

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Тольяттинский государственный университет»

Институт химии и энергетики

(наименование института полностью)

Кафедра «Электроснабжение и электротехника»

(наименование)

13.03.02 Электроэнергетика и электротехника

(код и наименование направления подготовки/ специальности)

Электроснабжение

(направленность (профиль) / специализация)

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА (БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА)

на тему Модернизация релейной защиты и автоматики ПС-35/6кВ Водозабора №1 ООО
«Тольяттикаучук»

Обучающийся

А. А. Панин

(Инициалы Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

к.п.н., доцент, М. Н. Третьякова

(ученая степень (при наличии), ученое звание (при наличии), Инициалы Фамилия)

Тольятти 2022

Аннотация

В данной выпускной квалификационной работе, была собрана и изучена информация об объекте модернизации, рассмотрена и проанализирована существующая система релейной защиты, применяемая на химическом промышленном предприятии объекта ООО «Тольяттикаучук» Водозабор – 1, с выявлением недостатков.

Выбрана и подобрана Российская компания, выпускающая и поставляющая микропроцессорные блоки релейной защиты с укомплектованными шкафами управления.

Содержание ВКР включает вопросы: анализ объекта электроснабжения и нормативных требований, перерасчет токов короткого замыкания, расчет уставок защит, распределения релейной защиты и измерения по трансформаторам тока, разработка схем управления, составления SWOT-анализа для выявления сильных и слабых сторон внедрения микропроцессорных блоков и изложено в технико-экономическом обосновании.

Бакалаврская работа состоит из пояснительной записки объемом 62 листа, дополняемой 6 таблицами, 8 рисунками, 20 источниками и 6 чертежами (формата А1).

Содержание

Введение	4
1 Краткая характеристика объекта проектирования	6
2 Выбор базы для модернизации системы релейной защиты и автоматики ПС-35/6кВ на Водозаборе -1.....	10
2.1 Обзор существующей системы релейной защиты и автоматики Т-1, Т-2, В-1, В-2, СВ-12, КС-1 и КС-2.	10
2.2 Релематика	14
3 Расчет токов короткого замыкания	19
3.1 Расчет токов трехфазного КЗ на шинах 6кВ ПС-35кВ Водозабор-1 при питании ПС по ЛЭП 35кВ от ПС-110кВ «Комсомольская»	19
3.2. Расчет токов трехфазного КЗ на шинах 6кВ ПС-35 кВ Водозабор-1 при питании ПС от ЛЭП 35 кВ от ПС – 110кВ «СК».....	23
3.3 Расчет токов трехфазного КЗ на шинах 6кВ ПС-35 кВ Водозабор-1 при питании шин 6 кВ по КЛ 6кВ «КС-1» и «КС-2»	28
4 Расчет уставок релейной защиты для Т-1, Т-2, В-1, В-2, СВ-12, КС-1 и КС-2.	34
4.1 Расчет уставок защит в ячейке №1а (11) КС-1(2).....	36
4.2 Расчет уставок защит в ячейке №8 (СВ-12)	37
4.3 Расчет уставок защит в ячейке №2 (12) В-1(2)	40
4.4 Расчет уставок защит силового трансформатора Т-1(2)	42
5 Техничко-экономическое обоснование.....	51
Заключение.....	59
Список используемых источников.....	60

Введение

Рассматриваемое данное промышленное химическое предприятие ООО «Тольяттикаучук», является одним из самых крупнейших предприятий нефтехимического комплекса России, расположенное в г. Тольятти Самарской области. В 1949 было подписано постановление Совета министров СССР «Об ускоренном развитии отраслей химии в народном хозяйстве», которое предусматривало создание крупнейшего в СССР завода по производству каучука в районе будущей Куйбышевской гидроэлектростанции. С 01.11.2019 года предприятие вошло в состав ПАО «Татнефть» и возвращено историческое название – «Тольяттикаучук». «Предприятие поддерживает и развивает интегрированную систему менеджмента, соответствующую требованиям международных стандартов – охраны труда и промышленной безопасности (OHSAS 18001), охраны окружающей среды (ISO 14001), качества (ISO 9001) и энергоэффективности (ISO50001), внедряются инструменты автомобильного стандарта IATF 16949 и в текущем году запланированы мероприятия по подготовке к сертификации» [7].

Предприятие поставляет продукцию на внутренний рынок и СНГ, а также страны Европы, Азии и Америки [7].

Такой «вид деятельности подразумевает использование различного оборудования для переработки нефтехимических продуктов. Для нормальной и стабильной работы данного оборудования необходимо обеспечить ему, бесперебойную подачу электроэнергии. Данное предприятие относится к первой категории электроснабжения, наиболее важные потребители, перерыв в электроснабжении которых может привести к несчастным случаям, крупным авариям, нанесению большого материального ущерба по причине выхода из строя целых комплексов оборудования, взаимосвязанных систем. В случае аварийной ситуации релейная защита и автоматика (далее РЗА), используемая на предприятии, должны сработать безукоризненно. К работе РЗА предъявляют определенные требования» [1]:

- быстродействие,
- селективность,
- чувствительность,
- надежность.

За все время развития РЗА алгоритмы их работы не изменились, изменились лишь элементная база и методы реализации защит.

Соответственно выбор темы обоснован тем, чтобы необходимо улучшить и повысить анализ работы защит в аварийных ситуациях за счет установки микропроцессорных блоков и шкафов управления, с последующим их внедрением в систему электроснабжения эффектом для предприятия.

Целью бакалаврской работы является повышения эффективности работы релейной защиты ПС-35/6кВ предприятия ООО «Тольяттикаучук» объекта Водозабор-1 за счет модернизации системы релейной защиты двух силовых трансформаторов Т-1(2), вводов В-1(2), секционного выключателя СВ-12 и двух кабеля связи КС-1(2).

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- проанализировать существующую систему электроснабжения и релейной защиты химического промышленного предприятия;
- выбрать микропроцессорные блоки и шкафы для системы релейной защиты химического промышленного предприятия;
- определить технико-экономические показатели системы релейной защиты химического промышленного предприятия.

1 Краткая характеристика объекта проектирования

«Объектом модернизации системы релейной защиты и автоматики было выбрано промышленное химическое предприятие. Данное предприятие относится к потребителю первой категории надежности электроснабжения, так как на нем производятся опасные химические материалы, в связи с этим перебой в работе системы электроснабжения может повлечь за собой опасность для жизни людей» [12].

«Электроснабжение ГПП заводов ООО «Тольяттикаучук» производится в основном напряжением 110 кВ. Для питания ряда электроприемников заводов используется генераторное напряжение 6 кВ от источников ТоТЭЦ, расположенной в непосредственной близости от предприятия. Электроснабжение понизительной подстанции водозабора осуществляется как напряжением 110 кВ, так и напряжением 35 кВ» [12].

«Источником внешнего электроснабжения ООО «Тольяттикаучук» являются Жигулевские электрические сети АО «Самараэнерго». Генерирующие мощности в районе расположения ООО «Тольяттикаучук» развиты в значительной степени. Так, в непосредственной близости от предприятия расположены крупные электростанции: Тольяттинская ТЭЦ (ТоТЭЦ), Волжская ГЭС (ВоГЭС), ТЭЦ ВАЗ. Указанные электростанции являются непосредственными источниками электроснабжения для предприятия» [12].

«На некотором удалении от основной производственной площадки (около 10-12 километров) располагается площадка вспомогательного производства - водозабора. Данная площадка также имеет в своем составе трансформаторную подстанцию, состоящую из трех двухобмоточных трансформаторов. Номинальная мощность трансформаторов водозабора 10000 кВА. Два трансформатора имеют номинальные напряжения 35/6 кВ, один трансформатор имеет номинальные напряжения обмоток 110/6 кВ» [12].

Для модернизации релейной защиты и автоматики, был выбран объект «Водозабор-1», а именно два силовых трансформатора, ввод первый и второй, секционный выключатель и два кабеля связи, в связи с техническим перевооружением и поставленными задачами на 2023 год. Подстанция Водозабор-1 35/6 кВ, предназначена для электроснабжения технологического (насосных агрегатов) и вспомогательного оборудования. Категория взрывопожарной и пожарной опасности помещений, зданий и наружной установки категория – Д. Классификация взрывоопасных зон внутри и вне помещений – не взрывоопасна. Основные характеристики объекта приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Основные характеристики объекта

Показатель	Значение
Номинальное напряжение	35/6 кВ
Конструктивное исполнение ПС	ОРУ 35 кВ – Схема 35-3Н два блока (линия-трансформатор) с выключателем. РУ 6 кВ – Схема 6-1 одна, секционированная выключателем, система шин.
Количество ячеек РУ 6 кВ	1 с.ш. 6 кВ – 6 шт. 2 с.ш. 6 кВ – 7 шт.
Количество и мощность силовых трансформаторов	2x10000 кВА типа ТДНС
Тип ввода питания	ОРУ 35 кВ – воздушный РУ 6 кВ – кабельный

Электроснабжение ПС-35 кВ Водозабор-1 осуществляется от трёх источников питания:

- ПС-35 кВ «Комсомольская»;
- ПС-35 кВ «СК»;
- ПС-110кВ «Водозабор-2» по кабельным линиям КЛ 6кВ.

Для замены старых панелей управления, защиты и сигнализации, на новые щиты необходимо демонтировать панели такие как:

- 6P – шкаф управления и защиты Т-1, ВВ-35-Т-1, В-1;
- 7P – шкаф управления и защиты СВ-12, КС-1 и КС-2;
- 8P – шкаф управления и защиты Т-2, ВВ-35-Т-2, В-2.

План ПС Водозабора-1 представлен на рисунке 1.

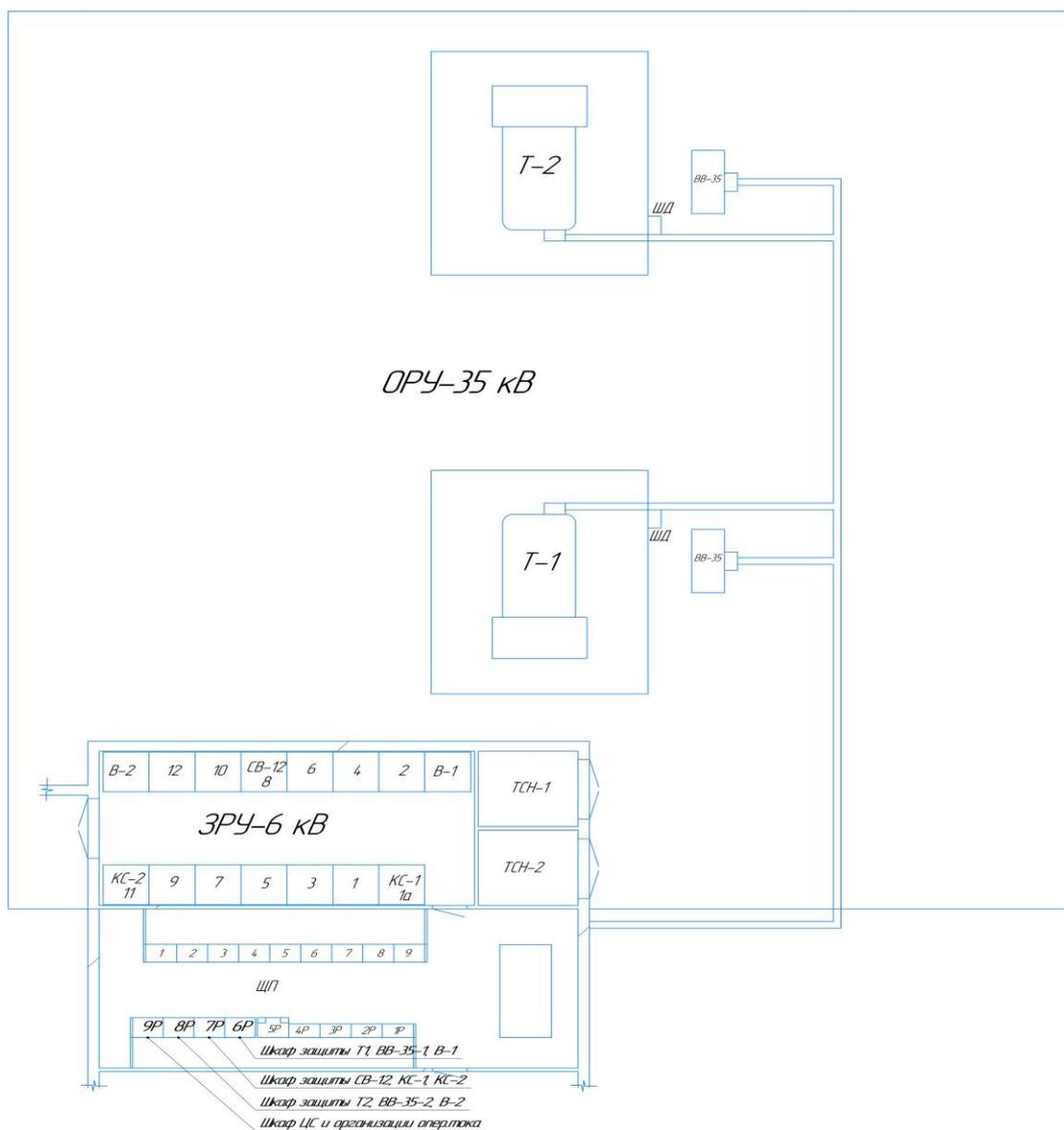


Рисунок 1 – План ПС Водозабора-1

Перед тем как выбрать аналог для замены существующей системы релейной защиты и автоматики на Водозаборе-1, её, предварительно,

необходимо рассмотреть, то есть понять принцип её действия, а также виды используемых защит (ДЗ, МТЗ, ТО, АВР и т.д.) и измерений.

В качестве основных и резервных приборов защиты применяться электромагнитные аналоговые реле.

Недостатки такой системы:

- маленький срок эксплуатации;
- реле в эксплуатации с 1970-х годов, что говорит о моральном и физическом старении оборудования;
- невысокая надежность;
- отсутствие возможности подключить реле в новую систему автоматизированного диспетчерского управления.

Выводы по разделу 1.

Был рассмотрен и проанализирован объект Водозабор-1 для модернизации релейной защиты и автоматики. Выбраны панели управления, защиты и сигнализации для демонтажных работ. Приведены основные недостатки системы, требующей дальнейшей модернизации релейной защиты объекта.

2 Выбор базы для модернизации системы релейной защиты и автоматики ПС-35/6кВ на Водозаборе-1

2.1 Обзор существующей системы релейной защиты и автоматики Т-1, Т-2, В-1, В-2, СВ-12, КС-1 и КС-2

Для защиты силового трансформатора, мощность которого составляет 10000 кВА, используются такие виды защиты как:

- дифференциальная защита – основана на сравнении токов фаз, протекающих через участки между защищаемым участком линии;

- «максимальная токовая защита (МТЗ) – вид релейной защиты, действие которой связано с увеличением силы тока в защищаемой цепи при возникновении короткого замыкания на участке данной цепи. Данный вид защиты применяется практически повсеместно и является наиболее распространённым в электрических сетях» [6];

- «газовая защита (ГЗ)– реагирует на такие повреждения, как межвитковое замыкание в обмотках трансформатора, на которые дифференциальная и максимально-токовая защита не реагирует; так как в подобных случаях величина тока замыкания оказывается недостаточной для срабатывания защиты» [6];

- защита минимального напряжения (ЗМН) – предназначена для обеспечить работу ответственного оборудования при кратковременных понижениях напряжения;

- включение обдува трансформатора – предназначен для включения вентиляторов охлаждения при достижении температуры верхнего слоя трансформаторного масла 55 и более градусов, либо при достижении номинальной нагрузки трансформатора, не зависимо от температуры масла.

А вот для защиты секционного выключателя и кабельных линий связи, используют защиту:

- «ТО – токовая отсечка, которая выполняет ту же функцию что и максимальная токовая защита, но без выдержки времени» [6];

- АВР по минимальному напряжению – «предназначено для переключения потребителей с поврежденного источника питания на исправный, резервный (для СВ-12)» [6].

В схемах защиты и управления используются такие реле как: токовые реле (РТ40/50, РТ40/6 и т.п), дифференциальное реле типа ДЗТ-11, промежуточные реле (РП-341, МКУ-48), реле времени (ЭВ-225), указательные реле (РУ-21), автоматические выключатели серии АП-50, это все показано в исполнительной схеме защиты и управления Т-1(2), В-1(2) на рисунке 2, схемы защиты и управления СВ-12 на рисунке 3 и схемы защиты и управления КС-1(2) на рисунке 4.

На рисунках видно, что в схемах защиты различных электроприемников используются:

- токовые цепи, в которых находятся реле тока, отвечающие за срабатывание релейной защиты, исходя из выбранных и установленных уставок;

- цепи учета и измерения, в которых находятся реле контроля напряжения, счетчики электрической энергии, амперметры и вольтметры;

- цепи включения и отключения выключателей 35кВ и 6кВ, в которых находятся промежуточные, указательные реле, ключи управления и переключатели.

Вся приведенная информация была предоставлена для того, чтобы понять каким минимальным функционалом должен обладать блок микропроцессорной защиты, чтобы его можно было использовать в схеме защиты на Водозаборе-1.

В качестве производителя и также поставщика укомплектованных шкафов с микропроцессорными блоками релейной защиты, было принято выбрать Российскую компанию «Релематика» [14].

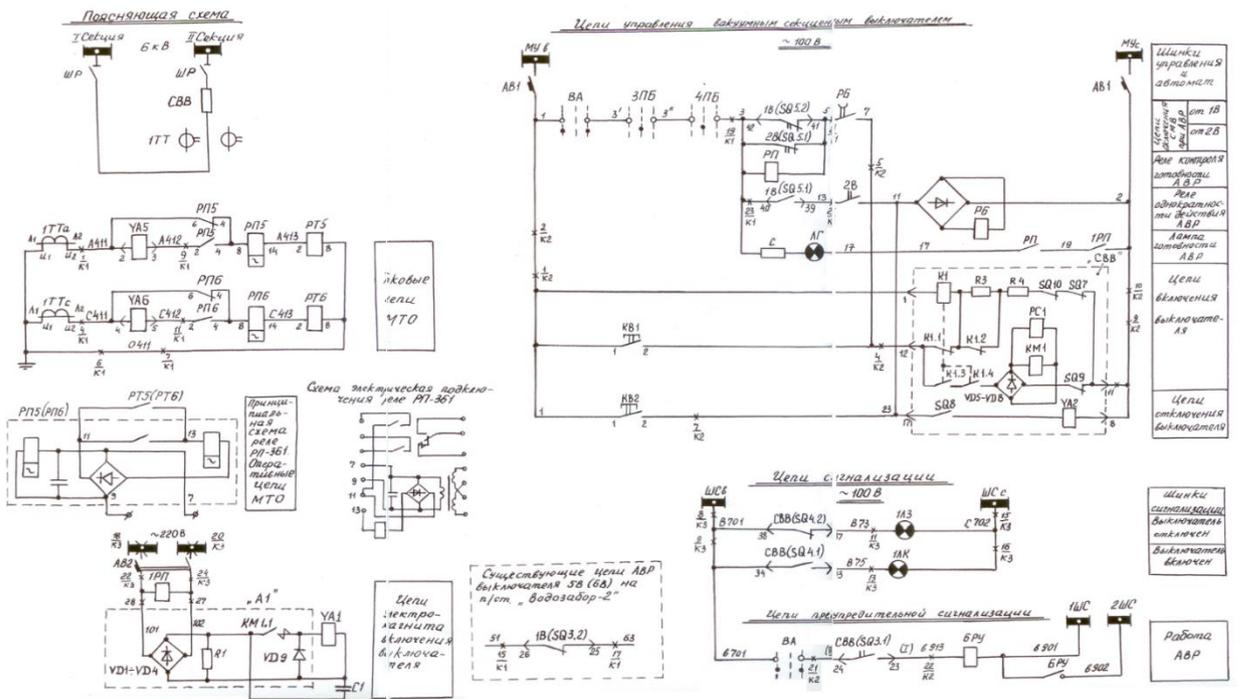


Рисунок 3 – Исполнительная схема защиты и управления СВ-12

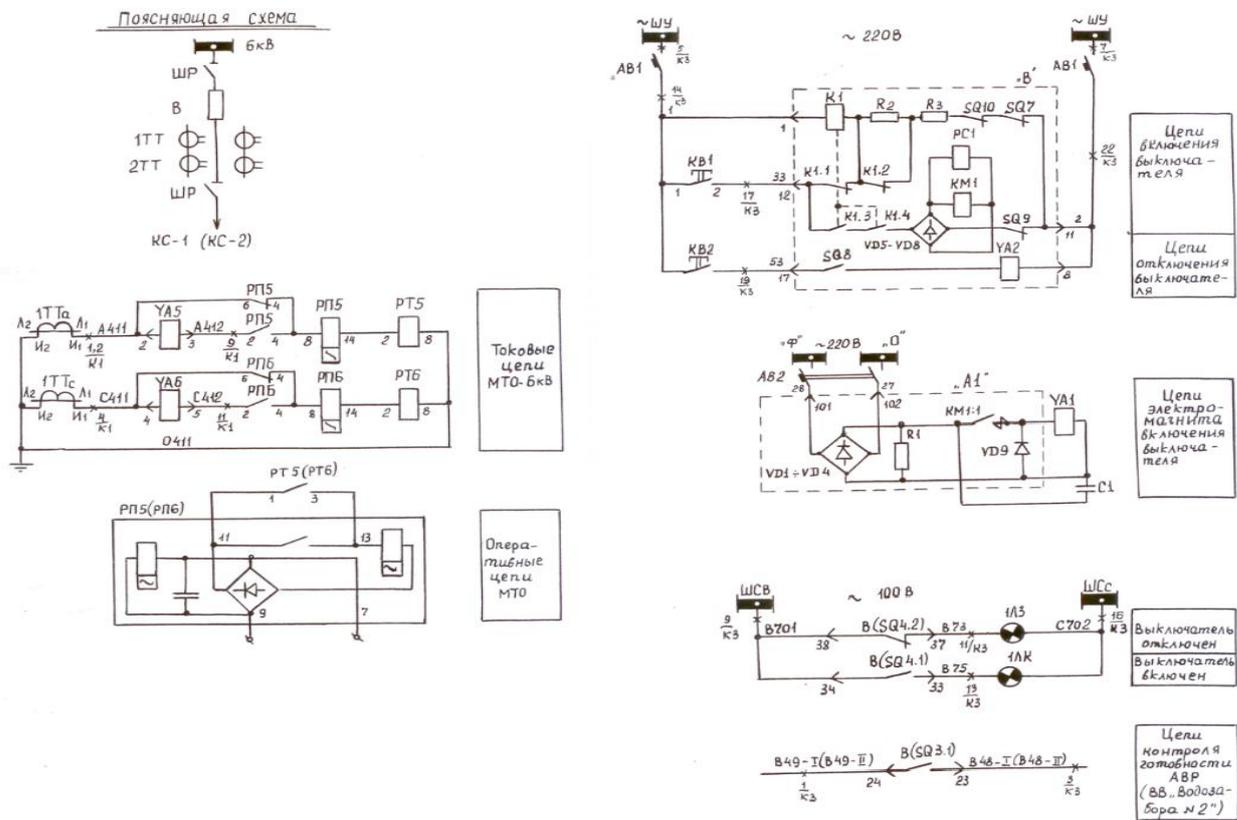


Рисунок 4 – Исполнительная схема защиты и управления KC-1(2)

2.2 Релематика

Компания «Релематика» предлагает на выбор два варианта исполнения системы релейной защиты и автоматики. Первый вариант подразумевает использование только блоков микропроцессорной релейной защиты и укомплектованных щитов управления. Второй вариант подразумевает использование укомплектованных шкафов релейной защиты и автоматики с высоковольтными выключателями, встроенными трансформаторами тока (ТТ) и т.д. Этот вариант подойдет в том случае, если речь идёт о построении новой подстанции на промышленном предприятии. Полный отказ от старых ячеек КРУ (КСО) и замены их на современные аналоги, которые предоставляет компания «Релематика».

Однако если предприятие, на котором происходит модернизация системы релейной защиты и автоматики, не располагает большими средствами, то первый вариант будет более предпочтительным. Потому, что он подразумевает только демонтаж старых реле и установку новых блоков микропроцессорной релейной защиты или установку укомплектованных щитов управления с мнемосхемой.

В нашем случае для модернизации РЗиА силовых трансформаторов, вводов, секционного выключателя и кабеля связи, «предлагается установка новых шкафов РЗиА. Несмотря на цену таких шкафов РЗиА, укомплектованность релейной защиты является приоритетной. Ведь если рассматривать изначальный монтаж схемы защиты на Водозаборе – 1, изображенный на рисунке 5, можно увидеть, что со временем на реле образуется пыль, которая в свою очередь может привести к нестабильной работе защиты и соответственно к понижению надежности системы электроснабжения промышленного предприятия. Помимо этого, полностью открытый доступ к имеющимся реле не повышает надежности СЭС» [2].



Рисунок 5 – Монтаж схемы защиты на Водозаборе-1

Релематика выпускают шкафы серий [16]:

- Ш2100 – шкафы защиты генераторов и блоков генератор-трансформаторов;
- Ш2200 – шкафы общеподстанционных нужд;
- Ш2400 – шкафы противоаварийной автоматики 110-750 кВ;
- Ш2500 – шкафы защиты и автоматики 6-35 кВ;
- Ш2600 – шкафы защиты и автоматики 110-220 кВ;
- Ш2700 – шкафы защиты и автоматики 220-750 кВ;
- Ш2900 – шкафы автоматики пожаротушения.

Все шкафы, предназначены для выполнения функции защиты, управления, автоматики, сигнализации, измерения и контроля на электрических станциях и подстанциях с высшим напряжением 6-750кВ. Устройства могут применяться с переменным, выпрямленным переменным, постоянным оперативным током.

Так как нам надо защитить ПС-35/6кВ, то выбираем шкаф Ш-2500, укомплектованный микропроцессорным устройством защиты, автоматики, управления и сигнализации «ТОР 200» представленный на рисунке 6 [15].

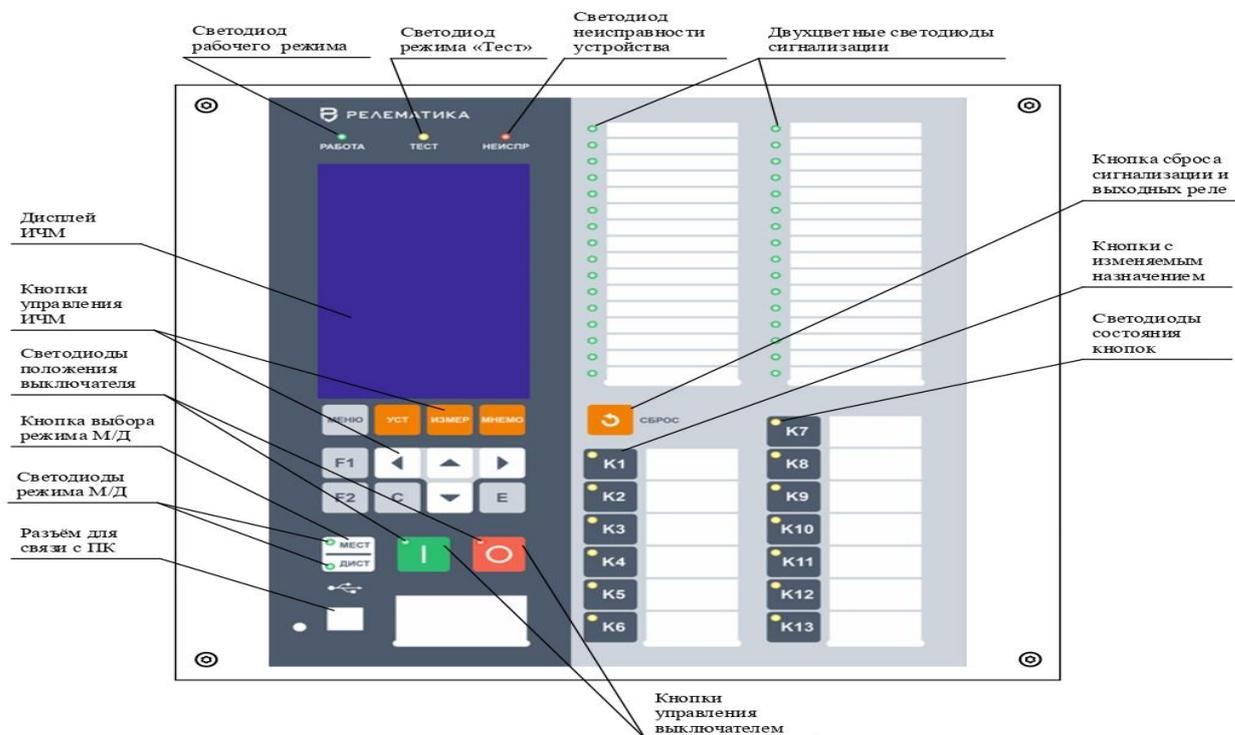


Рисунок 6 – Микропроцессорное устройство «ТОР 200»

«Комплектное устройство защиты и автоматики ТОР-200 предназначено для выполнения функций релейной защиты, автоматики, местного и дистанционного управления, измерения, сигнализации, регистрации, осциллографирования, диагностики выключателей, а также необходимых блокировок присоединений 6-35 кВ. Устройство имеет исполнения для воздушных, кабельных линий, трансформаторов собственных нужд, секционных и вводных выключателей, трансформаторов напряжения секций и двигателей, батарей статических конденсаторов и др. Терминалы имеют порты связи и могут быть интегрированы в систему АСУ ТП предприятия по различным интерфейсам связи» [15].

Для замены панелей (6р, 7р, 8р и 9р) управления и защиты Т-1(2), В-1(2), СВ-12 и КС-1(2) на новые шкафы, был спроектирован внешний вид фасадов шкафов управления с микропроцессорными устройствами, изображённый на рисунке 7, где:

- А1-А4 – микропроцессорное устройство TOP 200;
- HL1-HL3 – сигнальные лампы;
- SAC1 – ключ управления выключателем.

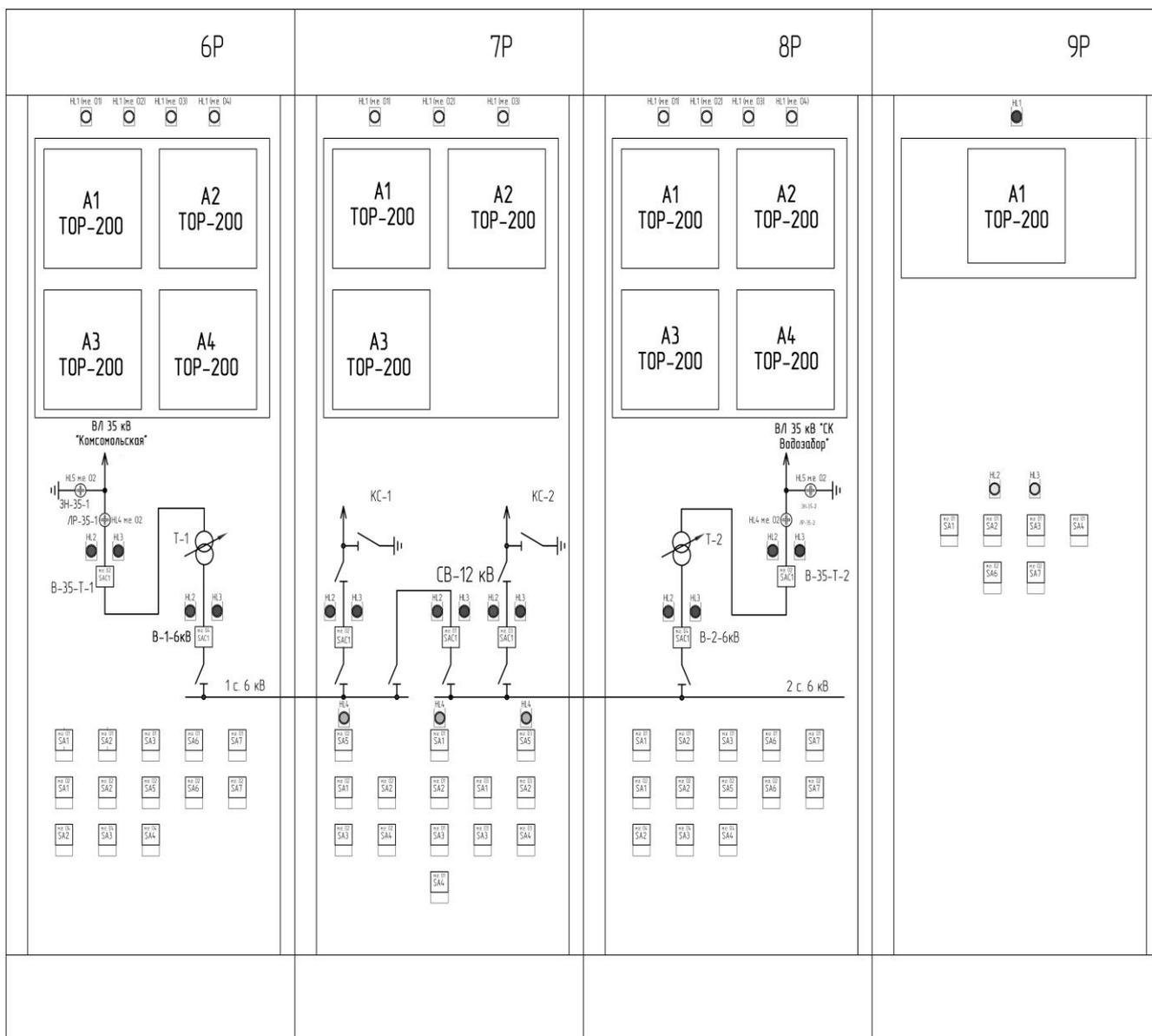


Рисунок 7 – Внешний вид фасадов шкафов управления с микропроцессорными устройствами

Выводы по разделу 2.

Произведен обзор существующей релейной защиты и автоматики Водозабора-1: Т-1(2), СВ-12, В-1(2) и КС-1(2).

Проанализировано современное оборудование в сфере релейной защиты и автоматики, чтобы понять каким минимальным функционалом должен обладать блок микропроцессорной защиты, чтобы его можно было использовать в схеме защиты на Водозаборе-1. Также в качестве компании-поставщика была выбрана Российская компания «Релематика», осуществляющая свою деятельность в разработках, сборках микропроцессорных блоков, шкафов и т.д.

Спроектированы шкафы управления, защиты и сигнализации с мнемосхемой схемой защищаемого электрооборудования, укомплектованными микропроцессорными блоками ТОР-200.

3 Расчет токов короткого замыкания

3.1 Расчет токов трехфазного КЗ на шинах 6кВ ПС-35кВ Водозабор-1 при питании ПС по ЛЭП 35кВ от ПС-110кВ «Комсомольская»

Токи трехфазного короткого замыкания на выводах ВН трансформатора Т-1.

$$I_{кз(3) \min} = 3,186 \text{ кА}, I_{кз(2) \min} = 2,759 \text{ кА}, I_{кз(3) \max} = 4000 \text{ кА}.$$

Значения приведены к напряжению $U_{ср.с} = 37\text{кВ}$.

Расчет сопротивления прямой последовательности системы до шин 35кВ ПС-35 кВ Водозабора – при питании ПС по ЛЭП 35кВ от ПС-110кВ Комсомольская.

$$X_{1с\min} = U_{ср}/(\sqrt{3} \cdot I_{кз(3)\min}), \quad (1)$$

$$X_{1с\min} = 37/(\sqrt{3} \cdot 3,186) = 6,705 \text{ Ом};$$

$$X_{1с\max} = U_{ср}/(\sqrt{3} \cdot I_{кз(3)\max}), \quad (2)$$

$$X_{1с\max} = 37/(\sqrt{3} \cdot 4000) = 5,34 \text{ Ом}.$$

Сопротивление прямой последовательности силового трансформатор Т-1 ПС-35кВ.

Технические характеристики трансформатора Т-1 тип ТДНС-10000/35 [19]:

Номинальная мощность – 10000 кВ·А; номинальная частота – 50 Гц; напряжение обмоток: ВН – 36,75кВ, НН – 6,3кВ; схема и группа соединения обмоток – Ун/Д-11; напряжение короткого замыкания на основном ответвлении – 8 %; Потери: холостого хода – 12кВт, короткого замыкания – 60 ток холостого хода – 0,75 %; пределы регулирования напряжения ВН -

+8×1,5%; масса, кг: активной части – 12300, масла трансформаторного – 7000, транспортная – 22000, полная – 26000; 17 – количество ступени РПН; 1,5 – величина регулирования одной ступени РПН, %;

Напряжение короткого замыкания, согласно ГОСТ 11920-85 [5]:

Обозначение	В положении РПН, соответствующем регулированию +12%	В среднем положении РПН	В положении РПН, соответствующем регулированию - 12%
Uк, %	8,8	8	7,63

Расчет сопротивления трансформатора Т-1 при различных положениях РПН [18]:

$$X_{mN} = U_{kN} \cdot U_{н.вн}^2 \cdot a^2 / (100 \cdot S_{н.т}), \quad (3)$$

где N – номер ступени РПН,

$$\alpha = 1 \pm \beta,$$

$\beta = \Delta U_N / U_{н.вн}$ – отклонение $U_{н.вн}$ от номинального значения на ступени регулирования РПН – N .

Первое положение РПН (+12%) - $X_m = 14,91$ Ом

Среднее положение РПН - $X_m = 10,80$ Ом

Последнее положение РПН (-12%) - $X_m = 7,63$ Ом

Расчет сопротивления трансформатора на ступени регулирования РПН, соответствующей наибольшему допускаемому напряжению в сети, согласно ГОСТ 721-74. Максимальное значение в сети 35 кВ, согласно ГОСТ 217-74, составляет 40,5 кВ. Наиболее соответствует этому значению номинальное напряжение ответвления на второй ступени РПН – 40,6 кВ (регулирование +10,5%)

Расчет напряжения короткого замыкания трансформатора на второй ступени РПН.

$$U_{kn} = U_{к. ном} + (U_{к. кр} - U_{к. ном}) \cdot \frac{N}{N_{кр}}, \quad (4)$$

где $n = 2$ – номер ступени РПН на которой определяется U_k ;

$U_{к. кр} = 7,63 \%$ – U_k , соответствующая крайней ступени регулирования;

$U_{к. ном} = 10,80 \%$ – U_k , соответствующая средней ступени регулирования;

$N = 7$ – порядковый номер n -й ступени РПН по счету от средней;

$N_{кр} = 8$ – порядковый номер крайней ступени РПН по счету от средней.

$$U_{kn} = 10,8 + (7,63 - 10,8) \cdot \frac{7}{8} = 8,031\%.$$

Расчет сопротивления трансформатора Т-1 на второй ступени РПН:

$$X_m = 13,24 \text{ Ом.}$$

Суммарное сопротивление прямой последовательности до шин 6кВ ПС-35 кВ Водозабор – 1 при питании ПС по ЛЭП 35 кВ от ПС – 110 кВ Комсомольская.

$$X_{1\Sigma min} = X_{1cmin} + X_{1m}, \quad (5)$$

$$X_{1\Sigma min} = 6,705 + 13,24 = 19,95 \text{ Ом.}$$

$$Z_{1\Sigma min} = \sqrt{(R_{1\Sigma min}^2 + X_{1\Sigma min}^2)} = 19,95 \text{ Ом,} \quad (6)$$

$$X_{1\Sigma max} = X_{1cmax} + X_{1m} = 5,34 + 7,64 = 12,98 \text{ Ом,} \quad (7)$$

$$Z_{1\Sigma max} = \sqrt{(R_{1\Sigma max}^2 + X_{1\Sigma max}^2)} = 12,98 \text{ Ом.} \quad (8)$$

Расчет тока трехфазного короткого замыкания на шинах 6кВ ПС-35кВ Водозабор-1 приведенной к стороне ВН.

$$I_{кз(3)min. \text{ вн}} = U_{max. \text{ вн}} / (\sqrt{3} \cdot Z1_{\Sigma min}), \quad (9)$$

где $U_{max. \text{ вн}} = 40,5$ кВ – максимальное значение напряжения в сети 35кВ, согласно ГОСТ Р 57382-2017 [20].

$$I_{кз(3)min. \text{ вн}} = 1,172 \text{ кА.}$$

$$I_{кз(3)max. \text{ вн}} = U_{ном. с} / (\sqrt{3} \cdot Z1_{\Sigma max}), \quad (10)$$

где $U_{ном. с} = 35$ – номинальное значение напряжения в сети 35кВ.

$$I_{кз(3)max. \text{ вн}} = 1,557 \text{ кА.}$$

Расчет минимального тока двухфазного короткого замыкания на шинах 6кВ ПС-35 кВ Водозабор – 1 приведенной к стороне ВН.

$$I_{кз(2)min. \text{ вн}} = \sqrt{3} \cdot I_{кз(3)min. \text{ вн}} / 2 = 1,015 \text{ кА.} \quad (11)$$

Расчет тока трёхфазного короткого замыкания на шинах 6кВ ПС-35 кВ Водозабор-1 приведенной к стороне НН.

$$I_{кз(3)min. \text{ нн}} = I_{кз(3)min. \text{ вн}} \cdot U_{max. \text{ вн}} / U_{нн}, \quad (12)$$

$$I_{кз(3)max. \text{ нн}} = I_{кз(3)max. \text{ вн}} \cdot U_{ср. \text{ вн}} \cdot (1 - \Delta U_{рпн}) / U_{нн}. \quad (13)$$

где: $U_{нн} = 6,3$ – номинальное значение напряжения низкой стороны трансформатора, кВ;

$U_{ср. \text{ вн}} \cdot (1 - \Delta U_{рпн}) = 32,34$ – номинальное значение напряжения на 17-й ступени РПН, кВ.

$$I_{кз(3)min. нн} = 7,535 \text{ кА},$$

$$I_{кз(3)max. нн} = 7,994 \text{ кВ}.$$

Расчет минимального тока двухфазного короткого замыкания на шинах 6кВ ПС-35 кВ Водозабор-1 приведенной к стороне НН.

$$I_{кз(2)min. нн} = \sqrt{3} \cdot I_{кз(3)min. вн} / 2 \quad (14)$$

$$I_{кз(2)min. нн} = \sqrt{3} \cdot 7,535 / 2 = 6,526 \text{ кА}.$$

3.2 Расчет токов трехфазного КЗ на шинах 6кВ ПС-35 кВ Водозабор-1 при питании ПС от ЛЭП 35 кВ от ПС-110кВ «СК»

Сопротивление прямой последовательности системы до шин 35кВ ПС-35кВ Водозабора-1 при питании ПС по ЛЭП 35кВ от ПС-110кВ СК.

$$R_{1сmin} = 3,540 \text{ Ом}$$

$$R_{1сmax} = 3,714 \text{ Ом}$$

$$X_{1сmin} = 8,136 \text{ Ом}$$

$$X_{1сmax} = 6,580 \text{ Ом}$$

$$Z_{1\Sigma min} = \sqrt{(R_{1\Sigma min}^2 + X_{1\Sigma min}^2)}, \quad (15)$$

$$Z_{1\Sigma min} = 8,873 \text{ Ом}.$$

$$Z_{1\Sigma max} = \sqrt{(R_{1\Sigma max}^2 + X_{1\Sigma max}^2)}, \quad (16)$$

$$Z_{1\Sigma max} = 7,556 \text{ Ом}.$$

Значение сопротивления приведены к напряжению 37 кВ.

Расчет тока трехфазного короткого замыкания на выводах ВН трансформатора Т-2

$$I_{кз(3)min. вн} = U_{н. вн} / (\sqrt{3} \cdot Z_{1\Sigma min}), \quad (17)$$

$$I_{кз(3)min. вн} = 2,408 \text{ кА}.$$

$$I_{кз(3)max. вн} = U_{н. вн} / (\sqrt{3} \cdot Z_{1\Sigma max}), \quad (18)$$

$$I_{кз(3)max. вн} = 2,827 \text{ кА.}$$

Сопротивление прямой последовательности силового трансформатора Т-2 ПС-35кВ Водозабор-1.

Параметры трансформатора Т-2 (ТДНС-10000/35-У1):

$S_{н.м} = 10000$ – номинальная мощность, кВА;

$U_{н.вн} = 36,75$ – номинальное напряжение стороны высокого напряжения, кВ;

$U_{н.нн} = 6,3$ – номинальное напряжение стороны низкого напряжения, кВ;

17 – количество ступени РПН;

1,5 – величина регулирования одной ступени РПН, %.

Напряжение короткого замыкания, согласно ГОСТ 11920-85:

В положении РПН, соответствующем регулированию +12%, U_k , %.	В среднем положении РПН, U_k , %	В положении РПН, соответствующем регулированию -12%, U_k , %
8,8	8	7,63

Расчет сопротивления трансформатора Т-2 при различных положениях РПН:

$$X_{mN} = U_k N \cdot U_{н.вн}^2 / (100 \cdot S_{н.м}), \quad (19)$$

где: N – номер ступени РПН;

$$\alpha = 1 \pm \beta;$$

$\beta = \Delta U_N / U_{н.вн}$ – отклонение $U_{н.вн}$ от номинального значения на ступени регулирования РПН – N.

Первое положение РПН (+12%) – $X_m = 14,91 \text{ Ом}$,

Среднее положение РПН – $X_m = 10,80 \text{ Ом}$,

Последнее положение РПН (-12%) – $X_m = 7,63 \text{ Ом}$.

Расчет сопротивления трансформатора на ступени регулирования РПН, соответствующей наибольшему допускаемому напряжению в сети, согласно ГОСТ 721-74. Максимальное значение в сети 35кВ, согласно ГОСТ 217-74, составляет 40,5кВ. Наиболее соответствует этому напряжению номинальное напряжение ответвления на второй ступени РПН – 40,6 кВ (регулирование +10,5%)

Расчет напряжения короткого замыкания трансформатора на второй ступени РПН:

$$U_{kn} = U_{к. ном} + (U_{к. кр} - U_{к. ном}) \cdot \frac{N}{N_{кр}} = 8,031\% \quad (20),$$

где $n = 2$ – номер ступени РПН на которой определяется U_k ;

$U_{к. кр} = 7,63\%$ – U_k , соответствующая крайней ступени регулирования;

$U_{к. ном} = 10,80\%$ – U_k , соответствующая средней ступени регулирования;

$N = 7$ – порядковый номер n – й ступени РПН по счету от средней;

$N_{кр} = 8$ – порядковый номер крайней ступени РПН по счету от средней.

$$U_{kn} = 8,031\%.$$

Расчет сопротивления трансформатора Т-2 на второй ступени РПН:

$$X_m = 13,24 \text{ Ом}.$$

Суммарное сопротивление прямой последовательности до шин 6кВ ПС-35 кВ Водозабор-1 при питании ПС по ЛЭП 35 кВ от ПС-110 кВ «СК».

$$R1\Sigma min = R1cmin, \quad (21)$$

$$R1\Sigma min = 3,54 \text{ Ом.}$$

$$R1\Sigma max = R1cmax, \quad (22)$$

$$R1\Sigma max = 3,714 \text{ Ом.}$$

$$X1\Sigma min = X1cmin + X1m, \quad (23)$$

$$X1\Sigma min = 8,136 + 13,24 = 21,38 \text{ Ом.}$$

$$Z1\Sigma min = \sqrt{(R1\Sigma min^2 + X1\Sigma min^2)}, \quad (24)$$

$$Z1\Sigma min = 21,67 \text{ Ом.}$$

$$X1\Sigma max = X1cmax + X1m, \quad (25)$$

$$X1\Sigma max = 6,580 + 7,63 = 14,21 \text{ Ом.}$$

$$Z1\Sigma max = \sqrt{(R1\Sigma max^2 + X1\Sigma max^2)}, \quad (26)$$

$$Z1\Sigma max = 14,69 \text{ Ом.}$$

Расчет тока трехфазного короткого замыкания на шинах 6кВ ПС-35 кВ Водозабор-1 приведенной к стороне ВН.

$$I_{кз(3)min. \text{ВН}} = U_{max. \text{ВН}} / (\sqrt{3} \cdot Z1\Sigma min), \quad (27)$$

где $U_{max. \text{ВН}} = 40,5$ – максимальное значение напряжения в сети 35кВ, согласно ГОСТ 271-74, кВ.

$$I_{кз(3)min. \text{ВН}} = 1,079 \text{ кА.}$$

$$I_{кз(3)max. \text{ВН}} = U_{ном.с} / (\sqrt{3} \cdot Z1\Sigma max), \quad (28)$$

где $U_{ном.с} = 35$ – номинальное значение напряжения в сети 35 кВ.

$$I_{кз(3)max. \text{ВН}} = 1,375 \text{ кА.}$$

Расчет минимального тока двухфазного короткого замыкания на шинах 6кВ ПС-35 кВ Водозабор-1 приведенной к стороне ВН:

$$I_{кз(2)min. вн} = \sqrt{3} \cdot I_{кз(3)min. вн} / 2, \quad (29)$$

$$I_{кз(2)min. вн} = 0,934 \text{ кА.}$$

Расчет тока трёхфазного короткого замыкания на шинах 6кВ ПС-35 кВ Водозабор-1 приведенной к стороне НН.

$$I_{кз(3)min. нн} = I_{кз(3)min. вн} \cdot U_{max. вн} / U_{нн}, \quad (30)$$

где $U_{нн} = 6,3$ – номинальное значение напряжения низкой стороны трансформатора, кВ.

$$I_{кз(3)min. нн} = 6,936 \text{ кА.}$$

$$I_{кз(3)max. нн} = I_{кз(3)max. вн} \cdot U_{ср. вн} \cdot (1 - \Delta U_{рпн}) / U_{нн}, \quad (31)$$

где $U_{нн} = 6,3$ – номинальное значение напряжения низкой стороны трансформатора, кВ;

$U_{ср. вн} \cdot (1 - \Delta U_{рпн}) = 32,34$ – номинальное значение напряжения на 17-й ступени РПН, кВ.

$$I_{кз(3)max. нн} = 7,060 \text{ кА.}$$

Расчет минимального тока двухфазного короткого замыкания на шинах 6кВ ПС-35 кВ Водозабор-1 приведенной к стороне НН.

$$I_{кз(2)min. нн} = \sqrt{3} \cdot I_{кз(3)min. вн} / 2, \quad (32)$$

$$I_{кз(2)min. нн} = 6,007 \text{ кА.}$$

3.3 Расчет токов трехфазного КЗ на шинах 6кВ ПС-35 кВ Водозабор-1 при питании шин 6 кВ по КЛ 6кВ «КС-1» и «КС-2»

Сопротивление прямой последовательности системы до шин 110кВ ПС-35 кВ Водозабора-2.

$$R1\sigma_{min} = 2,234 \text{ Ом}$$

$$R1\sigma_{max} = 2,234 \text{ Ом}$$

$$X1\sigma_{min} = 4,209 \text{ Ом}$$

$$X1\sigma_{max} = 4,209 \text{ Ом}$$

$$Z1\sigma_{min} = \sqrt{R1\sigma_{min}^2 + X1\sigma_{min}^2}, \quad (33)$$

$$Z1\sigma_{min} = 4,765 \text{ Ом.}$$

$$Z1\sigma_{max} = \sqrt{(R1\sigma_{max}^2 + X1\sigma_{max}^2)}, \quad (34)$$

$$Z1\sigma_{max} = 4,765 \text{ Ом.}$$

Значение сопротивления приведены к напряжению 115 кВ.

Расчет тока трехфазного короткого замыкания на выводах ВН трансформатора Т-3 ПС-110 кВ Водозабор-2

$$I_{кз(3)min. \text{ВН}} = U_{н. \text{ВН}} / (\sqrt{3} \cdot Z1\sigma_{min}), \quad (35)$$

$$I_{кз(3)min. \text{ВН}} = 13,934 \text{ кА.}$$

$$I_{кз(3)max. \text{ВН}} = U_{н. \text{ВН}} / (\sqrt{3} \cdot Z1\sigma_{max}), \quad (36)$$

$$I_{кз(3)max. \text{ВН}} = 13,934 \text{ кА.}$$

Сопротивление прямой последовательности силового трансформатора Т-3 ПС-110кВ Водозабор-2

Параметры трансформатора Т-3 (ТДН-10000/110-У1):

$S_{н.m} = 10000$ – номинальная мощность, кВА;

$U_{н. \text{ВН}} = 115\text{кВ}$ – номинальное напряжение стороны высокого напряжения;

$U_{н.нн} = 6,6\text{кВ}$ – номинальное напряжение стороны низкого напряжения;

$U_{к} = 10,3\%$ – напряжение короткого замыкания.

Расчет сопротивления трансформатора Т-3:

$$X_m = U_k \cdot U_{н.вн}^2 / (100 \cdot S_{н.т}), \quad (37)$$

$$X_m = 136,2 \text{ Ом.}$$

Суммарное сопротивление прямой последовательности до шин 6кВ ПС-35 кВ Водозабор-1.

$$R1_{\Sigma min115} = R1_{cmin}, \quad (38)$$

$$R1_{\Sigma min115} = 2,234 \text{ Ом.}$$

$$R1_{\Sigma max115} = R1_{cmax}, \quad (39)$$

$$R1_{\Sigma max115} = 2,234 \text{ Ом.}$$

$$X1_{\Sigma min115} = X1_{cmin} + X1_m, \quad (40)$$

$$X1_{\Sigma min115} = 4,209 + 136,2 = 140,43 \text{ Ом.}$$

$$Z1_{\Sigma min115} = \sqrt{(R1_{\Sigma min}^2 + X1_{\Sigma min}^2)}, \quad (41)$$

$$Z1_{\Sigma min115} = 140,4 \text{ Ом.}$$

$$X1_{\Sigma max115} = X1_{cmax} + X1_m, \quad (42)$$

$$X1_{\Sigma max115} = 4,209 + 136,2 = 140,43 \text{ Ом}$$

$$Z1_{\Sigma max115} = \sqrt{(R1_{\Sigma max}^2 + X1_{\Sigma max}^2)}, \quad (43)$$

$$Z1_{\Sigma max115} = 140,4 \text{ Ом.}$$

Значения сопротивления приведены к напряжению $U_{вн} = 115\text{кВ}$.

$$R1_{cmin6,3} = R1_{\Sigma min115} \cdot (U_{нн} / U_{вн})^2, \quad (44)$$

$$R1_{cmin6,3} = 0,007 \text{ Ом.}$$

$$R1_{cmax6,3} = R1_{\Sigma max115} \cdot (U_{нн} / U_{вн})^2, \quad (45)$$

$$R1_{\text{max}6,3} = 0,007 \text{ Ом.}$$

$$X1_{\text{min}6,3} = X1_{\Sigma\text{min}115} \cdot (U_{\text{нн}} / U_{\text{вн}})^2, \quad (46)$$

$$X1_{\text{min}6,3} = 0,421 \text{ Ом.}$$

$$X1_{\text{max}6,3} = X1_{\Sigma\text{max}115} \cdot (U_{\text{нн}} / U_{\text{вн}})^2, \quad (47)$$

$$X1_{\text{max}6,3} = 0,421 \text{ Ом.}$$

Значения сопротивления приведены к напряжению $U_{\text{нн}} = 6,3 \text{ кВ}$.

Расчет сопротивления до шин 6кВ ПС-35 кВ Водозабор-1 при питании от ПС-110 кВ Водозабор-2.

Кабель: АСБ-6 2 (3х240) [17]: Длина «КС-1, КС-2» - $L = 210 \text{ м}$, $R_{\text{уд}} = 0,129 \text{ Ом/км}$, $X_{\text{уд}} = 0,071 \text{ Ом/км}$, $R1_{\text{каб}} = R_{\text{уд}} \cdot L/n = 0,013 \text{ Ом}$, $X1_{\text{каб}} = X_{\text{уд}} \cdot L/n = 0,08 \text{ Ом}$.

$$R1_{\Sigma\text{min}} = R1_{\text{min}6.3} + R1_{\text{кл}}, \quad (48)$$

$$R1_{\Sigma\text{min}} = 0,007 + 0,013 = 0,020 \text{ Ом.}$$

$$R1_{\Sigma\text{max}} = R1_{\text{max}6,3} + R1_{\text{кл}}, \quad (49)$$

$$R1_{\Sigma\text{max}} = 0,007 + 0,013 = 0,020 \text{ Ом.}$$

$$X1_{\Sigma\text{min}} = X1_{\text{min}6.3} + X1_{\text{кл}}, \quad (50)$$

$$X1_{\Sigma\text{min}} = 0,421 + 0,08 = 0,429 \text{ Ом.}$$

$$X1_{\Sigma\text{max}} = X1_{\text{max}6.3} + X1_{\text{кл}}, \quad (51)$$

$$X1_{\Sigma\text{max}} = 0,421 + 0,08 = 0,429 \text{ Ом.}$$

$$Z1_{\Sigma\text{min}} = \sqrt{(R1_{\Sigma\text{min}})^2 + (X1_{\Sigma\text{min}})^2}, \quad (52)$$

$$Z1_{\Sigma\text{min}} = 0,429 \text{ Ом.}$$

$$Z1_{\Sigma\text{max}} = \sqrt{(R1_{\Sigma\text{max}})^2 + (X1_{\Sigma\text{max}})^2}, \quad (53)$$

$$Z1_{\Sigma\text{max}} = 0,429 \text{ Ом.}$$

Расчет тока трехфазного короткого замыкания на шинах 6кВ ПС-35 кВ Водозабор-1 при питании от ПС-35кВ Водозабор-2.

$$I_{кз(3)min} = \frac{U_{max}}{\sqrt{3} \cdot Z_{1\Sigma min}}, \quad (54)$$

$$I_{кз(3)min} = 8,471 \text{ кА.}$$

$$I_{кз(3)max} = \frac{U_{max}}{\sqrt{3} \cdot Z_{1\Sigma max}}, \quad (55)$$

$$I_{кз(3)max} = 8,471 \text{ кА.}$$

Расчет минимального тока двухфазного короткого замыкания на шинах 6кВ ПС-35кВ Водозабор-1 при питании от ПС-35кВ Водозабор-2.

$$I_{кз(2)min} = \sqrt{3} \cdot I_{кз(3)min} / 2, \quad (56)$$

$$I_{кз(2)min} = 7,336 \text{ кА.}$$

Все расчетные данные токов короткого замыкания вносим в таблицу 2. Значения токов приведены в кА.

Таблица 2 – Итоговые расчеты значения токов короткого замыкания

Место КЗ	ПС Водозабор -1		
	$I_{кз(3)min}$	$I_{кз(2)min}$	$I_{кз(3)max}$
При питании от ПС-110 кВ «Комсомольская»			
Выводы ВН Т-1	3,186	2,759	4,000
I с.ш. 6кВ (прив. к ВН)	1,172	1,015	1,557
I с.ш. 6кВ (прив. к НН)	7,535	6,526	7,994
При питании от ПС-110 кВ «СК»			
Выводы ВН Т-2	2,408	2,085	2,827
II с.ш. 6кВ (прив. к ВН)	1,079	0,934	1,375
II с.ш. 6кВ (прив. к НН)	6,936	6,007	7,060
При питании от шин 6кВ ПС Водозабор -2			
Шины 6кВ (прив. к НН)	8,471	7,336	8,471

Токи КЗ изображены в однолинейной схеме Водозабора-1 рисунок 8.

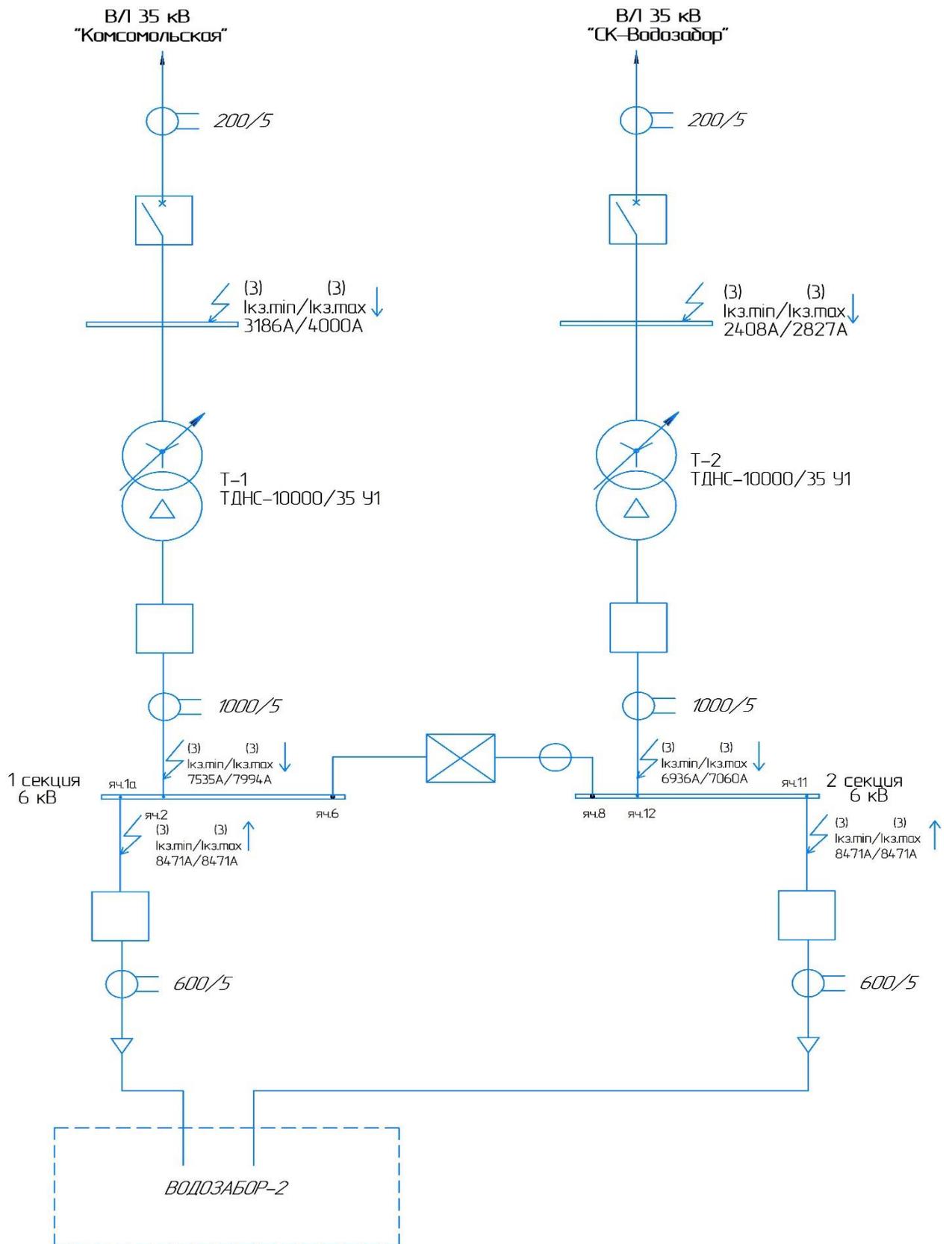


Рисунок 8 – Однолинейная схема Водозабора-1 с токами КЗ

Вывод по разделу 3.

Произведен расчет токов короткого замыкания на Водозаборе-1, где максимальный ток трехфазного короткого замыкания составил:

- при питании от ПС-110 кВ «Комсомольская»:

- выводы ВН Т-1 = 4000А;

- I с.ш. 6кВ (прив. к ВН) = 1557А;

- I с.ш. 6кВ (прив. к НН) = 7994 А.

- при питании от ПС-110 кВ «СК»:

- выводы ВН Т-2 = 2827А;

- II с.ш. 6кВ (прив. к ВН) = 1375А;

- II с.ш. 6кВ (прив. к НН) = 7060А.

- при питании от шин 6кВ ПС Водозабор-2:

- шины 6кВ (прив. к НН) = 8471А.

4 Расчет уставок релейной защиты для Т-1, Т-2, В-1, В-2, СВ-12, КС-1 и КС-2

На Водозаборе-1 используется карта уставок для релейной защиты электрооборудования, рассчитанная для аналоговых реле. Необходимо заново рассчитать уставки для защиты двух силовых трансформаторов типа ТДНС-10000/35, а также для вводов, секционного выключателя, кабелей связи (КС-1, КС-2) между Водозабором-1 и Водозабором-2.

В соответствии с требованиями ПУЭ [13] на Водозаборе-1 будут рассчитаны по методике [9] и применены следующие виды защит:

- для кабельных линий КЛ 6 кВ КС-1(2), (терминал ТОР 200 Л 22):
 - максимальная токовая направленная защита (МТЗ);
 - устройство резервирования отказа выключателя (УРОВ).
- для секционного выключателя 6 кВ (СВ-6), (терминал ТОР 200 С 22):
 - максимальная токовая защита (МТЗ);
 - устройство резервирования отказа выключателя (УРОВ).
- для вводов 6 кВ Т-1(2) (терминал ТОР 200 В 22):
 - максимальная токовая защита (МТЗ);
 - устройство резервирования отказа выключателя (УРОВ).
- для трансформаторов Т-1(2) (терминал ТОР 200 Т 75):
 - дифференциальная токовая отсечка (ДТО);
 - дифференциальная токовая защита (ДЗТ);
 - газовая защита трансформатора (ГЗТ);
 - газовая защита РПН (ГЗ РПН);
 - максимальная токовая защита высокого напряжения (МТЗ ВН);
 - максимальная токовая защита низкого напряжения (МТЗ НН);
 - Защита от перегрузки.

Реле для газовой защиты трансформатора и РПН заранее установлено заводом изготовителем трансформатора [11].

Значения уставок для Водозабора-1 указаны в таблице 3.

Таблица 3 – Карта уставок для Водозабора-1

Наименование фидера		Т-1		Т-2		КС – 1	КС – 2	СВ-12	
		35кВ	6кВ	35 кВ	6кВ				
Номера ячеек на схеме		2		12		1а	11	8	
Номинальный ток фидера, (А)		165	916	165	916				
Коэффициент трансформации: ТТ; ТН		200/5	1000/5	200/5	1000/5	600/5	600/5	600/5	
Коэффициент схемы, К _{сх.}		1,73	1,0	1,73	1,0	1,0	1,0	1,0	
Дифференциальная защита	Ток срабатывания защиты, I _{с.з.} (А)	231	1820	231	1820	-	-	-	
	Ток срабатывания реле, I _{с.р.} (А)	10	9,1	10	9,1	-	-	-	
	Обозначение реле на схеме	КАW 1, КАW 2		КАW 1, КАW 2		-	-	-	
Максимально-токовая защита	Ток срабатывания защиты, (А)	440	1880	-	1880	-	-	-	
	Ток срабатывания реле, (А)	19	9,4	-	9,4	-	-	-	
	Уставка по времени, (сек)	1,0	1,0	1,0	1,0	-	-	-	
	Обозначение реле на схеме	КА-1,2;	РТ-5	КА-1,2;	РТ-5	-	-	-	
Токовая отсечка	Ток срабатывания защиты, (А)	-	-	-	-	3600	3600	3000	
	Ток срабатывания реле, (А)	-	-	-	-	30	30	25	
	Обозначение реле на схеме	-	-	-	-	РТ-5,6	РТ-5,6	РТ-5,6	
Защита минимального напряжения	Напряжение срабатывания защиты, (В)	-	3600	-	3600	-	-	-	
	Напряжение срабатывания реле, (В)	-	60	-	60	-	-	-	
	Уставка по времени, (сек)	-	0,5	-	0,5	-	-	-	
	Обозначение реле на схеме	-	1РН,2РН,1РВ	-	1РН,2РН,1РВ	-	-	-	
Газовая защита	Действие защиты	I степень	сигнал	-	сигнал	-	-	-	
		II степень	отключ.	-	отключ.	-	-	-	
	Обозначение реле на схеме	РГЗ	-	РГЗ	-	-	-	-	
Включение обдува тр-ра 35/6 кВ	Ток срабатывания защиты, (А)	120	-	120	-	-	-	-	
	Ток срабатывания реле, (А)	3	-	3	-	-	-	-	
	Уставка по времени, (сек)	4	-	4	-	-	-	-	
	Обозначение реле на схеме	КА; РВ	-	КА; РВ	-	-	-	-	
	Термосигнализатор	t ⁰ С включения	55 ⁰	-	55 ⁰	-	-	-	-
		t ⁰ С отключения	50 ⁰	-	50 ⁰	-	-	-	-
АВР	Напряжение срабатывания, (В)	-	-	-	-	-	-	3600	
	Напряжение срабатывания реле, (В)	-	-	-	-	-	-	60	
	Время срабатывания вводов 1В,2В, (сек)	-	-	-	-	-	-	0,5	

4.1 Расчет уставок защит в ячейке №1а (11) КС-1(2)

Расчет уставки МТЗ.

Найдем ток срабатывания защиты:

$$I_{с.з} \geq \left(K_H \cdot \frac{K_{сзп}}{K_B} \right) \cdot I_{раб. мах}, \quad (57)$$

где $K_H = 1,2$;

$K_{сзп} = 1,5$;

$K_B = 0,95$

$$I_{раб. мах} = n \cdot I_{дл. д. каб}, \quad (58)$$

где $I_{дл. д. каб} = 351 \text{ А}$;

$n = 2$

$$I_{раб. мах} = 702 \text{ А},$$

$$I_{с.з} \geq 1330,1 \text{ А}.$$

Принято значение тока срабатывания $I_{с.з} = 1350 \text{ А}$.

Проверка чувствительности при КЗ $I(2)_{min}$ на шинах 6кВ ПС Водозабор-1 при питании от Водозабор-2:

$$K_{ч} = I(2)_{min} / I_{с.з}, \quad (59)$$

$$K_{ч} = 7,336 / 1350 = 5,43.$$

$$K_{ч} \geq 1,5,$$

$$5,43 \geq 1,5.$$

Вторичный ток срабатывания (реле):

$$I_{с.р.} = (K_{сх} \cdot K_{тт}) \cdot I_{с.з}, \quad (60)$$

где $K_{сх} = 1$;

$$K_{mm} = 600/5 = 120.$$

$$I_{с.р.} = 11,25 \text{ А.}$$

Время срабатывания защиты: $t_{с.з.} = 0,3\text{с.}$

Расчет уставки защиты устройство резервирования при отказе выключателя (УРОВ).

Найдем ток срабатывания УРОВ по формуле:

$$I_{с.з.} \geq 0,2 I_{ном.пр}, \quad (61)$$

где $I_{ном.пр} = I_{раб.мах} = 702\text{А.}$

$$I_{с.з.} \geq 140.$$

Отсюда принято значение тока срабатывания $I_{с.з.} = 140\text{А.}$

Далее найдем вторичный ток срабатывания (реле) по формуле:

$$I_{с.р.} = (K_{сх} \cdot K_{mm}) \cdot I_{с.з.}, \quad (62)$$

где $K_{сх} = 1$,

$$K_{mm} = 600/5 = 120.$$

$$I_{с.р.} = 1,17 \text{ А.}$$

Время срабатывания защиты УРОВ: $t_{с.з.} = 0,2\text{с}$ [4].

4.2 Расчет уставок защит в ячейке №8 (СВ-12)

Расчет уставки МТЗ.

Найдем ток срабатывания, по условию отстройки от $I_{\text{раб.мах}}$:

$$I_{\text{с.з.}} \geq (K_{\text{н}} \cdot K_{\text{сзп}}/K_{\text{в}}) \cdot I_{\text{раб.мах}}, \quad (63)$$

где $K_{\text{н}} = 1,1$;

$$K_{\text{сзп}} = 1,5;$$

$$K_{\text{в}} = 0,95.$$

Максимальный рабочий ток найдем по формуле:

$$I_{\text{раб.мах}} = K_{\text{з}} \cdot I_{\text{н.т}}, \quad (64)$$

где $K_{\text{з}} = 0,7$;

$$I_{\text{н.т}} = 916\text{А}.$$

$$I_{\text{раб.мах}} = 641,5\text{А},$$

$$I_{\text{с.з.}} \geq 1114,1 = 1114,2\text{А}.$$

Далее:

$$I_{\text{с.з.}} \geq K_{\text{н.с}} \cdot (I_{\text{с.з.яч.1а(11)}} + I_{\text{нгр.отх}}), \quad (65)$$

где: $I_{\text{нгр.отх}} = 358\text{ А}$;

$$K_{\text{н.с}} = 1,1;$$

$$I_{\text{с.з.яч.1а(11)}} = 1350\text{А}.$$

$$I_{\text{с.з.}} \geq 1878,8 = 1900\text{А}.$$

Было принято значения тока срабатывания защиты $I_{\text{с.з.}} = 1900\text{А}$.

Проверим чувствительность защиты МТЗ):

$$K_{\text{ч}} = I_{\text{кз(2)min}}/I_{\text{с.з.}}, \quad (66)$$

где: $I_{\text{кз(2)min}} = 6,007\text{кА}$.

$$K_{\text{ч}} \geq 1,5 = 2,74.$$

Условия чувствительности выполняются.

Вторичный ток срабатывания защиты (реле) найдем по формуле:

$$I_{\text{с.р.}} = (K_{\text{сх.}}/K_{\text{тт}} \cdot I_{\text{с.з}}), \quad (67)$$

где: $K_{\text{тт}} = 600/5 = 120$,

$$K_{\text{сх}}=1.$$

$$I_{\text{с.р.}} = 15,83 \text{ А.}$$

Время срабатывания (МТЗ) тс.з. = 0,6с.

Расчет уставки защиты устройство резервирования при отказе выключателя (УРОВ).

Найдем ток срабатывания УРОВ по формуле:

$$I_{\text{с.з}} \geq 0,2 I_{\text{ном.пр}}, \quad (68)$$

где: $I_{\text{ном.пр}} = I_{\text{раб.мах}} = 641,5 \text{ А.}$

$$I_{\text{с.з}} \geq 128,3 = 130 \text{ А.}$$

Отсюда принято значение тока срабатывания $I_{\text{с.з.}} = 130 \text{ А.}$

Далее найдем вторичный ток срабатывания (реле) по формуле:

$$I_{\text{с.р.}} = (K_{\text{сх}} \cdot K_{\text{тт}}) \cdot I_{\text{с.з}}, \quad (69)$$

где $K_{\text{сх}} = 1$,

$$K_{\text{тт}} = 600/5 = 120.$$

$$I_{\text{с.р.}} = 1,08 \text{ А.}$$

Время срабатывания защиты УРОВ: $t_{с.з.} = 0,2с.$

4.3 Расчет уставок защит в ячейке №2 (12) В-1(2)

Выбор уставок максимальной токовой защиты (МТЗ).

Найдем ток срабатывания защиты, по условию отстройки от $I_{раб.мах.}$

$$I_{с.з.} \geq (K_n \cdot K_{сзп}/K_B) \cdot I_{раб.мах.}, \quad (70)$$

где $K_n = 1,1$;

$$K_{сзп} = 1,5;$$

$$K_B = 0,95.$$

Максимальный рабочий ток найдем по формуле:

$$I_{раб.мах.} = K_z \cdot I_{н.т}, \quad (71)$$

где: $K_z = 1,4$;

$$I_{н.т} = 916А.$$

$$I_{раб.мах.} = 1283А,$$

$$I_{с.з.} \geq 2228,3 = 2228,4А.$$

Далее:

$$I_{с.з.} \geq K_{н.с} \cdot (I_{с.з.яч.8} + I_{нгр.отх}), \quad (72)$$

где: $I_{нгр.отх} = 1060 А$;

$$K_{н.с} = 1,1;$$

$$I_{с.з.яч.8} = 1900А.$$

$$I_{с.з.} \geq 3256 = 3300А.$$

Было принято значения тока срабатывания защиты $I_{с.з.} = 3300А.$

Проверим чувствительность защиты при $I_{кз(2)min}$ на шинах 6кВ.

$$K_{ч} = I_{к.з(2)min} / I_{с.з}, \quad (73)$$

где $I_{к.з(2)min} = 6.007$ кА.

$$K_{ч} \geq 1,5 = 1,58.$$

Условия чувствительности выполняются.

Вторичный ток срабатывания защиты (реле) найдем по формуле:

$$I_{с.р.} = (K_{сх.}/K_{тн}) \cdot I_{с.з}, \quad (74)$$

где: $K_{тн} = 1000/5 = 200$.

$$I_{с.р.} = 16,5 \text{ А.}$$

Время срабатывания (МТЗ) $t_{с.з.} = 0,9$ с.

Выбор уставок автоматического ввода резерва (АВР).

Найдем напряжение срабатывания реле минимального напряжения по формуле:

$$U_{с.з.} = K_{отс} \cdot U_{с}, \quad (75)$$

где $K_{отс} = 0,60$,

$U_{с.} = 6$ кВ.

$$U_{с.з.} = 3,6 \text{ кВ.}$$

Далее находим вторичное напряжение срабатывание (реле):

$$U_{с.р.} = U_{с.з.} / K_{тн}, \quad (76)$$

где $K_{тн} = 60$.

$$U_{с.р} = 60 \text{ В.}$$

Время срабатывания защиты (АВР) тс.з. = 1,5с.

4.4 Расчет уставок защит силового трансформатора Т-1(2)

Расчет уставок дифференциальной защиты силового трансформатора (ДЗТ) [3].

Для выбора уставок дифференциального органа с торможением найдем начальный дифференциальный ток срабатывания:

$$I_{д.нач.*} = K_{отс} \cdot I_{нб.расч*}, \quad (77)$$

где $K_{отс} = 1,2$.

Расчетный ток небаланса:

$$I_{нб.расч*} = (K_{пер} \cdot K_{одн} \cdot \varepsilon + \Delta U_{рег.} + f_{выр.}) \cdot I_{расч*}, \quad (78)$$

где $K_{пер} = 1,0$; $K_{одн} = 1,0$; $\varepsilon = 0,1$; $\Delta U_{рег.} = 0,12$; $f_{выр.} = 0,02$; $I_{расч*} = 1,0$.

$$I_{нб.расч*} = 0,24 \text{ о.е.}$$

$$I_{д.нач.*} = 0,29 \text{ о.е.}$$

Отсюда принято значение уставки: " $I_{д.нач.}$ " = 29%, " $I_{торм2.}$ " = 100%.

Коэффициент торможения второго участка:

$$K_{торм2} = (I_{диф.расч*} - I_{д.нач.*}) / (I_{торм.расч*} - I_{торм2*}), \quad (79)$$

где: $I_{торм2*} = 1,0$ о.е.

Относительный расчетный дифференциальный ток срабатывания при расчетном внешнем КЗ:

$$I_{\text{диф. расч}}^* = K_{\text{отс.}} \cdot I_{\text{нб. расч}}^* \quad (80)$$

где $K_{\text{отс.}} = 1,2$

Расчетный ток небаланса:

$$I_{\text{нб. расч}}^* = (K_{\text{пер.}} \cdot K_{\text{одн.}} \cdot \varepsilon + \Delta U_{\text{рег.}} + f_{\text{выр.}}) \cdot I_{\text{торм. расч}}^*, \quad (81)$$

где $K_{\text{пер.}} = 2,0$; $K_{\text{одн.}} = 1,0$; $\varepsilon = 0,1$; $\Delta U_{\text{рег.}} = 0,12$; $f_{\text{выр.}} = 0,02$;
 $I_{\text{торм. расч}}^* = I_{\text{кз}(3)\text{мах}} = 9,91$ о.е.

$$I_{\text{нб. расч}}^* = 3,37 \text{ о. е.},$$

$$I_{\text{диф. расч}}^* = 4,0 \text{ о. е.},$$

$$K_{\text{торм2.}} = 0,42 \text{ о. е.}$$

Отсюда принято значение уставки: " $K_{\text{торм2.}} = 42\%$ ", " $I_{\text{торм3.}} = 250\%$ ".

Коэффициент торможения третьего участка:

$$K_{\text{торм3}} = (I_{\text{диф. расч}}^* - I_{\text{диф. которм2}}^*) / (I_{\text{торм. расч}}^* - I_{\text{торм3}}^*), \quad (82)$$

Относительный расчетный дифференциальный ток срабатывания:

$$I_{\text{диф. расч}}^* = K_{\text{отс.}} \cdot I_{\text{нб. расч}}^*, \quad (83)$$

где: $K_{\text{отс.}} = 1,2$

Расчетный ток небаланса:

$$I_{\text{нб. расч}}^* = (K_{\text{пер.}} \cdot \varepsilon + \Delta U_{\text{рег.}} + f_{\text{выр.}}) \cdot I_{\text{торм. расч}}^*, \quad (84)$$

где $K_{\text{пер.}} = 4,0$; $\varepsilon = 0,1$; $\Delta U_{\text{рег.}} = 0,12$; $f_{\text{выр.}} = 0,02$; $I_{\text{торм. расч}}^* = 20$ о.е.

Относительный расчетный дифференциальный ток, соответствует концу второго участка характеристики:

$$I_{\text{диф. кторм2}^*} = I_{\text{д. нач}} + K_{\text{торм2}} \cdot (I_{\text{торм3}} - I_{\text{торм2}}), \quad (85)$$

где: $I_{\text{торм3}^*} = 2,5$ о.е.

Отсюда:

$$I_{\text{диф. кторм2}^*} = 0,92 \text{ о.е.},$$

$$I_{\text{нб. расч}^*} = 10,80 \text{ о.е.},$$

$$I_{\text{диф. расч}^*} = 13,0 \text{ о.е.},$$

$$K_{\text{торм3}} = 0,69 \text{ о.е.}$$

Принято значение уставки "Кторм3" = 69%.

Расчет уставки исполнительного органа контроля исправности токовых цепей (КИТЦ).

Рассчитаем ток обрыва токовых цепей по формуле:

$$I_{\text{обрыв}^*} = K_{\text{отс}} \cdot I_{\text{нб. расч}^*}, \quad (86)$$

где $K_{\text{отс}} = 1,1$

Расчетный ток небаланса:

$$I_{\text{нб. расч}^*} = (K_{\text{пер}} \cdot K_{\text{одн}} \cdot \varepsilon + \Delta U_{\text{рег}} + f_{\text{выр}}) \cdot I_{\text{расч}^*}, \quad (87)$$

где: $K_{\text{пер}} = 1,0$; $K_{\text{одн}} = 1,0$; $\varepsilon = 0,05$; $\Delta U_{\text{рег}} = 0,12$; $f_{\text{выр}} = 0,02$;

$$I_{\text{расч}^*} = 1,0 \text{ о.е.}$$

$$I_{\text{нб. расч}^*} = 0,19 \text{ о.е.},$$

$$I_{\text{обрыв}^*} = 0,21 \text{ о.е.}$$

Выдержку времени (ИО КИТЦ) найдем по формуле:

$$t_{\text{обрыв}} = t_{\text{внеш. макс}} + t_{\text{зап}}, \quad (88)$$

где $t_{\text{внеш. макс}} = 0,9\text{с}$;

$$t_{\text{зап}} = 0,5 \text{ с.}$$

$$t_{\text{обрыв}} = 1,4 \text{ с.}$$

Принято значение уставки: " $I_{\text{обрыв}}$ " = 21%, " $t_{\text{обрыв}}$ " = 1,4 с.

Расчет уставок дифференциальной токовой отсечки (ДТО).

Ток срабатывания ДТО определяется по формуле:

$$I_{\text{дто}}^* = K_{\text{отс}} \cdot I_{\text{нб. расч}}^*, \quad (89)$$

где $K_{\text{отс}} = 1,5$.

Рассчитаем ток небаланса:

$$I_{\text{нб. расч}}^* = (K_{\text{пер}} \cdot K_{\text{одн}} \cdot \varepsilon + \Delta U_{\text{рег.}} + f_{\text{выр.}}) \cdot I_{\text{торм. расч}}^*, \quad (90)$$

где $K_{\text{пер}} = 4,0$; $K_{\text{одн}} = 1,0$; $\varepsilon = 0,1$; $\Delta U_{\text{рег.}} = 0,12$; $f_{\text{выр.}} = 0,02$;

$$I_{\text{торм. расч}}^* = I_{\text{кз}(3)\text{maxВН}}^* = 9,91 \text{ о.е.}$$

$$I_{\text{нб. расч}}^* = 5,35 \text{ о.е.},$$

$$I_{\text{дто}}^* = 8,03 \text{ о.е.},$$

$$I_{\text{дто}} \geq 6.$$

Условия отстройки от бросков тока намагничивания выполняются.

Отсюда принято значение уставки " $I_{\text{дто}}$ " = 803%,

Расчет уставок первой ступени максимальной токовой защиты ВН (МТЗ ВН).

Найдем ток срабатывания защиты, по условию отстройки от $I_{\text{раб. max}}$.

$$I_{\text{с.з.}} \geq \left(K_{\text{отс}} \cdot \frac{K_{\text{сзп}}}{K_{\text{в}}} \right) \cdot I_{\text{раб. max}}, \quad (91)$$

где $K_{\text{отс}} = 1,2$; $K_{\text{сзп}} = 2,5$; $K_{\text{в}} = 0,9$; $I_{\text{раб. max}} = I_{\text{н.тВН}} = 157 \text{ А}$.

$$I_{\text{с.з.}} \geq 523,7 = 566 \text{ А.}$$

Ток срабатывания по условию согласования с защитой МТЗ НН трансформатора:

$$I_{с.з.} \geq K_{н.с} \cdot I_{с.з.}, \quad (92)$$

где: $K_{н.с} = 1,1$; $I_{с.з.} = 566\text{А}$.

$$I_{с.з.} \geq 622,6 = 630 \text{ А}.$$

Проверим чувствительность защиты при $I_{кз(2)min}$ на шинах 6кВ:

$$K_{ч} = I_{кз(2)min} / I_{с.з.}, \quad (93)$$

где $I_{кз(2) min} = 1,015\text{кА}$.

$$K_{ч} \geq 1,2 = 1,4.$$

Условия чувствительности выполняются.

Вторичный ток срабатывания защиты (реле) найдем по формуле:

$$I_{с.р.} = (K_{сх.} / K_{тт}) \cdot I_{с.з.}, \quad (94)$$

где $K_{тт} = 200/5 = 40$; $K_{сх.} = 1$.

$$I_{с.р.} = 15,75 \text{ А}.$$

Время срабатывания (МТЗ): $t_{с.з.} = 1,2\text{с}$.

Расчет уставок второй ступени максимальной токовой защиты ВН (Блокировка РПН по току).

Найдем ток срабатывания защиты:

$$I_{с.з.} \geq K_{отс} \cdot I_{н.тВН}, \quad (95)$$

где $K_{отс} = 1$; $I_{н.тВН} = 157\text{А}$.

$$I_{с.з.} \geq 157,1 = 160\text{А}.$$

Вторичный ток срабатывания защиты (реле) найдем по формуле:

$$I_{с.р.} = (K_{сх.}/K_{тт}) \cdot I_{с.з.}, \quad (96)$$

где $K_{тт} = 200/5 = 40$; $K_{сх} = 1$.

$$I_{с.р.} = 4\text{А}.$$

Время срабатывания защиты: $t_{с.з.} = 0,1\text{с}$.

Расчет уставок третьей ступени максимальной токовой защиты ВН (Защита от перегрузки).

Найдем ток срабатывания защиты:

$$I_{с.з.} \geq \left(\frac{K_{отс}}{K_{в}} \right) \cdot I_{н.тВН}, \quad (97)$$

где $K_{отс} = 1$; $I_{н.тВН} = 157\text{А}$; $K_{в} = 0,9$

$$I_{с.з.} \geq 192 = 192\text{А}$$

Принято значение тока срабатывания $I_{с.з.} = 192\text{А}$.

Вторичный ток срабатывания защиты (реле) найдем по формуле:

$$I_{с.р.} = (K_{сх.}/K_{тт}) \cdot I_{с.з.}, \quad (98)$$

где: $K_{тт} = 200/5 = 40$; $K_{сх} = 1$.

$$I_{с.р.} = 4,8\text{ А}.$$

Время срабатывания защиты: $t_{с.з.} = 9с.$

Расчет уставок максимальной токовой защиты НН (МТЗ НН).

Найдем ток срабатывания защиты, по условию отстройки от $I_{раб.мах.}$

$$I_{с.з.} \geq (K_n \cdot K_{сзп}/K_v) \cdot I_{раб.мах.}, \quad (99)$$

где $K_n = 1,1$; $K_{сзп} = 1,5$; $K_v = 0,95$.

Максимальный рабочий ток найдем по формуле:

$$I_{раб.мах.} = K_z \cdot I_{н.т.}, \quad (100)$$

где $K_z = 1,4$; $I_{н.т.} = 916А$

$$I_{раб.мах.} = 1283 А,$$

$$I_{с.з.} \geq 2228,3 = 2228,4 А.$$

Далее:

$$I_{с.з.} \geq K_{н.с.} \cdot (I_{с.з.яч.8} + I_{нгр.отх}), \quad (101)$$

где $I_{нгр.отх} = 1060 А$; $K_{н.с.} = 1,1$; $I_{с.з.яч.8} = 1900А$.

$$I_{с.з.} \geq 3256 = 3300А.$$

Было принято значения тока срабатывания защиты $I_{с.з.} = 3300А$.

Проверим чувствительность защиты при $I_{кз(2) min}$ на шинах 6кВ.

$$K_{ч} = I_{кз(2)min}/I_{с.з.}, \quad (102)$$

где: $I_{кз(2) min} = 6,526кА$.

$$K_{ч} \geq 1,5 = 1,71.$$

Условия чувствительности выполняются.

Вторичный ток срабатывания защиты (реле) найдем по формуле:

$$I_{с.р.} = (K_{сх.}/K_{тт}) \cdot I_{с.з.}, \quad (103)$$

где $K_{тт} = 1000/5 = 200$; $K_{сх} = 1$.

$$I_{с.р.} = 11,14 \text{ А.}$$

Время срабатывания (МТЗ): $t_{с.з.} = 0,9\text{с.}$

Расчет уставок защиты от обрыва токоведущего проводника по несимметрии.

Найдем ток срабатывания защиты по формуле:

$$I_{с.з.} = 0,1 \cdot I_{перв.тт.ВН}, \quad (104)$$

где $I_{перв.тт.ВН} = 200 \text{ А.}$

$$I_{с.з.} = 20 \text{ А.}$$

Вторичный ток срабатывания защиты (реле) найдем по формуле:

$$I_{с.р.} = (K_{сх.}/K_{тт}) \cdot I_{с.з.}, \quad (105)$$

где $K_{тт} = 1000/5 = 200$, $K_{сх} = 1$.

$$I_{с.р.} = 0,1 \text{ А.}$$

Время срабатывания (МТЗ): $t_{с.з.} = 9\text{с.}$

Расчет уставок защиты от обрыва токоведущего проводника по I_2 .

Найдем ток срабатывания защиты по формуле:

$$I_{с.з.} = 0,25 \cdot I_{н.т.ВН}, \quad (106)$$

где: $I_{н.т.ВН} = 157\text{А.}$

$$I_{с.з.} = 40 \text{ А.}$$

Вторичный ток срабатывания защиты (реле) найдем по формуле:

$$I_{с.р.} = (K_{сх.}/K_{тт}) \cdot I_{с.з.}, \quad (107)$$

где $K_{тт} = 200/5 = 40$, $K_{сх} = 1$.

$$I_{с.р.} = 1,0 \text{ А.}$$

Время срабатывания (МТЗ) $t_{с.з.} = 9\text{с}$.

Все расчеты по уставкам защит В-1(2), СВ-12, КС-1(2) и Т-1(2) заносим в новую карту уставок, представленную в таблице 4.

Выводы по разделу 4.

Расчитаны новые уставки релейной защиты для микропроцессорных блоков ТОР-200 с добавлением защит, таких как: УРОВ (устройство резервирования при отказе выключателя), МТЗ с тремя ступенями, дифференциальная защита с торможением, контроль исправности токовых цепей (КИТЦ), защита от обрыва токоведущего проводника по несимметрии (ЗОП по несимметрии), защита от обрыва токоведущего проводника по I2 (ЗОП).

Таблица 4 – Уставки релейной защиты ПС-35 кВ Водозабор – 1

Наименование фидера		Т-1		Т-2		СВВ-12	КС – 1	КС – 2
		35кВ	6кВ	35кВ	6кВ	-	-	-
Номера ячеек на схеме		2		12		8	1а	11
Номинальный ток фидера, (А)		157	916	157	916	916	-	-
Коэффициент трансформации: трансформаторов тока		200/5	1000/5	200/5	1000/5	600/5	600/5	600/5
Коэффициент схемы, К _{сх.}		1	1	1	1	1	1	1
Максимально-токовая защита ВН (I ступень МТЗ ВН)	Ток срабатывания защиты, (А)	630	-	630	-	-	-	-
	Ток срабатывания реле, (А)	15,75	-	15,75	-	-	-	-
	Уставка по времени, (с)	1,2	-	1,2	-	-	-	-
	Действие защиты	отключение	-	отключение	-	-	-	-
Максимально-токовая защита ВН II ступень (Блокировка РПН по току)	Ток срабатывания защиты, (А)	160	-	160	-	-	-	-
	Ток срабатывания реле, (А)	4,0	-	4,0	-	-	-	-
	Уставка по времени, (с)	0,1	-	0,1	-	-	-	-
	Действие защиты	На сигнал	-	На сигнал	-	-	-	-
Максимально-токовая защита ВН III ступень (Защита от перегрузки)	Ток срабатывания защиты, (А)	192	-	192	-	-	-	-
	Ток срабатывания реле, (А)	4,80	-	4,80	-	-	-	-
	Уставка по времени, (с)	9,0	-	9,0	-	-	-	-
	Действие защиты	На сигнал	-	На сигнал	-	-	-	-
Максимально-токовая защита (МТЗ)	Ток срабатывания защиты, (А)	-	3300	-	3300	1878,8	1350	1350
	Ток срабатывания реле, (А)	-	16,50	-	16,50	15,83	11,25	11,25
	Уставка по времени, (с)	-	0,9	-	0,9	0,6	0,3	0,3
	Действие защиты	-	Откл.	-	Откл.	Откл.	Откл.	Откл.
Дифференциальная токовая отсечка (ДТО)	Ток срабатывания защиты, Idто. (%)	803%	-	803%	-	-	-	-

Продолжение таблицы 4

Продолжение таблицы 4 \ Дифференциальная защита с торможением (ДЗТ)	Ток срабатывания защиты, Кторм2 (%)	42		42	-	-	-	-
	Ток срабатывания защиты, Iторм3(Iбаз. (%))	250	-	250	-	-	-	-
	Ток срабатывания защиты, Кторм3 (%)	69	-	69	-	-	-	-
Контроль исправности токовых цепей КИТЦ	Ток срабатывания защиты, Iобрыв, (Iбаз. (%))	21	-	21	-	-	-	-
	Уставка по времени, Tобрыв, (с)	1,4	-	1,4	-	-	-	-
Защита от обрыва токоведущего проводника по несимметрии (ЗОП по несимметрии)	Ток срабатывания, (А)	20	-	20	-	-	-	-
	Ток срабатывания реле, (А)	0,1	-	0,10	-	-	-	-
	Кнесимм, (%)	25	-	25	-	-	-	-
	Уставка по времени, (с)	9,0	-	9,0	-	-	-	-
	Действие защиты	На сигнал	-	На сигнал	-	-	-	-
Защита от обрыва токоведущего проводника по I2 (ЗОП)	Ток срабатывания защиты, (А)	40	-	40	-	-	-	-
	Ток срабатывания реле, (А)	1,00	-	1,00	-	-	-	-
	Уставка по времени, (с)	9,0	-	9,0	-	-	-	-
	Действие защиты	На сигнал	-	На сигнал	-	-	-	-
УРОВ	Ток срабатывания защиты, (А)	-	-	-	-	130	140	-
	Ток срабатывания реле, (А)	-	-	-	-	1,08	1,17	1,17
	Уставка по времени, (с)	-	-	-	-	0,2	0,2	0,2
АВР по минимальному напряжению	Напряжение срабатыв., (В)	-	3600	-	3600	-	-	-
	Напряжение срабатыв., (В)	-	60,0	-	60,0	-	-	-
	Время срабатывания вводов 1В,2В, (с)	-	1,5	-	1,5	-	-	-

5 Технико-экономическое обоснование

Товарной продукцией предприятия ООО «Релематика» является производство шкафов и терминалов РЗА 0,4-750 кВ в том числе устройств ОМП, РАС, БАВР, НКУ, оборудование и ПО для автоматизации энергообъектов (АСУ), как для традиционных, так и для цифровых подстанций (согласно МЭК 61850). Данное предприятие осуществляет свою деятельность на основании лицензий и разрешений официальных надзорных органов РФ и стран СНГ. Вся производимая продукция имеет необходимые сертификаты. Также ООО «Релематика» имеет Сертификат менеджмента качества ISO 9001:2015. На всю выпускаемую продукцию компания «Релематика» предоставляет гарантийное обслуживание - безвозмездное устранение недостатков, возможности замены устройств в случае их неисправности. Срок гарантии зависит от типа поставляемого оборудования. Кроме того, предприятие предлагает методики для расчетов уставок, и бесплатное ПО (программное обеспечение).

В сфере применения микропроцессорной релейной защиты ООО «Релематика» конкурируют с другими различными предприятиями (компаниями), такими как французская энергомашиностроительная компания «Schneider Electric», Санкт-Петербургская компания ООО «НТЦ Механотроника», которая является одним из старейших и крупнейших предприятий электротехнического профиля в России и т.п.

Одной из причин выбора ООО «Релематика» была политика импорт замещения.

Произведем SWOT-анализ [8], заключающийся в выявлении факторов внутренней и внешней среды организации и разделении их на четыре категории:

- сильные стороны (strengths) преимущества микропроцессорного блока защит, его конкурентоспособная сторона;

- слабые стороны (weaknesses) микропроцессорного блока защит в конкурентной борьбе с другими типами реле;

- возможности (opportunities) для развития и улучшения конкурентной позиции;

- угрозы (threats), наносящие ущерб.

Результаты SWOT-анализа представлены в таблице 5.

Таблица 5 – SWOT-анализ

Сильные стороны (Strength)	Слабые стороны (Weakness)
<ul style="list-style-type: none"> - удобное внедрение в энергосистему; - экологичность технологии; - большой срок эксплуатации; - высокая безопасность и надежность данной системы по сравнению с другими; - высокое качество продукции; - использование современных тенденций; - простота в использовании; - вовлечение в производство микропроцессорного реле позволяет продлить срок эксплуатации, повысить надежность защиты защищаемого объекта и способствует привлечению поддержки в развитии технологии со стороны предприятия. 	<ul style="list-style-type: none"> - высокая стоимость; - необходимость в высококвалифицированном персонале; - малая ремонтпригодность; - введение нового технологически развитого оборудования, то есть микропроцессорного реле может повлечь за собой необходимость переквалификации персонала и повышение их компетенции; - наиболее значимым минусом является поиск источников финансирования; - для поддержания конкурентоспособности и дальнейшего развития производства.
Возможности (Opportunities)	Угрозы (Threats)
<ul style="list-style-type: none"> - развитие данной отрасли в России; - появление дополнительного спроса на новый продукт; - возможность подключения в сеть ЭВМ; - финансовая поддержка государства для развития. 	<ul style="list-style-type: none"> - отсутствие спроса на новые технологии производства из-за ухудшения экономической ситуации в стране; - развитая конкуренция технологий производства; - отсутствие стимула для переоборудования защищаемых объектов.

Так как выбор поставщика уже определен, произведем экономический расчет.

Определим общую стоимость старой системы релейной защиты для различных электроприемников, так как для защиты каждого из них используются различные схемы защиты, что подразумевает использование разных реле. Потом оценить экономический эффект от внедрения микропроцессорной релейной защиты.

Количество реле, используемых в различных схемах защиты и управления, сведено в таблицу 6.

Стоимость. реле тока, указательных реле и т.п. на 2022г:

- токовое реле РТ-40/хх – 4600 руб.;
- указательное реле РУ-21 – 2100 руб.;
- реле времени РВ-хх – 12700 руб.;
- промежуточное реле РП-341/256 – 6000 руб.;
- реле напряжения РН-54/хх – 3600 руб.;
- дифференциальное токовое реле ДЗТ-хх – 16600 руб.

Таблица 6 – Общий состав схем защит

Вид электроприемника	Тип реле*						Σ стоимость, тыс.руб.
	РТ-40/хх	РУ-21	РВ-хх	РП-341/256	РН-60/хх	ДЗТ-хх	
Ввод подстанции 6кВ В-1(2)	1	1	1	4	2	-	50,6 x 2 = 101,2
Силовой трансформатор 35/6кВ Т-1(2)	3	9	2	5	-	2	121,3 x 2 = 242,6
Кабель связи 6кВ КС-1(2)	2	1	1	3	-	-	42 x 2 = 84
Секционный выключатель 6кВ СВ-12	2	1	1	3	-	-	42

Средняя стоимость блоков микропроцессорной релейной защиты ТОР-200 составляет от 80 тысяч рублей до 150 тысяч рублей. Учитывается комплектация, так как стоимость блоков для различных электроприемников отличаются в цене, а также общая партия закупки.

Исходя из диапазона цен, принимаем среднее значение ≈ 120 тыс. рублей.

Для нашей защиты электрооборудования потребуется – двенадцать микропроцессорных блоков «ТОР0-200» встроенных в шкаф управления состоящего из 4 панелей, из них:

- первый, пятый микропроцессорный блок – основная защита Т-1, Т-2;
- второй, шестой микропроцессорный блок – резервная защита Т-1, Т-2;
- третий, седьмой микропроцессорный блок – защита РПН Т-1, Т-2;
- четвертый, восьмой микропроцессорный блок – защита В-1, В-2;
- девятый, десятый микропроцессорный блок – защита КС-1, КС-2;
- одиннадцатый микропроцессорный блок – защита СВ-12;
- двенадцатый микропроцессорный блок – блок аварийной и предупредительной сигнализации.

Расчет амортизации шкафа управления с микропроцессорными устройствами определяется по упрощенной формуле [10]:

$$A = \frac{(E_{\text{обор}} \cdot n) + E_{\text{шкаф}}}{N_{\text{мес}} \cdot N_{\text{эспл.}}}, \quad (108)$$
$$A = \frac{(120000 \cdot 12) + 250000}{12 \cdot 15} = 9389 \text{ руб.}$$

Ежемесячные амортизационные отчисления составляют 9389 рублей в течение 15 лет.

Для дальнейшей работы с новым оборудованием необходимо отправить на обучение персонал электротехнической лаборатории на курсы по повышению квалификации в негосударственное образовательное частное учреждение дополнительного профессионального образования «Учебный

центр «Релематика» (НОЧУ ДПО «УЦ «Релематика»). Обучение организовывается в Республике Чувашия, г. Чебоксары, пр. И. Яковлева, дом №1, необходимо рассчитать затраты на командировку персонала ЭТЛ.

На обучение будут отправлены:

- начальник ЭТЛ;
- два мастера ЭТЛ;
- один инженера ЭТЛ;
- четыре электромонтера ЭТЛ по ремонту и обслуживанию электрооборудования.

Стоимость двух недельного обучения составляет 40 тыс. рублей за человека, не учитывая затраты на командировку (проживание, дорога, аванс).

Для обучения персонала электротехнической лаборатории необходимо затратить 320 тыс. рублей.

Установку и монтаж шкафов с микропроцессорными устройствами будет производить подрядная организация. Стоимость услуги будет зависеть от того, какая из компаний выиграет тендер.

Ориентировочная сумма, которую необходимо заложить в проект на демонтаж старых панелей защит и монтаж новых шкафов управления с терминалами составит 400 тыс. рублей. Наладку блоков ТОР 200 будут осуществлять сотрудники из организации ООО «Релематика» совместно с сотрудниками электротехнической лаборатории.

Итоговая стоимость модернизации системы релейной защиты Водозабора-1 ПС-35/6 кВ составляет примерно 2 500 тыс. рублей.

Учитывая условную стоимость, которая применяется в данный момент для защиты двух Т-1(2), В-1(2), СВ-12 и КС-1(2), не учитывая отходящих фидеров на Водозаборе-1 получится сумма равная 480 тыс. руб.

Получается, что проект по модернизации системы релейной защиты и автоматики на Водозаборе-1 имеет перспективу в будущем, так как помимо модернизации оборудования, будет производиться переобучение эксплуатирующего персонала.

Выводы по разделу 5.

Произведен экономический расчет внедрения шкафов (управления, защиты и сигнализации), укомплектованным микропроцессорными блоками защит TOP-200, также был составлен SWOT-анализ для выявления сильных и слабых сторон внедрения микропроцессорного оборудования на Водозаборе-1.

При проведении экономического расчета учитывались такие пункты как: общая стоимость оборудования, повышение квалификации обслуживающего персонала за счет обучения, стоимость демонтажных и монтажных работ

Итоговая стоимость модернизации релейной защиты на Водозаборе-1 составила 2.500 тысяч рублей.

Заключение

Главной целью модернизации системы РЗА химическом промышленном предприятии, является снижение затрачиваемого капитала на ППР (ремонт, демонтаж/монтаж, диагностику, испытания, проверку).

На каждом предприятии встает вопрос об энергосбережении и энергоэффективности. В этом и заключается смысл внедрения или модернизации системы релейной защиты и автоматики.

При рассмотрении и анализе существующей системы релейной защиты, применяемой на химическом промышленном предприятии объекта Водозабор-1, в качестве основных приборов защиты применялись электромагнитные аналоговые реле.

Проанализировав современное оборудование в сфере релейной защиты и автоматики, была выбрана Чебоксарская компания ООО «Релематика», которая поставит шкафы управления с микропроцессорными устройствами защиты TOP-200.

Произведен расчет токов короткого замыкания Водозабор-1 ПС-35/6кВ, который показал, что максимальный ток КЗ равен 8471А.

Было принято решение пересчитать предыдущие уставки защит, для новых терминалов/шкафов TOP-200, по методикам завода-изготовителя, уставки пересчитывались для схем защиты силовых трансформаторов Т-1(2) 35/6 кВ, ввода 6кВ В-1(2), секционного выключателя СВ-12 и двух кабеля связи КС-1(2).

Произведен экономический расчет внедрения шкафов управления, защиты и сигнализации, укомплектованными микропроцессорными блоками TOP-200. Составлен SWOT-анализ для выявления сильных и слабых сторон терминалов/шкафов TOP-200 на Водозаборе-1. На основании которых можно заключить, что основные преимущества в модернизации релейной защиты и обучения электротехнического персонала имеют перспективы в дальнейшем будущем.

Список используемых источников

1. Андреев В.А. Релейная защита и автоматика систем электроснабжения: учебник для вузов. М.: Высш. шк., 2007. - 4 с.
2. Васильева Т.Н. Надежность электрооборудования и систем электроснабжения [Текст]: учебник для студентов высш. образования. – Научное издание. - М.: Горячая линия-Телеком, 2017. - 152с.-ISBN 978-5-9912-0468-2.
3. Вахнина В.В., Черненко А.Н. Модель дифференциальной токовой защиты силового трансформатора // Проблемы электротехники, электроэнергетики и электротехнологии: сборник трудов IV Международной научно-технической конференции: в 2 ч. - Тольятти: Изд-во ТГУ, 2012. - 4.2. - С. 16-19. 39 25.
4. Выбор уставок в сетях 6(10) кВ. [Электронный ресурс]. – <https://raschet.info/vybor-ustavok-urov-v-setjah-6-10-kv/> (дата обращения: 10.10.2022).
5. Государственный стандарт Союза ССР. Трансформаторы силовые масляные общего назначения напряжением до 35 кВ включительно. [Электронный ресурс]. – <https://docs.cntd.ru/document/1200012411/> (дата обращения: 03.10.2022).
6. Защита трансформаторов (автотрансформаторов) обмоток высшего напряжения 3кВ и выше ПУЭ, издание 7. – М.: Энергия, 2022, глава 3.2.
7. История ООО «Тольяттикаучук». [Электронный ресурс]. – <http://togliatti.tatneft.ru/> (дата обращения: 27.09.2022).
8. Катькало В.С., Веселова А.С., Смельцова С.В. Методические указания для подготовки «SWOT-анализ», 2021г.
9. Методические указания для выбора параметров настройки и срабатывания МП устройств РЗА оборудования 6-35кВ. [Электронный

ресурс]. – <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4293721/4293721016.pdf/> (дата обращения: 05.10.2022).

10. ОКОФ — общероссийский классификатор основных фондов. [Электронный ресурс]. – <http://okof2.ru/groups/> (дата обращения 17.10.2022).

11. Понижающие Трансформаторы 35-220 кВ. Резервные Защиты. Расчёт уставок. Методические указания. [Электронный ресурс]. – http://www.mtrele.ru/files/project/raschet_ustavok/ponizhaushie_transformatory35-220kv.pdf/ (дата обращения: 02.10.2022).

12. Приказ Российского открытого акционерного общества энергетики и электрификации «ЕЭС России» № 57 от 11.02.2008 «Об организации взаимодействия ДЗО ОАО РАО «ЕЭС России» при создании или модернизации систем технологического управления в ЕЭС России, выполняемых в ходе нового строительства, технического перевооружения, реконструкции объектов электроэнергетики».

13. ПУЭ, издание 7. – М.: Энергия, 2022, глава 3.

14. Релематика – О Компании. [Электронный ресурс]. – <http://relematika.ru/> (дата обращения: 01.10.2022).

15. Релематика – ТОР 200 – Комплектное устройство РЗА 6(10)-35 кВ. [Электронный ресурс]. – <http://relematika.ru/products/rza-6-10-35-kv/komplektnoe-ustroystvo-rza-6-10-35-kv-tipa-tor-200-16/> (дата обращения: 02.10.2022).

16. Релематика – Шкафы РЗА. [Электронный ресурс]. – <https://relematika.ru/products/releynaya-zashchita-i-avtomatika/> (дата обращения: 02.10.2022).

17. Технические характеристики кабеля АСБ-6. [Электронный ресурс]. – <https://k-ps.ru/spravochnik/kabeli-silovyie/s-bumajnoi-izolyaciei/asb-6kv/kabel-asb-3x240.html/> (дата обращения: 24.09.2022).

18. Тихомиров П.М. Расчет трансформаторов, издание 5 переработанное и дополненное. Для студентов вузов. [Электронный ресурс]. –

https://www.elec.ru/files/2020/01/16/tihomirov-pm-raschet-transformatorov-5-e-izdanie_TVx6.PDF/ (дата обращения: 21.09.2022).

19. Трансформатор силовой масляный трехфазный двухобмоточный типа ТДНС-10000/35-У1(ХЛ1). Технические характеристики. [Электронный ресурс]. – <https://powertrans.nt-rt.ru/images/manuals/tdns-10000-35.pdf/> (дата обращения: 28.09.2022).

20. Электроэнергетические системы. Стандартный ряд номинальных. и наибольших рабочих напряжений. [Электронный ресурс]. – <https://files.stroyinf.ru/Data/640/64086.pdf/> (дата обращения: 03.10.2022).