

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)

13.04.02 Электроэнергетика и электротехника  
(код и наименование направления подготовки)

---

Техническое и информационное обеспечение интеллектуальных систем  
электроснабжения  
(направленность (профиль))

---

## ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА (МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ)

на тему Модернизация системы релейной защиты ГПП-1 ПАО  
«КуйбышевАзот»

Студент

Е.Д. Новов

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Научный  
руководитель

к.т.н., доцент, Ю.В. Черненко

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

Тольятти 2020

## Содержание

Введение.....	4
1 Анализ действующей схемы электроснабжения подстанции №1 ПАО «КуйбышевАзот».....	7
1.1 Описание объекта исследования.....	7
1.2 Анализ современного состояния микропроцессорной электроники и её роли в релейной защите.....	12
1.3 Принцип работы электромеханических реле.....	13
1.4 Электромеханические реле и микропроцессорная электроника – плюсы и минусы.....	16
1.5 Особенности исполнения релейной защиты подстанции №1 ПАО «КуйбышевАзот».....	19
1.6 Принципы работы основных защит подстанции №1 ПАО «КуйбышевАзот».....	20
1.7 Выводы по разделу.....	26
2 Разработка технических решений для модернизации релейной защиты подстанции №1 ПАО «КуйбышевАзот».....	27
2.1 Выбор микропроцессорных блоков релейной защиты.....	27
2.2 Анализ микропроцессорных блоков релейной защиты серии ЭКРА 200 и возможностей эксплуатации.....	31
2.3 Состав блоков.....	33
2.4 Программное обеспечение.....	36
2.5 Возможные неисправности и способы их устранения.....	43
2.6 Проверка работоспособности терминала.....	45
2.7 Аналого-цифровой преобразователь.....	48
2.8 Сравнительный анализ микропроцессорных блоков релейной защиты.....	49

2.9 Выводы по разделу.....	51
3 Реализация и внедрение предложенных технических решений на подстанции №1 ПАО «КуйбышевАзот».....	52
3.1 Определение токов короткого замыкания.....	52
3.2 Выбор и проверка трансформаторов тока и напряжения.....	53
3.3 Расчет дифференциальной токовой защиты токопроводов.....	56
3.4 Расчет максимальной токовой защиты.....	58
3.5 Оценка повышения надежности системы релейной защиты от внедрения новых микропроцессорных блоков.....	61
3.6 Возможность создания каналов связи с центральным диспетчерским пунктом ПАО «КуйбышевАзот».....	63
3.7 Выводы по разделу.....	65
Заключение.....	66
Список используемых источников.....	68

## Введение

Современный мир трудно представить без электроэнергетики. Данный вид обеспечения энергией распространен на любом отдельно взятом предприятии, городе или другом объекте деятельности человека. Электроэнергетика проникла во сферы деятельности человека, позволяя электрифицировать промышленные предприятия, обеспечивать жилые дома электроэнергией и теплом, передавать эту энергию на дальние расстояния, и многое другое. Электроэнергетика сама по себе представляет собой самый сложный комплекс, состоящий из различного оборудования, мероприятий, квалифицированного персонала, а также объектов электрификации. Для надежного функционирования данной системы необходим широкий спектр технического оснащения и мероприятий.

Системы электроснабжения как элемент инфраструктуры и жизни общества играют важнейшую роль. Электроэнергетика в современном мире проникла во все сферы деятельности человека, обеспечивая электроэнергией производственные комплексы, здания, учреждения, жителей населенных пунктов.

Системы электроснабжения, необходимые для обеспечения электроэнергией потребителей, состоят из множества различных компонентов, обеспечивающих их надежное функционирование. Одним из таких компонентов является релейная защита. Данный элемент предназначен для своевременного предотвращения последствий различных аварий, а также для сигнализации о неисправностях в сети. Релейная защита является разнообразным и сложным элементом электрических сетей, требующий точности, надежности, и определенного функционального исполнения.

Релейная защита в системах электроснабжения (СЭС), как структурный элемент является её неотъемлемым компонентом. Данный компонент СЭС необходим для своевременного предупреждения и сигнализации о

возникновения различного рода неисправностей, а также для предотвращения последствий этих неисправностей. В начале проектирования систем релейной защиты были созданы электромеханические реле, нашедшие широчайшее применение вследствие своей простоты и относительной надежности. Большое количество современных комплексов релейной защиты спроектировано и смонтировано на базе электромеханических реле. Данный вид реле относительно прост в эксплуатации, экономически малозатратный, и надежный. Но релейная защита, как и любые другие технические устройства, постоянно развивается.

Технический прогресс подталкивает людей создавать новое и всё более сложное оборудование, которое, в свою очередь, не может обойтись без необходимого комплекса защит. Это в свою очередь позволило создать микропроцессорные блоки релейной защиты, которые гораздо более компактнее, менее затратные в эксплуатации, и надежнее, чем системы электромеханических реле.

Системы релейной защиты на базе электромеханических реле нашли широчайшее применение в современных системах электроснабжения и различных технологических объектах. Их достоинствами являются простота (конструктивная и самих схем на базе таких реле), относительная надежность, наглядность работы защит, наличие совокупности визуальных и звуковых индикаторов (сигнальные лампы, характерные звуки срабатывания защит). К недостаткам электромеханических реле можно отнести: износ механических частей в процессе работы, наличие открытых токовых цепей, уменьшающих безопасность персонала, необходимость прямого механического вмешательства обслуживающего персонала при ремонте или замене реле, а также при необходимости изменения уставок.

Установка микропроцессорной релейной защиты способна решить проблему количества необходимых комплектов реле для защит, т.к. для электронных блоков необходимость многих реле, имеющихся в системах с

электромеханическими реле, отпадает, вследствие более простых и надежных схем, собранных внутри устанавливаемых блоков.

Тема, выбранная для диссертации, весьма актуальна и необходима в практическом плане. Микропроцессорные блоки релейной защиты обладают рядом существенных преимуществ, позволяющих принимать их к установке для самых различных мест и элементов систем электроснабжения. Они могут быть установлены как на щитах управления, так и в ЗРУ. Вследствие необходимости модернизации и усовершенствования систем электроснабжения, замена систем электромеханических реле на микропроцессорные блоки является актуальным и востребованным направлением.

Целью диссертации является повышение эффективности функционирования системы электроснабжения подстанции №1 ПАО «КуйбышевАзот» путем модернизации существующей системы релейной защиты.

Задачами магистерской диссертации являются:

1. Анализ действующей схемы электроснабжения подстанции №1 ПАО «КуйбышевАзот». Данная задача подразумевает анализ типов, установленных реле, оценку их реального технического состояния, а также принятие решения о модернизации существующей схемы.

2. Разработка технических решений для модернизации релейной защиты подстанции №1 ПАО «КуйбышевАзот». В данной задаче необходимо рассмотреть возможные варианты микропроцессорных блоков релейной защиты, а также выбрать необходимый комплект блоков исходя из их технических и функциональных возможностей.

3. Реализация и внедрение предложенных технических решений на подстанции №1 ПАО «КуйбышевАзот». В данной задаче необходимо разработать план по реализации системы релейной защиты на базе выбранных микропроцессорных блоков.

# **1 Анализ действующей схемы электроснабжения подстанции №1 ПАО «КуйбышевАзот»**

## **1.1 Описание объекта исследования**

Публичное акционерное общество «КуйбышевАзот» является одним из крупнейших химических предприятий России и Поволжья. Данное предприятие основано в 1960 году. Строительство тогда ещё Куйбышевского азотнотукового завода («КАТЗ») началось в 1961 году. Первым директором завода был Иван Красюк. В 1965 году уже выпущена первая продукция, а в 1966 году окончательно запущена первая очередь производства.

В 1975 году организованно производственное объединение «Куйбышевазот», где КАТЗ был ведущим предприятием. Кроме того, в объединение входили строящиеся «ТоАЗ», «Азотреммаш», «Трансаммиак».

В 1981 году реструктурированы предприятия, что в итоге привело к разделению производственных объединений на отдельные подразделения.

В 1992 году предприятие было приватизировано, появились акционерные общества «Куйбышевазот» и «ТольяттиАзот», что привело к разделению предприятия и его имущества. Генеральным директором «Куйбышевазота» стал главный инженер завода Виктор Герасименко.

В 2015 году на собрании акционеров новым генеральным директором избран его сын Александр Герасименко.

Основная продукция завода: капролактамы, полиамид-6, техническая нить, аммиачная селитра, карбамид, сульфат аммония, аммиак, слабая азотная кислота.

Предприятие является крупнейшим в СНГ производителем капролактама, единственным в России производителем высоковязкого полиамида и высокопрочной технической нити.

Данное предприятие расположено по адресу Самарская область, г. Тольятти, ул. Новозаводская 6. Система электроснабжения предприятия

представлена в основном головными и промежуточными подстанциями. Все головные подстанции (кроме подстанции 1) питаются по кабельным линиям, т.к. открытое расположение воздушных линий электропередач на территории предприятия невозможно.

Подстанция 1 является одной из пяти головных подстанций в г.о. Тольятти, находящейся на территории предприятия ПАО «КуйбышевАзот». Данная подстанция является ответственной, питающаяся по шинпроводам от тольяттинской Теплоэлектроцентрали (далее ТТЭЦ). На данной подстанции установлено следующее силовое и коммутационное оборудование: выключатели, линейные разъединители, токопроводы, ячейки с отходящими фидерами, реакторы.

Рядом с подстанцией находятся заводские корпуса, в частности градирни, производство аммиака и полиамида. Сама подстанция имеет закрытое распределительное устройство (далее ЗРУ), главный щит управления (далее ГЩУ), и щит постоянного тока (ЩПТ). ЗРУ состоит из 4-х секций шин, которые питают: цеховые подстанции, синхронные и асинхронные двигатели на территории цехов ПАО «КуйбышевАзот». Шины секционированны посредством шинного моста. Здание подстанции сооружено из белого силикатного кирпича, и представляет из себя двухэтажную постройку. На первом этаже находятся 2 распределительных устройства ЩПТ, а также токоограничивающие реактора. На втором этаже находится шинная сборка, шинный мост, ячейки с выключателями. ГЩУ состоит из блоков релейной защиты, отвечающих за защиту силового и коммутационного оборудования на подстанции, резервных реле, измерительных приборов (амперметров и вольтметров), блоков сигнализации, сигнальных ламп, и управляющих ключей. Перечень основных реле приведен в таблице 1.

На подстанции №1 ПАО «КуйбышевАзот» релейная защита на базе электромеханических реле смонтирована на щите управления. Защита ячеек



выполнена аналогично, а также и на базе микропроцессорных блоков релейной защиты типа Seram. Стоит отметить, что у электромеханических реле, кроме низкой надежности и проблем с эксплуатацией, имеется существенный минус, в частности для проведения любых испытаний такого рода защит необходим специальный испытательный стенд.

Релейная защита на базе электромеханических реле, смонтированная на подстанции №1 ПАО «КуйбышевАзот», вследствие простоты и относительной надежности показала свою эффективность и надежность в течение длительного срока эксплуатации. Но постоянный технический прогресс свидетельствует, что релейная защита на базе микропроцессорной техники (микропроцессорный блоков) значительно эргономичнее, проще и надежнее, чем системы электромеханических реле [3]. Также неоспоримым плюсом релейной защиты на базе микропроцессорных устройств является тот факт, что цифровые устройства позволяют создавать защиты, которые либо невозможно спроектировать на базе электромеханических реле, либо возможно, но со значительным усложнением схемы.

На щите управления подстанции №1 релейная защита смонтирована на базе электромеханических реле. Защита ячеек также выполнена на базе электромеханических реле. Стоит отметить, что у электромеханических реле, кроме низкой надежности и проблем с эксплуатацией, имеется существенный минус, в частности для проведения любых испытаний такого рода защит необходим специальный испытательный стенд. Данный факт усложняет эксплуатацию и обслуживание системы релейной защиты и автоматики. Обобщая сказанное, можно сделать вывод, что разработка проекта по замене электромеханических реле системой микропроцессорных блоков целесообразна и необходима.

Релейная защита на базе электромеханических реле, смонтированная на подстанции №1 ПАО «КуйбышевАзот», вследствие простоты и относительной надежности показала свою эффективность и надежность в

течение длительного срока эксплуатации. Но постоянный технический прогресс свидетельствует, что релейная защита на базе микропроцессорной техники (микропроцессорный блоков) значительно эргономичнее, проще и надежнее, чем системы электромеханических реле.

Обобщая сказанное, можно сделать вывод, что разработка проекта по замене электромеханических реле системой микропроцессорных блоков целесообразна и необходима.

Таблица 1 - Перечень основной релейной защиты ГЩУ подстанции № 1

Название	Марка	Уставка			Условное обозначение на схемах
		Ток I, А	Напряжение U, В	Время t, с	
Комплект защиты МТЗ 6 КВ 1-я ступень 2-я ступень	РТ-40/200	4000 1600	-	2 9	КЗ
Реле дифференциальное фаза А	РНТ-565	4000	-	-	1РТН
Реле дифференциальное фаза С	РНТ-565	4000	-	-	2РТН
МТЗ-6кВ ввода 1 секции фаза А	РТ-40/20	3,5	-	-	1РТ
МТЗ-6кВ ввода 2 секции фаза А	РТ-40/20	5	-	-	2РТ
МТЗ-6кВ ввода 3 секции фаза А	РТ-40/20	4,5	-	-	3РТ
МТЗ-6кВ ввода 4 секции фаза А	РТ-40/20	7	-	-	4РТ
МТЗ-6кВ ввода 1 секции фаза С	РТ-40/20	3,5	-	-	5РТ
МТЗ-6кВ ввода 2 секции фаза С	РТ-40/20	5	-	-	6РТ
МТЗ-6кВ ввода 3 секции фаза С	РТ-40/20	4,5	-	-	7РТ
МТЗ-6кВ ввода 4 секции фаза С	РТ-40/20	7	-	-	8РТ
Реле времени МТЗ-6кВ 1 секции	РВМ-12	-	-	3	1РВ
Реле времени МТЗ-6кВ 2 секции	РВМ-12	-	-	3	2РВ
Реле времени МТЗ-6кВ 3 секции	РВМ-12	-	-	3	3РВ

Продолжение таблицы 1

Реле времени МТЗ-6кВ 4 секции	PBM-12	-	-	3	4PB
Реле времени пуска АПВ 1 секции	PBM-12	-	-	1,5	5PB
Реле времени пуска АПВ 2 секции	PBM-12	-	-	1,5	6PB
Реле времени пуска АПВ 3 секции	PBM-12	-	-	1,5	7PB
Реле времени пуска АПВ 4 секции	PBM-12	-	-	1,5	8PB
Контроль напряжения на 1 секции 6кВ	PBM-12	-	-	2,5	14PB <sub>1</sub>
Контроль напряжения на 2 секции 6кВ	PBM-12	-	-	3	14PB <sub>2</sub>
Контроль напряжения на 3 секции 6кВ	PBM-12	-	-	3,5	14PB <sub>3</sub>
Контроль напряжения на 4 секции 6кВ	PBM-12	-	-	4,5	14PB <sub>4</sub>
Реле токовой блокировки секционного разъединителя от 1В	PT-40/10	4,5	-	-	РТБ <sub>1</sub>
Реле токовой блокировки секционного разъединителя от 2В	PT-40/10	4,5	-	-	РТБ <sub>2</sub>
Реле токовой блокировки секционного разъединителя от 3В	PT-40/10	4,5	-	-	РТБ <sub>3</sub>
Реле токовой блокировки секционного разъединителя от 4В	PT-40/10	4,5	-	-	РТБ <sub>4</sub>
Реле времени МТЗ СВ <sub>1</sub> -6кВ	PBM-12	-	-	2	9PB
Реле времени МТЗ СВ <sub>2</sub> -6кВ	PBM-12	-	-	2	10PB
МТЗ СВ <sub>1</sub> -6кВ (фаза А)	PT-40/20	7	-	-	1PT
МТЗ СВ <sub>2</sub> -6кВ (фаза С)	PT-40/20	7	-	-	2PT
Реле минимального напряжения	РОН- 53/200	-	7	-	PMH
Выходное реле частотного пуска АВР 1 секции	PBM-12	-	-	4	11PB
Выходное реле частотного пуска АВР 2 секции	PBM-12	-	-	4	12PB
Выходное реле частотного пуска АВР 3 секции	PBM-12	-	-	4	13PB

Продолжение таблицы 1

Выходное реле частотного пуска АВР 4 секции	PBM-12	-	-	4	14PB
Реле времени рассинхронизации 1 секции	PBM-12	-	-	3	15PB
Реле блокировки рассинхронизации 1 секции	PBM-12	-	-	2	16PB
Реле времени рассинхронизации 2 секции	PBM-12	-	-	4	17PB
Реле блокировки рассинхронизации 2 секции	PBM-12	-	-	3	18PB
Реле времени рассинхронизации 3 секции	PBM-12	-	-	3	19PB
Реле блокировки рассинхронизации 3 секции	PBM-12	-	-	4	20PB
Реле времени рассинхронизации 4 секции	PBM-12	-	-	2	21PB
Реле блокировки рассинхронизации 4 секции	PBM-12	-	-	3	22PB

## 1.2 Анализ современного состояния микропроцессорной электроники и её роли в релейной защите

Развитие технического прогресса не стоит на месте. В современном мире всевозможных технологий и компьютеров электроника всё глубже проникает в различные сферы существования людей. В техническом плане реализация вышесказанного состоит в многочисленной компьютеризации и автоматизации различных технологических процессов и производств. Компьютерная и микропроцессорная техника всё чаще заменяет людей, позволяя перевести контроль над технологическими процессами и параметрами в автоматизированный или автоматический режим. Одним из направлений развития микропроцессорной электроники является создание на

базе различных микропроцессорных и электронных устройств всевозможных блоков релейной защиты и автоматики. Такие блоки позволяют значительно упрощать процесс контроля и управления системами электроснабжения (СЭС) и их элементов [1]. Микропроцессорные блоки в современных СЭС выпускаются самых различных моделей и модификаций. В зависимости от требуемых функций контроля и(или) учета каких-либо параметров, микропроцессорные блоки могут включать в себя устройства для приема сигналов от самых разнообразных видов релейной защиты. Такие блоки могут быть установлены в ячейках КРУ (комплектных распределительных устройств), в ячейках ЗРУ (закрытых распределительных устройств), либо на ГЩУ (главных щитах управления или местах установки комплектов защит основного силового оборудования станций и подстанций). Установка микропроцессорных блоков релейной защиты значительно упрощает контроль за параметрами основного силового оборудования понизительных подстанций, а также за параметрами потребителей, за которые отвечают ячейки. Прогресс электроники позволяет подобрать необходимый тип и количество блоков релейной защиты для установки в соответствующих местах [4].

Также постепенный отказ от аналоговых систем электромеханических реле и переход на цифровую электронику способен уменьшить количество цепей, а, следовательно, повысить безопасность персонала и оптимизировать систему релейной защиты.

### **1.3 Принцип работы электромеханических реле**

Реле является электромагнитным, электромеханическим или электронным компонентом, находящимся в системе с целью коммутации, а также функционирования систем релейной защиты и автоматики.

В схемах автоматики, управления электроприводами, электроэнергетическими и технологическими установками, в системах

контроля и т.п. находит применение электромагнитная коммутация. Любое реле, принцип работы которого основан на электромагнитной коммутации, даёт возможность регулировки напряжения и токов, позволяет заменить ненужные запоминающие и преобразующие устройства, улавливать искажения параметров от необходимых значений.

Основные характеристики реле: чувствительность, сопротивление обмотки, напряжение (ток) срабатывания, напряжение (ток) отпадания, время срабатывания, рабочий ток (напряжение), время отпадания, частота включений с нагрузкой на контактах.

Достоинства электромагнитных реле:

при небольших габаритах позволяют коммутировать большие нагрузки;

обеспечение гальванической развязки цепей управления и группы коммутации;

невысокое выделение тепла с контактов и катушки;

малая цена.

Вышеупомянутые реле имеют недостатки:

малая скорость срабатывания;

невысокий рабочий ресурс;

во время переключения контактов возникают радиопомехи;

на постоянном токе высоковольтные и индуктивные нагрузки сложно коммутируются.

По принципу действия электромеханические реле делятся на три группы:

1. Электромагнитные
2. Индукционные
3. Магнитоэлектрические

Все реле разделяются по выполняемым функциям, назначению и устройству. По функциям реле бывают: времени, тока, напряжения, мощности, промежуточные, сигнальные и др.

Исходя из устройства, реле делятся на: электромагнитные, электромеханические, магнитоуправляемые, электронные, электронно-электромагнитные или комбинированные.

Любое электромагнитное реле имеет в своём составе магнитопровод с катушкой, находящейся на ее неподвижной части, якоря, механически связанного с замыкающими или размыкающими контактами. Когда появляется напряжение на катушке, происходит притяжение якоря, который тянет за собой контакты, замыкая или размыкая их. Якорь в электромеханических реле двигается за счет вращения исполнительного элемента, который в свою очередь связан через редуктор с группами контактов. Во время работы двигателя редуктор вращает барабан с находящимися на них подвижными контактами, за счет которых замыкаются или размыкаются нужные контакты. Герконы (герметизированные контакты) являются запаянными в герметичную трубку контактами, замыкающиеся или размыкающиеся при действии на них магнитного поля. В электронных реле отсутствуют какие-либо контакты. Они являются электронными схемами, где в качестве контактов служат полупроводниковые приборы, играющие роль ключей: транзисторы, тиристоры и др.

Комбинированные реле являются результатом скрещивания электронной схемы управления и электромагнитного или электромеханического реле.

#### Принцип действия и выполнения реле

При создании электромагнитных реле применяют электромеханические системы: 1) с втягивающимся якорем; 2) с поворотным якорем; 3) с поперечным движением якоря.

Ток срабатывания реле  $I_{с.р.}$  - наименьшее значение тока  $I_p$ , при котором происходит притяжения якоря к электромагниту.

Ток отпускания  $I_{о.р.}$  - наибольшее значение тока в обмотке реле, при котором происходит возврат реле в исходное состояние.

Коэффициент отпускания есть отношение тока отпускания к току действия.

Срабатывание реле есть его действие, и ток или напряжение действия соответственно называют током  $I_{с.р.}$  или напряжением  $U_{с.р.}$  срабатывания реле. Ток и напряжение отпускания есть ток  $I_{в.р.}$  и напряжение  $U_{в.р.}$  возврата реле, а коэффициент отпускания - коэффициент возврата  $k_v$ .

У минимальных реле срабатывание и отпускание происходит одновременно. Напряжение срабатывания и отпускания минимального реле идентичные, а напряжение возврата совпадает с напряжением действия. Вследствие этого коэффициент возврата минимального реле напряжения равен обратному значению коэффициента возврата максимального реле, и при этом он всегда больше единицы.

#### **1.4 Электромеханические реле и микропроцессорная электроника – плюсы и минусы**

Системы релейной защиты на базе электромеханических реле нашли широчайшее применение в современных системах электроснабжения и различных технологических объектах. Их достоинствами являются простота (конструктивная и самих схем на базе таких реле), относительная надежность, наглядность работы защит, наличие совокупности визуальных и звуковых индикаторов (сигнальные лампы, характерные звуки срабатывания защит). К недостаткам электромеханических реле можно отнести: износ механических частей в процессе работы, наличие открытых токовых цепей, уменьшающих безопасность персонала, необходимость прямого механического вмешательства обслуживающего персонала при ремонте или



замене реле, а также при необходимости изменения уставок [12].

Бурное развитие технического прогресса дает все шансы на вытеснение систем на базе электромеханических реле. Причиной наличия этих шансов являются микропроцессорные блоки релейной защиты, относительно недавно внедренных в системы электроснабжения, но ставших практически и технически выгодными. Микропроцессорные блоки релейной защиты значительно надежнее, чем системы электромеханических реле. Они позволяют создавать устройство с колоссальным потенциалом и возможностями, например, функция памяти, позволяющая вести непрерывную запись всех событий, происходящих в системе [20].

Также микропроцессорные блоки релейной защиты позволяют просматривать осциллограммы переходных процессов, упрощая анализ произошедшего. В функциях микропроцессорных блоков также имеются: функция определения расстояния до повреждения, функция изменения и введения соответствующих уставок защит, и т.д. Одной из основных особенностей и, как показывает практика, преимуществ микропроцессорных блоков релейной защиты является возможность сборки на их базе всех видов защит, а также возможность компоновки блоков с разными типами защит. К недостаткам микропроцессорных блоков следует отнести возможность сбоев в работе при различного рода электромагнитных возмущениях, чувствительность к механическому воздействию с последующими нарушениями в работе функциональных блоков внутри микропроцессорного устройства, большое варьирование цен в зависимости от комплектации, марки, типа и т.д. Также при установке микропроцессорных блоков значительно сокращается количество открытых токовых цепей и цепей напряжения, что способствует повышению безопасности рабочего персонала[9].

Для различных систем микропроцессорных реле возможно также создание различного рода диспетчерских пунктов, позволяющих объединять

эти системы и контролировать большие комплексы различных электроустановок и их релейной защиты.

Установка микропроцессорной релейной защиты способна решить проблему количества необходимых комплектов реле для защит, т.к. для электронных блоков необходимость многих реле, имеющихся в системах с электромеханическими реле, отпадает, вследствие более простых и надежных схем, собранных внутри устанавливаемых блоков [18].

Достоинства существующей схемы:

- простота схем соединений блоков релейной защиты на основе электромеханических реле;
- наглядность работы защит;
- наличие звуковых и визуальных индикаторов (сигнальные лампы, характерные звуки срабатывания защит);
- надежность работы всех блоков релейной защиты в течение длительного промежутка времени;

Недостатки существующей схемы:

- ненадежность существующих блоков релейной защиты как системы с использованием электромеханических реле;
- проверка работоспособности осуществляется только при наличии испытательного стенда;
- невозможность получения полного пакета данных о случившемся повреждении при их возникновении;
- наличие открытых токовых цепей и цепей напряжения, цепей управления, питающих цепей (повышенная опасность для персонала вследствие наличия возможности попадания под напряжение);
- большое количество блоков всевозможных защит не дает четкой визуализации, и как следствие, затрудняет поиск необходимого реле;
- необходимость разделения блоков релейной защиты на группы;
- наличие большого количества блоков резервных реле;

- для изменения уставок реле требуется прямое механическое вмешательство человека;

- вследствие небольшой площади помещения главного щита управления существует вероятность произвольного задевания персоналом элементов реле, что может привести к их ложному срабатыванию или отказу в работе;

Существующая схема релейной защиты и автоматики (РЗА) на базе электромеханических реле обладает рядом существенных недостатков, а также является морально устаревшей. Следовательно, необходима замена элементов схемы релейной защиты (электромеханических реле) на более современные микропроцессорные устройства релейной защиты.

Для реализации задуманного проекта требуются микропроцессорные блоки релейной защиты, которые необходимо выбрать с учетом имеющегося опыта их внедрения на подстанции предприятия. Процесс реализации проекта довольно сложный. Замену старого оборудования необходимо производить в оперативном порядке, не нарушая целостности схемы.

### **1.5 Особенности исполнения релейной защиты подстанции №1 ПАО «КуйбышевАзот»**

Так подстанция №1 ПАО «КуйбышевАзот» является одной из головных подстанций, она имеет ряд особенностей. В частности, все присоединения, распределенные по подстанции, имеют в своей схеме токоограничивающие реакторы.

На щите управления данной подстанцией отсутствуют ключи управления. Также на щите управления отсутствуют амперметры, контролирующие токи секций.

Дифференциальная защита на данной подстанции представлена двумя видами: защита реакторов и защита присоединений. Вследствие этого,

трансформаторы тока установлены как на вводах, так и до и после реакторов, а также до и после присоединений в ячейках.

Максимальная токовая защита данной подстанции является трехступенчатой (МТО, МТО с выдержкой времени, МТЗ с выдержкой времени). На секционном выключателе установлена АВР (автоматический ввод резерва). Данное АВР не является быстродействующим.

### **1.6. Принципы работы основных защит подстанции №1 ПАО «КуйбышевАзот»**

Максимальная токовая защита (МТЗ): срабатывание реле тока при превышении уставки на защищаемом участке цепи, после чего для обеспечения селективности с определенной выдержкой времени происходит отключение участка цепи.

МТЗ устанавливаются в начале линии, со стороны источника питания или трансформатора питающей подстанции.

Зона действия МТЗ находится между источником питания (трансформаторная подстанция или генератор) и потребителем (ТП или другим оборудованием). Причем она устанавливается со стороны источника, а не потребителя. Зоны действия ступеней МТЗ обычно перекрывают друг друга.

Выдержка времени срабатывания защиты устанавливается таким образом, что первая ступень (на питающей подстанции) срабатывает с самой большой выдержкой времени, а каждая последующая быстрее предыдущей.

Разница выдержки времени срабатывания на ближайшей к источнику питания от следующей после нее - ступень селективности.

Обеспечение селективности необходимо для бесперебойного электроснабжения. При её обеспечении отключаемый участок уменьшается на участке между коммутационными аппаратами, ближайшими к месту повреждения.

Автоматический ввод резерва: любые современные и многофункциональные системы электроснабжения не всегда соответствуют необходимому уровню надежности. При возникновении аварии, без питания могут остаться потребители, перерывы в электроснабжении для которых приводят к финансовым потерям. С этой целью рекомендуется для бытовой и промышленной отрасли устанавливать два источника электроэнергии.

Такая система называется АВР (автоматическое включение резерва). Основное назначение - в случае отключения основного источника энергии, а в автоматически включается резервный источник питания.

При пропадании напряжения, контакторы замыкаются и выдают сигнал на контроллер. От контроллера поступают все дальнейшие сигналы, после чего происходит автоматическое переключение на питание генератора. Когда работа основной системы восстановлена, контроллер осуществляет обратное переключение.

В зависимости от вида резервного источника, резервное питание и его автоматический ввод осуществляется от аккумуляторной батареи, генератора или отдельной линии.

Все системы АВР в зависимости от своего функционального потенциала подразделяются на:

1. Односторонние. Один ввод или секция является рабочей (основной), а вторая резервной. Если возникает авария или неполадка и исчезает напряжение, происходит включение резерва.

2. Двухсторонние. В этом случае имеется две секции с отдельным питанием от сети и обе являются рабочими. При исчезновении на одной из них питания, вторая секция используется как резервная.

В зависимости от типа АВР бывает с восстановлением питания по стандартной схеме либо без него. Вторым вариантом отличается тем, что происходит полное погашение нерабочей секции и даже после полного

восстановления система уже не сможет работать как прежде.

Основные требования, предъявляемые к системам АВР:

- Надежность включения.
- Срабатывание только в случае если на резервном вводе есть питание.
- Быстродействие.
- Однократность срабатывания.

Подача электроэнергии только в случае если на аварийном участке нет короткого замыкания. Устройство АВР обязательно должно иметь блокировку при КЗ.

Должна быть предусмотрена возможность индивидуальной настройки порога активации резервного электроснабжения. Например, чтобы устройство не срабатывало при просадках уровня напряжения в момент пуска мощных электродвигателей.

Для решения сложных задач используются логические системы, подающие сигнал на включение резервного источника питания только при условии соблюдения всех условий. В некоторых случаях для повышенной надежности могут быть использованы механические блокировки.

Для работы автоматического ввода резерва при номинальном напряжении превышает 1кВ, необходимо наличие трансформатора напряжения. На вторичной обмотке в нормальном режиме работы должно быть 100 вольт. Для монтажа таких установок применяется реле минимального напряжения. Такое реле оперативно реагирует не только на понижение величины сетевого напряжения, но и на исчезновение какой-либо из фаз.

Для обеспечения безопасности электроустановок и оборудования внедряются различные защиты, одной из которых является дифференциальная защита. Характерной особенностью этой защиты является быстрота действия и абсолютная селективность. Данный вид защит обеспечивает надежную защиту трансформаторов и генераторов,

электродвигателей, сборных шин, линий электропередач. Главной задачей дифференциальной защиты является предупреждение и ликвидация межфазных и коротких замыканий в электроустановках и системах с глухозаземленной нейтралью.

Принцип действия. Работа дифференциальной защиты основана на сравнении токов в фазах, протекающих через начало и конец защищаемого участка. Ток измеряется на концах защищаемого участка с применением двух трансформаторов тока, токовые реле подключаются ко вторичным обмоткам. Вследствие вышесказанного, на обмотку реле приходит разница токов от каждого из трансформаторов.

В нормальном режиме работы происходит вычитание одного значения тока из другого. Когда на защищаемом участке возникает короткое замыкание, то на обмотку реле поступает уже не разница, а сумма токов. При протекании данных токов контакты реле замыкаются, и подают сигнал на отключение поврежденного участка.

В реальных схемах ток в обмотке реле никогда не равен нулю. Этот ток называется током небаланса, его наличие зависит от ряда факторов. Во-первых, оба трансформатора не одинаковы и отличаются техническими характеристиками. Для снижения влияния этого фактора трансформаторы тока для дифференциальной защиты изготавливают попарно, с подгонкой между собой на стадии изготовления. В качестве дополнительной меры у измерительного трансформатора изменяют количество витков, подгоняемое под коэффициент трансформации защищаемого устройства. Другой причиной появления тока небаланса является намагничивающий ток в обмотках защищаемого трансформатора. При нормальном рабочем режиме значение этого тока составляет 5% от номинала. Ток намагничивания в некоторых случаях в несколько раз превышает номинального тока, особенно во время переключения трансформатора с холостого хода на нагрузку и при других переходных процессах.

Учитывая это, ток срабатывания реле устанавливается выше максимального значения тока намагничивания. Ток небаланса иногда возникает вследствие неодинакового соединения обмоток, установленных на первичной и вторичной сторонах защищаемого трансформаторного устройства. В таких случаях вектор тока вторичной цепи смещается по отношению к току первичной цепи на 30 градусов. Данная проблема решается соединением обмоток: на стороне треугольника – звездой, а на стороне звезды – треугольником. Современные микропроцессорные устройства дифференциальной защиты способны самостоятельно учитывать эту разницу.

Одной из разновидностей дифференциальной защиты является продольная дифференциальная защита, обязательно устанавливается на трансформаторы мощностью 6300 кВА и выше. Основной функцией этой защиты является предотвращение аварий и выхода из строя оборудования, причиной которых могут стать многофазные замыкания на выводах и внутри обмоток.

Продольный вид защиты устанавливается также на параллельно работающих трансформаторах при мощности каждого из них 4000 кВА и более. Трансформаторы с мощностью не более 1000 кВА, также оборудуются защитой, при отсутствии газовой защиты. При этом, у МТЗ увеличивается выдержка времени, а у токовой отсечки снижена степень чувствительности. Аварийное отключение трансформатора с помощью дифференциальной продольной защиты осуществляется практически мгновенно.

Поперечная дифференциальная защита. Поперечная защита работает аналогично продольной, по принципу сравнения значений токов. Но в отличие от продольной защиты, трансформаторы тока устанавливаются не на концах защищаемого участка, а на отдельных линиях, подключенных к одному источнику питания.



При внешнем КЗ поперечная дифференциальная защита не реагирует на него, т.к. разница значений сил токов на этих линиях будет нулевой. Если же КЗ происходит на одной из защищаемых линий, тогда разница токов имеет определенное значение, на которое реагирует защиты. Такая система выполняется на воздушных линиях электропередач. При возникновении аварии происходит отключение только поврежденной линии. Конструктивно система включает в себя токовое реле как пусковой элемент, который включается аналогично продольной защите на разницу токов в защищаемых линиях, а также согласно напряжению шин на подстанции.

Оперативный ток подается на реле защиты путем последовательного соединения вспомогательных контактов, установленных на защищаемых линиях. Благодаря этому защита автоматически выводится из действия при отключении какой-либо из линий. В результате, исключается не селективное действие защиты в случае внешнего короткого замыкания.

Величины токов замыканий на землю устанавливаются в зависимости от режима работы нейтрали. Сети с изолированной нейтралью имеют установившиеся значения токов в месте повреждения при однофазных КЗ не более нескольких десятков ампер. При заземлении нейтрали через дугогасящий реактор, ток замыкания на землю при определенной настройке реактора значительно уменьшается. Продолжительная работа сети с замыканием одной из фаз на землю недопустима вследствие возможного нарушения междуфазной изоляции в месте повреждения и перехода однофазного замыкания в многофазное. Имеют место случаи двойных замыканий на землю из-за повышения в  $\sqrt{3}$  раз напряжений неповрежденных фаз относительно земли. Из-за этого в протяженных сетях сложной конфигурации при сложностях в определении поврежденного участка, вместе с общей неселективной сигнализацией нужно предусматривать селективную защиту на каждом из присоединений. Чаще всего это токовая защита.

Когда ток протекает по сети, ее элементы нагреваются. Это рабочая температура, которая позволяет работать длительное время в обычном режиме. Величина тока, вызывающая срабатывание защиты, называется уставкой. Это значение обеспечивает отключение цепи до того, как начнется разрушение системы. Токовую отсечку реализуют различными способами. Чаще всего это использование электромагнитных реле.

### **1.7 Выводы по разделу:**

1. Проведен анализ действующей системы релейной защиты на подстанции №1 ПАО «КуйбышевАзот».

2. Анализ показал, что имеющаяся система релейной защиты морально устарела и требует срочной модернизации. Это будет осуществлено путем замены электромеханических реле на микропроцессорные блоки релейной защиты.

## **2 Разработка технических решений для модернизации релейной защиты подстанции №1 ПАО «КуйбышевАзот»**

### **2.1 Выбор микропроцессорных блоков релейной защиты**

Развитие технического прогресса не стоит на месте. В современном мире всевозможных технологий и компьютеров электроника всё глубже проникает в различные сферы существования людей. В техническом плане реализация вышесказанного состоит в многочисленной компьютеризации и автоматизации различных технологических процессов и производств.

Компьютерная и микропроцессорная техника всё чаще заменяет людей, позволяя перевести контроль над технологическими процессами и параметрами в автоматизированный или автоматический режим. Одним из направлений развития микропроцессорной электроники является создание на базе различных микропроцессорных и электронных устройств всевозможных блоков релейной защиты и автоматики. Такие блоки позволяют значительно упрощать процесс контроля и управления системами электроснабжения (СЭС) и их элементов.

Бурное развитие технического прогресса дает все шансы на вытеснение систем на базе электромеханических реле. Причиной наличия этих шансов являются микропроцессорные блоки релейной защиты, относительно недавно внедренных в системы электроснабжения, но ставших практически и технически выгодными. Микропроцессорные блоки релейной защиты значительно надежнее, чем системы электромеханических реле. Они позволяют создавать устройство с колоссальным потенциалом и возможностями, например, функция памяти, позволяющая вести непрерывную запись всех событий, происходящих в системе.

Микропроцессорные блоки в современных СЭС выпускаются самых различных моделей и модификаций. В зависимости от требуемых функций контроля и(или) учета каких-либо параметров, микропроцессорные блоки

могут включать в себя устройства для приема сигналов от самых разнообразных видов релейной защиты. Такие блоки могут быть установлены в ячейках КРУ (комлектных распределительных устройств), в ячейках ЗРУ (закрытых распределительных устройств), либо на ГЩУ (главных щитах управления или местах установки комплектов защит основного силового оборудования станций и подстанций). Установка микропроцессорных блоков релейной защиты значительно упрощает контроль за параметрами основного силового оборудования понизительных подстанций, а также за параметрами потребителей, за которые отвечают ячейки.

В современных электроэнергетических системах существует и находит применение множество видов микропроцессорных устройств релейной защиты и автоматики. Комплекты этих устройств могут включать функциональные блоки для приема сигналов от таких видов защит, как: диф. защита, МТЗ, ТЗНП, и т.д.

Все микропроцессорные блоки релейной защиты работают в режиме самописцев, т.е. имеют записывающее устройство, в памяти которого находятся все события, происходящие с элементом системы, для которого установлен этот блок. При установке микропроцессорных блоков существует важная особенность, заключающаяся в отказе от необходимости наличия большого количества контролирующих органов.

Также особенностью при установке микропроцессорных блоков релейной защиты является то, что для таких схем необходим один или несколько аналогово-цифровых преобразователей (АЦП), которые устанавливаются в цепи между блоком и токовыми цепями и цепями напряжения.

Также микропроцессорные блоки релейной защиты позволяют просматривать осциллограммы переходных процессов, упрощая анализ произошедшего. В функциях микропроцессорных блоков также имеются:

функция определения расстояния до повреждения, функция изменения и введения соответствующих уставок защит, и т.д. Одной из основных особенностей и, как показывает практика, преимуществ микропроцессорных блоков релейной защиты является возможность сборки на их базе всех видов защит, а также возможность компоновки блоков с разными типами защит.

К недостаткам микропроцессорных блоков следует отнести возможность сбоев в работе при различного рода электромагнитных возмущениях, чувствительность к механическому воздействию с последующими нарушениями в работе функциональных блоков внутри микропроцессорного устройства, большое варьирование цен в зависимости от комплектации, марки, типа и т.д. Также при установке микропроцессорных блоков значительно сокращается количество открытых токовых цепей и цепей напряжения, что способствует повышению безопасности рабочего персонала.

Для установки на стороне ВН (высшего напряжения) выбираем микропроцессорные блоки релейной защиты серии ЭКРА.

Данное устройство предназначено для выполнения функций защит на стороне НН шин с напряжением 6-35 кВ, а также МТЗ (максимальной токовой защиты) и АВР (автоматического ввода резерва), установленных на секционном разъединителе.

При замене систем электромеханических реле микропроцессорной техники возможно также создание диспетчерских пунктов, через которые можно отслеживать все изменения в энерго- и электросистемах, позволяя дистанционно, а главное быстро и с минимальными потерями реагировать на сигналы тех или иных видов защит и устранять возникшие повреждения. Цифровая электроника намного проще и в некоторых случаях даже дешевле, чем устаревшие системы электромеханических реле, а, следовательно, экономическая целесообразность подобного рода проектов довольно очевидна, и их развитие, и внедрение - это лишь вопрос времени.

Испытания подобных систем с микропроцессорными блоками намного проще, нежели электромеханических реле, т.к. для таких испытаний нет необходимости наличия испытательного стенда, нет опасности ложного срабатывания испытуемой или смежной защиты, отсутствует работа с открытыми токоведущими частями. Всё это способствует оптимизации технологического процесса и защите персонала от попадания под напряжение.

В распределительных сетях классом напряжения 6-35 кВ защита и автоматика оборудования, выполненная на базе терминалов серии ЭКРА-200 обеспечивает:

- защиту шинопроводов;
- защиту кабельных и воздушных линий;
- защиту секционного выключателя;
- защиту рабочих и резервных вводов;
- контроль трансформатора напряжения секции;
- автоматическую регулировку коэффициента трансформации;
- защиту асинхронного и синхронного электродвигателей;
- дифференциальную защиту электродвигателя;
- дистанционную защиту линии;
- автоматику частотной разгрузки и ограничения снижения напряжения.

Термическая стойкость входных цепей переменного тока:

- $2 I_{\text{ном}}$  при длительном токовом воздействии;
- $40 I_{\text{ном}}$  при токовом воздействии в течение 1 с.

Способны длительно выдерживать перенапряжения входные цепи переменного напряжения:

- $1,8 U_{\text{ном}}$  – цепи напряжения «разомкнутого треугольника»;
- $1,5 U_{\text{ном}}$  – остальные цепи напряжения.

Терминал выдерживает без повреждений длительное воздействие напряжения оперативного тока  $1,15 U_{\text{пит. ном.}}$

Терминал имеет ряд дополнительных функций:  
контроль текущих значений тока, напряжения и частоты;  
наличие внутреннего аварийного осциллографа;  
наличие внутреннего регистратора событий;  
продвинутая система диагностики;  
возможность внедрения в локальную сеть и АСУ ТП.

## **2.2 Анализ микропроцессорных блоков релейной защиты серии ЭКРА 200 и возможностей эксплуатации**

Блок ЭКРА 200 служит для осуществления функций релейной защиты, автоматики, управления и сигнализации вводов и присоединений классом напряжением от 3 до 35 кВ.

Данный блок устанавливается в релейных шкафах КРУ, КРУН и КСО, на панелях, в релейных залах и пультах управления электростанций и подстанций с напряжением НН 3–35 кВ. Данное устройство выполняет функции защиты вводов шин подстанций, различных распределительных пунктов и т.д.

Блок ЭКРА-200 способен обеспечить различные возможности при эксплуатации, например: осуществление функций защит, автоматики и управления; создание внутренней конфигурации релейной защиты; ввод и хранение уставок; контроль и индикация положения выключателя, обнаружение разновидностей повреждения, фиксация и отправка параметров аварии, непрерывный контроль работоспособности (самодиагностика) на протяжении всего времени работы, закрытие любых выходов при возникновении повреждений внутри блока с целью исключить ложные срабатывания, прием и передача дискретных сигналов управления и блокировок, формирование и отправка команд управления аварийной и предупредительной сигнализации.

Центральной частью терминала является блок логики. Блок логики содержит центральный процессор DSP и коммуникационный host-процессор. Процессор DSP служит для цифровой обработки входных сигналов и получения алгоритмов защиты. Коммуникационный host-процессор, используя последовательные интерфейсы RS-485-1, RS-485-2, Ethernet, USB обеспечивает взаимообмен информацией с другими цифровыми устройствами: персональным компьютером, контроллерами АСУ ТП и т. д.

Особая легкосъёмная электронная память (карта памяти) применяется с целью записи аналоговой и дискретной информации. Эти данные сохраняются даже в случае пропадания напряжения питания. Работа терминала осуществляется согласно программе, прописанной в ПЗУ блока логики.

Терминалы микропроцессорные серии ЭКРА 200 предназначены для измерений напряжения и силы переменного и постоянного тока, частоты, активной, реактивной и полной мощностей, активной и реактивной электрической энергии, регистрации событий, осциллографирования процессов, формирования универсальных выходных сигналов, выдачи управляющих сигналов на органы воздействия.

Терминалы серии ЭКРА 200 предназначены для:

- защиты силового и коммутационного оборудования станций и подстанций, управления и автоматизации процессами;
- создания системы местной и дистанционной противоаварийной автоматики станций и подстанций, а также для применения в качестве устройств управления аварийными ситуациями в энергоузлах;
- установки на электрических станциях и подстанциях с целью приема аналоговых и логических сигналов при переходных процессах, имеющих место при нормальных режимах в энергосистеме;



– управления выключателем и коммутационными аппаратами ячеек, организации оперативных блокировок, сбора и обработки информации с различными типами сигналов.

### **2.3 Состав блоков**

Блокизащиты, автоматики, управления и сигнализации ввода служат для выполнения функций трехступенчатой МТЗ от междуфазных повреждений, ЗНР, ЗДЗ, ЛЗШ, УРОВ, АПВ выключателя, АВР.

Терминалы также могут выполнять функции органа направления мощности МТЗ, органа пуска МТЗ по напряжению, органа напряжения обратной последовательности, ОЗЗ по напряжению нулевой последовательности  $3U_0$ , защиты минимального напряжения ЗМН.

Терминал обеспечивает:

- функции защиты и автоматики и управления в соответствие с программируемой конфигурации терминала;
- работу всех функций защиты или автоматики на все выходные цепи;
- управление необходимыми контактами выходных реле;
- выдержку времени при воздействии на выходные цепи;
- прием определенного числа входных аналоговых и дискретных сигналов;
- запись на осциллографе любых аварийных процессов с фиксацией параметров предаварийного режима, отправка осциллограмм и событий с указанием времени по цифровым каналам связи;
- постоянную регистрацию событий;
- измерение электрических параметров цепей переменного и постоянного тока;
- отображение текущих величин;

- местную сигнализацию с помощью светодиодов и/или цифровой дисплей с целью визуального отображения данных о работе терминала;
- сигнализацию о неисправностях;
- самодиагностику;
- использование каналов связи и(или) клавиатуры для управления, настройки и контроля функций терминала;
- защиту от несанкционированного вмешательства пользователя путем защиты паролем;
- связь с внешними устройствами через канал связи».

Терминал работоспособен при отклонении действующей частоты  $f_{ном}$  базовой гармоники входных сигналов тока и напряжения в пределах от 45 до 55 Гц. В данном диапазоне функции защит полностью работоспособны.

Терминал измерения производит измерение параметров сети переменного тока:

- действующее значение фазного ( $U_A, U_B, U_C$ ) и линейного ( $U_{AB}, U_{BC}, U_{CA}$ ) напряжений;
- действующее значение фазного тока ( $I_A, I_B, I_C$ );
- активная ( $P$ ), реактивная ( $Q$ ) и полная ( $S$ ) мощности;
- частота сети ( $f$ ).

МТЗ имеет в составе три ступени: первая и вторая – с независимой времятоковой характеристикой, третья – с зависимой или независимой времятоковой характеристикой.

Блок «Защита от однофазных замыканий на землю» реализован в блоке путем платы, контролирующей напряжение нулевой последовательности  $U_0$ .

Защита минимального напряжения реагирует на снижение одновременно трех линейных напряжений  $U_{AB}, U_{BC}, U_{CA}$  ниже заданной уставки на определенном интервале времени.

Устройство резервирования отказа выключателя (УРОВ) отключает два смежных выключателя при срабатывании любых защит блока или внешних защит, а также отказе выключателя.

Автоматическое включение резерва (АВР) включает секционный выключатель (или выключатель резерва) при отключении вводного выключателя и наличия напряжения на резервном вводе;

Имеется возможность запрета АВР через сигналы внешнего и командного отключения, при выдаче команды на отключение от внутренних и внешних токовых защит, УРОВ.

Автоматическое повторное включение выключателя (АПВ) необходимо для однократного автоматического повторного включения выключателя. У АПВ есть возможность блокировки при отключении участка цепи от внутренних и внешних токовых защит, а также при срабатывании УРОВ, ЗДЗ и внешних сигналов.

Внедрение блоков серии ЭКРА 200 в систему SCADA происходит следующими способами:

- непосредственное внедрение блоков с использованием протоколов Modbus/RTU, и стандарта ГОСТ Р МЭК 60870-5-103-2016 во время подключения к интерфейсу RS485, с использованием протокола Modbus TCP/IP и по стандартам ГОСТ Р МЭК 60870-5-104-2017, IEC 61850-8-1 (2017), во время связи через Ethernet;

- с использованием программы OPC-сервер, при этом происходит работа с терминалами ЭКРА 200 по технологии OPC.

В данных терминалах имеется возможность связи с внешними устройствами по отдельным, гальванически развязанным каналам.

Интерфейсы поддерживают терминалы RS485 и Ethernet. Есть также возможность создания связи по порту RS232 с использованием внешнего преобразователя.

Терминал осуществляет поддержку следующих протоколов и стандартов: Modbus/RTU, Modbus TCP/IP, SNTP, PTP, IEC 61850-9-2LE, ГОСТ Р МЭК 60870-5-103-2016, ГОСТ Р МЭК 60870-5-104-2017, IEC 61850-8-1(2017), PRP, RSTP, Link Backup. В зависимости от типоразмера терминала имеется необходимый перечень поддерживаемых протоколов и стандартов.

Настройка протоколов передачи данных МЭК 60870-5-103 и МЭК 60870-5-104 производится согласно инструкции ЭКРА.650321.024 И. Настройки протоколов МЭК 61850 производится согласно инструкции ЭКРА.650321.030 И. Порядок опробования сигналов в АСУ ТП находится в инструкции ЭКРА.650321.018 И. Образование списка сигналов, которые могут быть переданы и приняты через протоколы связи, рассмотрены в инструкции ЭКРА.650321.019 И. Порядок регулировки резерва для сети Ethernet рассмотрена в инструкции ЭКРА.650321.028 И.

Терминал ЭКРА-200 при различных исполнениях имеет возможность взаимодействия с протоколами Modbus/RTU и Modbus TCP/IP в режимах «сервер» и «клиент».

Разновидность типа интерфейса и протокола обмена варьируется в зависимости от заказа на блок.

Поддержка программой синхронизации времени внутренних часов обеспечивается согласно выбранному типу интерфейса и протокола обмена данными.

## **2.4 Программное обеспечение**

Программное обеспечение (ПО) терминала в любом терминале включает в себя такие виды ПО, как:

- базовое (операционное), в обязательном порядке имеющееся в комплекте терминала и реализующее базовые задачи;

– прикладное, служащее для определения алгоритмов пользователя и параметров настройки под объект, имеющееся в комплекте поставки при требовании заказчика.

С целью загрузки и настройки прикладного ПО, и проверки работы терминала, имеется инструментальное ПО, идущее в комплекте поставки с терминалом.

Базовое и инструментальное ПО имеют возможность обновления. Постоянный самоконтроль, контроль правильности входной информации, а также выполнение процедур контроля технических средств обеспечивается благодаря базовому ПО.

Внутреннее ПО служит для обеспечения таких базовых функций терминала, как:

- релейная защита и/или автоматика;
- управление выключателями присоединения;
- аварийный осциллограф;
- регистратор событий;
- расчет времени износа выключателя;
- обеспечение каналов связи с верхним уровнем;
- интерфейс для работы с обслуживающим персоналом.

В терминале присутствует встроенная логическая часть, которую определяет пользователь. Она образует функции релейной защиты согласно с функции терминала и требованиями заказчика. Терминал может выполнять функции защиты и управления в случае, если отсутствует связь с вышестоящим уровнем.

Во всех исполнениях терминала есть постоянно присутствующие программные части:

- комплексы для задания уставок и параметров и их последующего сохранения;
- комплексы для обеспечения связи с вышестоящими устройствами;

- регистратор событий;
- аварийный осциллограф, имеющий функцию выбора для параллельной цифровой регистрации любых аналоговых и до 512 логических сигналов. Осциллограммы при авариях записываются в автоматическом режиме при срабатывании пускового органа. Использование энергонезависимой памяти (карты памяти) и базы данных событий дает сохранение уставок и параметров терминала даже если исчезает оперативного напряжения.

Встроенное ПО реализовано аппаратно. Оно заносится в программируемое постоянное запоминающее устройство (ППЗУ) приборов предприятием изготовителем и не доступно для пользователя. Метрологические характеристики терминалов нормированы с учетом влияния ПО.

Терминалы могут быть встроены в локальную информационную сеть. Внешнее программное обеспечение в комплекте поставки (комплекс программ «EKRASMS-SP») дает возможность мониторинга любых входных сигналов, образование базы данных регистратора событий и аварийных осциллограмм, корректировка уставок, синхронизация времени любых терминалов сети.

Комплекс программ «EKRASMS-SP» состоит из:

- программа «Сервер связи»;
- программа мониторинга «АРМ-релейщика»
- программу просмотра событий.

Терминалы имеют возможность внедряться в различные локальные информационные сети. Инструментальное ПО (комплекс программ EKRASMS-SP) в комплекте поставки дает возможность контролировать любые входные сигналы, образовывать базу данных регистратора событий и аварийных осциллограмм, варьировать значения уставок, наличие возможности синхронизации времени всех терминалов сети. Комплекс

программ EKRASMS-SP состоит из различных приложений: программа Сервер связи, программа мониторинга АРМ-релейщика, программа просмотра событий RecViewer и т.д. База комплекса программ «клиент – сервер» позволяет получить доступ к внутренним базам данных терминалов с какого-либо компьютера в локальной сети. С помощью протокола Modbus TCP/IP происходит обмен информацией между приложениями.

Сервер связи связывает информационную сеть блоков с локальной сетью предприятия, обеспечивает временную синхронизацию всех имеющихся устройств по своим часам, кроме того данный сервер автоматически считывает события, регистрируемые устройством.

Программа АРМ-релейщика дает возможность увидеть текущие величины токов и напряжений, просмотреть дискретные сигналы, изменять (с помощью пароля) уставки и параметры блоков защит, а также копировать и удалять аварийные осциллограммы.

Программа RecViewer дает возможность анализировать аварийные ситуации, возникающие в энергосистеме, используя осциллограммы аварийных режимов, а также определять уставки органов релейной защиты блоков в момент аварии. Точность синхронизации текущего времени в осциллограммах аварийных режимов с событиями, им предшествовавшими, которые взяты из архива для этой же аварии, происходит с точностью до 0,001 с. Во время анализа, обработки и расшифровки зарегистрированной записи происходит обязательная фиксация даты и времени (астрономическое время), точность которой не более 0,001 с, осуществляемая для любых параметров записи; фиксируются значения параметров в любой момент времени; возможно изменение масштаба любого параметра по ординате и всей осциллограммы по времени.

В блоке может находится два оптических или электрических порта с целью обмена данными с оперативно-диспетчерским персоналом с помощью протоколов связи МЭК 60870-5-103, или МЭК 61850.

В терминале есть встроенная, устанавливаемая производителем логическая часть. Эта часть бывает «жесткой» или свободно программируемой, согласно функциям, выполняемым терминалом, а также в соответствии с ИЕС 61131-3 (2015). В терминале помимо этого присутствует «гибкая» логическая часть, которая может изменяться пользователем.

Программное обеспечение терминала подвергается процедуре верификации и валидации в соответствии с требованиями:

– ГОСТ Р МЭК 62138-2016 и ГОСТ Р МЭК 60880-2016.

Меню Синхронизация состоит из:

- включение/выключение синхронизации через РТР;
- ошибок конфигурации блока резервирования Ethernet;
- времени синхронизации;
- числа запросов синхронизации; - числа повторных запросов;

Меню «Тесты» предназначено для проверки работоспособности компонентов системы и имеет подменю:

- Тест блоков;
- Автотестирование;
- Тест клавиатуры. Для входа в подменю, необходимо ввести набор символов, являющийся паролем доступа, и нажать «Enter». Затем терминал переходит в режим «ТЕСТ». По умолчанию паролем доступа является набор символов «0100».

В подменю тест индикации имеется возможность включать или выключать светодиоды на лицевой панели блока с целью визуального контроля свечения светодиодов. Во время нажатия комбинации «F+1» на дисплее высвечивается подсказка. Во время нажатия комбинации кнопок «F+2» на дисплее происходит повторяющийся тест светодиодов в таком порядке: – красный цвет; – зеленый цвет. Во время нажатия сочетания кнопок «F+3» на дисплее циклично осуществляется тест светодиодов в таком порядке:



- отдельные светодиоды;
- столбцы А – G светодиодов.

Кнопка «Enter» дает возможность включения («+») и отключения («-») светодиодов. Выход из меню «Тест индикации» сопровождается автоматическим возвратом в исходное меню.

В подменю текст реле есть возможность выдачи тестовых воздействий на определенные реле, т. е., имеется возможность проверить наличие сигнала на протяжении всей цепи связи, начиная от терминала и заканчивая местом контроля. Во время нажатия комбинации «F+1» на дисплее высвечивается подсказка. Во время нажатия комбинации кнопок «F+2» на дисплее происходит повторяющийся тест светодиодов в таком порядке: – красный цвет; – зеленый цвет. Во время нажатия сочетания кнопок «F+3» на дисплее циклично осуществляется тест светодиодов в таком порядке:

- отдельные реле
- блоки реле

Кнопка «Enter» дает возможность включения («+») и отключения («-») реле и блоков реле. Выход из меню «Тест реле» сопровождается автоматическим возвратом в исходное меню.

Тест GOOSE дает возможность подачи тестовых GOOSE сообщений с целью проверить, проходят ли GOOSE сообщения по сети Ethernet от терминала до места контроля. Комбинация кнопок «F+3» позволяет осуществить выбор режима отправки GOOSE сообщений: по одному либо все сразу. Нажатие кнопки «Enter» приводит к отправке GOOSE сообщения согласно выбранному режиму.

В автоматическом тестировании используется специальное программное обеспечение (программа TestSuite). Установка «включен» в названии пункта показывает установленный режим. Чтобы выйти из режима, нужно найти и выбрать указанный пункт меню, нажать «Enter», после этого в названии пункта появится «отключен».

Тест клавиатуры служит для автоматического тестирования клавиатуры блока.

В меню «Мнемосхема» находится какая-либо часть главной схемы с защищаемыми объектами, выключатели и разъединители, параметры текущих величин для защищаемого объекта или присоединения, индикаторы состояния. В мнемосхеме могут находиться компоненты, дающие возможность действия на состояние элементом, находящимся под управлением (выключатели, разъединители, программные кнопки и т.д.). Вход в режим управления требует право доступа. В окне «Мнемосхема» есть индикация состояния объектов при выключенном и при включенном режиме управления. При включенном режиме управления в строке статуса отображается логин авторизовавшегося пользователя. Если имеется функция оперативной блокировки управления, то с целью индикации состояния сигнала допуска для манипуляций с коммутационным оборудованием используется знак «замка». "Замок" – управление заблокировано, отсутствие знака – управление разрешено.

Режим восстановления ПО. Этот режим необходим с целью возврата программного обеспечения в рабочее состояние. Данный режима позволяет:

- осуществлять возврат на предыдущую версию ПО;
- обновлять ПО;
- просматривать информацию файлов ПО (предыдущее, текущее и заводское ПО) и конфигурации (заводская, предыдущая и текущая);
- визуализировать параметры связи;
- осуществлять системный сброс.

Меню Измерения АЦП служит с целью просмотра напряжения каналов АЦП датчика. Его назначение: контроль и ручная настройка аналоговых входов. Параметры каналов АЦП показываются в ненастроенном виде. Каждый датчик может показывать 26 каналов АЦП и два дополнительных канала. Они показывают напряжение источников питания +12 В и -12 В.

Карта памяти предназначена для служебного пользования. К примеру, в данном меню, есть возможность проверки собираемых по протоколам Modbus/RTU и Modbus TCP/IP значений регистров, когда используются защитные функции.

Меню «Сброс ресурса КА» служит с целью сброса расчета ресурса коммутационных аппаратов блока, не записывая уставки.

## **2.5 Возможные неисправности и способы их устранения**

Неисправности, которые возникают во время включения, а также в процессе работы блока, идентифицируются постоянно работающей системой самодиагностики.

Система самодиагностики обнаруживает неполадки, а также устанавливает их тип, разделяя на: аварийные или предупредительные.

Предупредительная неисправность (неполадка) характеризует нарушение работы сервисных функций (портов связи, дисплея, цепи синхронизации). Нарушение работы терминала не происходит, т.е. часть, отвечающая за релейную защиту, остается работоспособной. Предупредительная неисправность характеризуется свечением светодиода «Диагностика» на панели светодиодов терминала.

Аварийная неисправность (аппаратная или программная) в свою очередь, нуждается в немедленном устранении, т.к. она приводит к нарушению работы терминала. Аварийная неисправность характеризуется свечением светодиода «Неисправность» и отсутствием свечения светодиода «Работа» на панели светодиодов терминала.

Все неисправности в зависимости от их типа (аварийная или предупредительная), записывает регистратор событий, и помимо этого, внутренние файлы диагностики также хранят информацию о них.

При возникновении любых неполадок нужно произвести следующие действия:

1) перевести блок в положение «Вывод»;

2) записать положение светодиодной индикации (фотография или запись в бланке срабатывания). Форма для бланка срабатывания имеется в комплекте.

3) создать файл для изготовителя, для этого необходимо подключиться к блоку с помощью программы АРМ-релейщика, найти нужный терминал из списка, в главном меню нажать «Устройство/Сформировать файл для отправки»;

4) найти причину неполадки, используя дисплей терминала и, если есть возможность, устранить ее. Определить неисправный блок можно с помощью перехода в основное меню: «Диагностика» - «Состояние блоков». Просмотр неполадок блока логики осуществляется следующим образом: «Enter» – Показать ошибки контроллера.

5) выполнить сброс светодиодной индикации. Для этого необходимо нажать кнопку «Съем сигнализации» на лицевой панели шкафа или комбинацию кнопок «F+0» терминала.

Пожаробезопасность блока обеспечивается согласно ГОСТ 12.1.004-91 и гарантирует безопасное обслуживание согласно ГОСТ Р 51321.1-2007 (МЭК 60439-1-2017) и СТБ МЭК 60439-1-2017.

Электробезопасность блока удовлетворяет стандартам ГОСТ 12.1.030-2016, ГОСТ 12.2.007.0-2017.

По способу защиты человека от поражения электрическим током блок имеет класс 0I согласно ГОСТ 12.2.007.0-2017.

В блоке есть защитная оболочка от соприкосновения с токоведущими частями.

Во время использования и испытаниях блока нужно соблюдать «Правила по охране труда при эксплуатации электроустановок».

## 2.6 Проверка работоспособности терминала

Данный подраздел содержит сведения, требуемые для проверок работоспособности блока. При эксплуатации перечень и порядок проверок может быть изменен. Любые манипуляции с разъемами блоков и кассет необходимо осуществлять, предварительно их обесточив. Настройка и проверка терминала производится при номинальных входных значениях тока и напряжения, если имеется номинальное напряжение питания.

Для того, чтобы заменить какой-либо блок терминала, необходимо воспользоваться соответствующей инструкцией.

Проверка сопротивления изоляции. Данную проверку следует производить в следующем порядке: – снять напряжение с любых источников, подключенных к блоку (шкафу), отсоединить все монтажные провода; – осуществить сборку схемы на разъемах блоков группы независимых цепей согласно требованиям, указанных в РЭ на данное типополнение блока (шкафа). Замер сопротивления изоляции производится мегомметром при величине испытательного напряжения 500 В. Сперва измеряется сопротивление изоляции по отношению к корпусу всех цепей. Удовлетворительные показатели величины сопротивления изоляции: не менее 100 МОм, при условиях: температура  $(25 \pm 5)$  °С и относительная влажность воздуха не более 80 %.

Проверка электрической прочности изоляции для независимых цепей относительно корпуса и между собой осуществляется напряжением 1700 В переменного тока частотой 50 Гц в течение 1 мин. Во время испытаний должна сохраняться целостность изоляции. По прошествии проверки изоляции любые временные перемычки следует убрать, а также восстановить внешний монтаж.

Проверка терминала происходит согласно методике ЭКРА.650321.001 МП «Терминалы микропроцессорные серии ЭКРА 200». Интервал проверок – каждые 6 лет.

Терминал, применяемый в отраслях с государственным регулированием обеспечения единства измерений, должен быть поверен органами Государственной метрологической службы или аккредитованными метрологическими службами юридических лиц согласно методике поверки.

Если результат поверки положителен, то на корпус терминала наклеивается специальная наклейка (поверительное клеймо), а в паспорте терминала делается запись о том, что данный блок пригоден к использованию и происходит выдача свидетельства о поверке.

Терминал, применяемый не в сфере государственного регулирования обеспечения единства измерений, для подтверждения действительных значений метрологических характеристик и (или) пригодности к применению, калибруется согласно соответствующей методике. Допустимый интервал между калибровками - 6 лет.

Микропроцессорные (МП) блоки релейной защиты стабильно работают, используя те же принципы быстрогодействия, избирательности, чувствительности и надежности, что и обыкновенные электромеханические реле.

МП блоки обладают очень полезной опцией, в частности показывать мнемосхему присоединения. Эта опция дает возможность контроля за положением коммутационных аппаратов и заземляющих устройств. Микропроцессорные блоки любых присоединений подстанции имеют связь с системой SCADA, которая в свою очередь показывает всю схему подстанции. В случае с блоком ЭКРА-200 система SCADA – это альтернатива для схемы-макета. Так, например, в схеме-макете любые изменения положения коммутационных аппаратов записывались вручную, а в системе SCADA производится автоматическое выполнение этих функций.

Любая нынешняя микроэлектроника весьма чувствительна к воздействию электромагнитного излучения, а сборки микропроцессорных блоков релейной защиты монтируются на подстанциях, которые работают в

повышенном уровне напряженности электрического поля, который требует надежного экранирования с условием отвода накопившихся потенциалов в землю.

У большинства подстанций сопротивления контура заземления не соответствует требованиям, указанных в методиках пользования и работы с микропроцессорными устройства релейной защиты, а это в свою очередь ведет к существенному увеличению объема строительных работ.

Если это не соблюдается, у данных защит может произойти несанкционированное срабатывание при воздействии электромагнитного поля в системе, которые в свою очередь могут быть с легкостью созданы преднамеренно. Также возможны и хакерские атаки, и взломы программного обеспечения.

Важной особенностью цифровых устройств является то, что у таких устройств относительное простой контроль за исправностью аппаратной части и программного обеспечения. Это возможно благодаря повторяющемуся режиму работы микропроцессора согласно заложенной в данное устройство программе. Отдельно взятые фрагменты данной программы производят самотестирование этого блока защиты. У разработчиков цифровой техники на данный момент имеется целый ряд готовых типовых решений, касаемо методик тестирования. В цифровых устройствах самоконтроль довольно часто осуществляется с использованием следующих приемов:

Неполадки в цикле аналого-цифрового преобразования с существенной глубиной охвата входящих в него узлов определяются с помощью периодического считывания опорного (не изменяющегося со временем) напряжения. При обнаружении микропроцессором разницы между последним и предыдущим результатом, то в этом случае формируются сигналы неисправности.

Исправность ОЗУ проверяется при помощи записи в ячейки заранее известных чисел, а также сравнения результатов, получаемых во время последующих считываний.

Рабочая программа, которая находится в ПЗУ, с определенной периодичностью рассматривается МП в виде комбинации числовых кодов. МП осуществляет их формальное суммирование, а полученный результат сравнивается с некой контрольной суммой, которая хранится в заранее определяемой ячейке.

Целостность обмоток всех выходных устройств устанавливается во время кратковременной подачи на них напряжения и последующей проверке обтекания их током.

## **2.7 Аналого-цифровой преобразователь**

Сигналы, контролируемые любыми устройства релейной защиты, отличаются друг от друга с точки зрения природы физического происхождения - ток, напряжение, температура и т.д. Чаще всего блоки защиты принимают различного вида данные от источников переменного тока и напряжения с номиналами, соответствующими общепринятым: 5 А, 100 В.

Чаще всего входные преобразователи микропроцессорных устройств РЗА изготавливают на базе самых обычных трансформаторов, имеющих ферромагнитный сердечник. Несмотря, на то, что у таких трансформаторов имеются нелинейные передаточные характеристики, есть определенные расхождения в параметрах, а также некоторая нестабильность с течением времени и при изменении температуры, эти трансформаторы могут применяться с целью построения различных микропроцессорных устройств релейной защиты, которые могут работать с погрешностью 2...5%.

У большинства защит, использующих как входные параметры токи и напряжения, эти значения, а также уставки, показываются в относительных номинальных (так называемых базисных) единицах.



Всякие физические явления и процессы можно описать с помощью аналоговых сигналов. Аналоговый сигнал постоянно изменяется с течением времени и имеет возможность принимать какие угодно значения в некотором диапазоне, который зависит от природы этой физической величины.

Дискретный (цифровой) сигнал отличается от аналогового сигнала тем, что он может принимать только конечное множество значений и может быть определен только для конкретно взятых моментов времени.

Действие перехода от аналогового сигнала к дискретному есть дискретизация, или по-другому квантование сигнала. Это действие осуществляется в АЦП. Непрерывный сигнал к дискретному переходит в любом случае с потерей некоторого количества информации. Окончательное число градаций дискретного сигнала - это есть погрешность квантования по уровню. Кроме того, имеется квантование по времени, связанное с тем, что аналого-цифровое преобразование и обязательно идущий за этим процесс вычислений в микроЭВМ составляют некоторое время, по истечении которого производится очередная выборка входного сигнала.

В релейной защите на микропроцессорах аналого-цифровое преобразование происходит с частотой выборок от 400 до 2000 Гц. Большие частоты используются, когда необходимо выделить высшие гармоники (и/или) для получения хороших осциллограмм аварийных процессов.

## **2.8 Сравнительный анализ микропроцессорных блоков релейной защиты**

Микропроцессорные блоки серии «ЭКРА» являются одними из самых распространенных и надежных устройств, устанавливаемых в релейной защите. Данные блоки имеют множество модификаций («ЭКРА-201», «ЭКРА-202», и др.), что позволяет подобрать необходимое устройство в зависимости от требований.

Блоки «ЭКРА», в отличие от аналогов («Siprotek», «Siemens», и т.д.), имеют в комплекте все необходимые виды защит, что позволяет устанавливать минимальное количество блоков без использования дополнительных устройств для отдельно взятых защит.

Среди других марок, блоки серии «ЭКРА» являются практически единственным брендом микропроцессорных блоков релейной защиты, на базе которых смонтирована дифференциальная защита трансформатора, что является весьма существенным преимуществом по сравнению с аналогами.

Блоки этой серии весьма широко распространены не только в России, но и за рубежом. Опыт их эксплуатации показывает, что данные блоки весьма надежны, не требуют больших затрат на ремонт и обслуживание. Блоки серии «ЭКРА» просты в эксплуатации, т.к. интерфейс данных блоков запрограммирован с минимальным количеством алгоритмов для выполнения тех или иных операций.

Данный факт весьма ошутимо заметен при сравнении с блоками «Siprotek» или «Siemens», где существует множество подменю и дополнительных диалоговых окон, что усложняет эксплуатацию [10].

Также у блоков серии «ЭКРА» есть одна интересная особенность – при изготовлении интерфейс этих блоков можно запрограммировать на большое количество языков, что невозможно почти у всех прочих аналогов, кроме блоков серии «БЭМП».

Блоки серии «ЭКРА» обладают большой термической и электродинамической стойкостью, что позволяет использовать их без каких-либо сопутствующих защитных аппаратов.

Для компенсации недостаточной термической и электродинамической стойкости у подобных устройств других производителей необходимо особые типы исполнения, изготавливаемые на заказ.

Данные блоки конструктивно имеют большое количество входов (около 30-40 шт.) для подключения защит и различной цифровой и

аналоговой аппаратуры по сравнению с другими блоками (около 25-35 шт). Аналоги «ЭКРА», такие как «Siprotek» или «Siemens», не всегда возможно купить полным комплектом (в некоторых случаях дополнительные компоненты необходимо заказывать отдельно).

В свою очередь блоки «ЭКРА» всегда поставляются полностью укомплектованными.

## **2.9 Выводы по разделу**

1. Проведен сравнительный анализ микропроцессорных устройств релейной защиты с целью модернизации устаревшей системы на базе электромеханических реле.

2. Для установки на щите управления выбран микропроцессорный блок релейной защиты ЭКРА-200, а также описаны его основные функции и характеристики.

### 3 Реализация и внедрение предложенных технических решений на подстанции №1 ПАО «КуйбышевАзот»

#### 3.1 Определение токов короткого замыкания

Питающая система характеризуется мощностью КЗ на шинах ГПП, на основании которой вычисляется сопротивление системы:

$$x_c = \frac{U_{номВН}^2}{S_k^{(3)}} = \frac{(6,3кВ)^2}{2500МВА} = \frac{3,969 \cdot 10^7}{2500 \cdot 10^6} = 0,016 Ом \quad (1)$$

Сопротивление ВЛ:

$$x_l = x_0 \cdot l = 0,15 Ом, \text{ т.к. нет данных о сопротивлении.}$$

Ток трехфазного КЗ при внешнем КЗ:

$$I_{кВН}^{(3)} = \frac{U_{номВН}}{\sqrt{3} \cdot x_{\Sigma}} = \frac{U_{номВН}}{\sqrt{3} \cdot (x_c + x_l)} = \frac{6300}{\sqrt{3} \cdot (0,016 + 0,15)} = 37951,8 А \quad (2)$$

$$S_{к. max}^{(3)} = 3000 МВА, S_{к. max}^{(3)} = 2000 МВА$$

$$x_{c(S_{к. max}^{(3)})} = \frac{U_{ном.ВН}^2}{S_{к. max}^{(3)}} = \frac{(6,3кВ)^2}{3000 МВА} = \frac{3,969 \cdot 10^7}{3000 \cdot 10^6} = 13,23 Ом \quad (3)$$

Вычислим минимальный ток трехфазного КЗ, который рассчитывается при наибольшем сопротивлении питающей сети  $x_{т. max}$  :

$$I_{к. min. ВН1}^{(3)} = \frac{U_{ср. вн} \cdot \left(1 + \frac{\Delta U_{рнн}}{100}\right)}{\sqrt{3} \cdot (x_{c(S_{к. max}^{(3)})} + x_l)} = \frac{6,3 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot (13,23 + 0,15)} = 271,85 А \quad (4)$$

$$I_{k.\min.BH2}^{(3)} = I_{k.\min.BH1}^{(3)} \cdot \frac{U_{cp.vh1} \cdot \left(1 + \frac{\Delta U_{pnn}}{100}\right)}{U_{вн2}} = 271,85 \cdot \frac{6,3 \cdot 10^3}{6 \cdot 10^3} = 285,45 A \quad (5)$$

### 3.2 Выбор и проверка трансформаторов тока и напряжения

Для установки на стороне ВН<sub>1</sub> и ВН<sub>2</sub> выбираем трансформатор тока ТПШЛ-10. Для установки на стороне ВН<sub>1</sub> и ВН<sub>2</sub> выбираем трансформатор напряжения НОМ-6[19].

Проверку трансформаторов тока осуществляют по:

- номинальному напряжению сети, где установлен данный ТА:  $U_c \leq U_{ном}$  ;  
 $6кВ \leq 6,3кВ$
- по току первичной обмотки ТА:

$$I_1 = \frac{S_{г.ном}}{\sqrt{3} \cdot U_{ном}} \leq I_n \quad (6)$$

$$I_1 = \frac{S_{г.ном}}{\sqrt{3} \cdot U_{ном}} = \frac{60000}{\sqrt{3} \cdot 6} = 5773,5 A, I_n = 5000 A \quad (7)$$

- по условиям окружающей среды.

Трансформатор тока выбираем для внутренней установки.

по электродинамической стойкости:

$$i_{yd} \leq K_{эд} \cdot \sqrt{2} \cdot I_n \quad (8)$$

$$i_{yd} \leq \frac{I_{эд.ст.}}{I_{ном.перв.ст.}} \cdot \sqrt{2} \cdot I_n; 65100 \leq 102000 A \quad (9)$$

по термической стойкости

$$B_k \leq (\kappa_m \cdot I_n)^2 \cdot t_{мер} \quad (10)$$

$$B_{к1} \leq (\kappa_m \cdot I_n)^2 \cdot t_{мер}; 40261 \leq (70 \cdot 3000)^2 \cdot 3 \quad (11)$$

по допустимой погрешности (на 10% погрешность);

а) расчетная кратность первичного тока:

$$m_{pac} = \frac{I_{pac}}{\alpha \cdot I_n} \quad (12)$$

$$m_{pac} = \frac{I_{pac}}{\alpha \cdot I_n} = \frac{2886,8}{0,8 \cdot 3000} = 1,21 \quad (13)$$

б) по кривым предельной кратности для выбранного ТА (тип, класс точности) определяем допустимую нагрузку ТА –  $z_{н.доп}$ .

$$z_{н.вн.доп} = 1,5 \text{ Ом}, z_{н.нн.доп} = 3 \text{ Ом}.$$

в) определяется фактическая нагрузка ТА  $z_n$ , которая должна быть не более  $z_{н.доп}$ , т.е.  $z_n \leq z_{н.доп} \cdot z_n$  с учетом соединений ТА и вторичной нагрузки.

В общем виде:

$$Z_n = Z_{np} + z_p + z_{пер}, \text{ где } z_p = \frac{S}{I^2}.$$

Для расчетов принимать на стороне 110 кВ  $z_p=0,35$  Ом, на стороне 6-10 кВ  $z_p=0,15$  Ом.  $Z_{пер}$  - переходное сопротивление контактов ( $z_{пер} = 0,05-0,1$  Ом).  $Z_{np}$  – сопротивление соединительных проводов.

Сопротивление соединительных проводов зависит от длины проводом от ТА до реле, сечения провода, материала

$$z_{npBH} = \frac{\rho \cdot l_{pacBH}}{S} = \frac{0,0283 \cdot 65}{4} = 0,46 \text{ Ом}, \quad (14)$$

где  $\rho$  – удельное сопротивление материала провода. Применяем для подстанции 6 кВ провода с алюминиевыми жилами ( $\rho = 0,0283$  Ом·мм<sup>2</sup>/м);  $l_{pac}$  – расчетная длина, зависящая от схемы соединения ТА:

соединение в полную звезду:  $l_{pac} = l$ . В расчетах принимаем  $l = 65$  м (на стороне ВН).

$$Z_n = z_{np} + z_p + z_{пер} \quad (15)$$

$$Z_{нВН} = z_{нрВН} + z_p + z_{нер} = 0,46 + 0,15 + 0,05 = 0,66 \text{ Ом} \quad (16)$$

Результаты проверки трансформаторов тока сведены в таблицу 4.

Таблица 4 - Проверка ТА для защиты токопровода 60 МВА

Наименование величины	Расчетные формулы	Токопровод 60 МВА	
		6,3 кВ	6,3 кВ
Тип	$I_n = \frac{S_{т.ю.м}}{\sqrt{3} \cdot U_{ю.м}}$	ТПШЛ-10 Р 1000/5	ТПШЛ-10 Р 5000/5
Расчетный первичный ток, А	$I_{рас} = 1,3 \cdot I_{к.макс.в}^{(3)}$	353,4	371,1
Расчетная кратность тока	$m_{рас} = \frac{I_{рас}}{0,8 \cdot I_n}$	12	15
Допустимая нагрузка, Ом	$z_{н.дон}$ (по кривым 10% погрешности)	2,7	2,8
Сопротивление реле защиты, Ом	$z_p$	0,5	0,15
Допустимое сопротивление проводов (в один конец), Ом	$z_{нр} = \frac{z_{н.дон} - z_{нер} - z_p}{3} - z_p$ для ТА в $\Delta$ $z_{нер} = 0,05 \text{ Ом};$ $z_{нр} = z_{н.дон} - z_{нер} - z_p$ для ТА в $z_{нер} = 0,05 \text{ Ом}$	0,38  -	-  0,49
Длина проводов, м	l	65	45
Допустимое сечение проводов, мм <sup>2</sup> , расчетное принятое	$S_{дон} = \frac{\rho \cdot I_{расВН}}{z_{нр}}$ $S_{дон} = \frac{\rho \cdot I_{расНН}}{z_{нр}}$	4,84  5	3,98  4

Выбранные для стороны ВН<sub>1</sub> трансформаторы тока ТПШЛ-10 1000/5 и для стороны ВН<sub>2</sub> ТПШЛ-10, 5000/5, класс Р удовлетворяют техническим требованиям.

Трансформаторы напряжения проверяют следующим образом:

- 1) Номинальное напряжение 6 кВ  $\leq$  6,3 кВ;

2) Конструкция и схема соединения обмоток, а также класс точности, учитывая допустимую вторичную нагрузку;

3) Вторичная нагрузка:  $S_{2\Sigma} \leq S_{ном}$ , где  $S_{2\Sigma}$  - нагрузка всех вместе взятых измерительных приборов и реле, которые подсоединяются к трансформатору напряжения, ВА.

Вторичная нагрузка ТН приведена в таблице 5. С целью упростить расчеты, нагрузку приборов не разделяем по фазам, при этом:

$$S_{2\Sigma} = \sqrt{(\sum S_{приб} \cdot \cos \varphi)^2 + (\sum S_{приб} \cdot \sin \varphi)^2} = \sqrt{P_{приб}^2 + Q_{приб}^2} = \sqrt{6,52^2 + 3,7^2} = 7,5 \text{ ВА} \quad (17)$$

Таблица 5 – Вторичная нагрузка трансформаторов напряжения

Приборы	Типы приборов	Потребляемая мощность одной катушки, ВА	Число катушек	Cos φ	Sin φ	Число приборов	Общая потребляемая мощность	
							P, Вт	Q, Вар
Вольт-метр	Э-335	2	1	1	0	1	2	-
Ваттметр	Д-335	1,5	2	1	0	1	3	-
Счетчик активной энергии	САЭ-681	2	2	0,38	0,925	1	1,52	3,7
Итого							6,52	3,7

Трансформаторы напряжения для стороны ВН НОМ-6, 6000/100 удовлетворяют техническим требованиям [7].

### 3.3 Расчет дифференциальной токовой защиты токопроводов

Дифференциальная защиты является основной защитой токопроводов, обладающая такими свойствами, как быстрдействие и абсолютная селективность.

Принцип действия продольной дифференциальной защиты базируется на измерении и сравнении токов, проходящих через начало и конец защищаемой зоны. Такое сравнение обеспечивается за счет включения в цепь 2-х или более измерительных трансформаторов тока. Обмотка



дифференциального реле подключается во вторичную цепь измерительных трансформаторов тока так, чтобы векторная сумма токов во вторичных обмотках ТТ в нормальном режиме работы цепи без учета погрешности ТТ, была равно 0.

В случае КЗ на защищаемом участке ток через трансформаторы тока на стороне НН исчезает, и векторная сумма токов дифференциальной обмотки реле становится не равная нулю. Это приводит отключению трансформатора посредством отключения выключателя в цепях высшего и низшего напряжения, отключая его от сети [2].

Номинальные токи:

$$I_1 = \frac{S_{г.НОМ}}{\sqrt{3} \cdot U_{НОМ}} = \frac{60000}{\sqrt{3} \cdot 6} = 5773,5A \quad (18)$$

$$I_1 = \frac{S_{г.НОМ}}{\sqrt{3} \cdot U_{НОМ}} = \frac{30000}{\sqrt{3} \cdot 6} = 2886,8A \quad (19)$$

Минимальный ток срабатывания защиты по условию отстройки от броска тока намагничивания:

$$\text{Сторона ВН}_1: I_{сз.мин BH1} = 1,5 \cdot I_n = 1,5 \cdot 5773,5 = 8660,3A \quad (20)$$

$$\text{Сторона ВН}_2: I_{сз.мин BH2} = 1,5 \cdot I_n = 1,5 \cdot 2886,8 = 4330,2A \quad (21)$$

Ток срабатывания реле для основной стороны (стороны с наибольшим вторичным токов в плече защиты), приведенный к стороне ВН:

$$I_{сз.осн} = \frac{I_{сз} \cdot K_{сх}}{K_I} = \frac{4330,2 \cdot \sqrt{3}}{200} = 37,5A \quad (22)$$

Значение тока срабатывания защиты (уточненное):

$$I_{сз.мин} = \frac{F_{ср} \cdot K_I}{W_{осн} \cdot K_{сх}} = \frac{100 \cdot 200}{15 \cdot \sqrt{3}} = 769,8A \quad (23)$$

Первичный расчетный ток небаланса с учетом составляющей:

Сторона ВН<sub>1</sub>:

$$\begin{aligned}
 I_{\text{нб.расВН}} &= \left| \kappa_{\text{ан}} \cdot \kappa_{\text{одн}} \cdot \varepsilon \cdot I_{\text{к.макс}}^{(3)} \right| + \left| (\Delta U_{\alpha} \cdot \kappa_{\text{тока}\alpha} + \Delta U_{\beta} \cdot \kappa_{\text{тока}\beta}) \cdot I_{\text{к.макс}}^{(3)} \right| + \\
 &+ \left| \frac{W_{1\text{рас}} - W_1}{W_{1\text{рас}}} \cdot \kappa_{\text{мокл}} \pm \frac{W_{1\text{рас}} - W_1}{W_{1\text{рас}}} \cdot \kappa_{\text{моклII}} \right| \cdot I_{\text{к.макс}}^{(3)} = |1 \cdot 1 \cdot 0,1 \cdot 1000| + \\
 &+ |(0,16 \cdot 1 + 0,16 \cdot 0) \cdot 1000| + \left| \frac{24,45 - 25}{24,45} \cdot 1 + \frac{24 - 25}{24} \cdot 0,045 \right| \cdot 1000 = 248,9 \text{ A}
 \end{aligned} \tag{24}$$

Сторона ВН<sub>2</sub>:

$$\begin{aligned}
 I_{\text{нб.расВН}} &= \left| \kappa_{\text{ан}} \cdot \kappa_{\text{одн}} \cdot \varepsilon \cdot I_{\text{к.макс}}^{(3)} \right| + \left| (\Delta U_{\alpha} \cdot \kappa_{\text{тока}\alpha} + \Delta U_{\beta} \cdot \kappa_{\text{тока}\beta}) \cdot I_{\text{к.макс}}^{(3)} \right| + \\
 &+ \left| \frac{W_{1\text{рас}} - W_1}{W_{1\text{рас}}} \cdot \kappa_{\text{мокл}} \pm \frac{W_{1\text{рас}} - W_1}{W_{1\text{рас}}} \cdot \kappa_{\text{моклII}} \right| \cdot I_{\text{к.макс}}^{(3)} = |1 \cdot 1 \cdot 0,1 \cdot 5000| + \\
 &+ |(0,16 \cdot 1 + 0,16 \cdot 0) \cdot 5000| + \left| \frac{24,45 - 25}{24,45} \cdot 0,045 + \frac{24 - 25}{24} \cdot 1 \right| \cdot 5000 = 1505 \text{ A}
 \end{aligned} \tag{25}$$

Коэффициент чувствительности:

$$\kappa_{\text{ч}} = \frac{F_{\text{раб}}}{F_{\text{раб.ср.}}} = \frac{5005,4}{650} = 7,7 \tag{26}$$

Дифференциальная защита проходит по коэффициенту чувствительности и удовлетворяет техническим требованиям,  $\kappa_{\text{ч}} = 7,7$ .

### 3.4 Расчет максимальной токовой защиты

МТЗ вместе с дифференциальной защитой служит для предотвращения повреждения оборудования и линий в зоне действия защиты, в случае возникновения КЗ или длительной перегрузки.

МТЗ имеет выдержку времени срабатывания, вследствие этого не является быстродействующей, но при этом данная защита позволяет

исключить отключения линии при перегрузках или при КЗ вне зоны действия защиты [17].

Номинальные первичные токи, А:

$$\text{ВН}_1: I_n = \frac{S_n}{\sqrt{3} \cdot U_n} = \frac{60000}{\sqrt{3} \cdot 6,3} = 5498,6 \text{ A} \quad (27)$$

$$\text{ВН}_2: I_n = \frac{S_n}{\sqrt{3} \cdot U_n} = \frac{30000}{\sqrt{3} \cdot 6,3} = 2749,3 \text{ A} \quad (28)$$

Защита от перегрева:

$$\text{ВН}_2: I_n = \frac{S_n}{\sqrt{3} \cdot U_n} = \frac{30000}{\sqrt{3} \cdot 6,3} = 2749,3 \text{ A} \quad (29)$$

Реле блокировки:

$$\text{ВН}_2: I_n = \frac{S_n}{\sqrt{3} \cdot U_n} = \frac{30000}{\sqrt{3} \cdot 6,3} = 2749,3 \text{ A} \quad (30)$$

Кратность сверхтока нагрузки:  $\text{ВН}_1: m_{\text{сн}} = 1,4$

Коэффициент трансформации и схема соединения ТА:

$$\text{ВН}_1: n_m = 1000/5 = 200, \kappa_{\text{сх}} = 1 \quad (31)$$

$$\text{ВН}_2: n_m = 5000/5 = 200, \kappa_{\text{сх}} = 1 \quad (32)$$

Первичный расчетный ток срабатывания защиты:

максимальной токовой:

$$\text{ВН}_1: I_{\text{сз}} = \frac{\kappa_n \cdot m_{\text{сн}}}{\kappa_6} \cdot I_n = \frac{1,2 \cdot 1,4}{0,8} \cdot 5498,6 = 11547,1 \text{ A} \quad (33)$$

$$\text{ВН}_2: I_{c3} = \frac{\kappa_n \cdot m_{ch}}{\kappa_\epsilon} \cdot I_n = \frac{1,2 \cdot 1,4}{0,8} \cdot 2749,3 = 5773,5A \quad (34)$$

От перегрузки:

$$\text{ВН}_1: I_{c3} = \frac{\kappa_n}{\kappa_\epsilon} \cdot I_n = \frac{1,05}{0,8} \cdot 2749,3 = 3608,5A \quad (35)$$

Реле блокировки регулятора:

$$\text{ВН}_2: I_{c3} = 2 \cdot I_n = 2 \cdot 2749,3 = 5498,6A \quad (36)$$

Токи уставок:

МТЗ на стороне ВН<sub>1</sub>:

$$I_{c3} = \frac{\kappa_{cx} \cdot I_{c3}}{n_m} = \frac{1 \cdot 11547,1}{200} = 57,74A \quad (37)$$

МТЗ на стороне ВН<sub>2</sub>:

$$i_{c3} = \frac{\kappa_{cx} \cdot I_{c3}}{n_m} = \frac{1 \cdot 5773,5}{1000} = 5,77A \quad (38)$$

Защита от перегрева на стороне ВН<sub>2</sub>:

$$i_{c3} = \frac{\kappa_{cx} \cdot I_{c3}}{n_m} = \frac{1 \cdot 3608,5}{1000} = 3,61A \quad (39)$$

Реле блокировки на стороне ВН<sub>2</sub>:

$$i_{c3} = \frac{\kappa_{cx} \cdot I_{c3}}{n_m} = \frac{1 \cdot 5498,6}{1000} = 5,5A \quad (40)$$

Коэффициент чувствительности защиты:

$$\text{ВН}_1: \kappa_\epsilon = \frac{I_{\kappa.\min}^{(2)}}{I_{c.з.}} = \frac{0,87 \cdot I_{\kappa.\min}^{(3)}}{I_{c.з.}} = \frac{0,87 \cdot 7521}{165,3} = 40 > 1,5 \quad (41)$$

$$\text{ВН}_2: \kappa_{\text{ч}} = \frac{I_{\text{к.мин}}^{(2)}}{I_{\text{с.з.}}} = \frac{0,87 \cdot I_{\text{к.мин}}^{(3)}}{I_{\text{с.з.}}} = \frac{0,87 \cdot 157941}{5154,8} = 27 > 1,5 \quad (42)$$

Максимальная токовая защита удовлетворяет техническим требованиям и проходит по коэффициенту чувствительности,  $\kappa_{\text{чВН1}} = 40$ ,  $\kappa_{\text{чВН2}} = 27$ .

### 3.5 Оценка повышения надежности системы релейной защиты от внедрения новых микропроцессорных блоков

Внедрение микропроцессорных блоков релейной защиты позволяет существенно увеличить надежность системы электроснабжения.

Интенсивности отказа блоков терминала:

$$\lambda_{\text{блокаД2361}} = \sum_{i=1}^{26} \lambda_i = 47,83 \cdot 10^{-8} \text{ 1/ч} \quad (43)$$

$$\lambda_{\text{блокаП5141}} = \sum_{i=27}^{66} \lambda_i = 403,27 \cdot 10^{-8} \text{ 1/ч} \quad (44)$$

$$\lambda_{\text{блокаП2481}} = \sum_{i=67}^{153} \lambda_i = 187,7 \cdot 10^{-8} \text{ 1/ч} \quad (45)$$

$$\lambda_{\text{блокаЭ2462}} = \sum_{i=154}^{175} \lambda_i = 53 \cdot 10^{-8} \text{ 1/ч} \quad (46)$$

$$\lambda_{\text{блокаД2583}} = \sum_{i=176}^{199} \lambda_i = 54,6 \cdot 10^{-8} \text{ 1/ч} \quad (47)$$

$$\lambda_{\text{блокаД2583}} = \sum_{i=200}^{220} \lambda_i = 18,53 \cdot 10^{-8} \text{ 1/ч} \quad (48)$$

Интенсивности отказа элементов электромеханических реле:

$$\lambda_{кат} = \sum_{i=1}^{20} \lambda_i = 1,24 \cdot 10^{-6} \text{ 1/ч} \quad (49)$$

$$\lambda_{конт..} = \sum_{i=21}^{60} \lambda_i = 28 \cdot 10^{-6} \text{ 1/ч} \quad (50)$$

$$\lambda_{пров} = \sum_{i=61}^{140} \lambda_i = 42,57 \cdot 10^{-6} \text{ 1/ч} \quad (51)$$

$$\lambda_{суст.} = \sum_{i=141}^{158} \lambda_i = 56,62 \cdot 10^{-6} \text{ 1/ч} \quad (52)$$

Общая интенсивность отказа терминала:

$$\lambda_{терминал} = \sum_{i=21}^6 \lambda_{блоков} = (47,83 + 403,27 + 187,8 + 53 + 54,6 + 18,53) \cdot 10^{-8} = 765,03 \cdot 10^{-8} \text{ 1/ч} \quad (53)$$

Общая интенсивность отказа электромеханических реле:

$$\lambda_{эл.мех.реле} = \sum_{i=16}^5 \lambda_{реле} = (1,24 + 28 + 42,57 + 56,62) \cdot 10^{-6} = 128,43 \cdot 10^{-6} \text{ 1/ч} \quad (54)$$

Определение средней наработки на отказ микропроцессорного терминала:

$$T_{o.ср} = \frac{1}{\lambda_s} = \frac{1}{765,03 \cdot 10^{-8}} = 130714ч \quad (55)$$

Определение средней наработки на отказ электромеханических реле:

$$T_{o.ср} = \frac{1}{\lambda_s} = \frac{1}{128,43 \cdot 10^{-6}} = 7787ч \quad (56)$$

Исходя из расчетов показателей надежности терминала, делаем вывод, что средняя наработка на отказ равна 130714 часов, и превышает нормативное значение 125000 часов. Таким образом, надежность терминала по наработке на отказ соответствует требованиям нормативно-технической документации.

Согласно расчетам, средняя наработка на отказ для терминала МП устройства РЗА составила 130714 часов, среднее время восстановления составило 2 часа, тогда коэффициент готовности определяется соответственно:

$$K_G = \frac{T_{o.c.p.}}{T_{o.c.p.} + T_{к.c.p.}} = \frac{130714}{130714 + 2} = 0,999 \quad (57)$$

Для электромеханических реле соответственно:

$$K_G = \frac{T_{o.c.p.}}{T_{o.c.p.} + T_{к.c.p.}} = \frac{7787}{7787 + 24} = 0,997 \quad (58)$$

### **3.6 Возможность создания каналов связи с центральным диспетчерским пунктом ПАО «КуйбышевАзот»**

При использовании микропроцессорных блоков релейной защиты возникает перспектива, а в некоторых случаях необходимость создания определенных центров контроля и управления, особенно в случаях разветвленных и крупных систем электроснабжения. Для таких сетей необходимы не только центральные диспетчерские пункты, но и местные пункты управления для определенных объектов, например, крупных подстанции. Необходимость создания таких пунктов довольно очевидна: такие пункты позволяют собирать информацию о всех неисправностях и принимать сигналы любых защит со всех объектов электросистемы. Подобное решение весьма ответственный шаг, и требует тщательного технического обоснования [15].

Система электроснабжения с релейной защитой на базе микропроцессорной техники обладает рядом существенных преимуществ: отсутствие необходимости создания промежуточных пунктов управления, централизация управления удаленными объектами, возможность постоянного контроля за работой как различных подсистем в целом, так и за определенными объектами или электроустановками. Испытание подобных комплексов тоже вполне реализуемая задача.

Например, при наличии встроенного испытательного центра на пульте управления можно, при согласовании с действующим персоналом подстанции, подать сигнал для срабатывания определенной защиты на определенном объекте. Такое решение сводит к минимуму риск для персонала, позволяет дистанционно получать любые сведения о любых повреждениях, проводить их анализ и давать соответствующие указания [5].

Согласование работы подобных комплексов реализуемая и выполняемая задача.

Конечно, переход на централизованное управление в одночасье нереален. Однако постепенный отказ от электромеханических реле и замена их на микропроцессорные блоки способен удовлетворить всем условиям для создания оперативно-диспетчерских пунктов контроля и управления системами электроснабжения.

Централизация управления и контроля системами электроснабжения за счет использования микропроцессорной релейной защиты способна решить многие задачи, такие как ускорение действия защит и персонала при возникновении различного рода повреждений или срабатывания какой-либо защиты, исключение или сведение к минимуму ложных срабатываний защит того или иного объекта, возможность дистанционного контроля и управления любым необходимым количеством удаленных объектов и их комплексами релейной защиты, отслеживания любых параметров этих комплексов в режиме реального времени и возможность их хранения и передачи на другие



объекты инфраструктуры и(или) электроэнергетики[11].

Автоматизировать различные области инфраструктуры посредством только лишь внедрения микропроцессорной техники невозможно. Однако такой шаг вносит довольно посильный и важный вклад в обеспечение безопасности и оптимизацию систем электроснабжения и её отдельных элементов.

Возможность передачи и анализа данных, полученных из блоков памяти установленной микропроцессорной защиты позволяет дистанционно и не задействуя оперативный персонал устранять повреждения в системах электроснабжения, изменять параметры защит в зависимости от требований, самостоятельно принимать решения диспетчерам о количестве и характере необходимых действий в случае возникновения каких-либо неполадок в сети или сигналов защит [16].

Автоматизация различных сфер инфраструктуры посредством внедрения различной микропроцессорной релейной защиты весьма эффективно и продуктивно способно повлиять на технологический процесс любого вида, т.к. при это обеспечивается максимальный автоматический контроль за параметрами системы и её состоянием, своевременное реагирование на различные повреждения и быстрое их устранение.

### **3.7 Выводы по разделу**

1. Произведен расчет основных параметров защит.
2. Проведено техническое обоснование целесообразности модернизации устаревшей системы электромеханических реле на новые микропроцессорные блоки релейной защиты.
3. Согласно проведенным расчетам, показатели надежности, такие как средняя наработка на отказ, и коэффициент готовности оказались выше у микропроцессорных блоков. Интенсивность отказа у электромеханических реле выше, чем у блоков.

## Заключение

Современное развитие релейной защиты, благодаря стремительному техническому прогрессу, всё дальше уходит от электромеханических реле, отдавая предпочтение микропроцессорной электронике. Такое стремительное развитие этого направления связано с постоянно идущим вперед техническим и технологическим прогрессом, который все глубже проникает в нашу жизнь.

В электроэнергетике, вследствие необходимости модернизации, микропроцессорная техника и, в частности, блоки релейной защиты разных серий и марок всё чаще заменяют устаревшие системы электромеханических реле. Их преимущества весьма очевидны и наглядны, что позволяет внедрять их в самых различных областях электроэнергетики, от ячеек до диспетчерских пунктов.

Без релейной защиты невозможно представить ни один технологический объект XXI века, который помимо средств автоматики и компьютеров всё чаще обеспечивается автономно работающей релейной защитой, которая позволяет сокращать количество рабочего персонала и способствует автоматизации технологических процессов. Возможность установки микропроцессорных блоков релейной защиты различных типов и организация их взаимосвязи представляет сложную, но важную и принципиальную задачу в достижении наилучших результатов в безопасности и защите оборудования разного типа и назначения, взаимосвязи и правильной совместной работы больших комплексов электроэнергетики, начиная от мощных электростанций и заканчивая комплектными трансформаторными подстанциями для городского электроснабжения.

Грамотные технические решения в области релейной защиты способны внести значительный вклад в обеспечение безопасности и повышения надежности систем электроснабжения разного уровня и вида. Поэтому

разработки в этом направлении являются важными и ценными, а их результаты способны обеспечить максимальную безопасность рабочего персонала и оборудования.

В результате выполнения данной диссертации рассмотрен вариант модернизации системы релейной защиты щита управления подстанции №1 ПАО «КуйбышевАзот».

Существующая система релейной защиты морально устарела, поэтому её необходимо заменить на микропроцессорные блоки. В результате проведенного сравнительного анализа был выбран микропроцессорный блок серии ЭКРА-200. Данный блок имеет набор всех необходимых функций, а также способен обеспечить необходимый уровень надежности и селективности.

Произведен расчет основных параметров защит и уставок, а также проведено технико-экономическое обоснование необходимости модернизации устаревшей системы защиты.

## Список используемых источников

1. ГОСТ Р-55438-2015. Единая энергетическая система и изолированно работающие энергосистемы. Релейная защита и автоматика. Взаимодействие субъектов электроэнергетики и потребителей электрической энергии при создании (модернизации) и эксплуатации. Общие требования [Текст]. Москва: Стандартинформ, 2015. 25 с.
2. ГОСТ 12.2.007.2-2016. Трансформаторы силовые и реакторы электрические [Текст]. – Москва: Издательство стандартов, 2016. 5 с.
3. СТО 56947007-29.240.10.028-2017. Нормы технологического проектирования подстанций переменного тока с высшим напряжением 35-750 кВ (НТП ПС) [Текст]. – Москва: Издательство стандартов, 2017. 96 с.
4. СТО 56947007-29.240.30.010-2016. Схемы принципиальные электрические распределительных устройств подстанций 35-750 кВ. Типовые решения. [Текст]. Москва: Издательство стандартов, 2016. 96 с.
5. Морозова Н.Ю. Электротехника и электроника [Текст]/Н.Ю. Морозова. Москва: Академия, 2016. 288 с.
6. Неклепаев Б.Н. Руководящие указания по расчету токов короткого замыкания и выбору электрооборудования. [Текст] Б.Н. Неклепаев, И.П. Крючков. Москва: НЦ ЭНАС, 2016. 163 с.
7. Рожкова Л.Д. Электрооборудование электрических станций и подстанций: учебник для среднего профессионального образования. Л.Д. Рожкова, Л.К. Карнеева, Т.В. Чиркова. [Текст] Москва: Издательский центр «Академия», 2015. 448 с.
8. Гусев В.Г., Гусев Ю.М., Электроника и микропроцессорная техника, В.Г. Гусев, Ю.М. Гусев, [Текст] Москва, 2018. 255 с.
9. Белов А.В. Создаём устройства на микроконтроллерах/ А.В. Белов, [Текст] Москва, 2017. 304 с.

10. Корякин – Черняк С.Л., Справочник - Зарубежные микросхемы, транзисторы, диоды., С.Л. Корякин – Черняк, [Текст]. Москва, 2015. 688 с.
11. Иванов В., Мартынова И., Электроника и микропроцессорная техника. Учебник., - В. Иванов, И. Мартынова, [Текст]. Москва, 2016. 456 с.
12. Беляев А.В. Вторичная коммутация в распределительных устройствах оснащенных цифровыми РЗА., А.В. Беляев [Текст]. Москва, 2015. 325 с.
13. Микропроцессорные устройства защиты «ЭКРА-200» - Руководство по эксплуатации БПВА.656122.041 - 2015 РЭ. [Текст]. Москва: НЦ ЭНАС, 2017. 48 с.
14. Булычев А.В., Наволочный А.А. Релейная защита в распределительных электрических сетях. [Текст] А.В. Булычев, А.А. Наволочный, М., 2018. 640 с.
15. Шнеерсон Э.М. Цифровая релейная защита. [Текст] Э.М. Шнеерсон, М. 2019. 455 с.
16. Костров М.Ф., Соловьев И.И., Федосеев А.М. Основы техники релейной защиты. [Текст] М.Ф. Костров, И.И. Соловьев, А.М. Федосеев, М. 2018. 345 с.
17. Кривенков В.В., Новелла В.Н. Релейная защита и автоматика систем электроснабжения. [Текст] В.В. Кривенков, В.Н. Новелла, М. 2017. 390 с.
18. Атабеков Г.И. Теоретические основы релейной защиты высоковольтных сетей. [Текст] Г. И. АТАБЕКОВ, М. 2016. 228 с.
19. Киреева Э.А., Цырук С.А. Релейная защита и автоматика электроэнергетических систем. [Текст] Э.А. Киреева, С.А. Цырук, М. 2017. 256 с.
20. Беркович М.А., Комаров А.Н., Семенов В.А. Основы автоматике энергосистем. [Текст] М.А. Беркович, А.Н. Комаров, В.А. Семенов, М. 2018. 335 с.

21. Чернобровов Н.В., Семенов В.А. Релейная защита. [Текст] Н.В. Чернобровов, В.А. Семенов. М. 2017 420 с.

22. Новов Е.Д. Ни шагу без релейной защиты. European science of the future. Смоленск, 2019 С. 73-75.

23. Новов Е.Д. Современные блоки микропроцессорной релейной защиты и их возможности, European science of the future. Смоленск, 2019 С. 75-77.

24. Новов Е.Д. Черненко Ю.В. Влияние микропроцессорной релейной защиты на энергоэффективность системы электроснабжения. Энергоэффективность и энергобезопасность производственных процессов. ТГУ, 2019. С. 309-312.

25. Bruk K., Scooter B., Bradley D., Digital model of modern electrical substations, International journal of engineering [Text], K. Bruk., B. Scooter, D. Bradley, 110-120, 2016.

26. Fock N., Roberts N., Sale C., Philosophical Transactions A, Digital signal processing in electric power industry [Text], N. Fock, N. Roberts, C. Sale, Vol.3, №7, 1126-1128, 2016.

27. Socks T., Scrat N., Methods for calculating the parameters of electric power systems, International journal of engineering of Electric Power Quality Analysis [Text], T. Socks, N. Scrat, 175-180, 2017.

28. Assante L., Omaha U., Crebbs T., Modeling of power supply systems using various computer programs, International journal of engineering of Electric Power Quality Analysis [Text], L. Assante, U. Omaha U, T. Crebbs, 25-29, 2016.

29. Mor K., Taube S., Mook H., Philosophical Transactions A, Selection of equipment of stations of different voltage classes [Text] K. Mor, S. Taube, H. Mook, 36-45, 2017.

30. Caan B, James F, Cutinio G, Philosophical Transactions A, Problems of choosing power equipment for various schemes [Text] B. Caan, F. James, G. Cutinio 1100-1112, 2016.