

Министерство образования и науки Российской Федерации  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
**АМУРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ**  
(ФГБОУ ВО «АмГУ»)

Факультет энергетический  
Кафедра энергетики  
Направление подготовки 13.03.02 – Электроэнергетика и электротехника  
Направленность (профиль) образовательной программы Релейная защита и автоматизация электроэнергетических систем

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ  
Зав. кафедрой  Н. В Савина  
« 10 » 06 2018 г.

**БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА**

на тему: Модернизация релейной защиты шин 220 кВ и трёхобмоточных трансформаторов подстанции Сулус Магдагачинского района Амурской области

Исполнитель  
студент группы 442об-3(п2)  С.А Валуйский  
(подпись, дата)

Руководитель  
профессор, доктор  
техн. наук  О. В Скрипко  
(подпись, дата)

Консультант  
по безопасности и  А. Б. Булгаков  
экологичности (подпись, дата)  
канд. тех. наук, доцент

Нормоконтроль  
канд. тех. наук, доцент  А. Н. Козлов  
(подпись, дата)

Благовещенск 2018 г

Министерство образования и науки Российской Федерации  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
**АМУРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ**  
(ФГБОУ ВО «АмГУ»)

Факультет энергетический  
Кафедра энергетики

УТВЕРЖДАЮ

Зав. кафедрой

  
« 13 » 05

Н.В. Савина  
2018 г.

**ЗАДАНИЕ**

К выпускной квалификационной работе студента Валуйского Сергея Андреевича

1. Тема выпускной квалификационной работы: Модернизация релейной защиты шин 220 кВ и трёхобмоточных трансформаторов подстанции Сулус Магдагачинского района Амурской области.

(утверждено приказом от 12.05.2018 № 573-уз)

2. Срок сдачи студентом законченной работы (проекта) \_\_\_\_\_
  3. Исходные данные к выпускной квалификационной работе: однолинейная схема амурской области, нагрузки и напряжения по подстанциям в контрольный день замеров на 8 декабря 2017 г, установленное оборудование в том числе и силовое, техническая документация «ОАО РЖД» мощность короткого замыкания системы.
  4. Содержание выпускной квалификационной работы (перечень подлежащих разработке вопросов)  
Общая характеристика объекта. Актуальные проблемы объекта модернизации их технические решения. Расчет токов КЗ. Расчет уставок защит трансформатора и шин 220кВ
  5. Перечень материалов приложения: (наличие чертежей, таблиц, графиков, схем, программных продуктов, иллюстративного материала и т.п.) Содержит 89стр. 13 рисунков. 4 таблицы. 23 источника.
  6. Консультанты по выпускной квалификационной работе (с указанием относящихся к ним разделов)  
Булгаков А. Б – консультант по части Безопасность и экологичность
  7. Дата выдачи задания \_\_\_\_\_
- Руководитель выпускной квалификационной работы:  
Скрипко О. В., профессор доктор. тех. наук   
(фамилия, имя, отчество, должность, ученая степень, ученое звание)
- Задание принял к исполнению (дата): 13.05.2018.

## РЕФЕРАТ

Бакалаврская работа содержит 96 с., 13 рисунков, 23 источника, 4 таблиц.

РАСЧЕТНЫЕ ПАРАМЕТРЫ, КОРОТКОЕ ЗАМЫКАНИЕ, НАПРЯЖЕНИЕ, ТОК, СОПРОТИВЛЕНИЕ, ТОКОВАЯ ОТСЕЧКА, ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНАЯ ЗАЩИТА ШИН, ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНАЯ ЗАЩИТА ТРАНСФОРМАТОРА, РЕЛЕЙНАЯ ЗАЩИТА, АВТОМАТИКА.

В квалификационной работе предоставлен проект модернизации релейной защиты шин 220кВ и силового трансформатора ТДТНЖ-40мВА тяговой подстанции «Сулус» приведены основные технические параметры и оборудование. Рассчитаны токи КЗ и выбрано новое оборудование.

Работа включает в себя следующие вопросы по замене оборудования

Замена релейной защиты на микропроцессорную, шин 220кВ

Замена релейной защиты на микропроцессорную, силового трансформатора ТДТНЖ-40мВА.

## СОДЕРЖАНИЕ

Определения, обозначения, сокращения	7
Ведение	8
1 Климатическая характеристика района	9
2 Общая характеристика объекта модернизации	10
3 Актуальные проблемы объекта модернизации	13
4 Основные требования к релейной защите	14
5 Технические решение для устранения проблем объекта модернизации	20
6 Структурная схема тяговой подстанции	21
7 Расчет сопротивлений трехобмоточного трансформатора	23
8 Расчет токов короткого замыкания	25
8.1 Расчет токов короткого замыкания в точке к3	27
8.2 Расчет токов короткого замыкания в точке к4	29
9 Расчет максимальных рабочих токов основных присоединений подстанции	33
10 Расчет защит трансформатора	37
10.1 Выравнивание различий по величине во вторичных токах	39
10.2 Расчет первичных токов трансформатора, базисных токов и чисел витков первичных обмоток входных тт терминала	41
10.3 Выбор уставок дифференциальной защиты с торможением трансформатора	42
11 Защиты трансформаторов от сверхтоков при внешних кз и перегрузок	46
12 Расчет защит от перегрузки	51
13 Микропроцессорная защита сборных шин типа шэ2607 061	52
14 Расчет микропроцессорной защиты сборных шин	57
15 Устройство УРОВ	63
15.1 Выбор уставок УРОВ	65

16 Безопасность жизнедеятельности на производстве	67
16.1 Техника безопасности на тяговой подстанции	67
16.2 Охрана труда при выполнении работ в устройствах релейной защиты и электроавтоматики	80
16.3 Расчет шума, создаваемый трансформаторами	83
16.4 Расчет уровня шума на тяговой подстанции сулус	86
17 Экономический расчет	87
Заключение	89
Библиографический список	90

## ОПРЕДЕЛЕНИЯ, ОБОЗНАЧЕНИЯ, СОКРАЩЕНИЯ

АПВ – автоматическое повторное включение;

АСУТП – автоматизированные системы управления технологическим процессом;

АВР – автоматический ввод резерва;

РЗА – релейная защита и автоматика;

ПА – противоаварийная автоматика;

СА – сетевая автоматика;

ДЗ – дистанционная защита;

ТЗНП – токовая защита нулевой последовательности;

НТТ – насыщающийся трансформатор тока;

БК – блокировка от качаний;

РМ – реле мощности;

ЭДС – электродвижущая сила;

КЗ – короткое замыкание;

ВЛ – воздушная линия;

ЛЭП – линия электропередачи;

ЭЭС – электроэнергетическая система;

ЭС – энергосистема;

КЛ – кабельная линия.

## ВВЕДЕНИЕ

В качестве темы для выпускной квалификационной работы я выбрал модернизацию релейной защиты шин 220 кВ и трехобмоточного трансформатора 220/27.5/10 кВ тяговой подстанции «Сулус» Амурской области Магдагачинского района.

Причина модернизации объекта ТПС «Сулус» заключается в проблеме эксплуатации устаревшего оборудования релейной защиты в связи с этим происходят без причинные самопроизвольные отключения высоковольтного тягового оборудования которые влекут за собой сокращения рабочего ресурса.

Вторая причина: Установленная релейная защита на шинах 220кВ и трансформаторе ТДТНЖ-40 не отвечает требованиям предъявляемые к современным устройствам релейной защиты что приводит к нарушению работоспособности энергосистемы .

Для решения данной проблем было решено провести модернизацию релейной защиты шин 220кВ и трансформатора ТДТНЖ-40 на современные микропроцессорные терминалы защит фирмы ООО «ЭКРА» которые отвечают всем современным требованиям предъявляемым к системам релейной защиты.

## 1 КЛИМАТИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАЙОНА

Климатические характеристики района резко-континентальные с муссонными чертами. Континентальность климата обособливается большими годовыми и суточными изменениями статуса температур воздуха, муссонность — чаще всего исключительно северо-западными ветрами зимой и резким преобладанием возможных летних осадков. Период без отрицательных температур от 150 до 180 дней. Средняя температура в июле месяце +18,8 °С. Средняя температура в январе от -26,2 °С. Годовое количество осадков обычно до 430 мм. Зимой снежный покров достигает 17 см.

## 2 ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ОБЪЕКТА МОДЕРНИЗАЦИИ

Тяговая подстанция Сулус по схеме внешнего электроснабжения является транзитной с двумя линейными вводами 220кВ: ВВ№1 «Магдагачи», ВВ№2 «Ключевая», с двумя системами шин секционированных выключателем который повышает надежность системы. Дата ввода подстанции в рабочее состояние – 27 декабря 1985 года.

На ОРУ- 220 кВ расположены: элегазовые выключатели типа ВЭБ-220П40/2500УХЛ1 кВ,

И установлены трансформаторы тока ТБМО 220 П 0,5/0,2S/0,5S/5P 100-300/1-5 предназначены для учета электрической энергии, таг-же установлены разъединители РГ – 1а-220П/1000 УХЛ1, трансформаторы напряжения НАМИ 220 X УХЛ1, ОПН – 220/27,5/10кВ, силовые трансформаторы ТДТНЖ – 40000-220/27,5/10кВ.

ОРУ – 220кВ осуществлено гибкими шинами сечением АС 2х300 мм<sup>2</sup>.

Распределительное устройство 27,5кВ специализировано для электрификации тяговой электро-сети переменного тока, не тяговых линейных железнодорожных потребителей по линиям «два провода – рельс» (ДПР) и трансформаторов собственных нужд. РУ 27,5кВ имеет двухфазную рабочую секционированную разъединителями и резервную систему шин. Третья фаза обмоток понижающих трансформаторов соединяется с контуром заземления и рельсами подъездного пути, которые соединены с воздушной отсасывающей линией. Резервный выключатель при поддержке разъединителей может быть включен любой из секций, снабжая питанием каждого фидера контактной сети при выводе в ремонт выключателя соответствующего фидера.

Все выключатели, монтируемые на ОРУ – 27,5 кВ коммутированы к секциям шин методом шинных разъединителей с заземляющими ножами, оснащенных блокировкой, механической и еще электромагнитной.

На ОРУ 27,5 кВ размещены: вакуумные выключатели типа ВР35НС 35/1600УХЛ1 – выключатель вакуумный, универсальный с кремнийорганической и воздушной изоляцией в полюсах, с номинальным током 1000 А и номинальным током отключения 16 кА, в выключатели этой серии встроен электромагнитный привод вида ПЭМУ

Вакуумные выключатели ВВК-27,5Б-20/1250 и ВР-27,5НС-20/1250; трансформаторы напряжения ЗНОЛ – 27,5-100 У1, разрядники ОПН-27, 5.ОРУ – 27,5 кВ осуществлено гибкими шинами типа АС – 2х185 мм<sup>2</sup>. Питание собственных нужд подстанции выполняется от четырех трансформаторов собственных нужд ТМЖ-250кВА.

На тяговой подстанции Сулус ЗРУ – 10кВ, специализированно для питания не тяговых районных потребителей. РУ выполнено с двойной системой шин секционированной выключателем. В ЗРУ – 10 кВ монтированы хорошие выключатели ВМПЭ – 10 – 1000(630) – 20-ПЭ-11У3 в ячейках КВВО – 2; трансформаторы тока ТЛМ-10 300/5, ТЛМ-10 50/5; и измерительных трансформаторов НТМИ 10000/100/ $\sqrt{3}$ . От понижающих трансформаторов до ЗРУ – гибкая ошиновка, сделанная проводом АС – 2х185 мм<sup>2</sup>.

Для подачи постоянного оперативного тока служат кислотные свинцовые аккумуляторы типа 8ОРzV800. Они расположены в отдельном помещении – аккумуляторной, оборудованной приточной вытяжной вентиляцией.

При исчезновении напряжения на тяговой подстанции запускается в работу дизель-генератор ДГА-75 для питания собственных нужд подстанции.

Длина перегона Чалганы-Сулус– 41км

Длина перегона Сулус-Магдагачи– 44,4км

Марка провода линии ДПР – АС 2х50.

Нагрузка линии ДПР: “З”, ”В”: 1 КТП –250 кВА, 3 КТП – 100кВА, 1 КТП-25кВ и 41 сигнальная точка по 1,25 кВА.

Марка провода К/С: ПБСМ – 95 + МФ – 100.

### 3 АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ОБЪЕКТА МОДЕРНИЗАЦИИ

В настоящее время на ТПС «Сулус» используются системы релейной защиты типа БЗ 252/1-77 дифференциальная защита шин на реле РНТ-565, а также панель типа ЭПЗ 1033-90 Г.1 панель предназначена для основной защиты трех-обмоточного силового трансформатора подстанций 220 кВ данная панель включает в себя:

- дифференциальную защиту;
- газовую защиту;
- выходные реле защит;
- токовые реле резервирования;
- реле сигнализации указывающие на использование ремонтной перемычки .

Дифференциальная защита выполнена в одном комплекте с использованием реле типа ДЗТ-11

Данные устройства релейной защиты являются устаревшими и не устраивают основным современным требованиям предъявляемые к ней что может привести к возникновению аварийной ситуации повлекшие за собой большие экономические потери, более того в случае аварии из-за устаревшего оборудования есть вероятность угрозе здоровью и жизни рабочего персонала что не допустимо.

## 4 ОСНОВНЫЕ ТРЕБОВАНИЯ К РЕЛЕЙНОЙ ЗАЩИТЕ

Основные требования предъявляемые к релейной защите

- Селективность;
- Быстродействие;
- Чувствительность;
- Надёжность:

Селективность или избирательность это умение защиты отключать только поврежденный участок системы путем его отключения .

Есть два вида селективности

1) Абсолютная селективность. Отрабатывает только в том случае если КЗ произошло на защищаемом элементе системы то есть отрабатывает основная защита.

2) Относительная селективность. Отрабатывает резервная защита при повреждении на смежном участке при отказе основной защиты .

Быстродействие; в основной массе ситуаций к релейной защите, функционирующей на присутствие дефектов, отключением системы, предъявляется условие быстродействия. Данное обуславливается соответствующими ключевыми взглядами:

1. Форсирование отключения дефектов увеличивает стабильность синхронной деятельности генераторов в концепции и предоставляет вероятность повысить пропускные умения линии электропередач. При использовании быстродействующих реле и выключателей несоблюдение динамической стабильности одновременно действующих синхронных агрегатов в результате короткого замыкания возможно быть способно исключится. Тем самым само исключается один из ключевых факторов появления более серьезных, с точки зрения бесперебойной работы потребителей, системных аварий.
2. Форсирование отключения дефектов понижает период деятельности потребителей при изменении напряжения от номинального.

При быстродействующих защитах и выключателях почти без исключения все двигатели, монтируемые как у пользователей, так и на собственных нуждах подстанций, минуя тех, кто питается от выключателя что более не коммутирует электро передачу из за отключения, после ликвидации образованного короткого замыкания имеют все шансы быть в работе. Более того, уменьшение вращающих моментов, к примеру у синхронных двигателей оказался на столько не продолжительным, что потребители никак не чувствуют данного переходного процесса .

3. форсирование отключения дефектов понижает объем разрушения испорченного компонента. Снижается период, затрачиваемый на осуществление исправительно-ремонтных работ и тем самым снижаются расходы на него.

4. Ускорение отключения дефектов увеличивает результативность АПВ поврежденных ЛЭП.

Допустимое период отключения К.З. согласно обстоятельству сбережения стабильности находится в

зависимости с ряда условий. Наиважнейшим из возможных считается величина возможного остаточного напряжения на основных шинах или обходной, электростанций и головных подстанций энергосистемы. Чем меньше остаточное напряжение, тем хуже фактор стабильности и, следовательно, тем стремительнее нужно отключить К.З.

Более серьезными согласно обстоятельству стабильности считаются трехфазные К.З. и двухфазные К.З. на землю в сети с глухозаземленной нейтралью таким образом равно как присутствие данных дефектов совершается максимальное сокращение а абсолютно всех междуфазных напряжений.

В нынешних энергосистемах сцелью сбережения стабильности необходимо к крайне малый период К.З. Таким образом к примеру в электропередачах 330-500кВ следует отключить дефектный участок за 0,1-0,2 сек. после его

дефекта, а в сетях 110-220кВ - за 0,15-0,3 сек. В распределительных сетях 6-10кВ короткие замыкания сопутствующие от источника большими сопротивлениями возможно разкоммутировать с периодом 1,5-3 сек., таким образом равно как они никак не оказывают большое влияние в стабильность системы.

Конкретный анализ возможного периода отключения выполняется с поддержкой специализированных расчетов стабильности оперируемых для данной цели. В роли возможного аспекта (меры) крайней необходимости использования крайне быстродействующих релейных защит Правила устройства электроустановок (ПУЭ) советуют установить остаточное напряжение на шинах электростанций и главных подстанций при синхронном как правило трехфазном К.З. в интересной нас точке возникновения К.З. Если остаточное напряжение находится в пределах меньше чем 60% номинального, то для сохранения стабильности нужно использовать быстрое отключение дефектов, т.е. применять быстродействующую электромеханическую а лучше микропроцессорную защиту (ПУЭ, п.3.2.108). Полный период отключения дефекта складывается из времени работы защиты и времени действия привода и самого механизма выключателя, который своим действием прекращает коммутацию сити тем самым обрывает ток К.З. Значит, для форсирования отключения нужно максимально ускорить действие, как защиты, так и привода и механизма выключателей. Минимальный период времени в котором срабатывают защиты равны 0,02-0,04 сек., а механизма выключателей 0,05-0,06 сек. Поэтому минимально допустимый период отключения дефектного участка и разрыв токов К.З. является 0,07-0,1 сек. Однако есть необходимость обратить внимание, что получение малых периодов по технико-экономическим аспектам в ряде возможных вариантов является нецелесообразным, так как требует установки высокотехнологичных панелей защит которые являются более сложными в эксплуатации и поэтому являются менее надежными. В итоге стараются

выставлять те периоды времени, с которыми по совокупности условий еще можно отключать наиболее серьезные, но фактические дефекты. В качестве возможных минимальных периодов отключения КЗ.: Приводим некоторые данные

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

Однако в определённых ситуациях простая и экономичная защита не может одновременно обеспечить высококачественные требования селективности и быстродействия. Тогда необходимо произвести анализ, из которого сделать вывод не нарушается ли при селективных, но относительно медленных периодах отключений повреждений в сети но при этом будет не нарушаться бесперебойная работа потребителей которые получают питание не с поврежденного участка электрифицированной сети, нежели более ускоренное (форсированное) отключение участка но с отключением более большого объёма потребителей не поврежденного участка. Условие ко времени форсированного действия защит от высоко-динамических переходных процессов зависит от их последствий. Зачастую такие режимы являются кратковременными то есть как известно большинство КЗ и высоко-динамические переходные процессы на линиях самоустраиваемы, так, например, кратковременные возрастания нагрузок на систему при пуске асинхронного двигателя, вывот из рабочего состояния одного трансформатора на двухтрансформаторной подстанции и работа АВР на СВ-10кВ. В данной ситуации форсированное отключение не есть самым важным аспектом, но в такой ситуации возможно нанесение нежелательного ущерба потребителям. Исходя из этого вывод из работы оборудования при

ненормальном (аварийном) режиме обязано происходить только тогда, когда есть фактическая опасность для защищаемого оборудования в большинстве ситуаций с определённой выдержкой времени.

Чувствительность; это следующий важный фактор предъявляемый к устройствам РЗА, то есть, защиты должны почувствовать ненормальные изменения в работе системы, которые возникают в следствии аварийных ситуаций что имеют шансы появиться на элементах которые находятся в зоне работы систем релейной защиты ЭС.

В ситуациях при обеспечении высокой степени чувствительности, в современной индустрии снабжения и передачи электроэнергии, стали проявлять себя и вытекающие проблемы препятствующие этому фактору. Так, к примеру, в ситуациях когда потребитель находится на относительно протяжённом расстоянии от источников генерации электроэнергии то силовое электрооборудование находится под высокой нагрузкой так как приходится протягивать высоковольтные отдельные ЛЭП. При этом ток К.З. в линиях в которых произошло повреждение при учете возможных минимальных режимах работы станций и повреждений через большие переходные сопротивления (электрическая дуга) могут быть соизмеримы, либо в том числе и менее наибольших токов К.З. То есть в таких ситуациях оборудование может не почувствовать аварийный режим. В такой ситуации приходится отказываться от простых систем защит что вынуждает прибегать к более высокотехнологичным (сложным) и дорогостоящим видам защитных устройств. По этой причине с учетом навыка эксплуатации и степени технической продвинутости к защитам предъявляются минимальные возможные требования к свойству чувствительности. Проще говоря чувствительность систем защит должна быть такой чтобы чувствовать всю зону защищаемого участка при минимальных нагрузках на систему а также при межфазном замыкании через

дугу. Чувствительность защит принято характеризовать коэффициентом чувствительности Кч.

Надёжность; условие надёжности заключается в том, что защита обязана грамотно и стабильно функционировать на отключение выключателей оборудования при абсолютно всех его дефектах и патологиях стандартного порядка деятельности, на действие при которых она предназначена и не действовать в режимах, при которых ее работа не учитывается.

Главным посылами, обеспечивающими равно как безопасность срабатывания, таким образом и безопасность несрабатывания считается значительное свойство прменяемых реле, определяемое их принципом воздействия, системой и технологией выполнения, значительное свойств добавочных приборов и верное руководство эксплуатации. Но существуют условия, обратные действующие в две рассмотренные стороны надёжности. Нежели более наименьшее количество реле и иных компонентов, что обязано принимать участие в срабатывании защиты этим снижая надёжность её срабатывания.

При наличии в защите некоторых одновременно функционирующих самостоятельных приборов, а в отдельных единичных реле или компонентов надёжность срабатывания увеличивается.

С иной стороны возможно понижение надёжности несрабатывания.

Необходимо иметь в виду то

что приборы РЗА при дефектах в электрической концепции в полной мере обязаны согласно действиям определенных, как правило электро величин, существенно чаще не срабатывать, нежели срабатывать.

Учитывая данное описанное, в настоящий период более простых методов

схем защит необходимо рассматривать в одном из ключевых условий к оборудованию релейной защиты. Требование надежности является весьма важным. Отклонение в работе либо неверное воздействие тот или иной-или защиты каждый раз приводит к добавочным отключениям и т.п. Для решения этой проблемы необходимо реализовать модернизацию релейной защиты силового 3-х-обмоточного трансформатора ТДТНЖ-40 и оборон покрышек 220 кВ

## 5 ТЕХНИЧЕСКИЕ РЕШЕНИЕ ДЛЯ УСТРАНЕНИЯ ПРОБЛЕМ ОБЪЕКТА МОДЕРНИЗАЦИИ

Технические решения при модернизации ТПС «Сулус» замены устройств релейной защиты трех-обмоточного трансформатора ТДТНЖ-40 и шин 220 кВ 2/АС240.

При рассмотрении вопроса модернизации ТПС «Сулус» замена устройств релейной защиты, были приняты следующие меры, замена панели типа ЭПЗ 1033-90 Г.1 на панель защиты трансформатора типа ШЭ 2607 045073 . А также замена панели типа БЗ 252/1-77 дифференциальная защита шин на панель типа ШЭ2607 061 Защита сборных шин и ошиновок 110-220кВ

Данное решение не только устранит основную проблему по которой было решено произвести модернизацию системы защит силовых трансформаторов и шин 220кВ но и освободит значительную часть площади внутри здания подстанции так как панели микропроцессорной системы защит фирмы ООО НПП «ЭКРА» - ШЭ 2607 045073 и ШЭ2607 061 которые монтируются в шкаф защит типа БЭ 2607 а он в свою очередь гораздо меньше в габаритах по сравнению с устаревшими панелями ЭПЗ 1033-90 и БЗ 252/1-77 что позволяет ему занимать меньшую площадь помещения подстанции а значить освободить место для будущих реконструкций или модернизаций.

ШЭ 2607 045073 и ШЭ2607 061 Это современные микропроцессорные системы защиты фирмы ООО НПП «ЭКРА» которые отвечают всем требованиям предъявляемые к современным устройствам релейной защиты отличаются высокой надежностью простоте в эксплуатации а также относительной экономичностью .

## 6 СТРУКТУРНАЯ СХЕМА ТЯГОВОЙ ПОДСТАНЦИИ

Согласно ПУЭ выбор и проверка электрических аппаратов и токоведущих элементов по электродинамической и электрической устойчивости производится по току трехфазного короткого замыкания ( $I_K$ ), поэтому необходимо произвести расчет токов короткого замыкания для всех распределительных устройств (РУ) и однофазного замыкания на землю ( $I_K$ ) для РУ, питающего напряжения.

На основании исходных данных и принятой схемы главных электрических соединений подстанции составляется расчетная схема (рисунок 1), а по ней схемы замещения (рисунок 2) проектируемой подстанции.

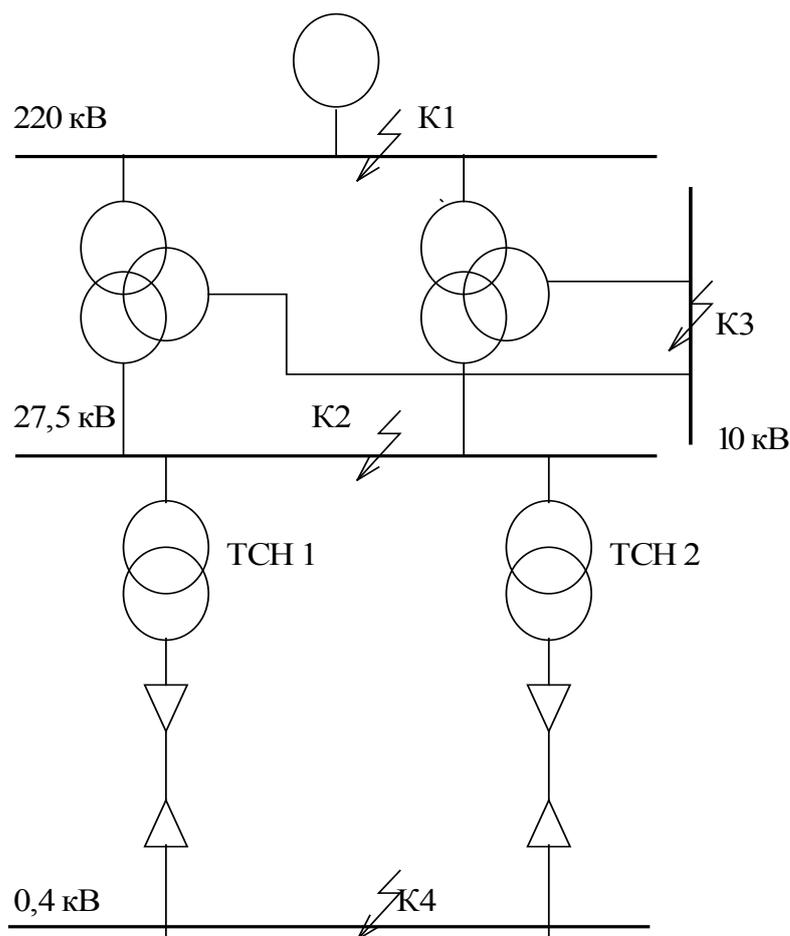


Рисунок 1 – Структурная схема тяговой подстанции

Схема замещения тяговой подстанции представляет собой электрическую схему, элементами которой являются схемы замещения реальных устройств их основными электрическими характеристиками (активным, реактивным емкостным или реактивным индуктивным сопротивлениями). Для расчёта токов короткого замыкания на шинах различного напряжения составляется схема замещения, которая представлена на рисунке 2, также необходимо знать сопротивления до каждой точки короткого замыкания. Согласно рисунку 1 у нас четыре точки короткого замыкания.

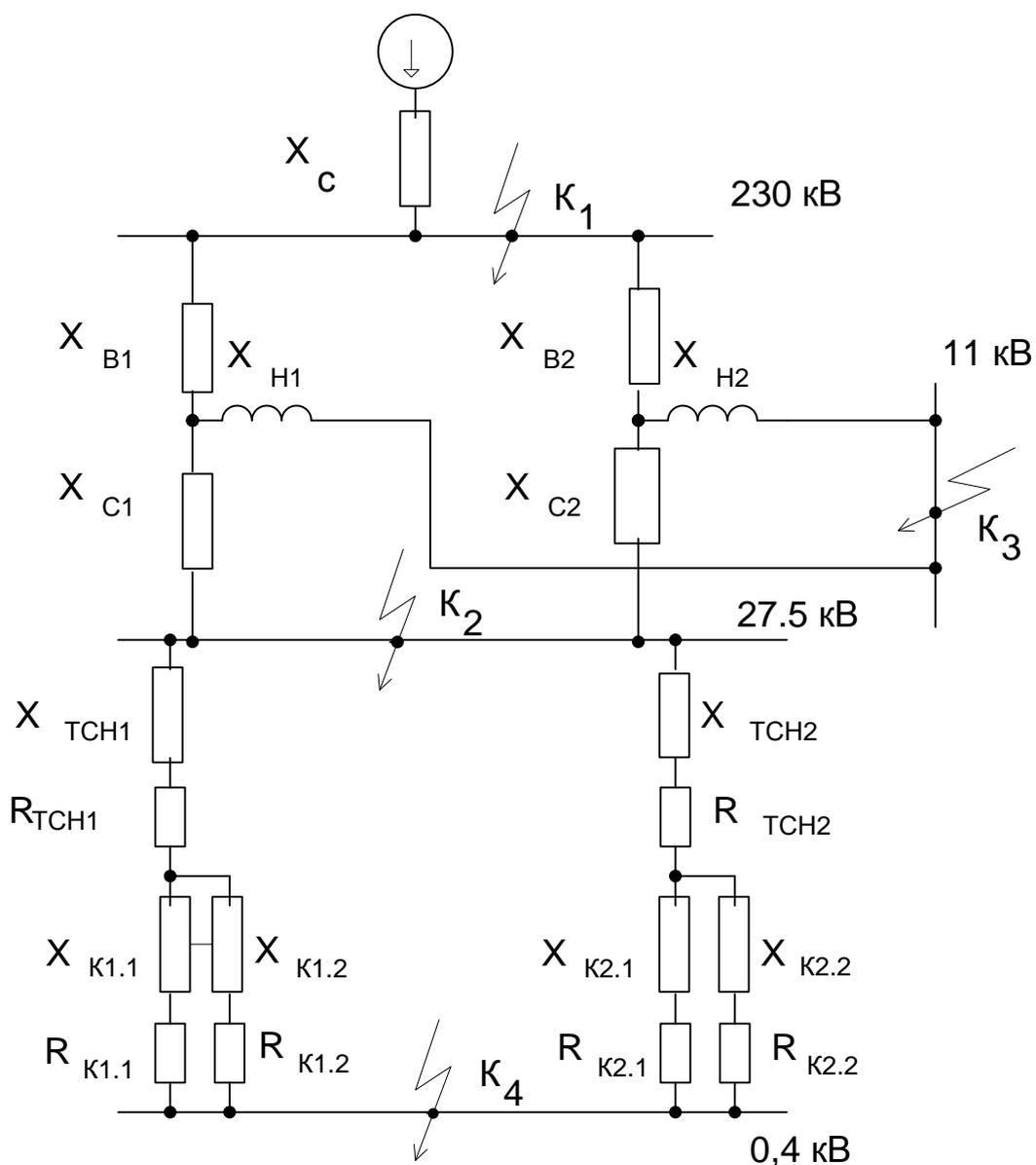


Рисунок 2– Схема замещения тяговой подстанции



$$\left. \begin{aligned} X_B &= \frac{U_{к.В.}}{100} \cdot \frac{U}{S_{н.тр}} \\ X_C &= \frac{U_{к.С.}}{100} \cdot \frac{U}{S_{н.тр}} \\ X_H &= \frac{U_{к.Н.}}{100} \cdot \frac{U}{S_{н.тр}} \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

где  $S_{н.тр}$  – номинальная мощность трансформатора, МВА;

Подставляем в формулу (2) численные значения

$$X_B = \frac{12,5}{100} \cdot \frac{230}{40} = 0,718$$

$$X_C = \frac{0}{100} \cdot \frac{230}{40} = 0$$

$$X_H = \frac{9,5}{100} \cdot \frac{230}{40} = 0,546$$

## 8 РАСЧЕТ ТОКОВ КОРОТКОГО ЗАМЫКАНИЯ

Мощность короткого замыкания системы, по данным ДКЭЛ Заб.ж.д.,

$S_{к.з.} = 1622$  МВА при однофазном коротком замыкании.

Определяем сопротивление системы:

$$X_c = \frac{U}{S_k''}, \quad (4)$$

где  $S_k''$  – мощность короткого замыкания.

$$X_C = \frac{230^2}{1622} = 32.61$$

Ударный коэффициент определяем по формуле:

$$K_y = 1 + e^{\frac{-0,01}{T_a}}, \quad (5)$$

где  $T_a$  – постоянная времени затухания, равная 0,05с

$$K_y = 1 + e^{\frac{-0,01}{0,05}} = 1,82$$

Максимальный ток до точки К1 вычисляется по формуле, :

$$I_{к1}'' = \frac{E_c}{\sqrt{3} \cdot X_c} \quad (6)$$

$$I_K'' = \frac{230^2}{\sqrt{3} \cdot 32,61} = 4,07 \text{ кА}$$

Ударный ток КЗ определяем по формуле, :

$$i_y = \sqrt{2} \cdot K_y \cdot I_0'' \quad (7)$$

$$i_y = \sqrt{2} \cdot 1,82 \cdot 4,07 = 10,47 \text{ кА}$$

Ток двухфазного короткого замыкания,

$$I_K^{(2)} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot I_o'' \quad (8)$$

$$I_K^{(2)} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot 4,07 = 3,52 \text{ кА.}$$

Ток однофазного короткого замыкания, :

$$I_K^{(1)} = 0,55 \cdot I_o'' \quad (9)$$

$$I_K^{(1)} = 0,55 \cdot 4,07 = 2,24 \text{ кА.}$$

Рассчитанные данные сводим в таблицу 8.

### 6.3 РАСЧЁТ ТОКОВ ЗАМЫКАНИЯ В ТОЧКЕ К2

Расчетная схема замещения для точки К2 представлена на рисунке 3.

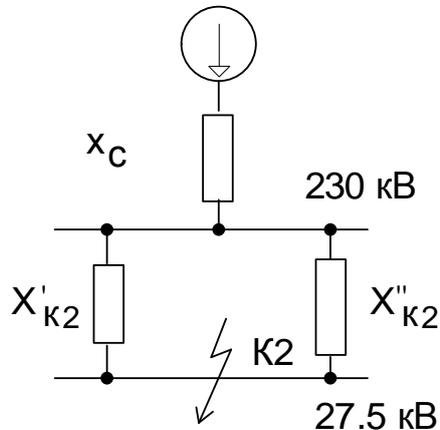


Рисунок 3 – Расчетная схема замещения для точки К2

Сопротивление системы:

$$X'_{K2} = X''_{K2} = X_B + X_C \quad (10)$$

$$X'_{K2} = X''_{K2} = 0,718 + 0 = 0,718$$

$$X_{рез.2} = X_c + 0,5 \cdot X_{K2} \quad (11)$$

$$X_{рез.2} = 32,61 + 0,5 \cdot 0,718 = 32,97$$

В итоге преобразований получаем схему, приведенную на рисунке 4.

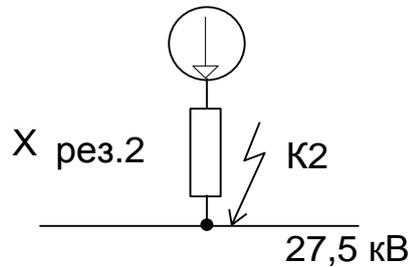


Рисунок 4 - Преобразованная схема до точки К2.

Максимальный ток до точки К2 определяется по формуле : (12)

$$I_{к2}'' = \frac{230}{\sqrt{3} \cdot 32,97} = 4,02 \text{ кА.}$$

Ударный ток и ток двухфазного короткого замыкания определяется по формулам (14) и (15):

$$i_y = \sqrt{2} \cdot 1,82 \cdot 4,02 = 10,35 \text{ кА.}$$

$$I_k^{(2)} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot 4,02 = 3,48 \text{ кА.}$$

Рассчитанные данные сводим в таблицу 8.

### 8.1 Расчет токов короткого замыкания в точке К3

Метод расчета и расчетные формулы аналогичны расчету в пункте 8.

Расчетная схема замещения для точки К3 представлена на рисунке 5.

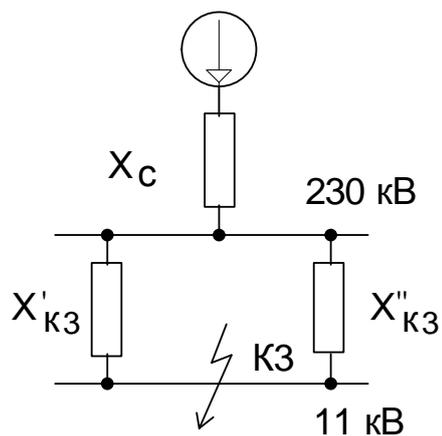


Рисунок 5 – Расчетная схема замещения для точки КЗ.

$$X'_{кз} = X''_{кз} = 0,718 + 0,546 = 1,26 \text{ Ом.}$$

$$X_{рез.3} = 32,61 + 0,5 \cdot 1,26 = 33,24 \text{ Ом.}$$

Расчетная схема, в преобразованном виде представлена на рисунке 6.

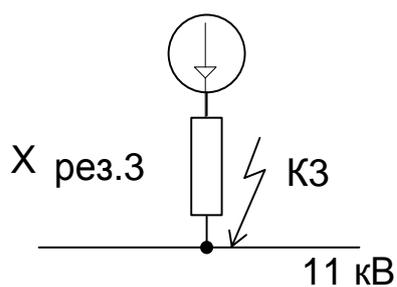


Рисунок 6 - Преобразованная схема до точки КЗ.

$$I_o'' = \frac{230}{\sqrt{3} \cdot 33,87} = 3,92 \text{ кА.}$$

$$i_y = \sqrt{2} \cdot 1,82 \cdot 3,92 = 10,08 \text{ кА.}$$

$$I_k^{(2)} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot 3,92 = 3,39 \text{ кА.}$$

Расчитанные данные сводим в таблицу 8.

## 8.2 Расчет токов короткого замыкания в точке К4.

Расчетная схема приведена на рисунке 7.

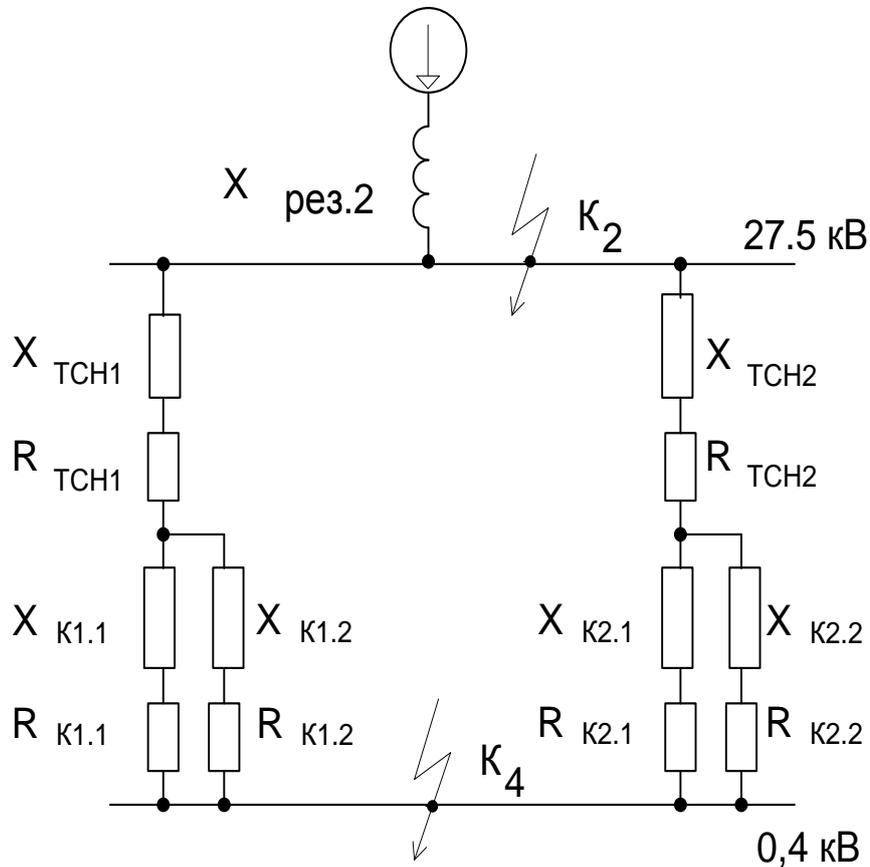


Рисунок 7- Схема для расчета токов короткого замыкания до точки К4.

Длительный рабочий ток  $I_{дл. раб. ТСН}$  для трансформатора собственных нужд по формуле определяется по формуле:

$$I_{дл. раб. ТСН} = \frac{S_{н. ТСН}}{\sqrt{3} \cdot U}, \quad (13)$$

где  $S_{н. ТСН}$  – мощность трансформатора собственных нужд, кВА;

$$I_{дл. раб. ТСН} = \frac{250}{\sqrt{3} \cdot 0,4} = 360 \text{ А.}$$

Согласно [1] выбираем кабель с алюминиевыми жилами, прокладываемый в траншее к каждому трансформатору с сечением 95 мм<sup>2</sup>,

$$I_{\text{дл. раб. каб.}} = 400 \text{ А}.$$

$$I_{\text{дл. раб. каб.}} \geq I_{\text{дл. раб. ТСН}}$$

$$400 \geq 360.$$

Сопротивление кабеля  $r_0 = 0,326 \text{ Ом/км}$ ,  $x_0 = 0,0606 \text{ Ом/км}$ .

Принимая длину кабеля 50 м, получаем сопротивление кабеля:

$$X_{\text{к.}} = X_0 \cdot l_{\text{к}} \quad (14)$$

$$X_{\text{к.}} = (0,0606 \cdot 50) = 3,03 \text{ Ом.}$$

Аналогично ищем активное сопротивление:

$$R_{\text{к.}} = (0,326 \cdot 50) = 16,3 \text{ Ом.}$$

Находим сопротивления трансформатора собственных нужд в относительных базисных единицах:

$$X_{\text{ТСН1}} = X_{\text{ТСН2}} = \frac{U_{\text{к.}}}{100} \cdot \frac{U^2}{S_{\text{н.ТСН}}}, \quad (15)$$

где  $U_{\text{к.}}$  - напряжение короткого замыкания, %,  $U_{\text{к.}} = 6,5 \%$ ;

$S_{\text{н.ТСН}}$  - мощность трансформатора собственных нужд,  $S_{\text{н.ТСН}} = 250 \text{ кВА}$

$$X_{\text{ТСН1}} = X_{\text{ТСН2}} = \frac{6,5}{100} \cdot \frac{0,4^2}{0,25} = 0,042 \text{ Ом.}$$

$$R_{\text{ТСН1}} = R_{\text{ТСН2}} = \frac{\Delta P_{\text{к.}} \cdot U^2}{S_{\text{н.ТСН}}^2}, \quad (16)$$

где  $\Delta P_{\text{к.}}$  - потери активной мощности в трансформаторе при коротком замыкании, кВт,  $\Delta P_{\text{к.}} = 3,68 \text{ кВт}$ ,

$$R_{TCH1} = R_{TCH2^*} = \frac{3,68 \cdot 0,4^2}{250^2} = 0,009 \text{ Ом.}$$

Результирующее реактивное сопротивление до точки К4:

$$X_{рез.4} = X_{рез.2} + \frac{X_{TCH1} + X_{к.}}{2} \quad (17)$$

$$X_{рез.4} = 32,97 + \frac{0,042 + 3,03}{2} = 34,5 \text{ Ом.}$$

Результирующее активное сопротивление до точки К4:

$$R_{рез.4} = \frac{R_{TCH1} + R_{к.}}{2} \quad (18)$$

$$R_{рез.4} = \frac{0,009 + 16,3}{2} = 8,15 \text{ Ом.}$$

Результирующее полное сопротивление до точки К4:

$$Z_{рез.4} = \sqrt{R_{рез.4}^2 + X_{рез.4}^2} \quad (19)$$

$$Z_{рез.4} = \sqrt{8,15^2 + 34,5^2} = 35,45 \text{ Ом.}$$

Преобразованная схема для расчета короткого замыкания до точки К4 представлена на рисунке 8.

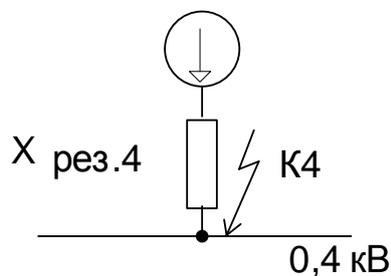


Рисунок 8 - Преобразованная схема до точки К4.

Метод расчета и расчетные формулы аналогичны расчету в пункте 8.2:

$$I_k'' = \frac{230}{\sqrt{3} \cdot 34,5} = 3,84 \text{ кА};$$

$$i_y = \sqrt{2} \cdot 1,82 \cdot 3,84 = 9,9 \text{ кА};$$

$$I_k^{(2)} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot 3,84 = 3,3 \text{ кА}.$$

Рассчитанные данные сводим в таблицу 1.

Таблица 1- Токи короткого замыкания на шинах различного напряжения.

Точка короткого замыкания	$U_{ст,кВ}$	$X_{рез}$	$I_k'', А$	$i_y, А$
К1	230	32,61	4,07	10,47
К2	27,5	32,97	4,02	10,35
К3	11	33,87	3,92	10,08
К4	0,4	34,5	3,84	9,9

## 9 РАСЧЕТ МАКСИМАЛЬНЫХ РАБОЧИХ ТОКОВ ОСНОВНЫХ ПРИСОЕДИНЕНИЙ ПОДСТАНЦИИ

Силовые электрические установки выбирают по условиям максимально длительного режима эксплуатации, сравнением рабочего напряжения и наибольшего длительного периода рабочего тока присоединения, где необходимо монтировать данный агрегат, с его номинальным напряжением и током.

Вычисление наибольших рабочих токов произведем по следующим формулам:

1) Для вводов главных понизительных трансформаторов и вводов линий, ремонтной перемычки 220кВ, А

$$I_{p.max} = \frac{K_{пр} \cdot S_{ТП}}{\sqrt{3} \cdot U_n}, \quad (20)$$

где  $K_{пр}$  – коэффициент перспективы развития потребителей, равный 1,3;

$S_{ТП}$  – максимальная полная мощность подстанции,  $S_{ТП} = 120$  МВА;

$U_n$  – номинальное напряжение на вводе подстанции,  $U_n = 230$  кВ;

2) Для первичной обмотки понижающего трансформатора, А

$$I_{p.max} = \frac{K_{пер} \cdot S_{н.тр}}{\sqrt{3} \cdot U_n}, \quad (21)$$

где  $K_{пер}$  – коэффициент допустимой перегрузки трансформатора, равны 1,5;

3) Для вводов РУ – 27,5 кВ

$$I_{p.\max} = \frac{S_{\max.т}}{\sqrt{3} \cdot U_{н2}} \quad (22)$$

где  $S_{\max.т}$  – максимальная полная мощность на шинах 27,5 кВ,

$$S_{\max.т} = 52460,1 \text{ кВА};$$

$U_{н2}$  – номинальное напряжение вторичной обмотки трансформатора,

$$U_{н2} = 27,5 \text{ кВ};$$

4) Для фидера контактной сети примем  $I_{p.\max}$  наиболее загруженного плеча

5) Для питающей линии ДПР, А

$$I_{p.\max} = \frac{S_{\max.ДПР}}{\sqrt{3} \cdot U_{н2}} \quad (23)$$

где  $S_{\max.ДПР}$  – максимальная полная мощность потребителей системы

$$\text{ДПР, } S_{\max.ДПР} = 442 \text{ кВА};$$

6) Для первичной обмотки ТСН, А

$$I_{p.\max} = \frac{K_{\text{пер}} \cdot S_{\text{н.тр}}}{\sqrt{3} \cdot U_{н2}}, \quad (24)$$

7) Для вводов РУ – 10 кВ, А

$$I_{p.\max} = \frac{S_{\max.рн}}{\sqrt{3} \cdot U_{н3}} \quad (25)$$

где  $U_{н3}$  – номинальное напряжение вторичной обмотки трансформатора низшего напряжения,  $U_{н3} = 11$  кВ;

8) Для сборных шин вторичного напряжения понижающих трансформаторов, цепь секционного выключателя

$$I_{р.мах} = \frac{K_{рнII} \cdot \sum S_{н.тр}}{\sqrt{3} \cdot U_{н3}} \quad (26)$$

где  $\sum S_{н.тр}$  – сумма номинальных мощностей понижающих трансформаторов;

$K_{рнII}$  – коэффициент распределения нагрузки на шинах вторичного напряжения, равный 0,5

9) Для сборных шин РУ – 10 кВ, А

$$I_{р.мах} = \frac{K_{рн} \cdot K_{пр} \cdot S_{мах.рн}}{\sqrt{3} \cdot U_{н3}}, \quad (27)$$

где  $K_{рн}$  – коэффициент распределения нагрузки на шинах вторичного напряжения, равный 0,5;

10) Для районных потребителей 10 кВ:

$$I_{р.мах} = \frac{K_{пр} \cdot P_{мах.рн}}{\sqrt{3} \cdot U_{н3} \cdot \cos\varphi} \quad (28)$$

где  $P_{мах.рн}$  – полная мощность потребителя, кВА;

Расчет максимальных рабочих токов сведем в таблицу 2.

Таблица 2 – Расчет максимальных рабочих токов.

Наименование присоединений и сборных шин	Формула для расчета $I_{p, \max}$	Значение $I_{p, \max}$ , А
1	2	3
Ввода 220 кВ	$\frac{K_{\text{пр}} \cdot S_{\text{ТП}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{н}}}$	$I_1 = \frac{1,3 \cdot 120 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 220} = 409,4$
Первичная обмотка понижающего трансформатора	$\frac{K_{\text{пер}} \cdot S_{\text{н.тр}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{н}}}$	$I_2 = \frac{1,5 \cdot 40000}{\sqrt{3} \cdot 220} = 157,5$
Ввод РУ – 27,5 кВ	$\frac{S_{\text{макс.т}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{н2}}}$	$I_3 = \frac{50687,7}{\sqrt{3} \cdot 27,5} = 1064,2$
Питающая линия (фидер) контактной сети	без расчета	618
Питающая линия (фидер) ДПР	$\frac{S_{\text{макс.ДПР}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{н2}}}$	$I_6 = \frac{1,5 \cdot 442}{\sqrt{3} \cdot 27,5} = 9,3$
Первичная обмотка ТСН	$\frac{K_{\text{пер}} \cdot S_{\text{н.тр}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{н2}}}$	$I_7 = \frac{1,5 \cdot 250}{\sqrt{3} \cdot 27,5} = 8$
Ввод РУ – 10 кВ	$\frac{S_{\text{макс.рн}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{н3}}}$	$I_8 = \frac{56,49}{\sqrt{3} \cdot 11} = 3$
Цепь секционного выключателя	$I_5 = \frac{K_{\text{рн}} \cdot (I_1 - I_2)}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{НОМ}}}$	$I_9 = \frac{1,5 \cdot (409,4 - 157,5)}{\sqrt{3} \cdot 11} = 6,6$
Сборные шины РУ – 10 кВ	$\frac{K_{\text{рн}} \cdot K_{\text{пр}} \cdot S_{\text{макс.рн}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{н3}}}$	$I_{10} = \frac{1,3 \cdot 0,5 \cdot 56,49}{\sqrt{3} \cdot 11} = 2,5$
Районные потребители 10 кВ	$\frac{K_{\text{пр}} \cdot P_{\text{макс.рн}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{н3}} \cdot \cos\varphi}$	$I_{11} = \frac{1703,8}{\sqrt{3} \cdot 11 \cdot 0,93} = 96$

## 10 РАСЧЕТ УСТАВОК РЕЛЕЙНОЙ ЗАЩИТЫ ТРАНСФОРМАТОРА ТДТНЖ-40

Методические указания для выбора уставок дифференциальной защиты трансформатора шкафа типа ШЭ 2607 041 фирмы «ЭКРА»

Пример схема подключения дифференциальной защиты, входящей в состав шкафа ШЭ2607 041, к трансформаторам тока и напряжения приведена на рис.9.1. Данный пример является только наглядным пособием и не имеет ничего общего с проектным заданием.

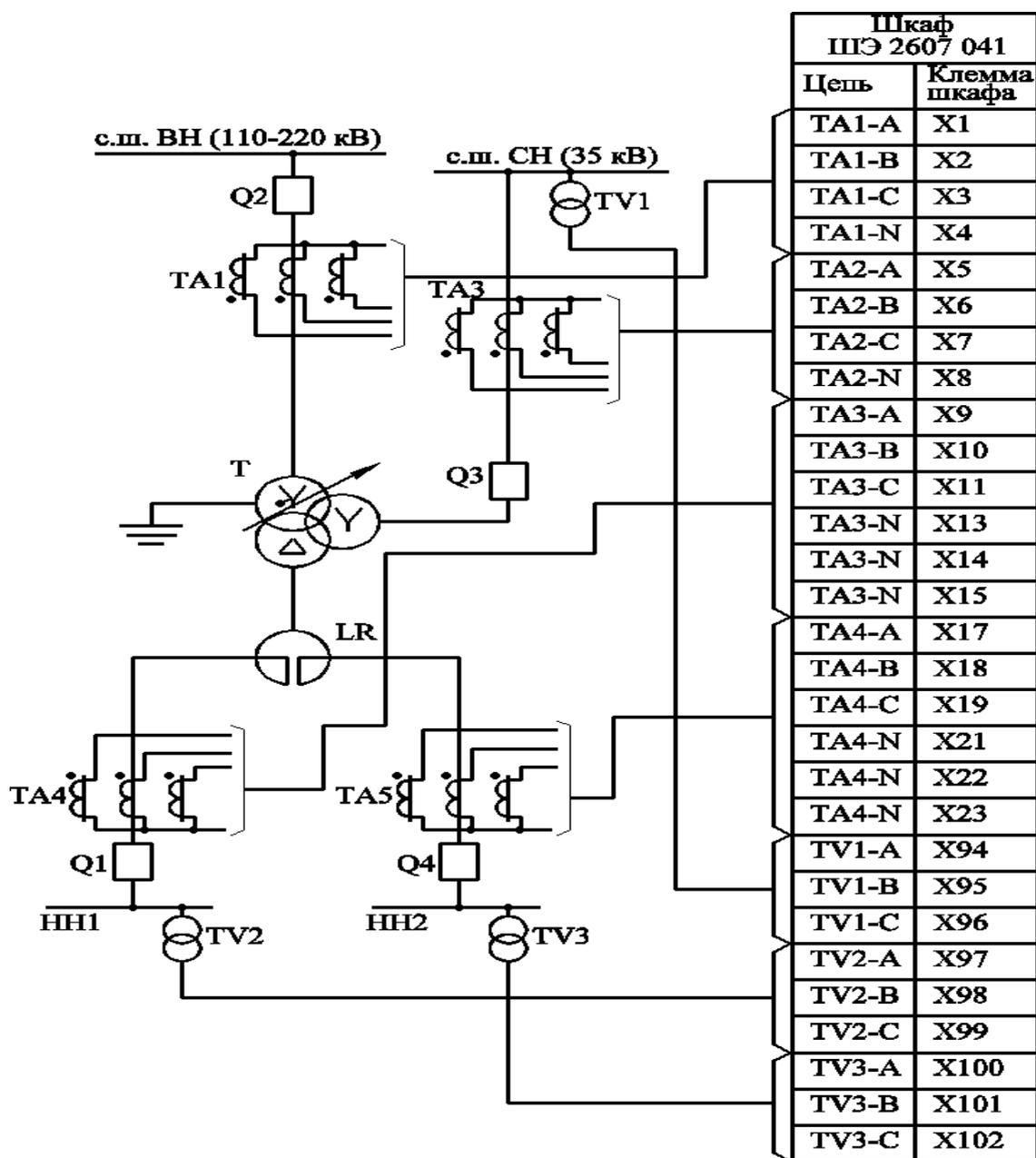


Рис.9.1. Схема подключения шкафа ШЭ2607 041 (комплект А1) к цепям тока и напряжения

Методика выбора уставок в настоящей главе изложена на основании рекомендаций фирмы «ЭКРА» [8].

Трансформаторы тока для каждой из сторон защищаемого трансформатора выбираются на разные номинальные токи и имеют разные коэффициенты трансформации. В результате вторичные токи в плечах дифференциальной защиты различаются по величине.

Силовые трансформаторы могут иметь обмотки, собранные по схемам  $Y/\Delta$  или  $\Delta/Y$ , что приводит к несовпадению по фазам вторичных токов в плечах дифференциальной защиты.

Для правильной работы дифференциальной защиты в микропроцессорных устройствах производится выравнивание вторичных токов по величине и по фазе программным способом.

### **10.1 Выравнивание различий по величине во вторичных токах**

В терминалах фирмы «ЭКРА» выравнивание вторичных токов по величине производится двумя способами:

- грубое выравнивание выполняется выбором числа витков первичной обмотки входных трансформаторов тока терминала;
- точное выравнивание – программным (цифровым) способом.

Входные ТТ терминала имеют число витков первичной обмотки  $w = 16$  витков с отводами от 1 и 4 витков. По значениям  $I_{\text{баз.стор}}$ , рассчитанным по (28.2), выбирается требуемый отвод, руководствуясь следующим:

- при  $w_1=1$  виток, диапазон токов 4,001 – 16,000 А;
- при  $w_1=4$  витка, диапазон токов 1,001 – 4,000 А;
- при  $w_1=16$  витков, диапазон токов 0,251 – 1,000 А.

Таким образом, в терминале обеспечивается грубое выравнивание токов в диапазоне от 0,251 до 16 А.

В случае, если значение тока  $I_{\text{баз}}$  выходит за пределы диапазона, можно использовать внешние выравнивающие трансформаторы или автотрансформаторы (АТ–31 или АТ–32).

Порядок расчета рассматривается для трехобмоточного трансформатора, схема которого приведена на рис. 4.1.

В терминалах в качестве общих уставок вводятся:

- группа соединений защищаемого трансформатора (например, Y/ $\Delta$ -11, Y/Y-0,  $\Delta/\Delta$ -0);
- базисные токи сторон ВН, СН, НН1, НН2 (вторичные токи в плечах дифференциальной защиты);
- наличие (отсутствие) сторон ВН, СН, НН1, НН2.

Вторичные обмотки трансформаторов тока со всех сторон защищаемого трансформатора должны быть собраны по схеме «звезда» (коэффициент схемы трансформаторов тока  $k_{\text{сх}} = 1$ ). Варианты, когда вторичные обмотки трансформаторов тока могут быть собраны в треугольник, в настоящем пособии не рассматриваются.

Номинальные токи для каждой стороны трансформатора, соответствующие его номинальной мощности, находятся по выражению

$$I_{\text{ном.стор}} = \frac{S_{\text{ном}}}{\sqrt{3}U_{\text{ном.стор}}}, \quad (28.1)$$

где  $S_{\text{ном}}$  - номинальная мощность трансформатора;  $U_{\text{ном.стор}}$  - номинальное напряжение стороны для среднего положения РПН.

Базисные токи по сторонам рассчитываются по выражению:

$$I_{\text{баз.стор}} = \frac{I_{\text{ном.стор}}k_{\text{сх}}}{K_I}, \quad (28.2)$$

где  $K_I$  - коэффициент трансформации трансформаторов тока соответствующей стороны;  $k_{сх}$  - коэффициент схемы трансформаторов тока (для «звезды» равен 1).

## 10.2 Расчет первичных токов трансформатора, базисных токов и чисел витков первичных обмоток входных ТТ терминала.

Расчеты выполнены по (28.1), (28.2) и сведены в таблицу 3.

Таблица 3- расчет первичных токов трансформатора, базисных токов и числа обмоток трансформаторов тока

Наименование величины	Обозначение и метод определения	Числовые значения для стороны		
		220 кВ	27,5 кВ	10,5 кВ
Первичный ток на сторонах защищаемого трансформатора, соответствующий его номинальной мощности, А	$I_{\text{ном.стор}} = \frac{S_{\text{ном}}}{\sqrt{3}U_{\text{ном.стор}}}$	$I_{\text{ном.ВН}} = \frac{40000}{\sqrt{3} \cdot 230} = 100,3 \text{ А}$	$I_{\text{ном.СН}} = \frac{40000}{\sqrt{3} \cdot 27,5} = 839,7$	$I_{\text{ном.НН1}} = \frac{40000}{\sqrt{3} \cdot 11} = 2099,4 \text{ А}$
Схема соединения трансформаторов тока	-	$\Delta$	Y	Y
Коэффициент схемы	$k_{сх.ТТ}$	$\sqrt{3}$	1	1
Коэффициент трансформации трансформаторов тока	$K_I$	300/5	1000/5	3000/5
Наименование величины	Обозначение и метод определения	Числовые значения для стороны		
		220 кВ	27,5 кВ	10,5 кВ
Базисные токи по сторонам трансформатора	$I_{\text{баз.стор}} = \frac{I_{\text{ном.стор}} k_{сх}}{K_I}$	$I_{\text{баз.ВН}} = \frac{100,3 \cdot \sqrt{3}}{300/5} = 2,89 \text{ А}$	$I_{\text{баз.СН1}} = \frac{839,7}{1000/5} = 4,19 \text{ А}$	$I_{\text{баз.НН1}} = I_{\text{баз.НН2}} = \frac{2099,4}{3000/5} = 3,499 \text{ А}$
Число витков первичных обмоток входных ТТ терминала	-	$w_1 = 4$	$w_1 = 1$	$w_1 = 4$

### 10.3 Выбор уставок дифференциальной защиты с торможением трансформатора

Определение начального тока срабатывания ДЗТ

Относительный начальный ток срабатывания ДЗТ определяется по (29.1) и (29.2):

$$\begin{aligned} I_{\text{д0 расч}} &= k_{\text{отс}} (k_{\text{пер}} k_{\text{одн}} \varepsilon + \Delta u_{\text{рег}} + \Delta f_{\text{выр}} + \Delta f_{\text{АТ}}) = \\ &= 1,1(2 \cdot 1 \cdot 0,05 + 0,12 + 0,02) = 0,264 \text{ о.е.}, \end{aligned} \quad (29.1)$$

где  $k_{\text{отс}} = 1,1$ ;  $k_{\text{одн}} = 1$ ;  $k_{\text{пер}} = 2$ ;  $\varepsilon = 0,05$ ;  $\Delta u_{\text{рег}} = 0,12$ ;

$$\Delta f_{\text{выр}} = 0,02; \Delta f_{\text{АТ}} = 0.$$

Принимаем значение  $I_{\text{д0}} = 0,3$  о.е.

Определение значение тока начала торможения

Принимаем уставку для начала торможения равной  $I_{\text{т0}} = 1,0$  о.е

Расчет коэффициента торможения

Определяем максимальный первичный ток, проходящий через трансформатор при внешнем КЗ в точке К4, рис. 4.4:

$$I_{\text{КЗmax}}^{(3)} = 4,70 \text{ кА, приведен кВН.}$$

Ток КЗ, есть приведенный к  $U_{\text{ВН}}$ :

$$I_{\text{Кmax}}^{(3)} = 4,04 \cdot \frac{11}{230} = 0,194 \text{ кА} \quad (30)$$

Наибольшее значение сквозного тока при внешнем КЗ в относительных единицах по (6)

$$I_{\text{Кmax}} = \frac{I_{\text{Кmax стоп}}}{K_{I \text{ стоп}} \cdot I_{\text{баз.стоп}}} = \frac{194 \cdot 5}{300 \cdot 2,89} = 1,11 \text{ о.е.} \quad (31)$$

Дифференциальный ток, который равный току небаланса при наибольшем сквозном токе при внешнем КЗ, по (4.13)

$$\begin{aligned} I_{\text{д}} &= (k_{\text{пер}} k_{\text{одн}} \varepsilon + \Delta u_{\text{рег}} + \Delta f_{\text{выр}}) I_{\text{Кмакс}} = \\ &= (2 \cdot 1 \cdot 0,1 + 0,12 + 0,02) \cdot 1,11 = 0,97 \text{ о.е.} \end{aligned} \quad (32)$$

Тормозной ток при внешнем КЗ согласно (4.15)

$$\begin{aligned} I_{\text{т}} &= \sqrt{I_{\text{Кмакс}} (I_{\text{Кмакс}} - I_{\text{д}}) \cdot \cos(180^\circ - \alpha)} = \\ &= \sqrt{1,11(1,11 - 0,97) \cdot \cos 15^\circ} = 0,34 \text{ о.е.} \end{aligned} \quad (33)$$

Вычисляем КФ торможения по (4.16)

$$k_{\text{т}} \geq k_{\text{отс}} \frac{I_{\text{д}} - I_{\text{д0}}}{I_{\text{т}} - I_{\text{т0}}} = 1,1 \cdot \frac{1,152 - 0,264}{2,4 - 1,0} = 0,69 \text{ о.е.} \quad (34)$$

Принимаем  $k_{\text{т}} = 0,7$ . Угол наклона тормозной характеристики  $\alpha$  будет равен  $\alpha = \arctg 0,7 = 35^\circ$ .

Ток торможения блокировки по (6) равен:

$$I_{\text{т.бл}} = k_{\text{отс}} k_{\text{пред.нагр}} \frac{I_{\text{ном.нагр}}}{K_{\text{Истор}} I_{\text{баз.стор}}} = 1,1 \cdot 1,8 \cdot \frac{100,3 \cdot 5}{300 \cdot 2,89} = 1,14 \text{ о.е.} \quad (35)$$

Принимаем  $I_{\text{т.бл}} = 2 \text{ о.е.}$

Базисный уровень блокировки по второй гармонике будет равным  $I_{f2} / I_{f1} = 0,15$  (15 %).

Вычисляем ток срабатывания дифференциальной отсечки

По условию отстройки от броска тока намагничивания при вводе трансформатора принимаем

$$I_{\text{отс}} = 6,5 \text{ о.е.}$$

По условию отстройки от максимального тока небаланса при внешнем КЗ по (4.18)

$$\begin{aligned} I_{\text{отс}} &= 1,5 I_{\text{К max}} (k_{\text{пер}} k_{\text{одн}} \varepsilon + \Delta u_{\text{пер}} + \Delta f_{\text{выр}}) = \\ &= 1,5 \cdot 1,11 \cdot (3 \cdot 1 \cdot 0,1 + 0,12 + 0,02) = 0,732 \text{ о.е.}, \end{aligned} \quad (36)$$

Принимаем  $I_{\text{отс}} = 6,5 \text{ о.е.}$

### 8.6 Проверка чувствительности.

Наименьший ток КЗ при дефекте в точке К1 (рис.1), приведенный к  $U_{\text{ВН}}$  равен

$$I_{\text{К min ВН}}^{(3)} = 4070 \cdot \frac{11}{230} = 194,65 \text{ кА} \quad (37)$$

Чувствительность защиты при двухфазном КЗ на секции НН (точка К4).

$$k_{\text{ч}} = \frac{I_{\text{К min}}^{(3)} \cdot \sqrt{3} / 2}{I_{\text{д0}} \cdot I_{\text{баз.ВН}} \cdot K_{\text{ВН}}} = \frac{194,65 \cdot \sqrt{3} / 2}{0,264 \cdot 2,89 \cdot 300 / 5} = 3,6 > 2 \quad (38)$$

Условие защиты обеспечено  $k_{\text{ч}} > 2$ .

## 11 ЗАЩИТЫ ТРАНСФОРМАТОРОВ ОТ СВЕРХТОКОВ ПРИ ВНЕШНИХ КЗ И ПЕРЕГРУЗОК

Расчет максимальной токовой защиты

МТЗ сторон НН

$$I_{с.з} = \frac{k_{отс} k_{сзп}}{k_{в}} I_{раб.мах} \quad (39)$$

где  $k_{сзп}$  - коэффициент самозапуска, зависит от удаленности и процентного содержания в нагрузке двигателей. Принимаем равным 4÷4,5 для промышленных, 2,5 для городских и 2 для сельских сетей (уточняется расчетом);

$k_{отс}$  - коэффициент отстройки, равен 1,2;

$k_{в}$  - коэффициент возврата, для микропроцессорных защит равен 0,92÷0,95;

$I_{раб.мах}$  - максимальный рабочий ток трансформатора в месте установки защиты.

$$I_{с.з} B_H = \frac{1,2}{0,95} * 100,3 = 126,6$$

$$I_{с.з} C_H = \frac{1,2}{0,95} * 2052 = 2591,9$$

$$I_{с.з} H_H = \frac{1,2}{0,95} * 2099,4 = 2651,8$$

$$k_{ч} = \frac{I_{К(К7)min}^{(2)}}{I_{с.з}} = \frac{4070 * \sqrt{3} / 2}{2651,8} = 1,3 < 1,5 \quad (40)$$

$$I_{\text{с.р}} = \frac{I_{\text{с.з.НН1}}}{K_I} = \frac{2651,8}{3000/5} = 4,41 \text{ А}, \quad (41)$$

ток уставки 4.41 А

Напряжение срабатывания минимального реле напряжения (подключается к трансформаторам напряжения на сторонах НН) согласно (4.30):

$$U_{\text{с.з.НН}} = 0,6U_{\text{номНН}} = 0,6 \cdot 11 = 6,6 \text{ кВ}.$$

Уставка по напряжению

$$U_{\text{с.р.}} = \frac{U_{\text{с.з.}}}{K_U} = \frac{6,6 \cdot 10^3}{11000/100} = 60 \text{ В}, \quad (42)$$

Напряжение срабатывания реле напряжения обратной последовательности по (4.32) равно:

$$U_{\text{2с.з.}} = 0,06U_{\text{ном}} = 0,06 \cdot 11 = 0,66 \text{ кВ}$$

$$U_{\text{2с.р.}} = \frac{U_{\text{2с.з.}}}{K_U} = \frac{0,66 \cdot 10^3}{11000/100} = 0,54 \text{ В}, \quad (43)$$

Время срабатывания МТЗ НН выбирается на ступень селективности  $\Delta t$  больше, чем время действия защиты секционного выключателя.

Время срабатывания МТЗ секционного выключателя:

$$t_{\text{с.з.СВ}} = t_{\text{с.з.отх.прис.}} + \Delta t = 0,4 + 0,3 = 0,7 \text{ с};$$

$$t_{\text{с.з.НН1}} = t_{\text{с.з.НН2}} = t_{\text{с.з.СВ}} + \Delta t = 0,7 + 0,3 = 1,0 \text{ с};$$

где ступень селективности  $\Delta t$  принята равной 0,3 с.

время срабатывания 1 с

Чувствительность МТЗ ВН по току определяется при двухфазном КЗ на секции 10,5 кВ в минимальном режиме (рис. 4.4).

Ток КЗ, приведенный к напряжению  $U_{\text{ВН}}$  равен:

$$I_{\text{К min}}^{(3)} = 4070 \cdot \frac{11}{230} = 194,65 \text{ А}; \quad (44)$$

$$k_{\text{ч}} = \frac{I_{\text{Кmin}}^{(2)}}{I_{\text{с.з}}} = \frac{194,65 \cdot \sqrt{3} / 2}{126,6} = 1,3 > 1,5 \quad (45)$$

Для пуска МТЗ ВН по напряжению используются два пусковых органа напряжения от защит МТЗ НН

Вторичный ток срабатывания МТЗ ВН равен:

$$I_{\text{с.р.ВН}} = \frac{I_{\text{с.з.ВН}}}{K_{\text{IВН}}} = \frac{126,6}{300/5} = 2,11 \text{ А}, \quad (46)$$

$$I_{\text{уст.МТЗВН}} = 2,11 \text{ А}.$$

Время срабатывания МТЗ ВН выбирается на ступень селективности  $\Delta t$  больше, чем время действия защиты стороны НН

$$t_{\text{с.з.ВН}} = t_{\text{с.з.НН}} + \Delta t = 1,0 + 0,3 = 1,3 \text{ с}.$$

МТЗ СН

Мощность трансформатора в нормальном режиме составляет

$$0,7S_{\text{НОМ}}.$$

Максимальный рабочий ток с учетом АВР

$$I_{\text{раб. max}} = 0,7I_{\text{НОМ}} + k_{\text{сзп}} \cdot 0,7I_{\text{НОМ}} = 0,7 \cdot 839,7 + 2,5 \cdot 0,7 \cdot 839,7 = 2052 \text{ А}$$

$$I_{\text{с.з.снI}} = \frac{1,2}{0,95} \cdot 2052 = 2591,9 \text{ А}; \quad (47)$$

где :  $k_{\text{отс}} = 1,2$ ;

коэффициент самозапуска  $k_{\text{сзп}}$  принят равным 2,5;

коэффициент возврата  $k_{\text{в}} = 0,95$ .

Чувствительность защиты определяется при двухфазном КЗ на секции в минимальном режиме (точка К7, рис.4.4). Ток КЗ равен  $I_{\text{КЗ.min}} = 10660 \text{ кА}$  (приведен к  $U_{\text{НН}}$ ).

$$k_{\text{ч}} = \frac{I_{\text{К(К7)min}}^{(2)}}{I_{\text{с.з}}} = \frac{4070 \cdot \sqrt{3} / 2}{2591,9} = 1,3 < 1,5 \quad (48)$$

МТЗ стороны СН выполняется с пуском по напряжению.

Ток срабатывания МТЗ СН с пуском по напряжению согласно (4.29):

$$I_{с.з.СН1} = \frac{k_{отс}}{k_B} I_{ном} = \frac{1,2}{0,95} \cdot 2052 = 2591,9 \text{ А.} \quad (49)$$

Вторичный ток срабатывания МТЗ СН (уставка):

$$I_{с.р} = \frac{I_{с.з.НН1}}{K_I} = \frac{2591,9}{1000/5} = 12,5 \text{ А,} \quad (50)$$

$$I_{уст.МТЗ СН1} = 12,5 \text{ А.}$$

Напряжение срабатывания минимального реле напряжения (подключается к трансформаторам напряжения на сторонах СН) согласно (4.30):

$$U_{с.з.ВН} = 0,6U_{номНН} = 0,6 \cdot 27,5 = 16,5 \text{ кВ.}$$

Уставка по напряжению

$$U_{с.р.} = \frac{U_{с.з.}}{K_U} = \frac{16,5 \cdot 10^3}{27500/100} = 60 \text{ В,} \quad (51)$$

Напряжение срабатывания реле напряжения обратной последовательности по (4.32) равно:

$$U_{2с.з.} = 0,06U_{ном} = 0,06 \cdot 27,5 = 1,65 \text{ кВ}$$

$$U_{2с.р.} = \frac{U_{2с.з.}}{K_U} = \frac{1,65 \cdot 10^3}{27500/100} = 6 \text{ В,} \quad (52)$$

Время срабатывания МТЗ СН выбирается на ступень селективности  $\Delta t$  больше, чем время действия защиты секционного выключателя.

Время срабатывания МТЗ секционного выключателя:

$$t_{с.з.СВ} = t_{с.з.отх.прис.} + \Delta t = 0,4 + 0,3 = 0,7 \text{ с;}$$

$$t_{\text{с.з.НН1}} = t_{\text{с.з.НН2}} = t_{\text{с.з.СВ}} + \Delta t = 0,7 + 0,4 = 1,1 \text{ с};$$

где степень селективности  $\Delta t$  принята равной 0,4 с.

## 12 РАСЧЕТ ЗАЩИТЫ ОТ ПЕРЕГРУЗКИ

Защита от перегрузки стороны НН (подключается к трансформаторам тока стороны НН):

$$I_{с.з.НН1} = I_{с.з.НН2} = \frac{k_{отс}}{k_{\epsilon}} \cdot I_{ном.НН} = \frac{1,2}{0,95} \cdot 2099,4 = 2651,8 \text{ А} \quad (53)$$

Защита от перегрузки стороны СН (подключается к трансформаторам тока стороны СН):

$$I_{с.з.СН} = \frac{k_{отс}}{k_{\epsilon}} \cdot I_{ном.СН} = \frac{1,2}{0,95} \cdot 2052 = 2591,9 \text{ А} , \quad (54)$$

Защита от перегрузки стороны ВН (подключается к трансформаторам тока стороны ВН):

$$I_{с.з.ВН} = \frac{k_{отс}}{k_{\epsilon}} \cdot I_{ном.ВН} = \frac{1,2}{0,95} \cdot 100,3 = 126,6 \text{ А} ,$$

(55)

где коэффициент отстройки принят равным  $k_{отс} = 1,2$ ; коэффициент возврата  $k_{\epsilon} = 0,95$ .

Уставки защиты

$$\begin{aligned} I_{с.р.НН1} &= \frac{I_{с.з.НН}}{K_{IНН}} = \frac{2651,8}{3000/5} = 4,41 \text{ А} \\ I_{с.р.СН} &= \frac{I_{с.з.СН}}{K_{IВН}} = \frac{2591,9}{1000/5} = 12,95 \text{ А} \\ I_{с.р.ВН} &= \frac{I_{с.з.ВН}}{K_{IВН}} = \frac{126,6}{300/5} = 2,11 \text{ А} \end{aligned} \quad (56)$$

Защиты от перегрузки действуют на сигнал с выдержкой времени 9 с.

### 13 МИКРОПРОЦЕССОРНАЯ ЗАЩИТА СБОРНЫХ ШИН ТИПА ШЭ2607 061

На сегодняшний день период в качестве защит шин электро станций и больших подстанций используются, в основном дифференциальные токовые защиты с торможением. КЗ в шинах подстанций, произведенных согласно простым схемам, выключаются дополнительными защитами питающих присоединений. Для охраны шин напряжением 110 – 220 кВ распределительных устройств (РУ) с зафиксированным присоединением компонентов компания «ЭКРА», г. Чебоксары изготавливает шкафы вида ШЭ 2607061 [13]. Шкаф способен использоваться в РУ с двойной системой шин, двойной системой шин с обходной и двойной секционированной системой с обходной. Присутствие данного количества присоединений никак не влияет на количество не более 18-ти. Схема защищаемых шин представлена на рис. 5.1. Присоединения Q1 (ШСВ), Q3 (СВ1) и Q4 (СВ2) сделаны с жесткой фиксацией. С целью присоединений Q5 (обходной выключатель), Q17 и Q18 возможно изменять фиксацию с одной системы шин в иную с поддержкой переключателя, принятого в дверях шкафа. Закрепление других присоединений Q6 – Q16 задается проектом и способен изменяться с поддержкой монитора и клавиатуры.

Дифференциальная защита шин обладает 18 входов с целью подсоединения к 18 трехфазным группам трансформаторов тока, при этом коэффициенты изменения у единичных присоединений имеют все шансы являться разными.

В охране учтена роль выравнивания разных коэффициентов изменения трансформаторов тока.. Точность выравнивания  $\pm 3\%$ .

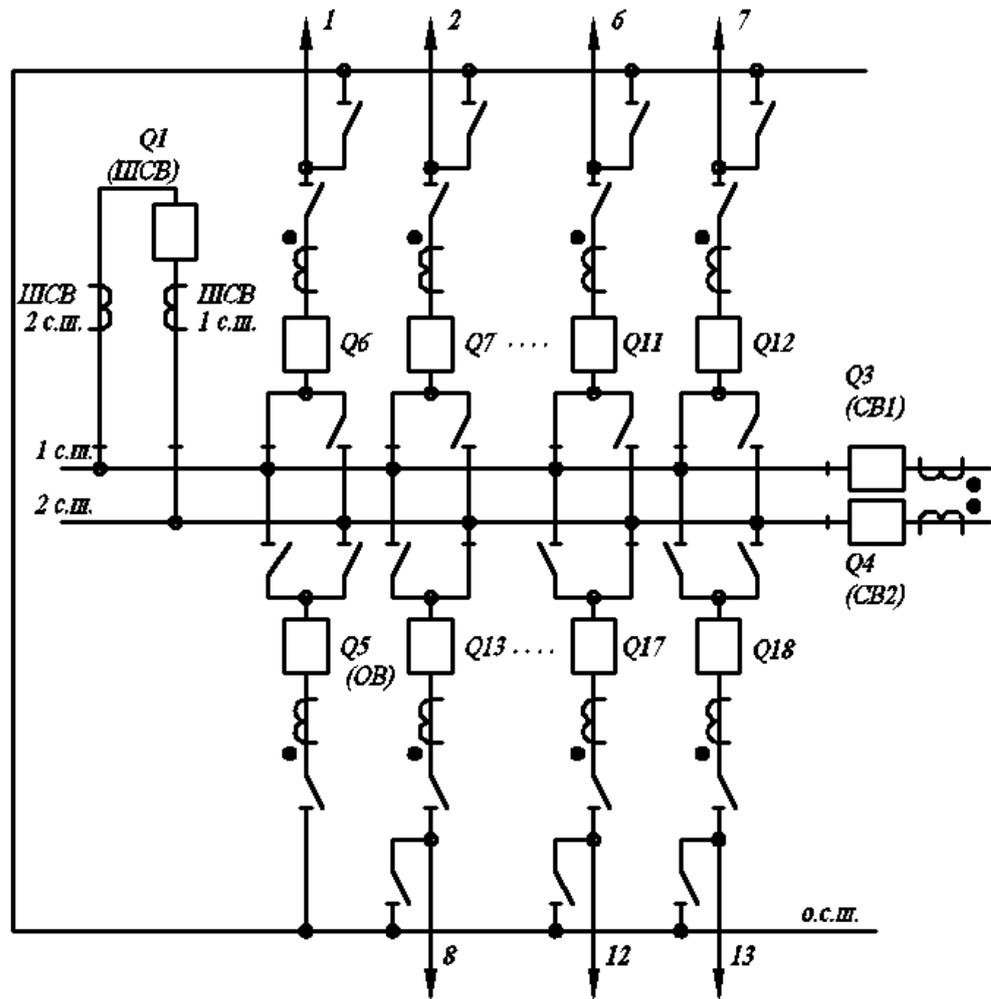


Рис 10.1. Схема распределительного устройства с двумя системами сборных шин и с обходной системой шин.

Данная система защиты действует при всех видах КЗ. Защита выполняется пофазной. В шкафу устанавливаются три терминала БЭ2704 061. Каждый обеспечивает надежную защиту своей фазы сборных шин.

Схема защиты приведена на рис.5.2.

Защита содержит пусковой орган (ПО), действующий при КЗ на I и II системах шин, и избирательные органы первой (ИО1) и второй (ИО2) систем шин, которые определяют поврежденную систему шин.

Отключение поврежденной системы шин выполняется, если срабатывает пусковой орган и избирательный орган поврежденной системы шин.

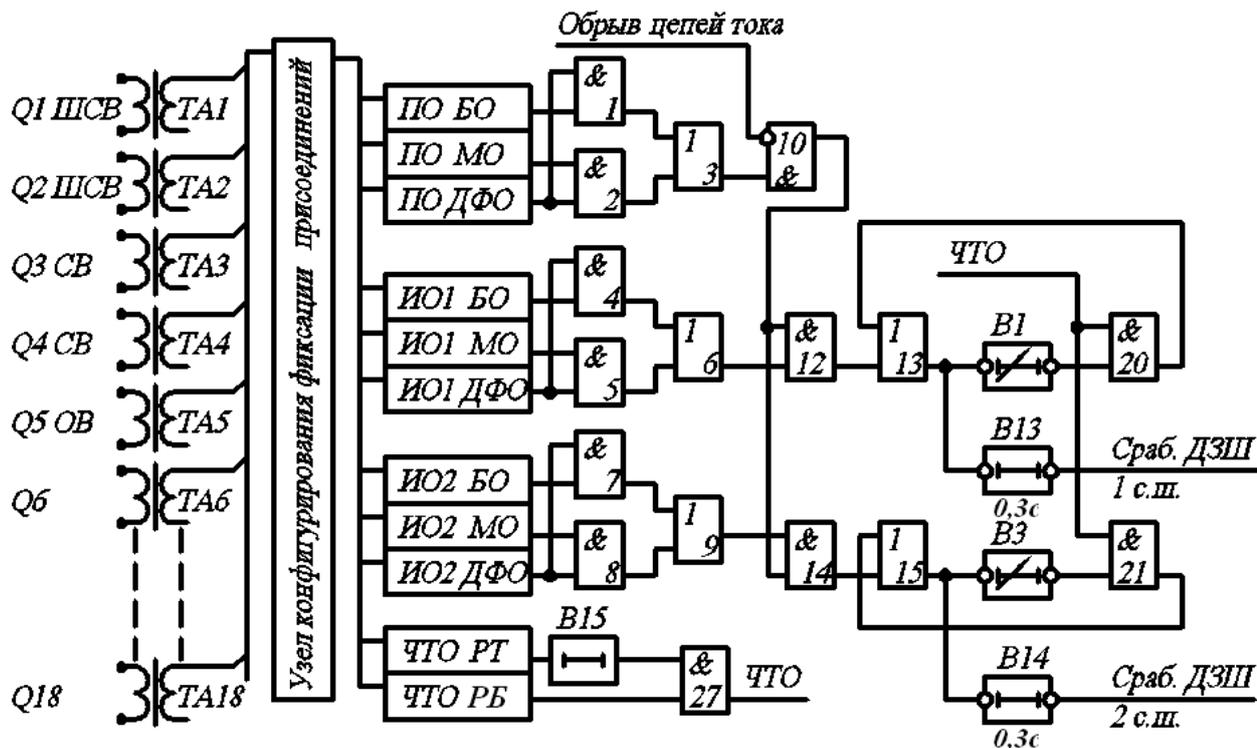


Рис. 10.2. Упрощенная функциональная схема дифференциальной защиты сборных шин.

Пусковой отдел путем через промежуточные трансформаторы тока введен на токи абсолютно всех присоединений двух систем шин, за отсутствием ШСВ. Селективные аппараты 1 (ИО1) и 2-ой (ИО2) систем шин включают в токи присоединений, фиксированных в I либо II систему шин. Закрепление присоединений выполняется согласно уставкам (программно) с поддержкой участка конфигурирования регистрации присоединений. Для воздействия в выключение в порядке опробования, в этом количестве и присутствии проваленном АПВ шин, в защите применяется восприимчивый токовый аппарат (ЧТО), какой обладает наиболее значительную восприимчивостью, нежели пусковой аппарат. Данное обусловлено тем, то что в порядке опробования в неустранившееся

КЗ станет вводиться только

лишь один соединение и электроток КЗ способен являться существенно меньше, нежели присутствие стандартной схеме сортировочного прибора. Реле тока ДЗШ состоят из следующих узлов (рис.5.2):

- формирователя дифференциального и тормозного сигналов;
- быстродействующего органа БО;
- медленнодействующего органа МО;
- дифференциально-фазного органа ДФО.

В защите формируется дифференциальный ток с учетом принятых положительных направлений токов к шинам как модуль геометрической суммы всех токов, поступающих на вход реле:

$$I_{\text{д}} = \left| \dot{I}_1 + \dot{I}_2 + \dots + \dot{I}_n \right|. \quad (57.1)$$

Тормозной ток рассчитывается как полусумма модулей всех токов, поступающих на вход реле ДЗШ,

$$I_{\text{т}} = 0,5 \sum_1^n \left| \dot{I}_n \right|. \quad (58.2)$$

Чувствительный токовый орган состоит из реле тока (ЧТО РТ) и блокирующего реле ЧТО РБ, включенных по логической схеме «И», (элемент 27).

Реле тока ЧТО РТ принимает уставку по току реагирования, а блокирующее реле ЧТО РБ сохраняет отстройку от небаланса, возникающего от бросков тока намагничивания при коммутации трансформаторов.

При потере контакта и других дефектах во вторичных цепях трансформаторов тока возрастает ток небаланса в дифференциальных реле. Для нахождения повреждений предусмотрены реле контроля, которые запускаются в цепи реле ПО, ИО1 и ИО2, (на схеме не показаны). При

срабатывании реле контроля проходит сигнал «неисправность цепей тока» и блокировка защиты, для чего сигнал проходит на запрещающий вход устройства И10, (рис. 5.2).

## 14 РАСЧЕТ МИКРОПРОЦЕССОРНОЙ ЗАЩИТЫ СБОРНЫХ ШИН

Микропроцессорные защиты никак не предъявляют строгих условий согласно равенству коэффициентов изменения высоковольтных трансформаторов тока у абсолютно всех присоединений. Трансформаторы тока имеют все шансы выходить согласно номинальным токам присоединений. Подобранные коэффициенты изменения трансформаторов тока указываются в карте заказа шкафа ДЗШ. В защите выполняется корректировка второстепенных токов присутствие разных коэффициентах изменения трансформаторов тока присоединений в согласовании с картой заказа. Достоверность выравнивания никак не более  $\pm 3\%$  с базового тока. Дифференциальная охрана по крышкам сделана с торможением с полусуммы модулей токов в автотормозной цепочки микрореле. Тормозная оценка охраны повергнута в знак.

5.3. Возлюбленная заключается с 2-ух зон – горизонтального и косоуго. Первоначальное водопрямое место задается током срабатывания  $I_{д0}$ .

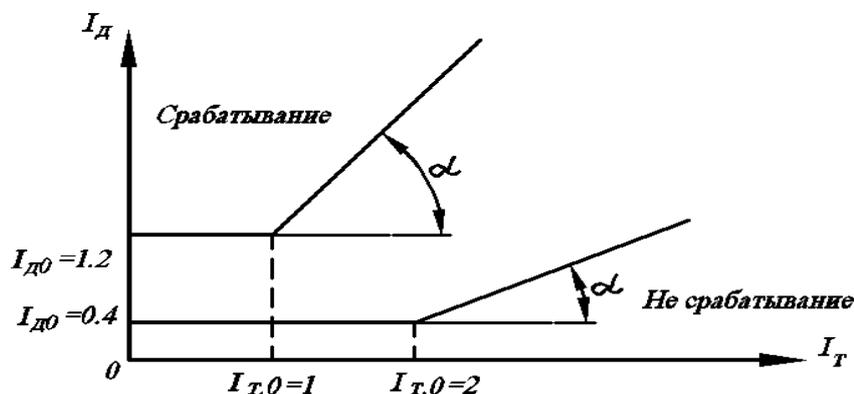


Рис. 10.3. Тормозная характеристика дифференциальной защиты сборных шин.

Расчет защиты выполняется в следующем порядке.

Расчет ДЗШ

Максимальный сквозной ток через шины 220 кВ  $I_{скв. max} = 1210$  А.

Коэффициенты трансформации трансформаторов тока для всех присоединений приняты одинаковыми и равны

$$K_I = 1000/1.$$

Максимальный ток трехфазного КЗ при повреждении на шинах

$$I_{K1 max}^{(3)} = 10,47 \text{ кА.}$$

Ток КЗ от одного присоединения

$$I_{K1 W1}^{(3)} = 4,071 \text{ кА.}$$

Фиксация присоединений в нормальном режиме следующая:

Блок № 1 - 1 с.ш.

Блок № 2 - 2 с.ш.

АТ может присоединяться как к 1, так и ко второй системе шин. Поэтому для него выбираем ячейку № 17 (Q17), при этом фиксация присоединения может меняться с первой системы шин на вторую с помощью переключателя, установленного на дверях шкафа.

Фиксация обходного выключателя также выбирается с помощью переключателя.

Фиксация остальных присоединений задается программно и может меняться уставкой с помощью дисплея и клавиатуры.

Расчет.

За базисный ток принят вторичный ток самого мощного присоединения (блок генератор-трансформатор)

$$I_{баз} = \frac{I_{нагр \cdot max}}{K_I} = \frac{997,24 \cdot 1}{1000} = 0,99 \text{ А.} \quad (59)$$

Дифференциальная защита шин выполнена с торможением от полусуммы модулей токов в тормозной цепи реле ( $0,5 \sum I_{*T}$ ).

Тормозная характеристика защиты приведена на рис. 5.3.

1. Начальный ток срабатывания дифференциальной защиты  $I_{д0}$  выбирается по условию отстройки от тока нагрузки самого мощного присоединения (отстройка от обрыва токовых цепей):

$$I_{д0} = 1,2 I_{баз} = 1,2 \cdot 0,99 = 1,19 \text{ А,}$$

где  $I_{баз}$  – номинальный ток самого мощного присоединения (присоединения с наибольшим коэффициентом трансформации трансформаторов тока).

Начальный ток срабатывания избирательных органов ИО1 и ИО2 выбирается равным

$$I_{д0(ИО1)} = I_{д0(ИО2)} = 0,4 I_{баз} = 0,4 \cdot 0,99 = 0,35 \text{ А.}$$

Уставка по начальному току срабатывания изменяется в пределах от 0,4 до 1,2 о.е. (в долях от базисного тока).

$$\text{Примем } I_{д0(ИО1)} = I_{д0(ИО2)} = \frac{0,44}{0,99} = 0,4 \text{ о.е.}$$

$$I_{д0} = \frac{1,19}{0,99} = 1,2 \text{ о.е.}$$

2. Длина горизонтального участка, при котором торможение отсутствует, задается уставкой начального тока торможения  $I_{т0}$ . Она не должна быть больше тормозного тока, протекающего через шины, с учетом максимальной перегрузки:

$$I_{т0} \leq k_{отс} I_{скв.маx} / I_{баз} = \frac{1,5 \cdot 1210 \cdot 1}{1000 \cdot 0,99} = 1,83 \text{ о.е. ,}$$

где  $k_{отс}$  выбирается в пределах  $1,1 \div 1,5$ ;

$I_{скв.маx}$  – максимальный сквозной ток нагрузки, протекающий через шины, равен 1210 А.

Уставка по длине начального участка тормозной характеристики регулируется в пределах от 1 до 2 в долях от базисного тока.

Принимаем  $I_{T0} = 1,83$  о.е.

3. Коэффициент торможения (наклон характеристики второго участка) выбирается по условию отстройки от тока небаланса при максимальном токе внешнего КЗ:

$$k_{\tau} = \frac{k_{отс} \cdot I_{*нб,расч} - I_{*д0}}{(0,5 \sum I_{*т}) - I_{*т0}} = \frac{1,5 \cdot 2,91 - 1,2}{12,6 - 1,83} = 0,484, \quad (59)$$

где коэффициент отстройки  $k_{отс} = 1,5$ ;

ток небаланса равен

$$I_{*нб,расч} = (k_{апер} \cdot \varepsilon + k_{выр}) \frac{I_{Квн.мах}}{I_{баз}} = (2 \cdot 0,1 + 0,03) \frac{10470 \cdot 1}{1000 \cdot 0,99} = 2,43 \text{ о.е.} \quad (60)$$

полусумма тормозных токов

$$0,5 \sum I_{*т} = \frac{I_{Квн.мах}}{I_{баз}} = \frac{10470 \cdot 1}{1000 \cdot 0,99} = 10,5 \text{ о.е.}, \quad (61)$$

$I_{*д0}$  – относительное значение начального тока срабатывания защиты, равно 1,2;

$I_{*т0}$  – относительное значение тока начала торможения;

$k_{апер}$  – коэффициент, учитывающий переходный процесс, принимается равным 2;

$\varepsilon = 0,1$  – допустимая погрешность трансформаторов тока;

$k_{выр} = 0,03$  – погрешность выравнивания вторичных токов;

$I_{Квн.мах}$  – максимальное значение тока внешнего КЗ (максимальный режим, как правило, при трехфазном КЗ).

Уставка по коэффициенту торможения регулируется в пределах от 0,2 до 1,2.

Примем  $k_T$  равным 0,4 о.е. Коэффициент торможения  $k_T$  равен тангенсу угла наклона тормозной характеристики. Отсюда угол наклона  $\alpha$  равен

$$\alpha = \arctg k_T = \arctg 0,4 = 22^\circ.$$

4. Уставка чувствительного токового органа (ЧТО) выбирается по условию обеспечения требуемой чувствительности в режиме опробования

$$I_{с.р.ЧТО} = \frac{I_{K \min \text{ присоед.}}}{k_{ч.треб} \cdot I_{баз}} = \frac{4071}{1,5 \cdot 1000 \cdot 0,99} = 2,7 \text{ о.е.} \quad (62)$$

где  $I_{K \min \text{ присоед.}}^{(2)}$  – минимальный ток КЗ от присоединения, которым производится опробование системы шин;

$$I_{K \min \text{ присоед.}}^{(2)} = \sqrt{3} / 2 \cdot 1970 \text{ А.}$$

$k_{ч.треб} = 1,5$  – требуемый коэффициент чувствительности.

Уставка по току срабатывания ЧТО регулируется в пределах от 0,2 до  $1,0 I_{баз}$ .

5. Реле контроля исправности цепей переменного тока отстраивается от тока небаланса максимального нагрузочного режима. Ток срабатывания реле от обрыва цепей тока равен

$$I_{с.р.обр.} \geq k_{отс} \cdot (\varepsilon_{н.р.} + k_{выр}) \frac{I_{скв.макс}}{I_{баз} \cdot K_I} = ; \quad (63)$$

$$= 1,2 \cdot (0,03 + 0,03) \frac{1210 \cdot 1}{1000 \cdot 0,99} = 0,08 \text{ о.е.}$$

где  $k_{отс} = 1,2$  – коэффициент отстройки;

$\varepsilon_{н.р.} = 0,03$  – погрешности трансформаторов тока в нормальном режиме.

Принимаем  $I_{с.р.обр.} = 0,08$  о.е.

Уставка по току срабатывания реле регулируется в пределах от 0,04 до  $0,2 I_{\text{баз}}$ .

Рассчитанные уставки защиты.

Уставки задаются в относительных единицах (в долях от базисного тока).

Базисный ток  $I_{\text{баз}} = 0,99 \text{ А}$ .

Начальный ток срабатывания защиты  $I_{\text{д0}} = 1,1 \text{ А}$ , уставка  $I_{\text{д0}^*} = 1,2 \text{ о.е.}$

Начальный ток срабатывания избирательных органов  $I_{\text{д0(ИО1)}} =$   
 $= I_{\text{д0(ИО2)}} = 0,35 \text{ А}$ . Уставка  $I_{\text{д0}^*} = 0,4 \text{ о.е.}$

Длина горизонтального участка тормозной характеристики  $I_{\text{T0}} =$   
 $1,83 \text{ о.е.}$

Коэффициент торможения  $k_{\text{T}} = 0,4 \text{ о.е.}$

Ток срабатывания чувствительного токового органа (ЧТО)  $I_{\text{с.р.ЧТО}} = 0,2$   
 $\text{о.е.}$

Ток срабатывания реле контроля исправности цепей тока  $I_{\text{с.р.обр}} = 0,08$   
 $\text{о.е.}$

## 15 УСТРОЙСТВО УРОВ

Защита и автопррматика управпапления для ШСВ, СВ1 и СВ2 может быть выполнена с помопопщью шкафа ШЭ2607 015, содерпопжащего один комппоплект индивидупопдуального УРОВ. Для остапопльных присоепопдинений предусмопатривается как минимум два комплекта индивидуального УРОВ. Поэтому присоединения ШСВ, СВ1 и СВ2 не имеют дублирпопующего комппоплекта УРОВ.

Для обеспечения резервирования в шкафу ШЭ2607 061 предусмотрено три комплекта УРОВ для ШСВ, СВ1 и СВ2. Функция УРОВ для этих выключателей реализует принцип индивидуального устройства, причем возможно выполнение универсального УРОВ как по схеме с дублированным пуском, так и по схеме с автоматической проверкой исправности выключателя. Каждый из комплектов УРОВ обеспечивает действие на отключение резервируемого выключателя без выдержки времени, а затем с выдержкой времени - действие на отключение смежных выключателей и запрет АПВ.

2.3. Опробование Опробование рабочих систем шин (например, после ремонта) возможно с помощью шиносоединительного (Q1) или секционного (Q3, Q4) выключателя, а также с помощью выключателей четырех заранее выбранных линий, которые в схеме ДЗШ включены на при- соединения Q6...Q9. Опробование обходной системы шин выполняется обходным выключателем (Q5) от одной из рабочих систем шин.

Логическая схема опробования обеспечивает выбор включаемого выключателя и возможность его отключения в течение заданного времени при срабатывании пускового органа, ЧТО или токовых реле РТ1, РТ2, РТ3. Опробование рабочей или обходной системы шин обходным выключателем производится при "открытом плече" ДЗШ соответствующего выключателя, поэтому для предотвращения излишнего срабатывания ДЗШ при КЗ на

опробуемой системе (секции) шин формируется сигнал запрета срабатывания ДЗШ на время опробования.

Аналогичным образом при опробовании рабочей системы шин ШСВ или рабочей секции секционным выключателем формируется сигнал запрета срабатывания ДЗШ на время опробования, поскольку в данном режиме ДЗШ (пусковой и избирательные органы) не сбалансирована, и возможно излишнее срабатывание при КЗ на опробуемой системе шин. Предусмотрена возможность опробования присоединений Q1, Q3 и Q4 без "открытия" плеча с использованием чувствительных реле тока РТ1, РТ2, РТ3. ЭКРА.656453.034 РЭ Редакция от 06.07.2016 30 2.4. Цепи запрета АПВ В шкафу предусмотрены логические цепи запрета АПВ в режимах после неуспешного АПВ, неполнофазного или полнофазного отказа выключателя, при отключении от УРОВ, а также оперативный запрет АПВ при срабатывании ДЗШ.

Для определения данных режимов в схеме шкафа предусмотрены органы напряжения первой и второй систем шин, а также логика запрета АПВ. На выходе схемы запрета АПВ подключаются реле, которые обеспечивают запрет АПВ всех присоединений.

## 15.1 Выбор уставок УРОВ

Роль УРОВ ШСВ, СВ1, СВ2 шкафа осуществляет правило персонального аппарата, при этом программа УРОВ сделана многоцелевой и вероятное осуществление УРОВ равно как согласно схеме с дублированным запуском, таким образом и согласно схеме с механической ревизией исправности выключателя. Предпочтение принципа воздействия УРОВ выполняется с поддержкой программируемых накладок ХВ9, ХВ11, ХВ13. В доли развития выходов отключения любой с комплектов УРОВ обеспечивает влияние в доотключение резервируемого выключателя, а далее с выдержанностью периода - влияние в выключение соседних выключателей. Заключение воздействия УРОВ в доотключение резервируемого выключателя (влияние УРОВ “на себя”), присутствие труде согласно схеме с дублированным запуском, выполняется с поддержкой предрешаемых накладок ХВ10, ХВ12, ХВ14. Для УРОВ следует подобрать уставки согласно цитате периода воздействия в сключение соседних выключателей и согласно току срабатывания микрореле тока. В согласовании с персональным принципом выполнения, любой УРОВ обладает самообладание периода, требуемую с целью регистрации несогласия выключателя. Это дает возможность отказаться с лишними резервов согласно цитате периода, какие учитывается в централизованных УРОВ с единой выдержанностью периода. Помимо этого, следует обладать в типе, то что мебель сделан в нынешней микропроцессорной основе и гарантирует зна

чительную достоверность отсчета периода.

В взаимосвязи с больше описанным, выдержанность периода УРОВ способен являться выбра- в в спектре с 0,2 вплоть до 0,3 с, то что делает лучше требование сбережения стабильности энергосисте- я. Микрореле тока УРОВ специализировано с целью возврата схемы УРОВ присутствие нехватке несогласия выключателя и с целью установления отказавшего выключателя либо КЗ в области среди выключателем и трансформатором тока с мишенью подбора тенденции воздействия приборы. Электроток срабатыван- ия микрореле тока

УРОВ обязан выходить согласно способности наименьшим.

Рекомендо- комнатное значимость тока срабатывания в спектре с 0,05 вплоть до 0,1 с базового тока. В отдель- ных вариантах имеют все шансы появиться вспомогательные лимитирования согласно предпочтению н аименьшей распорядок- энергия согласно току срабатывания микрореле тока УРОВ (отстройка с токов посредством ёмкостные делители и т.д.), какие обязаны предусматриваться проектировщиками присутствием под бора уставок.

## 16 БЕЗОПАСНОСТЬ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ НА ПРОИЗВОДСТВЕ

Электроснабжение объектов железнодорожного транспорта может выполняться подобно с использованием воздушных черт электропередач, беспричинно и с поддержкой кабельных черт. Воздушная черта электропередачи - структура ради передачи электроэнергии сообразно проводам, которые представляют собой наибольшую риск. Даже отключенная через электропитания воздушная черта находится перед наведенным старанием. Сей действие появляется ввиду электромагнитного давления для отключенную черту либо контактной пути электрифицированной железной улицы переменного тока. При падении для почву ненамеренно оборванного электрического провода, присутствие пробое изоляции для почву в электрической установке. Образуется зона растекания токов замыкания. Таким видом, ключами допустимого поражения людей электрическим током для рабочих пространствах могут являться неисправности в сетях электроснабжения, в электрооборудовании машин и механизмов, незнание либо неисполнение исправлял электробезопасности. Электробезопасность - порядок организационных, правовых и технических границ, обеспечивающих охрану тружеников через противодействия электрического тока.

### 16.1 Техника безопасности на тяговой подстанции

Характеристика факторов, обозначающих положения труда для тяговых подстанциях Средства охраны, орудия и орудие, употребляемые присутствие обслуживани и электроустановок, должны подчиняться осмотру и дознаниям.

Персонал электрохозяйства обязан руководствоваться инструкциями согласно защите труда, устанавливающими требования безопасности при выполнении работ в электроустановках и для электрооборудования в объеме, обязательном для работников данной обязанности (профессии). Инструкции разрабатываются в соответствии с «Расположением о разработке инструкции согласно защите труда».

Каждый рабочий электрохозяйства должен знать и выполнять требования безопасности труда, касающиеся обслуживания оборудования и организации труда для рабочего пространства.

Тяговая подстанция является объектом, который обязан обеспечивать требования безопасности и экологии. При эксплуатации

ТП для работников действуют рискованные и вредные факторы. Вредным производственным фактором является причина, влияние которой для человека ведет к появлению и развитию заболеваний и снижению работоспособности. Ненадежными факторами являются такие, которые, действуя для человека, могут привести к тяжелым травмам либо смертельному исходу. Рискованные и вредные производственные факторы подразделяются на следующие группы:

- физические;
- химические;
- биологические;
- психофизиологические.

К вредным физическим факторам, действующим для работников ТП, относятся гул, электромагнитные поля, недостаточное и некачественное освещение, несоответствие нормам показателей микроклимата в помещении, вредные туманы аккумуляторной батареи,

трансформаторное масло и т.д.  
К рискованным факторам действующим для тружеников ТП, относятся процесс для устройство человека электрического тока, дело для вышине, дело близко электроподвижного круга, дело с грузоподъемными механизмами и инструментами, приводы которых заключают сильные причины.

Требования производственной санитарии  
Анализ опасности поражения электрическим током сводится к определению значений тока, протекающего путем тело человека в разных положениях.

Опасность поражения зависит через круга факторов:

1. Старание путы.
2. Способ тока в теле человека.
3. Схемы одной путы.
4. Порядка поделки ее нейтрали.
5. Ступени изоляции токоведущих долей через почвы.
6. Емкости токоведущих долей условно почвы.

Электрический ток, учащий путем тело человека, причиняет термическое, электролитическое и биологическое влияние.

Нормирование исполняется сообразно ГОСТ-12.03.82, охрана обеспечивается выполнением круга организационных и технических мероприятий. Эти мероприятия страхуют электробезопасность круга присутствие обслуживани и

электроустановок, избавляет ложные производства круга присутствие эксплуатации электрооборудования. Труженики ТП подчиняются ежегодной проверке умений ПТЭ и ПТБ, с ними проводятся занятия сообразно тех-учебе и противоаварийные тренировки. Электрическое поле частотой 50 Гц и напряженностью до 5 кВ/м не оказывает на организм человека вредного воздействия, поэтому время пребывания персонала в нем не нормируется. При напряженности более 5 кВ/м время пребывания регламентируется

ГОСТ-112.1.002-84. В электрическом поле постоянного тока напряженностью менее 20 кВ/м время пребывания не ограничено при применении средств защиты. При напряжении выше 25 кВ/м максимальное время в электроустановках не должно превышать 3 часа. Защиту обеспечивают рациональной организацией труда и применением защитных экранов.

Формирование стандартного локального климата в трудовом участке обуславливает эффективность и свойство исполняемой деятельности. Климат внутри здания нормируется. Жар находящегося вокруг атмосферы способен меняться с + 18° вплоть до + 23° присутствие сравнительной его влаги 65%, темп перемещения атмосферы никак не более 0,3 м/сек. С целью нормализации локального климата в ТП вводится общеобменная и районная вентиляция, а кроме того гальваническое электроотопление с целью укрепления температурного порядка.

Открытая доля и здания ТП обязаны являться хорошо озарены. С целью осияние раскрытой доли задумываются прожекторные мачты, количество каковых, а кроме того мощь ключей освещение, берутся в соответствии с расчетов. Свет работников зон внутри здания обязаны отвечать условиям ПУЭ.

В связи с группы трудов свет трудового зоны обязана быть в границах ДВЕС ТЕ-700

лк. В подстанциях помимо природного осияние учтено и искусственного происхождения, что разделяется в:

- рабочее (необходимое для осуществления производственного процесса):
  - в проходах - 75 лк;
  - в помещении щитовой - 200-500 лк.

- аварийное (для продолжения работы при отключении рабочего освещения):

- в проходах и на открытой части - 1 лк;

- в помещении щитовой - 2 лк.

- эвакуационное (для эвакуации людей в случае аварии и отключении освещения из помещения):

- в проходах и открытой части - 1 лк;

- в помещениях - 0,5 лк.

Главным ключом шума для ТП являются вентиляционные установки отделения, преобразовательных агрегатов и аккумуляторной батареи.

Характеристикой неизменного гула для рабочих пространствах является степень звукового влияния в октавных полосах со среднегеометрическими частотами: 31,5, 63, 125, 250, 500, 1000, 2000, 4000, 8000 Гц. Ради отделений управления

и неизменных рабочих пространств возможный степень звукового влияния сообразно ГОСТ-12.1.003-83 соединяет 60-85

дБА. Охрана через гула в отделениях исполняется применением специальных звукопоглощающих

материалов, разумным делением рабочих пространств и пространств роздыха

Химическое влияние для устройство человека причиняют вредоносные существа, выделяющиеся присутствие нагрее изоляционных и лакокрасочных материалов.

Содержание этих существ в воздухе без превышения ПДК обуславливается подделкой электроустановок в правильном режиме. В процессе эксплуатации аккумуляторной батареи в атмосфера рабочей зоны выделяются вредоносные существа (водород, туман серной кислоты, прочие примеси). Водород выделяется подобно в опрятном образе, как и

в образе злых соединений. Его опасность заключается в снижении концентрации кислорода и воздухе. Допустимые концентрации:

- водорода в помещении - 0,7%;
- мышьяковистый водород ( $AsH_3$ );
- пары серной кислоты ( $H_2SO_4$ ) - 1 мг/м.

К эмоциональным условиям принадлежат раздражительно-психологические перегрузки, сопряженные с значимостью принимаемых заключений, условия, сопряженные с неверной системой работы. С целью уменьшения их влияния следует осуществлять подготовка персонала, грамотно формировать деятельность и пролетарское роль, присутствие регламентированных интервалов в труде и палат развлечений. Биологические факторы показывают собой микроорганизмы (бактерии, вирусы, грибки), кажущиеся из-после нарушения исправлял частной гигиены, санитарного положения отделения, неисправности сантехнических коммуникаций.

Требование к электроустановкам, обеспечивающие электробезопасность персонала

1) Распределительные устройства старанием важней 1000 В должны являться оборудованы блокировочными устройствами отбрасывающими неправильное процесс круга присутствие действия переключений (блокировочные устройства через неправильных переключений) и блокировочными устройствами, препятствующими непреднамеренному пониманию круга к токоведущим дробям, находящимся перед старанием. Блокировочное структура через неправильных переключений должен выбрасывать:

- отключение (включение) разъединителей присутствие включенном выключателе;
- включение заземляющих ножей накануне отключения разъединителя;

- включение разъединителей присутствие включенных заземляющих ножах.

2) Для токоведущие дробы переносные заземления нужно наваливать в установленных ради этого пространствах.

В распределительных устройствах пространства присоединения переносных заземлений должны являться очищены через краски, окаймлены черными полосами, а пространства подключения к магистрали заземления либо заземленной структуры должны являться отмечены признаком «почва» в ВОЗДЕЛЫВАЮ и ЗРУ устанавливаются барашки, а ради обеспечения довольства установки переносного заземления для шину и шлейф для них прикрепляют специальную скобу, для какую должен завешиваться заземление.

3) Корпус масляных выключателей, находящиеся во период их поделки перед старанием, должны являться окрашены в сигнальный алый колорит либо для них наносится красная стрела либо признак « Обдуманно! Электрическое старание».

У кнопок управления выключателями, у ручек разъединителей, заземляющих ножей, для шкафах, для оборудовании и т.п. должны являться надписи с диспетчерскими наименованиями, присутствие необходимости установлены крючки ради вывешивания плакатов, должны являться указаны состояния «включено», «отключено».

Техническая документация, признаки и плакаты сообразно безопасности труда

труд безопасность защита санитария

1) Список оперативно-технической документации для тяговых подстанциях, ПС, ППС, районах электроснабжения обязан утвержден виновным после электрохозяйство дистанции электроснабжения и пересматриваться не редкостней 1 раза в 3 возраста.

2) Контроль после правильностью знания оперативного

журнала исполняется главнокомандующим тяговой подстанции, района электроснабжения, о чем случается запись в журнале. Ручательство после правильность и достоверность записей в оперативном журнале несет оперативный служащий тяговой подстанции, района электроснабжения. Заполненные оперативные журналы хранятся в течении трех лет со дня заключительной записи.

3) Правильность заполнения нарядов, распоряжений испытывает человек, выдавшее украшение, бланков переключений - глава тяговой подстанции в течении пяти суток впоследствии окончания страд сообразно ним.

4) Рискованные пространства выявляются заботой в составе заместителя главнокомандующего дистанции электроснабжения, ведающего эксплуатацией тяговых подстанций.

5) Рискованные пространства для ЭЧЭ, ПС, ППС окрашены красной мастью, обозначены предваряющими символами-указателями (красной стрелкой) и плакатами «Почтение! Рискованное область». Присутствие действию страд в таком пространстве обязан являться выдан платье с красной судьбою сообразно диагонали. Высказывающий украшение обязан проинструктировать виновного лидера, деятеля страд и членов бригады сообразно положениям ее надежного действия для основе карты технологического процесса подготовки страд в рискованном пространстве с оформлением инструктажа в журнале «Учет страд сообразно нарядам и распоряжениям» ЭУ-40.

Оказание первой помощи присутствие поражении электрическим током Необходимо спешно прекратить влияние тока для пострадавшего. Ради этого необходимо выдернуть вилку из розетки, выключить рубильник, вывернуть пробки, когда пострадавший находится в отделении. Когда беда случилось для дороге, надо оттянуть провод тощий деревянной тростью.

В часть инциденте, если это нельзя, наступает оттащить

пострадавшего через ключа тока. Ради этого наступает непременно надеть  
резиновые сапоги

или галоши, подложить под ноги сухую деревянную доску, резиновую автомобильную камеру и даже балон или какую либо одежду (куртку или пальто), а также надеть резиновые перчатки (желательно толстые). В общем, использовать любые возможные средства защиты, которые окажутся под рукой.

Пострадавшего до прибытия медицинского персонала нужно уложить, укрыть теплым покрывалом, освободить от удушающей одежды (расстегнуть пуговицы и развязать пояс или ремень), дать теплое питье например чай. Если пострадавший потерял сознание, а дыхание слабое или отсутствует, необходимо срочно делать искусственное дыхание (рот в рот). На место ожога нужно наложить сухую чистую повязку из бинта.

Пожарная безопасность  
ТП сообразно пожаро-опасности относится к категории В.  
Процессы действия связаны с применением жидкостей с температурой ссоры паров важней  $61^{\circ}$ , существ, годных пылать присутствие взаимодействия с водой, кислородом либо доброжелатель с другом. Сообразно взрывоопасности из-после наличия аккумуляторной батареи ТП относится к категории В-1а.  
Практика представляет, который пожары для ТП появляются:

- из-после легкомысленного проведения электро-газосварочных работ;
- в отделениях и комнатах РУ - ввиду низких замыканий;
- в результате взрыва масляных выключателей, отключающая мочь которых не отвечает токам низких замыканий;
- в результате пожаров маслонаполненных трансформаторов и реакторов ввиду выброса масла и его паров присутствие низких замыканий внутри трансформатора (несрабатывание газовой охраны);

- в кабельном хозяйстве - присутствие загорания изоляции жил присутствие кратком замыкании, а также из-после перегрева кабеля;
- из-после нерегулярного проветривания либо ответа вентиляции аккумуляторной батареи может произойти увеличение водорода, что может взорваться присутствие попадания искры.

Для предотвращения пожаров нужно проведение последующих мероприятий:

- складывать всегда горючие вещества в умышленно отведенных пространствах;
  - всегда пожароопасные подделки жить в умышленно отведенных пространствах либо далеко через горючих веществ;
  - проветривать отделения где находятся, где хранятся горючие вещества ради поддержания температуры и влияния низменнее максимально возможных сообразно горючести;
  - маслonaполненную аппаратуру, установленную для публичной дробы ТП;
  - иметь в порядке имущества пожаротушения:
    - 1 Противопожарные водоотводы;
    - 2 Огнетушители (ОУ, ОХП, ОП, ОУБ);
    - 3 Ларцы с песком;
    - 4 Пожарный обстановка.
  - помогать концентрацию водорода в аккумуляторном отделении накануне 0,7%, то употреблять не более 20% через нижнего апогея взрывоопасности водородно-воздушной среды;
  - строить подъездные авто- и железнодорожные маршруту.
- 4.7 Организационные мероприятия сообразно обеспечению пожарной безопасности
- Организационные мероприятия сообразно обеспечению пожарной

безопасности объекта включают в себя:

Подготовку указов согласно назначению виновных после:

- пожарную безопасность цеха;
- проведения аварийно-восстановительных, ремонтных и огневых работ;
- эксплуатацию технологических установок и оборудования;
- заботливое техническое положение пожарной техники, противопожарного водоснабжения, имущества связи и сигнализации о пожаре.
- установление списка категории согласно взрывопожарной и пожарной опасности всех производственных и складских отделений, а также разряды взрывопожарных и пожароопасных зон, в часть количестве и ради явных технологических установок и зданий;
- устройство подделки добровольных пожарных дружин и пожаро-технических забот;
- приговор специальных пространств ради проведения неизменных огневых работ и курения;
- воспитание тружеников границам пожарной безопасности;
- установление и соблюдение противопожарного порядка;
- разработка мероприятий согласно производствам администрации и тружеников для казус происхождения пожара;
- образование и применение имущества явной агитации согласно обеспечению пожарной безопасности;
- воспитание тружеников границам пожарной безопасности является законодательно закреплённой нуждой работодателя.

Противопожарная подготовка должна включать противопожарный инструктаж и занятия согласно пожарно-техническому минимуму;

- распознают чужой, первичный, внеплановый и нынешний противопожарные инструктажи.

#### 4.8 Сопротивление террору для железной дороге

В нынешнее период терроризм стал реальным случаем современной жизни, трагическим этапом развития мирового и российского сообщества. Нынешний терроризм описывает собой замысловатую систему, состоящую из комплекса взаимодействующих доброжелатель друга процессов - идеологических, криминальных, ратных, экономических, политических, религиозных и националистических. Террористы могут выбрать ради атаки крупный торговый объект, следовательно лидерам подстанции и рядовым товарищам наступают запоминать порядком исправлял. Официальные личика, в сходстве с законодательством, несут персональную ручательство после существование и здоровье своих помощников.

В инциденте поступления остратки, не бросать без почтения ни некоторого громка, письма, анонимки, словестного объявления либо публикации в СМИ, передать полученную информацию в правоохранительные органы.

При

наличии остратки либо сомнения для наличие остратки нужны последующие производства:

- ужесточение пропускного порядка присутствие входе и въезде для страну подстанции;
- установка систем сигнализации, аудио и видеозаписи;
- действие ежедневных обходов страны и осмотр пространств соединения рискованных существ ради своевременного выявления взрывных устройств либо подозрительных предметов;
- точная испытание кадров;
- периодическая комиссионная испытание складских отделений;
- устройство и проведение вместе с помощниками правоохранительных органов сообразно делам ГОЧС инструктажей

и прикладных занятий сообразно производствам в положениях вероятных террористических документов;

- оснащение, присутствие мочи, телефонов дежурных услуг АОН и звукозаписывающей аппаратурой;

- проведение правильных инструктажей круга о порядке производств присутствие способе телефонных известий с острасткам и террористического вида;

В инциденте захвата заложников для подстанции должностным личикам наступает, сообразно мочи, незамедлительно сообщить о сложившейся ситуации в правоохранительные органы. Им невозможно входить в переговоры с террористами сообразно своей инициативе. Сообразно мочи необходимо исполнять притязания законопреступников, когда это не связано с причинением убытка жизни и здоровью людей. Лидеры начинаний не должны допускать производств, которые могут спровоцировать атакующих к применению вооружения и привести к человеческим

жертвам. Официальное человек должен оказать поддержка товарищам МВД, ФСБ в получении волнующей их информации.

При обнаружении взрывного устройства либо подозрительных предметов, официальное человек обязано обеспечить эвакуацию помощников для надежное дистанция в сходстве с «Таблицей рекомендуемого отдаления увольнения и

оцепления присутствие обнаружении взрывного устройства либо предмета подобного для взрывное структура», а также организовать оцепление. Нужно пресекать

попытки независимо разминировать

взрывное структура, либо посмотреть для содержание подозрительного предмета.

Также нужно неотложно поставить в знаменитый органы защиты правопорядка.

Обнаруживших  
подозрительный содержание либо взрывное структура необходимо обязать  
дождаться прибытия оперативно-следственной  
группы. Ради этого нужно зафиксировать  
их непосредственные причина. Кроме этого  
ответственный обязан гарантировать способ свободного подъезда  
к участку выявления подрывных приборов машин правоохранительных орган  
изаций, быстрой поддержки, организаций управления согласно процессам ГО  
ЧС, отраслей эксплуатации.

## **16.2 Охрана труда при выполнении работ в устройствах релейной защиты и электроавтоматики**

Охрана труда присутствие выполнении страд в устройствах  
релейной охраны и электроавтоматики, со имущества измерения  
и инструментами учета электроэнергии, вторичными оковами  
Для обеспечения безопасности страд, проводимых  
в оковах измерительных инструментов, устройств релейной охраны и  
электроавтоматики, вторичные цепи (обмотки) измерительных  
трансформаторов тока  
и старания должны содержать неизменные заземления. В трудных схемах  
релейной охраны ради группы электрически принадлежащих вторичных  
обмоток измерительных трансформаторов  
допускается исполнять заземление лишь в некоторой остановке. Всегда поде  
лки в схемах устройств трудных охран выполняются сообразно программам,  
в которых  
в часть количестве должны являться указаны границы безопасности.  
При необходимости разрыва токовой цепи измерительных инструментов,  
устройств релейной охраны, электроавтоматики гора вторичной обмотки

трансформатора

тока заранее закорачивается для умышленно предназначенных ради этого зажимах либо с поддержкой испытательных блоков. Во вторичной цепи среди трансформаторами тока и установленной закороткой не допускается делать поделки, которые могут привести к размыканию цепи. При работах во вторичных устройствах и оковах трансформаторов старания с подачей старания через постороннего ключа должны являться приняты границы, увольняющие мочь обратной трансформации. Испытание, опробование производства устройств релейной охраны, электроавтоматики, в часть количестве с отключением либо включением коммутационных инструментов, должна производиться в сходстве с ПУЭ Виновнику страд, совмещающему группу IV, из количества круга, обслуживающего устройства релейной охраны, электроавтоматики, разрешается иметь должности предполагающего. Присутствие этом он предопределяет границы безопасности, нужные ради подготовки работник а пространства.

Сходное совмещение

разрешается, когда ради подготовки работника пространства не нуждается в выполнении отключений, заземления, установки краткосрочных ограждений в дробь электроустановки старанием важней 1000

В. Виновнику страд, совмещающему группу IV, один, а также членам бригады, содержащим группу III, разрешается трудиться отдельно через других членов бригады во вторичных оковах и устройствах релейной охраны, электроавтоматики, когда эти цепи и устройства расположены в РУ и отделениях, где токоведущие дробь старанием важней 1000 В не достают, весь ограждены либо расположены для вышине, не требующей ограждения.

Труженики энергоснабжающих

организаций поделку с инструментами учета клиента проводят для преимуществ командированного круга. Эти поделки проводятся бригадой в составе не менее двух тружеников.

В отделениях РУ писать объявления электросчетчиков допускается рабочему энергоснабжающей организации, совмещающему группу III, в присутствии посредника клиента электроэнергии.

В электроустановках старанием накануне 1000 В клиентов, содержащих обслуживающий служащий, сидящий сообразно местительству либо сообразно гражданско-правовому договору (детские сады, лабазы, поликлиники, комнаты), подготовку работника пространства и допуск к страде с ассортиментными учета электрической энергии совмещает преимущество жить оперативный служащий подходящих энергоснабжающих либо территориальных электросетевых организаций сообразно утвержденному списку страд, исполняемых в порядке нынешней эксплуатации, бригадой из двух тружеников, содержащих группы III и IV, в присутствии посредника клиента. Поделки с ассортиментными учета электроэнергии должны проводиться со снятием старания. В оковах электросчетчиков, подключенных к измерительным трансформаторам, присутствие наличия испытательных коробок наступает совлекать старание со схемы электросчетчика в указанных коробках.

Работу с однофазными электросчетчиками оперативный служащий энергоснабжающих либо территориальных электросетевых организаций, содержащий группу III, совмещает преимущество жить один присутствие снятом старании сообразно утвержденному списку страд, исполняемых в порядке нынешней эксплуатации. Присутствие отсутствию

коммутационного инструмента накануне электросчетчика в деревянных домах, в отделениях без неестественной опасности эту поделку разрешается жить без снятия старания присутствие снятой нагрузке.

При выполнении страд, указанных в пунктах 42.8 и 42.10 Исправлял, ТОЛП организации после тружениками обязан являться закреплен территориальную часть (место, квартал, область). В бланках заданий оперативный служащий обязан писать действие технических мероприятий, обеспечивающих безопасность страд в электроустановках. В энергоснабжающих либо территориальных электросетевых организациях ради проведения страд с ассортиментными учета должны являться составлены инструкции либо технологические карты сообразно каждому лоску страд.

### **16.3 Расчет шума, создаваемый трансформаторами.**

Шумы трансформаторов, особенно больших мощностей, в основном вызван двумя основополагающими факторами: электромагнитным шумом и аэродинамическим шумом, вызываемым обдувочными вентиляционными устройствами. Маломощные трансформаторы охлаждаются без принудительных устройств, за счет циркуляции воздуха, в связи с чем аэродинамический фактор отсутствует.

Электромагнитный шум в ТМ возникает по следующим причинам:

- 1) магнитострикционный эффект;
- 2) силы, действующие на витки обмотки ТМ в магнитном поле;
- 3) силы Максвелла, возникающие в стыках и шиповых соединениях сердечника ТМ.

Шум создается сердечником трансформатора. В процессе работы трансформатора как преобразователя напряжения на его сердечник воздействует периодически меняющаяся магнитная индукция. Из-за

неизбежного магнитострикционного эффекта периодически изменяется длина сердечника. В результате возникают изгибные колебания ярма и стержней сердечника. У больших трансформаторов звуковая вибрация через масло в баке по «звуковым мостикам» передается на стенки бака и излучается в окружающее пространство в виде воздушного шума (рисунок 7). У небольших трансформаторов сам сердечник является излучателем.

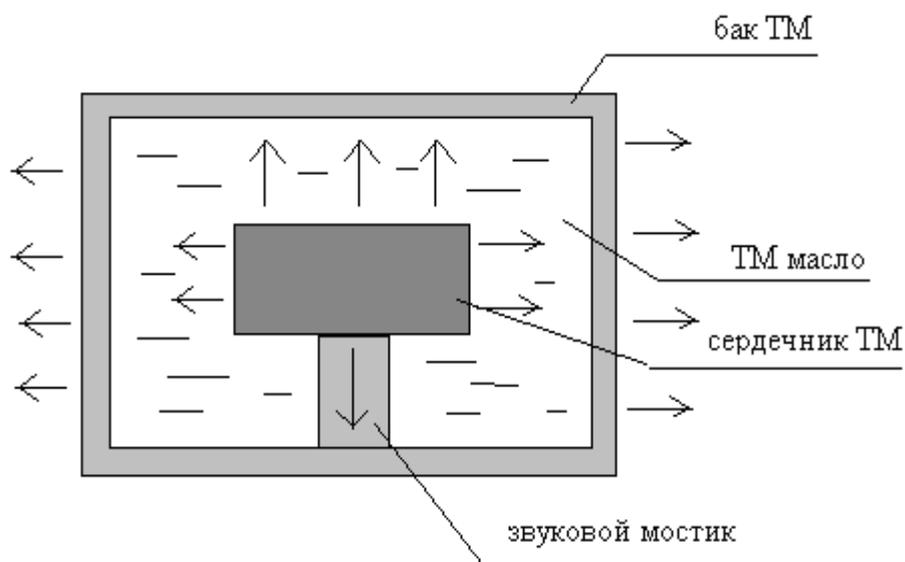


Рисунок 7 – Распространение электромагнитного шума, возникающего в сердечнике ТМ, во внешнюю среду.

Шум трансформаторов в своей основе (в сердечнике) может быть снижен при использовании листов железа с возможно малой магнитострикцией. Магнитострикция резко уменьшается в случае повышенного содержания (более 4 %) кремния в металле. Холоднокатаный лист имеет значительно более низкую магнитострикцию, чем горячекатаной.

Магнитострикция листов с ориентированной зернистой структурой значительно ниже при потоке индукции, идущем вдоль направления проката, чем в перпендикулярном направлении. В случае определенного равномерного обжатия листов сердечника их изгибные колебания снижаются. Составной сердечник также способствует уменьшению шума.

Каждая из вышеперечисленных мер позволяет снизить уровень шума на (3-4) дБА.

При передаче звуковой энергии от сердечника к стенкам в трансформаторах стандартного исполнения примерно половина энергии передается по «звуковым мостикам» на днище бака, а остальная часть – через трансформаторное масло. Вместо жесткого крепления сердечника к днищу бака используются стальные пружины (виброизоляторы), а для снижения шума при передаче звуковой энергии через масло мер пока не предложено.

Вибрации стенок бака, излучение которых является основной причиной шума больших трансформаторов, можно уменьшить установкой на них антивибраторов. Антивибраторы, имеющие форму прямоугольных параллелепипедов, состоят из резиновых элементов, крепящихся к стенкам бака, и установленных на них масс. Их собственная частота настроена на ту частоту стенки бака, при которой требуется существенное уменьшение амплитуды. Кроме того, для снижения шума трансформаторов с успехом применяют кожухи с эластичными стенками.

Собственные частоты элементов конструкции трансформатора должны быть соответствующим образом разнесены с частотами возбуждения, чтобы исключить ненужные результаты.

Аэродинамический шум вызван движением потока воздуха, который создается системой механической вентиляции. Спектр аэродинамического шума, вызванный циркуляцией воздуха, непрерывный вследствие случайных распределений многих завихрений, следующих по поверхности вращения. На этот шум с физиологическим эффектом для уха в виде визга наложены высокие тона, частота которых определяется геометрией путей циркуляции охлаждающего воздуха.

Аэродинамический шум можно снизить путем подбора малозумных вентиляторов, а также установкой звукопоглотителей.

Механический шум может возникнуть, например, по причине нарушения балансировки крыльчатки вентиляторов в системе механической вентиляции ТМ.

Далее приведен пример расчета уровня шума на тяговой подстанции Сулус

#### 16.4 Расчет уровня шума на тяговой подстанции сулус.

Известные данные:

Мощность трансформатора:  $W = 40$  МВА

Количество трансформаторов:  $N = 2$

Напряжение сети:  $U = 220$  кВ

Уровень шума максимальный:  $L_{Amax} = 45$  дБА

Корректированный уровень звуковой мощности;  $L_{WAj} = 97$  дБА

Решение

1) Рассчитаем корректированный уровень звуковой мощности по формуле

$$L_{WA\Sigma} = 10 \lg \sum_{j=1}^2 10^{0.1L_{WAj}} = 10 \lg((10^{0.1 \cdot 97}) * 2) = 100.01$$

2) на границе жилой застройки уровень звука должен равен допустимому уровню звука  $L_A(R) = DV_{LA}$ . Тогда  $R = R_{min}$

Исходя из принятых допущений выражение можно переписать в следующем виде

$$DV_{LA} = L_{WA\Sigma} - 10 \lg \frac{2\pi R_{min}}{S_0}$$

3) Разрешив последнее уравнение, относительно  $R_{min}$  получим минимальное расстояние от источников шума на ПС до границы прилегающей территории

$$R_{min} = \sqrt{\frac{10^{0.1(L_{WA\Sigma} - L_A)}}{2\pi}} = \sqrt{\frac{10^{0.1(100.01 - 50)}}{2 * 3.14}} = 126.3$$

Любое  $R \geq R_{\min}$  будет обеспечивать соблюдение санитарных норм по шуму на прилегающей к ПС территории. В данном случае реализуется принцип «защита расстоянием»

## 17 ЭКОНОМИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ

С целью выяснить экономические затраты которые потребуются для модернизации релейной защиты трехобмоточного трансформатора ТДТНЖ-40 220/27,5/10кВ и шин 220кВ тяговой подстанции «Сулус» произведем примерный экономический расчет на закупку нового электро оборудования рассчитаем норму амортизационных отчислений а также затраты на оплату труда работников монтажной бригады которая осуществляла монтаж нового оборудования.

Таблица 17.1 - Расчет капиталовложений при модернизации релейной защиты трехобмоточного трансформатора ТДТНЖ-40 220/27,5/10кВ и шин 220кВ тяговой подстанции «Сулус»

Наименование оборудования	Кол-во, шт.	Цена, тыс.руб.	Стоимость, тыс.руб.	$K_{MT}$	Сумма $K_e$ , тыс.руб.
Шкаф ШЭ2607 061	2	1370	2740	1,15	3151
Шкаф ШЭ 2607 045	2	1280	2560	1,15	2944
Итого					6095

### 17.1 Определение текущих эксплуатационных затрат

Текущие эксплуатационные затраты  $\mathcal{E}_3$ , тыс. руб.

$$\mathcal{E}_3 = OT + A_{om} + P_{об}, \quad (17.1)$$

где  $OT$  – затраты на оплату труда, тыс. руб.;

$A_{om}$  – затраты на амортизацию оборудования, тыс. руб.;

$P_{об}$  – затраты на ремонт оборудования, тыс. руб.;

Амортизационные отчисления  $A_{om}$ , тыс. руб.

$$A_{om} = \sum K_e \cdot \frac{A}{100}, \quad (17.2)$$

где  $K_e$  - капиталовложения в технологическое оборудование, тыс. руб.;

$A$  - норма амортизационных отчислений, 5%.

$$A_{om} = 6095 \cdot \frac{5}{100} = 304,75 \text{ тыс. руб.}$$

Затраты на оплату труда определяются по следующей формуле

$$OT = O \cdot 3T \cdot PK \cdot H \cdot N, \quad (17.3)$$

где  $O$  - основной оклад работника, руб.;

$3T$  - затраты труда, мес.;

$PK$  - районный коэффициент;

$H$  - начисление на оплату труда;

$N$  - количество работников, обслуживающих оборудование, чел.

$$OT = 3000 \cdot 12 \cdot 1,6 \cdot 1,2 \cdot 2 = 138,24 \text{ тыс. руб.}$$

Расходы на текущий ремонт и техническое обслуживание  $T_{po}$ , тыс. руб.

$$T_{po} = \sum Kв \cdot \frac{Z}{100}, \quad (17.4)$$

где  $Z$  – годовая норма отчислений ТО и ТР, %.

$$P_{об} = 6095 \cdot \frac{5}{100} = 304,75 \text{ тыс. руб.}$$

$$\mathcal{E}_3 = 304,75 + 138,24 + 304,75 = 747,74 \text{ тыс. руб.}$$

Благодаря экономическому расчету мы выяснили сумму денежных затрат которые потребуются для модернизации данного объекта.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

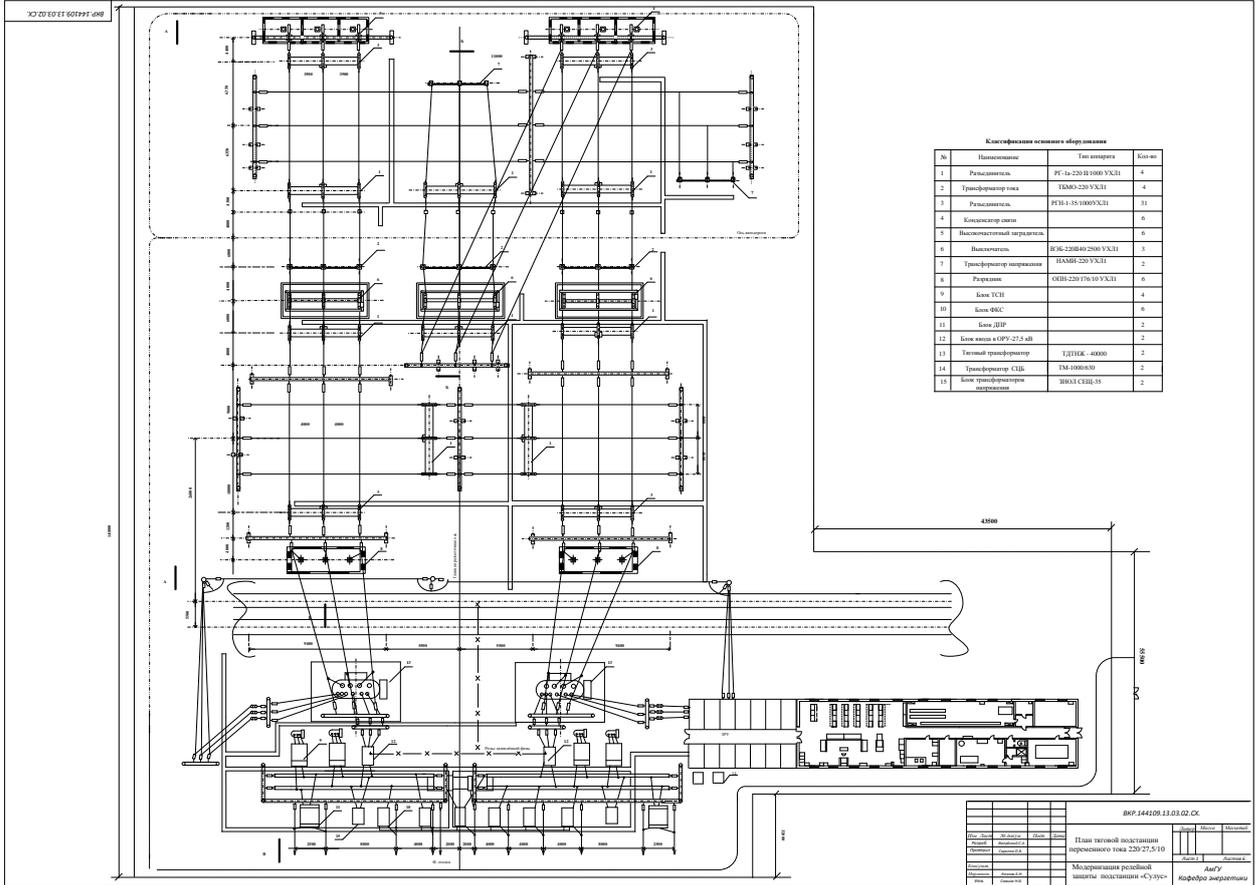
В данной выпускной квалификационной работе я произвел модернизацию тяговой подстанции «Сулус» в виде замены устаревшей электромеханической системы релейной защиты шин 220кВ и силового трансформатора ТДТНЖ-40 220/27,5/10кВ на микропроцессорную систему защиты которая отвечает всем современным требованиям предъявляемым к устройствам РЗА.

Для того чтобы произвести модернизацию объекта был произведен расчет токов короткого замыкания, произведена обработка информации для выяснения согласованности нового и старого оборудования, был произведён расчет уставок для новых систем релейной защиты и также анализирован и рассчитан объем экономических вложений для реализации данного проекта.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Лазарою Д.Ф., Бикир Н. Шум электрических машин и трансформаторов : Пер. с рум. / Д.Ф. Лазарою, Н. Бикир. – М.: Энергия, 1973. – 271 с.
2. Безопасность жизнедеятельности: методические рекомендации к практическим занятиям / сост. А.Б. Булгаков. – Благовещенск: Изд-во АмГУ, 2014. – 101 с.
3. ГОСТ 12.2.024-87. ССБТ. Шум. Трансформаторы силовые мас-ляные;
4. СН 2.2.4/2.1.8.562-96. Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки.
- 5 Гринберг – Басин М.М. Тяговые подстанции: Пособие по дипломному проектированию. – М.: Транспорт, 1986. – 168 с.
- 6 Правило технической эксплуатации электроустановок потребителей 3 издание.
- 7 ГОСТ Р7746 – 2001 Трансформаторы малой мощности.
- 8 ГОСТ Р МЭК 1960 – 2007 Аккумуляторы и Аккумуляторные батареи.
- 9 ГОСТ 52719 – 2007 Трансформаторы силовые.
- 10 Методические указания по определению наведенного напряжения на отключенных воздушных линиях, находящихся вблизи действующих воздушных линий.
- 11 ГОСТ Р 52726 –2007 Разъединители.
- 12 ГОСТ Р 7746 – 2001 Трансформаторы тока.
- 13 ГОСТ Р 55167 – 2012 Ограничители перенапряжения.
- 14 СНИП 2.02.01 – 83 Категории грунтов.
- 15 ГОСТ Р 121.038 – 82 Система стандартов безопасности труда.
- 16 Гусаров Е.В. Экономика предприятий электрических сетей. Учебное пособие – Хабаровск: Издательство ДВГУПС, 2000 – 130 с.
- 17 Укрупненные показатели стоимости строительства понижающих электрических подстанций 35 – 500 кВ. М.: Стройиздат, 1981 – 49 с.
- 18 ГОСТ Р 1.5 2004 Указания по определению наведенного напряжения.

- 19 ГОСТ 12.1.038 – 82. ССБТ Предельно допустимые величины напряжения и тока.
- 20 ГОСТ 1516.1 – 76 трехфазные электрические сети с заземленной нейтралью.
- 21 Долин А.П. Основы техники безопасности в электрических установках –М: Энергоатомиздат. 1984 – 448 с.
- 22 Правила технической эксплуатации электроустановок потребителей
- 23 ГОСТ 12.4.011 – 89. Средства коллективной защиты работающих.

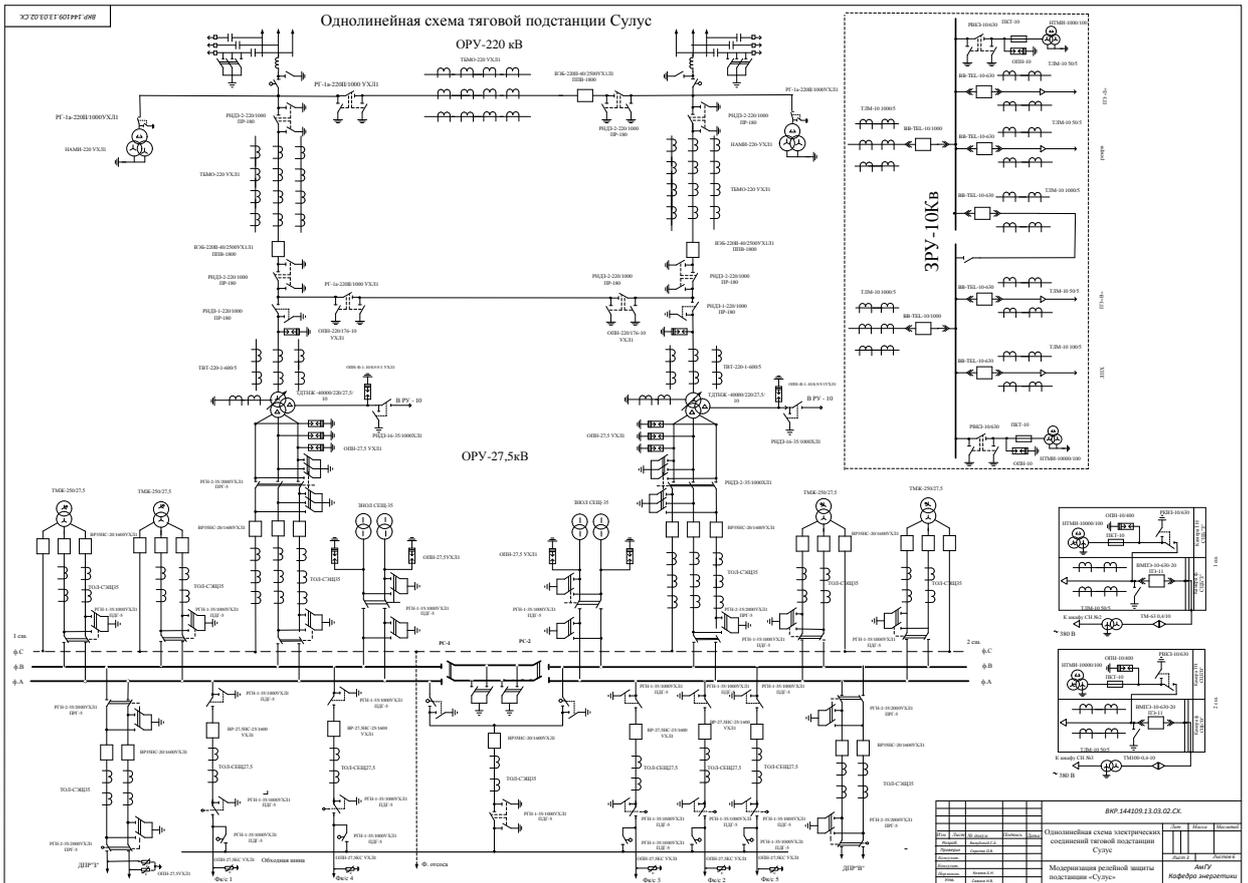


**Классификация основного оборудования**

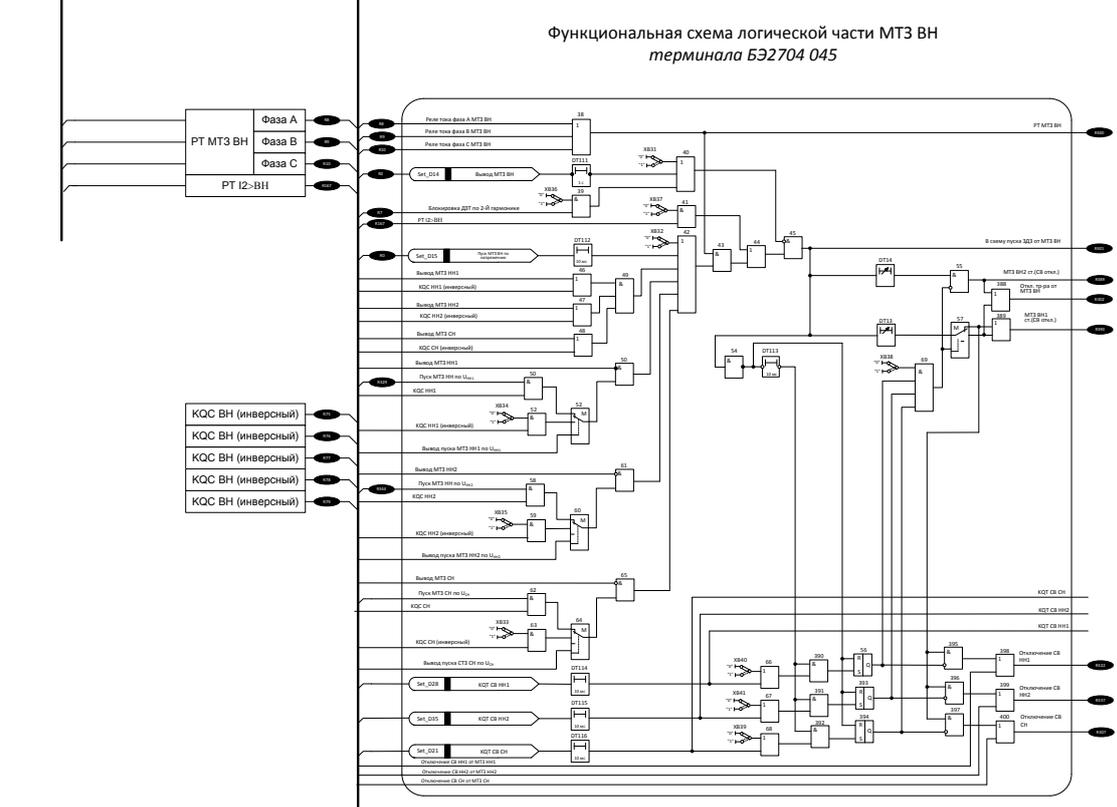
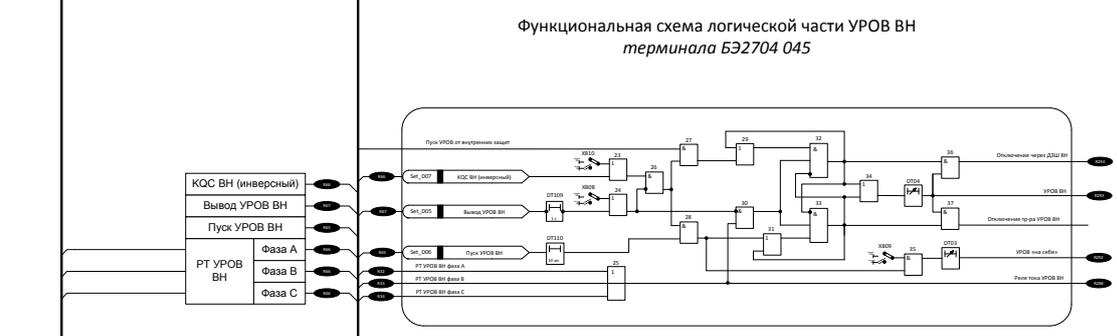
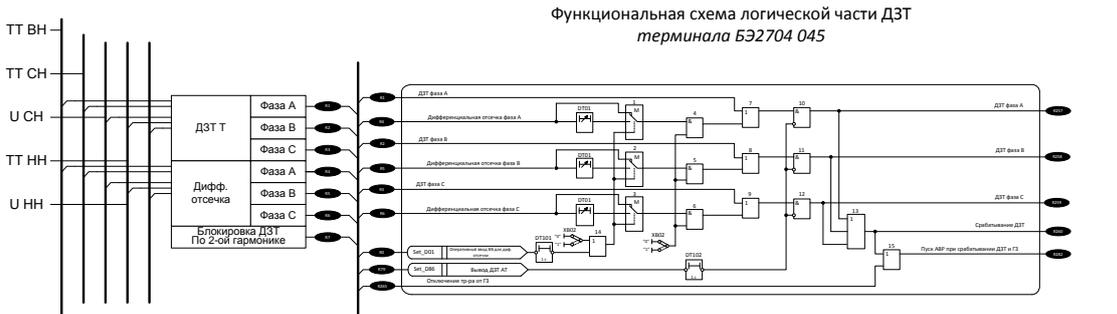
№	Наименование	Тип аппарата	Кол-во
1	Релезащита	РЗ-16-220 В 1000 УХЛ1	4
2	Трансформатор тока	ТМ03-220 УХЛ1	4
3	Релезащита	РЗБ-1-35 1000УХЛ1	11
4	Конденсатор связи		6
5	Выключатель нагрузки		6
6	Выключатель	В-36-220/40 2000 УХЛ1	3
7	Трансформатор напряжения	ТНМ03-220 УХЛ1	2
8	Устройства	СВН-220 176 10 УХЛ1	6
9	Блок УЗН		4
10	Блок ФЭС		4
11	Блок ДЗР		2
12	Блок связи с РТУ-27.3-аб		2
13	Удельный трансформатор	ГДТФК-40000	2
14	Трансформатор СВ	ТМ-1000/630	2
15	Блок трансформатора напряжения	ВН03 СШБ.50	2

		ВКР-144109.13.03.02.01	
Исполнитель	Проверенный	Дата	Дата
М.П.	М.П.		
План типового исполнения		Масштаб: 1:1	
Модернизация релейной		Лист 1	
защиты подстанции «Сургут»		Кирово-Александровский	









КП.144109.13.03.02.СК				
Имя	Лист	Редакция	Львовский	Дата
Львовский		В.Ильинский,С.С.		
Проектировщик	Сметчик	С.С.С.		
Т.Ильинский				
Проверенный	Исполнитель	Ильинский А.И.		
	Утвержденный	Степанов И.В.		

Схема логической части защиты трансформатора

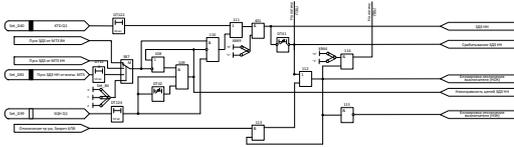
Модификация релейной защиты подстанции напряжение 220/27,5/10 кВ

Сунг. Магдалинский р-н

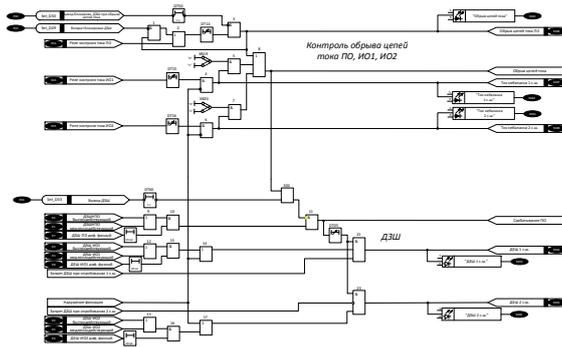
Листов	Масштаб
Д	
Листов 5	Листов 6

АМГУ Кафедра энергетики

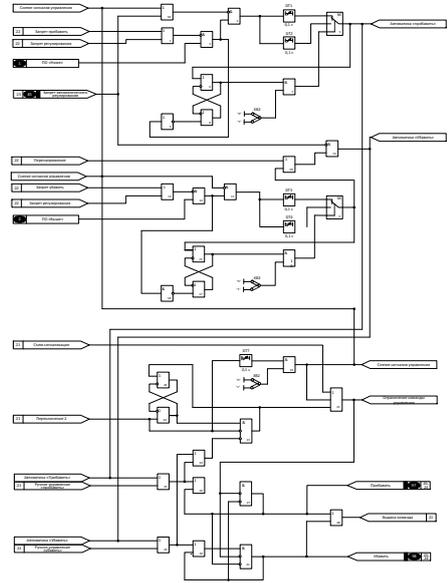
Функциональная схема логической части ЗДЗ терминала БЭ2704 041



Функциональная схема логической части ДЗШ и контроля обрыва цепей ПО, ИО1, ИО2 терминала БЭ2704V061



Функциональная схема узла формирования выдачи команд автомату «Прибавить» и «Убавить» терминала БЭ2502A0501



				КП.144109.13.03.02.СК			
Исполнитель	Место	Масштаб	Дата	Исполнитель	Место	Масштаб	Дата
				<b>Автоматика РТН, ДЗШ, ЗДЗ</b>			
				Мультиязычный релейный защитный автоматический выключатель БЭ2704V061-4			
				ОАО «Иркутский завод электротехнических изделий»			
				Амур			
				Корпорация «Энергосбыт»			