

Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение
высшего образования
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Хакасский технический институт – филиал
ФГАОУ ВО «Сибирский федеральный университет»
институт

Электроэнергетика
кафедра

УТВЕРЖДАЮ:
Заведующий кафедрой

_____ Г.Н. Чистяков
подпись инициалы, фамилия

«__» _____ 2021 г.

ЗАДАНИЕ
НА ВЫПУСКНУЮ КВАЛИФИКАЦИОННУЮ РАБОТУ
в виде бакалаврской работы

Студенту Панову Ивану Витальевичу.
(фамилия, имя, отчество студента)

Группа ЗХЭн-16 (3-16) Направление 13.03.02

код

«Электроэнергетика и электротехника»

наименование

Тема выпускной квалификационной работ: Расчет комплекса релейной защиты воздушной линии электропередачи напряжением 220 кВ

Утверждена приказом по институту № 244 от 23.04.2021 г.

Руководитель ВКР: к.э.н. доцент каф. «Электроэнергетика», Дулесова Н.В.
(инициалы, фамилия, должность и место работы).

Исходные данные для ВКР: Нагрузки линии, однолинейные схемы.

Перечень разделов выпускной квалификационной работы:

Введение

1 Теоретическая часть

- 1.1 Общая характеристика подстанции 220/10 кВ АО «Русал – Саяногорск»
- 1.2 Характеристика воздушной линии 220 кВ ПС Алюминиевая – ГПП 3 ХАЗ
- 1.3 Общая характеристика подстанции Алюминиевая 500

2 Аналитическая часть

- 2.1 Общие требования к релейной защите
- 2.2 Обзор типов устройств РЗА для защиты воздушной линии 220 кВ
- 2.3 Обзор конструкций трансформаторов тока 220 кВ
- 2.4 Обзор конструкций напряжения 220 кВ

3 Практическая часть

- 3.1 Выбор защит воздушной линии
- 3.2 Расчет токов КЗ
- 3.3 Расчет параметров срабатывания устройств РЗ и А ВЛ 220 кВ
- 3.4 Расчет параметров АПВ
- 3.5 Расчет параметров защиты минимального напряжения
- 3.6 Расчет параметров защиты максимального напряжения
- 3.7 Электробезопасность при обслуживании устройств РЗА

Заключение

ПРИЛОЖЕНИЯ А, Б, В, Г.

Перечень обязательных листов графической части:

1. Однолинейная схема ГПП-3 ХАЗ.
2. Схема присоединений ТТ и ТН к устройству Siemens Siprotec.
3. Принципиальная схема Siemens Siprotec.

Руководитель ВКР
подпись инициалы и фамилия

(подпись)

Н.В. Дулесова
(инициалы и фамилия)

Задание принял к исполнению

(подпись)

И. В. Панов
(инициалы и фамилия)

« 20 » февраля 2021 г.

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа по теме «Расчет комплекса релейной защиты воздушной линии электропередачи напряжением 220 кВ» содержит 52 страницы текстового документа, 25 использованных источников, 3 листа графического материала, 4 приложения.

ПОДСТАНЦИЯ, НАПРЯЖЕНИЕ, РЕЛЕЙНАЯ ЗАЩИТА, ВОЗДУШНАЯ ЛИНИЯ.

Объект исследования – воздушная линия 220 кВ ПС Алюминиевая 500 – ГПП–3 ХАЗ АО «Русал–Саяногорск».

Предмет исследования: способы защит и автоматизации воздушной линии 220 кВ.

Методы исследования: расчет параметров срабатывания релейной защиты.

Научная новизна: использование современных методов и технологий в расчете коротких замыканий и уставок срабатывания реле

Целью данной работы является проектирование релейной защиты и автоматизации воздушной линии ПС Алюминиевая 500 – ГПП–3 ХАЗ.

Значимость работы обусловлена практической рекомендацией и возможностью применения на производстве.

Область применения: работа может быть предложена специалистам АО «Русал–Саяногорск» как проект по обеспечению надежности производства.

Задачи выпускной квалификационной работы: Задачи ВКР:

– дать общую характеристику подстанции 220/10 кВ АО «Русал–Саяногорск»;

– дать общую характеристику подстанции Алюминиевая 500

– произвести обзор типов устройств РЗА и конструкций измерительных преобразователей для защиты воздушной линии и произвести их выбор;

– рассчитать токи КЗ и параметры срабатывания устройств РЗ и А линии ЦРП–3;

В течении проработки данной работы были получены следующие результаты:

– Выполнены расчеты токов короткого замыкания;

– Выполнены расчеты параметров сработки релейной защиты и автоматизации.

The Abstract

The final qualification work on the topic «Calculation of a complex of relay protection of an overhead power line with a voltage of 220 kV» contains 52 pages of a text document, 25 used sources, 3 sheets of graphic material, 4 appendices.

SUBSTATION, VOLTAGE, RELAY PROTECTION, AIR LINE, AUTOMATION.

The object of the study is the 220 kV overhead line of the Substation Aluminium 500 – GPP–3 KhAZ JSC Rusal–Sayanogorsk.

Subject of research: methods of protection and automation of an overhead line 220 kV.

Research methods: calculation of relay protection actuation parameters.

Scientific novelty: the use of modern methods and technologies in the calculation of short circuits and relay actuation settings

The purpose of this work is the design of relay protection and automation of the overhead line Substation Aluminum 500 – GPP–3 KhAZ.

The significance of the work is due to the practical recommendation and the possibility of application in production.

Field of application: the work can be offered to specialists of JSC Rusal–Sayanogorsk as a project to ensure the reliability of production.

Tasks of the final qualifying work: Tasks of the FQP:

– to give a general description of the 220/10 kV substation of Rusal–Sayanogorsk JSC;

– to give a general description of the substation Aluminum 500

– review the types of relay protection and automation devices and designs of measuring transducers for overhead line protection and make their selection;

– to calculate the short–circuit currents and the parameters of the operation of the relay protection and protection devices of the CRP–3 line;

– to calculate the cost of relay protection and a 220 kV overhead line.

During the development of this work, the following results were obtained:

– Calculations of short–circuit currents have been made;

– Calculations of the parameters of relay protection and automation have been performed.

СОДЕРЖАНИЕ

| | |
|---|----|
| ВВЕДЕНИЕ..... | 7 |
| 1 Теоретическая часть..... | 8 |
| 1.1 Общие данные по воздушным линиям | 8 |
| 1.2 Общая характеристика подстанции 220/10 кВ АО «Русал – Саяногорск»..... | 8 |
| 1.3 Характеристика воздушной линии 220 кВ ПС Алюминиевая – ГПП 3 ХАЗ | 13 |
| 1.4 Общая характеристика подстанции Алюминиевая 500 | 13 |
| 2 Аналитическая часть..... | 20 |
| 2.1 Общие требования к релейной защите | 20 |
| 2.2 Обзор типов устройств релейной защиты и автоматики для защиты воздушной линии 220 кВ | 23 |
| 2.3 Обзор конструкций трансформаторов тока 220 кВ..... | 24 |
| 2.4 Обзор конструкций трансформаторов напряжения 220 кВ..... | 26 |
| 3 Практическая часть | 30 |
| 3.1 Выбор защит воздушной линии | 30 |
| 3.2 Расчет токов КЗ | 30 |
| 3.3 Расчет параметров срабатывания устройств релейной защиты и автоматики воздушной линии 220 кВ..... | 35 |
| 3.3.1 Расчет уставок срабатывания дистанционной защиты..... | 35 |
| 3.3.2 Токовая защита нулевой последовательности..... | 37 |
| 3.3.3 асчет параметров срабатывания токовой отсечки..... | 39 |
| 3.4 Расчет параметров АПВ | 39 |
| 3.5 Расчет параметров защиты минимального напряжения..... | 40 |
| 3.6 Расчет параметров защиты максимального напряжения..... | 40 |
| 3.7 Электробезопасность при обслуживании устройств релейной защиты и автоматики..... | 42 |
| 3.8 Спецификация оборудования | 44 |
| ЗАКЛЮЧЕНИЕ | 45 |
| СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ | 46 |
| ПРИЛОЖЕНИЕ А | 49 |
| ПРИЛОЖЕНИЕ Б..... | 51 |
| ПРИЛОЖЕНИЕ В | 52 |
| ПРИЛОЖЕНИЕ Г..... | 53 |

ВВЕДЕНИЕ

Нормальное функционирование электроэнергетических систем невозможно без соответствующих устройств релейной защиты и автоматики, обеспечивающих надежную защиту и автоматизацию конкретных элементов этих систем. Релейная защита и автоматизация производит отключение поврежденного элемента от неповрежденной части электросети и препятствует распространению аварии в энергосистеме. Помимо этого, релейная защита способна выявлять аварийные режимы работы такой системы и с достаточной эффективностью восстанавливать нормальную работоспособность или питание потребителей.

Роль инженера–электрика в области электроснабжения, в современном обществе весьма велика. Известно, что экономичность и надежность электроэнергетических систем во многом обеспечивается средствами защиты и автоматики. Особенно это актуально в связи с появлением в эксплуатации достаточно большого числа новых устройств релейной защиты и автоматики на основе аналоговых и цифровых интегральных микросхем, микропроцессорной элементной базы и цифровых контроллеров.

Принципы построения и функционирования не меняются, релейная защита в большей части касается лишь сферы их технической реализации. Конкретно, актуальны в настоящее время такие элементы защиты как микропроцессорные, полупроводниковые реле и терминалы защиты, которые, как электромеханические реле, реально настроить специалисту по паспорту устройства для осуществления определенных функций.

Таким образом, с аппаратными решениями появляется новейшее программное обеспечение для защиты и автоматизации. Это полностью готовый комплекс устройств, объединяющий в едином блоке всю защиту и автоматику элементов электроэнергетической системы. Например, распределительного устройства.

Независимо от того, какие принципы положены в основу отдельных устройств релейной защиты для выявления повреждений, система в целом должна исправно находить неисправные элементы и отделять их от исправной части электроэнергетической системы. Основную роль в решении этой задачи играет логика взаимодействия устройств и параметры их сработки, обеспечивающие реализацию процедур взаимодействия. Поэтому расчеты, выполняемые с целью определения точных значений параметров срабатывания устройств релейной защиты, имеют наивысшую практическую значимость и создают методическую базу для координации работы устройств релейной защиты в общей электроэнергетической системе.

1 Теоретическая часть

1.1 Общие данные по воздушным линиям

Передача электроэнергии по воздушной линии электропередачи (ВЛ) осуществляется по проводам, которые находятся на открытом воздухе и поддерживаются над землей на опорах при помощи специальных креплений (траверс), изоляторов и других приспособлений, используемых для крепления, соединения и ответвления проводов. Все эти устройства называют линейная арматура воздушных линий электропередачи. Воздушная линия подводится к линейному portalу – конструкции, к которой через изоляторы подвешиваются провода. От линейного портала к проводникам линии подключаются спуски к линейным разъединителям.

Наиболее распространенные виды повреждения воздушной линии – обрыв провода, повреждение изолятора или другого конструктивного элемента ВЛ.

Данные повреждения диагностируются визуальным осмотром при обходе линии после аварийного отключения и устраняются в большинстве случаев быстро, без необходимости применения специализированного оборудования, испытательных установок и проведения земляных работ. Исключение составляют случаи наличия пробоя изолятора на одной из опор.

В данном случае при снижении диэлектрической прочности изолятора через него будет протекать утечка тока и на данном участке электроустановки будет зафиксировано наличие замыкания на землю.

Изоляция обеспечивается гирляндами подвесных тарельчатых изоляторов из закалённого стекла.

Для уменьшения количества аварийных отключений, обусловленных атмосферным электричеством при грозах, ЛЭП оснащаются молниезащитными тросами, закрепляемыми на опорах выше проводов и предназначенными для устранения прямых попаданий молнии в провода; представляют собой специальные усиленные сталеалюминевые провода небольших сечений с целью обеспечения работы высокочастотных каналов диспетчерской связи. Разработаны и применяются новейшие конструкции молниезащитных тросов с вмонтированными в их трубчатый сердечник оптико-волоконными пучками, обеспечивающими многоканальную связь.

Объектом исследования выбрана воздушная линия 220 кВ ПС Аллюминиевая 500 – ГПП-3 ХАЗ АО «Русал-Саяногорск».

1.2 Общая характеристика подстанции 220/10 кВ АО «Русал – Саяногорск»

В административном отношении объект (подстанция 220/10 кВ АО «Русал-Саяногорск») расположен на территории АО «Русал-Саяногорск», г. Саяногорск.

Площадка алюминиевого комплекса размещается в районе Муниципаль-

ного образования г. Саяногорск, который расположен в 75 км южнее столицы Республики Хакасия г. Абакан, на левом берегу реки Енисей, рассматриваемые объекты в основном расположены на площадке, существующей ГПП–3 и частично на территории промплощадки действующего предприятия. Район размещения комплекса характеризуется сравнительно плоским рельефом с небольшими понижениями вдоль основного русла р. Енисей. Размер промплощадки Саянского алюминиевого промузла составляет ~ 840 га. Схема подстанции ГПП 3 ХАЗ представлена на рисунке 1.1.

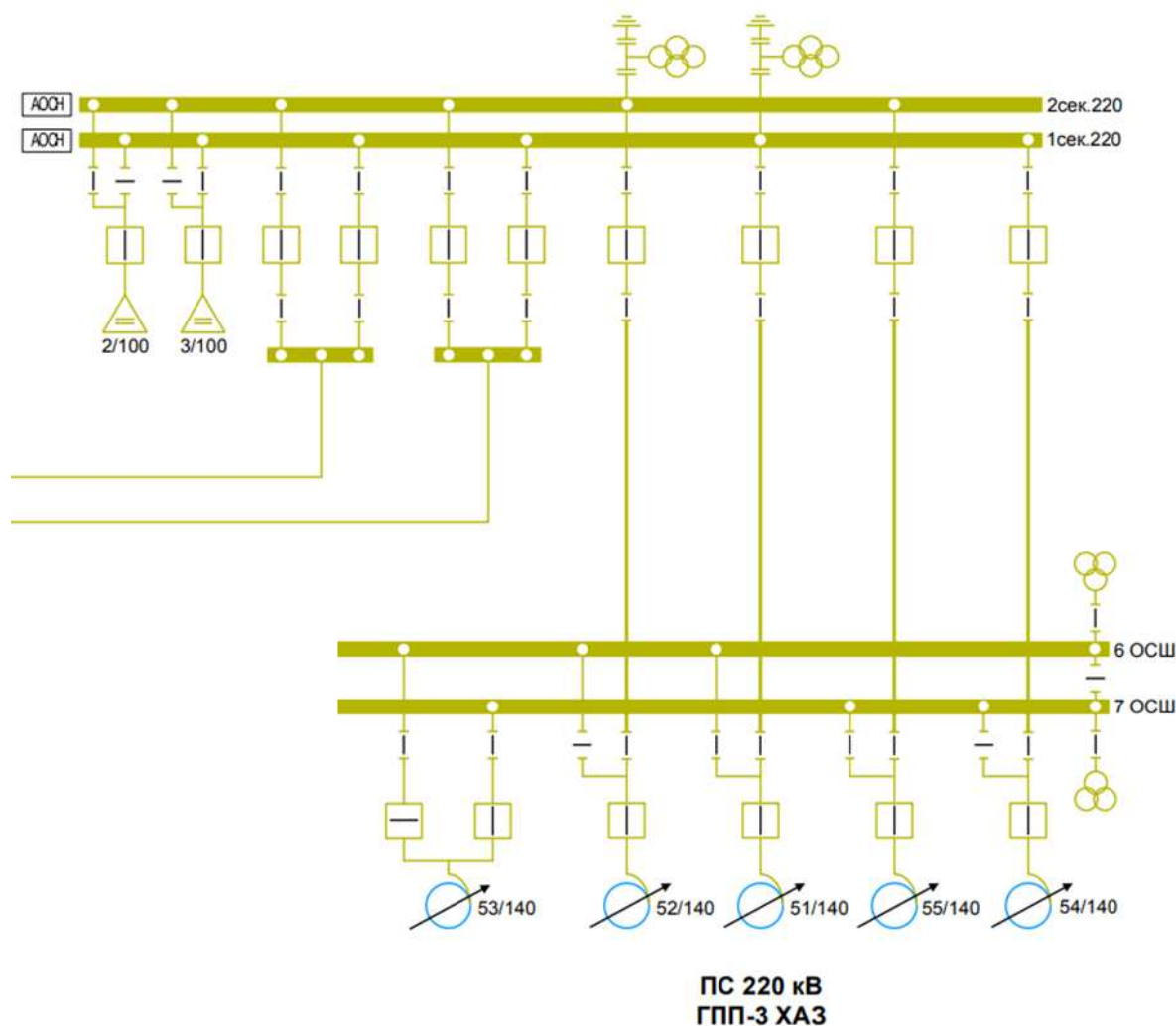


Рисунок 1.1 – Схема подстанции ГПП–3 ХАЗ

Электросетевой компанией поставляющей электроэнергию на ХАЗ является МЭС Сибири.

Производство ХАЗ было запущено в 2006 году и по праву может считаться одним из наиболее технологичных и экологичных в мире.

Проект был полностью выполнен российскими проектировщиками, в нем использованы самые современные технологии.

В структуру завода входят электролизный, анодный, литейный цеха, объекты инфраструктуры и энергоснабжения. Одной из отличительных особенно-

стей предприятия является высокий уровень автоматизации производственных процессов.

Мощность предприятия составила 300 тыс. тонн алюминия в год. Строительство было осуществлено в рекордно короткие сроки: от начала работ по проектированию объекта до завершения строительства первой очереди прошло всего 25 месяцев. И это первый объект такого масштаба в алюминиевой промышленности России, построенный за последние 20 лет.

Для электроснабжения предприятия работает главная понизительная кремниевая преобразовательная подстанция (КПП) 220 кВ ГПП–3 с подключением 2-мя воздушными линиями 220 кВ к ПС 500/220 кВ «Алюминиевая».

Источником электроснабжения собственных нужд Хакасского алюминиевого завода служит ПС 500 кВ Алюминиевая. Подключение новой ПС 220 кВ собственных нужд к энергосистеме выполняется в пределах выделенных договорных мощностей через системы шин 220 кВ 6 ОСШ и 7 ОСШ на ГПП–3 и по существующим ВЛ 220 кВ Алюминиевая – ГПП–3 ХАЗ I цепь (Д–85) и ВЛ220 кВ Алюминиевая–ГПП–3 ХАЗ IV цепь (Д–88) в соответствии с техническими условиями АО «Русал–Саяногорск».

ПС 220/10 кВ ГПП–3 ХАЗ необходима для разделения электроснабжения собственных нужд 10 кВ Хакасского и Саяногорского алюминиевых заводов, обеспечение дополнительных нагрузок АО «РУСАЛ–САЯНАЛ».

В настоящий момент в рамках реконструкции предусматривается установка на площадке ГПП–3 двух специальных трансформаторов 220/10 кВ. Таким образом в нормальном режиме собственные нужды ХАЗ будут иметь самостоятельный источник электроснабжения от новой ПС 220 кВ, располагаемой на территории ГПП–3.

Проектом реконструкции предусматриваются:

- постройка ОРУ 220 кВ в открытом исполнении с расположением оборудования на блочных конструкциях;
- сооружение ЗРУ 10 кВ для подключения потребителей;
- сооружение общеподстанционного пункта управления (ОПУ);
- установка переключательных пунктов;

Предусмотрено устройство нового ограждения территории для предотвращения несанкционированного доступа на территорию подстанции посторонних лиц. Проектируемые проезды являются технологическими и будут использоваться для обслуживания тех. нужд подстанции.

В качестве противопожарных мероприятий предусмотрены пожарные щиты и ящики с песком, в районе расположения зданий ЦРП–3.

В соответствии с техническим заданием по разделению электроснабжения собственных нужд 10 кВ Хакасского и Саяногорского алюминиевых заводов, обеспечению дополнительных нагрузок АО «Русал–САЯНАЛ» строительство подстанции выполняется в 2 этапа:

I этап. Отделение электроснабжения собственных нужд 10 кВ Хакасского и Саяногорского алюминиевых заводов путем выполнения строительных и монтажных работ ввода 220кВ на ПС 220 кВ ГПП–3 ХАЗ, трансформатора

220/10 кВ 1Т (далее –16Т).

II этап. Выполнение строительных и монтажных работ ввода №2 220кВ на ПС 220 кВ ГПП–3 ХАЗ, трансформатора 220/10 кВ Т2 (далее– 17Т), токопровода 10 кВ от нового 17Т до нового РП, общая максимальная нагрузка составит 27,0 МВт.

Распределительное устройство 220 кВ (ОРУ 220 кВ) содержит:

- трансформаторы тока – с релейными обмотками и измерительными;
- выключатели 220 кВ – элегазовые колонковые с выносными трансформаторами тока, трехполюсного исполнения;
- ограничители перенапряжений 220 кВ;
- разъединители 220 кВ трехфазные, с электродвигательными приводами на главных и заземляющих ножах. Горизонтально–поворотного исполнения, облегчающие обслуживание и повышающие автоматизированность ПС;
- емкостные трансформаторы напряжения в линиях 220 кВ I цепь Д–85 и IV цепь Д–88;

Ошиновка ОРУ–220 кВ гибкая выполненная сталеалюминовой проволокой. В месте соединения 6, 7 ОСШ с линиями Д–85 и Д–88 будет использована жесткая ошиновка.

Изоляция оборудования принята для III степени загрязнения атмосферы, в связи с этим, оборудование и изоляция ОРУ 220 кВ принята с удельной эффективной длиной пути утечки не менее 2,5 см/кВ, в соответствии с ГОСТ 9920–89.

Межполюсные расстояния всех устанавливаемых аппаратов приняты в соответствии с рекомендациями заводов изготовителей и в соответствии с ПУЭ–7 изд.

Присоединение проводов к устройствам осуществляется с использованием соответствующих прессуемых аппаратных зажимов.

Компоновочные решения распределительного устройства 220 кВ открытого исполнения (ОРУ) при расположении оборудования принимаются с учетом существующей строительной части.

Для присоединения ВЛ 220 кВ (I цепь Д–85 и IV цепь Д–88) устанавливаются линейные порталы 220 кВ решетчатого типа.

Компоновка открытого распределительного устройства традиционная– с расположением аппаратов на одном уровне.

На ГПП–3 будут установлены два трехфазных трансформатора ТРДН–80000/220–УХЛ1 для понижения напряжения сети с 220 кВ на 10 кВ. Трансформатор мощностью 80 МВА напряжением 220/10 кВ с расщепленной обмоткой низкого напряжения по 40 МВА. С учетом предъявляемой высокой ответственности к электроснабжению технологического оборудования нагрузка трансформаторов в номинальном режиме не должна превышать 60%. В аварийном режиме 100%. Нагрузка собственных нужд ГПП–3 ХАЗ будет составлять 27МВт. Мощность трансформатора принята с учетом подключения в перспективе нагрузки АО «Русал–САЯНАЛ» в пределах 20,5 МВА.

В качестве заземлителя на ОРУ выполнено заземляющее устройство в виде сетки из поперечных и продольных заземлителей из оцинкованной стальной полосы 40x5 мм и вертикальных заземлителей.

Горизонтальные заземлители прокладываются на глубине 0,5–0,6 м от поверхности земли и на расстоянии 0,8–1,0 м от фундаментов зданий и оборудования.

Соединения элементов выполнены сваркой двойным швом, сварные швы, расположенные в земле. Всё новое устанавливаемое оборудование присоединяется к контуру заземления. Каждая стойка под оборудование 220 кВ и 10 кВ присоединяется к заземляющему устройству.

Проектируемое заземляющее устройство присоединяется к существующему ЗУ не менее чем в 4–х местах.

Заземление опор трубчатого токопровода выполняется прокладкой протяженного заземлителя из полосовой оцинкованной стали 40x5 в земле вдоль трассы токопровода.

Для защиты оборудования ОРУ 220 кВ от грозových перенапряжений, приходящих с линий и от опасных уровней коммутационных перенапряжений, предусматривается при помощи ограничителей перенапряжений, установленных с высокой стороны трансформаторов 80000/220 кВ.

Для защиты микропроцессорной аппаратуры предусматривается экранирование кабеля. Так же экранирование будет использовано для прокладки вторичных цепей.

Само производство завода ХАЗ относится к первой категории по электроснабжению. Первая категория – электроприемники, перерыв электроснабжения которых может повлечь за собой угрозу для гос. безопасности, значительный экономический ущерб, опасность для жизни людей, расстройство сложного технологического процесса, нарушение функционирования особо важных элементов коммунального хозяйства, объектов связи и телевидения.

Из состава электроприемников первой категории выделяется особая группа электроприемников, бесперебойная работа которых необходима для безаварийного останова производства с целью предотвращения угрозы жизни людей, взрывов и пожаров.

Электроприемники первой категории в нормальных режимах должны обеспечиваться электроэнергией от двух самостоятельных взаимно резервирующих источников питания, и перерыв их электроснабжения при нарушении электроснабжения от одного из источников питания может быть допущен лишь на время автоматического восстановления питания.

Для электроснабжения особой группы электроприемников первой категории должно предусматриваться дополнительное питание от третьего независимого взаимно резервирующего источника питания.

Электроснабжение эл.приемников I категории с особо сложным непрерывным технологическим процессом, требующим длительного времени на восстановление нормального режима, при наличии технико-экономических обоснований рекомендуется осуществлять от 2 независимых взаимно резервирую-

щих источников питания, к которым предъявляются дополнительные требования, определяемые особенностями технологического процесса.

Общий план рассматриваемой подстанции представлен в Приложении А.

1.3 Характеристика воздушной линии 220 кВ ПС Алюминиевая – ГПП 3 ХАЗ

Проводником является провод АС–600/72. Провода изготавливаются скруткой из нескольких слоёв круглых проволок; применяются преимущественно упроченные с сердечниками, свитыми из проволок канатной стали. Используются только одиночные провода в каждой из трёх фаз.

Натяжные гирлянды сборных шин на открытой части подстанции приняты одноцепными из изоляторов ПС–70.

Длина линии 220кВ – 23 км; длина гирлянды – 2,5 м; высота опоры – 30 м. Конструкция элементов ВЛ изображена на рисунке 1.2.

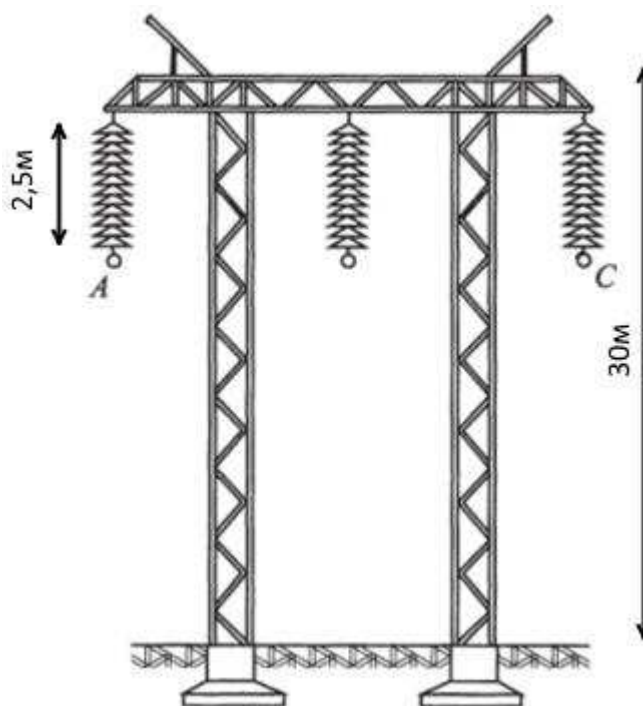


Рисунок 1.2– Конструкция элементов ВЛ

1.4 Общая характеристика подстанции Алюминиевая 500

Подстанция 500 кВ Алюминиевая, введенная в строй в 2006 году – является визитной карточкой МЭС Сибири [1]. Она была построена в рекордно короткие сроки специально для электроснабжения Хакасского алюминиевого завода компании РУСАЛ. Схема подстанции представлена на рисунке 1.3.

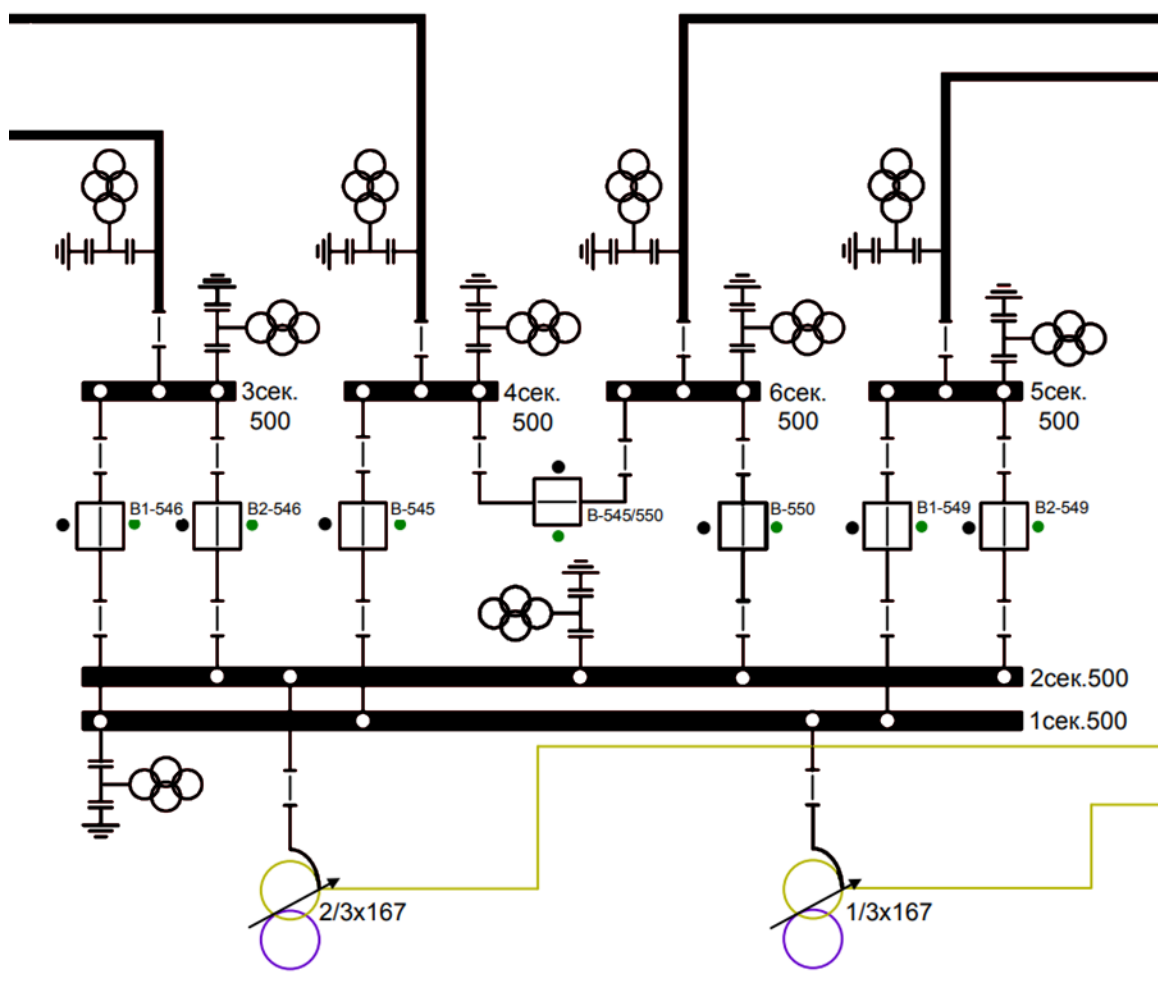


Рисунок 1.3– Схема подстанции Алюминиевая 500

Подстанция является энергообъектом нового поколения. На ней установлено самое современное оборудование ведущих мировых фирм– производителей. Все оборудование подключено к автоматизированной системе управления технологическими процессами, позволяющей контролировать и управлять подстанцией с рабочего места оперативного персонала.

К ОРУ 500 кВ подстанции подключаются три ВЛ 500 кВ: ВЛ 500 кВ на ПС Означенное (1–я и 2–я цепи) и ВЛ 500 кВ на ПС Абаканская (1–я цепь). На ХАЗ отходит четыре линии 220 кВ с суммарной номинальной нагрузкой 480 МВт.

Для размещения панелей управления, защиты, щитов собственных нужд, аккумуляторных батарей и аппаратуры связи служит здание ОПУ, которое располагается в районе ОРУ 500 кВ со стороны въезда на ПС.

На ПС установлено две группы автотрансформаторов 3хАОДЦТН– 167000/500/220У1 суммарной мощностью по 501 МВА с резервной фазой [2].

Обозначение трансформатора АОДЦТН:

- «А» – автотрансформатор
- «О» – однофазный

- «Д» – с охлаждением воздушным дутьем
- «Ц» – с принудительной циркуляцией масла
- «Т» – трёхобмоточный
- «Н» – с регулировкой напряжения под нагрузкой (РПН).

Автотрансформатор (АТ) предназначен для обеспечения связи электрических сетей напряжением 500 и 220 кВ. К стороне низкого напряжения подключена нагрузка собственных нужд подстанции. Режим работы общей нейтрали – глухое заземление

Для защиты от токов КЗ и перенапряжений на ПС установлены высоковольтные элегазовые выключатели на напряжении 500 кВ – GL 317 (завод–изготовитель ALSTOM – AREVA, Франция), на напряжении 220 кВ – HGF 1014 (завод–изготовитель ALSTOM USA), ВГТ–1А1–220–40/3150ХЛ1 (завод–изготовитель ЗАО «Энергомаш – Уралэлектротяжмаш» г. Екатеринбург).

Для преобразования значений первичного напряжения в стандартизованное значение, удобное для измерения и использования в устройствах РЗА, а также для отделения цепей и устройств РЗА от сети высокого напряжения, что обеспечивает доступность и безопасность их обслуживания, на ПС установлены емкостные трансформаторы напряжения типа ТЕМР производства компании Trench класса напряжения 500 и 220 кВ: ТЕМР 550 и ТЕМР 245 и измерительный трансформатор тока типа IOSK производства компании Trench класса напряжения 500 и 220 кВ – IOSK 550 и IOSK 245 и трансформаторы тока типа ТГФМ класса напряжения 220 кВ – ТГФМ–220П. Кроме того, емкостные трансформаторы напряжения установленные на ВЛ 545, 546 и 550, используются в качестве конденсаторов связи для организации каналов ПА и связи.

На напряжении 500, 220 кВ установлены разъединители–горизонтально–поворотные с подшипниковыми устройствами, не требующими обслуживания в течение всего срока службы, и двигательными приводами на главных и заземляющих ножах.

Для компенсации реактивной мощности и поддержания параметров качества электроэнергии на шинах 220 кВ подстанции установлена батарея статических конденсаторов (БСК) (ООО НПЦ «Энерком Сервис» г. Москва) типа КБ–220–129600–УХЛ1. Батарея скомплектована из конденсаторных элементов типа КЭПФ–12–450–2УХЛ1 (ОАО СКЗ «КВАР» г. Серпухов).

Конденсаторная батарея представлена на рисунке 1. состоит из шести блоков, по 2 блока на фазу. Блок выполнен в виде металлической конструкции, разделённой опорными изоляторами на 3 этажа. Фаза батареи собирается по схеме четырёхплечего моста в диагональ которого включен трансформатор тока небалансной защиты (НБЗ). Каждое плечо состоит из 24 конденсаторов (шесть последовательно, четыре параллельно). Батарея комплектуется конденсаторами типа КЭПФ–12–450–2УХЛ1. Конденсаторы установлены горизонтально, выводы конденсаторов соединены друг с другом и с выводами конденсаторной батареи гибкой ошиновкой и алюминиевыми шинами, обеспечивающими температурную компенсацию. Общая шина двух плечей моста верхней части конденсаторной батареи закреплена на опорных изоляторах и подключе-

на к выключателю (с другой стороны к токоограничивающему реактору). Выводы каждого плеча в нижней части конденсаторной батареи подключаются к выводам трансформатора тока НБЗ типа ТГФМ–220. Конденсаторная батарея типа КБ–220–129600 изображена на рисунке 1.4.

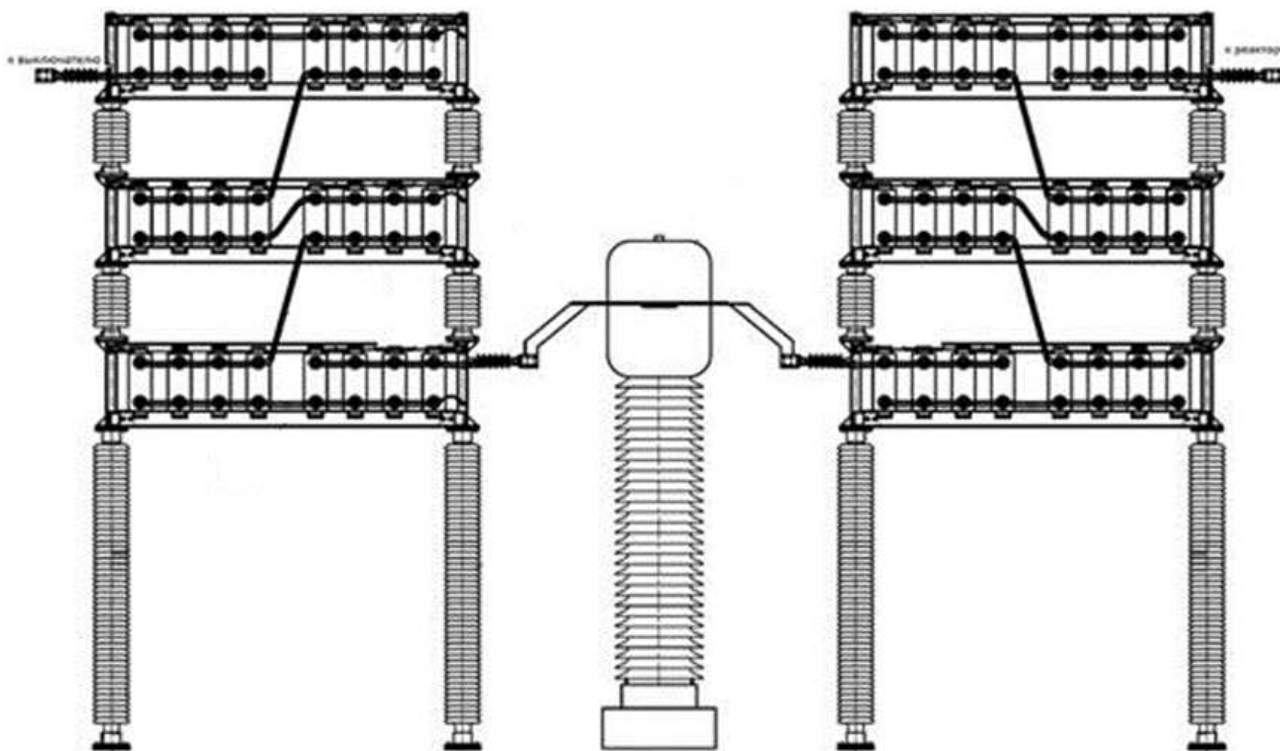


Рисунок 1.4 – Конденсаторная батарея типа КБ–220–129600–УХЛ1

Оборудование, устанавливаемое на открытой территории ПС, принято в исполнении для умеренного климата и с категорией размещения для эксплуатации на открытом воздухе «У1»

Собственные нужды ПС питаются от трех независимых источников: 1АТ, 2АТ и сторонний источник питания ВЛ 10 кВ от РП 10.

Суммарная нагрузка собственных нужд переменного тока составляет 960 кВА. Для подключения нагрузок собственных нужд переменного тока в ОПУ предусматривается два щита СН: щит СН общих нагрузок с расчетной нагрузкой 457 кВА и щит СН зимних нагрузок с расчетной нагрузкой 515 кВА.

Каждый щит состоит из двух секций, работающих отдельно, с секционным автоматом, оборудованным устройством АВР.

Для питания потребителей собственных нужд на ПС 500 кВ «Алюминиевая» установлены четыре стационарных, заполненных трансформаторным маслом понижающих трехфазных двухобмоточных силовых трансформатора напряжением 10/0,4 кВ общего назначения нормального конструктивного исполнения мощностью по 630 кВА типа ТМ–630/10У1.

На ПС принят постоянный оперативный ток. Для питания устройств РЗА и приводов выключателей установлено две аккумуляторные батареи. Аккумуля-

ляторные батареи малообслуживаемые, закрытого исполнения, номинальной емкостью 500 Ач, из 104 элементов, со сроком службы не менее 15 лет. Для каждой АБ предусмотрен щит постоянного тока и по два зарядно–подзарядных агрегата. Установка аккумуляторных батарей в ОПУ предусматривается на сейсмостойких стеллажах.

Защиты автотрансформатора 1АТ (2АТ) подразделяются на основные и резервные.

К основным защитам автотрансформатора относятся:

- газовая защита бака автотрансформатора (ГЗ бака АТ);
- газовая защита РПН (ГЗ РПН);
- дифференциальная токовая защита автотрансформатора (ДЗТ);
- контроль изоляции вводов 500 кВ (КИВ–500);
- дифференциальная токовая защита ошиновки (ДЗО) 500 кВ;
- дифференциальная токовая защита ошиновки (ДЗО) 220 кВ;
- дифференциальная токовая защита ошиновки (ДЗО) 10 кВ;
- технологические защиты автотрансформатора;

Основные защиты реагируют на внутренние повреждения автотрансформатора, ошиновки 500кВ, 220кВ, 10кВ и действуют на отключение АТ со всех сторон без выдержки времени и без пуска АПВ, за исключением ДЗО–220 и ДЗО–500, которые могут работать с пуском АПВ при соответствующем положении ключей ввода АПВ.

К резервным защитам автотрансформатора относятся:

- дистанционная защита (ДЗ) 500кВ;
- дистанционная защита (ДЗ) 220кВ;
- защита от замыканий на землю (ЗЗ) 500 кВ;
- защита от замыканий на землю (ЗЗ) 220 кВ;
- максимальная токовая защита (МТЗ) стороны 10 кВ;

Резервные защиты предназначены для резервирования основных защит автотрансформатора и защиты АТ от внешних повреждений в сети 500, 220, 10 кВ и действуют на отключение АТ со всех сторон с выдержкой времени и пуском АПВ.

Дуговая защита предназначена для быстрой ликвидации коротких замыканий, могущих возникнуть в любом отсеке ячеек. Все ячейки РУСН–10 оснащены дуговой защитой. Для этого в кабельном отсеке, отсеке с выкатным элементом и отсеке сборных шин установлены фототиристоры, реагирующие на вспышки электрической дуги при коротких замыканиях (КЗ). Ликвидация КЗ происходит отключением участка электрической цепи, в зависимости от того в каком месте возникло КЗ.

Защиты фидеров 10кВ и управление выключателями в ячейках выполнены на терминалах 7SJ семейства Siprotec фирмы Siemens. В терминалах использованы функции МТЗ, ЗЗ и УРОВ.

Схемой АВР–10 кВ предусмотрена автоматическая подача напряжения на 1(2) секцию 10 кВ в случае аварийного отключения В–1АТ–10 (В–2АТ–10) защитами 1АТ(2АТ) от 3 секции включением 1СВ–10 (2СВ–10). Включение

1СВ–10 (2СВ–10) происходит по факту аварийного отключения вводного выключателя с контролем отсутствия напряжения на 1(2) секции и наличия напряжения на 3 секции 10 кВ. Обратное автоматическое восстановление до аварийной схемы не предусмотрено.

Защита ВЛ 220 кВ состоит из двух комплектов, выполненных на терминалах семейства Siprotec4 фирмы Siemens. Каждый терминал является цифровым, многофункциональным устройством защиты и управления. С её помощью выполняются различные задачи от регистрации измеряемых величин, их полной цифровой обработки и до выдачи команд управления на выключатели. Аналоговые входы преобразуют сигналы от измерительных трансформаторов тока и напряжения до уровней, позволяющих производить их обработку внутри устройства. [3]

Дифференциальная токовая защита шин 220кВ предназначена для быстрого и селективного отключения шин при повреждениях на шинах и оборудовании, присоединенного к шинам 220кВ. ДЗШ–220 относится к абсолютно селективным защитам и является основной защитой шин 220кВ. ДЗШ–220 выполнена на дифференциальном токовом принципе, с включением реагирующих токовых органов на геометрическую сумму вторичных токов присоединений.

Защита ВЛ 500 кВ осуществляется терминалами семейства Siprotec 4 фирмы Siemens. Для защиты, автоматики и управления ВЛ 500 кВ используются следующие терминалы:

Основная защита:

– Продольная дифференциальная защита линии (ДЗЛ) – выполнена на микропроцессорном терминале 7SD522.

Резервные защиты:

– резервная защита с разрешающим сигналом (РЗ с РС) – терминал 7SA522;

– резервная защита с блокирующим сигналом (РЗ с БС) – терминал 7SA522.

Линейная автоматика :

– АПВ, УРОВ В1–545(546, 550) 1к – терминал 7VK61;

– АПВ, УРОВ В1–545(546, 550) 2к – терминал 7VK61;

– АПВ, УРОВ В2–545(546, 550) 1к – терминал 7VK61;

– АПВ, УРОВ В2–545(546, 550) 2к – терминал 7VK61;

Управление выключателем:

– управление В1–545(546, 550) – терминал 6MD66;

– управление В2–545(546, 550) – терминал 6MD66;

Дифференциальная защита является основной быстродействующей защитой линии. ДЗЛ абсолютно селективная, так как по принципу своего действия срабатывает только при КЗ на защищаемом участке [4].

Защита работает при всех видах КЗ. При однофазном КЗ ДЗЛ отключает повреждённую фазу с пуском ОАПВ. При междуфазном КЗ происходит отключение 3х фаз с пуском ТАПВ. Режимы работы ТАПВ и ОАПВ задаются ключами терминалов АПВ, УРОВ (7VK611) [5].

Резервные защиты линии выполнены в идентичных терминалах защит (7SA522), которые включают в себя:

- пятиступенчатую дистанционную защиту (ДЗ);
- четырёхступенчатую защиту от замыканий на землю (ЗЗ);
- защиту от неполнофазного режима (ЗНФР);
- телеотключение (ТО);
- телеускорение с разрешающими сигналами (для терминала РЗ с РС);
- телеускорение с блокирующими сигналами (для терминала РЗ с БС).

Защита ПС от прямых ударов молнии в соответствии с ПУЭ осуществляется при помощи молниеотводов, совмещенных с конструкциями ОРУ и отдельностоящих молниеотводов. Молниезащита зданий ПС, не входящих в зону защиты молниеотводов, (ЗВН и насосные I подъема) выполнено путем присоединения металлических несущих конструкций крыши к заземляющему устройству ПС.

Защита электрооборудования класса напряжения 220 (500) кВ от внутренних и грозовых перенапряжений предусматривается при помощи ограничителей перенапряжений нелинейных типа ОПН–220/157–10(II)IV УХЛ1 (ОПН–500/318–20(IV)IV УХЛ1).

О – ограничитель;

П – перенапряжений;

Н – нелинейный;

220 – класс напряжения сети, кВ

157 – длительное рабочее напряжение промышленной частоты, кВ

10 – номинальный разрядный ток, кА

(II) – группа разрядного тока

IV – степень загрязнения по ГОСТ 9920–89

УХЛ1 – климатическое исполнение и категория размещения по ГОСТ 15150–69

Между изолированным основанием и цепью заземления ограничителя установлен датчик тока типа ДТУ–03, позволяющий при подключении специального оборудования измерять величины тока проводимости под рабочим напряжением.

2. Аналитическая часть

2.1 Общие требования к релейной защите

В общем случае к релейной защите, действующей при повреждениях на отключение, предъявляются следующие четыре основных технических требования [6]:

– Селективность:

Селективностью, или избирательностью, называется действие защиты, обеспечивающее отключение только поврежденного элемента системы посредством его выключателей. Существует два вида селективности:

1) Абсолютная селективность. Защита с абсолютной селективностью реагирует на короткие замыкания только в зоне ее действия, и не будет срабатывать при внешних коротких замыканиях. Эта особенность позволяет выполнять защиту без выдержки времени.

2) Относительная селективность. Защита с относительной селективностью реагирует как на короткие замыкания в зоне защищаемого элемента, так и в зоне смежных элементов сети. Для согласованного действия защит смежных элементов в защитах таких типов используют выдержки времени. Следовательно, защита с относительной селективностью работает медленнее защиты с абсолютной селективностью, при этом способна резервировать защиты смежных элементов сети и производить отключение в случае их отказа.

Таким образом, требование селективности является главным условием для обеспечения бесперебойного питания потребителей. Селективное действие автоматики при наличии резервного питания потребителей дает возможность исключить перерывы в их электроснабжении. При отсутствии резервирования даже при селективном действии защит возможна потеря питания. Т.к. повреждение на ВЛ носят в основном временный характер. Наиболее эффективно в этом случае будет применение АПВ.

Требование селективности не должно исключать возможность действия защит как резервных в случаях отказа защит или выключателей смежных элементов.

– Быстрота отключения:

В большинстве случаев к релейной защите, действующей при повреждениях на отключение, предъявляется требование быстродействия.

Это определяется следующими основными соображениями

1) Ускорение отключения повреждений повышает надежность параллельной работы генераторов в системе и дает возможность увеличить пропускную способность ВЛ электропередачи.

2) Ускорение отключения повреждений уменьшает время работы потребителей при пониженном напряжении.

3) Ускорение отключения повреждений уменьшает размер разрушения поврежденного элемента. Уменьшается время, затрачиваемое на проведение восстановительного ремонта и уменьшается затраты на него.

4) Ускорение отключения повреждений повышает эффективность АПВ

поврежденных линий электропередач.

Разрешенное время отключения КЗ по условию сохранения устойчивости зависит от нескольких обстоятельств. Основным из них является величина остаточного напряжения на шинах электростанций и узловых подстанций энергосистемы. Чем меньше остаточное напряжение, тем хуже условия устойчивости и, следовательно, тем быстрее нужно отключить КЗ. Наиболее тяжелыми по условию устойчивости являются трехфазные КЗ.

В новейших энергосистемах для сохранения устойчивости требуется весьма малое время отключения КЗ. Так например на электропередачах 330–500кВ необходимо отключить повреждения за 0,10–0,20 сек. после его повреждения, а в сетях 110–220кВ – за 0,15–0,3 сек. В распределительных сетях 6–10кВ короткие замыкания отделенные от источника большими сопротивлениями можно отключить со временем 1,5–3 сек., так как они не влияют на устойчивость системы. Точная оценка допустимого времени отключения производится с помощью специальных расчетов устойчивости проводимых для этой цели.

В качестве приближенного критерия (меры) необходимости применения быстродействующих защит Правила устройства электроустановок (ПУЭ) рекомендуют определить остаточное напряжение на шинах электростанций и узловых подстанций при трехфазном КЗ в интересующей нас точке КЗ. Если остаточное напряжение получается меньше 60% номинального, то для сохранения устойчивости следует применять быстрое отключение повреждений, т.е. применять быстродействующую защиту (ПУЭ, п.3.2.108).

В качестве примера цифр могут быть названы следующие минимальные времена отключения КЗ:

- 1). на электропередачах 400–500кВ – 0,1–0,12 сек.;
- 2) на линиях 110–330кВ отходящих от современных мощных тепловых станций, с мощными турбогенераторами, имеющими форсированное охлаждение обмоток – 0,15–0,2 сек.;
- 3) в сетях 110–330кВ с турбогенераторами старой конструкции – 0,2–0,3 сек.

Однако в некоторых случаях простая и экономичная защита не может одновременно удовлетворять требованиям селективности и быстродействия. Тогда необходимо выяснить и сопоставить, не нарушается ли при селективных, но медленных отключениях повреждений работа потребителей неповрежденной части системы в большей мере, чем при неселективных, но быстрых отключениях повреждений.

– Чувствительность:

Удовлетворение требований необходимой чувствительности в современных электрических сетях часто встречает ряд серьезных затруднений. Релейная защита должна быть достаточно чувствительной к повреждениям и ненормальным режимам работы, которые могут возникнуть на защищаемых элементах электрической системы.

Например, при передаче больших мощностей в районы потребления от-

деленные иногда на сотни километров, используются сети высокого напряжения с большой пропускной способностью отдельных ЛЭП. При этом ток КЗ в поврежденных линиях при учете возможных минимальных режимах работы станций и повреждений через большие переходные сопротивления (электрическая дуга) могут быть соизмеримы, или даже меньше максимальных токов КЗ. Это приводит к отказу от применения простых токовых защит и заставляет переходить на более сложные и дорогие типы защитных устройств. Поэтому с учетом опыта эксплуатации и уровня техники к защитам предъявляется минимальные требования в отношении чувствительности.

Чувствительность защиты должна быть такой, чтобы она действовала при КЗ в конце установленной для нее зоны в минимальном режиме системы и при замыканиях через электрическую дугу.

– Надежность:

Защита должна правильно и безотказно действовать на отключение выключателей оборудования при всех его повреждениях и нарушениях нормального режима работы, на действие при которых она предназначена и не действовать в режимах, при которых ее работа не предусматривается. Пример рассмотрим на рисунке 2.1.

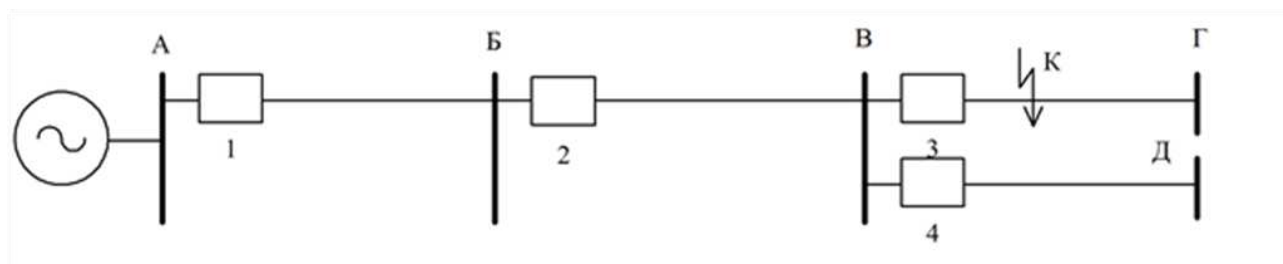


Рисунок 2.1 – схема-пример требования надежности.

Например, при КЗ в точке К и отказе защиты В3 срабатывает защита В2, в результате чего вместо погашения одной подстанции Г мы обесточим три подстанции Г, Д, В, а при неправильной работе в нормальном режиме защиты В1 потеряют питание потребители четырех подстанций Б, В, Г, Д. Таким образом, необходимо понимать, что должна срабатывать только защита поврежденной линии. Защиты неповрежденных линий и других элементов системы (генераторов, трансформаторов) могут при этом производить действие, но не срабатывать. Срабатывание защит неповрежденных элементов должна иметь место только в случае, если они предназначены действовать как резервная при отказе защиты или выключателя поврежденной линии [7]. Основным предпосылками, обеспечивающими как надежность срабатывания, так и надежность несрабатывание является высокое качество используемых реле, характеризующее их принципом действия, конструкцией и технологией исполнения, высокое качество вспомогательных устройств и правильное ведение эксплуатации. Однако имеются факторы, противоположно воздействующие на две рассмотренные стороны надежности. Чем больше минимальное число реле и других элементов, которое должно участвовать в срабатывании защиты тем меньше надежность ее

срабатывания.

При наличии в защите нескольких параллельно работающих независимых устройств, а иногда и отдельных реле или элементов надежность срабатывания повышается. С другой стороны, повышается ненадежность срабатывания. Необходимо иметь в виду, что устройства РЗА при повреждениях в электрической системе в целом должны по воздействиям соответствующих, обычно электрических величин, значительно чаще не срабатывать, чем срабатывать.

Принимая во внимание вышеизложенное, в настоящее время максимальное упрощение схем защит следует считать основным требованием предъявляемой к релейной защиты. Требование надежности является очень важным. Отказ в работе или неправильное действие защиты всегда приводит к дополнительным отключениям и т.п [8].

2.2 Обзор типов устройств релейной защиты для защиты воздушной линии 220 кВ

В качестве основной защиты двухцепной линии электропередач 220 кВ выбрано устройство Siprotec – это новое поколение цифровых устройств релейной защиты, которое характеризуется высочайшим уровнем модульности, гибкости и интеллектуальности [9]. Продуктовая линейка полевых устройств Siprotec включает аппаратную и программную часть с модульной архитектурой, а также мощный инженерный инструмент DIGSI 5. Она идеально подходит для задач защиты, управления, контроля и измерения в электроэнергетических системах. Siprotec Siemens уже десятки лет утверждается на энергетическом рынке в качестве эффективного и полного семейства цифровых устройств релейной защиты и периферийных устройств производства компании Siemens. Модуль Siprotec Siemens представлен на рисунке 2.2 [10].



Рисунок 2.2 – модуль Siprotec Siemens.

Устройства релейной защиты Siprotec Siemens можно использовать абсолютно в любых сетях среднего и высокого напряжения.

Системы Siprotec Siemens позволят твердо и уверенно держать под контролем свои установки и иметь прочную основу для эффективного решения любых задач в современных интеллектуальных сетях. Для решения разнообразных задач Вы сможете произвольно комбинировать устройства различных серий Siprotec Siemens – системы Siprotec Siemens универсальны, открыты и перспективны [11].

Siprotec предназначено для защиты, управления и контроля воздушных и кабельных линий во всех типах сетей. Подходит для защиты тяжело нагруженных линий и многоконцевых линий, в которых требуется как одно-, так и двух-, и трехфазное отключение. Интеллектуальное устройство также подходит для защиты кабельных линий, идущих к блоку «генератор–трансформатор».

Дифференциальная токовая защита обеспечивает оптимальную чувствительность к повреждениям через большое переходное сопротивление и надежный выбор поврежденной фазы.

Интеллектуальное устройство может иметь функции оперативного управления и оперативных блокировок, включая взаимодействие с функцией контроля синхронизма, что позволяет интегрировать различные уровни управления [12].

Дополнительная логика, конфигурируемая пользователем с помощью графического инструментария, обеспечивает возможность специфического применения, например, автоматическое отключение разъединителей в схемах с несколькими выключателями, включение кольцевых схем выключателей, логика АВР и т.д. Графический инструмент конфигурации позволяет выполнить тестирование и пуско-наладочные работы просто и быстро.

Последовательная передача данных по оптическим каналам связи обеспечивает устойчивость к помехам.

Гибкость применения делает данное устройство наилучшим решением как для новых установок, так и для модернизации существующих [13].

2.3 Обзор конструкций трансформаторов тока 220 кВ

Приведенные требования к трансформаторам тока соответствуют рекомендациям ПУЭ. Для работы релейной защиты применяют обмотки ТТ класса 0,5 и 10Р, для которых нормируется предельная кратность тока КЗ. Подключение релейной защиты к обмоткам для измерений недопустимо [14].

Трансформаторы тока должны удовлетворять следующим требованиям:

- обеспечивать срабатывание при КЗ в начале защищаемой зоны в условиях повышенной погрешности ТТ;
- обеспечивать допустимое напряжение на выводах вторичной обмотки трансформаторов тока при КЗ в защищаемой зоне.

Выбор расчетного тока:

- Точная работа защиты обеспечивается при погрешности обмоток ТТ

10Р менее 10% в режиме установившегося КЗ с расчетным первичным током $I_{расч}$ [15].

Значение $I_{расч}$ выбирается различно для разных типов релейной защиты:

– для токовых защит с независимой характеристикой выдержки времени, в том числе для ТО без выдержки времени, $I_{расч} = 1,4 I_{с.з.}$. В этих защитах достаточно обеспечить надежную и точную работу при токе срабатывания защиты. При более близких КЗ с более высокими значениями первичных токов измеренный ток всегда будет больше уставки срабатывания, несмотря на большую погрешность;

– для дистанционной защиты линии с односторонним питанием $I_{расч}$ принимается равным наибольшему значению тока КЗ в конце первой зоны защиты.

В проекте будет использоваться трансформатор тока ТФНД–220

Трансформаторы тока ТФНД предназначены для передачи сигнала измерительной информации приборам измерения, защиты, автоматики, сигнализации и управления в электрических цепях переменного тока частотой 50 Гц.

Принцип действия трансформаторов тока основан на законе электромагнитной индукции. Ток первичной обмотки трансформатора создает переменный магнитный поток в магнитопроводе, вследствие чего во вторичной обмотке создается ток, пропорциональный первичному току.

Трансформаторы тока выполнены в виде опорной конструкции. Выводы первичной обмотки расположены на верхней части трансформаторов. В качестве первичной обмотки используется шина или кабель. Выводы вторичной обмотки расположены на корпусе трансформатора и закрываются защитной металлической крышкой с целью ограничения доступа к измерительной цепи. Общий вид трансформаторов тока приведен на рисунке 2.3.



Рисунок 2.3 – Общий вид трансформатора ток.

Трансформатор тока – трансформатор, первичная обмотка которого подключена к источнику тока, а вторичная обмотка замыкается на измерительные или защитные приборы, имеющие малые внутренние сопротивления.

Измерительный трансформатор тока – трансформатор, предназначенный для преобразования тока до значения, удобного для измерения. Первичная обмотка трансформатора тока включается последовательно в цепь с измеряемым переменным током, а во вторичную включаются измерительные приборы. Ток, протекающий по вторичной обмотке трансформатора тока, пропорционален току, протекающему в его первичной обмотке.

Трансформаторы тока используются для измерения электрического тока и в устройствах релейной защиты электроэнергетических систем, в связи с чем на них накладываются высокие требования по точности. Трансформаторы тока обеспечивают безопасность измерений, изолируя измерительные цепи от первичной цепи с высоким напряжением.

К трансформаторам тока предъявляются высокие требования по точности. Как правило, трансформатор тока выполняют с двумя и более группами вторичных обмоток: одна используется для подключения устройств защиты, другая, более точная – для подключения средств учёта и измерения (например, электрических счётчиков) [16].

Важными параметрами трансформаторов тока являются коэффициент трансформации и класс точности.

Коэффициент трансформации трансформатора тока определяет номинал измерения тока и означает при каком первичном токе во вторичной цепи будет протекать определённый стандартный ток (чаще всего это 5 А, редко 1 А). Первичные токи трансформаторов тока определяются из ряда стандартизированных номинальных токов.

Коэффициент трансформации трансформатора тока обычно записывается в виде отношения номинального первичного тока ко номинальному вторичному в виде дроби, например: 75/5 (при протекании в первичной обмотке тока 75 А – 5А во вторичной обмотке, замкнутой на измерительные элементы) или 1000/1 (при протекании в первичной цепи 1000 А, во вторичных цепях будет протекать ток 1 А).

Обозначение трансформатора ТФНД:

- «Т» – трансформатор тока;
- «Ф» – в фарфоровой крышке;
- «Н» – для наружной установки;
- «Д» – с обмоткой для дифференциальной защиты.

2.4 Обзор конструкций трансформаторов напряжения 220 кВ

Требования к трансформаторам напряжения.

Измерение сопротивления изоляции обмотки ВН трансформаторов напряжения производится мегаомметром на напряжение 2500 В.

Измерение сопротивления изоляции вторичных обмоток, а также связующих обмоток каскадных трансформаторов напряжения производится мегаомметром на напряжение 1000 В.

Измеренные значения сопротивления изоляции должны быть не менее 300 Мом для основной изоляции и 50 Мом для вторичной обмотки.

Испытание изоляции обмотки ВН повышенным напряжением частоты 50 Гц проводятся для трансформаторов напряжения с изоляцией всех выводов обмотки ВН этих трансформаторов на номинальное напряжение.

Длительность испытания трансформаторов напряжения – 1 мин.

Значение испытательного напряжения для изоляции вторичных обмоток вместе с присоединенными к ним цепями принимается равным 1 кВ.

Продолжительность приложения испытательного напряжения – 1 мин.

При вводе в эксплуатацию трансформаторов напряжения масло должно быть испытано в соответствии с современными требованиями [17].

Чем меньше нагружена вторичная обмотка трансформатора напряжения (другими словами, чем больше сопротивление в цепи вторичной обмотки), тем фактический коэффициент трансформации K_t ближе к номинальному значению. Это особенно важно при подключении ко вторичной цепи измерительных приборов, так как коэффициент трансформации влияет на точность измерений. В зависимости от нагрузки один и тот же трансформатор напряжения может работать в разных классах точности: 0,5; 1; 3.

В проекте будет использоваться трансформатор напряжения НКФ–220. Трансформатор напряжения НКФ–220 и его габариты изображены на рисунке 2.4.

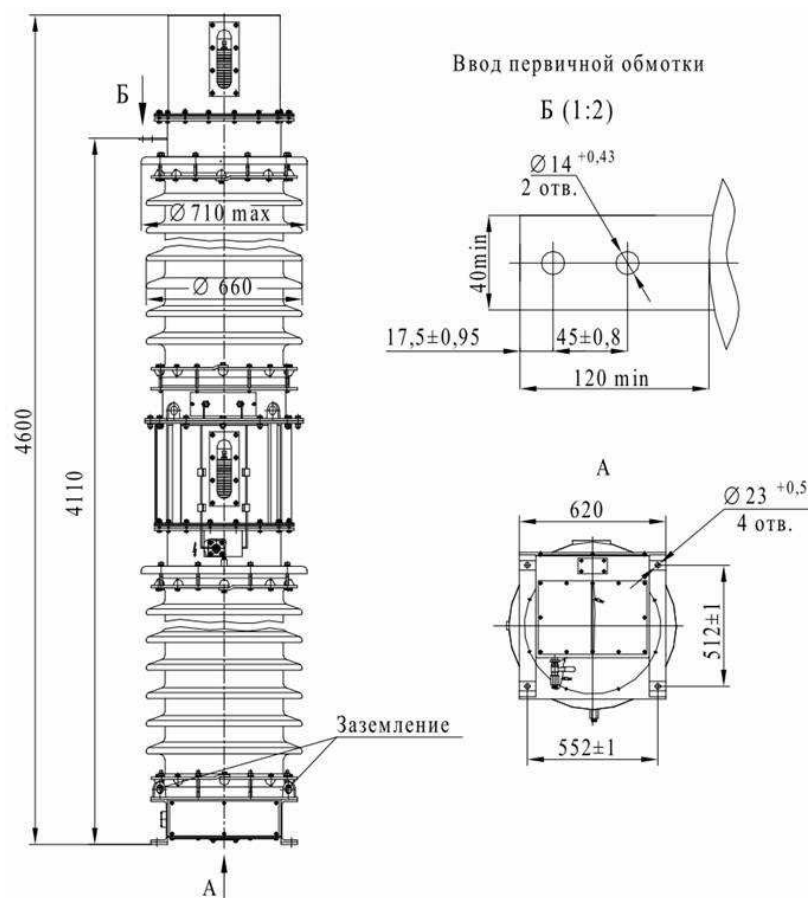


Рисунок 2.4– Трансформатор напряжения НКФ–220 и его габаритные размеры.

Трансформаторы напряжения НКФ–220 предназначены для подключения

электрических измерительных приборов и защитных устройств в высоковольтных электрических сетях переменного тока частоты 50 Гц с заземленной нейтралью.

Трансформаторы напряжения выполнены в виде двух блоков: верхнего и нижнего, установленных друг на друга и электрически связанных. Каждый блок состоит из активной части, помещенной в изоляционную крышку, залитую трансформаторным маслом и установленную на основание. Активная часть представляет собой магнитопровод с насаженными на его стержни обмотками. Обмотки трансформатора подразделяются на обмотку ВН (первичную), обмотки НН (вторичные: основную и дополнительную), обмотки выравнивающие и связующие. Выравнивающие обмотки служат для снижения магнитного рассеяния. Связующие обмотки осуществляют электромагнитную связь между магнитопроводами верхнего и нижнего блоков трансформатора.

Линейный ввод А первичной обмотки находится в верхней части трансформатора, а заземляемый ввод Х, и вводы вторичных обмоток а; х; а_д; х_д расположены на основании трансформатора. Трансформаторы предназначены для работы в трехфазной группе. Трансформаторы предназначены для работы на открытом воздухе в условиях.

Поскольку вторичная обмотка используется в коммерческом учете, трансформатор напряжения необходимо пломбировать. Места пломбировки указаны на рисунке 2.5.

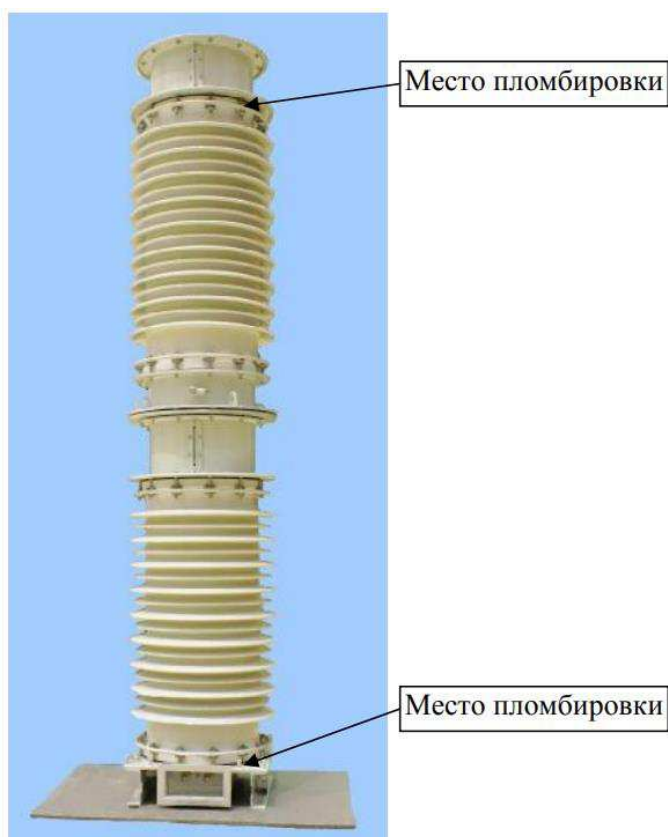


Рисунок 2.5 – Места пломбировок НКФ–220.

Коэффициент трансформации трансформатора напряжения определяет номинал измерения напряжения и означает при каком первичном напряжении во вторичной цепи будет протекать определённое стандартное напряжение 100В. Первичное значение трансформаторов напряжения определяется из ряда стандартных классов напряжения.

Таким образом, при классе первичного напряжения 220кВ, вторичное (преобразованное), будет 100В [18].

Обозначения НКФ–220:

- «Н» – трансформатор напряжения;
- «К» – электромагнитный каскадный;
- «Ф» – фарфоровая крышка;

220 – наибольшее рабочее напряжение первичной обмотки, кВ;

Условия эксплуатации:

– Температура окружающего воздуха для климатических исполнений: У1 от минус 45 до 50°С, ХЛ1 – от минус 60 до 50°С, Т1 – от минус 10 до 60°С.

– Высота над уровнем моря не более 1 000 м, допускается работа трансформатора на высоте не более 4 300 м над уровнем моря (при давлении до 400 мм рт. ст.).

– Окружающая среда невзрывоопасная, не содержащая токопроводящей пыли, агрессивных газов и паров в концентрациях, разрушающих металлы.

– Режим работы продолжительный.

В комплект поставки входят:

- трансформатор;
- комплект запасных частей и демонтируемые на период транспортирования сборочные единицы и детали, паспорт,
- руководство по эксплуатации.

Гарантийный срок – 3 года со дня ввода трансформатора в эксплуатацию, но не более 3,5 лет со дня отгрузки с предприятия–изготовителя [19].

Проверка трансформаторов производится по ГОСТ 8.216 ТСИ. «Трансформаторы напряжения. Методика проверки».

Межпроверочный интервал 4 года.

3. Практическая часть

3.1 Выбор защит воздушной линии

Для линии в сетях 220 кВ с эффективно заземленной нейтралью должны быть предусмотрены устройства релейной защиты от многофазных замыканий.

При необходимости осуществления быстродействующего АПВ на линии должна быть установлена быстродействующая защита, обеспечивающая отключение поврежденной линии без выдержки времени с обеих сторон. При отключении с выдержкой времени повреждений с токами, в несколько раз превосходящими номинальный, возможен недопустимый перегрев проводников. ¶

В качестве основной защиты будет применена дистанционная защита.

В качестве дополнительной защиты используется токовая отсечка без выдержки времени, токовая защита нулевой последовательности.

Устройства АПВ должны предусматриваться для быстрого восстановления питания потребителей или межсистемных и внутрисистемных связей путем автоматического включения выключателей, отключенных устройствами релейной защиты.

3.2 Расчет токов КЗ

В расчете токов короткого замыкания сравним данные предоставленные АО «Русал–Саяногорск» и расчеты с помощью программного обеспечения СИМП РЗА.

СИМП РЗА – Это инструмент для эффективного обслуживания, управления и расчетов релейной защиты. Программа позволяет:

- создавать модели энергосистем;
- рассчитывать действующие значения токов и напряжений;
- анализировать и выбирать защиты в выбранных областях энергосистемы.

мы.

Общая схема «Генератор–потребитель» представлена в приложение Б.

В качестве исходных, использованы данные о параметрах кабельных и воздушных линий сетей 220 кВ, о типе (характере) нагрузки, которые были предоставлены специалистами АО «Русал–Саяногорск». На рисунке 3.1, 3.2 представлена схема использованная в программе СИМП РЗА.

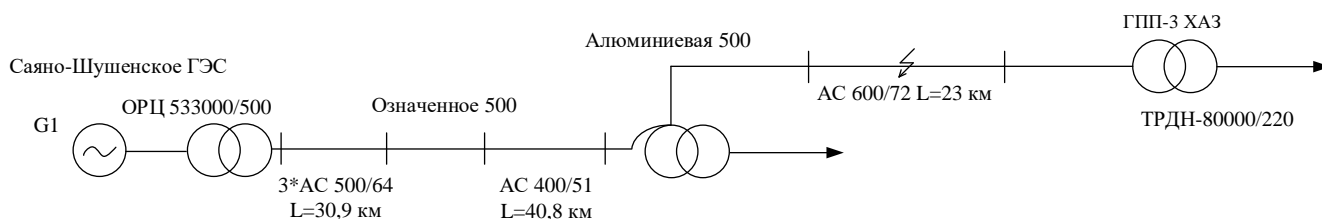


Рисунок 3.1 – Общая схема использованная для ПО СИМП РЗА

Выделим место короткого замыкания на воздушной линии.

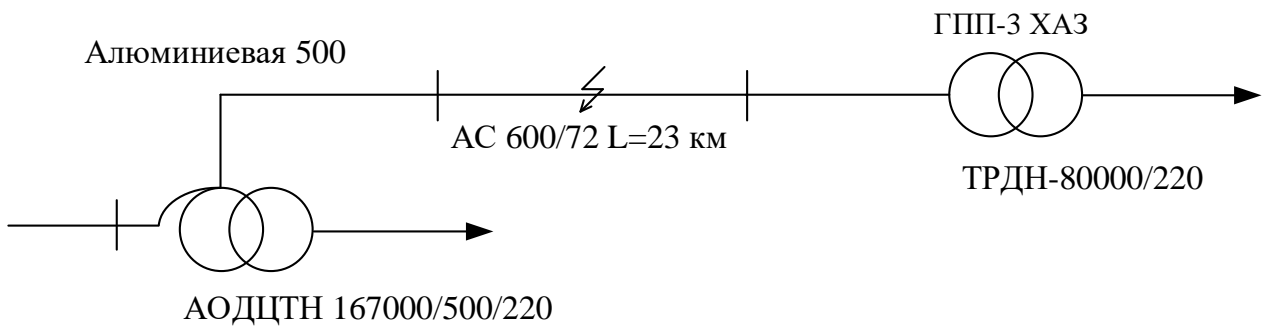


Рисунок 3.2 – Место короткого замыкания на ВЛ 220 кВ.

Определяем величину тока трехфазного короткого замыкания с помощью ПО СИМП РЗА [20]. Результаты расчетов представлены на рисунке 3.3.

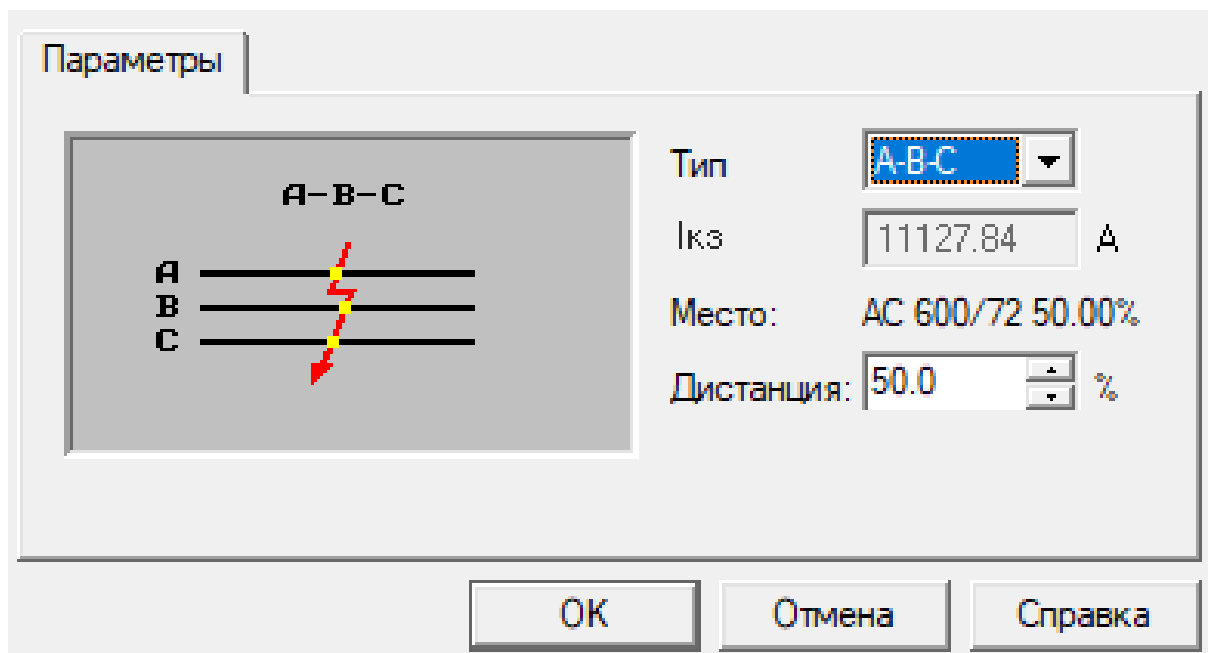


Рисунок 3.3 – Ток трехфазного короткого замыкания.

Так же определяем величину тока однофазного короткого замыкания с помощью ПО СИМП РЗА. Результаты расчетов представлены на рисунке 3.4

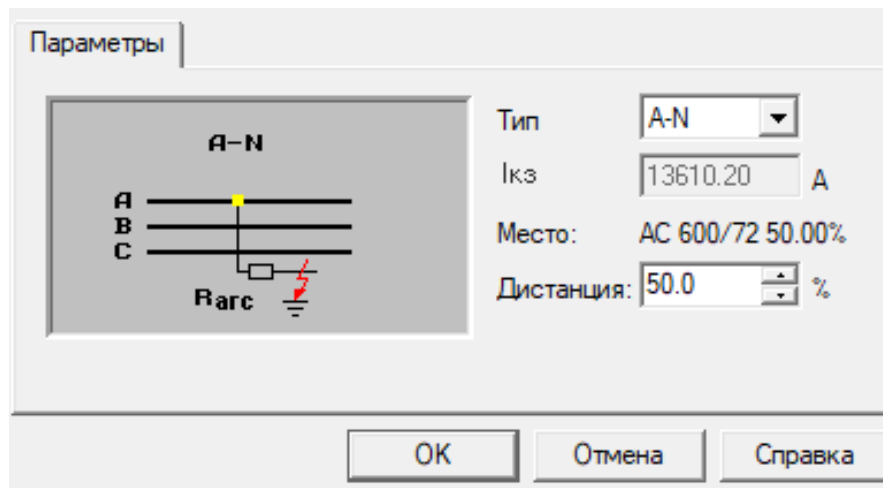


Рисунок 3.4 – Ток однофазного короткого замыкания.

Поскольку линии Д–85 и Д–88 параллельны, параметры короткого замыкания будут одинаковы.

Сравним полученные данные с данными представленными АО «Русал–Саяногорск».

Согласно данных, предоставленных АО «Русал–Саяногорск», расчетные токи КЗ на шинах 220 кВ ПС 220 кВ ГПП–3 ХАЗ составляют:

Максимальный режим работы сети при питании Д–85, Д–88 от ПС 500 кВ «Алюминиевая»:

Ток трехфазного короткого замыкания: $I^{(3)} = 11088 \text{ А}$,

Ток однофазного короткого замыкания: $3I_0^{(1)} = 13545 \text{ А}$.

Минимальный режим работы сети при питании Д–85, Д–88 от ПС 500 кВ «Алюминиевая»:

Ток трехфазного короткого замыкания: $I^{(3)} = 9300 \text{ А}$,

Ток однофазного короткого замыкания: $3I_0^{(1)} = 11368 \text{ А}$.

Расчет токов КЗ проведем при следующих допущениях:

- трехфазная система считается симметричной;
- не учитываются переходные сопротивления в месте КЗ, т.е. короткое замыкание считается металлическим;
- в течение всего процесса КЗ ЭДС всех генераторов системы совпадают по фазе (отсутствует качание генераторов);
- насыщение магнитных систем не учитывается, что позволяет считать постоянными не зависящими от тока индуктивные сопротивления всех элементов короткозамкнутой цепи;
- намагничивающими токами силовых трансформаторов пренебрегаем;
- емкость всех элементов короткозамкнутой цепи, включая воздушные и кабельные линии, не учитывается;
- значения сверхпереходных индуктивных сопротивлений по продольной и поперечной осям синхронной машины не различаются.

Токи короткого замыкания для линии Д–85 представлены в таблице 1. Токи короткого замыкания для линии Д–88 представлены в таблице 2.

Таблица 1 – Токи короткого замыкания на линии Алюминиевая 500 – ГПП 3 ХАЗ.

| Место короткого замыкания | | | Параметры схемы замещения, отн. ед. | | | Токи КЗ, кА | | | Ударный коэффициент K_u | Амплитудный ударный ток, i_y , кА | Мощность КЗ при $t=0,1$ с, $S_{0,i}$, МВА |
|---------------------------|-----------------------|--------------------|-------------------------------------|-------|-------|-------------|--------|----------|---------------------------|-------------------------------------|--|
| Точка КЗ | Наименование места КЗ | Режим КЗ | R | X | Z | I'' | I_0 | I_{CO} | | | |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
| K1 | | Линия Д-85, 220 кВ | | | | | | | | | |
| | max | Система | 2,18 | 9,55 | 9,79 | 11,088 | 11,088 | 11,088 | 2,550 | 28,274 | 4417,145 |
| | min | Система | 2,61 | 11,46 | 11,75 | 9,300 | 9,300 | 9,300 | 2,550 | 23,715 | 3704,857 |
| | max | Результирующий ток | | | | 11,088 | 11,088 | 11,088 | | 28,274 | 4417,145 |
| | min | Результирующий ток | | | | 9,300 | 9,300 | 9,300 | | 23,715 | 3704,857 |

Таблица 2 – Токи короткого замыкания на линии Алюминиевая 500 – ГПП 3 ХАЗ.

| Место короткого замыкания | | | Параметры схемы замещения, отн. ед. | | | Токи КЗ, кА | | | Ударный коэффициент K_u | Амплитудный ударный ток, i_y , кА | Мощность КЗ при $t=0,1$ с, $S_{0.i}$, МВА |
|---------------------------|-----------------------|--------------------|-------------------------------------|-------|-------|-------------|--------|----------|---------------------------|-------------------------------------|--|
| Точка КЗ | Наименование места КЗ | | R | X | Z | I'' | I_0 | I_{CO} | | | |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
| К2 | | Линия Д–88, 220 кВ | | | | | | | | | |
| | max | Система | 2,18 | 9,55 | 9,79 | 11,088 | 11,088 | 11,088 | 2,550 | 28,274 | 4417,145 |
| | min | Система | 2,61 | 11,46 | 11,75 | 9,300 | 9,300 | 9,300 | 2,550 | 23,715 | 3704,857 |
| | max | Результирующий ток | | | | 11,088 | 11,088 | 11,088 | | 28,274 | 4417,145 |
| | min | Результирующий ток | | | | 9,300 | 9,300 | 9,300 | | 23,715 | 3704,857 |

Сравним данные из рисунков 3.3 и 3.4 с таблицами 1 и 2. Расчетные данные токов короткого замыкания совпадают с током короткого замыкания в максимальном режиме. В дальнейших расчетах будут использоваться данные представленные АО «РУСАЛ–Саяногорск».

3.3 Расчет параметров срабатывания устройств релейной защиты и автоматики воздушной линии 220 кВ

Список расчетных защит:

- Дистанционная защита;
- Токовая защита нулевой последовательности;
- Токовая отсечка (без выдержки времени);
- АПВ.

Параметры линии приведены в таблице 3.

Таблица 3 – Параметры защищаемой линии

| | |
|---|-----------------------|
| Марка провода | АС–600/72 |
| Длина линии l , км | 23 |
| Допустимая длительная мощность P_{\max} , МВА | 400 |
| Активное сопротивление, Ом | 2,18 |
| Реактивное сопротивление, Ом | 9,55 |
| Допустимый длительный ток I_{\max} , А | 1050 |
| Погонная емкостная проводимость b_0 , См/км | $2,701 \cdot 10^{-6}$ |
| $I_{\text{ном}}$, А | 350 |

Расчет уставок защит будет производиться в программном обеспечении СИМП РЗА.

3.3.1 Расчет уставок срабатывания дистанционной защиты

Рассмотрим дистанционную защиту линии 220 кВ ПС Алюминиевая 500 – ГПП 3 ХАЗ.

Согласно данным из таблицы 3 определим полное сопротивление линий. Данные сведем в таблицу 4

Таблица 4 – Полное сопротивление линий

| Защищаемая линия | Активное сопротивление, Ом | Реактивное сопротивление, Ом | Полное сопротивление z_{Σ} , Ом |
|-----------------------------|----------------------------|------------------------------|--|
| Алюминиевая 500 – ГПП 3 ХАЗ | 2,18 | 9,55 | 9,79 |

Уставка срабатывания первой ступени:

I ступень по уставке срабатывания охватывает 80% длины защищаемой линии (это основная ступень, работающая при КЗ на линию). Выбранная уставка представлена на рисунке 3.5.

Заголовок | Параметры | Экран

X Ом R Ом
X0 Ом R0 Ом

Расчет уставки первой ступени ДЗ: Ок.
Рекомендуемая уставка: 10 Ом, при t=0 сек.

ОК Отмена Справка

Рисунок 3.5 – Выбор уставки первой ступени ДЗ

Уставка срабатывания второй ступени:

II ступень защищает всю линию и шины своей и противоположной подстанции. Является резервной по отношению к первой ступени и имеет выдержку времени

Расчет и выбранная уставка представлена на рисунке 3.6.

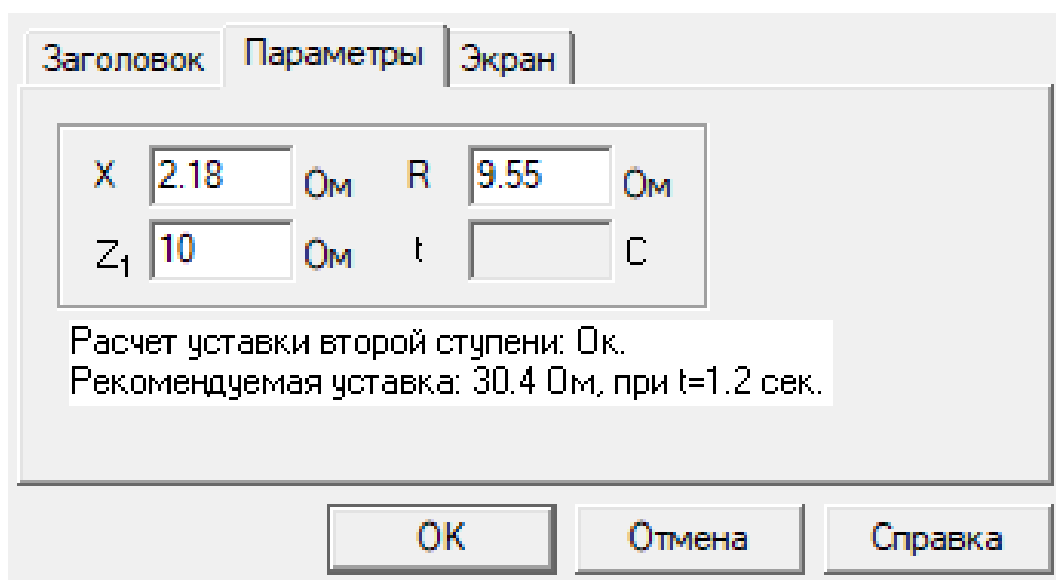


Рисунок 3.6 – расчет и выбранная уставка второй ступени ДЗ.

3.3.2 Токовая защита нулевой последовательности

Для защиты электрических сетей с эффективно заземленной нейтралью от замыканий на землю применяют максимальные токовые защиты нулевой последовательности (ТЗНП). Эти защиты выполняются многоступенчатыми.

Поскольку линия имеет небольшой размер, рассчитаем 2 ступени. В случае недостаточной чувствительности можем ввести дополнительную ступень защиты.

Рассмотрим токовую защиту нулевой последовательности линию 220 кВ ПС Алюминиевая – ГПП 3 ХАЗ.

Уставка срабатывания первой ступени токовой защиты нулевой последовательности:

Первая ступень, действует без выдержки времени, охватывает 40–60% длины линии, остальные ступени имеют выдержки времени.

Рассчитываем уставку для первой ступени при этом для получения максимального значения тока I_0 отключают трансформаторы на шинах приемной подстанции. Расчет производится в программе СИМП РЗА. Данные по уставке первой ступени представлены на рисунке 3.7.

| Ступень | Котс | Ток | | Время | Вкл./Выкл. |
|-----------------|------|------|---|-------|----------------------------|
| 1I ₀ | 1.3 | 1365 | A | 0 | С <input type="checkbox"/> |
| 2I ₀ | | | A | | С <input type="checkbox"/> |

Рисунок 3.7 – Уставка первой ступени ТЗНП

Уставка срабатывания второй ступени токовой защиты нулевой последовательности при коротком замыкании на шинах ПС ГПП 3 ХАЗ:

Расчет производится в программе СИМП РЗА. Данные по уставке второй ступени представлены на рисунке 3.8.

| Ступень | Котс | Ток | | Время | Вкл./Выкл. |
|-----------------|------|--------|---|-------|----------------------------|
| 1I ₀ | 1.3 | 1365 | A | 0 | С <input type="checkbox"/> |
| 2I ₀ | 1.3 | 1774.5 | A | 1.3 | С <input type="checkbox"/> |

Рисунок 3.8 – Уставка второй ступени ТЗНП

Проверка чувствительности второй ступени:

Проверка коэффициента чувствительности производится по полученным параметрам. Данные представлены на рисунке 3.9.

| $I_k \text{ min } 0$ | Ток | Время |
|-------------------------------------|----------|-------|
| 9300 А | 1774.5 А | 1.3 С |
| Расчет чувствительности защиты: Ок. | | |

Рисунок 3.9 – Проверка чувствительности

Защита обладает требуемой чувствительностью.

3.3.3 Расчет параметров срабатывания токовой отсечки

Рассчитаем ток срабатывания токовой отсечки без временной задержки. Данные по уставке ступени представлены на рисунке 3.10.

| Ступень | Ток | Время | $I_{ср.з}$ | Вкл./Выкл. |
|---------------------------------|-------|--------|------------|-------------------------------------|
| 11 | 350 А | 0 С | 510 А | <input checked="" type="checkbox"/> |
| Расчет срабатывания защиты: Ок. | | | | |
| ОК | | Отмена | | Справка |

Рисунок 3.10 – Расчет токовой защиты

3.4 Расчет параметров АПВ

Основное предназначение АПВ в том, чтобы восстановить работу объекта электросистемы. Обязательное условие существования АПВ – отсутствие запрета на осуществление включения во второй раз [21].

Причина, вызвавшей остановку работы объекта может быть неисправность на ВЛ. К основным типам неисправности относятся короткие замыкания, схлесты проводов из-за сильной пляски или провиса, произошедшие во время сильного ветра, обледенение проводов, перекрытия воздушной изоляции и т. д. После того, как причина отключения исчезает при помощи АПВ на отключенную линию, или на объект мгновенно подается питание. Он остается под напряжением, продолжая работать, а потребитель продолжает получать электроэнергию безостановочно.

Работа АПВ происходит с задержкой времени. На линии 220 кВ время срабатывания – 0,15 сек. Время действия устройства зависит также от сечения и материала проводов, чем меньше сечение проводов, меньше воздушный про-

межутков между проводами тем более не успешное срабатывание АПВ. Задержка времени необходима для возвращения диэлектрической прочности изоляции воздушного промежутка в области горения дуги.

3.5 Расчет параметров защиты минимального напряжения

Защита минимального напряжения (далее по тексту ЗМН) используется совместно с другими системами, контролирующими состояние электросети. Основная задача такой защиты – обеспечить работу ответственного оборудования при кратковременных понижениях напряжения.

В нашем случае при срабатывании защиты минимального напряжения на панель оператора будет выведено предубеждение. Данные представлены на рисунке – 3.11.

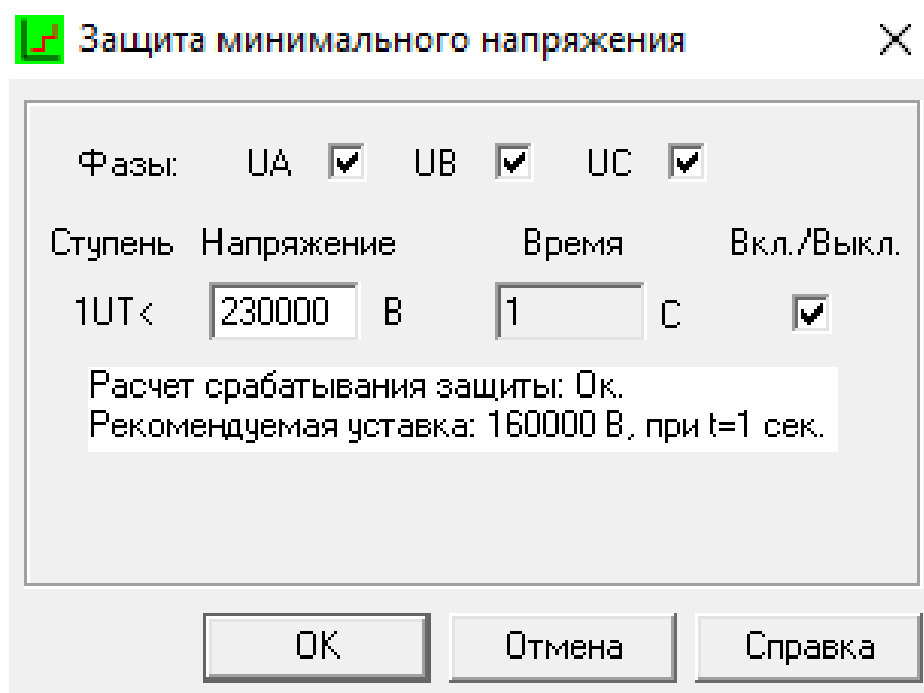


Рисунок 3.11 – Напряжение сработки защиты минимального напряжения

3.6 Расчет параметров защиты максимального напряжения

Перенапряжение электрической сети представляет серьезную угрозу для любого электрооборудования. Проблема заключается в том, что ввиду природы этого эффекта полностью исключить его проявление невозможно. В связи с этим было разработано несколько решений для защиты электрооборудования, позволяющих минимизировать негативные последствия повышения напряжения.

Под данным термином подразумевается повышение напряжения в электросетях или линиях электропередач сверх установленной нормы. Она ограничена 5,0% и 10,0% (допустимое и предельно допустимое отклонение, соответ-

ственно).

Перенапряжения опасны тем, что могут не только вывести из строя подключенные к сети приборы, а и разрушить изоляцию электрооборудования. В последнем случае создается угроза для человеческой жизни и возникновения серьезных аварийных ситуаций

В зависимости от факторов, вызвавших повышение уровня напряжения, отклонения принято разделять на следующие виды перенапряжений:

– Внешние перенапряжения, то есть, произошедшие в результате стороннего воздействия на энергосистему. В качестве таковых могут выступать природные и техногенные факторы. В качестве примера природного воздействия можно привести такое атмосферное явление, как разряд молнии или магнитные бури.

– Перенапряжения, вызванные внутренними процессами в энергосистеме. К таковым относятся аварии, коммутация, резкий сброс нагрузки и тд.

Грозовое перенапряжение вызывают грозовые разряды, пришедшие на ЛЭП. В результате наблюдаются резкие броски напряжения в линии, при этом норма может быть превышена на порядок и более. Время длительности грозовых импульсов редко приближается к 10,0 мс.

Несмотря на столь короткое время величина электрического разряда настолько высока, что подключенное к сети электрооборудование выходит из строя вне зависимости от уровня изоляции.

Для предотвращения такого эффекта в данном проекте будут использованы ограничители перенапряжения. (далее по тексту ОПНн) представлен на рисунке 3.12.



Рисунок 3.12 – ОПНн 220 кВ

Для предотвращения перенапряжений со стороны энергосистемы будет использоваться защита максимального напряжения. Полученные данные представлены на рисунке 3.13.

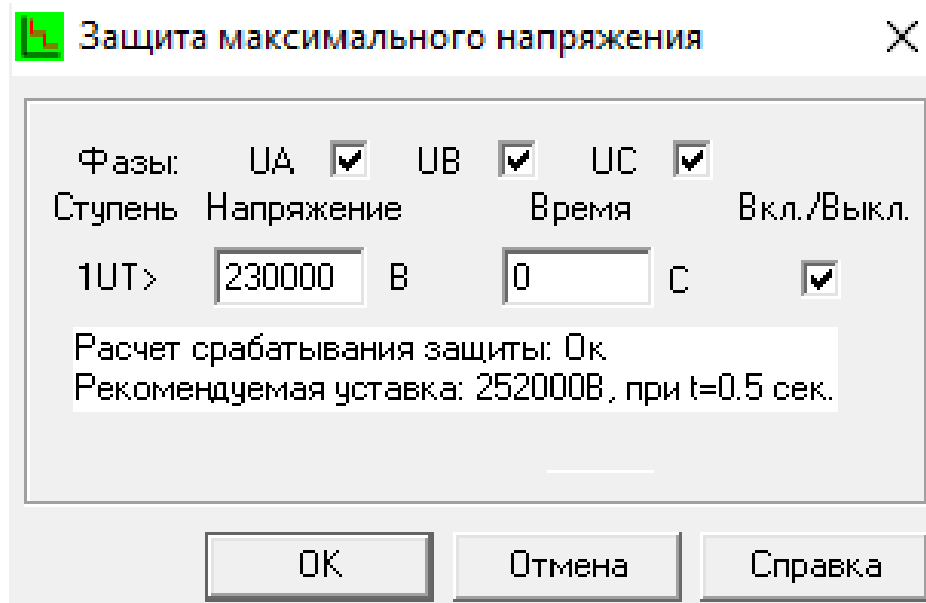


Рисунок 3.13 – Напряжение сработки защиты максимального напряжения

Все полученные уставки приведены в Приложении Г.

3.7 Электробезопасность при обслуживании устройств релейной защиты и автоматики

При выполнении работ по техобслуживанию устройств РЗА следует обратить особое внимание на следующие указания:

а) Временные схемы, собираемые для наладки оборудования (снятие характеристик, осциллографирование и т.п.), должны выполняться на специальных столах. Запрещается применять столы с металлической рабочей поверхностью или с металлическим обрамлением. Изоляция соединительных проводов не должна быть нарушенной.

б) Временные питающие линии должны быть выполнены изолированным проводом (кабелем), надежно закреплены, а в местах прохода людей должны быть подняты на высоту не менее 2,5 м.

в) Питание временных схем для проверок и испытаний должно выполняться через автоматический выключатель с обозначением включенного и отключенного положений. Последовательно с выключателем в цепь питания устанавливается коммутационное устройство с видимым разрывом цепи (штепсельный разъем). При снятии напряжения со схемы первым выключается выключатель, а затем штепсельный разъем.

г) Сборку временных схем для электрических испытаний, переключение проводов в схеме, перестановку приборов и аппаратов в ней запрещается про-

изводить без снятия напряжения и создания видимого разрыва питающей сети.

д) При перерывах и окончании работ по техническому обслуживанию персонал, производивший работы, должен отключить линию временного питания с созданием видимого разрыва.

е) Металлические корпуса переносных приборов, аппаратов должны быть заземлены (заземлены и занулены).

ж) При использовании в работе комплектных испытательных устройств должны быть предусмотрены меры, предотвращающие доступ к выводам, находящимся под напряжением. При подключении испытательного устройства к цепям, которые могут быть заземлены (цепи тока, напряжения), необходимо убедиться в отсутствии гальванической связи между входными и выходными зажимами устройства. При наличии такой связи следует временно отключать заземления. Во всех случаях необходимо тщательно ознакомиться с правилами безопасности при пользовании испытательным устройством.

з) Рабочее место должно быть удобным и достаточно освещенным соответствии с требованиями (13, п. 1.4.12) и СНиП 23–05–95. «Естественное и искусственное освещение».

и) При производстве работ следует строго следить, чтобы левая и правая руки не прикасались одновременно к элементам или точкам схемы, находящимся под напряжением 36 В и более, и заземленным предметам и аппаратам (заземленным корпусам панелей, приборов, стендов, батареям центрального отопления и др.).

к) При наличии в схемах устройств РЗА конденсаторов в случае необходимости работы в этих цепях конденсаторы должны быть разряжены.

л) Измерения следует производить сухими руками в одежде с опущенными рукавами, кольца и металлические браслеты должны быть сняты.

м) Работы в цепях и устройствах РЗА должны производиться по исполнительным схемам. Работа без схем, по памяти, запрещается [22].

В целях обеспечения безопасности работ в действующих электроустановках принимают следующие организационные меры: назначают лиц, ответственных за организацию и производство работ; оформляют наряд или распоряжение; организуют допуск к проведению работ и надзор за их проведением; оформляют перерывы в работе, переводы на другие рабочие места и устанавливают время окончания работ.

Право выдачи нарядов на производство работ в действующих электроустановках предоставляется электротехническому персоналу, имеющему квалификационную группу не ниже IV (электроустановки до 1000 В), на основе распоряжения главного механика.

Без наряда, по распоряжению, переданному непосредственно или по телефону, могут выполняться работы без снятия напряжения вдали от токоведущих частей, находящихся под напряжением, кратковременные и небольшие по объему работы со снятием и без снятия напряжения с электроустановки, выполняемые оперативным персоналом или под его наблюдением. Распоряжение фиксируется в оперативном журнале [23].

3.8 Спецификация оборудования

Выбранное оборудование приведено в таблице 5 [24, 25].

Таблица 5 – Список выбранного оборудования

| Наименование | Технические данные | Кол. | Примечание |
|---|---|------|--------------------|
| Модуль защиты линии с функцией дистанционной защиты | 7SD53x Siprotec 4 Siemens | 1 | Siemens |
| Модуль токовых защит | 7SJ45 Siprotec 4 Siemens | 1 | Siemens |
| Модуль АПВ | 7SA6 Siprotec 4 Siemens | 1 | Siemens |
| Выключатель автоматический | C60H–DC 2P 1н=2А, хар–ка С | 2 | Schneider Electric |
| Выключатель автоматический | C60H–DC 2P с блок–контактом 1н=4А, хар–ка С | 1 | Schneider Electric |
| Блок–контакт переключающий | Дополнительно к автомату | 1 | Schneider Electric |
| Выключатель кнопочный | KE 011/1 2з Красный | 1 | |
| Выключатель кнопочный | KE 011/1 2з Черный | 1 | |
| Выключатель коммутационный | 4G10–56–U R014 | 1 | APA TOR |
| Выключатель коммутационный | 4G10–92–U R014 | 1 | APA TOR |
| Выключатель коммутационный | 4G10–54–U R014 | 1 | APA TOR |
| Выключатель коммутационный | 4G10–91–U R014 | 1 | APA TOR |
| Реле указательное | РЗУ11–20–5–40У3 0.05А пост.ток | 1 | |
| Трансформатор тока | ТОГФ–220 | 3 | |
| Ограничитель перенапряжения | ОПНн 220 | 3 | |
| Трансформатор напряжения | НКФ–220 | 3 | |

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В работе дается общая характеристика подстанции 220/10 кВ АО «Русал–Саяногорск», подстанции Алюминиевая 500 и воздушной линии 220 кВ ПС Алюминиевая 500 – ГПП 3 ХАЗ.

Произведен обзор типов устройств РЗА и конструкций измерительных преобразователей для класса напряжения 220 кВ и произведен их выбор.

Поставленная в работе цель достигнута, задачи решены в полном объеме в соответствии с выданным заданием.

В работе использовались новейшие методики расчета с применением современного программного обеспечения.

Результатом выполнения ВКР является получение данных о токах короткого замыкания, параметров срабатывания устройств РЗА с возможностью дальнейшего внедрения на объектах производства.

В графической части отражены: Однолинейная схема ПС ГПП–3 ХАЗ; схема присоединений ТТ и ТН к устройству Siemens Siprotec; принципиальная схема Siemens Siprotec.

Таким образом, спроектированы и отстроены на базе терминалов серии Siprotec Siemens устройства РЗА.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Характеристика ПС Аллюминиевая 500 МЭС Сибири. [Электронный ресурс] – Режим доступа: https://studwood.ru/1880854/matematika_himiya_fizika/podstantsiya_aluminiumevaya (дата обращения 02.05.2021).
2. Андреев, В. А. Релейная защита систем электроснабжения в примерах и задачах [Текст] : учеб. пособие / В. А. Андреев. – М. : Высш. шк., 2008. – 252 с.
3. Дьяков, А. Ф. Микропроцессорная автоматизация и релейная защита электроэнергетических систем [Текст] : учеб. пособие / А. Ф. Дьяков, Н. И. Овчаренко. – М. : МЭИ, 2008. – 335 с.
4. ЕСКД. Обозначения условные графические в электрических схемах. Устройства коммутационные и контактные соединения : ГОСТ 2.755–87. – Введ. 01.01.1988. [[http://standartgost.ru/g/ГОСТ_2.755–87](http://standartgost.ru/g/ГОСТ_2.755-87)]
5. ЕСКД. Правила выполнения схем : ГОСТ 2.710–81. – Введ. 01.07.1981. [[http://standartgost.ru/g/ГОСТ_2.710–81](http://standartgost.ru/g/ГОСТ_2.710-81)]
6. Киреева, Э.А. Релейная защита и автоматизация электроэнергетических систем [Текст] : учеб. для вузов / Э. А. Киреева, С. А. Цырук. – М. : Издательский центр «Академия», 2010. – 288 с.
7. Киреева, Э. А. Полный справочник по электрооборудованию и электротехнике [Текст] : (с примерами расчетов) / Э. А. Киреева, С. Н. Шерстнев. – 3–е изд., стер. – Москва : КноРус, 2016. – 862 с.
8. Копьев, В. Н. Релейная защита. Принципы выполнения и применения [Текст] : учеб. пособие / В. Н. Копьев. – Томск : Изд–во ТПУ, 2010. – 153 с.
9. Терминалы Siprotec Siemens [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://new.siemens.com/ru/ru/produkty/energetika/avtomatizaciya-v-energetike/relejnaya-zashchita.html> (дата обращения 02.05.2021).
10. Блоки релейной Siprotec Siemens [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.elektroshchit.ru/siemens-relejnaja-zashhita-i-avtomatika/> (дата обращения 02.05.2021).
11. Устройства серии релейной Siprotec Siemens [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://new.siemens.com/global/en/products/energy/energy-automation-and-smart-grid/protection-relays-and-control/reyrolle.html> (дата обращения 02.05.2021).
12. Терминалы защит серии релейной Siprotec Siemens [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://new.siemens.com/ru/ru/produkty/energetika.pdf> (дата обращения 02.05.2021).
13. Терминалы защит релейной Siprotec Siemens [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://new.siemens.com/global/en/products/energy/energy-automation-and-smart-grid/protection-relays-and-control/reyrolle-5.pdf> (дата обращения 02.05.2021).
14. Правила устройства электроустановок [Текст]. – 7–е издание. – СПб.: Издательство ДЕАН, 2013. – 701 с.
15. Цифровые комбинированные трансформаторы тока и напряжения [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://digitrans.ru/ctrcttin/> (дата обра-

щения 02.05.2021).

16. Недостатки трансформаторов тока и напряжения традиционного исполнения [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://ispu.ru/files/str.35–42.pdf> (дата обращения 02.05.2021).

17. Алексеев Б.А. Техническое обслуживание измерительных трансформаторов тока и напряжения [Текст] : учеб. пособие / Алексеев Б.А.. – СПб. : НЦ ЭНАС, 2017. – 23 с.

18. Трансформаторы тока. Общие технические условия : ГОСТ 7746–2001. – Введ. 01.01.2003. [<http://standartgost.ru/en/129191>]

19. Трансформаторы напряжения. Общие технические условия : ГОСТ 1983–2001. – Введ. 01.01.2003. [http://standartgost.ru/g/ГОСТ_1983–2001]

20. Настройки ПО СИМП РЗА. [Электронный ресурс].– Режим доступа: <https://bokus.ru/works/interfeys-programmy-simp-rza-selekt> (дата обращения 02.05.2021).

21. Голубев М.Л. Автоматическое повторное включение [Текст] : учеб. для вузов / Голубев М.Л.. – 5–е изд., испр. и доп. – СПб. : Энергоиздат, 2010 – 112 с.

22. Интернет ресурс [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.consultant.ru/law/hotdocs/66987.html> (дата обращения 02.05.2021).

23. Интернет портал [Электронный ресурс]. – Режим доступа: meganorm.ru/Data2/1/4293774/4293774602.pdf (дата обращения 02.05.2021).

24. Интернет магазин ЭТМ [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.etm.ru/im/> (дата обращения 02.05.2021).

25. Интернет магазин Шоп 220 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://shop220.ru> (дата обращения 02.05.2021).

Бакалаврская работа выполнена мной самостоятельно. Использованные в работе материалы и концепции из опубликованной научной литературы и других источников имеют ссылки на них.

Отпечатано в 1 экземпляре.

Библиография 25 наименований.

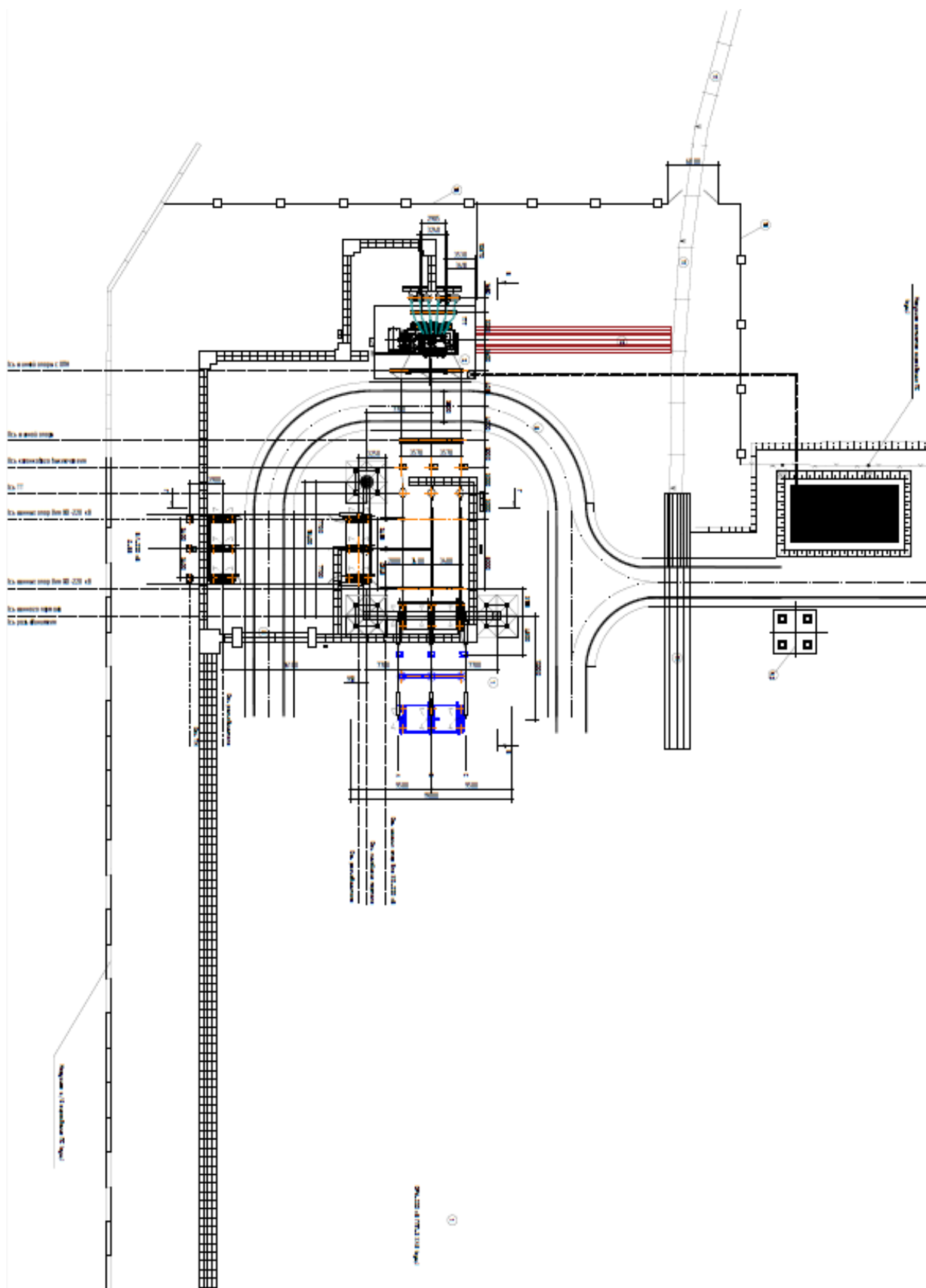
« _____ » _____
(дата)

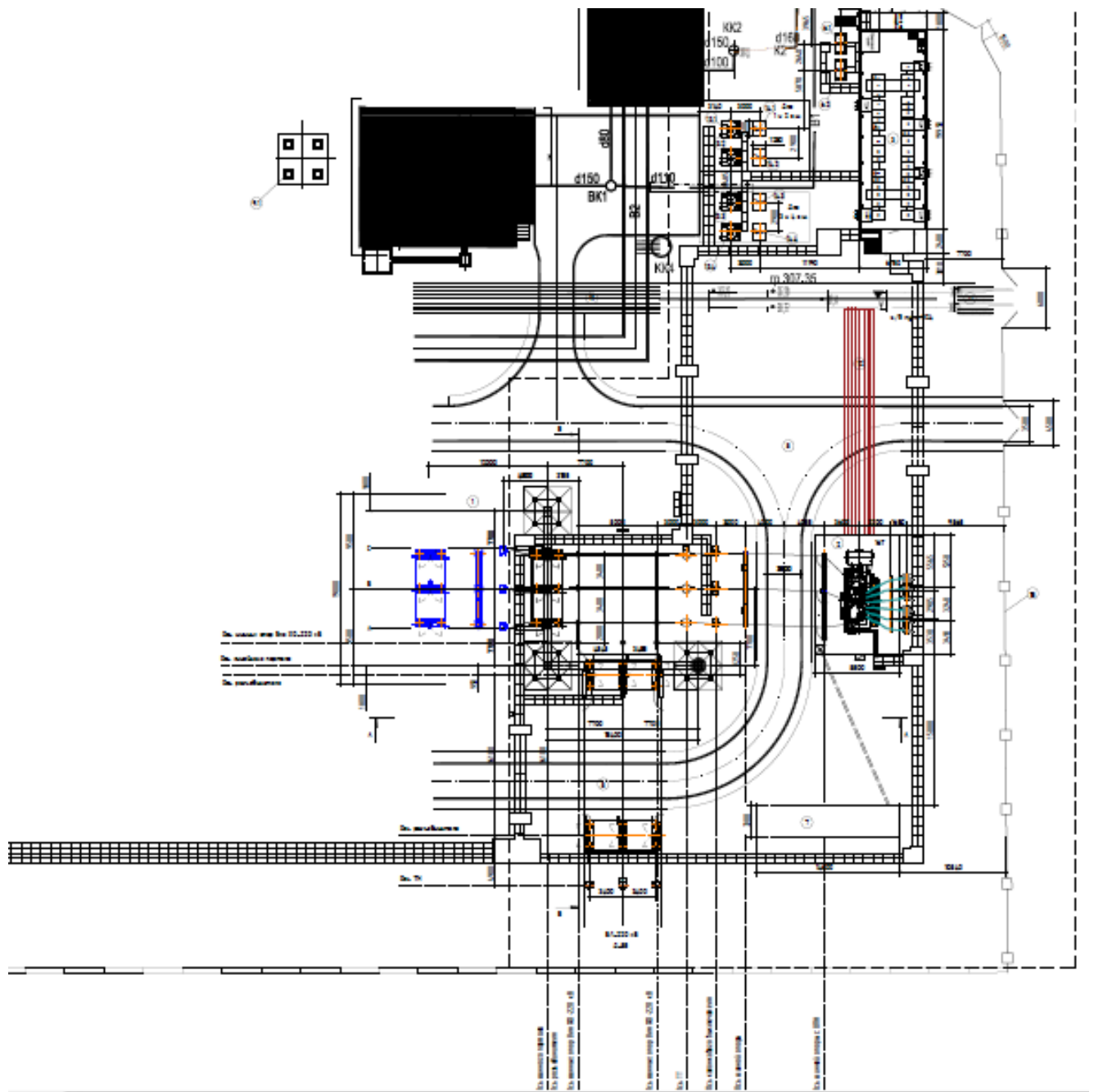
(подпись)

И.В. Панов
(ФИО)

ПРИЛОЖЕНИЕ А

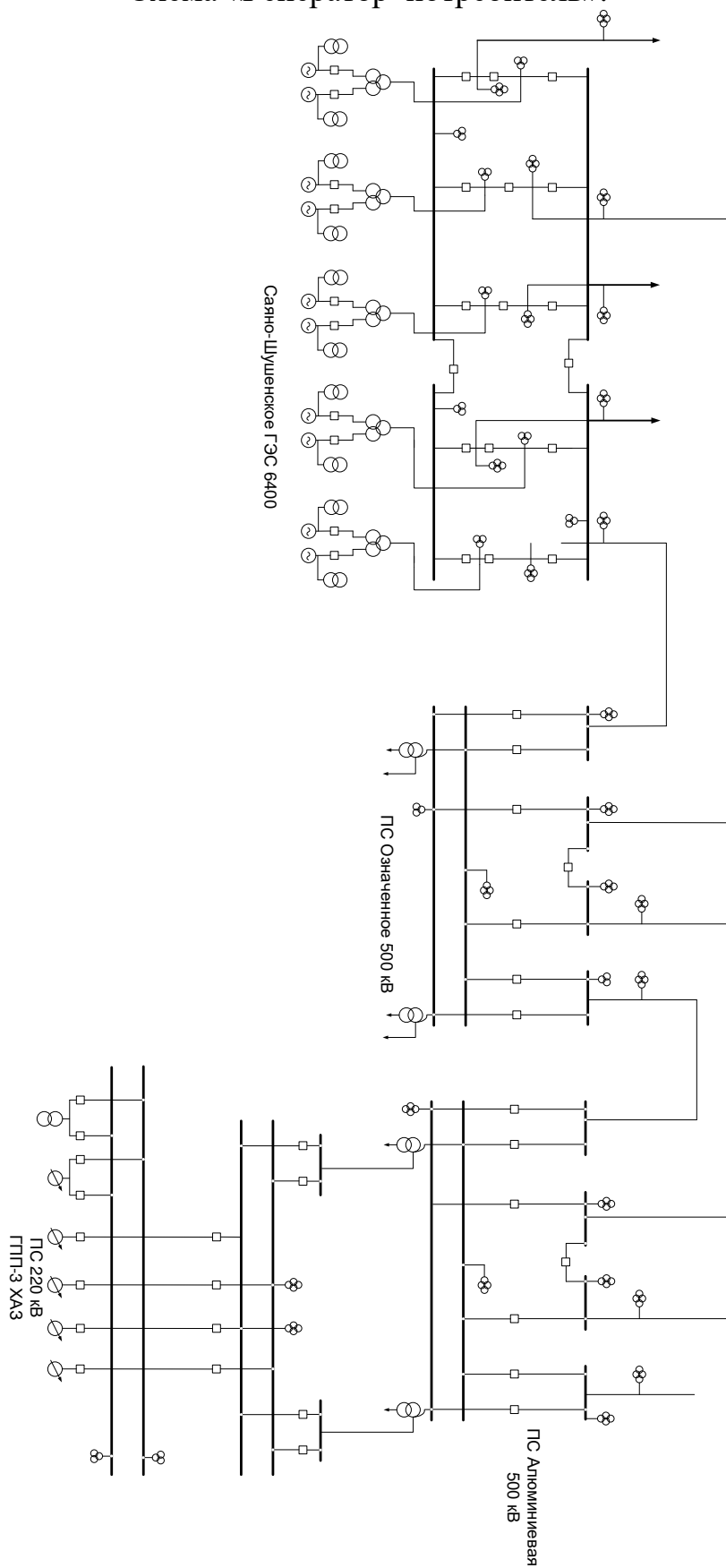
Общий план ПС 220/10 кВ АО «Русал-Саяногорск»





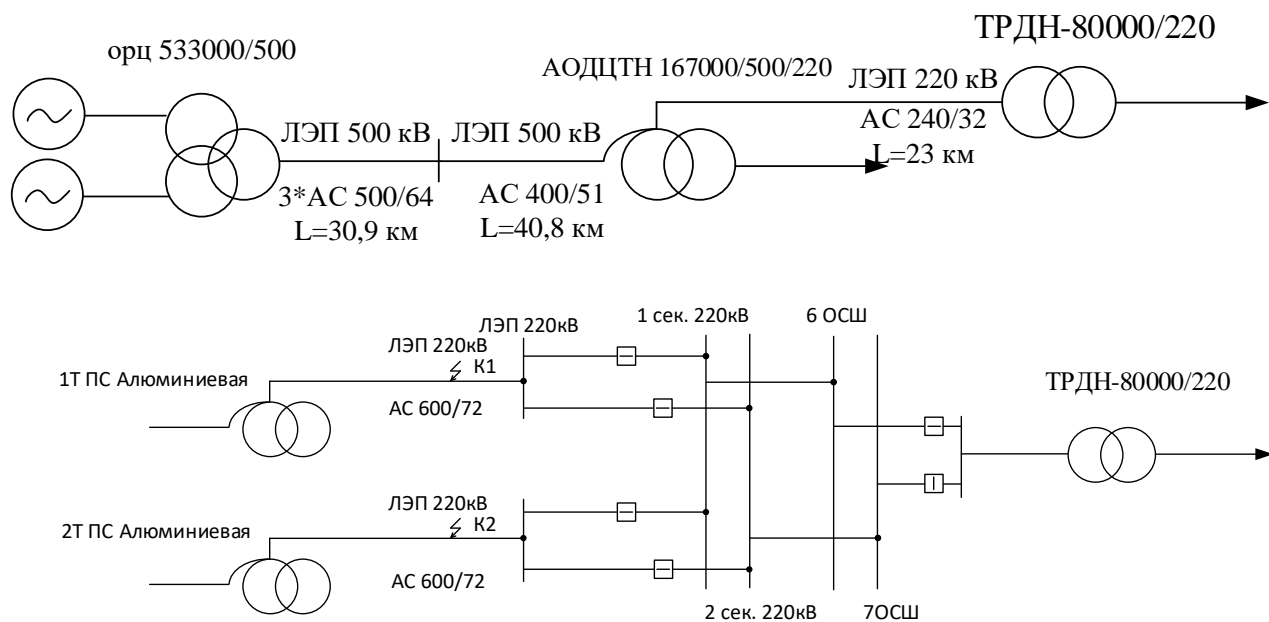
ПРИЛОЖЕНИЕ Б

Схема «Генератор–потребитель».



ПРИЛОЖЕНИЕ В

Рассматриваемая линия 220 кВ.



ПРИЛОЖЕНИЕ Г

| Название защиты | Степень | Уставка срабатывания | Выдержка времени |
|---|---------|----------------------|------------------|
| Дистанционная защита | I | 10 Ом | 0 сек. |
| | II | 30,4 Ом | 1,2 сек. |
| Токовая защита нулевой последовательности | I | 1365 А | 0 сек. |
| | II | 1774.5 А | 1,3 сек. |
| Токовая отсечка | I | 510 А | 0 сек. |
| АПВ | — | 0,15 сек | |
| Защита минимального напряжения | — | 160000 В | 1 сек. |
| Защита максимального напряжения | | 252000 В | 0,5 сек |

Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение
высшего образования
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Хакасский технический институт – филиал
ФГАОУ ВО «Сибирский федеральный университет»
институт

Электроэнергетика
кафедра

УТВЕРЖДАЮ:

Заведующий кафедрой

Г.Н. Чистяков
подпись инициалы, фамилия

«28» 06 2021 г.

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника»
код – наименование направления

Расчет комплекса релейной защиты воздушной линии электропередачи
напряжением 220 кВ
тема

Руководитель Дулесова 2021 г. к.э.н., доцент каф. ЭЭ Н.В. Дулесова
подпись, дата должность, ученая степень инициалы, фамилия

Выпускник И.В. Панов «24» 06 2021 г. И.В. Панов
подпись, дата инициалы, фамилия

Нормоконтролер И.А. Кычакова «24» 06 2021 г. И.А. Кычакова
подпись, дата инициалы, фамилия

Абакан 2021