настоящее время последняя выполняется с использованием микропроцессорной, цифровой техники; при этом основными элементами защиты являются уже не реле, а микропроцессоры – управляемые цифровые интегральные микросхемы с программами, закладываемыми в запоминающее устройство.

Микропроцессорные устройства релейной защиты в последнее время существенно потеснили электромеханические и даже электронные, особенно в энергосистемах развитых стран. В Российской Федерации внедрение микропроцессорных устройств защиты началось относительно недавно, однако процесс более широкого применения микропроцессорных реле набирает обороты и все больше вытесняет устаревшие системы защиты на базе электромеханических реле.

В ходе выполнения данной работы мы подробнее рассмотрим преимущества микропроцессорных устройств в релейной защите, проведем сравнительный анализ на примере защит фирмы «ABB» и отечественной фирмы «РАДИУС Автоматика».

Целью данной выпускной квалификационной работы является повышение надежности электроснабжения потребителей поселка Усьва и инфраструктуры туристического объекта «Каменный город» путем реконструкции схемы электроснабжения и защиты от токов КЗ действующей трансформаторной подстанции 35/6 кВ «Усьва-3».

Реконструкция подстанции «Усьва-3» стала необходима в связи со стремительным развитием туристической отрасли в поселке Усьва и его окрестностях, что требует значительного повышения качества электроснабжения потребителей. В числе прочих, встал вопрос о защите устанавливаемого на подстанции силового оборудования.

Для решения этой задачи мы выполним схему электроснабжения и защиты подстанции от токов КЗ с использованием современного микропроцессорного оборудования.

1 АНАЛИЗ СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ПОДСТАНЦИИ

35/6 кВ УСЬВА-3

Подстанция 35/6 кВ Усьва-3 расположена на территории Губахинского муниципального района и находится в ведении Гремячинского района электрических сетей АО «ОРЭС-Прикамья»

Питание подстанции осуществляется отпайкой от ВЛ-35 кВ «Угольная – Шумиха» цепь-2. Подстанция Усьва-3 – однотрансформаторная, представлена открытым распределительным устройством (ОРУ) 35 кВ и закрытым распределительным устройством (ЗРУ) 6 кВ.

К оборудованию ОРУ 35 кВ относятся: трансформатор силовой, трансформатор собственных нужд, разъединитель, элегазовый выключатель, трансформатор тока, ограничители перенапряжения.

Выключатель ВГТ-35 II-40/2500 – элегазовый. Выключатели предназначены для включения, отключения и переключения электрической цепи под нагрузкой. Они должны отключать и включать токи, как в нормальном, так и в аварийном режиме работы электроустановок. По роду дугогасящей среды выключатели бывают масляные, воздушные, вакуумные, элегазовые.

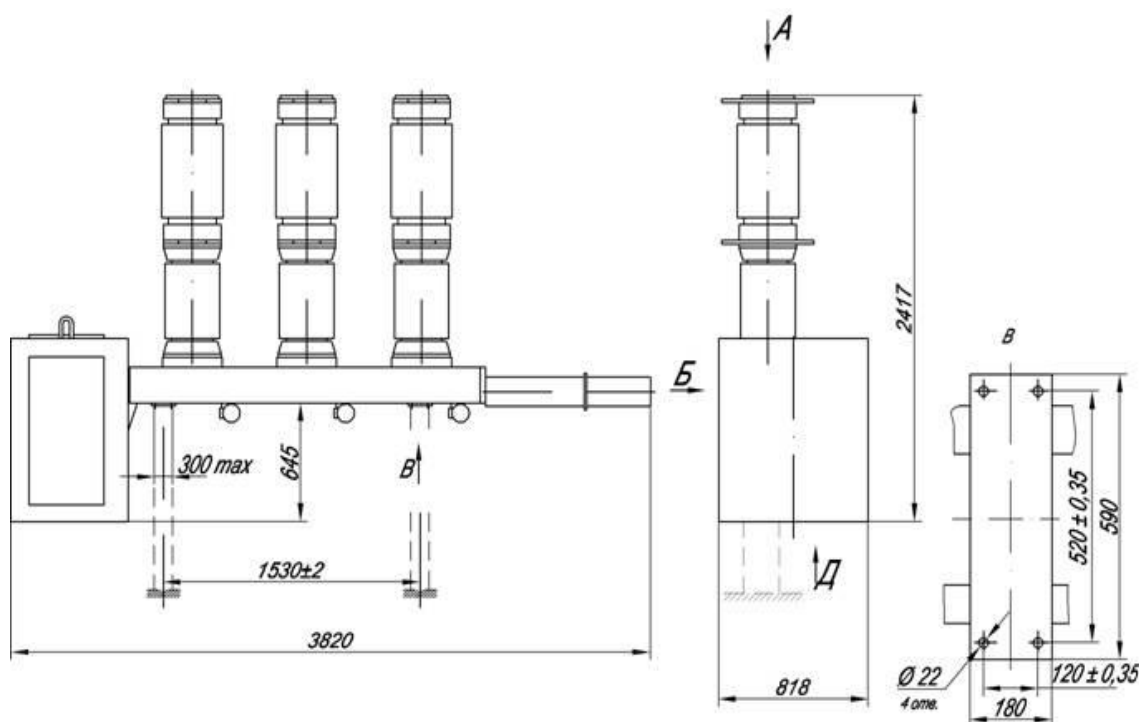


Рисунок 1 - Выключатель ВГТ-35 II-40/2500

Трансформатор типа ТМН-2500/35 – трехфазный, с естественным охлаждением и регулированием под нагрузкой, предназначен для преобразования напряжения одного значения в другое.

Разъединитель РГНП.2-35/1000 – горизонтально-поворотного типа с тремя заземляющими ножами, служит для разъединения и переключения участков цепи, находящихся под напряжением, но не под нагрузкой. Разъединители создают необходимый видимый разрыв электрической цепи, требуемый правилами устройства и эксплуатации электроустановок.

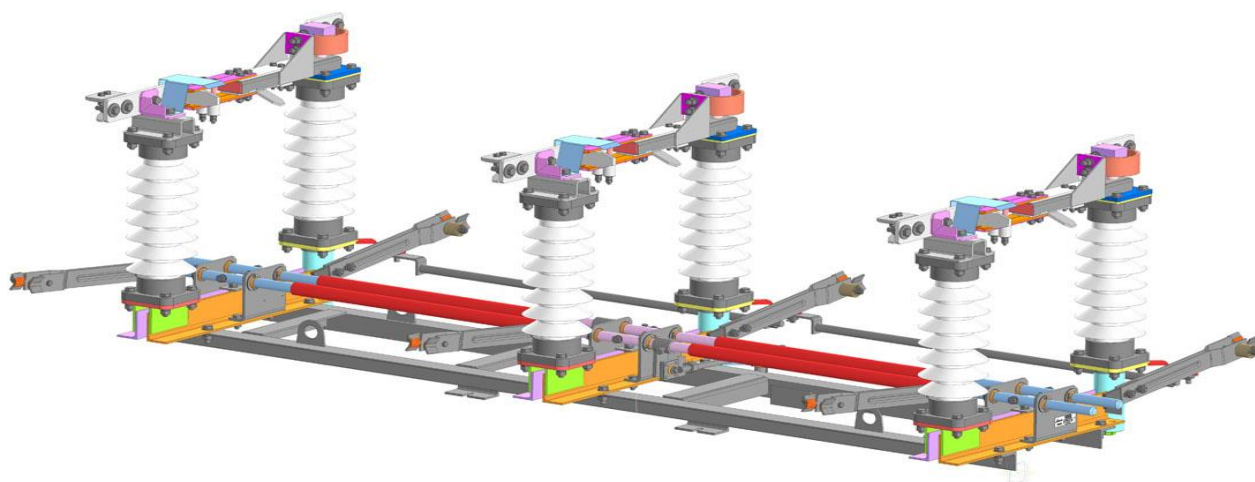


Рисунок 2 - Разъединитель РГНП.2-35/1000

Трансформаторы тока ТФЗМ-35БІ У1 установлены на стороне высокого напряжения. Они относятся к измерительным трансформаторам и предназначены для учета электрической энергии, а в высоковольтных цепях, кроме того, для уменьшения первичного тока до значений, наиболее удобных для питания измерительных приборов и реле.



Рисунок 3 - Трансформатор тока ТФЗМ-35Б1 У1

Ограничители перенапряжений ОПН-35/80 – полимерные, предназначены для защиты электрического оборудования от внешних грозовых и внутренних коммутационных перенапряжений.



Рисунок 4 - Ограничитель перенапряжения ОПН-35/80

Для соединения между собой трансформатора и электрических аппаратов в пределах подстанции используются токопроводы, представляющие собой относительно короткие электрические линии с жесткими или гибкими проводниками, укрепленными на опорных или подвесных изоляторах, в нашем случае используется самонесущий изолированный провод СИП-3 сечением 90 мм.

К ЗРУ 6 кВ относится следующее оборудование: шины, вакуумные выключатели, трансформаторы тока, трансформатор напряжения, ограничители перенапряжений.

Вакуумный выключатель ВР1-10-20/630 – состоит из трех полюсов с вакуумными дугогасительными камерами, залитыми эпоксидным компаундом. Полюса размещены на общем основании. Отличается высоким механическим и коммутационным ресурсом.



Рисунок 5 - Вакуумный выключатель ВР1-10-20/630

Для питания собственных нужд переменного тока и оперативных цепей 220 В смонтирован трансформатор ТМ-63/10.

Токоведущие части электроустановок крепят и изолируют друг от друга и по отношению к земле при помощи изоляторов. Изоляторы изготавливают из фарфора, так как фарфор обладает высокой механической и электрической прочностью, и достаточной теплоёмкостью. В последнее время для изготовления изоляторов применяется кремнеорганические материалы. Изоляторы подразделяются на опорные, подвесные и проходные.

Трансформатор напряжения НАМИТ-10 – подключен к шинам через предохранитель ПКТ-6. Трансформаторы напряжения применяются для измерения напряжения в сетях путем преобразования его в более низкие значения (100 , $100/\sqrt{3}$, $100/3$) для питания измерительных приборов и различных реле. Они, так же как и трансформаторы тока изолируют приборы и реле от высокого напряжения, обеспечивая их нормальную работу и безопасность обслуживания.

Как упоминалось ранее, подстанция Усьва-3 имеет одностороннее питание, схема подстанции состоит из вводов высокого напряжения трансформаторов и отходящих линий низкого напряжения.

ЗРУ 6 кВ выполнено комплектным модульным распределительным устройством, без реакторов на отходящих линиях с вакуумными выключателями ВР 1-10-20/630 со встроенными электромагнитными приводами.

Схема первичной коммутации подстанции 35/6 кВ Усьва-3 изображена на рисунке 6.

От ЗРУ 6 кВ подстанции «Усьва-3» отходят две воздушные линии, имеющие кабельную вставку. От данных линий 6 кВ получает питание часть поселка Усьва, а также туристический комплекс - памятник природы Каменный город/

Высоковольтная аппаратура, принятая к установке и все токоведущие части выбраны согласно нагрузке, по номинальным значениям параметров и проверены на динамическую и термическую устойчивость в режиме короткого замыкания.

2 РАСЧЕТ СИЛЫ ТОКОВ КОРОТКОГО ЗАМЫКАНИЯ

Основной причиной нарушения нормального режима работы системы электроснабжения, является возникновение токов КЗ в сети или в элементах электрооборудования. Для снижения ущерба, обусловленного выходом из строя электрооборудования при протекании токов КЗ, а так же для быстрого восстановления нормального режима работы системы электроснабжения необходимо правильно определить токи КЗ и по ним выбирать электрооборудование, защитную аппаратуру и средства ограничения токов КЗ.

При возникновении короткого замыкания происходит увеличение токов в фазах системы электроснабжения или электроустановок по сравнению с их значением при нормальном режиме работы. Это вызывает снижение напряжений в системе, которое особенно велико вблизи места КЗ.

Расчет токов КЗ с учетом действительных характеристик и действительных режимов работы всех элементов системы электроснабжения сложен. Поэтому для решения задач вводят некоторые допущения:

- не учитывается сдвиг по фазе ЭДС различных источников питания;
- трехфазную сеть принимают симметричной;
- не учитываются токи нагрузок, насыщенность магнитной системы и магнитный поток трансформатора.

Особенностью расчета токов короткого замыкания в установках до 10000 В заключается в том, что при расчете кроме индуктивных учитываются и активные сопротивления цепи короткого замыкания (воздушных и кабельных линий, обмоток силовых трансформаторов, трансформаторов тока, шин, коммутационной аппаратуры). Кроме этого, при расчетах, согласно ПУЭ, следует исходить из условия, что:

- напряжение на стороне высшего напряжения трансформатора неизменно и мощность системы не ограничена;

– по режиму короткого замыкания в сетях до 10000 В должны проверяться лишь элементы, указанные в ПУЭ, т.е. распределительные щиты, силовые шкафы и токопроводы.

Согласно ПУЭ – силы токов короткого замыкания рассчитываются в тех точках сети при коротком замыкании в которых аппараты и токоведущие части будут находиться в наиболее тяжелых условиях. Для вычисления силы токов короткого замыкания составляется расчетная схема, на которую наносятся, все данные, необходимые для расчета, и точки, где следует определить точки короткого замыкания.

Расчетная схема представляет собой упрощенную схему (однолинейную) на которой указываются все элементы и их параметры, влияющие на ток КЗ.

Схема замещения – электрическая схема соответствующая расчетной, в которой все магнитные связи заменены электрическими и представлены сопротивлениями.

Выделим, что место короткого замыкания в зависимости от назначения выбирается из следующих основных соображений:

– ток КЗ должен проходить по ветвям, для которых выбирается (проверяется) аппаратура или рассчитываются параметры релейной защиты;

– для определения наибольшего значения тока КЗ при данном режиме место короткого замыкания выбирается у места установки защиты (в начале линии, до трансформатора и т.д., считая от источника питания). Для определения наименьшего значения тока КЗ место короткого замыкания выбирается в конце защищаемого участка или в конце следующего (резервируемого) участка для проверки резервирующего действия защиты;

– для согласования чувствительности двух устройств релейной защиты место короткого замыкания выбирается в конце зоны действия того устройства, с которым ведётся согласование;

– для определения коэффициентов распределения место короткого замыкания выбирается в конце участка, следующего за узлом, в котором «происходит подпитка или распределение токов КЗ».

Исходя из вышесказанного, произведём расчёт токов КЗ на шинах 35, 6 кВ и на отходящих фидерах в дальнейшем для расчёта релейной защиты в точках начала и конца защищаемого участка.

Расчетная схема токов КЗ и схема замещения изображены на рисунке 7.

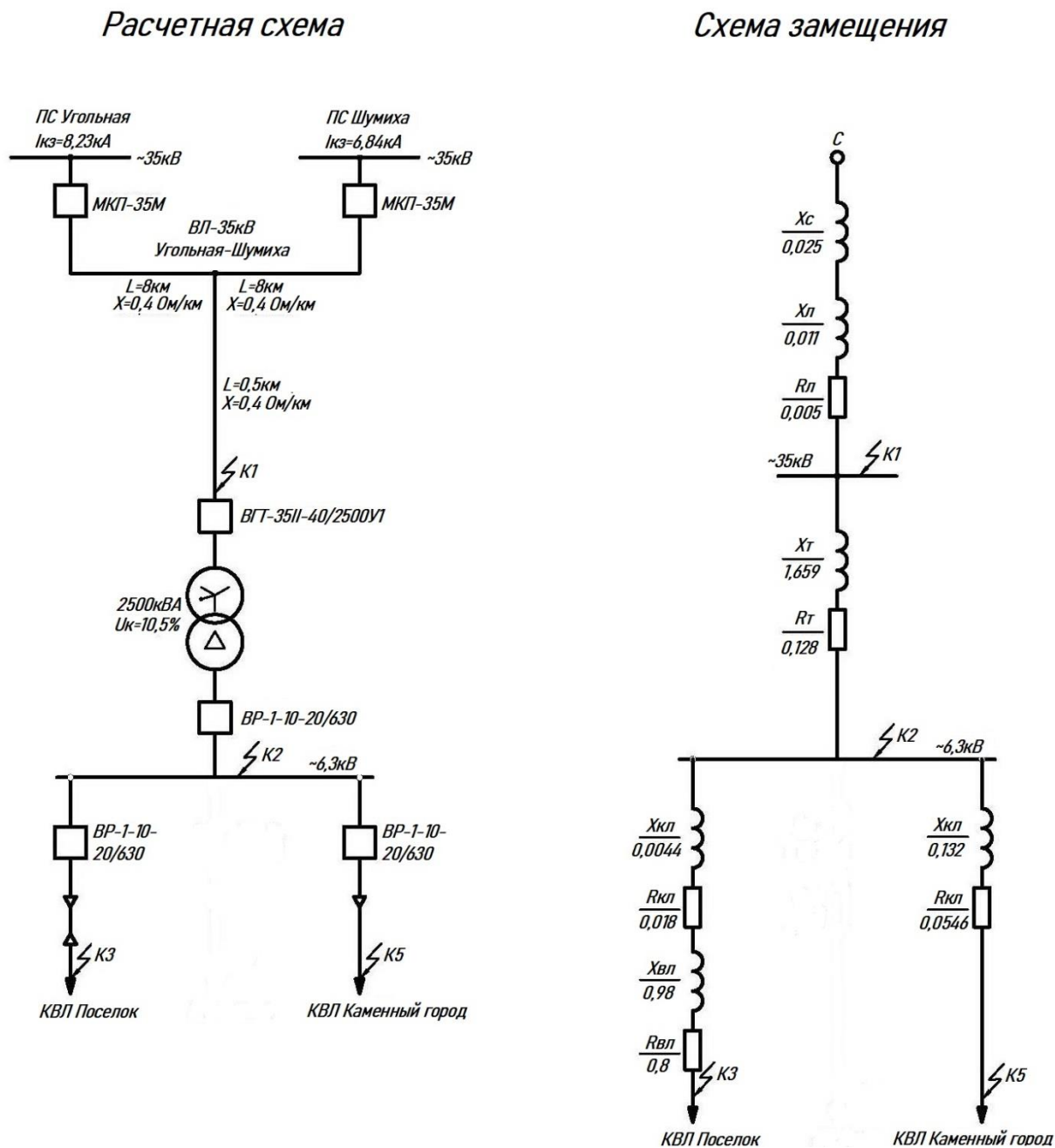


Рисунок 7 – Расчетная схема токов КЗ и схема замещения

Таблица 1 - Паспортные данные силового трансформатора

Тип	Мощность, кВА	Напряжение обмоток, кВ		Потери, кВт		U _к , %	I _{хх} , %
		ВН	НН	х.х.	к.з.		
ТМН-2500/35	2500	35	6,3	3,5	22,2	6,5	1

Выполним расчёт ударного и установившегося значения токов трехфазного КЗ для точек К1, К2, К3, К4 и К5.

1. Составим схему замещения и примем за базисное напряжение $U_{\delta} = 6,3$ кВ, тогда находим базисный ток:

$$I_{\delta} = \frac{S_{\delta}}{\sqrt{3} \cdot U_{\delta}} = \frac{2,5}{\sqrt{3} \cdot 6,3} = 0,229 \text{ кА}$$

где $S_{\delta} = 2,5$ МВА.

2. Определим сопротивления элементов схемы замещения.

Сопротивление энергосистемы

$$x_c = \frac{U_{cp}^2}{S_k^{(3)}} \cdot \frac{U_{\delta}^2}{U_{cp}^2} = \frac{35^2}{\sqrt{3} \cdot U_{cp} \cdot I_k} \cdot \frac{U_{\delta}^2}{U_{cp}^2} = \frac{35^2}{\sqrt{3} \cdot 35 \cdot 8,23} \cdot \frac{6,3^2}{35^2} = 0,025 \text{ Ом};$$

Сопротивление ВЛ – 35 кВ:

$$x_L = x_0 \cdot l \cdot \frac{U_{\delta}^2}{U_{cp}^2} = 0,4 \cdot 8,5 \cdot \frac{6,3^2}{35^2} = 0,01 \text{ Ом};$$

$$r_L = r_0 \cdot l \cdot \frac{U_{\delta}^2}{U_{cp}^2} = 0,208 \cdot 8,5 \cdot \frac{6,3^2}{35^2} = 0,005 \text{ Ом},$$

где $x_0 = 0,4$ Ом/км; $l = 8,5$ км; $U_{\delta} = 6,3$ кВ; $U_{cp} = 35$ кВ;

$$r_0 = \frac{1000}{\gamma \cdot S} = \frac{1000}{32 \cdot 150} = 0,208 \text{ Ом/км},$$

$\gamma = 32$ м/(Ом · мм²) – для сталеалюминиевых проводников,

$S = 150$ мм² – сечение провода на ВЛ-35 кВ.

Силовой трансформатор

$$x_{\text{тр}} = \frac{U_{\text{к \%}}}{100} \cdot \frac{U_{\delta}^2}{S_{\text{н тр}}} = \frac{10,45}{100} \cdot \frac{6,3^2}{2,5} = 1,659 \text{ Ом},$$

$$r_{\text{тр}} = r_m \cdot \left(\frac{U_{\delta}}{U_{\text{ном}}} \right)^2 = 42,6 \cdot \left(\frac{6,3}{115} \right)^2 = 0,128 \text{ Ом},$$

где $r_m = 42,6 \text{ Ом}$ – расчетное значение активного сопротивления (данные из справочника).

Кабельная вставка 6 кВ (КВЛ Поселок), марка кабеля АСБ 3×95

$$x_{\text{кл}} = x_0 \cdot l \cdot \frac{U_{\delta}^2}{U_{\text{cp}}^2} = 0,08 \cdot 1,5 \cdot \frac{6,3^2}{6^2} = 0,132 \text{ Ом},$$

где $x_0 = 0,08 \text{ Ом/км}$; $l = 1,5 \text{ км}$;

$$r_{\text{кл}} = r_0 \cdot l \cdot \frac{U_{\delta}^2}{U_{\text{cp}}^2} = 0,33 \cdot 1,5 \cdot \frac{6,3^2}{6^2} = 0,546 \text{ Ом};$$

$$r_0 = \frac{1000}{\gamma \cdot S} = \frac{1000}{32 \cdot 95} = 0,33 \text{ Ом/км},$$

$\gamma = 32 \text{ м} \cdot \text{мм}^2/\text{Ом}$ – для сталеалюминиевых проводников,

$S = 95 \text{ мм}^2$ – сечение кабеля.

Вторая кабельная вставка 6 кВ (КВЛ Каменный город) имеет аналогичные параметры, поэтому расчетные значения для схемы замещения будут равны приведенным выше.

Воздушная линия 6 кВ имеет кабельную вставку (АСБ 3×95)

$$x_{\text{каб.вст.}} = x_0 \cdot l \cdot \frac{U_{\delta}^2}{U_{\text{cp}}^2} = 0,08 \cdot 0,05 \cdot \frac{6,3^2}{6^2} = 0,0044 \text{ Ом},$$

где $x_0 = 0,08 \text{ Ом/км}$; $l = 0,05 \text{ км}$;

$$r_{\text{каб.вст.}} = r_0 \cdot l \cdot \frac{U_{\delta}^2}{U_{\text{cp}}^2} = 0,33 \cdot 0,05 \cdot \frac{6,3^2}{6^2} = 0,018 \text{ Ом};$$

$$r_0 = \frac{1000}{\gamma \cdot S} = \frac{1000}{32 \cdot 95} = 0,33 \text{ Ом/км},$$

$\gamma = 32 \text{ м} \cdot \text{мм}^2 / \text{Ом}$ – для сталеалюминиевых проводников,

$S = 95 \text{ мм}^2$ – сечение кабеля.

$$x_{\text{ВЛ}} = x_0 \cdot l \cdot \frac{U_{\phi}^2}{U_{\text{ср}}^2} = 0,4 \cdot 2,2 \cdot \frac{6,3^2}{6^2} = 0,97 \text{ Ом},$$

где $x_0 = 0,4 \text{ Ом/км}$; $l = 2,2 \text{ км}$;

$$r_{\text{ВЛ}} = r_0 \cdot l \cdot \frac{U_{\phi}^2}{U_{\text{ср}}^2} = 0,33 \cdot 2,2 \cdot \frac{6,3^2}{6^2} = 0,8 \text{ Ом}$$

$$r_0 = \frac{1000}{\gamma \cdot S} = \frac{1000}{32 \cdot 95} = 0,33 \text{ Ом/км},$$

$\gamma = 32 \text{ м} \cdot \text{мм}^2 / \text{Ом}$ – для сталеалюминиевых проводников,

$S = 95 \text{ мм}^2$ – сечение провода.

Определение тока КЗ для точки К1 на шинах 35 кВ

$$I_{\text{кз1}} = \frac{U_{\phi}}{\sqrt{3} \cdot Z_{\text{рез1}}};$$

$$x_{\text{рез1}} = x_C + x_{\text{Л1}} = \frac{U^2}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{ср}} \cdot I_{\text{к}}} + x_0 \cdot l = 8,07 + 0,4 \cdot 8,5 = 11,47 \text{ Ом};$$

$$r_{\text{рез1}} = r_{\text{Л1}} = r_0 \cdot l = 0,208 \cdot 8,5 = 1,77 \text{ Ом},$$

где $r_0 = 0,208 \text{ Ом/км}$ – активное сопротивление ВЛ – 35 кВ (см. выше);

$$Z_{\text{рез1}} = \sqrt{x_{\text{рез1}}^2 + r_{\text{рез1}}^2} = \sqrt{11,47^2 + 1,77^2} = 11,606 \text{ Ом};$$

$$I_{\text{кз1}} = \frac{U_{\text{ср}}}{\sqrt{3} \cdot Z_{\text{рез1}}} = \frac{35}{\sqrt{3} \cdot 11,606} = 5,72 \text{ кА};$$

$$i_{\text{уд1}} = \sqrt{2} \cdot k_{\text{уд1}} \cdot I_{\text{кз1}} = \sqrt{2} \cdot 1,8 \cdot 5,72 = 14,56 \text{ кА},$$

где $k_{\text{уд1}} = 1,8$ – коэффициент, зависящий от отношения активного и индуктивного сопротивлений. При расчете тока КЗ в установках и сетях напряжением свыше 1000 В принимается равным $k_{\text{уд}} = 1,8$.

Мощность короткого замыкания в точке $K1$

$$S_{K31} = \sqrt{3} \cdot U_H \cdot I_{K31} = \sqrt{3} \cdot 115 \cdot 5,72 = 1139 \text{ МВА.}$$

Определение тока КЗ для точки $K2$ на шинах 6 кВ

$$I_{K32} = \frac{U_{\delta}}{\sqrt{3} \cdot Z_{pe32}};$$

$$x_{pe32} = x_C + x_{Л1} + x_T = 0,025 + 0,01 + 1,659 = 1,69 \text{ Ом};$$

$$r_{pe32} = r_{Л1} + r_T = 0,005 + 0,128 = 0,133 \text{ Ом};$$

$$Z_{pe32} = \sqrt{x_{pe32}^2 + r_{pe32}^2} = \sqrt{1,69^2 + 0,133^2} = 1,7 \text{ Ом};$$

$$I_{K32} = \frac{U_{\delta}}{\sqrt{3} \cdot Z_{pe32}} = \frac{6,3}{\sqrt{3} \cdot 1,7} = 2,14 \text{ кА};$$

$$i_{y\delta 2} = \sqrt{2} \cdot k_{y\delta 2} \cdot I_{K32} = \sqrt{2} \cdot 1,8 \cdot 2,14 = 5,45 \text{ кА.}$$

Мощность короткого замыкания в точке $K2$

$$S_{K32} = \sqrt{3} \cdot U_H \cdot I_{K32} = \sqrt{3} \cdot 6,3 \cdot 2,14 = 23,35 \text{ МВА.}$$

Определение тока КЗ для точки $K3$

$$I_{K33} = \frac{U_{\delta}}{\sqrt{3} \cdot Z_{pe33}};$$

$$x_{pe33} = x_C + x_{Л1} + x_T + x_{KL1} + x_{BL1} \Rightarrow$$

$$x_{pe33} = 0,025 + 0,01 + 1,659 + 0,0044 + 0,97 = 2,67 \text{ Ом};$$

$$r_{pe33} = r_{Л1} + r_T + r_{KL1} + r_{BL1} = 0,005 + 0,128 + 0,018 + 0,8 = 0,951 \text{ Ом};$$

$$Z_{pe33} = \sqrt{x_{pe33}^2 + r_{pe33}^2} = \sqrt{2,67^2 + 0,951^2} = 2,834 \text{ Ом};$$

$$I_{K33} = \frac{U_{\delta}}{\sqrt{3} \cdot Z_{pe33}} = \frac{6,3}{\sqrt{3} \cdot 2,834} = 1,283 \text{ кА};$$

$$i_{y\delta 3} = \sqrt{2} \cdot k_{y\delta 3} \cdot I_{K33} = \sqrt{2} \cdot 1,8 \cdot 1,283 = 3,266 \text{ кА};$$

Мощность короткого замыкания в точке КЗ

$$S_{K33} = \sqrt{3} \cdot U_H \cdot I_{K33} = \sqrt{3} \cdot 6,3 \cdot 1,283 = 14 \text{ МВА.}$$

Определение тока КЗ для точки К4

$$I_{K34} = \frac{U_6}{\sqrt{3} \cdot Z_{pez4}};$$

$$x_{pez4} = x_C + x_{Л1} + x_T + x_{KL2} = 0,025 + 0,01 + 1,659 + 0,132 = 1,83 \text{ Ом};$$

$$r_{pez4} = r_{Л1} + r_T + r_{KL2} = 0,005 + 0,128 + 0,546 = 0,679 \text{ Ом};$$

$$Z_{pez4} = \sqrt{x_{pez4}^2 + r_{pez4}^2} = \sqrt{1,83^2 + 0,679^2} = 1,95 \text{ Ом};$$

$$I_{K34} = \frac{U_6}{\sqrt{3} \cdot Z_{pez4}} = \frac{6,3}{\sqrt{3} \cdot 1,95} = 1,87 \text{ кА};$$

$$i_{y\partial4} = \sqrt{2} \cdot k_{y\partial4} \cdot I_{K34} = \sqrt{2} \cdot 1,8 \cdot 1,87 = 4,76 \text{ кА.}$$

Мощность короткого замыкания в точке К4

$$S_{K34} = \sqrt{3} \cdot U_H \cdot I_{K34} = \sqrt{3} \cdot 6,3 \cdot 1,87 = 20,4 \text{ МВА.}$$

Поскольку параметры двух кабельных линий КЛ2 и КЛ3 одинаковы, то расчет токов КЗ в точке К5 будет аналогичен расчету для точки К4, то есть

$$I_{K35} = I_{K34} = 1,87 \text{ кА};$$

$$i_{y\partial5} = i_{y\partial4} = 4,76 \text{ кА};$$

$$S_{K35} = S_{K34} = 20,4 \text{ МВА.}$$

Расчет выполнен для максимальных значений токов КЗ, ударных токов и мощностей КЗ. Расчет для минимальных значений этих величин будет аналогичен, но будет выполнен при минимальном токе КЗ системы $I_{K3 \min} = 1,283$ кА.

Вывод: В данной части работы были проведены расчеты токов короткого замыкания для точек К1 – К5, а так же мощности короткого замыкания в данных точках. Для удобства результаты вычислений объединим в таблице 2.

Таблица 2 – Расчеты токов КЗ в разных точках

		$K1$	$K2$	$K3$	$K4$	$K5$
$I_{K3},$ кА	max	5,72	2,14	1,28	1,87	1,87
	min	1,20	2,03	1,25	1,79	1,79
$I_{y0},$ кА	max	14,56	5,45	3,27	4,76	4,76
	min	3,06	5,18	3,17	4,57	4,57
$S_{K3},$ МВА	max	1139,00	23,35	14,0	20,4	20,4
	min	239,62	22,18	13,61	19,58	19,58

3 СТРУКТУРА И ОСНОВНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ МИКРОПРОЦЕССОРНЫХ УСТРОЙСТВ

В настоящее время большинство отечественных производителей оборудования РЗА прекращают выпуск устаревших электромеханических реле и устройств и переходят на цифровую элементную базу.

Переход на новую элементную базу не приводит к изменению принципов релейной защиты и автоматики, а только расширяет её функциональные возможности, упрощает эксплуатацию и снижает стоимость. Именно по этим причинам микропроцессорные реле очень быстро занимают место электромеханических и микроэлектронных устройств.

Основные характеристики микропроцессорных защит значительно выше микроэлектронных, а тем более электромеханических. Так, мощность, потребляемая от измерительных трансформаторов тока и напряжения, находится на уровне 0,1 - 0,5 ВА, аппаратная погрешность – в пределах 2-5 %, коэффициент возврата измерительных органов составляет 0,96 - 0,97.

Мировыми лидерами в производстве релейной защиты и автоматики являются европейские концерны Schneider Electric (Франция), ABB (Швеция), Siemens (ФРГ). Общим для них является тенденция всё большего перехода на цифровую технику. Цифровые защиты, выпускаемые этими фирмами, имеют высокую стоимость, которая впрочем, окупается их высокими техническими характеристиками и многофункциональностью.

В России собственные микропроцессорные устройства защиты производятся научно-производственным предприятием «РАДИУС Автоматика». Линейка цифровых реле защиты «Сириус» не уступает по своему функционалу западным устройствам, а главным преимуществом отечественных устройств является цена.

Современные цифровые устройства РЗА интегрированы в рамках единого информационного комплекса функций релейной защиты, измерения, регулирования и управления электроустановками. Такие устройства в структуре

автоматизированной системы управления технологическим процессом энергетического объекта являются конечными устройствами сбора информации.

В интегрированных цифровых комплексах РЗА появляется возможность перехода к новым нетрадиционным измерительным преобразователям тока и напряжения – на основе оптоэлектронных датчиков, трансформаторов без ферромагнитных сердечников и т.д. Эти преобразователи технологичнее при производстве, обладают очень высокими метрологическими характеристиками, но имеют малую выходную мощность и непригодны для работы с традиционной аппаратурой.

Цифровые микропроцессорные комплексы релейной защиты являются интеллектуальными техническими средствами, их основные преимущества:

- многофункциональность и малые размеры (одно цифровое измерительное реле заменяет десятки электромеханических);
- дистанционные изменения и проверка уставок с пульта управления;
- ускорение противоаварийных отключений и включений;
- непрерывная самодиагностика и высокая надёжность;
- регистрация и запоминание параметров аварийных режимов;
- дистанционная передача оператору информации о состоянии и срабатываниях устройств РЗ;
- возможность вхождения в состав вышестоящих иерархических уровней автоматизированного управления;
- отсутствие специального технического обслуживания – периодических проверок настройки и исправности.

Цифровые устройства релейной защиты различного назначения имеют много общего, а их структурные схемы очень похожи и подобны представленной на рисунке 8.

Центральным узлом цифрового устройства является микроЭВМ, которая через свои устройства ввода-вывода обменивается информацией с периферийными узлами. С помощью этих дополнительных узлов осуществляется сопряжение

микроЭВМ (микропроцессора) с внешней средой: датчиками исходной информации, объектом управления, оператором и т.д.

Непременными узлами цифрового устройства РЗА являются: входные ($U1-U4$) и выходные ($KL1-KLj$) преобразователи сигналов, тракт аналого-цифрового преобразователя ($U6, U7$), кнопки управления и ввода информации от оператора ($SB1, SB2$), дисплей H для отображения информации и блок питания ($U5$). Современные цифровые устройства, как правило, оснащаются и коммуникационным портом ($X1$) для связи с другими устройствами.

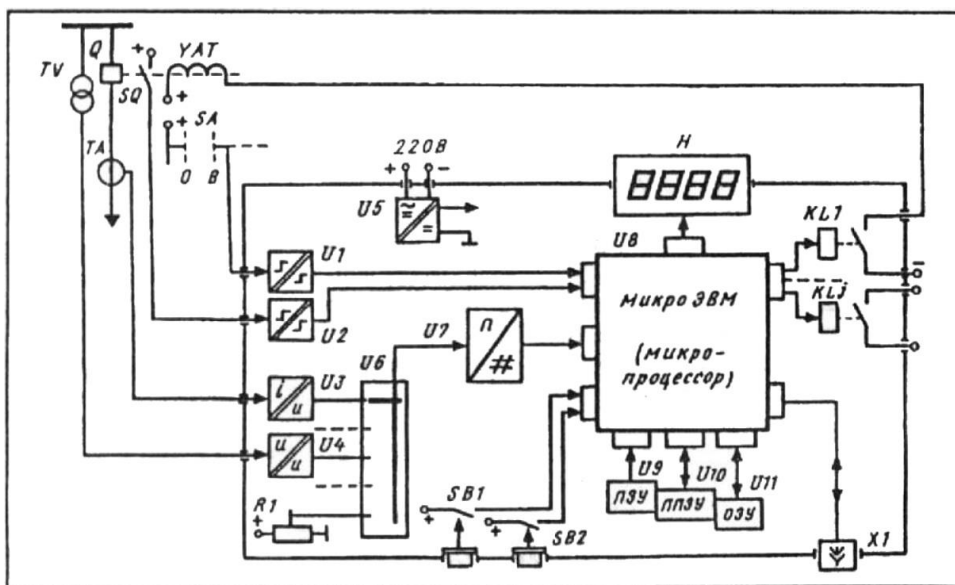


Рисунок 8 - Структурная схема цифрового устройства защиты

Основные функции вышеперечисленных узлов:

Входные преобразователи обеспечивают гальваническую развязку внешних цепей от внутренних цепей устройства. Одновременно, входные преобразователи приводят контролируемые сигналы к единому виду (как правило, к напряжению) и нормированному виду. Здесь же осуществляется предварительная частотная фильтрация входных сигналов перед их аналого-цифровым преобразованием. Одновременно принимаются меры по защите внутренних элементов устройства от воздействия помех. Различают преобразователи входных сигналов аналоговые ($U3, U4$) и логические ($U1, U2$). Первые стремятся выполнить так, чтобы

обеспечить линейную (или нелинейную, но с известным законом) передачу контролируемого сигнала во всем диапазоне его изменения.

Преобразователи логических сигналов, наоборот стремятся сделать чувствительным только к узкой области диапазона возможного нахождения контролируемого сигнала.

Выходные преобразователи. Воздействия устройства на защищаемый объект осуществляются в виде дискретных сигналов управления. При этом выходные цепи устройства защиты выполняются так, чтобы обеспечить гальваническую развязку коммутируемых цепей как между собой, так и относительно внутренних цепей устройства РЗ. Выходные преобразователи должны обладать соответствующей коммутационной способностью и обеспечивать видимый разрыв коммутируемой цепи.

Тракт аналого-цифровой преобразования включает мультиплексор (U_6) и собственно АЦП (U_7). Мультиплексор – это электронный коммутатор, поочередно подающий контролируемые сигналы на вход АЦП. Применение мультиплексора позволяет использовать один аналого-цифровой преобразователь для нескольких каналов. В АЦП осуществляется преобразование мгновенного значения входного сигнала в пропорциональное ему цифровое значение. Преобразования выполняются с заданной точностью.

Блок питания (U_5) обеспечивает стабилизированным напряжением все узлы рассматриваемого устройства, независимо от возможных изменений напряжения в питающей сети, обычно это импульсный блок питания с питанием от сети постоянного тока.

Дисплей (H) и клавиатура ($SB1$, $SB2$) являются неизменными атрибутами любого цифрового устройства, позволяя оператору получить информацию от устройства, изменять режим его работы и вводить новую информацию.

Порт связи с внешними цифровыми устройствами. Достоинством цифровых устройств является возможность передачи имеющейся информации в другие цифровые системы. Наряду с вышеперечисленными узлами, цифровые устройства могут содержать и другие узлы.

4 СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ И ВЫБОР МИКРОПРОЦЕССОРНЫХ УСТРОЙСТВ ЗАЩИТЫ

В настоящее время на Российском рынке существует достаточно много микропроцессорных защит различных производителей, как отечественных, так и зарубежных. Наиболее известными среди них являются:

- терминалы SPAC-800 шведской фирмы АВВ (выпускались в России ООО "АББ Реле-Чебоксары (Автоматизация)" до 2022 года);
- блоки защит типа БМРЗ российской фирмы "МЕХАНОТРОНИКА".
- микропроцессорные блоки защит Seram 2000 и Seram 1000+ французской фирмы "Schneider electric";
- блоки защит типа MODULEX3, MiCOM, MODN немецкой фирмы "ALSTOM".
- блоки защит типа Сириус-2 российской фирмы «РАДИУС Автоматика»

Общей для них является тенденция все большего перехода на цифровую технику. Цифровые защиты, выпускаемые этими фирмами, имеют высокую стоимость, которая, впрочем, окупается их высокими техническими характеристиками и многофункциональностью. Использование цифровых способов обработки информации в устройствах РЗА существенно расширило их возможности и улучшило эксплуатационные качества.

В основном все подходы по функциональному признаку тесно переплетаются во всех разработках в сети 35 - 110 кВ.

Основными характерными моментами почти всех защит являются:

- возможность телеускорения в дистанционной защите, определенных ее зон (по выбору) с использованием различных (по выбору) схем связи, определенные схемы телеускорения могут иметь свой высокочастотный канал так же для телеускорения токовой направленной защиты нулевой последовательности от КЗ на землю;
- возможность автоматического ускорения определенных ступеней дистанционной защиты при ручном включении и АПВ;

- наличие аварийных токовых защит, вводимых автоматически при неисправности цепей напряжения и блокировании дистанционной защиты;
- наличие отдельных токовых защит вводимых автоматически на время опробования линии при ручном включении линии или АПВ;
- наличие токовых защит, используемых как МТЗ для различных режимов, например: междуфазной токовой отсечки;
- наличие токовых защит нулевой последовательности с использованием направленности (по выбору), телеускорения и автоматического ускорения отдельных ступеней;
- наличие токовых защит обратной последовательности, для работы при несимметричных КЗ, особенно за обмотками трансформаторов со схемой соединения Y / Δ ;
- функции АПВ;
- функции определения места повреждения на линии;
- функции регистрации аварийных параметров и сигналов;
- контроль цепей тока и напряжения;
- измерение рабочих значений токов, напряжения, мощности, частоты, в амплитудных и средних значениях;
- контроль цепей отключения и включения выключателя;
- контроль числа коммутаций выключателя, с регистрацией суммы токов отключения;
- переключение наборов уставок.

Подробнее рассмотрим защиты, которые в настоящее время производятся серийно и активно эксплуатируются во многих странах мира. Это защиты SPAC801 фирмы «ABB» и защита Сириус фирмы «РАДИУС Автоматика».

Ввиду большого числа функций и возможных вариантов использования характеристик в терминалах, сравнение производится по основным из них. Второстепенные характеристики и параметры настройки следует рассматривать в

заводской (фирменной) документации на изделия. Сравнение будем вести по техническим и функциональным признакам (таблица 3).

Таблица 3 – Сравнение характеристик микропроцессорных реле

Описание функций	Сириус 2-Л-К-5А-220В-И1	SPAC801
Направленная трехфазная МТЗ		
Трехфазная МТЗ	х	х
Защита от тепловой перегрузки	х	х
Трехфазная защита по минимальному току	х	х
МТЗ обратной последовательности	х	х
Однофазная МТЗ (ЗНЗ)	х	х
АПВ	х	х
Включение на повреждение	х	х
Мест./дист. управление выключателем	х	х
Выбор чередования фаз	х	—
УРОВ	х	х
Контроль ресурса выключателя и цепей откл.	х	х
Определение обрыва провода L2/L1	х	—
Отстройка от пусковых токов	х	—
Подхват выходных реле	х	х
Логика блокирования	х	—
Логика селективности	х	х
Режим наладки реле	х	х
Дистанционное упр. выходными реле	х	х
Количество групп уставок	2	2
Измерения	х	х
Максимальные и средние значения тока	х	—
Регистрация аварий	х	х
Регистрация пусков защит	х	х
Регистрация событий	х	—
Запись переходных процессов	х	—
Дискретные входы/выходные реле	5/8	5/8
Входы тока/напряжения	4/0	4/0
Протокол связи Modbus RTU	х	—
Протокол связи IEC 60870-5-1 03	х	—
Протокол связи Courier	х	—

Сравнив возможности устройств Сириус 2-Л-К-5А-220В-И1 и SPAC801, приходим к выводу, что по набору защит они практически одинаковы, поэтому рассмотрим также их дополнительные функции:

- габаритные размеры у Сириус 2-Л-К-5А-220В-И1, меньше SPAC801;
- Сириус 2-Л-К-5А-220В-И1 имеет 4-х строчный ЖКД, а SPAC801 однострочный с тремя символами;
- Сириус 2-Л-К-5А-220В-И1 выражает реальные величины, а SPAC801 – относительные, требуется перерасчет;
- Сириус 2-Л-К-5А-220В-И1 регистрирует до 75 аварий и переходных процессов, SPAC801 только 5 последних событий и срабатывает индикатор;
- различные функции терминала Сириус 2-Л-К-5А-220В-И1 можно связать между собой с помощью логических элементов, SPAC801 жестко забитая логика вывод защиты через диаграмму ключей, нет возможности логической связи.

Рассмотрев возможности данных устройств можно сделать вывод, что микропроцессорная защита Сириус 2-Л-К-5А-220В-И1, превосходит по функциональным параметрам устройство SPAC801, поэтому остановим выбор на устройстве Сириус 2-Л-К-5А-220В-И1 фирмы «РАДИУС Автоматика».

Микропроцессорные устройства фирмы «РАДИУС Автоматика» адаптированы к требованиям ПУЭ и ПТЭ, имеют методики применения и выбора уставок, схемы подключения ко всем типам коммутационной аппаратуры.

5 ВЫБОР МИКРОПРОЦЕССОРНОГО УСТРОЙСТВА ДЛЯ ЗАЩИТЫ ОБОРУДОВАНИЯ ПОДСТАНЦИИ 35/6 кВ УСЬВА-3

Защита элементов системы электроснабжения должна ограничить или полностью устранить в них возможные нарушения нормального режима работы, вызванные электрическими, тепловыми или механическими перегрузками, а также аварийными повреждениями, основными причинами которых обычно являются различные виды короткого замыкания. Для обеспечения защиты применяются аппараты отключения:

- плавкие предохранители ВН и НН и автоматические выключатели НН;
- аппараты релейной защиты, действующие на отключение выключателя.

Релейная защита – совокупность специальных устройств и средств (реле, измерительные трансформаторы и другие аппараты), обеспечивающие автоматическое отключение поврежденной части электрической установки или сети. Если повреждение не представляет для электроустановки непосредственной опасности, то релейная защита должна приводить в действие сигнальные устройства, не отключая установку. Основные условия надежной работы релейной защиты:

- обеспечение селективности, т.е. отключение только поврежденных участков. Время срабатывания защиты характеризуется выдержкой времени, обеспечивающей селективность. Выдержка определяется полным временем действия защиты до отключения поврежденного участка;

- остаточная чувствительность ко всем видам повреждений на защищаемой линии и на линиях, питаемых от нее, а так же к изменению в связи с этим параметров (тока, напряжения и др.), что оценивается коэффициентом чувствительности;

- максимальная простота схем с наименьшим числом аппаратов и достаточная надежность и быстродействие;

- наличие сигнализации о неисправностях в цепях, питающих аппараты релейной защиты.

В силу вышеизложенного ранее, рассмотрев преимущества устройства релейной защиты выполненные на терминале Сириус 2-Л-К-5А-220В-И1 производства «РАДИУС Автоматика».

К достоинствам устройств фирмы «РАДИУС Автоматика» можно отнести то, что помимо прочих достоинств, эти устройства разработаны недавно и имеют малые габариты. Кроме выполнения функций защиты и противоаварийной автоматики устройства осуществляют замер текущих величин, имеют автоматический контроль исправности.

Конструктивно устройство Сириус 2-Л-К выполнено в виде электронного блока с металлическим корпусом в виде кассеты. На задней стенке корпуса находятся клеммы для подключения входных и выходных сигналов. Внутри корпуса клеммники выполнены в виде разъемов. Замена электронного блока осуществляется выемкой его из кассеты без отключения соединительных проводов. Внешний вид устройства изображен на рисунке 9.



Рисунок 9 - Конструктивное исполнение блока защиты серии Сириус-2-Л-К

Передняя панель реле защиты снабжена дисплеем на жидких кристаллах (ЖКД) с четырьмя строчками по 21 буквенно-цифровых символа в каждой, с задней подсветкой, клавиатурой, состоящей из 7 клавиш (для обеспечения доступа ко всем параметрам, сигналам и измерениям) и светодиодами, просто отражающими состояние защит Сириус 2-Л-К. Кроме этого, использование порта связи RS485 дает возможность считывать, устанавливать в исходное положение и изменять уставки реле при необходимости от местного или удаленного персонального компьютера, с соответствующим программным обеспечением.

Эта маневренность в использовании, пониженные требования по техническому обслуживанию и простота сборки позволяет устройству Сириус 2-Л-К-5А-220В-И1 осуществлять решение проблем защиты электрических сетей.

Реле защиты Сириус 2-Л-К-5А-220В-И1 осуществляет полную защиту от междуфазных коротких замыканий и замыканий на землю сетей, промышленных предприятий и дополнительно сетей другого назначения, где требуется защита максимального тока. Защита от замыканий на землю обладает повышенной чувствительностью в сетях с малыми токами замыкания на землю.

В данной работе мы рассмотрим расчет максимальной токовой защиты. На отходящих линиях 6 кВ предусмотрена двухступенчатая максимальная токовая защита. Защита выполнена в двухфазном двухрелейном исполнении на микропроцессорном блоке Сириус 2-Л-К-5А-220В-И1 и действует на отключение выключателя – первая ступень действует мгновенно, вторая с выдержкой времени.

На ПС предусмотрено автоматическое повторное включение (АПВ) выключателей отходящих фидеров 6 кВ.

6 РАСЧЁТ И ВЫБОР УСТАВОК МТЗ И ТОКОВОЙ ОТСЕЧКИ

Рассмотрим общие положения расчёта и выбора уставок на терминале Сириус 2-Л-К-5А-220В-И1.

Ток срабатывания максимальной токовой защиты выбирается с учетом следующих соображений: отстройка от максимально возможного тока нагрузки, согласование защиты по току с защитами последующих элементов, обеспечение необходимой чувствительности.

Расчёт токовой отсечки

Токовой отсечкой обычно называют одну из ступеней двухступенчатой или трёхступенчатой максимальной токовой защиты. Токовая отсечка защищает только часть линии или обмотки трансформатора, расположенные ближе к источнику питания. Отсечка срабатывает без специального замедления, то есть $t = 0$ с.

Расчёт тока срабатывания селективной токовой отсечки без выдержки времени, установленной на линии, на понижающем трансформаторе и на блоке линия- трансформатор. Селективность токовой отсечки мгновенного действия обеспечивается выбором её тока срабатывания I_{CO} большим, чем значение тока короткого замыкания $I_{K3}^{(3)}$ при повреждении в конце защищаемой линии электропередачи или на стороне НН защищаемого понижающего трансформатора, то есть $I_{CO} \geq I_{K3}^{(3)}$.

Коэффициент надёжности k_n для токовых отсечек без выдержки времени, установленных на линии электропередачи и понижающих трансформаторах, при использовании цифровых реле, в том числе Сириус 2-Л-К, может приниматься в пределах от 1,1 до 1,15. Для сравнения можно отметить, что при использовании в электромеханических дисковых реле РТ - 40 электромагнитного элемента (отстройки) принимаются в пределах $k_n = 1,3 - 1,4$.

Еще одним условием выбора токовой отсечки, является отстройка от суммарного броска тока намагничивания трансформаторов, подключенных к

линии. Эти броски тока возникают в момент включения под напряжение ненагруженного трансформатора и могут первые несколько периодов превышать номинальный ток в 5 – 7 раз.

При включении линии под напряжение при выдержке времени отсечки порядка 0,05 с, ток срабатывания отсечки должен быть равен пяти суммарным номинальным токам

$$I_{C3} \geq 5I_{н\text{тр}}, \text{ А.}$$

Проверка чувствительности защиты:

ПУЭ требуют для токовых защит коэффициент чувствительности $k_{\text{ч}} = 1,5$ при коротких замыканиях на защищаемом оборудовании, и $k_{\text{ч}} = 1,2$ в зоне резервирования. Коэффициент чувствительности определяется по выражению

$$k_{\text{ч}} = I_{K3\text{min}}^{(2)} / I_{C3}$$

Для расчета берется ток двухфазного КЗ в минимальном режиме.

Таблица 4 – Расчет токовой отсечки

Наименование			Обозначение и расчётная формула	Отходящая линия 1	Отходящая линия 2
Исходные данные	Максимальный рабочий ток, А		$I_{\text{м}}$	156	45
	Трансформаторы тока		—	200/5	100/5
	Коэффициент трансформации тр-ров тока		$n_{\text{т}}$	40	20
	Минимальное значение тока 3х фазного КЗ при КЗ в зоне защиты	Основной, А	$I_{K1}^{(3)}$	—	—
		За тр-ром, А	$I_{K2}^{(3)}$	933	120
	Максимальный ток в конце линии, А		$I_{K3}^{(3)}$	—	—
Расчётные	Расчётный коэффициент	Кратности макс. тока	$K_{\text{р}}$	1	1
		Схемы включения реле	$K_{\text{сх}}$	1	1

	Ы	Отстройки	Котс	1,2	1,2
		Возврата реле	Кв	0,93	0,93
	Ток срабатывания реле $I_{ср}$ и защиты $I_{сз}$	Расчётный (МТЗ), А	$I_p = (K_{отс} K_{сх} K_p I_n) / (K_B D_t)$	5,03	2,9
		Расчётный (отсечка), А	$I_p = (K_{отс} K_{сх} I_{кз}^{(3)}) / n_t$	—	—
		Принятый, А	$I_{ср}$	5,5	3,0
		Первичный, А	$I_{сз} = I_{ср} \cdot n_t / K_{сх}$	220	60
	Коэффициенты $K_{сч}$ для определения чувствительности	От сборных шин до тр-ра	$K_{сч1}$	—	—
		За трансформатором,	$K_{сч2}$	1	1
	Чувствительность защиты при 2х фазном КЗ	В зоне защиты от сборных шин до тр-ра	$K_r = K_{сч1} \cdot I_{к1}^{(3)} / I_{сз}$	—	—
		За трансформатором в зоне защиты	$K_r = K_{сч2} \cdot I_{к2}^{(3)} / I_{сз}$	4,2	2
	Микропроцессорный блок защиты		—	Сириус	Сириус
	Принятая уставка времени защиты, с		t	0,5	0,5

Расчёт максимальной токовой защиты

Принцип действия МТЗ основан на том, что при возникновении КЗ ток увеличивается и начинает превышать ток нагрузочного режима. Селективность действия при этом достигается выбором выдержек времени.

В пределах каждого элемента МТЗ устанавливается как можно ближе к источнику питания. Для того чтобы защита работала при КЗ и не работала в нормальных режимах необходимо определять ток срабатывания защиты – $I_{сз}$.

Ток срабатывания – это наименьший первичный ток, необходимый для действия защиты. При этом необходимо обеспечить несрабатывание МТЗ при максимальных токах ($I_{\max \text{ нагр.}}$) и пусковых токов нагрузки ($I_{\text{пуск.}}$). Для этого необходимо выполнение следующих условий:

1. $I_{сз} > I_{\max \text{ нагр.}}$ – пусковые органы защит не должны приходить в действие при максимальном рабочем токе нагрузки.

2. Пусковые органы защиты, пришедшие в действие при внешнем КЗ, должны вернуться в исходное состояние после его отключения и снижения до $I_{\max \text{ нагр.}}$

Для выполнения этого условия ток возврата защиты $I_{вз}$ должен удовлетворять требованию $I_{вз} > k_{сз} \cdot I_{\max \text{ нагр}}$, где $k_{сз}$ – коэффициент самозапуска двигательной нагрузки, учитывает возрастание тока при самозапуске двигателей, $k_{сз} > 1$.

Токи $I_{сз}$ и $I_{вз}$ связаны коэффициентом возврата $k_{в}$:

$$k_{в} = I_{вз} / I_{сз},$$

где $k_{в} < 1$, для МТЗ на цифровых реле $k_{в} = 0,9 - 0,95$.

Следовательно, при выполнении условия 2 всегда выполняется условие 1, поэтому выражение для определения $I_{сз}$ можно получить следующим образом:

$$I_{вз} = k_{н} k_{сз} I_{\max \text{ нагр}}$$

где $k_{н}$ – коэффициент надёжности, учитывает погрешность в определении $I_{вз}$, при использовании цифровых реле, в том числе MiCOM, и может приниматься в пределах от 1,1 до 1,15.

$$I_{сз} = \frac{I_{вз}}{k_{в}} = \frac{k_{н}}{k_{в}} k_{сз} I_{\max \text{ нагр}}.$$

Зная величину $I_{сз}$, можно определить $I_{ср}$ – ток срабатывания реле, как ток $I_{сз}$, пересчитанный на вторичную обмотку ТА

$$I_{ср} = \frac{I_{сз} \cdot k_{сх}}{n_{т}},$$

где $k_{сх} = I_{\text{реле}} / I_{\text{ТТ 2 обм}}$ – коэффициент схемы, зависящий от схемы соединения ТА (трансформатора тока) и обмоток реле и равный отношению тока в реле ко вторичному току ТА;

$n_{т}$ – коэффициент трансформации ТА. По рассчитанному значению $I_{ср}$ определяют $I_{уст}$ – ток уставки. У некоторых токовых реле, $I_{уст}$ регулируется плавно, у других – ступенчато, при этом округление $I_{ср}$ до $I_{уст}$ производится в большую сторону.

Если уставки защиты выбраны в первичном токе, то они должны быть приведены к напряжению, где установлена защита, а затем определен

относительный вторичный ток срабатывания реле, делением первичного тока срабатывания на первичный ток трансформатора тока соответствующей стороны:

$$I_{>>} = I_{сз} / I_{н\ TA}.$$

Если уставки защиты выбраны в относительных единицах к номинальному току соответствующей стороны, должен быть определен относительный вторичный ток срабатывания, умножением относительного тока срабатывания на базисный ток этой стороны:

$$I_{>>} = I_{ср} / I_б.$$

Базисный ток (коэффициент) на каждой стороне трансформатора $I_б$ – отношение номинального тока соответствующей стороны трансформатора к номинальному первичному току трансформатора тока этой стороны:

$$I_б = I_{н} / I_{н\ TA}.$$

Диапазон уставок по току срабатывания $0,2 - 50I_{н}$ по каждой стороне трансформатора. У реле Сириус 2-Л-К-5А-220В-И1 один диапазон $0,5 - 40x$ с точностью $0,01$. Необходимо устанавливать ближайшее к расчетному значение, заводом установлено $0,5I_{н}$.

Ступень имеет выход с выдержкой времени и мгновенный выход. Мгновенный выход используется для блокировки вышестоящей защиты (логическая селективность). Диапазон уставок по времени отключения Сириус 2-Л-К-5А-220В-И1 $0-150$ сек. по времени отключения $0,06$ – точность установки составляет $0,01$ сек.

Расчёт уставки ввода 6 кВ и МТЗ стороны 35 кВ на реле Сириус 2-Л-К-5А-220В-И1 приведены в таблице 5.

Схема защиты от токов короткого замыкания выполнена на основе устройства Сириус 2-Л-К-5А-220В-И1 и изображена на рисунке 10, опишем принцип ее действия.



Таблица 5 - Расчет максимальной токовой защиты.

Наименование			Обозначение и расчетная формула	Силовой трансформатор 2,5 МВА			
				МТЗ с пуском по напряжению		Защита от перегрузки	
				35 кВ	6 кВ	35 кВ	6 кВ
Исходные данные	Максимальный рабочий ток, А		I_M	13,1	24 1	13, 1	2 41
	Трансформаторы тока		-	100/ 5	30 0/5	10 0/5	3 00/5
	Коэффициент трансформации трансформаторов тока		n_T	20	60	20	6 0
	Минимальное значение тока 3х фазного К.З. при К.З. в зоне защиты	Основной, А	$I_{K1}^{(3)}$	1200	20 30	—	—
		За трансформатором, А	$I_{K2}^{(3)}$	109	—	—	—
Максимальная токовая защита	Расчётные коэффициенты	Кратности максимального тока	K_p	1	1	—	—
		Схемы включения реле	$K_{сх}$	1	1	1	1
		Отстройки	$K_{отс}$	1,2	1,2	1,0 5	1 ,05
		Возврата реле	K_B	0,93	0,9 3	0,9 3	0 ,93
	Ток срабатывания реле $I_{ср}$ и защиты $I_{сз}$	Расчётный, А	$I_M = (K_{отс} K_{сх} K_p I_M) / (K_B n_T)$	0,85	5,2	0,7 4	4 ,53
		Принятый, А	$I_{ср}$	1	5,5	0,8	4 ,6
		Первичный, А	$I_{сз} = I_{ср} n_T / K_{сх}$	20	33 0	16	2 76
	Коэффициенты $K_{сч}$ для определения чувствительности	От сборных шин до трансформатора	$K_{сч1}$	0,87	0,8 7	—	—
		За трансформатором, А	$K_{сч2}$	1	—	—	—
	Чувствительность защиты при 2х фазном КЗ	В зоне защиты от сборных шин	$K_T = K_{сч1} I_{K1}^{(3)} / I_{сз}$	52	5,2	—	—

		до тр-ра					
		За трансформатором в зоне защиты	$K_t = K_{сч2} I_{к2}^{(3)} / I_{сз}$	5,4	—	—	—
	Тип микропроцессорного блока		-----	Сириус	Сириус	Сириус	Сириус
	Принятая уставка времени защиты, с		t	1,5	1,0	9	9

Данная глава посвящена выбору и расчету релейной защиты и противоаварийной автоматики.

Для трансформаторов и линии согласно техническому заданию установили устройства релейной защиты на микропроцессорной основе. Одним из главных достоинств микропроцессорных реле защиты является осуществимость реализации целого ряда функций и характеристик. Для выбора необходимых нам микропроцессорных блоков в главе проведено сравнение нескольких видов микропроцессорных устройств. Для установки на трансформаторной подстанции «Усьва-3» предусмотрены терминалы Сириус 2-Л-К-5А-220В-И1.

Сириус 2-Л-К-5А-220В-И1 устанавливаем по низкой стороне трансформатора и на выключателях отходящих линий 6 кВ.

Для повышения надёжности и бесперебойности работы систем электроснабжения применили противоаварийную автоматику – АПВ. Функцию АПВ выполняют микропроцессорные устройства защиты и автоматики фирмы «РАДИУС Автоматика», содержащуюся в программной логической части.

7 РАСЧЕТ ЗАЗЕМЛЯЮЩЕГО КОНТУРА ПОДСТАНЦИИ УСЬВА-3.

При обслуживании электроустановок опасность представляют не только неизолированные токоведущие части, находящиеся под напряжением, но и те конструктивные части электрооборудования, которые нормально не находятся под напряжением, но могут оказаться под напряжением при повреждении изоляции.

Для защиты персонала от поражения электрическим током при повреждении изоляции применяются одно из следующих защитных мер: заземление, зануление, защитное отключение, разделительный трансформатор, двойная изоляция, малое напряжение, выравнивание потенциалов.

Именно поэтому в электроустановках выше 1 кВ с изолированной нейтралью целесообразно выполнять защитное заземление.

Заземление какой-либо части электрической установки – это преднамеренное соединение её с заземляющим устройством с целью сохранения на ней достаточно низкого потенциала и обеспечения нормальной работы системы или её элементов в выбранном режиме.

Рабочее заземление сети – это соединение с землёй некоторых точек сети (обычно нейтрали обмоток части силовых трансформаторов и генераторов, реакторы поперечной компенсации в дальних ЛЭП) со следующей целью: снижение уровня изоляции элементов электроустановки, эффективная защита сети разрядниками от атмосферных перенапряжений, снижение коммутационных перенапряжений, упрощение релейной защиты от однофазных КЗ.

Защитное заземление – это заземление всех металлических частей установки (корпуса, каркасы, приводы аппаратов, опорные и монтажные конструкции, ограждения и др.), которые нормально не находятся под напряжением, но могут оказаться под ним при повреждении изоляции. Защитное заземление выполняется для того, чтобы повысить безопасность эксплуатации, уменьшить вероятность поражения людей и животных электрическим током в процессе эксплуатации электрических установок.

Рабочее и защитное заземления должны выполнять своё назначение в течение всего срока эксплуатации электроустановки. Системы заземления различного назначения в пределах установки практически не могут быть выполнены изолированными друг от друга и должны иметь при замыкании на землю одинаковый потенциал, поэтому все они объединяются между собой в общую систему заземления подстанции.

Заземляющее устройство любого вида состоит из заземлителя, располагаемого в земле, и проводника, соединяющего заземляемый элемент установки с заземлителем. Заземлителем называют металлический проводник или группу проводников, находящихся в соприкосновении с землёй. Различают естественные и искусственные заземлители.

Естественные заземлители – это различные конструкции и устройства, которые по своим свойствам могут одновременно выполнять функции заземлителей: водопроводные и другие металлические трубопроводы (кроме трубопроводов горючих или взрывчатых жидкостей и газов, а также трубопроводов, покрытых изоляцией от коррозии), металлические и железобетонные конструкции зданий и сооружений, имеющее надёжное соединение с землёй.

Под искусственными заземлителями понимают закладываемые в землю металлические электроды, специально предназначенные для устройства заземлений. В качестве искусственных заземлителей применяют: для вертикального погружения в землю – стальные стержни диаметром 12 – 16 мм, угловую сталь с толщиной стенки не менее 4 мм или стальные трубы (некондиционные) с толщиной стенки не менее 3,5 мм; для горизонтальной укладки – стальные полосы толщиной не менее 4 мм или круглую сталь диаметром 6 мм.

Рекомендуется принимать длину вертикальных стержневых электродов 2–5 м, а электродов из угловой стали 2,5–3 м. Верхний конец вертикального заземлителя целесообразно заглублять на 0,5–0,7 м от поверхности земли. Горизонтальные

заземлители применяют для связи между собой вертикальных заземлителей и как самостоятельные заземлители.

Таким образом, заземлитель может состоять из одного или многих вертикальных и горизонтальных электродов и характеризуется сопротивлением, которое окружающая земля оказывает стекающему току. Сопротивление заземлителя определяется отношением потенциала заземлителя к стекающему с него току.

Сопротивление общей системы заземления станции или подстанции должно удовлетворять требованиям к заземлению того электрооборудования, для которого необходимо наименьшее сопротивление заземляющего устройства.

Расчёт заземляющих устройств

Сопротивление заземляющего устройства должно быть учтено по фактическим замерам в наиболее тяжелых условиях (зимних) и не должно превышать 0,5 Ом.

Внутренний контур заземления подстанции прокладывается на глубине 0,7 метра, а наружный – на глубине 1,2 м от поверхности планировки. Соединение контуров между собой, в узлах и с верхом электродов – сварное. Оба контура состоят из горизонтальных и вертикальных заземлителей. Материал и наименьшие размеры заземлителей должны соответствовать ПУЭ, согласно этому выберем материал заземлителя, его сечение и количество (таблица 6).

Таблица 6 – Материалы и наименования заземлителей

	Матриал заземлителя	Наименование заземления	Количество
	Полоса стальная 50х5мм	Магистраль заземления наружная	160 м
	Полоса стальная 50х5мм	Магистраль заземления внутренняя	290 м
	Сталь круглая $d = 16$ мм	Электрод заземления $l = 5$ м	43 шт.

Сопротивление заземляющего устройства рассчитаем следующим образом.

Расчет сопротивления горизонтального заземлителя (наружного или внутреннего), Ом:

$$R_{\Pi}^{\text{нар(вн)}} = \frac{0,366\rho k_{\Pi}}{l} \left(\lg \frac{2L^2}{b \cdot t} + 0,76 \right)$$

где $\rho = 40$ – удельное сопротивление грунта (суглинок), Ом·м;

$l = 450$ – полная длина проводников, образующих горизонтальную сетку, м;

$b = 0,016$ – диаметр горизонтального заземлителя, м;

$t = 0,7$ – глубина заложения заземлителя, м;

$k_{\Pi} = 1,2$ – сезонный коэффициент.

Расчет сопротивления одного вертикального заземлителя (электрода), Ом:

$$R_{\text{С}} = \frac{0,366\rho}{L} \left(\lg \frac{2L}{b} + \frac{1}{2} \lg \frac{4t + L}{4t - L} \right),$$

где $\rho = 40$ – удельное сопротивление грунта (суглинок), Ом·м;

$L = 5$ – длина вертикального заземлителя, м;

$b = 0,016$ – диаметр вертикального заземлителя, м;

$t = 5$ – глубина заложения заземлителя, м.

Расчет сопротивления контура (наружного или внутреннего), Ом:

$$R_{\text{СК}}^{\text{нар(вн)}} = \frac{R_{\text{С}} \cdot R_{\Pi}}{R_{\text{С}} \cdot Z_{\Pi k} + R_{\Pi} \cdot Z_{\text{С}k} \cdot n},$$

$Z_{\Pi k}$, $Z_{\text{С}k}$ – коэффициенты использования горизонтальных и вертикальных заземлителей, равны соответственно 0,44 и 0,6;

n – число электродов, шт.

Расчет сопротивления общего контура:

$$R_{\Sigma} = \frac{R_{\text{СК}}^{\text{нар}} \cdot R_{\text{СК}}^{\text{вн}}}{R_{\text{СК}}^{\text{нар}} \div R_{\text{СК}}^{\text{вн}}} = 0,39 \text{ Ом.}$$

Расчетное значение соответствует требуемым нормативам, однако в случае получения при замерах величины сопротивления заземляющего устройства более

0,5 Ом, следует принять меры к его понижению (забивка дополнительных электродов).

Схема заземления подстанции 35/6 кВ Усьва-3 изображена на рисунке 11.

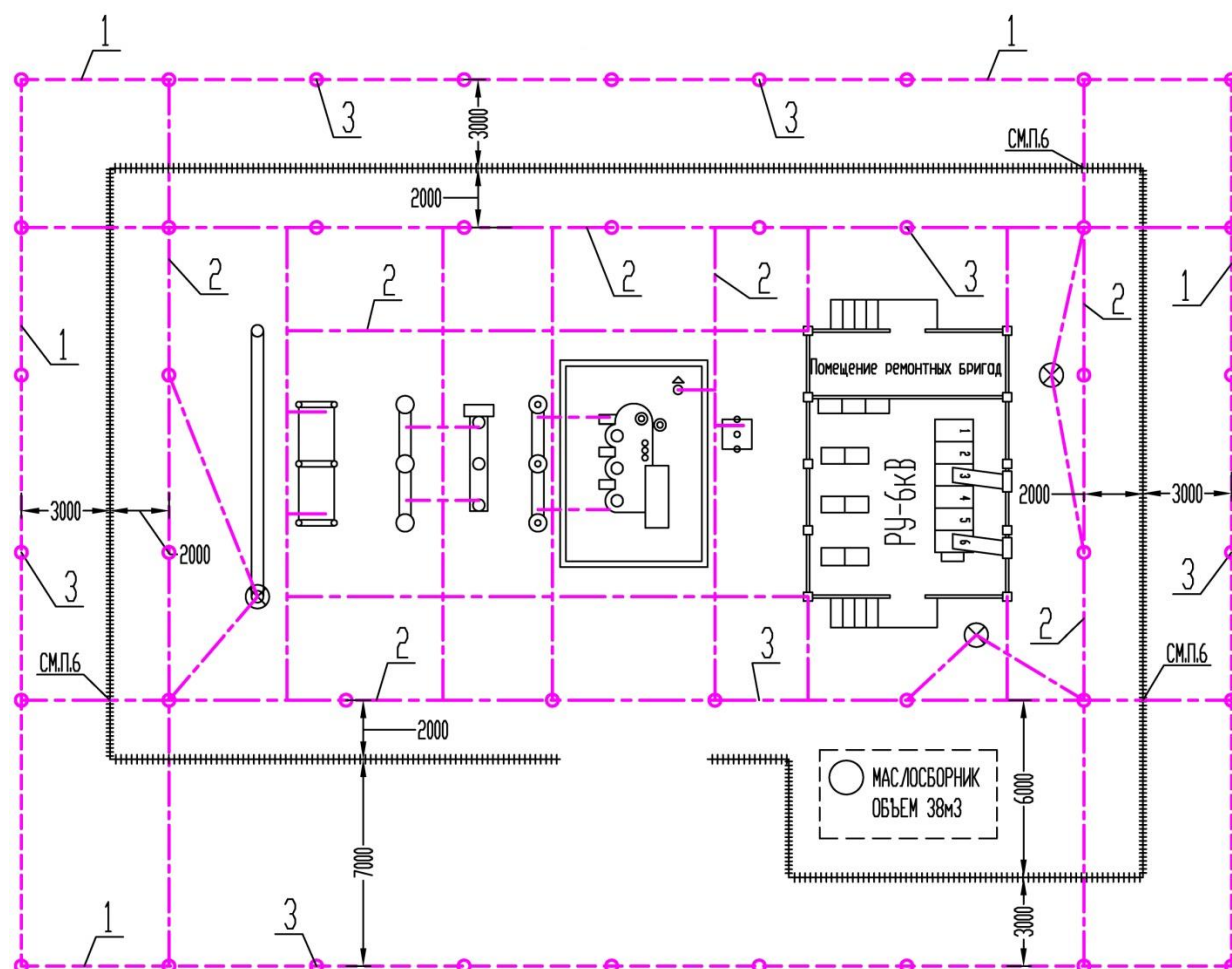


Рисунок 11 - Заземляющий контур ПС Усьва-3

8 ОХРАНА ТРУДА

Производственные процессы на предприятии должны организовываться с учетом действующей системы управления охраной труда, представляющей комплекс положений, определяющих единый порядок организации работы, направленный на создание и обеспечение безопасных условий труда.

Мероприятия по охране труда при эксплуатации электроподстанции Усьва-3 должны быть направлены на сохранение здоровья, работоспособности работников, на уменьшение потерь рабочего времени и, как следствие, на повышение производительности и культуры труда.

Мероприятия по созданию безопасных условий труда предусматривают создание нормальных санитарно-гигиенических условий, механизацию и автоматизацию всего технологического процесса и льготы, устанавливаемые аттестацией рабочих мест.

Мероприятия разрабатываются в соответствии с основами законодательства Российской Федерации об охране труда (постановление Правительства России от 26.08.95 г. № 843 «О мерах по улучшению условий и охраны труда»), а также другими нормативно-правовыми актами по охране труда.

Организация условий и охраны труда, работающих на предприятиях электроэнергетики с учетом соблюдения правил по технике безопасности при эксплуатации электроустановок, действующих строительных норм и правил, правил пожарной безопасности и так далее.

Перечень опасных и вредных производственных факторов

Работники энергетических предприятий, в процессе их трудовой деятельности могут подвергаться воздействию опасных и вредных производственных факторов, к ним относятся:

- повышенная или пониженная температура поверхностей оборудования;
- повышенная или пониженная температура воздуха рабочей зоны;
- повышенный уровень шума на рабочем месте;

- повышенный уровень вибрации;
- пониженная или повышенная влажность воздуха;
- повышенная или пониженная подвижность воздуха;
- повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека;
- повышенный уровень статического электричества;
- недостаточная освещенность рабочей зоны;
- электромагнитное излучение;
- химические опасные факторы;
- тяжелый физический труд.

Все эти факторы могут явиться причиной возникновения у работников профессиональных заболеваний.

Действие шума на организм

Шум относится к неблагоприятным факторам производственной и внешней среды. Действие его на организм человека связано, главным образом, с применением нового, высокопроизводительного оборудования, с механизацией и автоматизацией трудовых процессов: переходом на большие скорости при эксплуатации различных станков и агрегатов. Источниками шума могут быть двигатели, насосы, компрессоры, пневматические и электрические инструменты, станки, центрифуги и прочие установки, имеющие движущиеся детали.

Воздействие шума на организм человека вызывает изменения, прежде всего, в органе слуха, нервной и сердечно-сосудистой системе. При этом степень выраженности этих изменений в значительной мере зависит от параметров шума (интенсивность и его спектральный состав), стажа работы в условиях воздействия шума, длительности действия шума в течение рабочего дня и индивидуальной чувствительности организма.

Действие на организм работающих низких температур

Трудовая деятельность человека на открытом воздухе может быть связана с воздействием низких температур. На воздействие низких температур внешней среды организм реагирует понижением теплоотдачи и повышением

теплообразования. В таких случаях наблюдаются спастические явления в сосудах кожи, замедление кровотока, повышение обмена веществ, усиление секреторной деятельности щитовидной железы, гипофиза, надпочечников; отмечается сокращение мышц, сопровождающееся появлением непроизвольного дрожания.

При переохлаждении организма могут наблюдаться как местные повреждения, преимущественно открытых или малозащищенных участков тела, так и общие выраженные изменения некоторых органов и систем. Постоянное переохлаждение приводит к снижению иммунитета и повышению уровня простудных заболеваний.

Действие вибрации на организм работающих

Механические колебания (вибрация) воспринимаются всеми тканями организма, но главным образом нервной и костной, причем последняя является хорошим проводником и резонатором вибрации. Наиболее чувствительны к воздействию вибрации нервные окончания, прежде всего рецепторы кожного покрова дистальных отделов рук, подошвенной поверхности стопы. В передаче вибрационных раздражений принимает участие вестибулярный аппарат. Вибрации высоких частот могут оказывать на слуховой аппарат действие, близкое к действию шума.

В настоящее время доказано, что влияние вибрации на организм вызывает сосудосуживающий эффект. Параллельно с прогрессирующим снижением вибрационного восприятия под действием вибрации нарушается болевая, тактильная и температурная чувствительность.

Влияние электромагнитных полей на организм работающих

При длительном и интенсивном воздействии электромагнитных волн наблюдаются нарушения ЦНС и сердечно-сосудистой системы. Изменения нервной системы характеризуются наличием астенических, невротических и вегетативных реакций. Основные признаки – общая слабость, утомляемость, снижение работоспособности, раздражительность, головные боли, могут возникнуть нарушения сердечно-сосудистой системы.

Мероприятия по охране труда работников

Для исключения возможного неблагоприятного воздействия вредных факторов на обслуживающий персонал, класс условий труда должен быть допустимым: в зависимости от уровня шума и вибрации рабочих мест, содержания вредных веществ в воздухе рабочей зоны, параметров световой среды производственных участков и помещений (для постоянных рабочих мест); по показателям напряженности трудового процесса; по показателям микроклимата для производственных помещений и открытых территорий в теплый и холодный периоды года.

Фактическое состояние условий труда определяется во время проведения аттестации рабочих мест. Согласно Постановлению Минтруда и социального развития РФ № 12 от 14.03.97 г. «О проведении аттестации рабочих мест по условиям труда», 1 раз в 5 лет проводится оценка условий труда по показателям вредности и опасности факторов производственной среды, тяжести и напряженности трудового процесса. Аттестация рабочих мест предусматривает:

- выявление на рабочем месте вредных и опасных производственных факторов и причин их возникновения;

- исследование санитарно-гигиенических факторов производственной среды, трудность и напряженность трудового процесса на рабочем месте;

- комплексную оценку факторов производственной среды и характера труда на соответствие их требованиям стандартов, санитарных норм и правил;

- обоснование отнесения рабочего места к соответствующей категории с вредными условиями труда;

- подтверждение (установление) права работников на льготное пенсионное обеспечение, дополнительный отпуск, сокращенный рабочий день, другие льготы и компенсации в зависимости от условий труда;

- проверку правильности применения списков производств, работ, профессий, должностей и показателей, которые дают право на льготное пенсионное обеспечение;

разрешение споров, которые могут возникнуть между юридическими лицами и работниками относительно условий работы, льгот и компенсаций;

разработку комплекса мероприятий относительно оптимизации уровня гигиены и безопасности, характера труда и оздоровления трудящихся;

изучение соответствия условий труда уровню развития техники и технологии, усовершенствование порядка и условий установления и назначения льгот и компенсации.

Периодичность аттестации устанавливается самим предприятием в коллективном договоре, но не реже одного раза в 5 лет. Ответственность за своевременное и качественное проведение аттестации возлагается на руководителя предприятия. Если при проведении аттестации условия труда будут расценены как вредные или опасные, работникам будут установлены доплаты на основании Постановления Государственного комитета СССР по труду и социальным вопросам № 387/22-78 от 3.10.1986 г.

Все производственные объекты с постоянным пребыванием на них дежурного и обслуживающего персонала должны быть оснащены медицинским аптечками на случай оказания доврачебной помощи.

Для защиты работающих от опасных и вредных производственных факторов должно быть предусмотрено обеспечение бесплатной специальной одеждой, специальной обувью и другими средствами индивидуальной защиты, на основании Постановления № 41 Министерства труда и социального развития РФ от 26.05.2000 г.

Средства коллективной и индивидуальной защиты работников на предприятии должны соответствовать ГОСТ 12.4.011.89 и храниться на рабочем месте.

Целью всех мероприятий охраны труда является повышение эффективности работ по профилактике производственного травматизма, профессиональной заболеваемости, аварийности и других инцидентов за счет:

своевременного выявления и устранения опасных и вредных производственных факторов на рабочих местах;

устранения недостатков в организации работ по охране труда;

принятия по результатам проведенных проверок оперативных мер, способствующих исключению негативных явлений в области охраны труда, и разработки научно-организационных мероприятий по повышению безопасности труда.

В процессе проверки объектов и рабочих мест принимаются оперативные меры по устранению выявленных недостатков, создающих угрозу жизни и здоровью работающих, работникам проверяемых объектов оказывается практическая помощь в решении возникающих вопросов.

В данном разделе по безопасности жизнедеятельности рассмотрены вопросы охраны труда работников, приведён перечень опасных и вредных производственных факторов, таких как:

- 1) действие шума на организм работающих;
- 2) воздействие низких температур;
- 3) действие вибрации;
- 4) влияние электромагнитных полей на организм работающих.

Также в разработаны мероприятия от воздействия опасных и вредных факторов, подробно рассмотрен вопрос аттестации рабочих мест.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данной выпускной квалификационной работе разработана схема реконструкции электроснабжения трансформаторной подстанции 35/6 кВ «Усьва-3» на базе цифрового устройства «Сириус 2-Л-К-5А-220В-И1» по линии 6 кВ.

Описаны структурная и функциональная схемы цифрового устройства Сириус-2, представлены технические данные и принцип его работы. Представлены схемы электрических цепей подстанции, а так-же номенклатура оборудования использованного в ходе реконструкции и описан его принцип работы.

В расчетной части произведен расчет силы токов короткого замыкания, расчет релейной защиты, расчет максимальной токовой защиты (МТЗ), заземляющих устройств и расчет молниезащиты.

Данная реконструкция выведет электроснабжение посёлка Усьва на новый, качественный уровень надежности. Время реагирования на аварийные ситуации бригад ОВБ значительно сократится. Раньше диспетчер оперативно-выездной бригады узнавал о прекращении подачи электроэнергии исключительно от сообщений абонентов посёлка. Также немаловажную роль выполняет функция автоматического повторного включения (АПВ), так как значительная часть фидера «Каменный город» проходит по лесному массиву, частые аварийные отключения бывают из-за касания или падения веток деревьев. Раньше бригаде ОВБ приходилось выезжать на каждое аварийное отключение, обходить ВЛ с осмотром, что занимало немалое время и только потом включать линию в работу, функция АПВ сократит количество выездов бригады ОВБ и намного сократит время отключения потребителей посёлка Усьва.

Замена устаревших ячеек с масляными выключателями ВМБ-10, которые требуют технического обслуживания после каждых восьми аварийных отключений, на современные вакуумные выключатели ВР1-10, которые не требуют обслуживания на всем сроке службы, значительно уменьшит количество плановых отключений потребителей. Установленные ограничители

перенапряжений ОПН-6 взамен разрядников РВО-6, значительно повысят качество электроснабжения посёлка в грозовой период, так как не изменяют своих физических и электрических свойств после неограниченного количества срабатываний и практически не требуют обслуживания в отличие от разрядников которые требуют чистки перед каждым сезоном и имеют ограниченное количество срабатываний (около двадцати).

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Бессонов, Л.А. Теоретические основы электротехники. Электрические цепи : учебник / Л.А. Бессонов. — 10-е изд. — М. : Гардарики, 2002.
2. Веников В. А., Электропередачи на дальние расстояния, М.– Л., 1960;
3. Герасимов А.А., Федин В.Т. Транзит и распределение электрической энергии. - Ростов и/Д: Феникс, 2008. – 715 с.
4. ГОСТ 7.32-2001 (дата актуализации 06.04.2015) «Система стандартов по информации, библиотечному и издательскому делу. Отчет о научно-исследовательской работе. Структура и правила оформления». Интернет-ресурс [ifap.ru\library/gost/7322001.pdf](http://ifap.ru/library/gost/7322001.pdf) (дата обращения: 21.04.2026).
5. ГОСТ 2.105-95 «Общие требования к текстовым документам».
6. Казанцев В.П. Общая энергетика: учебное пособие / В.П. Казанцев; Пермский государственный технический университет. – Пермь: Изд-во ПГТУ, 2009. – 270 с.
7. Казанцев В.П. Системы управления исполнительными механизмами: учеб. пособие / В.П. Казанцев. – Пермь: Изд-во Перм. нац. исслед. политехн. ун-та, 2015. – 274 с.
8. Лысков В.М. Электрические сети и комплексы: учебное пособие, М.: Логос, 2008. – 256с.
9. Научная Электронная Библиотека eLibrary [Электронный ресурс: полнотекстовая база данных: электрон. журн. на рус., англ., нем. яз.: реф. и наукометр. база данных] / Науч. электрон. б-ка. – Москва, 1869- . – Режим доступа: <http://elibrary.ru/>. – Загл. с экрана.
10. Научно-технический журнал «Вестник ПНИПУ. Электротехника, информационные технологии, системы управления».
11. Организация внеучебной работы в Пермском государственном техническом университете: сборник нормативных документов / сост. Т.А. Ульрих [и др.]. – Пермь: Изд-во Перм. гос. техн. ун-та, 2008. – 216 с. (электронное издание), http://pstu.ru/files/file/UVR/org_vr.doc (дата обращения 15.05.2026).

12. "СНиП 31-06-2009. Общественные здания и сооружения" (утв. Приказом Минрегиона РФ от 01.09.2009 N 390)
13. Совалов С. А., Режимы электропередач 400–500 кв. ЕЭС, М., 1967;
14. Справочник по физике для инженеров и студентов вузов, М.: Наука, — 6-е изд., — 1984, — 848с.
15. Шмидт И. А. Информационное обеспечение систем управления. Построение запросов при работе с базой данных: учебное пособие / И.А. Шмидт; Пермский государственный технический университет. – Пермь: Изд-во ПГТУ, 2008. – 82 с.
16. Электрические системы, т. 3 – Передача энергии переменным и постоянным током высокого напряжения, М., 1972. Яворский Б. М., Детлаф А. А.,
17. Электротехника. Периодическое научно-информационное издание. БД "РЖ ВИНТИ" НБ ПНИПУ 2009-2015. – Режим доступа: Из локальной сети НБ ПНИПУ. – ISSN 0203-5189.
18. Электротехника: Учебно-методический комплекс. /И. М. Коголь, Г. П. Дубовицкий, В. Н. Бородянко, В. С. Гун, Н. В. Клиначёв, В. В. Крымский, А. Я. Эргард, В. А. Яковлев; Под редакцией Н. В. Клиначёва. — Челябинск, 2006-2008.
19. Электротехнический справочник: в 4 т. / Московский энергетический институт; Под ред. В. Г. Герасимова.— 9-е изд., стер.— Москва: Изд-во МЭИ, 2003.— ISBN 5-7046-0984-8. Т. 4: Использование электрической энергии. – 2004. – 695 с.