

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 Перевод защит ВЛ 500 кВ Жигулевской ГЭС с аналоговых на цифровые

Студент

П.А. Шевченко

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

к.т.н., А.А. Романов

(ученая степень, звание, И.О. Фамилия)

Консультант

к.п.н. А.В. Кириллова

(ученая степень, звание, И.О. Фамилия)

Тольятти 2021

Аннотация

Выпускная квалификационная работа по переводу защит ВЛ 500 кВ Жигулевской ГЭС с аналоговых на цифровые выполнена в соответствии с современными требованиями по составу и исполнению релейной защиты.

Задачей выпускной работы является выбор микропроцессорных устройств релейной защиты взамен защит, выполненных на базе устаревших электромеханических реле.

В основной части представлено краткое изложение актуальных требований, выбор в соответствии с ними устройств релейной защиты на базе микропроцессорных терминалов и описано действие каждой из защит. Также определены источники информации для устройств релейной защиты и способ питания этих устройств от оперативного тока подстанции.

Пояснительная записка состоит из 51 страницы, 20 источников, включающих 5 источников на иностранном языке, а также 13 иллюстраций и 6 чертежей формата А1.

Abstract

The title of the graduation work is Transfer of 500 kV high voltage line protection at Zhigulyovskaya Hydroelectric Power Station from analog to digital.

The senior paper consists of an introduction, eight parts, a conclusion, tables, figures, list of references including foreign sources and the graphic part on 6 A1 sheets.

The key issue of the thesis is the replacement of the high voltage line protections from analog to digital ones.

The aim of the work is the choice of microprocessor relay protection devices instead of protections made on the basis of outdated electromechanical relays.

We start with the statement of the problem and then logically pass over to its possible solutions.

The graduation work may be divided into several logically connected parts which are: analysis of existing analog protections; justification of the need to replace them with microprocessor ones; selection of protection devices; determination of information sources for devices, determination of a power sources.

Taking into consideration the fact that many substations continue to use electromechanical relays as part of relay protection, we can say that the results of this graduation work can be used at other substations.

The work is of interest for wide circle of readers.

Содержание

Введение.....	5
1 Описание объекта проектирования	7
2 Общие требования к релейной защите и автоматике ВЛ 500 кВ.....	10
3 Основная защита ВЛ 500 кВ Жигулевская ГЭС – Вешкайма Южная.....	12
3.1 Дифференциально-фазная защита ВЛ 500 кВ.....	13
3.2 Устройство ОАПВ.....	15
4 Резервные защиты ВЛ 500кВ Жигулёвская ГЭС – Вешкайма Южная	19
4.1 Дистанционная защита ВЛ 500 кВ	21
4.2 Междуфазная максимальная токовая отсечка	22
4.3 Токовая направленная защита нулевой последовательности.....	23
5 Автоматика и схема управления выключателями 500 кВ	27
6 Источники информации для устройств релейной защиты и автоматики ВЛ 500кВ Жигулёвская ГЭС – Вешкайма Южная	33
6.1 Трансформаторы тока.....	33
6.2 Трансформаторы напряжения.....	36
7 Питание устройств релейной защиты и автоматики ВЛ 500кВ Жигулёвская ГЭС – Вешкайма Южная оперативным током	40
8 Общая характеристика устройств релейной защиты и автоматики ВЛ 500 кВ Жигулевская ГЭС – Вешкайма Южная	43
Заключение	48
Список используемых источников.....	49

Введение

В современном мире без электричества сложно представить нашу жизнь. Без него не будут работать важнейшие объекты народного хозяйства, бытовые потребители, канализация и водоотведение, электротранспорт и так далее. Многие современные объекты в государственных структурах, включая объекты защиты страны, прекратят свою работу. В связи с этим, обеспечение надежности и бесперебойности электроснабжения является важнейшей задачей.

Так как на данный момент пока не существует «вечного» оборудования, которое сохраняло бы свои технические свойства вне зависимости от внешних или внутренних воздействующих факторов, перед нами стоит задача модернизации или замены уже устаревшего оборудования на новое, которое будет удовлетворять современным требованиям и сможет обеспечивать высокую надежность электроснабжения.

С задачей обеспечения бесперебойности электроснабжения призвана справляться служба релейной защиты и автоматики (РЗА) станции или подстанции. Устройства релейной защиты должны обладать следующими параметрами:

- надежность;
- чувствительность;
- селективность;
- быстродействие.

Так как у устаревших устройств некоторые из этих параметров могут ухудшаться, необходимо заменить их на более новые и надежные устройства.

Защиты на ВЛ 500 кВ Вешкайма Южная были выбраны в 1956 году, и сама линия была введена в работу в ноябре 1956 года.

Опыт эксплуатации показал высокую надежность и эффективность работы выбранных электромеханических защит. Однако, по современным требованиям [1], на реконструируемых и вновь проектируемых станциях и

подстанциях релейную защиту и автоматику рекомендуется осуществлять с применением микропроцессорной (МП) техники. В связи с этим, руководителем проекта была утверждена задача перевода указанных защит на микропроцессорную технику.

Данная выпускная квалификационная работа (ВКР) выполнена в соответствии с заданием на проектирование, выданным руководителем ВКР.

Целью данной выпускной квалификационной является замена устаревших электромеханических защит ВЛ-500 кВ на новые защиты с применением микропроцессорной техники.

Исходя из вышесказанного, можно поставить задачи, необходимые для достижения заданной цели работы. Выделим основные задачи:

- Анализ текущего состояния защит ВЛ-500 кВ;
- Выбор микропроцессорных защит воздушной линии 500 кВ взамен электромеханическим.

1 Описание объекта проектирования

«Жигулевская ГЭС (бывшая Волжская ГЭС имени В. И. Ленина) является одной из самых крупных ГЭС мира, расположенная на реке Волге» [2].

«Основные характеристики гидроэлектростанции: 2563 МВт - установленная мощность; 20 - количество агрегатов; 115 МВт - номинальная мощность генератора; 13,8 кВ - генераторное напряжение; 11,1 млрд. кВт ч – выработка электроэнергии; 4174 ч - число часов использования установленной мощности; Жигулевская ГЭС регулирует частоту и мощность в единой энергетической системе России (ЕЭС России); выдача мощности осуществляется через 8 трансформаторных групп, которые имеют мощность 135000 кВА каждая, на 3-х уровнях напряжения 110, 220, 500 кВ» [11].

Открытое распределительное устройство 500 кВ (ОРУ-500) имеет следующее силовое оборудование: элегазовые выключатели GL317, разъединители SPOLT, элегазовые трансформаторы тока SAS 550/5G, емкостные трансформаторы напряжения 1ТН-ВЛ типа ТЕМР 550 кВ и электромагнитные трансформаторы 2ТН-ВЛ типа SVS 550/5 с элегазовой изоляцией. Фото оборудования представлено на рисунке 1.



Рисунок 1 – Фото оборудования ОРУ-500 кВ

Передача электроэнергии на ОРУ-500 кВ осуществляется по 2 системам шин в 4 направлениях: Жигулёвская ГЭС – Вешкайма Южная (ЖЮ), Жигулёвская ГЭС – Вешкайма Северная (ЖС), Жигулёвская ГЭС – Куйбышевская (ЖК) и Жигулёвская ГЭС – Азот (ЖА).

В соответствие с [1] «вновь устанавливаемые устройства релейной защиты должны быть выполнены на микропроцессорной элементной базе».

Для выполнения микропроцессорных защит воздушной линии 500 кВ Жигулёвской ГЭС будут использоваться шкафы производства научно-производственного предприятия «ЭКРА» (НПП «ЭКРА»).

Данные микропроцессорные устройства соответствуют "Общим техническим требованиям к микропроцессорным устройствам защиты и автоматики энергосистем".

Главная схема ОРУ-500 кВ «Жигулевской ГЭС» сохраняется (рисунок 2).

При переводе с релейной защиты, выполненной на базе электромеханических реле, на микропроцессорную «повышается надежность оборудования РЗА; увеличивается точность уставок по току, напряжению, времени; уменьшается время на обслуживание» [1].

Номинальные параметры терминалов МП защит и автоматики: «номинальный ток – 1А; номинальное напряжение переменного тока – 100В; номинальная частота – 50 Гц» [2].

Также «допускается при реконструкции систем релейной защиты оставлять в работе электромеханические и микропроцессорные устройства, если они обеспечивают функциональную совместимость и требуемые технические характеристики и надежность» [1].

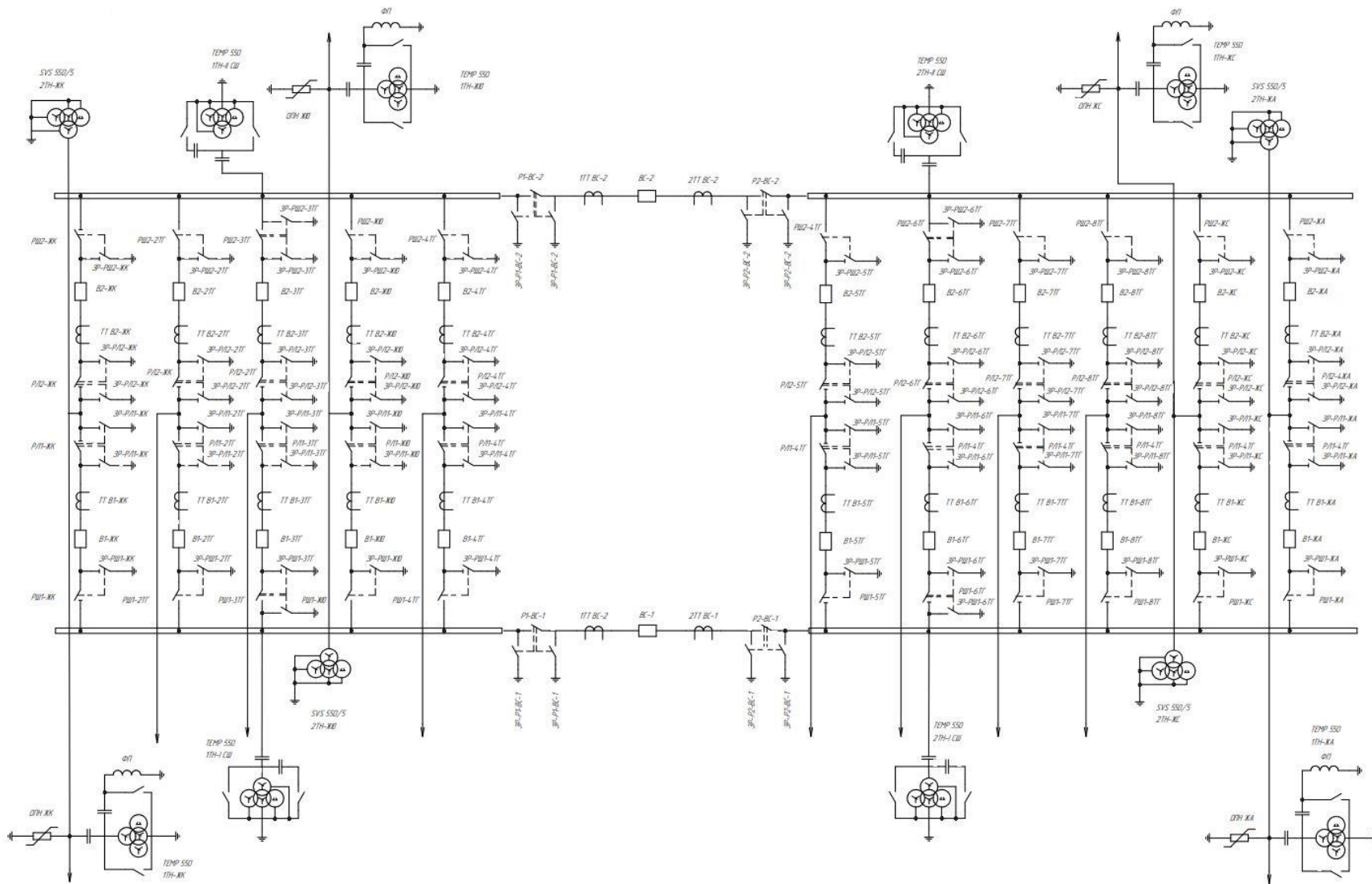


Рисунок 2 – Главная схема ОРУ-500 кВ

2 Общие требования к релейной защите и автоматике ВЛ 500 кВ

Проект по замене защит ВЛ-500 кВ Жигулевской ГЭС будет разрабатываться в соответствии с «общими требованиями к системам противоаварийной и режимной автоматики, релейной защите и автоматике, телеметрической информации, технологической связи в ЕЭС России» [2].

Выдвигаются следующие требования к устройствам РЗА: «При реконструкции энергообъектов ЕЭС России морально и физически устаревшие устройства РЗА должны заменяться на современные, выполненные на микропроцессорной элементной базе» [2, 7].

«На каждой стороне линий электропередач (ЛЭП) 500 кВ должен устанавливаться комплекс РЗА, состоящий не менее чем из двух устройств релейной защиты. При этом микропроцессорный терминал релейной защиты, независимо от количества выполняемых функций, является одним устройством релейной защиты» [2].

В составе комплекса РЗА на каждой стороне ЛЭП как минимум одно устройство должно выполняться на принципе ступенчатых защит с реализацией быстрого действия с помощью разрешающих (блокирующих) сигналов.

Надежность системы релейной защиты и автоматики системообразующей сети 500 кВ должна обеспечиваться эффективным резервированием построения системы. Должны рассматриваться следующие виды резервирования:

- ближнее резервирование в качестве основного вида;
- дальнее резервирование в качестве дополнительного к ближнему резервированию.

«Система релейной защиты должна удовлетворять требованиям быстрого действия, селективности, чувствительности и надежности» [2].

Количество трансформаторов тока (ТТ), вторичных обмоток и их классов точности должны обеспечивать раздельное подключение устройств разного назначения.

Основные и резервные защиты любого элемента сети должны включаться на разные вторичные обмотки ТТ.

По цепям питания защит от трансформаторов напряжения (ТН) должно предусматриваться резервирование с ручным переводом цепей на другой ТН.

Автоматизированная информационно-измерительная система коммерческого учета электроэнергии должна подключаться к отдельной вторичной обмотке ТН и ТТ.

«На ЛЭП 500 кВ должны устанавливаться устройства передачи команд по высокочастотному каналу по ЛЭП, по кабельным линиям связи или по волоконно-оптическим линиям связи (ВОЛС) для обеспечения быстрого отключения ЛЭП с двух сторон (телеускорение) от резервных защит, а также для передачи команд телеотключения и сигналов противоаварийной автоматики» [2].

На каждой стороне ЛЭП 500 кВ должно предусматриваться автоматическое повторное включение.

«На каждой стороне ЛЭП должна быть реализована функция определения места повреждения на линии (как правило, методом двухстороннего замера)» [2].

Далее, в соответствии с вышеизложенными требованиями, будет производиться выбор микропроцессорных защит ВЛ 500 кВ.

Вывод по разделу:

Современные нормативы требуют выполнять реконструируемые и вновь проектируемые устройства РЗА на базе микропроцессорной техники, так как это повышает надежность работы защит.

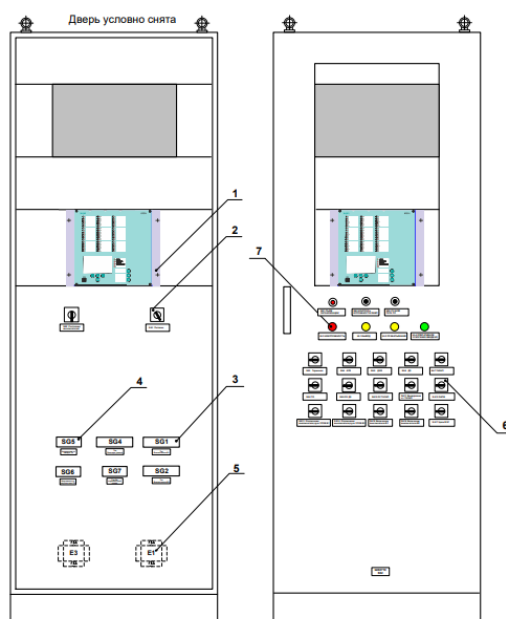
Система релейной защиты должна удовлетворять требованиям быстродействия, селективности, чувствительности и надежности.

3 Основная защита ВЛ 500 кВ Жигулевская ГЭС – Вешкайма Южная

В качестве основной защиты линии 500 кВ ЖЮ в связи с отсутствием ВОЛС принимается дифференциально-фазная высокочастотная защита. «В ее составе имеются избирательные органы и функция однофазного автоматического повторного включения (ОАПВ) с пуском от быстродействующих защит линии и расчетной или адаптивной выдержкой времени» [3].

Для реализации дифференциально-фазной защиты выбираем шкаф дифференциально-фазной защиты линии типа ШЭ2710 582 производства НПП «ЭКРА» с терминалом защиты БЭ2704 582.

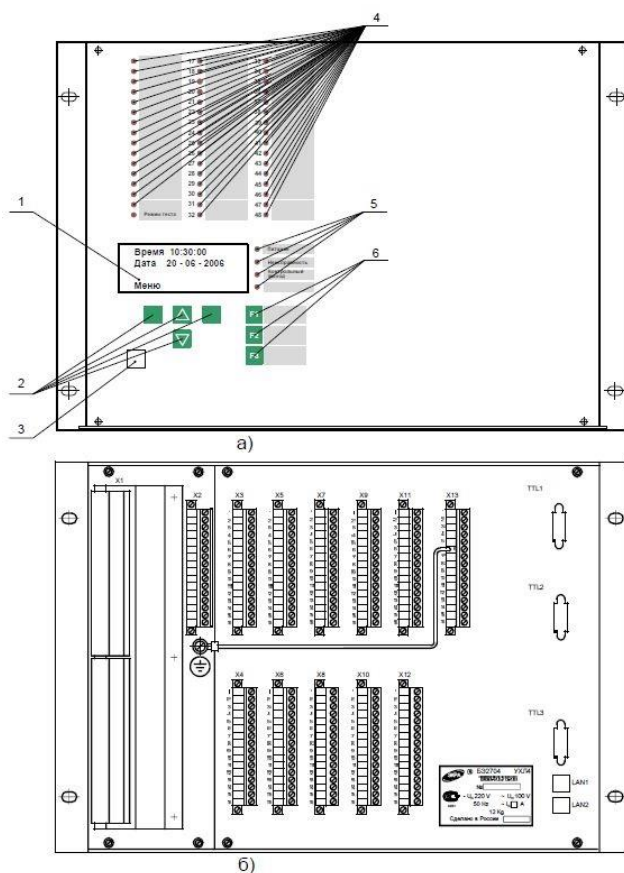
Внешний вид шкафа ШЭ2710 582 представлен на рисунке 3.



1-терминал БЭ2704 582, 2-переключатель DECA, 3-блоки испытательные FAME 6/6+1, 4-блоки испытательные FAME 6/4+1, 5-блоки фильтра ПИ711(ПИ712), 6-переключатели SEZ, 7-лампы DECA.

Рисунок 3 – Внешний вид шкафа ШЭ2710 582 НПП «ЭКРА»

На рисунке 4 представлено расположение элементов на передней и задней панели терминала защиты БЭ2704 582.



1-ЖК дисплей, 2-кнопки управления, 3-интерфейс USB, 4-двухцветные программируемые светодиодные индикаторы, 5-светодиодные индикаторы, 6-функциональные программируемые клавиши.

Рисунок 4 -Расположение элементов на передней (а) и задней (б) панели терминала защиты БЭ2704 582

3.1 Дифференциально-фазная защита ВЛ 500 кВ

«Дифференциально-фазная защита (ДФЗ) линии электропередачи – основная быстродействующая, абсолютно-селективная, то есть избирательная, защита, которая реагирует на все виды коротких замыканий на защищаемой линии и производит однофазное или трёхфазное отключение этой линии в зависимости от положения накладки или ключа управления в выходной цепи защиты» [6, 11, 13]. При переводе указанной накладки или

ключа управления в положение «без ОАПВ» защита действует на отключение линии 500кВ через панель ускорения или панель резервных защит соответствующей линии.

«ДФЗ состоит из двух полукомплектов, расположенных по обоим концам защищаемой линии, и включает в себя релейную часть защиты и соответствующее высокочастотное оборудование» [6].

«Принцип работы ДФЗ основан на сравнении фаз токов, протекающих по концам защищаемой линии. Информация о фазах токов получается в каждом полукомплекте от комбинированных фильтров токов I_1+KI_2 и передаётся с одного конца защищаемой линии на другой посредством токов высокой частоты по каналу, в качестве которого используется фаза А защищаемой линии. Для обмена высокочастотными (ВЧ) сигналами используется приемопередающая аппаратура типа АВАНТ Р400 производства ООО «Прософт-Системы».

«ДФЗ действует при всех видах коротких замыканий в защищаемой зоне и не срабатывает при внешних коротких замыканиях (КЗ), качаниях, неполнофазных режимах, реверсе (изменении направления) мощности, асинхронном режиме работы линии, несинхронных включениях и режимах одностороннего включения без КЗ» [3]. В зону действия защиты входит вся ВЛ до места установки трансформаторов тока с каждой стороны линии.

Дифференциально-фазная защита имеет три основных органа: пусковой орган – ПО, орган манипуляции – ОМ и орган сравнения фаз – ОСФ.

В нормальном режиме работы линии ДФЗ находится в режиме ожидания и пускается по одному или нескольким признакам повреждения от своего ПО. При срабатывании пускового органа запускается ВЧ передатчик, ВЧ сигнал которого, манипулированный током промышленной частоты 50 Гц, поступает в ОСФ «своего» полукомплекта и одновременно передаётся по ВЧ каналу на противоположный конец линии.

Определение места повреждения, в зоне действия защиты или вне этой зоны, производится органом сравнения фаз токов каждого полукомплекта на

основании двухсторонней информации; в результате действия ОСФ при необходимости формируется соответствующее выходное воздействие.

Каналом передачи ВЧ сигнала частотой $f = 98\text{кГц}$ для ДФЗ ВЛ ЖЮ является фаза А защищаемой линии.

В качестве конденсатора связи высокочастотного тракта на ВЛ ЖЮ используется колонка из трёх конденсаторных секций емкостного трансформатора напряжения, установленная на электромагнитном блоке 1ТН-ЖЮ.

Для автоматического контроля состояния ВЧ канала в шкафу ДФЗ реализована аппаратура проверки ВЧ канала (АПК); перевод действия АПК на «Сигнал» или на «Вывод ДФЗ» осуществляется ключом SA4.

На лицевой стороне блока питания приёмопередатчика типа АВАНТ Р400 установлен тумблер питания, который нормально должен быть «Включен».

После включения питания приёмопередатчик производит контрольную проверку канала в течение 131 секунды, затем включается режим автоконтроля с периодичностью 4 часа 40 минут.

Пуск передатчика осуществляется кнопкой «Пуск» на блоке сопряжения с защитами, на этом же блоке расположен миллиамперметр, отображающий текущее значение «Тока приёма».

3.2 Устройство ОАПВ

Устройство ОАПВ, входящее в состав МП терминала основной защиты, предназначено для выбора, отключения и повторного включения повреждённой фазы при однофазном замыкании на ВЛ ЖЮ и для отключения трёх фаз линии при включении выключателя фазы на устойчивое КЗ в цикле ОАПВ, а также при переходе однофазного КЗ в междуфазное в цикле ОАПВ. В последнем случае повторное включение осуществляется от ТАПВ.

Для определения вида повреждения (ОВП) на линии комплекты защит ВЛ ЖЮ оснащены функцией избирателя повреждённой фазы (ИПФ).

В случае неуспешного включения повреждённой фазы ВЛ ЖЮ через схему ОАПВ производится отключение линии с обеих сторон тремя фазами с запретом ТАПВ.

Функция ОАПВ на ВЛ ЖЮ реализована как в шкафу ДФЗ, так и в шкафах обоих комплектов резервных защит линии. Устройство ОАПВ в шкафу ДФЗ условно обозначается как ОАПВ1, в шкафах 1-ого и 2-ого комплектов резервных защит ВЛ ЖЮ – как ОАПВ2 и ОАПВ3 соответственно.

Нормально функция ОАПВ должна быть введена в работу во всех трёх шкафах защит ВЛ ЖЮ.

При действии устройства резервирования отказа выключателя (УРОВ) или ОАПВ на трёхфазное отключение выключателей ВЛ ЖЮ производится принудительный остановкой ВЧ передатчика ДФЗ, что улучшает условия для работы ДФЗ, в том числе и действие на дополнительное отключение с противоположной стороны линии.

«Управление МП терминалом ДФЗ осуществляется с помощью кнопочной клавиатуры и дисплея, а также по последовательному каналу связи через ПК» [3].

Для оперативного управления на лицевой двери шкафа ДФЗ предусмотрены специальные ключи (таблица 1).

Таблица 1 – Ключи управления шкафа ДФЗ

Обозначение	Наименование ключа	Функциональное назначение	Нормальное положение
SA3	«Терминал»	Вывод терминала из действия; режимы – «Вывод», «Работа»	«Работа»
SA4	«Действие автоматической проверки канала»	Выбор варианта действия аппаратуры автоматического контроля ВЧ канала: «Сигнал», «Вывод ДФЗ»	«Сигнал»
SA5	«ДФЗ»	Вывод из действия ДФЗ: «Вывод», «Работа»	«Работа»
SA12	«ОАПВ1»	Выбор варианта действия ДФЗ – с ОАПВ или без ОАПВ: «Вывод», «Работа»	«Работа»
SA13	«Отключение и пуск УРОВ В1-ЖЮ»	Вывод действия ДФЗ на отключение В1-ЖЮ с пуском УРОВ: «Вывод», «Работа»	«Работа»
Обозначение	Наименование ключа	Функциональное назначение	Нормальное положение
SA14	«Отключение и пуск УРОВ В2-ЖЮ»	Вывод действия ДФЗ на отключение В2-ЖЮ с пуском УРОВ: «Вывод», «Работа»	«Работа»
SA15	«Включение В1-ЖЮ»	Вывод действия ДФЗ на включение В1-ЖЮ от ОАПВ: «Вывод», «Работа»	«Работа»
SA16	«Включение В2-ЖЮ»	Вывод действия ДФЗ на включение В2-ЖЮ от ОАПВ: «Вывод», «Работа»	«Работа»
SA17	«Резерв»	-	«Вывод»
SB1	Съём сигнализации	Снятие светодиодной сигнализации с терминала	«Отключено»
SB2	Контроль исправности ламп	Проверка исправности ламп табло шкафа	«Отключено»

По токовым цепям схема ДФЗ ВЛ ЖЮ подключена к кернам 3 и 10 соответственно ТТ В1-ЖЮ и ТТ В2-ЖЮ. Для выполнения заданных функций в шкаф ДФЗ подаются также цепи напряжения «звезды» и «разомкнутого треугольника» от 1ТН-ЖЮ с возможностью перевода на 2ТН-ЖЮ.

При выводе в ремонт одного из выключателей линии выемная часть токовых цепей ДФЗ этого выключателя должна быть снята.

При выводе для проверки шкафа ДФЗ снимаются выемные части всех задействованных тест-блоков.

Постоянный оперативный ток подаётся в шкаф МП ДФЗ ВЛ ЖЮ посредством автомата 1SF11.

«Ложное срабатывание МП терминала ДФЗ при нарушении цепей напряжения исключается, благодаря реализованной в терминале функции блокировки при неисправностях в цепях напряжения (БНН). БНН – шкафа реагирует на обрыв одной, двух и/или трёх фаз напряжений цепи «звезды» или цепи «разомкнутого треугольника»» [3].

В схеме органа манипуляции ВЧ передатчиком и токовых пусковых органов предусмотрено устройство компенсации ёмкостных токов, позволяющее исключить влияние на работу защиты сдвига фаз между токами на концах линии, обусловленного её ёмкостной проводимостью, что очень существенно для длинных линий электропередачи» [3].

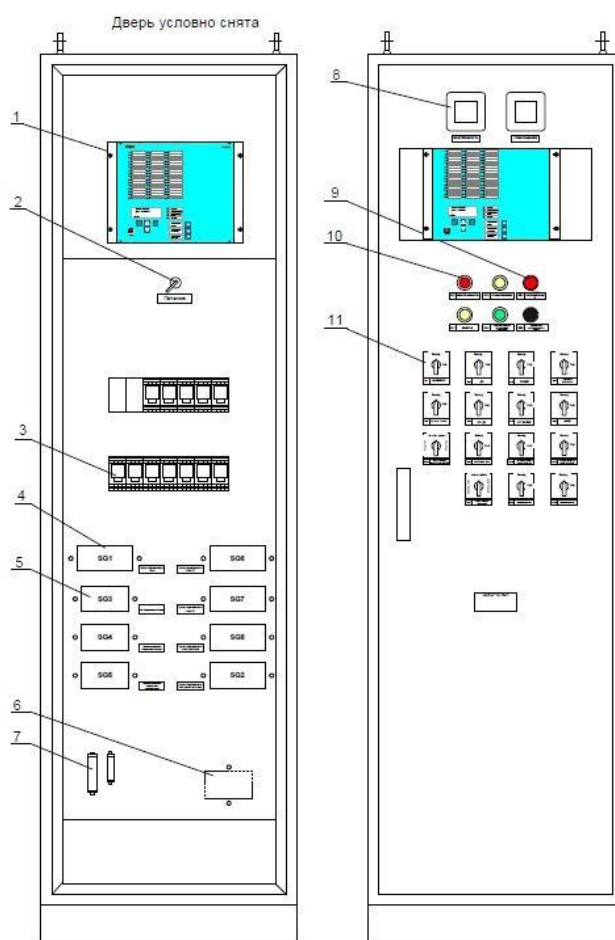
Вывод по разделу:

В качестве основной защиты ВЛ 500 кВ Вешкайма Южная выступает дифференциально-фазная высокочастотная защита. Для выполнения данной функции выбран шкаф дифференциально-фазной защиты линии типа ШЭ2710 582 производства НПП «ЭКРА» с терминалом защиты БЭ2704 582. Также для обмена ВЧ сигналами используется приемопередающая аппаратура типа АВАНТ Р400 производства ООО «Прософт-Системы».

Помимо основной функции в выбранном шкафу реализуется также функция однофазного автоматического повторного включения.

4 Резервные защиты ВЛ 500кВ Жигулёвская ГЭС – Вешкайма Южная

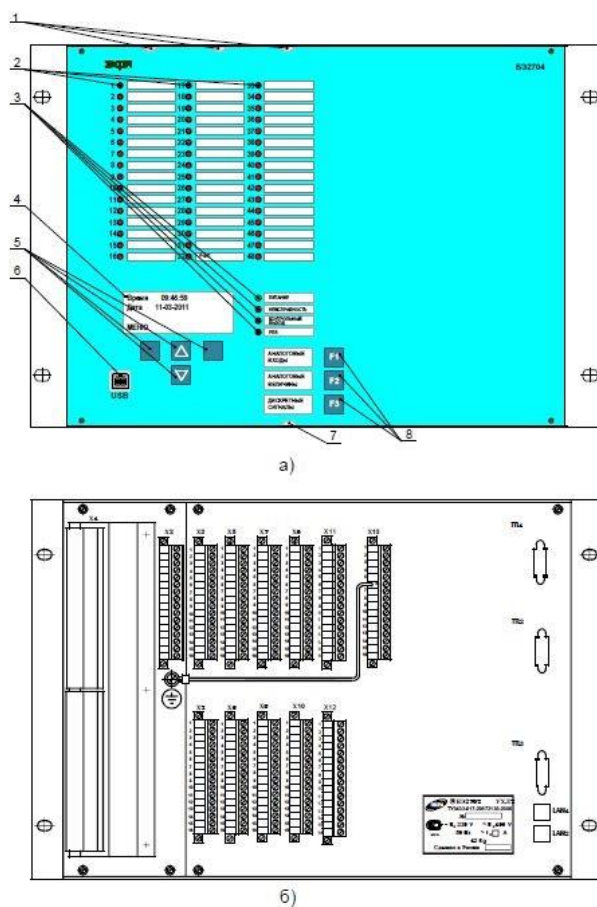
Для реализации резервных защит выбираем шкаф защиты линии и ОАПВ типа ШЭ2710 521 производства НПП «ЭКРА» с МП терминалом БЭ2704. Внешний вид шкафа представлен на рисунке 5.



1-трминал БЭ2704 521, 2-переключатель LOVATO, 3-реле типа R4-2014-23-1220-LD, 4-блоки испытательные типа POCON8, 5- блоки испытательные типа POCON4, 6-блок фильтров, 7-резисторы С5-35В, 8-реле РУ-21, 9-выключатель LOVATO, 10-лампы СКЛ-11, 12-переключатель APATOR.

Рисунок 5 – Внешний вид шкафа резервных защит типа ШЭ2710 521

На рисунке 6 представлено расположение элементов на передней и задней панели терминала защиты БЭ2704 521.



1-карманы для установки шаблонов вкладышей для светодиодной сигнализации срабатывания отдельных защит терминала, 2-48 двухцветных светодиодных индикаторов, сигнализирующих отдельных срабатываниях защит, 3-двухцветные светодиодные индикаторы, сигнализации текущего состояния терминала, 4-дисплей, 5-кнопки выбора и прокрутки, 6-разъем для подключения к последовательному порту ПК, 7-карман для установки шаблона вкладыша обозначений функциональных кнопок, 8-кнопки функциональные.

Рисунок 6 - Расположение элементов на передней (а) и задней (б) панели терминала защиты БЭ2704 521.

«Шкаф ступенчатых резервных защит ВЛ 500кВ включает в себя:

- трёхступенчатую дистанционную защиту (ДЗ) от междуфазных коротких замыканий и одноступенчатую ДЗ от однофазных КЗ;
- четырёхступенчатую токовую направленную защиту нулевой

- последовательности – ТНЗНП;
- междуфазную токовую отсечку – МТО;
- устройство ОАПВ» [4, 16, 17].

«Резервные защиты предназначены для работы в случаях отказа или вывода из работы основной защиты, а также в случаях отказа защиты или выключателей смежных элементов» [4, 19].

Комплекты резервных защит ВЛ ЖЮ имеют цепи телеотключения и телеускорения работы защит от однофазных КЗ на землю и от междуфазных КЗ.

Для приёма и передачи сигналов телеотключения (ТО) и телеускорения (ТУ) на ВЛ ЖЮ используются устройства ЕТ8 типа ЕТ81, установленные на ОПУ-500:

- передатчик ЕТ8 52кГц ВЛ ЖЮ;
- приёмник ЕТ8 48кГц ВЛ ЖЮ.

Цепи телеотключения и телеускорения организованы по каналам приёмника и передатчика ЕТ8-52/48кГц линии, которые обеспечивают взаимодействие резервных защит с аналогичными защитами, установленными на ПС Вешкайма.

Устройства ТО и ТУ подключены к фазе С защищаемой линии. На всех трёх фазах ВЛ ЖЮ выполнены не совмещённые высокочастотные каналы.

Первые ступени ДЗ, ТНЗНП и МТО осуществляют защиту ВЛ ЖЮ, остальные ступени защит обеспечивают, кроме того, и дальнейшее резервирование.

4.1 Дистанционная защита ВЛ 500 кВ

«Дистанционная защита является относительно-селективной направленной защитой со ступенчатой характеристикой срабатывания. Защита может иметь до трёх ступеней или зон действия. Дистанционная защита является резервной защитой от междуфазных (трёхфазных и двухфазных, в том числе и двухфазных на землю) коротких замыканий на

линии электропередачи. ДЗ включает в себя также блокировку при качаниях – БК – и блокировку при неисправностях цепей напряжения – БНН» [4].

Принцип работы защиты основан на сравнении двух векторов, являющихся функциями тока и напряжения линии.

Первая ступень дистанционной защиты и вторая ступень, действующая с меньшей выдержкой времени, вводятся в работу при возникновении повреждения в сети и срабатывании блокировки при качаниях на время, не превышающее $t=0,4$ с. после начала процесса; 2-ая ступень защиты, действующая с большей выдержкой времени, и 3-я ступень работают с контролем пуска блокировки при качаниях.

«Блокировка при качаниях предназначена для исключения срабатывания защиты в режимах качаний и асинхронного хода. При коротких замыканиях БК вводит в работу дистанционную защиту на время, достаточное для её срабатывания и, если срабатывания не произошло, блокирует её» [4].

«Блокировка при неисправности цепей напряжения обеспечивает пофазное сравнение одноименных фазных напряжений обмоток трансформатора напряжения, соединённых в «звезду» и «разомкнутый треугольник». БНН реагирует на обрыв или замыкание одной, двух или трёх фаз напряжений «звезды» и «разомкнутого треугольника»» [4]. При неисправности цепей напряжения, то есть при срабатывании БНН, все ступени ДЗ, а также и направленные ступени ТНЗНП автоматически выводятся из работы.

4.2 Междупазная максимальная токовая отсечка

Междупазная максимальная токовая защита (МТЗ) многоступенчатая относительно - селективная защита, обладающая ступенчатой (значительно реже - зависимой от тока) выдержкой времени. Каждая ступень защиты имеет свои пусковые органы по полному фазному току линии, которые срабатывают при всех междупазных и некоторых однофазных коротких замыканиях.

Селективность МТЗ рассчитывается по токам междуфазного короткого замыкания.

В сложных электрических сетях высокого напряжения для отстройки защиты от нормальных нагрузочных режимов и обеспечения селективности срабатывания при коротких замыканиях, эту защиту выполняют направленной или дополняют блокировкой по напряжению.

Первая быстродействующая ступень междуфазной токовой защиты обычно называется междуфазной токовой отсечкой – МФТО.

Поскольку линии 500кВ как правило имеют две быстродействующие, более селективные защиты от междуфазных коротких замыканий, дифференциально-фазную и дистанционную, для резервирования этих защит они комплектуются только одной ступенью МТЗ – отсечкой.

«Схема междуфазной токовой отсечки (МТО) содержит три фазных реле максимального тока, реагирующих на фазные токи. В нормальном режиме токовая отсечка функционирует по мажоритарной схеме, то есть для срабатывания защиты необходимо срабатывание двух любых фазных реле тока. В цикле ОАПВ и на время автоматического ускорения для срабатывания МТО достаточно срабатывания любого из фазных реле тока» [4, 8].

На момент включения В1-ЖЮ или В2-ЖЮ уставка по току МТО уменьшается.

4.3 Токовая направленная защита нулевой последовательности

«Токовая направленная защита нулевой последовательности» [16] предназначена для защиты ВЛ от однофазных КЗ на «землю». «ТНЗНП содержит четыре ступени, включающих четыре реле тока нулевой последовательности, и два реле направления мощности нулевой последовательности – РНМНП.» [18] «Одно реле направления мощности нулевой последовательности, разрешающее, срабатывает при направлении мощности нулевой последовательности от линии к шинам, второе реле направления мощности нулевой последовательности, блокирующее,

срабатывает при обратном направлении мощности нулевой последовательности» [20].

«Каждая ступень ТНЗНП может работать как с контролем, так и без контроля направления мощности. Направленность ступеней ТНЗНП задаётся независимо для каждой ступени программными накладками и оперативно не переключается» [4, 14].

На ВЛ ЖЮ направленными являются II, III и IV ступени ТНЗНП.

В шкафах резервных защит ВЛ ЖЮ предусмотрен автоматический вывод направленности, который производится:

- при срабатывании ТНЗНП;
- в режиме автоматического ускорения;

В цикле ОАПВ I и II ступени ТНЗНП блокируются.

II ступень ДЗ, II и III ступени ТНЗНП предназначены для защиты от коротких замыканий на «своей» линии, смежных линиях и обеспечения дальнего резервирования.

III ступень ДЗ и IV ступень ТНЗНП обеспечивают дальнейшее резервирование.

В шкафах резервных защит ВЛ ЖЮ реализованы три вида ускорения этих защит:

- автоматическое ускорение (АУ) – до 0,05 секунды II ступени ДЗ и III ступени ТНЗНП вводится кратковременно на 0,8 секунды при включении ВЛ ЖЮ под напряжение вручную или устройством ТАПВ; на время действия АУ направленность всех ступеней ТНЗНП выводится и вводится на самостоятельное действие избиратели ОАПВ;
- длительно действующее ускорение (ДДУ) – как разновидность АУ, вводится при неисправностях в цепях напряжения защит линии и действует постоянно, без контроля отсутствия напряжения на линии, с выдержками времени АУ;

- оперативное ускорение (ОУ) II ступени ДЗ и III ступени ТНЗНП до 0,35 секунды вводится вручную ключами SA6 и SA7;
- телеускорение (ТУ) резервных защит ВЛ ЖЮ осуществляется с обеих сторон линии при получении команд ТУ по каналам УПАСК.

На приёмном конце УПАСК трёхфазное отключение без запрета ТАПВ осуществляется при срабатывании I или II ступеней реле сопротивления ДЗ, а также реле тока III и IV ступеней ТНЗНП.

Пуск 3-ей и 28-ой команд УПАСК формируется быстродействующими резервными защитами, действующими через схему ОАПВ, то есть первыми ступенями ДЗ и ТНЗНП. На приёмном конце ВЛ ЖЮ команда ТУ-ОФ приводит к действию I и II ступеней ДЗ и III ступени ТНЗНП через схему ОАПВ на отключение повреждённой фазы.

При срабатывании схем УРОВ и ЗНФР в комплектах РЗА В1-ЖЮ или В2-ЖЮ формируется сигнал телеотключения по 1-ой команде ПРД ЕТ8 52кГц. Этот же сигнал телеотключения формируется и при срабатывании устройств ПА в 1 и / или 2 комплектах МКПА.

Аналогично для передачи команды ТО с ПС Вешкайма на Жигулёвскую ГЭС используется канал 1-ой команды ПРМ ЕТ8 48кГц.

На приёмном конце ВЧ канала ВЛ ЖЮ, то есть и на Жигулёвской ГЭС, и на ПС Вешкайма, 1-ая команда ТО непосредственно действует на трёхфазное отключение выключателей линии с запретом ТАПВ через выходные реле резервных защит линии без контроля срабатывания пусковых органов резервных защит.

По токовым цепям комплекты резервных защит ВЛ ЖЮ подключены к разным кернам трансформаторов тока (таблица 2).

Таблица 2 – Комплекты резервных защит ВЛ ЖЮ

Комплект резервных защит	В1-ЖЮ	В2-ЖЮ
1-ый комплект резервных защит ВЛ ЖЮ	ТА5	ТА12
2-ой комплект резервных защит ВЛ ЖЮ	ТА4	ТА11

Для выполнения заданных функций в каждый шкаф резервных защит ВЛ ЖЮ подаются также цепи напряжения «звезды» и «разомкнутого треугольника» от трансформаторов напряжения ВЛ ЖЮ с возможностью независимого перевода на другой ТН, нормальным является режим подключения:

Обобщающая сигнализация шкафа резервных защит ВЛ ЖЮ выведена на лампы сигнализации этого шкафа (таблица 3).

Таблица 3 – Сигнализация шкафа резервных защит

Лампа	Наименование	Условие прохождения сигнала
HL1	«Вывод»	оперативный вывод защиты из работы одним из ключей, нормальное положение которых – «Работа»
HL2	«Неисправность»	возникновение внешних или внутренних нештатных ситуаций
HL3	«Срабатывание»	действие МПТ резервных защит на отключение выключателей
HL4	«Оперативное ускорение»	ввод оперативного ускорения ДЗ ключом SA6 или ТНЗНП ключом SA7

Вывод по разделу:

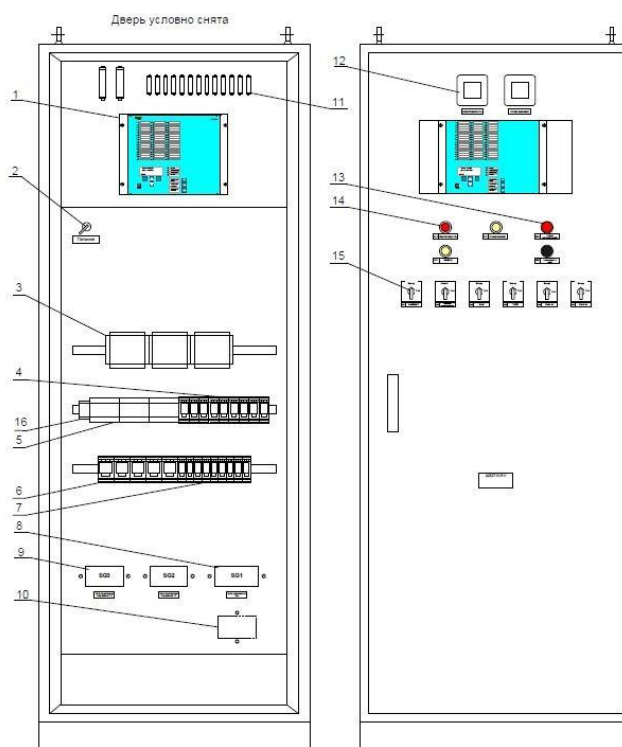
Для выполнения функций резервных защит ВЛ 500 кВ выбран шкаф защиты линии и ОАПВ типа ШЭ2710 521 производства НПП «ЭКРА» с МП терминалом БЭ2704.

Шкаф ступенчатых резервных защит ВЛ 500кВ включает в себя трёхступенчатую дистанционную защиту от междуфазных коротких замыканий и одноступенчатую ДЗ от однофазных КЗ, четырёхступенчатую токовую направленную защиту нулевой последовательности, междуфазную токовую отсечку и устройство ОАПВ.

5 Автоматика и схема управления выключателями 500 кВ

«Автоматика управления каждого выключателя 500 кВ должна быть реализована в отдельном МП терминале и в низковольтном комплектном устройстве (НКУ), предназначенном для установки этого терминала и другой аппаратуры. Данный терминал может быть назван терминалом защиты, автоматики и управления выключателя (ЗАУВ)» [2].

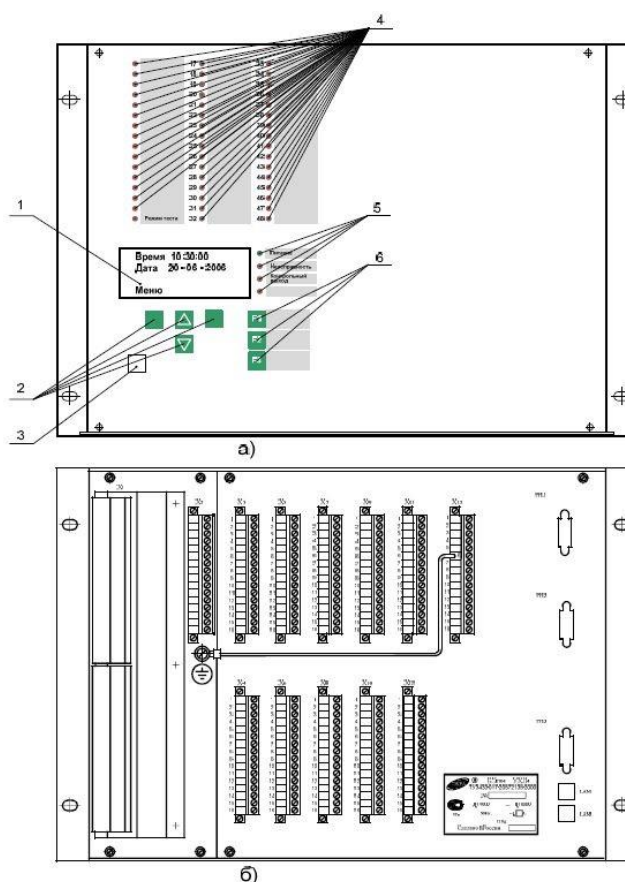
Для выполнения функции управления выключателем выбираем шкаф управления, защиты и автоматики выключателя производства НПП «ЭКРА» типа ШЭ 2710 511 с МП терминалом БЭ2704. Внешний вид шкафа представлен на рисунке 7.



1-терминал БЭ2704 521, 2-переключатели DECA, 3-блок вспомогательный, 4-реле типа Schrack RT570220 с контактной колодкой, 5- реле РП11М, 6-реле типа 56.34.9.220.0040 Finder и контактная колодка, 7- реле типа 56.32.9.220.0040 Finder и контактная колодка, 8- блоки испытательные FAME 6/6+1, 9- блоки испытательные FAME 6/4+1, 10-блок фильтров, 11-резисторы C5-35B, 12-реле РУ-21, 13-выключатель DECA, 14-лампы DECA, 15-переключатели SEZ S10 JD, 16-блок диодно-резисторный ЭКРА.

Рисунок 7 – Внешний вид шкафа ШЭ2710 511

На рисунке 8 представлено расположение элементов на передней и задней панели терминала защиты БЭ2704 521.



1-ЖК дисплей, 2-кнопки управления, 3-интерфейс USB, 4-двухцветные программируемые светодиодные индикаторы, 5-светодиодные индикаторы, 6-функциональные программируемые клавиши.

Рисунок 8 - расположение элементов на передней (а) и задней (б) панели терминала защиты БЭ2704 511

Управление каждым выключателем защищаемой линии, В1-ЖЮ и В2-ЖЮ, осуществляется от отдельного шкафа – соответствующего комплекта РЗА. При этом управление элегазовым выключателем типа GL317 будет осуществляться через один электромагнит включения – ЭМВ и два электромагнита отключения – ЭМО1 и ЭМО2.

Контроль положения выключателей и разъединителей схемы осуществляется с помощью ламп сигнализации, размещённых на панели 8У ППУ-500кВ.

«Каждый шкаф типа ШЭ 2710 511, которым оснащены выключатели 500кВ содержит логику пофазного управления, цепи запрета ТАПВ, органы напряжения прямой, обратной и нулевой последовательностей, контролирующие напряжение на ВЛ ЖЮ и 1 секции I(II)СШ, орган контроля синхронизма, цепи отключения и пуска УРОВ» [5], так как «устройства резервирования при отказе выключателей (УРОВ) должны предусматриваться в электроустановках 110-500 кВ».[9]

«В комплекте РЗА каждого выключателя 500кВ ВЛ ЖЮ реализованы следующие функции и цепи:

- цепи управления выключателя, к которым относятся цепи и электромагниты включения – ЭМВ и отключения – ЭМО1 и ЭМО2 с контролем включенного или отключенного положения выключателя и исправности цепей отключения или включения;
- блокировка от многократного включения;
- цепи и реле дистанционного включения и отключения выключателя с цепями удерживания сигналов оперативного и аварийного управления и фиксацией положения выключателя, в том числе фиксация отключения выключателя (ФОВ) и фиксация включения выключателя (ФВВ) для целей противоаварийной автоматики (ПА) и ЗНФР линий;
- защита от непереключения фаз (ЗНФ) и защита от неполнофазного режима;
- контроль тока в электромагнитах управления и защита электромагнитов управления (ЗЭУ) от длительного протекания тока;
- технологическая автоматика (ТА), контролирующая давление элегаза и энергию, запасенную приводом выключателя путем сжатия пружин,

- с блокировкой управления выключателя и пуска АПВ от технологической автоматики;
- пофазное устройство резервирования при отказе выключателя – УРОВ;
- цепи фиксации положения выключателя и командных импульсов, обеспечивающие формирование сигнала «несоответствия» положения выключателя;
- устройство трёхфазного автоматического повторного включения – ТАПВ – с блокировками по напряжению;
- устройство полуавтоматического включения линии – ПАВ;
- оценка тяжести повреждения – ОТП – на присоединении;
- фиксация вывода выключателя в ремонт;
- формирование цепи автоматического ускорения ступенчатых защит при включении выключателя;
- формирование цепи селективного пуска приборов определения места повреждения – ОМП» [5, 15].

Защита от неполнофазного режима действует на отключение ВЛ ЖЮ с двух сторон линии с запретом ТАПВ и «на пуск устройства резервирования отказа выключателя неполнофазно включенного или отключенного выключателя. При этом на отключение выключателей противоположного конца линии на подстанции (ПС) Вешкайма ЗНФР действует по каналу телеотключения – первой команде ПРД ЕТ8 52кГц» [5, 10].

По токовым цепям комплекты РЗА В1-ЖЮ и В2-ЖЮ подключены к кернам 4 и 11: соответственно к керну 4 комплект РЗА В1-ЖЮ и к керну 11 комплект РЗА В2-ЖЮ.

Для выполнения заданных функций в шкаф РЗА каждого выключателя линии подаются также цепи напряжения «звезды» и «разомкнутого треугольника» от 1ТН-ЖЮ и 1ТН- I(II)СШ.

В комплекте РЗА В1(2)-ЖЮ предусмотрена сигнализация с выдержкой времени о неисправности цепей напряжения как со стороны ВЛ ЖЮ, так и со стороны 1 секции I(II)СШ при включенном выключателе.

В МПТ комплекта РЗА В1(2)-ЖЮ «предусмотрена сигнализация с фиксацией, выполненная на светодиодных индикаторах; индикация сохраняется при снятии и последующем восстановлении напряжения оперативного постоянного тока» [5].

Цепи управления и сигнализации выключателя представлены на рисунке 9.

Вывод по разделу:

Для выполнения функции управления выключателем выбираем шкаф управления, защиты и автоматики выключателя производства НПП «ЭКРА» типа ШЭ 2710 511 с МП терминалом БЭ2704.

Каждый шкаф типа ШЭ 2710 511, которым оснащены выключатели 500кВ содержит логику пофазного управления, цепи запрета ТАПВ, органы напряжения прямой, обратной и нулевой последовательностей, контролирующие напряжение на ВЛ ЖЮ и 1 секции I(II)СШ, орган контроля синхронизма, цепи отключения и пуска УРОВ.

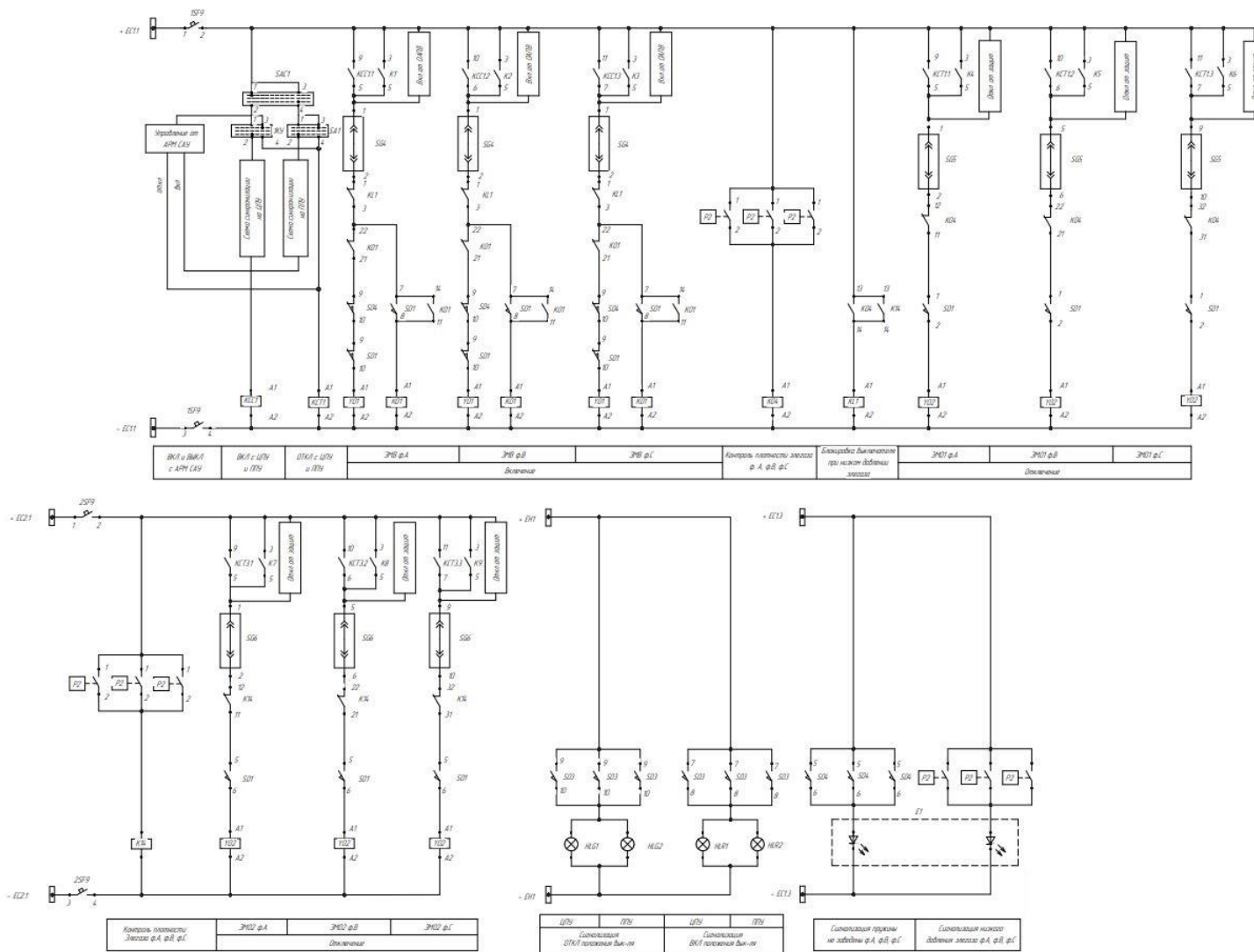


Рисунок 9 – Цепи управления и сигнализации выключателя

6 Источники информации для устройств релейной защиты и автоматики ВЛ 500кВ Жигулёвская ГЭС – Вешкайма Южная

6.1 Трансформаторы тока

Трансформаторы тока, установленные по одному комплекту ТТ в ячейке каждого выключателя линии, имеют по семь кернов, таким способом обеспечивается независимое подключение к ТТ большинства комплектов защит и автоматики. Поясняющая схема токовых цепей показана на рисунке 10.

Трансформаторы тока и напряжения были заменены в ходе проведения реконструкции силовой части ОРУ-500 кВ.

Параметры трансформатора тока SAS 550/5G представлены в таблице 4.

Таблица 4 – Технические характеристики трансформатора тока

Наименование параметра ТТ	Значение
Тип трансформатора тока	SAS 550/5G
Класс напряжения, кВ	550
Первичный ток, А	2000
Вторичный ток, А	1
Кол-во обмоток для измерений	2
Кол-во обмоток для защиты	5
Допустимая нагрузка, ВА	40
Классы точности обмоток	0,2/10P/0,2S
Габаритные размеры, мм	4280x3450x600
Масса, кг	1250

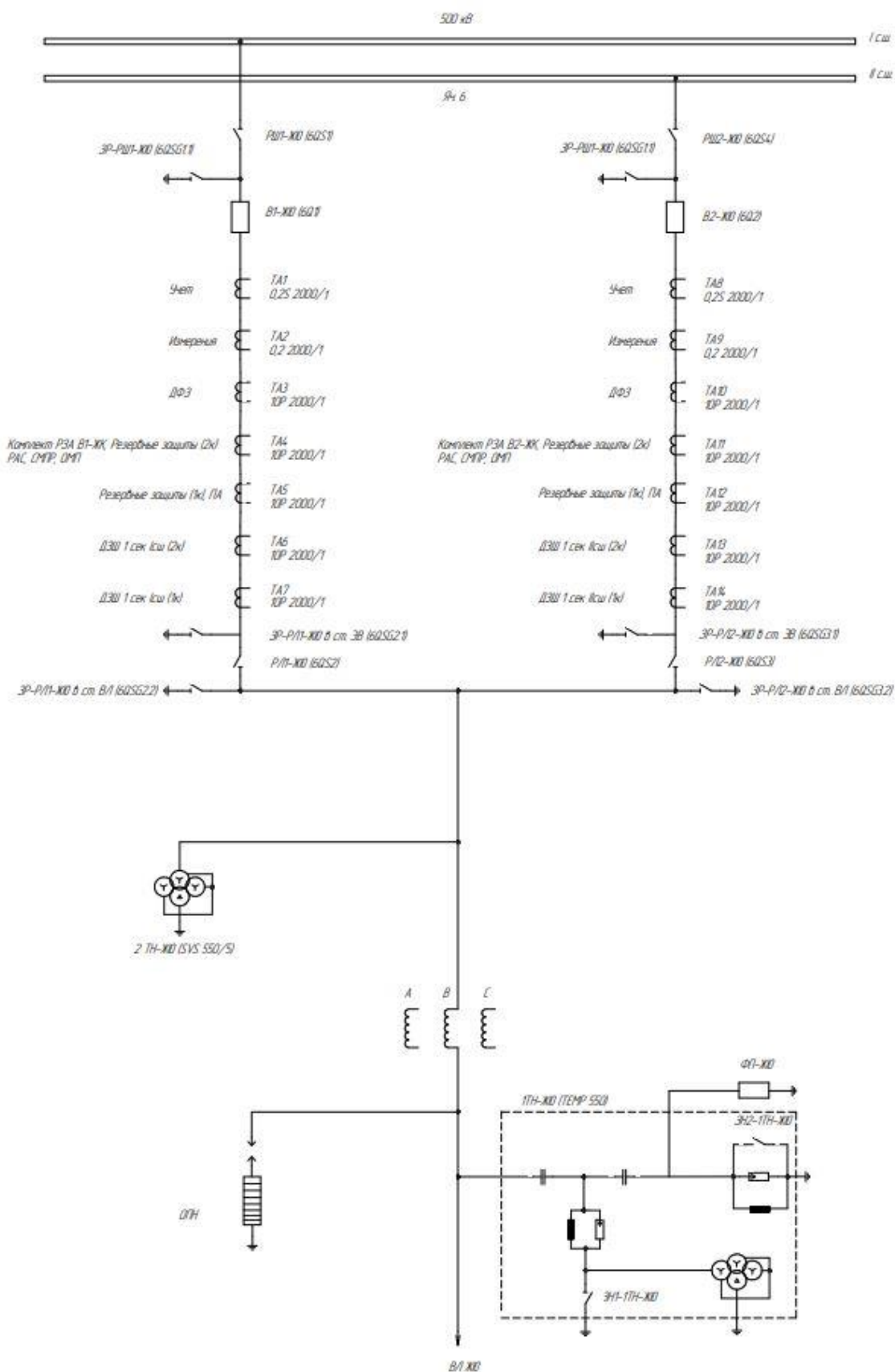


Рисунок 10 – Поясняющая схема токовых цепей

Вторичная нагрузка по трансформатору тока в ячейке выключателя В1 представлена в таблице 5.

Таблица 5 – Вторичная нагрузка трансформатора тока В1

ТА	Класс точности	Назначение	Цепь	I, А	U, В	$S_{\text{нагр.изм'}}$ ВА	$S_{\text{нагр.изм'}}$ ВА
ТА2	0,2	Измерения	A411-N411	0,085	0,244	0,0207	30
			B411-N411	0,096	0,290	0,0278	30
			C411-N411	0,103	0,361	0,0372	30
ТА1	0,2S	Учет	A421-N421	0,085	0,157	0,0133	30
			B421-N421	0,095	0,194	0,0184	30
			C421-N421	0,103	0,244	0,0251	30
ТА3	10P	ДФЗ	A431-N431	0,085	0,180	0,0153	60
			B431-N431	0,095	0,221	0,0210	60
			C431-N431	0,102	0,275	0,0281	60
ТА4	10P	АУВ В1-ЖС, Рез. защита 2 к-т. РАС, ОПУ	A441-N441	0,086	0,240	0,0206	60
			B441-N441	0,095	0,277	0,0263	60
			C441-N441	0,103	0,342	0,0352	60
ТА5	10P	Рез. защита 1 к-т., МКПА 1,2 Преобр. ОПУ	A451-N451	0,086	0,669	0,0575	60
			B451-N451	0,095	0,701	0,0666	60
			C451-N451	0,103	0,808	0,0832	60
ТА6	10P	ДЗШ 500 кВ 2 с. I СШ, 2 комплект	A461-N461	0,086	0,165	0,0142	60
			B461-N461	0,095	0,202	0,0192	60
			C461-N461	0,102	0,249	0,0254	60
ТА7	10P	ДЗШ 500 кВ 2 с. I СШ, 1 комплект	A411-N471	0,085	0,161	0,0137	60
			B411-N471	0,093	0,201	0,0187	60
			C411-N471	0,103	0,248	0,0255	60

Вторичная нагрузка по трансформатору тока в ячейке выключателя В2 представлена в таблице 6.

Таблица 6 – Вторичная нагрузка трансформатора тока В2

ТА	Класс точности	Назначение	Цепь	I, А	U, В	$S_{\text{нагр.изм'}}$ ВА	$S_{\text{нагр.изм'}}$ ВА
ТА9	0,2	Измерения	A481-N481	0,038	0,124	0,0047	30
			B481-N481	0,045	0,196	0,0088	30
			C481-N481	0,041	0,120	0,0049	30
ТА8	0,2S	Учет	A491-N491	0,039	0,058	0,0023	30
			B491-N491	0,047	0,118	0,0055	30
			C491-N491	0,041	0,095	0,0039	30
ТА10	10P	ДФЗ	A501-N501	0,040	0,080	0,0032	60
			B501-N501	0,048	0,152	0,0073	60
			C501-N501	0,041	0,108	0,0044	60
ТА11	10P	АУВ В1-ЖС, Рез. защита 2 к-т. РАС, ОПУ	A511-N511	0,040	0,122	0,0049	60
			B511-N511	0,049	0,195	0,0096	60
			C511-N511	0,043	0,123	0,0053	60
ТА12	10P	Рез. защита 1 к-т., МКПА 1,2 Преобр. ОПУ	A521-N521	0,043	0,420	0,0181	60
			B521-N521	0,051	0,465	0,0237	60
			C521-N521	0,050	0,349	0,0175	60
ТА13	10P	ДЗШ 500 кВ 2 с. I СШ, 2 комплект	A531-N531	0,043	0,075	0,0032	60
			B531-N531	0,053	0,145	0,0077	60
			C531-N531	0,047	0,099	0,0047	60
ТА14	10P	ДЗШ 500 кВ 2 с. I СШ, 1 комплект	A541-N541	0,041	0,076	0,0031	60
			B541-N541	0,049	0,149	0,0073	60
			C541-N541	0,042	0,103	0,0043	60

6.2 Трансформаторы напряжения

На секциях шин 500кВ установлены емкостные трансформаторы напряжения типа ТЕМР 550кВ производства фирмы Trench Germany, имеющие масляную изоляцию, а также электромагнитные трансформаторы SVS 550/5 с элегазовой изоляцией. Схема цепей напряжения представлена на рисунке 11.

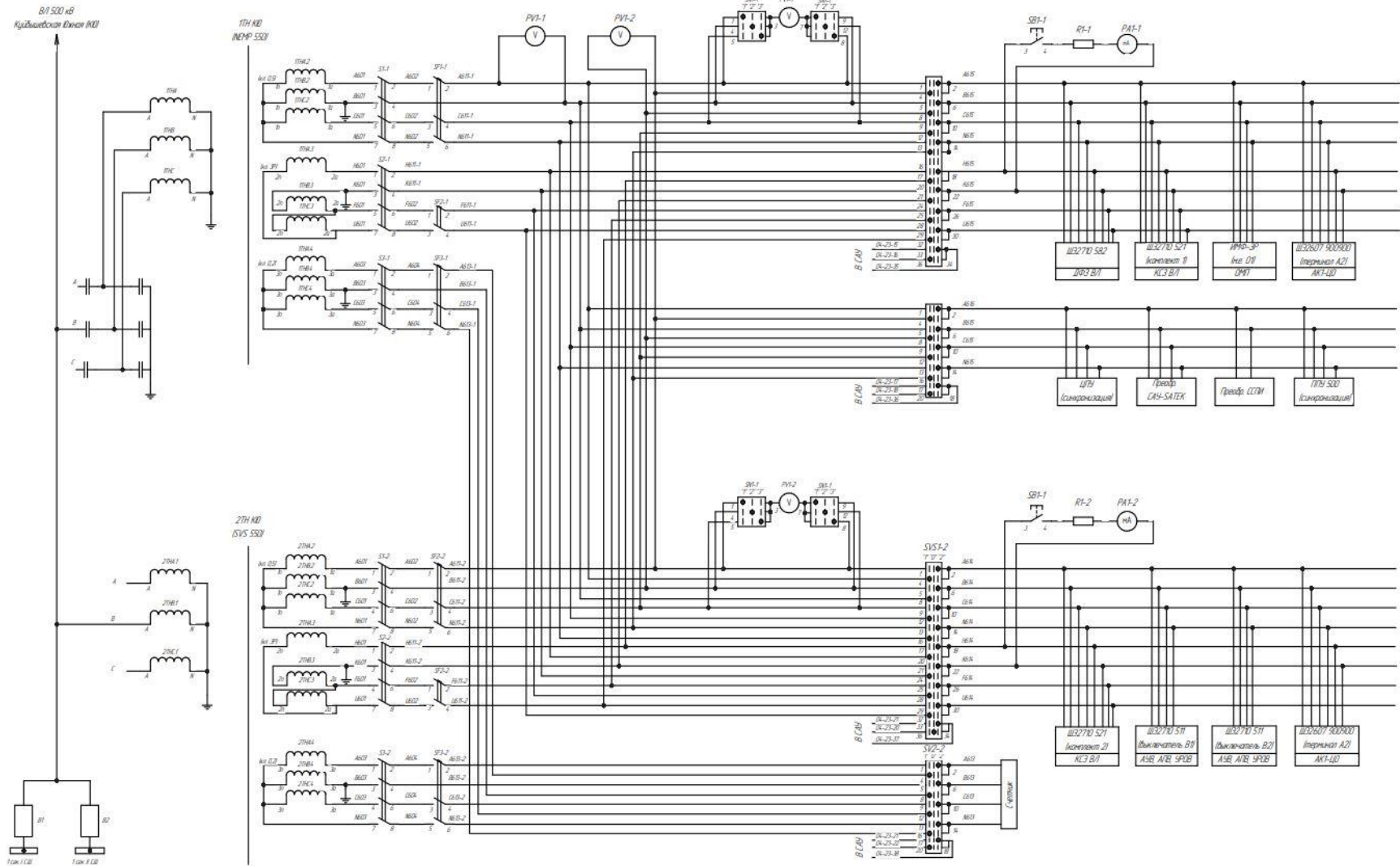


Рисунок 11 – Цепи напряжения

Параметры емкостного трансформатора напряжения ТЕМР 550 представлены в таблице 7.

Таблица 7 – Технические характеристики трансформатора напряжения

Наименование параметра ТН	Значение
Тип трансформатора напряжения	ТЕМР 550
Класс напряжения, кВ	550
Номинальное напряжение обмоток, В - первичной - вторичных	$500\sqrt{3}$
	$100\sqrt{3}$
	100
	$100\sqrt{3}$
Номинальная мощность в классе точности: 0,5 3Р 0,2	200
	100
	100
Предельная мощность, ВА	1500
Габаритные размеры, мм	5442x508x644
Масса, кг	1455

Кроме реализации функции собственно трансформатора напряжения 1ТН-ЖЮ используется также в качестве конденсатора связи для каналов ВЧ устройств – ДФЗ, УПАСК и связи.

Параметры трансформатора напряжения SVS 550/5 представлены в таблице 8.

Таблица 8 – Технические характеристики трансформатора напряжения

Наименование параметра ТН	Значение
Тип трансформатора напряжения	SVS 550/5
Класс напряжения, кВ	550
Номинальное напряжение обмоток, В - первичной - вторичных	$500000\sqrt{3}$
	$100\sqrt{3}$
	100
Номинальная мощность в классе точности: 0,5 3Р 0,2	200
	100
	100
Предельная мощность, ВА	300
Габаритные размеры, мм	5430x990
Масса, кг	1510

Выводы по разделу:

Источниками информации для МП терминалов защит ВЛ служат трансформаторы тока SAS 550/5G, установленные по одному комплекту ТТ в ячейке каждого выключателя линии, имеющие по семь кернов, таким способом обеспечивается независимое подключение к ТТ большинству комплектов защит и автоматики.

Также источниками информации служат емкостные трансформаторы ТЕМР 550, которые используются также в качестве конденсатора связи для каналов ВЧ устройств, и электромагнитные трансформаторы SVS 550/5.

Таким образом, к каждому шкафу основных и резервных защит обеспечивается подведение кабелей как от трансформаторов тока, так и трансформаторов напряжения, что необходимо для надежности срабатывания или несрабатывания защит.

7 Питание устройств релейной защиты и автоматики ВЛ 500кВ Жигулёвская ГЭС – Вешкайма Южная оперативным током

Для питания постоянным оперативным током устройств защиты, автоматики и управления присоединений ОРУ-500кВ, в помещении ППУ-500кВ установлены:

- две аккумуляторные батареи – АБ-1 и АБ-2 – типа 8GroE200 ёмкостью 200Ач каждая;
- щит постоянного тока (ЩПТ);
- шкафы распределения оперативного тока (ШРОТ).

Щит постоянного тока предназначен для питания цепей управления, защиты, автоматики и сигнализации, электромагнитов включения коммутационных аппаратов, аварийного освещения, а также для осуществления непрерывного контроля параметров системы питания.

Для питания потребителей постоянным оперативным током в нормальном режиме и заряда аккумуляторных батарей предусмотрены четыре подзарядных агрегата серии THYROTRONIC D-400 с микропроцессорными блоками управления и контроля. На каждую аккумуляторную батарею приходится по два выпрямительных устройства, подключенные через автоматы.

Питание устройств РЗА постоянным оперативным током осуществляется независимо от отдельных автоматов. Этими автоматами оперативному персоналу следует оперировать при выводе / вводе устройств РЗА для / после технического обслуживания и в случае отыскания неисправностей цепей оперативного тока на ППУ-500кВ. В случае выявления неисправности в цепях оперативного тока, соответствующее устройство РЗА должно быть выведено из работы.

На шкафы релейной защиты и автоматики ВЛ ЖЮ постоянный оперативный ток подаётся от автоматов, размещённых в шкафах распределения оперативного тока – ШРОТ ППУ-500кВ. На рисунке 12 представлены цепи питания и сигнализации ШРОТ1 и ШРОТ3.

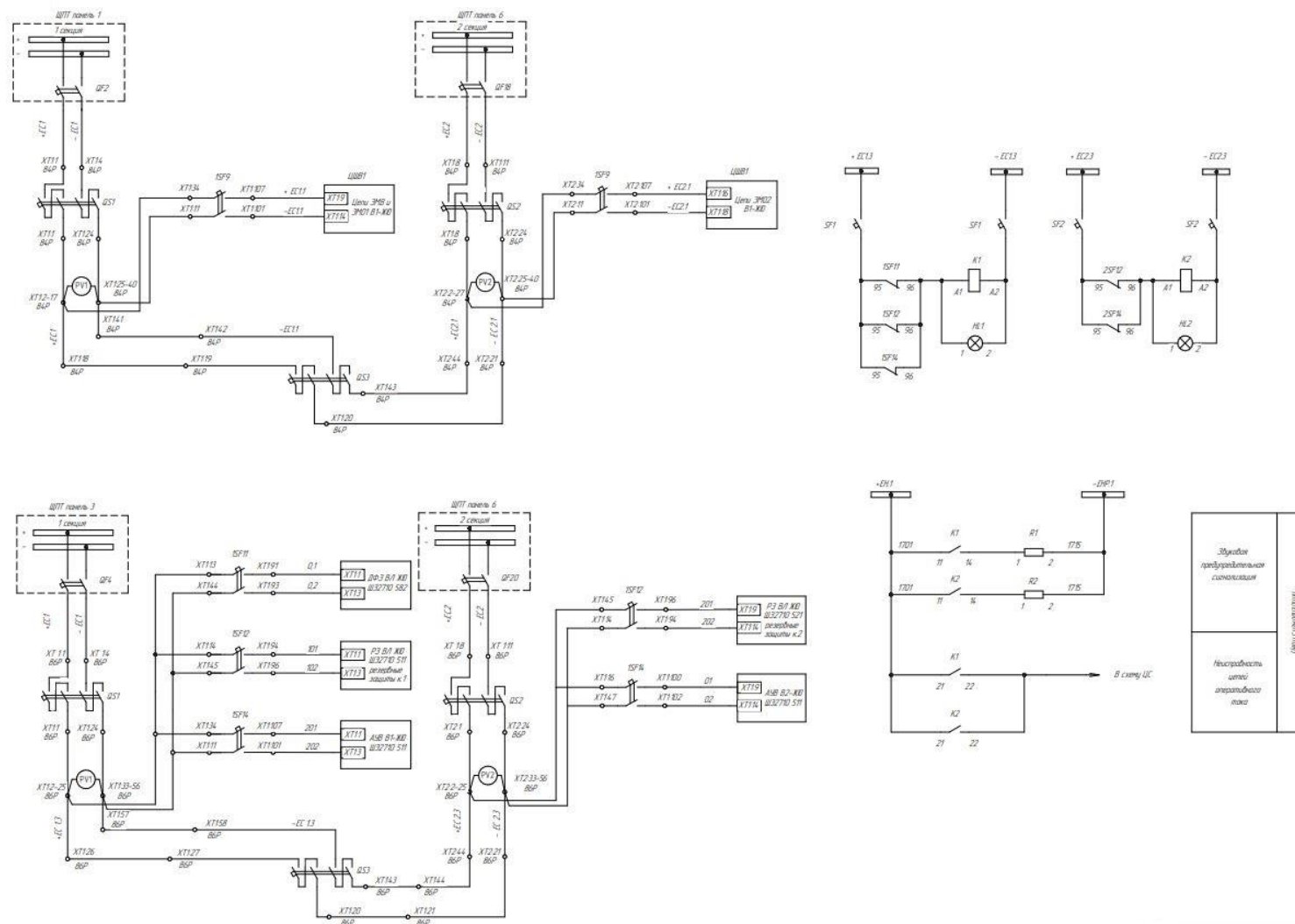


Рисунок 12 – цепи питания и сигнализации ШРОТ1 и ШРОТ3

В таблице 9 представлено распределение устройств РЗА по шкафам оперативного тока.

Таблица 9 – Распределение устройств РЗА по шкафам оперативного тока

Автомат	Панель	Устройство РЗА, подключенное к автомату
1SF9 / п.84Р	ШРОТ-1	Цепи ЭМВ, ЭМО1 В1-ЖЮ
1SF10 / п.84Р	ШРОТ-1	Цепи ЭМВ, ЭМО1 В2-ЖЮ
2SF9 / п.84Р	ШРОТ-1	Цепи ЭМО2 В1-ЖЮ, схемы мониторинга
2SF10 / п.84Р	ШРОТ-1	Цепи ЭМО2 В2-ЖЮ, схемы мониторинга
1SF11 / п.86Р	ШРОТ-3	ДФЗ ВЛ ЖЮ – ШЭ 2710 582
1SF12 / п.86Р	ШРОТ-3	1-ый комплект резервных защит ВЛ ЖЮ – ШЭ 2710 521
1SF14 / п.86Р	ШРОТ-3	комплект РЗА В1-ЖЮ (цепи терминала ШЭ 2710 511)
2SF12 / п.86Р	ШРОТ-3	2-ой комплект резервных защит ВЛ ЖЮ – ШЭ 2710 521
2SF14 / п.86Р	ШРОТ-3	комплект РЗА В2-ЖЮ (цепи терминала ШЭ 2710 511)
1SF18 / п.86Р	ШРОТ-3	регистратор РАС №1 – комплект А1
2SF18 / п.86Р	ШРОТ-3	регистратор РАС №1 – комплект А2

Вывод по разделу:

Питание устройств РЗА постоянным оперативным током осуществляется от шкафов распределения оперативного тока (ШРОТ1 и ШРОТ3). Независимое питание всех устройств РЗА по цепям постоянного оперативного тока обеспечивает надёжность и живучесть схемы РЗА.

8 Общая характеристика устройств релейной защиты и автоматики ВЛ 500 кВ Жигулевская ГЭС – Вешкайма Южная

Для защиты ВЛ 500кВ Жигулёвская ГЭС – Вешкайма Южная на ППУ-500кВ ЖГЭС выбраны шкафы производства НПП «ЭКРА» следующих видов:

- дифференциально-фазная защита – ДФЗ – типа ШЭ 2710 582;
- два комплекта ступенчатых резервных защит типа ШЭ 2710 521;
- АУВ типа ШЭ 2710 511.

В каждом из перечисленных комплектов защит реализована дополнительно к функциям релейной защиты и функция ОАПВ выключателей линии. Функция ОАПВ приводится в действие от защит «своего» комплекта с независимым от других комплектов защит действием в схемы управления выключателей линии.

Комплектам ОАПВ присвоена нумерация:

ОАПВ1 – функция ОАПВ в шкафу ДФЗ;

ОАПВ2 – функция ОАПВ в шкафу 1-ого комплекта резервных защит;

ОАПВ3 – функция ОАПВ в шкафу 2-ого комплекта резервных защит.

Резервные защиты, реализованные в комплектах ступенчатых резервных защит, имеют цепи телеускорения отдельных ступеней и телеотключения.

Для приёма и передачи сигналов ТО и ТУ на ВЛ ЖЮ используются устройства ЕТ8 типа ЕТ81, установленные на ОПУ-500:

- передатчик ЕТ8 52кГц ВЛ ЖЮ;
- приёмник ЕТ8 48кГц ВЛ ЖЮ.

Устройства ЕТ8 52 / 48кГц ВЛ ЖЮ подключены к фазе С защищаемой линии. На всех трёх фазах ВЛ ЖЮ выполнены не совмещённые высокочастотные каналы.

Кроме того, ВЛ 500кВ Жигулёвская ГЭС – Вешкайма Южная оснащена «устройствами противоаварийной автоматики:

- устройством автоматики ликвидации асинхронного режима;
- устройством автоматики ограничения повышения напряжения» [6].

Перечисленные устройства противоаварийной автоматики реализованы одновременно в двух размещённых на ОПУ-500 комплектах МКПА ЖС, ЖЮ; таким способом обеспечено полное резервирование этих устройств ПА.

Все шкафы релейной защиты и автоматики ВЛ ЖЮ, в том числе и противоаварийной автоматики обеспечивают:

- отключение выключателей В1 и В2 с пофазным управлением и пофазное включение выключателей;
- блокировку в цикле ОАПВ не отстроенных от неполнофазного режима ступеней резервной ТНЗНП и ускорение дистанционной защиты – ДЗ. При этом на блокировку указанных защит, реализованных в обоих комплектах резервных защит, действуют все три комплекта ОАПВ.

Выключатели линии Жигулёвская ГЭС – Вешкайма Южная, В1-ЖЮ и В2-ЖЮ, оснащены двумя шкафами автоматики управления выключателем – АУВ – и защит типа ШЭ 2710 511:

- комплект РЗА В1-ЖЮ / 33Р – шкаф управления В1-ЖЮ;
- комплект РЗА В2-ЖЮ / 32Р – шкаф управления В2-ЖЮ.

«Кроме собственно операций включения и отключения выключателя в комплекте РЗА выключателя реализуются функции:

- устройства резервирования отказа выключателя – УРОВ;
- устройства трёхфазного автоматического повторного включения – ТАПВ и полуавтоматического включения линии – ПАВ;
- защиты от непереключения фаз – ЗНФ;
- защиты от неполнофазного режима – ЗНФР» [5].

«Программное обеспечение всех терминалов РЗА ВЛ ЖЮ в дополнение к основным функциям релейной защиты и автоматики обеспечивает:

- измерение текущих параметров ВЛ ЖЮ;
- регистрацию дискретных и аналоговых событий;
- осциллографирование токов, напряжений и дискретных сигналов;
- определение расстояния до места повреждения – ОМП;

– непрерывную проверку и самодиагностику комплектов» [5].

Расчет расстояния до места повреждения на ВЛ происходит только в случае действия терминала на однофазное или трёхфазное отключение выключателей линии.

«При срабатывании ОМП через $2 \div 3$ секунды информация о расстоянии до места короткого замыкания, виде повреждения, дате и времени отображается на дисплее терминала. Эта информация сбрасывается при нажатии кнопки «Съём сигнализации» на двери шкафа РЗА. Если показания ОМП не были сброшены, при возникновении нового повреждения на ВЛ ЖЮ, например, при неуспешном АПВ, информация на дисплее заменится на новую, соответствующему последнему КЗ» [5].

Источниками информации для шкафов релейной защиты, автоматики, учета и измерений ВЛ ЖЮ являются трансформаторы тока и трансформаторы напряжения, установленные в ячейке защищаемой линии.

«Каждый шкаф РЗА представляет собой металлоконструкцию, созданную на основе специализированного профиля, и имеет две двери для осуществления двухстороннего обслуживания шкафа. Внутри шкафов РЗА на передней плите располагаются микропроцессорные терминалы защит» [3, 4, 5]. Внешний вид шкафов ШЭ 2710 582, ШЭ2710 521 и ШЭ2710 511 изображены на рисунках 3, 5 и 7 соответственно.

«На передней двери каждого шкафа с терминалами РЗА предусмотрено прозрачное окно для контроля светодиодной сигнализации МП терминала, установленного на передней внутренней плите. На передней двери размещаются ключи управления терминалом, сигнальные лампы и кнопки, а также указательные реле» [3, 4, 5].

На передней внутренней плите шкафа защит располагаются, как правило, дополнительные ключи, а также тест-блоки коммутации информационных и оперативных цепей.

«На лицевой плите каждого терминала РЗА имеются: жидкокристаллический дисплей, кнопки управления и разъёмы,

предназначенные для управления работой терминала, а также светодиодные индикаторы для сигнализации текущего состояния терминала» [3, 4, 5]. Назначение каждого светодиода отображается с правой стороны от этого светодиода на лицевой плате терминала.

«При снятии и последующем восстановлении напряжения постоянного оперативного тока состояние указанной сигнализации сохраняется.

С помощью кнопки «Съём сигнализации», установленной на двери шкафа, кратковременным её нажатием осуществляется оперативный съём светодиодной сигнализации» [3, 4, 5].

Если длительность нажатия кнопки превышает 3 секунды, загораются все светодиоды, таким способом оперативно проверяется исправность светодиодной сигнализации терминала.

Вся информация о состоянии первичных элементов схемы и работе устройств РЗА ВЛ ЖЮ выводится на систему автоматизированного управления ППУ-500кВ, кроме того основная информация на ППУ-500кВ о состоянии схемы и нагрузке на ВЛ ЖЮ может считываться визуально по установленным во всех трёх фазах линии амперметрам на панели управления.

На главной схеме электрических соединений показан состав и размещение устройств РЗА (рисунок 13). На схеме не показаны существующие электромеханические панели РЗА.

Вывод по разделу:

Для защиты ВЛ 500кВ Жигулёвская ГЭС – Вешкайма Южная выбраны шкафы производства НПП «ЭКРА» следующих видов: дифференциально-фазная защита – ДФЗ – типа ШЭ 2710 582; два комплекта ступенчатых резервных защит типа ШЭ 2710 521; АУВ типа ШЭ 2710 511.

В каждом из перечисленных комплектов защит реализована дополнительно к функциям релейной защиты и функция ОАПВ выключателей линии.

Резервные защиты, реализованные в комплектах ступенчатых резервных защит, имеют цепи телеускорения отдельных ступеней и телеотключения.

Заключение

Для выполнения функций основной дифференциально-фазной защиты линии выбран шкаф типа ШЭ2710 582 с микропроцессорным терминалом БЭ2704 582 производства НПП «ЭКРА». Кроме функции высокочастотной ДФЗ в данном терминале осуществляется также функция ОАПВ. Для обмена ВЧ сигналами используется приемопередающая аппаратура типа АВАНТ Р400 производства ООО «Прософт-Системы».

Для выполнения функций резервных защит линии выбран шкаф ШЭ2710 521 с микропроцессорным терминалом БЭ2704 521 производства НПП «ЭКРА». В состав резервных защит линии входят: дистанционная защита, междуфазная максимальная токовая защита, токовая направленная защита нулевой последовательности.

Для выполнения функций управления и защиты выключателей выбран шкаф ШЭ2710 511 с микропроцессорным терминалом БЭ2704 511 производства НПП «ЭКРА». Кроме функции АУВ в данном терминале осуществляются функции ТАПВ, УРОВ, ЗНФ, ЗНФР.

Каждый шкаф защит принимает информацию с трансформаторов тока типа SAS 550/5G и трансформаторов напряжения типа ТЕМР 550кВ и SVS 550/5.

Выбранные шкафы релейной защиты и автоматики ВЛ ЖЮ запитываются от постоянного оперативного тока, который подаётся от аккумуляторных батарей на щит постоянного тока, откуда, в свою очередь, запитываются шкафы распределения оперативного тока – ШРОТ1 и ШРОТ3.

Таким образом, выбранные защиты полностью соответствуют современным требованиям, а также обеспечивают надежность и бесперебойность электроснабжения.

Список используемых источников

1. Агафонов А.И. Современная релейная защита и автоматика электроэнергетических систем: учебное пособие / Агафонов А.И., Бростилова Т.Ю., Джазовский Н.Б.. — Москва, Вологда: Инфра-Инженерия, 2020. — 300 с. — ISBN 978-5-9729-0505-8. — Текст: электронный // Электронно-библиотечная система IPR BOOKS: [сайт]. - URL: <http://www.iprbookshop.ru/98355.html> (дата обращения: 20.03.2021). — Режим доступа: для авторизир. Пользователей
2. Киреева Э.А. Цырук С.А. Релейная защита и автоматика электроэнергетических систем: учебник для студ. учреждений сред. проф. образования. М.: Издательский центр «Академия», 2016. - 287 с.
3. Куксин А.В. Релейная защита и автоматизация электроэнергетических систем : учебное пособие / Куксин А.В.. — Москва : Ай Пи Ар Медиа, 2020. — 215 с. — ISBN 978-5-4497-0531-0. — Текст: электронный // Электронно-библиотечная система IPR BOOKS: [сайт]. — URL: <http://www.iprbookshop.ru/94929.html> (дата обращения: 10.05.2021). — Режим доступа: для авторизир. пользователей.
4. Малышева Н.Н. Микропроцессорные релейные защиты. Ч.1: учебное пособие / Малышева Н.Н.: Нижневартовский государственный университет, 2019. — 95 с. — ISBN 978-5-00047-512-6. — Текст электронный // Электронно-библиотечная система IPR BOOKS: [сайт]. — URL: <http://www.iprbookshop.ru/92802.html> (дата обращения: 08.02.2021). — Режим доступа: для авторизир. пользователей.
5. Общая инструкция по эксплуатации устройств релейной защиты и автоматики ВЛ 500 кВ, Жигулевская ГЭС, 2018. – 37с.
6. Общие требования к системам противоаварийной и режимной автоматики, релейной защите и автоматике, телеметрической информации, технологической связи в ЕЭС России. Приложение 1 к приказу ОАО РАО «ЕЭС России» от 11.02.2008. – М. 2008. – 42с.

7. Пономаренко В.К. Элементы систем автоматики: учебное пособие / Пономаренко В.К., Хардигов Е.В., Файзуллаева А.В.. — Санкт-Петербург, 2019. — 139 с. — ISBN 2227-8397. — Текст: электронный // Электронно-библиотечная система IPR BOOKS: [сайт]. — URL: <http://www.iprbookshop.ru/102498.html> (дата обращения: 14.04.2021). — Режим доступа: для авторизир. пользователей.
8. ПУЭ издание 7. Раздел 3. Защита и автоматика. 2003. — 552с. — ISBN 978-5-392-29900-3.
9. РД 153-34.0-35.648-01. Рекомендации по модернизации, реконструкции и замене длительно эксплуатирующихся устройств релейной защиты и электроавтоматики энергосистем: нормативно-технический материал. — М.: 2001. — 21с.
10. Релейная защита электрооборудования электрических станций, сетей и систем: учебное пособие для СПО / О.Н. Шелушенина [и др.]. — Саратов : Профобразование, 2021. — 234 с. — ISBN 978-5-4488-1253-8. — Текст электронный // Электронно-библиотечная система IPR BOOKS: [сайт]. — URL: <http://www.iprbookshop.ru/106851.html> (дата обращения: 03.02.2021). — Режим доступа: для авторизир. пользователей.
11. РЗА подстанционного оборудования 330-750 кВ. ШЭ2710 511. Руководство по эксплуатации. - 97с.
12. РЗА подстанционного оборудования 330-750 кВ. ШЭ2710 521. Руководство по эксплуатации. - 181с.
13. РЗА подстанционного оборудования 330-750 кВ. ШЭ2710 582. Руководство по эксплуатации. - 208с.
14. Романов А.А.. Куйбышевский гидроузел. История и жизнь. Самара, 2018. — 272с.
15. Типовые проектные решения при создании (модернизации) РЗА присоединений главных схем всех классов напряжения ГЭС, 2020. — 51с.
16. Ententeev A.. Developing an analog and discrete signal input device for applying new detuning algorithms/ Usachev S., Rybin S., Voloshchin A.,

- Voloshin E., Maksimov R.. [electronic resource]: 2nd International Youth Scientific and Technical Conference on Relay Protection and Automation (RPA), 2019, pp. 1-9, doi: 10.1109/RPA47751.2019.8958267. - URL: <https://ieeexplore.ieee.org/document/8958267>.
17. Jaworski M., Jaeger J.. Protection relay behaviour during power system restoration — A boundary based state classification approach / M. Jaworski, J. Jaeger. [electronic resource]: 13th International Conference on Development in Power System Protection 2016 (DPSP), 2016, pp. 1-6, doi: 10.1049/cp.2016.0099. — URL: <https://ieeexplore.ieee.org/document/7795089>.
18. Petrovskyi M. V., Lebedka S. M., Petrovska S. A., Ivanov S. O.. Modeling of Characteristics of Distance Relay Protection of High-Voltage Power Lines [electronic resource]: Lviv, Ukraine, 2019, pp. 365-368, doi: 10.1109/UKRCON.2019.8879795. — URL: <https://ieeexplore.ieee.org/document/8879795>.
19. Stepanova D. A., Naumov V. A., Antonov V. I.. Deep Learning in Relay Protection of Digital Power Industry [electronic resource]: 2nd International Youth Scientific and Technical Conference on Relay Protection and Automation (RPA), 2019, pp. 1-17, doi: 10.1109/RPA47751.2019.8958378. — URL: <https://ieeexplore.ieee.org/document/8958378>.
20. Zexin Zhou. High sensitive start element of transmission line protection / Zexin Zhou, Huanzhang Liu, Xingguo Wang, Dingxiang Du, Yarong Guo. [electronic resource]: 2016 IEEE Power and Energy Society General Meeting (PESGM), 2016, pp. 1-7, doi: 10.1109/PESGM.2016.7741460. — URL: <https://ieeexplore.ieee.org/document/7741460>.