



Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
федеральное государственное автономное  
образовательное учреждение высшего образования  
«Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (ТПУ)

Инженерная школа энергетики

Направление подготовки 13.03.02 Электроэнергетика и электротехника

Отделение Электроэнергетики и электротехники

Специализация Электрические станции

**БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА**

Тема работы
Проектирование релейной защиты основного оборудования подстанции «Кличка» 110/10 кВ Забайкальской энергосистемы

УДК 621.316.925.1

**Студент**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-5A87	Смоляков Константин Юрьевич		

**Руководитель ВКР:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ст. преподаватель	Гречушников В.В.	Ст. преподаватель		

**КОНСУЛЬТАНТЫ ПО РАЗДЕЛАМ:**

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор	Гасанов М. А.			

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель ООД	Мезенцева И. Л.			

**ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:**

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Шестакова В. В.	к.т.н., доцент		

## ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОСВОЕНИЯ ООП

Код компетенции	Наименование компетенции
<b>Универсальные компетенции</b>	
УК(У)-1	Способен осуществлять поиск, критический анализ и синтез информации, применять системный подход для решения поставленных задач
УК(У)-2	Способен определять круг задач в рамках поставленной цели и выбирать оптимальные способы их решения, исходя из действующих правовых норм, имеющихся ресурсов и ограничений
УК(У)-3	Способен осуществлять социальное взаимодействие и реализовывать свою роль в команде
УК(У)-4	Способен осуществлять деловую коммуникацию в устной и письменной формах на государственном языке Российской Федерации и иностранном(-ых) языке(-ах)
УК(У)-5	Способен воспринимать межкультурное разнообразие общества в социально-историческом, этическом и философском контекстах
УК(У)-6	Способен управлять своим временем, выстраивать и реализовывать траекторию саморазвития на основе принципов образования в течение всей жизни
УК(У)-7	Способен поддерживать должный уровень физической подготовленности для обеспечения полноценной социальной и профессиональной деятельности
УК(У)-8	Способен создавать и поддерживать в повседневной жизни и в профессиональной деятельности безопасные условия жизнедеятельности для сохранения природной среды, обеспечения устойчивого развития общества, в том числе при угрозе и возникновении чрезвычайных ситуаций и военных конфликтов
УК(У)-9	Способен проявлять предприимчивость в практической деятельности, в т.ч. в рамках разработки коммерчески перспективного продукта на основе научно-технической идеи
УК(У)-10	Способен принимать обоснованные экономические решения в различных областях жизнедеятельности
УК(У)-11	Способен формировать нетерпимое отношение к коррупционному поведению
<b>Общепрофессиональные компетенции</b>	
ОПК(У)-1	Способен понимать принципы работы современных информационных технологий и использовать их для решения задач профессиональной деятельности
ОПК(У)-2	Способен разрабатывать алгоритмы и компьютерные программы, пригодные для практического применения
ОПК(У)-3	Способен применять соответствующий физико-математический аппарат, методы анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования при решении профессиональных задач
ОПК(У)-4	Способен использовать методы анализа и моделирования электрических цепей и электрических машин
ОПК(У)-5	Способен использовать свойства конструкционных и электротехнических материалов в расчетах параметров и режимов объектов профессиональной деятельности
ОПК(У)-6	Способен проводить измерения электрических и неэлектрических величин применительно к объектам профессиональной деятельности
<b>Профессиональные компетенции</b>	
ПК(У) -1.	Способен проводить сбор и анализ данных для проектирования объектов профессиональной деятельности (ПД)
ПК(У) -2.	Способен составить конкурентно-способные варианты технических решений при проектировании объектов профессиональной деятельности
ПК(У) -3.	Способен проводить проектирование в соответствии с техническим заданием с использованием стандартных методов
ПК(У) -4.	Способен контролировать техническое состояние объектов профессиональной деятельности, организовывать профилактический осмотр и текущий ремонт по имеющейся технической документации
ПК(У) -5.	Способен осваивать вводимые в эксплуатацию объекты профессиональной деятельности по имеющейся технической документации



Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
федеральное государственное автономное  
образовательное учреждение высшего образования  
«Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (ТПУ)

Инженерная школа энергетики

Направление подготовки 13.03.02 Электроэнергетика и электротехника

Отделение Электроэнергетики и электротехники

Специализация Электрические станции

УТВЕРЖДАЮ:

Руководитель ООП

\_\_\_\_\_ В.В. Шестакова

«\_\_»\_\_\_\_2023 г.

**ЗАДАНИЕ**

**на выполнение выпускной квалификационной работы**

В форме:

бакалаврской работы
---------------------

Студенту:

Группа	ФИО
3-5А8А	Смоляков Константин Юрьевич

Тема работы:

Проектирование релейной защиты основного оборудования подстанции «Кличка» 110/10 кВ Забайкальской энергосистемы
Утверждена приказом директора (дата, номер)

Срок сдачи студентом выполненной работы:

--	--

**ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:**

**Исходные данные к работе**

*(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. Д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. Д.).*

Проектирование релейной защиты основного оборудования подстанции «Кличка» 110/10 кВ Забайкальской энергосистемы.  
ЭДС и сопротивление системы в максимальном и минимальном режимах работы.  
Длины линий 10 кВ, марки проводов.  
Максимальные мощности нагрузок, коэффициенты мощности нагрузок, коэффициент минимальной нагрузки.  
Выдержки времени МТЗ нагрузок, степень селективности.  
Режим нейтрали в сети 10 кВ – изолированная, 110 кВ – глухозаземленная.

**Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов**

*(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).*

Описать требования к релейным защитам и состав защит для трансформаторов и линий сети 10 кВ по нормативным документам (ПУЭ, электротехнический справочник, т.3 и др.).

Рассчитать параметры схемы замещения прямой (обратной) и нулевой последовательностей, нарисовать схемы замещения.

Рассчитать начальный сверхпереходный ток при трехфазном металлическом КЗ на шинах СН и НН подстанции, а также максимальный ток КЗ, протекающий через трансформатор при КЗ в конце линий 10 кВ.

По схеме замещения нулевой последовательности рассчитать начальный сверхпереходный ток при однофазном металлическом КЗ на шинах СН и НН подстанции.

Рассчитать максимальный и минимальный рабочие токи, протекающие через обмотки трансформатора и через каждую линию 10 кВ в максимальном и минимальном режимах.

Выбрать трансформаторы тока для трансформаторов Т<sub>1</sub>, Т<sub>2</sub> на сторонах ВН, НН.

Рассчитать параметры срабатывания и чувствительность мгновенной токовой отсечки и параметры срабатывания, выдержки времени и чувствительность максимальной токовой защиты (МТЗ) линий 10 кВ.

Построить характеристику срабатывания дифференциальной защиты трансформаторов, выполненной на микропроцессорной базе, по рекомендациям производителя (НПП «ЭКРА»).

Рассчитать параметры срабатывания и чувствительность мгновенной токовой отсечки и параметры срабатывания, выдержки времени и чувствительность максимальной токовой защиты (МТЗ) линий трансформаторов Т<sub>1</sub>, Т<sub>2</sub>.

Рассчитать параметры срабатывания и чувствительность токовой ступенчатой защиты нулевой последовательности трансформаторов Т<sub>1</sub>, Т<sub>2</sub>.

Описать принципы выполнения сигнализации от замыканий на землю в сетях с изолированным режимом работы нейтрали.

Описать принципы выполнения и характеристики газовой защиты трансформаторов.

Выбрать параметры срабатывания АПВ линий и трансформаторов подстанции. Выбрать время срабатывания АВР.

Оценить выбранные параметры срабатывания всех защит с точки зрения их соответствия требованиям по нормативным документам.

**Перечень графического материала**

*(с точным указанием обязательных чертежей)*

1. Электрическая схема подстанции
2. Схемы замещения прямой, обратной и нулевой последовательностей.
3. Характеристика срабатывания дифференциальной защиты.
4. Схема защит трансформатора.

**Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы**

*(с указанием разделов)*

Раздел	Консультант
Социальная ответственность	
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	

<b>Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику</b>	
---	--

**Задание выдал руководитель:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ст. преподаватель	Гречушников В.В.	Ст. преподаватель		

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-5A8A	Смоляков Константин Юрьевич		



Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
федеральное государственное автономное  
образовательное учреждение высшего образования  
«Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (ТПУ)

Инженерная школа энергетики

Направление подготовки 13.03.02 Электроэнергетика и электротехника

Уровень образования: бакалавр

Отделение Электроэнергетики и электротехники

Период выполнения: осенний / весенний семестр 2021 /2023 учебного года

Форма представления работы:

Бакалаврская работа

**КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ-ПЛАН  
выполнения выпускной квалификационной работы**

Срок сдачи студентом выполненной работы:

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
18.03.23	Составление расчетной схемы	5
01.04.23	Расчет ТО и МТЗ линий	20
15.04.23	Расчет ТО и МТЗ трансформатора	20
01.05.23	Расчет дифференциальной защиты трансформатора	20
05.05.23	Выбор необходимых автоматик	15
12.05.23	Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	10
15.05.23	Социальная ответственность	10
		100

**СОСТАВИЛ:**

**Руководитель ВКР**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ст. преподаватель	Гречушников В.В.	Ст. преподаватель		

**Консультант**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата

**СОГЛАСОВАНО:**

**Руководитель ООП**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата



**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА  
«ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И  
РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»**

Студенту

Группа	ФИО
3-5А8А	Смоляков Константин Юрьевич

Школа	ИШЭ	Отделение (НОЦ)	ОЭЭ
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	13.03.02 Электроэнергетика и электротехника

**Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:**

1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих	Стоимость материальных ресурсов и специального оборудования определены в соответствии с рыночными ценами г. Томска. Тарифные ставки исполнителей определены штатным расписанием НИ ТПУ
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов	-30% премии; 20% надбавки; 16% накладные расходы; 30% районный коэффициент.
3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования	Коэффициент отчислений во внебюджетные фонды – 30,2 %.

**Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:**

1. Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения	Анализ и оценка конкурентоспособности НИ; SWOT-анализ.
2. Планирование и формирование бюджета научных исследований	Формирование плана и графика разработки: -определение трудоемкости работ; -определение структуры работ; -разработка графика Гантта. Формирование бюджета затрат на научное исследование: - материальные затраты; - амортизационные отчисления -заработная плата; - отчисления на социальные цели; - накладные расходы.
3. Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования	Определение ресурсоэффективности проекта

**Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):**

1. Цели и результат проекта
2. Оценка конкурентоспособности НИ
3. Матрица SWOT
4. Диаграмма Гантта
5. Основные показатели эффективности НИ

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику

**Задание выдал консультант:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор	Гасанов Магеррам Али оглы	д.э.н.		

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-5А8А	Смоляков К.Ю.		

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА  
«СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»**

Студенту:

<b>Группа</b> 3-5A8A		<b>ФИО</b> Смолякову Константино Юрьевичу	
<b>Школа</b>	<b>ИШЭ</b>	<b>Отделение (НОЦ)</b>	<b>Электроэнергетики и электротехники</b>
<b>Уровень образования</b>	Бакалавриат	<b>Направление/специальность</b>	13.03.02 Электроэнергетика и электротехника

Тема ВКР:

<b>Проектирование релейной защиты основного оборудования подстанции «Кличка» 110/10 кВ Забайкальской энергосистемы</b>	
<b>Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:</b>	
<p><b>Введение</b></p> <p>--Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика) и области его применения. Описание рабочей зоны (рабочего места) при разработке проектного решения</p>	<p><i>Объект исследования: проектирование релейной защиты в программном комплексе АРМ СРЗА</i> <i>Область применения электроэнергетика</i> <i>Рабочая зона: лаборатория 8 корпуса ТПУ.</i> <i>Размеры помещения 20 м2</i> <i>Количество и наименование оборудования рабочей зоны ПЭВМ – 6 шт.</i> <i>Рабочие процессы, связанные с объектом исследования, осуществляющиеся в рабочей зоне: выполнение опытов в специализированных программах, с помощью которых происходит анализ изучаемого объекта</i></p>
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
<p><b>1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности при разработке проектного решения:</b></p> <p>специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства; организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Трудовой кодекс Российской Федерации от 30.12.2001 №197-ФЗ (ред. от 19.12.2022).</li> <li>- ГОСТ 12.2.032-78 Система стандартов безопасности труда. Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования;</li> <li>- ГОСТ Р ИСО 9355-1-2009 Эргономические требования к проектированию дисплеев и механизмов управления. Часть 1. Взаимодействие с человеком;</li> <li>- ГОСТ Р ИСО 9355-2-2009 Эргономические требования к проектированию дисплеев и механизмов управления. Часть 2. Дисплеи.</li> </ul>
<p><b>2. Производственная безопасность при разработке проектного решения:</b></p> <p>Анализ выявленных вредных и опасных производственных факторов</p>	<p>Анализ выявленных вредных факторов:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Отсутствие или недостатки необходимого искусственного освещения;</li> <li>– Перенапряжение зрительного анализатора;</li> <li>– Статические перегрузки, связанные с рабочей позой;</li> <li>– Повышенный уровень ультрафиолетового излучения;</li> <li>– Отклонение показателей микроклимата;</li> <li>– Повышенный уровень и другие неблагоприятные характеристики шума.</li> </ul> <p>Анализ выявленных опасных факторов:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Производственные факторы, связанные с электрическим током, вызываемым разницей электрических потенциалов, под действие которого попадает работающий.</li> </ul> <p>Средства коллективной и индивидуальной защиты от выявленных факторов:</p>

	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Средства защиты от поражения электрическим током: предохранительные устройства, устройства автоматического контроля и сигнализации, устройства автоматического отключения.</li> <li>– Средства нормализации освещения рабочего места: осветительные приборы, источники света;</li> <li>– Средства нормализации воздушной среды рабочего места: устройства для кондиционирования воздуха, отопления;</li> <li>– Средства защиты от повышенных или пониженных температур воздуха, температурных перепадов: устройства для обогрева и охлаждения.</li> </ul>
<b>3. Экологическая безопасность при разработке проектного решения:</b>	<p><i>Воздействие на литосферу: образование отходов при выходе из строя ПК.</i></p> <p><i>Воздействие объекта на сейсмическую зону, атмосферу и гидросферу не происходит</i></p>
<b>4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях при эксплуатации</b>	<p>Возможные ЧС:</p> <p>Природного характера – землетрясение;</p> <p>Техногенного характера – пожар (возгорание).</p> <p>Наиболее типичная ЧС: пожар</p>
<b>Дата выдачи задания для раздела по линейному графику</b>	

**Задание выдал консультант:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель ООД	Мезенцева Ирина Леонидовна	-		

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-5А8А	Смоляков Константин Юрьевич		

## РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа 112 с., 20 рис., 37 табл., 19 источников, 6 прил.

**Ключевые слова:** релейная защита, уставка, микропроцессорный терминал, ступень защиты, чувствительность, линия.

**Объектом исследования** является релейная защита линии 110/6 кВ.

Цель работы – Проектирование релейной защиты основного оборудования подстанции «Кличка» 110/10 кВ Забайкальской энергосистемы.

В процессе исследования проводились анализ защищаемого объекта, выбор и обоснование устройств релейной защиты, выбор аппаратной реализации релейной защиты линии электропередачи, расчет уставок и чувствительности релейной защиты линии электропередачи.

В результате исследования выбраны и обоснованы устройства релейной защиты, аппаратная реализация релейной защиты линии электропередачи, рассчитаны уставки и чувствительности релейной защиты линии электропередачи.

Основные конструктивные, технологические и технико-эксплуатационные характеристики:

1) технические данные и характеристики шкафа ШЭ2607- 016

- предназначен для резервной или единственной защиты линии электропередачи напряжением 110–220 кВ.

- содержит один комплект, реализующий функции ДЗ, ТНЗНП, ТО, МТЗ, АРПТ, АУВ, АПВ и УРОВ.

- номинальный переменный ток  $I_{ном}$  5 А

- номинальное междуфазное напряжение переменного тока  $U_{ном}$  100 В

В

- номинальное напряжение оперативного постоянного или выпрямленного тока  $U_{пит}$ , 220 В

- номинальная частота  $f_{ном}$ , 50 Гц.

**Степень внедрения:**

1) Рассчитанные уставки могут использоваться проектными или энергетическими компаниями для обеспечения защиты линии электропередач «Кличка» 110/10 кВ Забайкальской энергосистемы.

2) Шкаф ШЭ2607- 016 широко применяется для обеспечения релейной защиты и автоматики линии электропередачи напряжением 110–220 кВ.

**Область применения:**

1) Рассчитанные уставки шкафа ШЭ2607- 016 могут использоваться проективными или энергетическими компаниями для обеспечения защиты линии электропередач «Кличка» 110/10 кВ Забайкальской энергосистемы.

Экономическая эффективность/значимость работы обеспечение надежной и бесперебойной работы линии электропередач «Кличка» 110/10 кВ Забайкальской энергосистемы.

В будущем планируется рекомендовать проектным или энергетическим компаниями рассчитанные уставки.

## **Определения, обозначения, сокращения, нормативные ссылки**

**АПВ** – автоматическое повторное включение;

**АРМ СРЗА** – программный комплекс для расчетов электрических величин при повреждениях сети и уставок релейной защиты;

**БНН** – блокировки при неисправностях в цепях переменного напряжения;

**ДЗ** – дистанционная защита;

**КЗ** – короткое замыкание;

**РЗА** – релейной защиты и автоматики;

**ТЗНП** – токовая защита нулевой последовательности;

**ТН** – трансформатор напряжения;

**ТО** – токовая отсечка;

**ТТ** – трансформатор тока;

**УРОВ** – устройство резервирования при отказе выключателя;

**ЭЭС** – электроэнергетические системы.

## Оглавление

Введение.....	16
1. Описание требований к релейным защитам и состав защит для трансформаторов и линий сети 6 кВ по нормативным документам.....	19
2. Проектирование релейной защиты.....	22
2.1. Расчёт параметров схемы замещения прямой (обратной) и нулевой последовательностей, нарисовать схемы замещения.....	22
2.2. Составление схемы замещения прямой, обратной и нулевой последовательностей.....	27
2.3. Использование программы АРМ СРЗА и составление расчетной схемы 30	
2.4. Рассчитать начальный сверхпереходный ток при трехфазном металлическом КЗ на шинах СН и НН подстанции, а также максимальный ток КЗ, протекающий через трансформатор при КЗ в конце линий 10 кВ.....	33
2.4.1. По схеме замещения нулевой последовательности расчет начального сверхпереходного тока при однофазном металлическом КЗ на шине НН подстанции.....	38
2.4.2. Рассчитать максимальный и минимальный рабочие токи, протекающие через обмотки трансформатора и через каждую линию 10 кВ в максимальном и минимальном режимах.....	40
2.4.3. Выбор трансформатора тока для трансформаторов Т1, Т2 на сторонах ВН, СН, НН.....	41
2.4.4. Рассчитать параметры срабатывания и чувствительность мгновенной токовой отсечки и параметры срабатывания, выдержки времени и чувствительность максимальной токовой защиты (МТЗ) линий 10 кВ. 45	
2.4.5. Построение характеристики срабатывания дифференциальной защиты трансформаторов, выполненной на микропроцессорной базе, по рекомендациям производителя (НПП «ЭКРА»).....	53
2.4.6. Расчет параметров срабатывания и чувствительность мгновенной токовой отсечки и параметры срабатывания, выдержки времени и чувствительность максимальной токовой защиты (МТЗ) линий трансформаторов Т1, Т2.....	58

2.4.7.	Расчёт параметров срабатывания и чувствительность токовой ступенчатой защиты нулевой последовательности трансформаторов Т1, Т2	61
2.5.	Описание принципов выполнения сигнализации от замыканий на землю в сетях с изолированным режимом работы нейтрали.....	64
2.6.	Описание принципов выполнения и характеристики газовой защиты трансформаторов.....	67
2.7.	Выбор параметров срабатывания АПВ линий и трансформаторов подстанции. Выбор время срабатывания АВР.....	69
2.8.	Оценка выбранных параметров срабатывания всех защит с точки зрения их соответствия требованиям по нормативным документам.....	71
Вывод по главе.....		73
3.	Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение ..	74
3.1.	Анализ конкурентных технических решений.....	74
3.2.	SWOT-анализ.....	76
3.3.	Планирование научно-исследовательских работ.....	78
3.4.	Определение трудоемкости выполнения работ и разработка графика проведения проекта.....	79
3.5.	Бюджет научно-технического исследования (НТИ).....	81
3.6.	Расчет материальных затрат.....	82
3.7.	Расчет затрат на программное обеспечение.....	82
3.8.	Основная заработная плата исполнителей темы.....	83
3.9.	Дополнительная заработная плата исполнителей темы.....	85
3.10.	Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления).....	85
3.11.	Накладные расходы.....	86
3.12.	Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта.....	86
3.13.	Ресурсоэффективность.....	87
Вывод по разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение.....		89
4.	Социальная ответственность.....	91
4.1.	Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности....	91

4.2.	Производственная безопасность.....	93
4.3.	Анализ опасных и вредных производственных факторов.....	95
4.3.1.	Отклонение показателей микроклимата.....	95
4.3.2.	Отсутствие или недостатки необходимого искусственного освещения.....	96
4.3.3.	Перенапряжение зрительного анализатора.....	97
4.3.4.	Повышенный уровень и другие неблагоприятные характеристики шума	98
4.3.5.	Повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека.....	99
4.4.	Экологическая безопасность.....	99
4.5.	Воздействие на литосферу.....	100
4.6.	Безопасность в чрезвычайных ситуациях.....	100
	Вывод по разделу социальная ответственность.....	103
	Заключение.....	104
	Список использованных источников.....	105
	Приложение А – Электрическая схема подстанции.....	107
	Приложение Б – Схемы замещения прямой последовательностей.....	108
	Приложение В – Схема замещения обратной последовательности.....	109
	Приложение Г – Схема замещения нулевой последовательности.....	110
	Приложение Д – Характеристика срабатывания дифференциальной защиты.....	111
	Приложение Е – Схема защит трансформатора.....	112

## **Введение**

Современные ЭЭС являются сложными многопараметрическими динамическими системами, все элементы которых жестко связаны между собой общими режимами работы, а также методами и средствами их реализации. Существующие тенденции развития ЭЭС ведут к их дальнейшему усложнению и насыщению средствами централизованной автоматики релейной защиты, что еще более усиливает жесткость взаимодействий. В частности создаются и вводятся в эксплуатацию новые защиты для линий электропередач, для крупных генераторов, трансформаторов и энергоблоков. От надежности их защиты зависит бесперебойное электроснабжение потребителей. В этом большую роль играет релейная защита, которая является основным видом автоматики, без которой невозможна надежная работа современных электрических систем. Она осуществляет непрерывный контроль за состоянием и режимом работы всех элементов энергосистемы и реагирует на возникновение повреждений и ненормальных режимов

В настоящее время в электроустановках используются устройства РЗА трех видов, которые отражают три поколения развития аппаратуры РЗА: электромеханические устройства, микроэлектронные и микропроцессорные. Наиболее современным является последний вид. Так как идет процесс по внедрению микропроцессорных устройств в электроустановках, с каждым разом публикуется достаточное количество учебных материалов, при проектировании РЗА необходимо обращаться как к современным и перспективным микропроцессорным устройствам.

Устройства РЗА в совокупности представляют собой сложную многоступенчатую систему, предназначенную для бесперебойного электроснабжения потребителей электроэнергии и сохранения устойчивой работы синхронных генераторов. Однако выполнить свою задачу эти устройства могут лишь в случае, если они отвечают комплексу требований, изложенных в нормативных материалах. Соответствие реальных РЗА этим

требованиям обеспечивается, в основном, на стадии проектирования, которое при правильной его организации обязательно должно быть комплексным.

В данной работе поставлена задача выбора и расчет уставок релейной защиты основного оборудования подстанции «Кличка» 110/10 кВ Забайкальской энергосистемы.

Для выполнения поставленной задачи использовался вычислительный расчетный комплекс «АРМ СРЗА» (ПК «БРИЗ», г.Новосибирск), который принят в промышленную эксплуатацию в качестве основного программного средства в ЦДУ ЕЭС, ОДУ Востока, ОДУ Сибири, ОДУ Урала, ОДУ Средней Волги, ОДУ Центра, ОДУ Северного Кавказа, ОДУ Северозапада, всеми РДУ этих ОДУ. АРМ СРЗА передан в эксплуатацию во все МЭС Федеральной сетевой компании, а также в энергетические компании Белоруссии, Казахстана, Латвии, Литвы, Монголии.

АРМ СРЗА позволяет:

- Строить математическую модель электрической сети с неограниченным объемом узлов и связей, как в графическом, так и в табличном виде. Экспортировать графическое изображение сети в формат CorelDRAW, AutoCAD. Производить экспорт/импорт электрической части модели сети (ветви и её параметры) в формат программы Excel.
- Производить расчеты электрических величин в сети неограниченного объема, при повреждениях любой сложности, с учетом групп ветвей взаимоиндукции, активной составляющей сопротивлений, отличия величины сопротивлений прямой и обратной последовательностей и фактических групп соединения обмоток трансформаторов в трехфазной симметричной сети любого напряжения. Получать выходные документы в формате Word и Excel.
- Производить расчет уставок микропроцессорных защит, токовых ступенчатых защит от замыканий на землю, дистанционных защит типа ЭПЗ-1636, ДЗ-503, ПЗ-5, ПДЭ-2001, ШДЭ-2801,БРЭ-2801, токовых защит от междуфазных К.З., микропроцессорных дистанционных защит НПП «ЭКРА»,

SIEMENS, ALSTOM. Получать выходные документы в формате пакета Word, производить экспорт релейного фонда в формат программы Excel.

- Получать новую сеть на базе эквивалента сети. Производить расчет параметров производной схемы замещения (шунтов) для повреждений любой сложности, с учетом параметров взаимоиндукции ветвей нулевой последовательности.

- Производить расчеты по определению места повреждения сети:

- расчет таблиц для определения мест повреждений сети;

- расчет места повреждения сети (ОМП) по показаниям приборов.

## **1. Описание требований к релейным защитам и состав защит для трансформаторов и линий сети 6 кВ по нормативным документам**

Согласно ПЭУ [1] всех электроустановки напряжением 6-750 кВ должно быть оборудовано защитным оборудованием, в точности устройствами релейной защиты и автоматики (РЗА). Устройства РЗА используются для обеспечения определения возникновения аварийного или ненормального режимами (например, короткого замыкания (КЗ)), быстрого и надежного отключения защищаемого оборудования от остальной части электроэнергетической системы (ЭЭС). Кроме этого, РЗА должны обеспечивать формирование управляющего сигнала в случае возникновения ненормального режима, который в течение продолжительного времени не приведет к повреждению оборудования, для автоматического отключения и включения высоковольтных выключателей как при возникновении КЗ, так и восстановления нормальной работы ЭЭС или включения резервного источника питания при отключении рабочего источника или для автоматического включения резервного оборудования при отключении рабочего оборудования, приводящем к нарушению нормального технологического процесса.

Используемые устройства РЗА должны отвечать требованиям надежности функционирования, быстродействия отключения короткого замыкания, селективности или избирательности и отключения именно повреждённого участника сети, а также чувствительности, то есть реагированию на аварийные режимы и не допускать отключения в допустимых максимальных режимах.

Устройства РЗА воздушных и кабельных линий в сетях напряжением 6 кВ с изолированной нейтралью или с нейтралью, заземленной через дугогасящий реактор или резистор, должен иметь в составе РЗА устройства от многофазных коротких замыканий и от однофазных замыканий на землю.

Для одиночных линий с односторонним питанием должны быть установлены в качестве защиты от многофазных КЗ двухступенчатая токовая защита:

– первая ступень выполнена в виде токовой отсечки без выдержки времени;

– вторая ступень выполняется в виде максимальной токовой защиты с независимой или зависимой характеристикой выдержки времени.

Для одиночных линий с двухсторонним питанием при наличии или отсутствии обходных связей, входящих в кольцевую сеть с одной точкой питания, рекомендуется включать те же функции защиты, что и на одиночных линиях с односторонним питанием, выполняя их, при необходимости, направленными.

Если ненаправленная или направленная токовая ступенчатая защита не обеспечивает требуемых быстродействия и селективности, допускается предусматривать следующие защиты:

1) дистанционная защита;

2) поперечная дифференциальная токовая защита (для сдвоенных кабельных линий);

3) продольная дифференциальная токовая защита для коротких участков линий.

При использовании дифференциальной защиты в качестве резервной защиты следует предусматривать максимальную токовую защиту.

От однофазных замыканий на землю можно использовать:

– селективную защиту, действующей на сигнал, допускается также выполнение селективной защиты с действием на отключение линий, питающих электроустановки потребителей, имеющих резервное питание;

– селективную защиту (устанавливающей поврежденный элемент электрической сети или направление) и неселективной резервной защиты, действующих на отключение, когда это необходимо по требованиям безопасности; селективная защита должна быть установлена на всех отходящих линиях, питающих сеть, где отключение необходимо по требованиям безопасности;

– устройства контроля изоляции, при этом отыскание поврежденного элемента должно осуществляться специальными устройствами.

Селективные защиты должны быть оснащены «фильтрующей» защитой нулевой последовательности.

Защита от однофазных замыканий на землю, действующая на отключение без выдержки времени по требованиям безопасности, должна отключать только линию поврежденного направления; при этом резервная защита, выполненная в виде защиты напряжения нулевой последовательности, должна действовать с выдержкой времени около 0,5 с на отключение шин или питающего трансформатора с запрещением АПВ и АВР.

## 2. Проектирование релейной защиты

### 2.1. Расчёт параметров схемы замещения прямой (обратной) и нулевой последовательностей, нарисовать схемы замещения

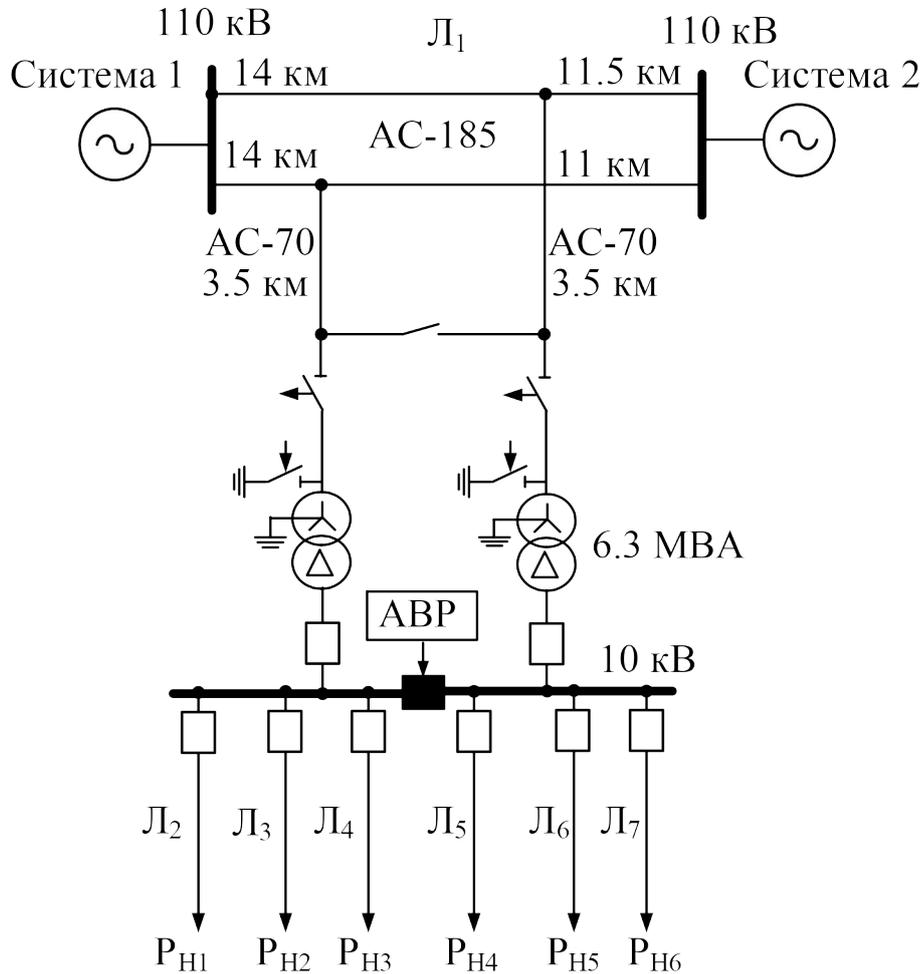


Рисунок 1 - Схема электрических соединений подстанции

Расчет параметров схемы:

1) Параметры Системы 1:

Таблица 1 Параметры Системы 1

Параметры системы 1			
ЭДС 1		Сопротивления последовательностей, Ом	
121 кВ		прямая	обратная
Режим	максимальный	7	7
	минимальный	9.1	9.1
ЭДС 2		Сопротивления последовательностей, Ом	
121 кВ		прямая	обратная
Режим	максимальный	14	14
	минимальный	17	17

Параметры воздушных линий:

Таблица 2 – Параметры воздушных линий

Линии	Длина (км)	Марка провода	Удельные параметры			Параметры ЛЭП		
			$r_0$					
Л2	1,5	АС 70/11	$r_0$	0,428	Ом/км	$R1=R2$	0,39	Ом
						$R0=10*R1$	3,9	
			$x_0$	0,432		$X1=X2$	0,12	
		$X0=4*X1$	0,48					
			$b_0$	6,6	мкСм/км	$B1=B0$	9,9	мкСм
Л3	2,5	АС 70/11	$r_0$	0,26	Ом/км	$R1=R2$	0,65	Ом
						$R0=10*R1$	6,5	
			$x_0$	0,08		$X1=X2$	0,2	
		$X0=4*X1$	0,8					
			$b_0$	6,6	мкСм/км	$B1=B0$	16,5	мкСм
Л4	2,3	АС 70/11	$r_0$	0,26	Ом/км	$R1=R2$	0,598	Ом
						$R0=10*R1$	5,98	
			$x_0$	0,08		$X1=X2$	0,184	
		$X0=4*X1$	0,736					
			$b_0$	6,6	мкСм/км	$B1=B0$	15,18	мкСм
Л5	2,4	АС 70/11	$r_0$	0,26	Ом/км	$R1=R2$	0,624	Ом
						$R0=10*R1$	6,24	
			$x_0$	0,08		$X1=X2$	0,192	
		$X0=4*X1$	0,768					
			$b_0$	6,6	мкСм/км	$B1=B0$	15,84	мкСм
Л6	1,7	АС 70/11	$r_0$	0,26	Ом/км	$R1=R2$	0,442	Ом
						$R0=10*R1$	4,42	
			$x_0$	0,08	Ом/км	$X1=X2$	0,136	
			$b_0$	6,6	мкСм/км	$B1=B0$	11,22	мкСм
			$r_0$	0,26		$R1=R2$	0,286	
Л7	1,1	АС 70/11			Ом/км	$R0=10*R1$	2,86	Ом
			$x_0$	0,08	Ом/км	$X1=X2$	0,088	
						$X0=3*X1$	0,352	
			$b_0$	6,6	мкСм/км	$B1=B0$	7,26	мкСм
Л1.1	14	АС 185/29	$r_0$	0,162	Ом/км	$R1=R2=R0$	2,268	Ом
			$x_0$	0,413	Ом/км	$X1=X2$	5,782	
						$X0=3*X1$	17,346	
			$b_0$	2,75	мкСм/км	$B1=B0$	38,5	мкСм
Л1.2	14	АС 185/29	$r_0$	0,162	Ом/км	$R1=R2=R0$	2,268	
			$x_0$	0,413	Ом/км	$X1=X2$	5,782	
						$X0=3*X1$	17,346	
			$b_0$	2,75	мкСм/км	$B1=B0$	38,5	мкСм
Л1.3	11,5	АС 185/29	$r_0$	0,162	Ом/км	$R1=R2=R0$	1,863	Ом
			$x_0$	0,413	Ом/км	$X1=X2$	4,7495	
						$X0=3*X1$	14,2485	
			$b_0$	2,75	мкСм/км	$B1=B0$	31,625	мкСм

Продолжение таблицы 2

Л1.4	11	АС 185/29	$r_0$	0,162	Ом/км	$R1=R2=R0$	1,782	Ом
			$x_0$	0,413	Ом/км	$X1=X2$	4,543	
						$X0=3*X1$	13,629	
Л1.5	3,5	АС 70/11	$b_0$	2,75	мкСм/км	$B1=B0$	30,25	мкСм
			$r_0$	0,428	Ом/км	$R1=R2=R0$	1,498	
			$x_0$	0,44	Ом/км	$X1=X2$	1,554	
Л1.6	3,5	АС 70/11				$X0=3*X1$	4,662	
			$b_0$	2,55	мкСм/км	$B1=B0$	8,925	мкСм
			$r_0$	0,428	Ом/км	$R1=R2=R0$	1,498	Ом
Л1.6	3,5	АС 70/11	$x_0$	0,44	Ом/км	$X1=X2$	1,554	
						$X0=4*X1$	4,662	
			$b_0$	2,55	мкСм/км	$B1=B0$	8,925	мкСм

2) Параметры двухобмоточных трансформаторов (Т1, Т2) ТДН ТМ 6300/110/10,5 кВ

Таблица 3 – Параметры трансформаторов

Тип	Номинальная мощность, МВА	Обозначение	$K_T$	Напряжения обмоток (кВ)		$u_k$ (%)		Активные потери (кВт)	Сопротивления обмоток (Ом)		РПН
				ВН	НН	$u_{к_В}$	$u_{н-нн}$		$R_T$	$X_T$	
ТМ 6300/110/10,5 кВ	6,3	Т1, Т2	121/10,5 = 11,5	ВН	НН		10,5		16,23	244,02	1.78 % ±9 ступеней
				121	10,5						

Сопротивления в схеме замещения двухобмоточного трансформатора определяются по формулам:

$$R_T = \frac{P_K U_{НОМ}^2}{S_{НОМ}^2 1000} = \frac{44 \times 21^2}{6,3^2 \times 1000} = 16,23 \text{ Ом}$$

$$X_T = \frac{u_{к\%} U_{НОМ}^2}{100 S_{НОМ}} = \frac{10,5}{100} \times \frac{121^2}{6,3} = 244,02 \text{ Ом}$$

1) Параметры нагрузки:

Для режима максимальных нагрузок:

Таблица 4 – Параметры максимальных нагрузок

Обозначение	Мощность нагрузки $P_H$ , МВт	Коэффициент мощности нагрузок ( $\cos(\varphi)$ )	Полная мощность $S_H$ , МВА	Реактивная мощность $Q_H$ , Мвар
$P_{H1}$	0,42	0,82	0,51	0,29
$P_{H2}$	0,87	0,81	1,07	0,63
$P_{H3}$	0,31	0,84	0,37	0,20
$P_{H4}$	0,49	0,84	0,58	0,32
$P_{H5}$	0,22	0,85	0,26	0,14
$P_{H6}$	0,81	0,81	1,00	0,59

Информации о доли асинхронной нагрузки нет, значит доля асинхронной нагрузки равна нулю.

Определим сопротивление прямой и обратной последовательности нагрузки

Таблица 5 – Сопротивления последовательностей нагрузки

	R1	X1	R2	X2
$P_{H1}$	176,51	123,20	176,51	123,20
$P_{H2}$	83,14	60,20	83,14	60,20
$P_{H3}$	250,94	162,09	250,94	162,09
$P_{H4}$	158,76	102,55	158,76	102,55
$P_{H5}$	362,07	224,39	362,07	224,39
$P_{H6}$	89,30	64,65	89,30	64,65

$$R_{H(1)} = \frac{P_{НОМ} U^2}{P_1^2 + Q_1^2}, \quad X_{H(1)} = \frac{Q_{НОМ} U^2}{P_1^2 + Q_1^2}$$

$$R_{H(2)} = \frac{P_{НОМ} U^2}{P_H^2 + Q_H^2} R_{2*}, \quad X_{H(2)} = \frac{Q_{НОМ} U^2}{P_H^2 + Q_H^2} X_{2*}$$

где  $R_{2*}, X_{2*}$  – коэффициенты, учитывающие снижение сопротивления из-за влияния (доли) асинхронных двигателей, в нашем случае  $R_{2*}=1, X_{2*}=1$ .

Для режима минимальных нагрузок:

Коэффициент минимальной нагрузки  $K_{min} = 0,7$ . Это означает, что значение коэффициента снижения максимума нагрузки в минимальном режиме принять равным 0,7.

Тогда, мощность каждой нагрузки будет уменьшена на коэффициент  $K_{min} = 0,7$ .

Таблица 6 – Параметры нагрузок

Обозначение	Мощность нагрузки P <sub>н</sub> , МВт	Коэффициент мощности нагрузок (cos(φ))	Полная мощность S <sub>н</sub> , МВА	Реактивная мощность Q <sub>н</sub> , Мвар
P <sub>н1</sub>	0,294	0,82	0,36	0,21
P <sub>н2</sub>	0,609	0,81	0,75	0,44
P <sub>н3</sub>	0,217	0,85	0,26	0,13
P <sub>н4</sub>	0,343	0,84	0,41	0,22
P <sub>н5</sub>	0,154	0,83	0,19	0,10
P <sub>н6</sub>	0,567	0,83	0,68	0,38

Информации о доли асинхронной нагрузки нет, значит доля асинхронной нагрузки равна нулю.

Для определим сопротивление прямой и обратной последовательности нагрузки:

Таблица 7 – Сопротивления последовательностей нагрузки

	R1	X1	R2	X2
P <sub>н1</sub>	252,15	176,00	252,15	176,00
P <sub>н2</sub>	118,78	85,99	118,78	85,99
P <sub>н3</sub>	367,08	227,49	367,08	227,49
P <sub>н4</sub>	226,80	146,50	226,80	146,50
P <sub>н5</sub>	493,19	331,43	493,19	331,43
P <sub>н6</sub>	133,95	90,02	133,95	90,02

$$R_{H(1)} = \frac{P_{\text{НОМ}} U^2}{P_1^2 + Q_1^2}, \quad X_{H(1)} = \frac{Q_{\text{НОМ}} U^2}{P_1^2 + Q_1^2}$$

$$R_{H(2)} = \frac{P_{\text{НОМ}} U^2}{P_H^2 + Q_H^2} R_{2*}, \quad X_{H(2)} = \frac{Q_{\text{НОМ}} U^2}{P_H^2 + Q_H^2} X_{2*}$$

где  $R_{2*}, X_{2*}$  – коэффициенты, учитывающие снижение сопротивления из-за влияния (доли) асинхронных двигателей, в нашем случае  $R_{2*}=1, X_{2*}=1$ .

Таблица 8 – Выдержка времени

Выдержки времени нагрузок 1– 6, с							
t <sub>н1</sub>	t <sub>н2</sub>	t <sub>н3</sub>	t <sub>н4</sub>	t <sub>н5</sub>	t <sub>н6</sub>	t <sub>н7</sub>	t <sub>н8</sub>
1.2	0,6	1.1	0,5	0.4	0,5	1	1
Степень селективности Δt = 0.5 с							

## 2.2. Составление схемы замещения прямой, обратной и нулевой последовательностей

В схему замещения прямой последовательности входят параметры синхронных машин и систем (индуктивное сопротивление и эквивалентное ЭДС), трансформаторов, нагрузок и линий электропередач.

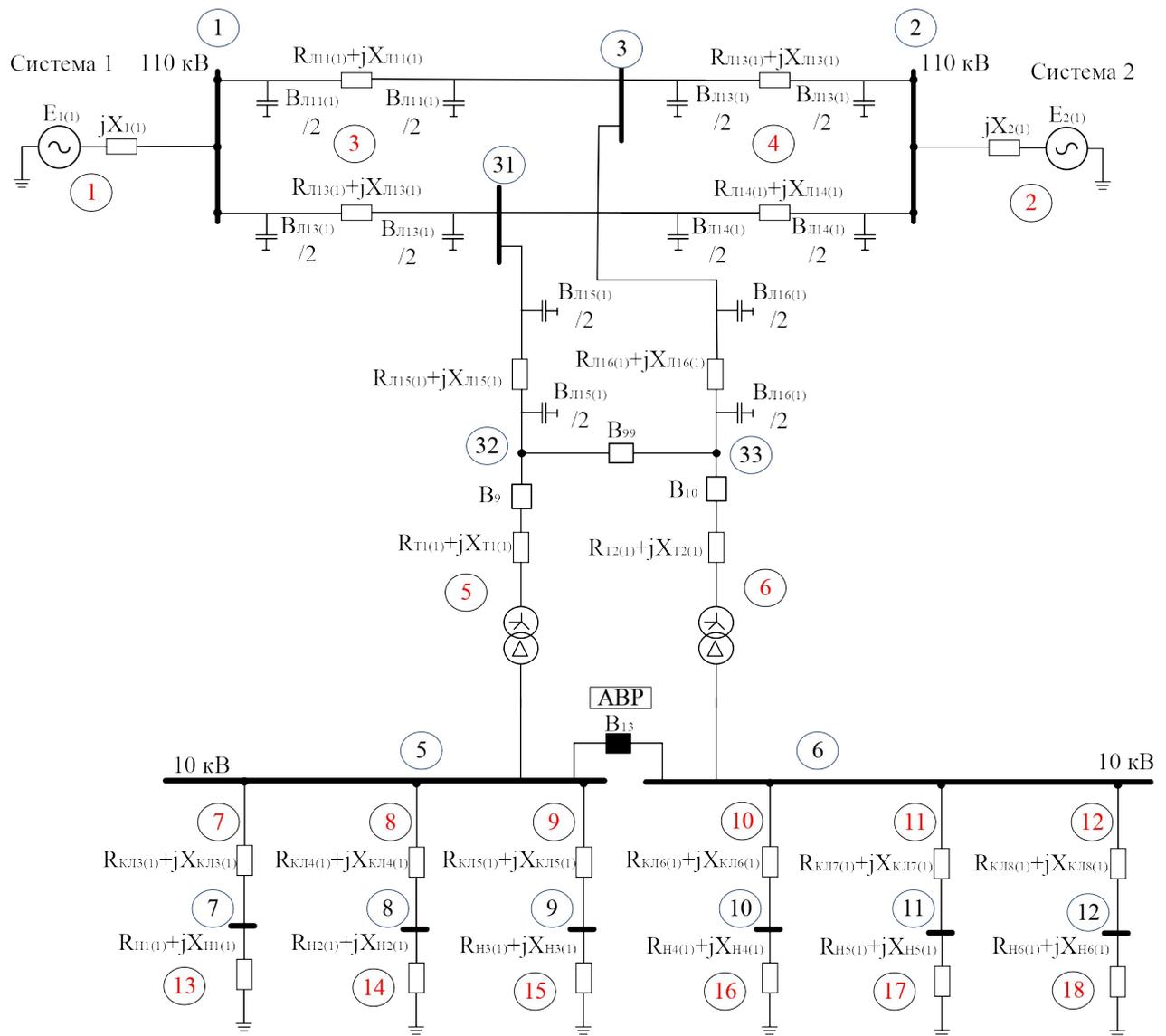


Рисунок 2 - Схема замещения прямой последовательности

Схема замещения обратной последовательности по структуре аналогична схеме замещения прямой последовательности, так как пути протекания токов обратной последовательности те же, что и для токов прямой последовательности. Различие между этими схемами состоит в том, что в схеме

обратной последовательности ЭДС генерирующих ветвей условно принимают равными нулю.

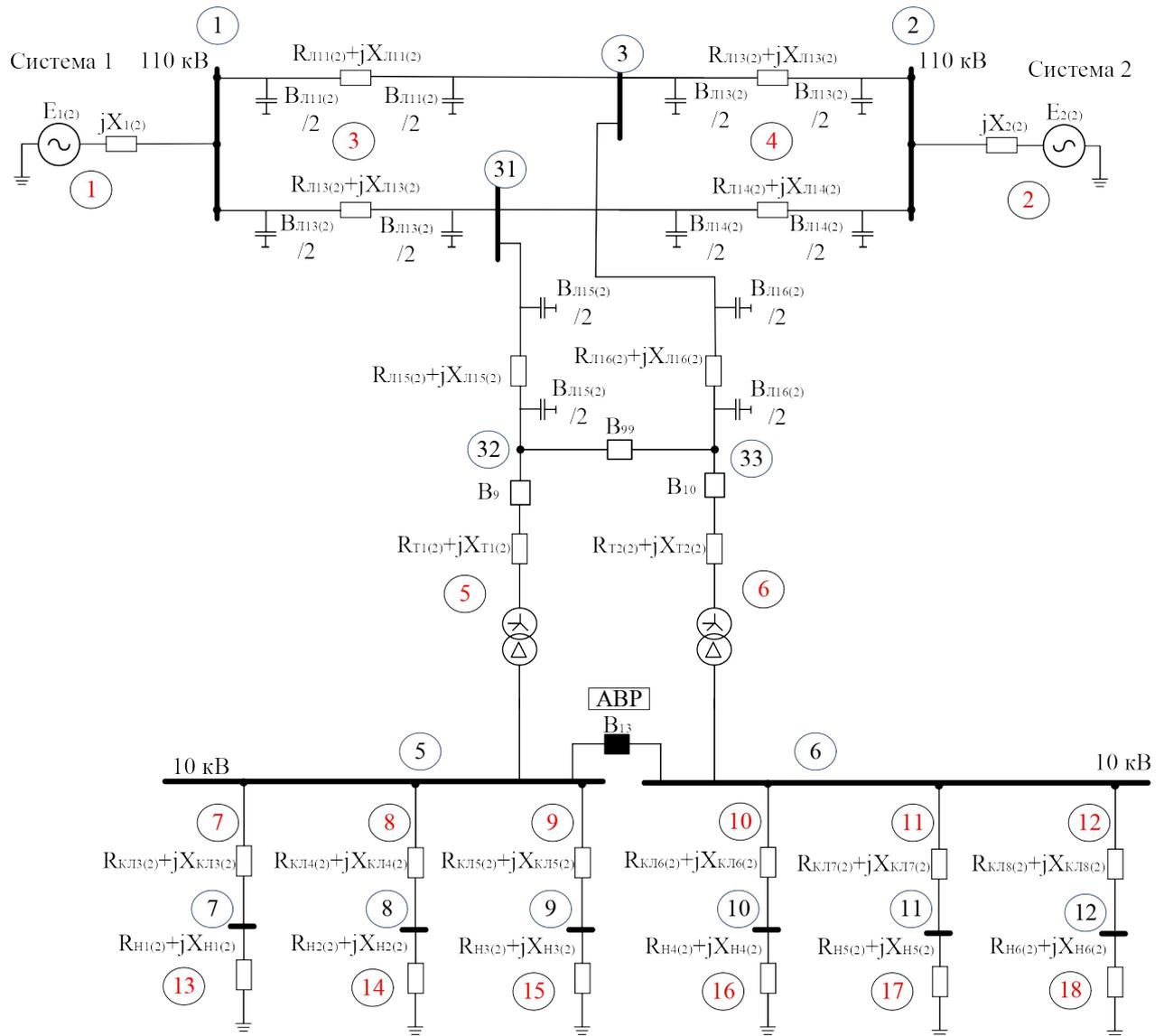


Рисунок 3 - Схема замещения обратной последовательности

Схема замещения нулевой последовательности определяется соединением обмоток трансформаторов и автотрансформаторов: согласно пути протекания тока нулевой последовательности. Так, ток нулевой последовательности, протекая от места КЗ, может иметь возврат к месту не симметрии только через землю и параллельные ей цепи (тросы линий, оболочки кабелей, нулевые провода). Составление схемы замещения нулевой последовательности начинают от точки КЗ, считая, что в этой точке все фазы замкнуты между собой и к ней относительно земли приложено напряжение

нулевой последовательности, под действием которого через элементы, соединенные в звезду с заземленной нейтралью и имеющие электрическую связь с точкой КЗ, будут протекать токи нулевой последовательности, поэтому в схему замещения включаются лишь те элементы, через которые протекают токи нулевой последовательности.

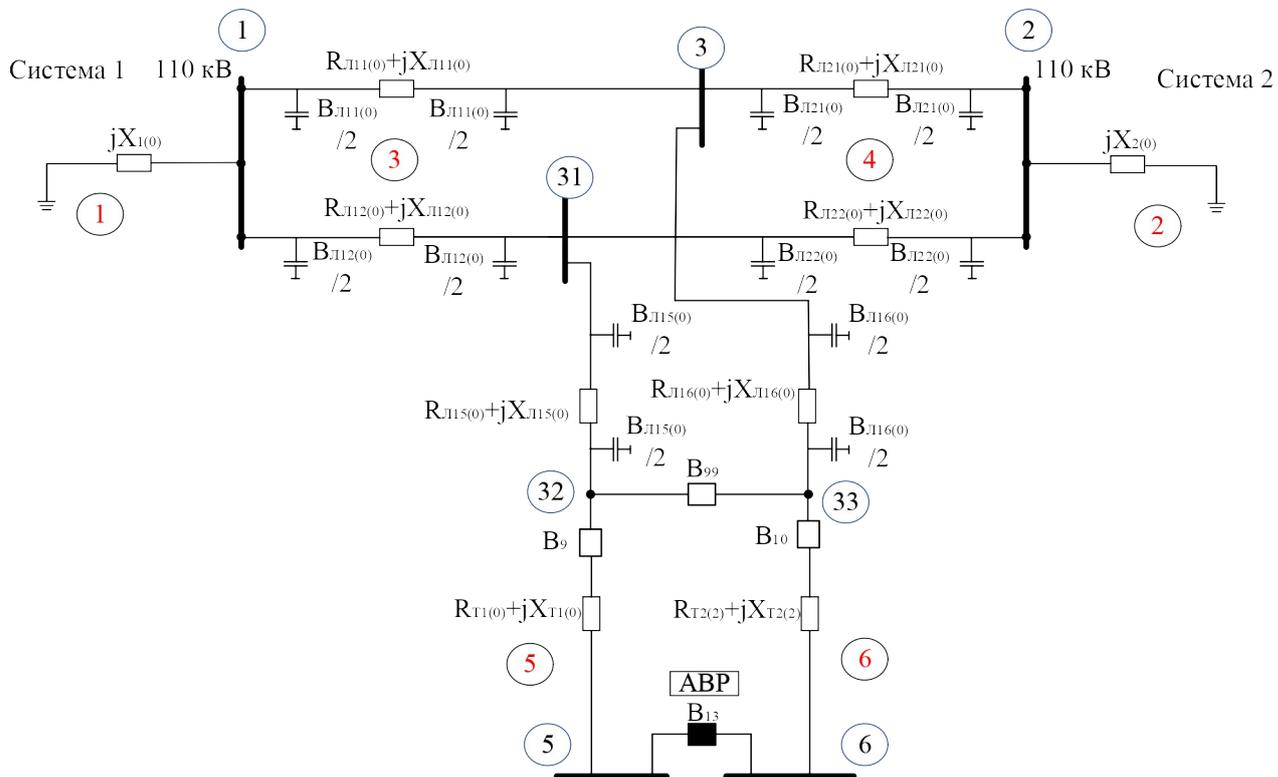


Рисунок 4 - Схема замещения нулевой последовательности

### 2.3. Использование программы АРМ СРЗА и составление расчетной схемы

Тип	Пар	Узел 1	Узел 2	Нэл	R1	X1	E,K1,B1(c)	Фаза,L	R0	X0	K0,B0(c)	R2	X2	Ns1	Ns2
5	0	33	6	6	16.23	244.02	11.5	0	0	0	0	0	0	1	0
5	0	2	3	4	1.863	4.749	31.62	22	1.863	14.24	31.62	1.863	4.749	0	0
5	0	2	31	41	1.782	4.543	30.25	22	1.782	13.62	58	30.25	4.543	1	2
0	0	0	8	14	83.14	60.2	0	0	0	0	0	83.14	60.2	0	0
0	0	0	7	13	176.51	123.2	0	0	0	0	0	176.51	123.2	0	0
5	0	1212	12	12	0.26	0.08	6.6	1	2.6	0.32	6.6	0.26	0.08	1	0
3	0	32	5	5	16.23	244.02	11.5	0	0	0	0	0	0	1	0
5	0	1111	11	11	0.442	0.136	11.22	1.2	4.42	0.544	11.22	0.442	0.136	1	2
5	0	1010	10	10	0.624	0.192	15.84	0.7	6.24	0.768	15.84	0.624	0.192	1	2
5	0	99	9	9	0.598	0.184	15.18	0.8	5.98	0.736	15.18	0.598	0.184	1	2
5	0	88	8	8	0.65	0.2	16.5	1.1	6.5	0.8	16.5	0.65	0.2	1	2
5	0	77	7	7	0.39	0.12	9.9	0.4	3.9	0.48	9.9	0.39	0.12	1	2
5	0	1	31	31	2.268	5.782	38.5	19	2.268	17.346	38.5	2.268	5.782	1	2
5	0	1	3	3	2.268	5.782	38.5	19	2.268	17.346	38.5	2.268	5.782	0	0
4	0	0	2	2	0	14	121	0	0	18	0	0	14	1	2
0	0	0	9	15	250.94	162.09	0	0	0	0	0	250.94	162.09	0	0
0	0	0	10	16	158.76	102.55	0	0	0	0	0	158.76	102.55	0	0
0	0	0	11	17	362.07	224.39	0	0	0	0	0	362.07	224.39	0	0
0	0	0	12	18	89.3	64.65	0	0	0	0	0	89.3	64.65	0	0
4	0	0	1	1	0	7	121	0	0	9.9	0	0	7	1	2
5	0	31	32	19	1.498	1.554	8.925	19	1.498	4.662	8.925	1.498	1.554	1	2
5	0	3	33	20	1.498	1.554	8.925	19	1.498	4.662	8.925	1.498	1.554	1	2
101	0	5	6	30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	0	5	77	31	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	0	5	88	32	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	0	5	99	33	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	0	6	1010	34	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	0	6	1111	35	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	0	6	1212	36	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Рисунок 5 - Данные табличного ввода (для максимального режима)

Тип	Пар	Узел 1	Узел 2	Нэл	R1	X1	E,K1,B1(c)	Фаза,L	R0	X0	K0,B0(c)	R2	X2	Ns1	Ns2
0	0	33	6	6	16.23	244.02	11.5	0	0	0	0	0	0	1	0
5	0	2	3	4	1.863	4.749	31.62	22	1.863	14.24	31.62	1.863	4.749	0	0
5	0	2	31	41	1.782	4.543	30.25	22	1.782	13.62	58	30.25	4.543	1	2
0	0	0	8	14	118.78	85.99	0	0	0	0	0	118.78	85.99	0	0
0	0	0	7	13	252.15	176	0	0	0	0	0	252.15	176	0	0
5	0	1212	12	12	0.26	0.08	6.6	1	2.6	0.32	6.6	0.26	0.08	1	0
3	0	32	5	5	16.23	244.02	11.5	0	0	0	0	0	0	1	0
5	0	1111	11	11	0.442	0.136	11.22	1.2	4.42	0.544	11.22	0.442	0.136	1	2
5	0	1010	10	10	0.624	0.192	15.84	0.7	6.24	0.768	15.84	0.624	0.192	1	2
5	0	99	9	9	0.598	0.184	15.18	0.8	5.98	0.736	15.18	0.598	0.184	1	2
5	0	88	8	8	0.65	0.2	16.5	1.1	6.5	0.8	16.5	0.65	0.2	1	2
5	0	77	7	7	0.39	0.12	9.9	0.4	3.9	0.48	9.9	0.39	0.12	1	2
5	0	1	31	31	2.268	5.782	38.5	19	2.268	17.346	38.5	2.268	5.782	1	2
5	0	1	3	3	2.268	5.782	38.5	19	2.268	17.346	38.5	2.268	5.782	0	0
4	0	0	2	2	0	17	121	0	0	23.6	0	0	17	1	2
0	0	0	9	15	367.08	227.49	0	0	0	0	0	367.08	227.49	0	0
0	0	0	10	16	226.8	146.5	0	0	0	0	0	226.8	146.5	0	0
0	0	0	11	17	493.19	331.43	0	0	0	0	0	493.19	331.43	0	0
0	0	0	12	18	133.95	90.02	0	0	0	0	0	133.95	90.02	0	0
4	0	0	1	1	0	9.1	121	0	0	11.8	0	0	9.1	1	2
5	0	31	32	19	1.498	1.554	8.925	19	1.498	4.662	8.925	1.498	1.554	1	2
5	0	3	33	20	1.498	1.554	8.925	19	1.498	4.662	8.925	1.498	1.554	1	2
101	0	5	6	30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	0	5	77	31	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	0	5	88	32	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	0	5	99	33	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	0	6	1010	34	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	0	6	1111	35	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	0	6	1212	36	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Рисунок 6 – Данные табличного ввода (для минимального режима)

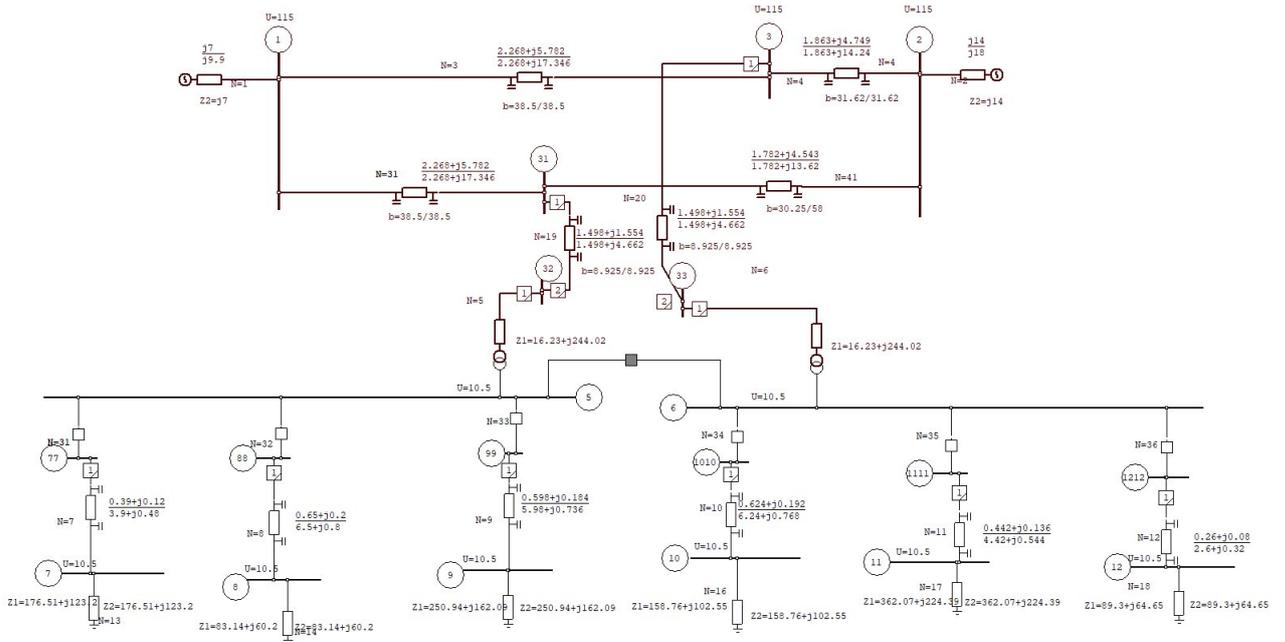


Рисунок 7 – Схема замещения (для максимального режима)

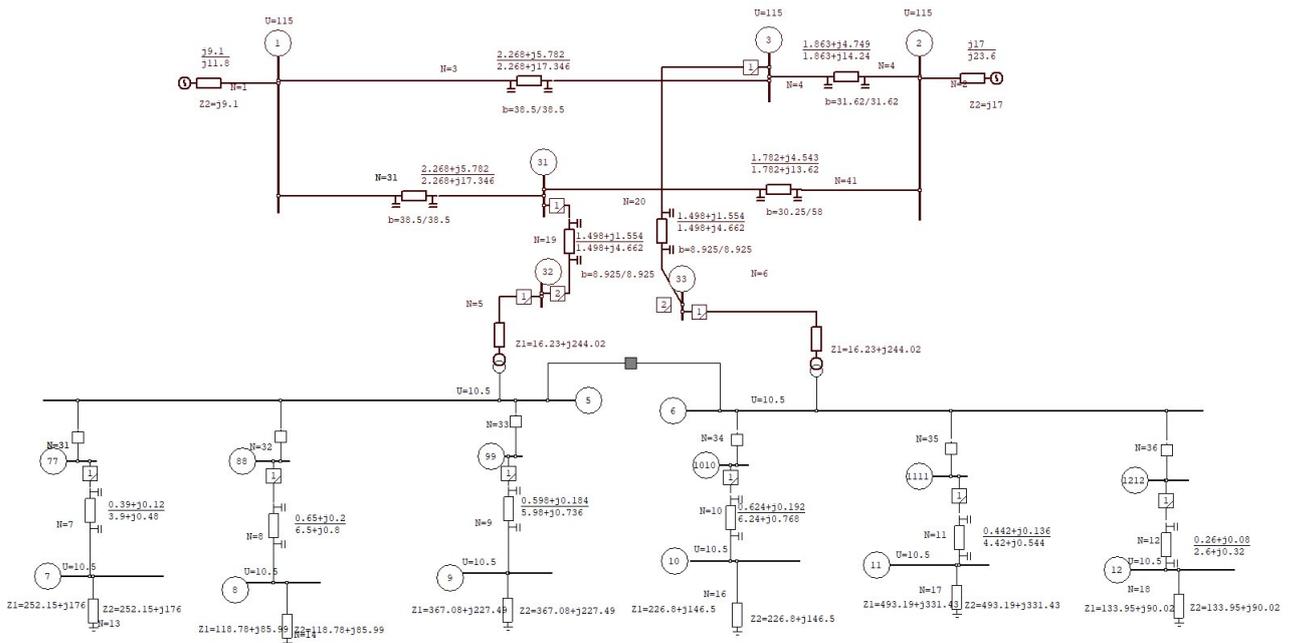


Рисунок 8 – Схема замещения (для минимального режима)

**2.4. Рассчитать начальный сверхпереходный ток при трехфазном металлическом КЗ на шинах СН и НН подстанции, а также максимальный ток КЗ, протекающий через трансформатор при КЗ в конце линий 10 кВ.**

С помощью программы АРМ СРЗА определим начальный ток КЗ (сверхпереходный ток) при трехфазном металлическом КЗ на шинах ВН и НН подстанции в режиме максимальных и минимальных нагрузок.

Примечание:

- на ПС секционный выключатель (между шинами 5 и 6, элемент №30) в нормальном положении находится в выключенном положении. Это делается для ограничения токов КЗ;

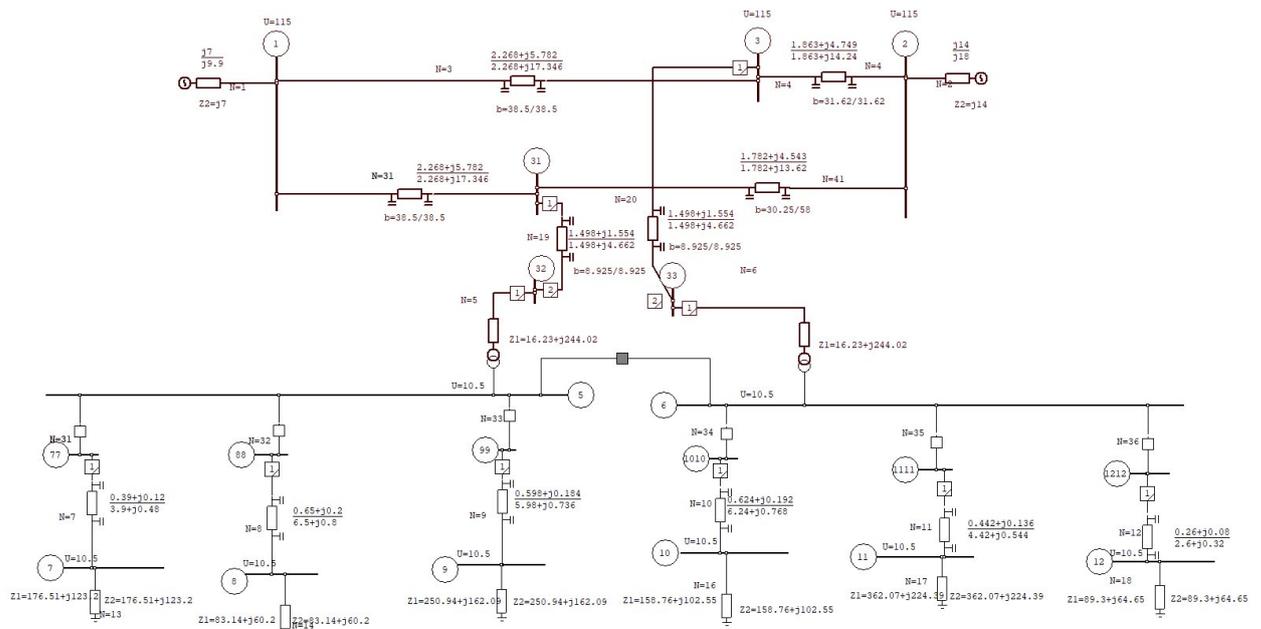


Рисунок 9 – Схема энергосистемы

Приведем пример расчета КЗ на стороне НН:

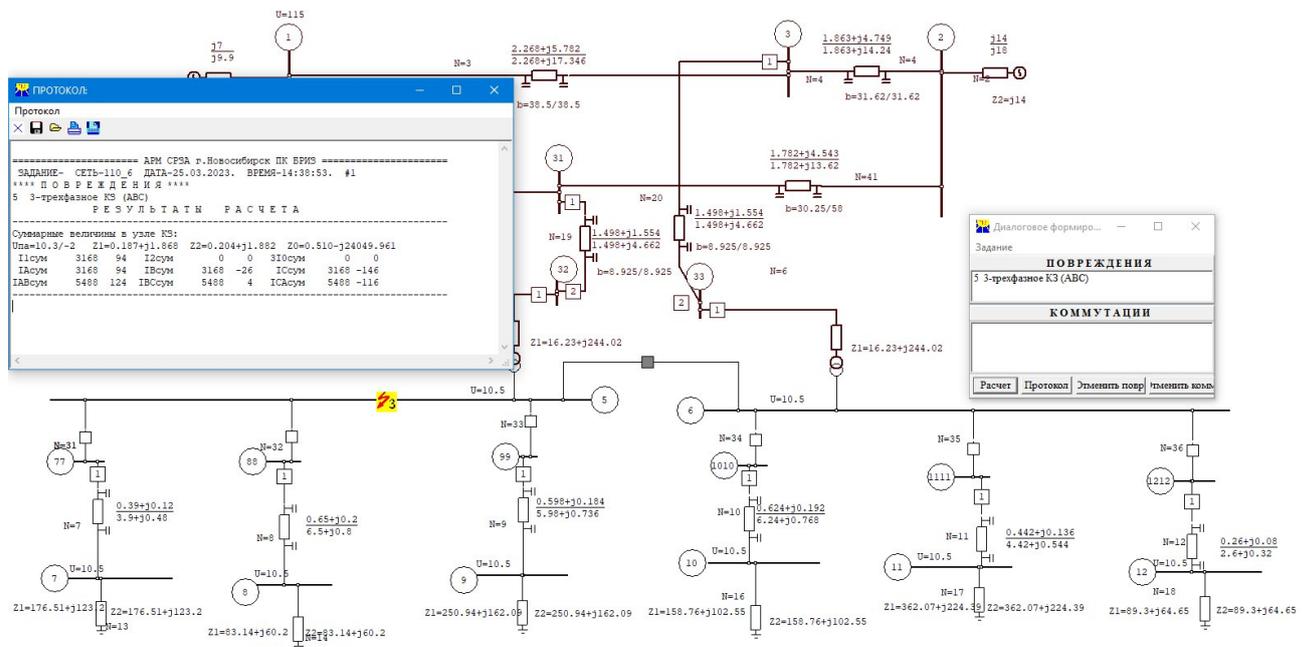


Рисунок 9 – Схема и протокол расчет тока трехфазного КЗ на шине НН трансформатора (узел № 5)

Далее представлен протокол расчет тока трехфазного КЗ на шине ВН трансформатора:

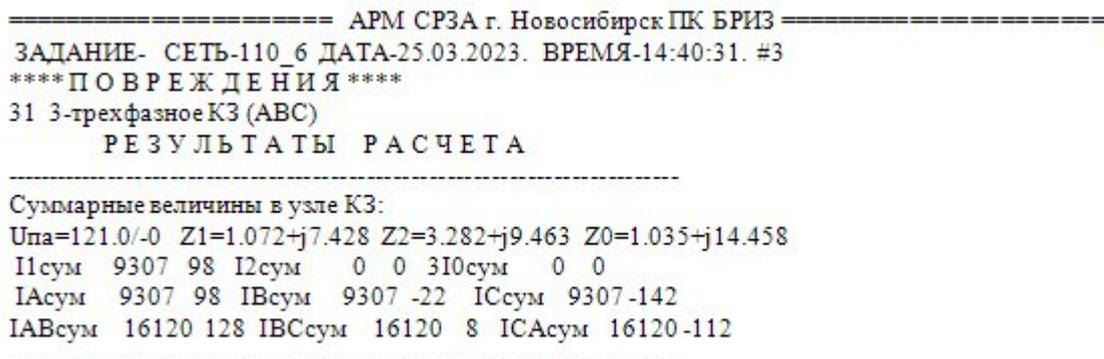


Рисунок 10 – Протокол расчет тока трехфазного КЗ на шине ВН трансформатора (узел № 31 или 3)

```

===== АРМ СРЗА г.Новосибирск ПК БРИЗ =====
ЗАДАНИЕ- СЕТЬ-110_6 ДАТА-25.03.2023. ВРЕМЯ-14:39:50. #2
****ПОВРЕЖДЕНИЯ****
6 3-трехфазное КЗ (АВС)
      РЕЗУЛЬТАТЫ РАСЧЕТА
-----
Суммарные величины в узле КЗ:
Uпа=10.3/-1 Z1=0.185+j1.872 Z2=0.186+j1.872 Z0=0.493-j29708.795
I1сум 3168 94 I2сум 0 0 I0сум 0 0
IАсум 3168 94 IВсум 3168 -26 IСсум 3168 -146
IАВсум 5486 124 IВСсум 5486 4 IСАсум 5486 -116
-----

```

Рисунок 11– Протокол расчет тока трехфазного КЗ на шине НН трансформатора (узел № 6)

```

===== АРМ СРЗА г.Новосибирск ПК БРИЗ =====
ЗАДАНИЕ- СЕТЬ-110_6 ДАТА-25.03.2023. ВРЕМЯ-14:38:53. #1
****ПОВРЕЖДЕНИЯ****
5 3-трехфазное КЗ (АВС)
      РЕЗУЛЬТАТЫ РАСЧЕТА
-----
Суммарные величины в узле КЗ:
Uпа=10.3/-2 Z1=0.187+j1.868 Z2=0.204+j1.882 Z0=0.510-j24049.961
I1сум 3168 94 I2сум 0 0 I0сум 0 0
IАсум 3168 94 IВсум 3168 -26 IСсум 3168 -146
IАВсум 5488 124 IВСсум 5488 4 IСАсум 5488 -116
-----

```

Рисунок 12 – Протокол расчет тока трехфазного КЗ на шине НН трансформатора (узел № 5)

Сведем полученные результаты в таблицу 9

Таблица 9 – Величина тока КЗ

	Максимальный режим	Минимальный режим
Точка КЗ	Величина тока КЗ, А	Величина тока КЗ, А
Уз. 32	7478	6630
Уз. 33	7441	6601
Уз. 5	3168	3154
Уз. 6	3168	3153

Определим максимальный ток КЗ, протекающий через трансформатор при КЗ в конце линий 10 кВ (Таблица 10).

Таблица 10 – Величина тока КЗ, протекающего через трансформатор в максимальном режиме

Точка КЗ	Нормальная схема		Ремонтная схема 1		Ремонтная схема 2		Ремонтная схема 3					
	Величина тока КЗ в точке КЗ, А	Величина тока КЗ, протекающего через трансформаторы (приведена к высокой стороне трансформатора), А		Величина тока КЗ в точке КЗ, А	Величина тока КЗ, протекающего через трансформаторы (приведена к высокой стороне трансформатора), А		Величина тока КЗ в точке КЗ, А	Величина тока КЗ, протекающего через трансформаторы (приведена к высокой стороне трансформатора), А				
		T1	T2		T1	T2		T1	T2	T1	T2	
Уз. 7	2878	252	8	2862	252	0	2861	0	252	5066	223	223
Уз. 8	2681	234	8	2656	235	0	2656	0	235	4359	193	193
Уз. 9	2712	238	8	2689	238	0	2689	0	238	4480	198	198
Уз. 10	2695	9	236	2671	236	0	2670	0	236	4416	195	195
Уз. 11	2835	9	248	2816	248	0	2816	0	248	4910	216	216
Уз. 12	2983	9	260	2971	260	0	2971	0	260	5465	239	239
Уз. 5 или 6	3168	275	8	3169	276	0	3169	0	276	6219	270	270

Для определения максимального тока, протекающего через трансформатор в максимальном режиме, рассмотрим следующие схемы:

Ремонтная схема 1 - T2 отключен, секционный выключатель включен (элемент №19).

Ремонтная схема 2 – T1 отключен, секционный выключатель включен (элемент №19).

Ремонтная схема 3 – T1 и T2 включены, секционный выключатель включен (элемент №19).

Таким образом, максимальная величина тока КЗ, протекающего через трансформатор, является при КЗ узле 5 или 6 в максимальном режиме (при ремонтной схеме 2) и составляет 276 А. Именно по данное значение в дальнейшем будет использоваться для выбора измерительного трансформатора тока.

### 2.4.1. По схеме замещения нулевой последовательности расчет начального сверхпереходного тока при однофазном металлическом КЗ на шине НН подстанции

Далее представлен протокол расчет тока однофазного КЗ на шине ВН трансформатора:

```
===== АРМ СРЗА г. Новосибирск ПК БРИЗ =====
ЗАДАНИЕ- СЕТЬ-110_6 ДАТА-25.03.2023. ВРЕМЯ-16:50:58. #5
****ПОВРЕЖДЕНИЯ****
31 1-однофазное КЗ (А0)
      РЕЗУЛЬТАТЫ РАСЧЕТА
-----
Суммарные величины в узле КЗ:
Uпа=121.0/-0 Z1=1.069+j8.670 Z2=3.358+j10.747 Z0=1.050+j16.080
I1сум  1945 99 I2сум  1945 99 I0сум  5836 99
IАсум  5836 99 IВсум    0  0 IСсум    0  0
IАВсум  5836 99 IВСсум    0  0 IСАсум  5836 -81
-----
```

Рисунок 13 – Протокол расчет тока однофазного КЗ на шине ВН трансформатора (узел № 31)

```
===== АРМ СРЗА г. Новосибирск ПК БРИЗ =====
ЗАДАНИЕ- СЕТЬ-110_6 ДАТА-25.03.2023. ВРЕМЯ-16:51:46. #7
****ПОВРЕЖДЕНИЯ****
5 1-однофазное КЗ (А0)
      РЕЗУЛЬТАТЫ РАСЧЕТА
-----
Суммарные величины в узле КЗ:
Uпа=10.4/-1 Z1=0.174+j1.891 Z2=0.192+j1.906 Z0=0.510-j24049.961
I1сум    0  0 I2сум    0  0 I0сум    1  0
IАсум    1  0 IВсум    0  0 IСсум    0  0
IАВсум    1  0 IВСсум    0  0 IСАсум    1  0
-----
```

Рисунок 14 – Протокол расчет тока однофазного КЗ на шине НН трансформатора (узел № 5)

ЗАДАНИЕ- СЕТЬ-110\_6 ДАТА-25.03.2023. ВРЕМЯ-16:54:07. #8

\*\*\*\*ПОВРЕЖДЕНИЯ\*\*\*\*

6 1-однофазное КЗ (А0)

РЕЗУЛЬТАТЫ РАСЧЕТА

-----  
Суммарные величины в узле КЗ:

U<sub>па</sub>=10.4/-1 Z<sub>1</sub>=0.173+j1.894 Z<sub>2</sub>=0.174+j1.895 Z<sub>0</sub>=0.493-j29708.795

I<sub>сум</sub> 0 0 I<sub>2сум</sub> 0 0 I<sub>0сум</sub> 1 0

I<sub>Асум</sub> 1 0 I<sub>Всум</sub> 0 0 I<sub>Ссум</sub> 0 0

I<sub>АВсум</sub> 1 0 I<sub>ВСсум</sub> 0 0 I<sub>АСсум</sub> 1 0

---

Рисунок 15 – Протокол расчет тока однофазного КЗ на шине НН трансформатора (узел № 6)

Сведем полученные результаты в таблицу 11

Таблица 3 – Величина тока КЗ

Точка КЗ	Максимальный режим
	Величина тока КЗ (I <sub>10</sub> ), А
Уз. 32	6187
Уз. 33	5836
Уз. 5	0
Уз. 6	0

**2.4.2. Рассчитать максимальный и минимальный рабочие токи, протекающие через обмотки трансформатора и через каждую линию 10 кВ в максимальном и минимальном режимах.**

Рабочий ток трансформатора:

$$I_{\text{раб.мах}} = \frac{k_{AB} \times S_{TP}}{\sqrt{3} \times U_{ном}}$$

Где  $S_{TP}$   $S_{ТП}$  - номинальная мощность силового трансформатора;

$k_{AB} = 1,4$  - коэффициент аварийной перегрузки трансформатора, учитывающий его возможную перегрузку до 40 %;

$$I_{\text{раб.махВН}} = \frac{1,4 \times 6,3}{\sqrt{3} \times 21} = 12$$

$$I_{\text{раб.махНН}} = \frac{1,4 \times 6,3}{\sqrt{3} \times 0,5} = 485$$

Примем, что рабочие токи составляют 60% от тока термической стойкости проводников и приведем данные расчеты в таблице.

Таблица 12 – Параметры термической стойкости

Линия	Марка провода	Ток термической стойкости, А	Рабочий ток, А
Л1.1	АС 185/29	510	306
Л1.2	АС 185/29	510	306
Л1.3	АС 185/29	510	306
Л1.4	АС 185/29	510	306
Л1.5	АС 70/11	265	159
Л2	АС 70/11	265	159
Л3	АС 70/11	265	159
Л4	АС 70/11	265	159
Л5	АС 70/11	265	159
Л6	АС 70/11	265	159
Л7	АС 70/11	265	159

### 2.4.3. Выбор трансформатора тока для трансформаторов Т1, Т2 на сторонах ВН, СН, НН

Выбор трансформатора тока (ТТ)

Трансформаторы тока выбираются [2]:

– по току (номинальный ток ТТ  $I_{номТТ}$ ):

$$I_{номТ} = I_{номТТ} \cdot k$$

$$I_{рабмакс} = I_{номТТ} \cdot k$$

Так как недогрузка первичной обмотки приводит к увеличению погрешностей, поэтому номинальный ток ТТ должен быть ближе к рабочему току силового трансформатора.

Номинальный ток трансформатора можно определить на основании мощности трансформатора:

$$I_{ном.ВН} = \frac{6300}{\sqrt{3} \cdot 21} = 30 \text{ А}$$

$$I_{ном.НН} = \frac{6300}{\sqrt{3} \cdot 0,5} = 346 \text{ А}$$

Поэтому номинальный ток трансформатора тока должен быть:

$$I_{номТТ\_ВН} = 30$$

$$I_{номТТ\_НН} = 346$$

– по напряжению (номинальное напряжение ТТ  $U_{номТТ}$ ):

$$U_{номТ} = U_{номТТ} \cdot k$$

$$k_{В_{номТТ\_ВН}} = 121$$

$$k_{В_{номТТ\_НН}} = 10,5$$

– по конструкции и классу точности.

Для подключения устройств релейной защиты приемлемым является применение классов точности 3 или 10. Для подключения приборов учета электроэнергии класса точности 0,5.

Выбираем следующие трансформаторы тока:

Таблица 13 – Параметры трансформатора тока стороны ВН

Тип	Напряжение $U_{ном}$ , кВ	Номинальный ток, кА		Варианты исполнения по вторичным обмоткам	Ток стойкости, кА		Время $t_{тер}$ , с	Номинальная нагрузка в классе точности 10P, $Z_{2ном}$ , Ом
		Перв. $I_{1ном}$	Втор. $I_{2ном}$		Эл. дин. $i_{дин}$	Терм. $I_{тер}$		
ТФЗМ110	110	50-100	5	0,5/10P/10P	20	2-4	3	1,2

Таблица 14 – Параметры трансформатора тока стороны НН

Тип	Напряжение $U_{ном}$ , кВ	Номинальный ток, кА		Варианты исполнения по вторичным обмоткам	Кратность тока электродинамической стойкости, при номинальном первичном токе	Кратность трехсекундного тока термической стойкости, при номинальном первичном токе	Время $t_{тер}$ , с	Номинальная нагрузка в классе точности 3, $Z_{2ном}$ , Ом
		Перв. $I_{1ном}$	Втор. $I_{2ном}$					
ТПЛ-10	10	400	5	0,5/10P	165	35	3	0,6

Проверка выбранных трансформаторов тока:

– по электродинамической стойкости:

$$i_y \quad i_{дин}$$

где  $i_y$  – ударный ток короткого замыкания по расчету,  $i_{дин}$  – ток электродинамической стойкости,

Определяем ударный ток для стороны ВН:

$$i_y = \sqrt{2} \times I_{П0}^{(3)} \times k_y = \sqrt{2} \times 276 \times 1,7 = 661 A,$$

где  $k_y = 1,7$  – ударный коэффициент [2];

Определяем ударный ток для стороны НН:

$$k_{ЭлДин} = \frac{I_{П0\_НН}^{(3)}}{I_{ном\_НН}} = \frac{3154}{400} = 7,8$$

- кратность тока при номинальном первичном

токе.

$$k_{\text{ЭЛДин}} = \frac{I_{\text{П}0\_III}^{(3)}}{I_{\text{ном\_НН}}} = \frac{3154}{400} = 7,8 \quad k_{\text{ЭЛДин\_треб}} = 165$$

– по термической стойкости:

$$B_k \leq I_{\text{тер}}^2 \times t_{\text{тер}},$$

где  $B_k$  – тепловой импульс по расчету;

$t_{\text{тер}}$  – время термической стойкости;

$I_{\text{тер}}$  – ток термической стойкости.

Для стороны ВН:

Определяем тепловой импульс:

$$B_k = \left( I_{\text{отк}}^{(3)} \right)^2 \times t_{\text{отк}} = 276^2 \times 0,235 = 18 \text{ кА}^2 \cdot \text{с},$$

где  $I_{\text{отк}}^{(3)} = 112$  – действующее значение тока КЗ;

$$t_{\text{отк}} = t_{\text{отклКЗ}} + T_a = 0,2 + 0,035 = 0,235 \text{ с},$$

$t_{\text{отклКЗ}} = 0,2$  – расчетная продолжительность КЗ в электроустановке;

$T_a = 0,035$  – постоянная времени затухания апериодической

составляющей тока КЗ [2, 3].

$$B_k = 18 \text{ кА}^2 \cdot \text{с} \leq I_{\text{тер}}^2 \times t_{\text{тер}} = 48^2 \times 0,235 = 512 \text{ А}^2 \cdot \text{с} \quad - \text{ условие выполняется для}$$

стороны ВН.

Для стороны НН:

Определяем тепловой импульс:

$$B_k = \left( I_{\text{отк}}^{(3)} \right)^2 \times t_{\text{отк}} = (3168)^2 \times 0,235 = 2358512 \text{ А}^2 \cdot \text{с},$$

где  $I_{\text{отк}}^{(3)} = 7094$  – действующее значение тока КЗ;

$$k_{\text{ЭЛДин}} = 26 = \frac{I_{\text{терм\_НН}}}{I_{\text{ном\_НН}}} \quad I_{\text{терм\_НН}} = 26 \times I_{\text{ном\_НН}} = 26000 \text{ А} \quad - \text{ кратность тока при}$$

номинальном первичном токе.

$$B_k = 2358512 \text{ А}^2 \cdot \text{с} \leq I_{\text{тер}}^2 \times t_{\text{тер}} = 26^2 \times 2028000 \text{ А}^2 \cdot \text{с} \quad - \text{ условие выполняется для}$$

стороны НН.

Выбор измерительных трансформаторов напряжения

Условия выбора трансформаторов напряжения:

– по напряжению (номинальное напряжение ТН  $U_{номТН}$ ):

$$U_{номТ} = U_{номТН} \cdot$$

$$kV_{номТН\_ВН} = 121$$

$$kV_{номТН\_НН} = 10,5$$

- по конструкции и схеме соединения обмоток;

- по классу точности.

Таблица 15 – Параметры трансформатора напряжения

Тип	Номинальное напряжение обмотки, В		Номинальная мощность, В·А, в классе точности				Предельная мощность, В·А
	Первичной	Основной вторичной	0,2	0,5	1	3	
НКФ-110	$110000/\sqrt{3}$	$100/\sqrt{3}$	-	400	600	1200	2000
НОМ-10	10000	100	-	50	75	200	400







- Л17:

ЭЛ				ПС
Защита	121	Тип	МФЗ	Ступень 1
Ветвь	1212-12	КТТ		
Узел		КТН	СЕТЬ:110_6	

Расч условие	Имя	Знач	К	Повреждение	Подрежим	Эл величины
ОТСТРОЙКА	УСТ	3580	1.20	ВИД-КЗ АВС УЗЕЛ-КЗ 12		IA=2983 -79
ЧУВСТВИ-НОСТЬ	УСТ	3580	0.89	ВИД-КЗ ВС		IV=2763 -176
	КСХ	1.73		УЗЕЛ-КЗ 1212		Ip=5486 -176
	РТ	АВС				

### Расчет максимальной токовой защиты (нагрузочная ступень МТЗ)

МТЗ должна надежно защищать линию при разных КЗ и не работать при максимальном рабочем токе нагрузке и кратковременных перегрузках, вызванных пуском и самозапуском электродвигателей.

$$I_{CP} = \frac{k_3 \cdot k_B}{k_C} I_{нагр}$$

где  $I_{нагр} = \frac{S_{max}}{\sqrt{3} \cdot 0,9 \cdot U_{ном}}$  - максимальный ток нагрузки;

$S_{max}$  - максимальная мощность нагрузки;

$k_3 = 1,1$  - коэффициент запаса по избирательности;

$k_C = 1,5 \dots 2,5$  - коэффициент отстройки от самозапуска электродвигателей;

$k_B = 0,8$  - коэффициент возврата токовых защит.

Таблица 16 – Максимальный ток нагрузки

Нагрузка	Узел	Ток, А
P <sub>Н1</sub>	7	31
P <sub>Н2</sub>	8	66
P <sub>Н3</sub>	9	23
P <sub>Н4</sub>	10	36
P <sub>Н5</sub>	11	16
P <sub>Н6</sub>	12	61

Пример расчета максимального тока для нагрузки P<sub>Н1</sub>:

$$I_{нагр(Н1)} = \frac{S_{max}}{\sqrt{3} \times 0,9 \times U_{ном}} = \frac{0,51}{\sqrt{3} \times 0,9 \times 0,5} = 31$$

- для Л2

ЭЛ		Тип	МФЗ	ПС	
Защита	71			Ступень	3
Ветвь	77-7		КТТ		
Узел			КТН	СЕТЬ:110_6	

Расч условие	Имя	Знач	К	Повреждение	Подрежим	Эл величины
НАГРУЗКА	УСТ	46			КН=1.20 КВРТ=0.80 JH=31	

### Коэффициент чувствительности

Чувствительность МФЗ при двухфазном КЗ в конце защищаемой зоны (это ближнее резервирование) и при КЗ в конце смежных присоединений (это дальнее резервирование).

ЭЛ		Тип	МФЗ	ПС	
Защита	71			Ступень	3
Ветвь	77-7		КТТ		
Узел			КТН	СЕТЬ:110_6	

ЧУВСТВИ-НОСТЬ	УСТ	46	62.37	ВИД-КЗ ВС		IV=2490 -165
	КСХ	1.73		УЗЕЛ-КЗ 7		Ip=4964 -165
	РТ	АВС				

Значение коэффициента чувствительности для основной зоны должно быть не менее 1,5. Соответственно требование выполняется.

Аналогичным образом рассчитываем уставку и коэффициент чувствительности для других линий.

- для ЛЗ

ЭЛ  
 Защита 81  
 Ветвь 88-8  
 Узел

Тип МФТЗ  
 КТТ  
 КТН

ПС  
 Ступень 3  
 СЕТЬ:110\_6

Расч условие	Имя	Знач	К	Повреждение	Подрезим	Эл величины
НАГРУЗКА	УСТ	99			КН=1.20 КВРТ=0.80 JH=66	
ЧУВСТВИ-НОСТЬ	УСТ	99	27	ВИД-КЗ ВС		IV=2327 -160
	КСХ	1.73		УЗЕЛ-КЗ 8		Ip=4624 -159
	РТ	АВС				

- для Л4

ЭЛ  
 Защита 91  
 Ветвь 99-9  
 Узел

Тип МФТЗ  
 КТТ  
 КТН

ПС  
 Ступень 3  
 СЕТЬ:110\_6

Расч условие	Имя	Знач	К	Повреждение	Подрезим	Эл величины
НАГРУЗКА	УСТ	34			КН=1.20 КВРТ=0.80 JH=23	
ЧУВСТВИ-НОСТЬ	УСТ	34	79.52	ВИД-КЗ ВС		IV=2345 -161
	КСХ	1.73		УЗЕЛ-КЗ 9		Ip=4677 -160
	РТ	АВС				



- для Л7

ЭЛ				ПС
Защита	121	Тип	МФЗ	Ступень 3
Ветвь	1212-12	КТТ		
Узел		КТН	СЕТЬ:110_6	

Расч условие	Имя	Знач	К	Повреждение	Подрезим	Эл величины
НАГРУЗКА	УСТ	92			КН=1.20 КВРТ=0.80 JH=61	
ЧУВСТВИ-НОСТЬ	УСТ	92	32.46	ВИД-КЗ ВС		IV=2601 -169
	КСХ	1.73		УЗЕЛ-КЗ 12		Ip=5166 -169
	РТ	АВС				

Время срабатывания МФЗ выбирается следующим образом:

$$t_{МФЗ\_Л2} = t + t_{H1} = 0,5 + 1,2 = 1,7c$$

где  $t$  - ступень селективности.

Аналогичным образом рассчитаем уставку МФЗ КЗ:

$$t_{МФЗ\_Л3} = t + t_{H2} = 0,5 + 0,6 = 1,1c$$

$$t_{МФЗ\_Л4} = t + t_{H3} = 0,5 + 1,1 = 1,6c$$

$$t_{МФЗ\_Л5} = t + t_{H4} = 0,5 + 0,5 = 1c$$

$$t_{МФЗ\_Л6} = t + t_{H5} = 0,5 + 0,4 = 0,9c$$

$$t_{МФЗ\_Л7} = t + t_{H6} = 0,5 + 0,5 = 1c$$

## 2.4.5. Построение характеристики срабатывания дифференциальной защиты трансформаторов, выполненной на микропроцессорной базе, по рекомендациям производителя (НПП «ЭКРА»)

Выбор уставок дифференциальной защиты

Продольная дифференциальная токовая защита используется при внутренних повреждениях и на выводах.

В таблице 1 приведены данные по токам трансформатора в нормальном режиме работы, выбранным трансформаторам тока и схемам соединения обмоток.

Таблица 17 – Первичные и вторичные токи сторон АТ и данные по ТТ

Наименование величины	Обозначение и метод определения	Числовые значения для стороны	
		121 кВ	10,5 кВ
Первичный ток на сторонах защищаемого автотрансформатора, соответствующий его номинальной мощности, А	$I_{\text{ном.стор}} = \frac{S_{\text{ном}}}{\sqrt{3}U_{\text{ном.стор}}}$	30 А	346 А
Схема соединения трансформаторов тока	-	Д	У
Коэффициент схемы		$\sqrt{3}$	1
Марка трансформатора тока	-	ТФЗМ110	ТЛМ-10
Коэффициент трансформации трансформаторов тока	$K_I$	50/5	400/5
Вторичные токи в плечах защиты, А	$I_{\text{баз.стор}} = \frac{I_{\text{ном.стор}} k_{\text{сх}}}{k_I}$	5,2 А	4,3 А

Дифференциальная защита содержит чувствительное реле и дифференциальную отсечку. Дифференциальная защита с торможением представляет собой чувствительное реле.

Определение начального тормозного тока

Согласно рекомендациям производителя, принимаем ток начала торможения  $I_{\text{т.0}} = 1$  А.

Расчет минимального тока срабатывания.

Выбор уставки минимального тока срабатывания защиты производится по условию:

$$I_{д.0} \cdot k_{отс} \cdot I_{нб.расч}^* = 1,2 \cdot 0,4 = 0,48$$

где  $k_{отс} = 1,2$  – коэффициент отстройки, учитывающий погрешность работы терминала.

$I_{нб.расч}^*$  – относительный ток небаланса в переходном режиме работы защищаемого трансформатора, определяется по выражению:

$$I_{нб.расч}^* = (k_{пер} \cdot k_{одн} \cdot U_{рпн} + f_{выр} + f_{птт}) \cdot I_{т.о.расч} = (2 \cdot 0,1 + 0,16 \cdot 0,5 + 0,02 + 0) \cdot 0,4 = 0,4$$

где  $k_{пер} = 1,5 \dots 2,5$  – коэффициент учитывает переходный процесс, при использовании однотипных ТТ;

$k_{одн} = 1$  – коэффициент однотипности ТТ;

$e$  – относительное значение полной погрешности ТТ;

$U_{рпн}$  – относительная погрешность, определяемая наличием РПН, принимается равной половине диапазона регулирования ( $\pm 16\% \pm 9$  ступеней);

$f_{выр} = 0,02$  – относительная погрешность выравнивания токов плеч.

Данная погрешность определяется погрешностями входных ТТ и АЦП терминала;

$f_{птт} = 0$  – относительная погрешность трансформатора;

$I_{т.о.расч}$  – рекомендуемый производителем расчетный ток для режима, соответствующему началу торможения.

Принимаем  $I_{д.0} = 0,5$

Расчет тока торможения блокировки ДЗТ.

Характеристика срабатывания ДТЗ изменяется:

если  $I_{т.бл}^1$  и  $I_{т.бл}^2$  – ДТЗ блокируется;

Если  $I_{т.бл}^1 \leq I$  или  $I_{т.бл}^2 \leq I$  . наклон характеристики срабатывания ДТЗ определяется коэффициентом торможения.

Чтобы исключить отказ защиты при максимальных нагрузках трансформатора ток торможения блокировки рассчитывается по выражению:

$$I_{т.бл} = k_{отс} \times k_{пред.нагр} \times I_{ном*} = 1,1 \times 1,5 \times 1,65 \text{ А}$$

где  $k_{пред.нагр} = 1,5$  – коэффициент определяет предельную нагрузочную способность;

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

$I_{ном*}$  – относительный номинальный ток, определяется по выражению:

$$I_{ном*} = \frac{I_{ном, нагр}}{I_{баз, стор}} \times \frac{k_{сх\_тт\_стор}}{k_{тт\_стор}} = \frac{30 \times \sqrt{3}}{5,2 \times 0,5} = 1,65 \text{ А}$$

где  $I_{баз, стор}$  – базисный ток на стороне ВН;

$I_{ном, нагр}$  – номинальный ток на стороне ВН;

$k_{сх\_тт\_стор}$  – коэффициент учитывающий схему соединения вторичных обмоток главных ТТ на стороне ВН;

$k_{тт\_стор}$  – коэффициент трансформации ТТ, на стороне ВН АТ.

Принимаем  $I_{т.бл} = 1,7 \text{ А}$

Расчет коэффициента торможения ДЗТ.

Коэффициент торможения рассчитывается по выражению:

$$k_{т} = k_{отс} \times \frac{I_{нб} - I_{д0}}{I_{т} - I_{т0}} = \frac{1,1 \times (0,8 - 0,5)}{3,7 - 1} = 0,12$$

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

$I_{т,0} = 1$  – рекомендованное производителем значение тока начала торможения;

$I_{д,0} = 0,5$  – принятое значение минимального тока срабатывания ДЗТ;

$I_{нб}$  – расчетный ток небаланса, вызванный протеканием по защищаемому АТ сквозного тока, рассчитывается по выражению:

$$I_{нб} = \left( k_{пер} \times k_{одн} \times U_{рпн} + f_{выр} + f_{птт} \right) \times I_{скв} = \left( 2 \times 1,5 \times 0,1 + 0,16 \times 0,5 + 0,02 + 0 \right) \times 0,8 = 0,8 \text{ А}$$

где  $k_{пер} = 2$  – коэффициент, учитывающий переходной режим.

$I_{скв}$  – максимальный первичный ток, протекающий через защищаемый трансформатор при внешнем КЗ (на стороне НН), приведенное к базисному току стороны ВН КЗ, определяемый по формуле:

$$I_{\text{СКВ}} = \frac{I_{\text{КЗ\_Ме\_стор}}}{I_{\text{баз.стор}}} \times \frac{k_{\text{ex\_тг\_стор}}}{k_{\text{тг\_стор}}} = \frac{276 \times}{5,2 \times 50 / 5} = 5,3$$

где  $I_{\text{T}}$  – расчетный тормозной ток, определяемый по формуле:

$$I_{\text{T}} = \sqrt{I_{\text{СКВ}} \times (I_{\text{СКВ}} - I_{\text{НО}}) \times \cos \alpha} = \sqrt{5,3 \times (5,3 - 0,8) \times \cos 15} = 4,8 \text{ A}$$

$\alpha = 180 - \beta$ , а  $\beta$  – угол между векторами токов  $I_{\text{СКВ}}$  и  $(I_{\text{СКВ}} - I_{\text{НО}})$ . В проектных расчетах может быть принят  $\beta = 10 \div 20^\circ$ .

Принимаем  $k_{\text{T}} = 0,12$

Выбор параметра срабатывания блокировки по второй гармонике.

Чтобы исключить ложную работу ДТЗ при бросках тока намагничивания (БНТ) в момент включения трансформатора под напряжение, а также для дополнительной отстройки защиты от тока небаланса переходного режима внешнего КЗ выполнена блокировка защиты по превышению отношения тока второй гармонической составляющей к току промышленной частоты.

Рекомендуется параметр срабатывания блокировки по второй гармонике принять равным 0,1.

Расчет тока срабатывания дифференциальной отсечки

Уставка дифференциальной отсечки отстраивается от токов броска тока намагничивания и от токов небаланса. Отстройка от БНТ обеспечивается, если выполняется условие  $I_{\text{отс}} \geq 6,5$ . Отстройка от максимального тока небаланса при внешних КЗ производится по выражению:

$$I_{\text{отс}} = 1,5 \times I_{\text{СКВ}} \times (k_{\text{пер}} \times k_{\text{одн}} \times U_{\text{рпн}} + f_{\text{выр}} + f_{\text{птг}}) = 1,5 \times 4,8 \times (2 \times 0,1 + 0,16 \times 0,5 + 0,02) = 2,2 \text{ A}$$

Принимаем  $I_{\text{отс}} = 2,2$

Расчет чувствительности ДЗТ

Проверяем чувствительность ДЗТ производится при минимальном внутреннем токе КЗ (КЗ между двумя фазами на стороне НН).

$$k_{\text{ч}} = \frac{I_{\text{Кmin}}^{(2)}}{I_{\text{д0}} \times I_{\text{баз.ВН}} \times K_{\text{ВН}}} = \frac{1578}{0,5 \times 5,2 \times 50 / 5} = 60 > 2.$$

Чувствительность обеспечивается.

Характеристика срабатывания ДЗТ с торможением представлена на рисунке 16.

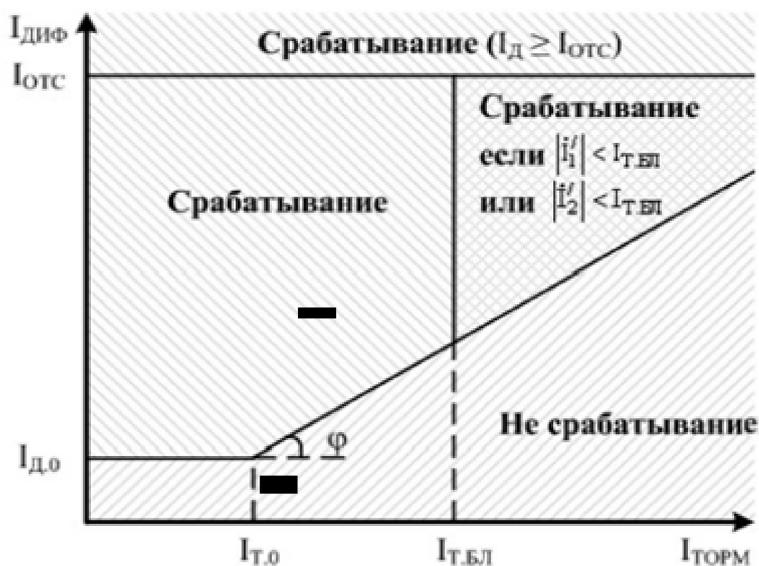


Рисунок 16 – Характеристика срабатывания ДЗТ с торможением

где  $I_{Д.0}$  – начальный ток срабатывания ДТЗ;

$I_{ОТС}$  – ток срабатывания дифференциальной отсечки;

$I_{Т.БЛ}$  – ток торможения блокировки ДТЗ;

$k_T = \operatorname{tg}(\varphi)$  – коэффициент торможения ДТЗ;

$I_{Т.0}$  – ток начала торможения ДТЗ.

## 2.4.6. Расчет параметров срабатывания и чувствительность мгновенной токовой отсечки и параметры срабатывания, выдержки времени и чувствительность максимальной токовой защиты (МТЗ) линий трансформаторов Т1, Т2

Расчет уставки токовой отсечки трансформатора

Уставка срабатывания токовой отсечки рассчитывается:

1) по условию отстройки от броска тока намагничивания (БТН):

$$I_{C3} = k_{\text{БТН}} \mathcal{I}_{\text{ном.ВН}} = 4 \times 30 = 120 \text{ A}$$

2) из условия отстройки от максимального тока внешнего КЗ:

$$I_{C3} = k_{\text{ОТС}} \mathcal{K}_{\Lambda} \mathcal{I}_{\text{макс.КЗ}} = 1,2 \times 2 \times 163 = 397 \text{ A}$$

где  $k_{\text{ОТС}} = 1,2$  - коэффициент отстройки, учитывающий погрешность расчета и необходимый запас.

$k_{\Lambda} = 1,2$  - коэффициент, учитывающий увеличение погрешности при наличии апериодической составляющей в токе КЗ.

$I_{\text{макс.КЗ}}$  - максимальное первичное значение тока на стороне ВН при внешнем трехфазном КЗ на шинах НН.

В качестве уставки срабатывания ТО принимают наибольшее из полученных значений.

$$I_{C3\_TO} = 397 \text{ A}$$

ТО работает без выдержки времени.

Расчет уставок МТЗ

Ток срабатывания МТЗ определяется: по условию отстройки от тока в месте установки защиты при самозапуске двигателей рассчитать по формуле:

$$I_{C3} = \frac{k_H}{k_B} k_{C3П} \mathcal{I}_{\text{раб.макс}} = \frac{1,2}{0,95} \times 127 = 169 \text{ A}$$

где  $k_H$  - коэффициент надежности, принимается равным 1,2;

$k_B$  - коэффициент возврата, принимается равным 0,95.

$k_{C3H} = 2$  - коэффициент самозапуска.

$I_{\text{раб.макс}} = 67$  - первичное значение максимального рабочего тока трансформатора (на стороне ВН) в месте установки защиты, А

$$(I_{\text{раб.максВН}} = \frac{1,4 \times 0}{\sqrt{3} \times 21} = 67 \text{ А}).$$

Коэффициент чувствительности МТЗ определяем при металлическом двухфазном КЗ на шинах НН:

$$k_{\text{ч}} = \frac{I_{\text{минКЗ}}^{(2)}}{I_{\text{CЗ}}} = \frac{1578}{169} = 9,3$$

Коэффициент чувствительности больше/равен 1,5, соответственно удовлетворяет требованиям ПУЭ.

Выдержку времени защиты выбирают по условию согласования с последними, наиболее чувствительными ступенями защит от многофазных КЗ предыдущих элементов, т.е. на ступень селективности больше, чем выдержка времени последней, наиболее чувствительной ступени отходящей линии со стороны НН (то есть от ЛЗ).

Время срабатывания МТЗ:

$$t_{\text{МТЗ}_T1} = t + t_{\text{МТЗ}_Л2} = 0,5 + 1,7 = 2,3 \text{ с}$$

$t$  - ступень селективности.

Расчет МТЗ линии 110кВ.

Ток срабатывания линии Л1.3 и Л1.4 определим по согласованию от тока срабатывания трансформатора [4, 5]:

$$I_{\text{CP}_Л1} = k_H \times I_{\text{CP}_T} = 1,4 \times 69 = 237 \text{ А}$$

Коэффициент чувствительности определяется при КЗ в конце линии, то есть на выводах трансформатора (ближнее резервирование, должен быть больше 1,5) и на шинах линий 10 кВ (дальнее резервирование, должен быть больше 1,2):

ЭЛ  
 Защита 191  
 Ветвь 31-32  
 Узел

Тип МФТЗ  
 КТТ  
 КТН

ПС  
 Ступень 3  
 СЕТЬ:110\_6

Расч условие	Имя	Знач	К	Повреждение	Подрезим	Эл величины
ЧУВСТВИ-НОСТЬ	УСТ	237	27.70	ВИД-КЗ ВС		IV=5682 -160
	КСХ	1.73		УЗЕЛ-КЗ 32		Ip=11358 -160
	РТ	АВС				
ЧУВСТВИ-НОСТЬ	УСТ	237	1.20	ВИД-КЗ ВС		IV=241 -176
	КСХ	1.73		УЗЕЛ-КЗ 5		Ip=474 -176
	РТ	АВС				

ЭЛ  
 Защита 201  
 Ветвь 5-77  
 Узел

Тип МФТЗ  
 КТТ  
 КТН

ПС  
 Ступень 3  
 СЕТЬ:110\_6

Расч условие	Имя	Знач	К	Повреждение	Подрезим	Эл величины
ЧУВСТВИ-НОСТЬ (3-33)	УСТ	237	1.16	ВИД-КЗ ВС		IV=241 -176
	КСХ	1.73		УЗЕЛ-КЗ 6		Ip=476 -176
	РТ	АВС				
ЧУВСТВИ-НОСТЬ (3-33)	УСТ	237	31.27	ВИД-КЗ ВС		IV=6414 -164
	КСХ	1.73		УЗЕЛ-КЗ 33		Ip=12822 -164
	РТ	АВС				

Время срабатывания МТЗ:

$$t_{МТЗ\_Л1.3} = t_{МТЗ\_Л1.4} = t + t_{МТЗ\_Т1} = 0,5 + 2,3 = 2,8с$$

где  $t$  - ступень селективности.

## 2.4.7. Расчёт параметров срабатывания и чувствительность токовой ступенчатой защиты нулевой последовательности трансформаторов Т1, Т2

Защита реагирует на значение тока в нулевом проводе трансформаторов тока, поэтому ток срабатывания ТЗНП следует выбирать по следующим условиям:

- условию отстройки от тока небаланса при трехфазном КЗ на стороне ВН и НН защищаемого трансформатора:

$$I_{CЗ} \cdot k_{отс} \cdot I_{0,НБ}^{(1)} = 1,25 \cdot 3,8 = 17 A$$

где  $k_{отс} = 1,25$  - коэффициент отстройки.

$I_{0,НБ}^{(1)}$  - ток небаланса нулевой последовательности в установившемся режиме при рассматриваемом внешнем КЗ между тремя фазами:

$$I_{0,НБ}^{(1)} = k_{НБ} \cdot I_{уст.КЗ} = 0,05 \cdot 276 = 13,8 A$$

где  $k_{НБ} = 0,05$  - коэффициент небаланса, так как кратность тока КЗ по отношению к первичному току трансформаторов тока равна  $k = I_{уст.КЗ} / I_{первТТ} = 276 / 50 = 5,52$ .

где  $I_{уст.КЗ} = 276$  – первичный ток в месте установки защиты в установившемся режиме при рассматриваемом внешнем КЗ между тремя фазами;

Протокол расчета представлен далее.

ЭЛ		ПС	
Защита	51	Тип	ТЗНП
Ветвь	3-5	КТТ	Ступень 1
Узел		КТН	СЕТЬ:110_6

Расч условие	Имя	Знач	К	Повреждение	Подрежим	Эл величины
ОТСТРОЙКА от ТНБ	УСТ	19	1.25	ВИД-КЗ АВС УЗЕЛ-КЗ 5		IA=307 -86
ОТСТРОЙКА от ТНБ	УСТ	23	1.25	ВИД-КЗ АВС УЗЕЛ-КЗ 5		IA=307 -86
ОТСТРОЙКА от ТНБ (32-5)	УСТ	17	1.25	ВИД-КЗ АВС УЗЕЛ-КЗ 5		IA=275 -86

Согласно [6, 7] диапазон регулирования уставок всех ступеней ТЗНП составляет (во вторичных величинах):

$$I_{C3\min} = (0,05 \dots 30) \times I_{ном} = (0,05 \dots 30) \times 0 = (2,5 \dots 1500) A$$

- отстройка от тока небаланса нулевой последовательности в послеаварийном нагрузочном режиме по выражению:

$$I_{C3} \frac{k_{отс}}{k_B} I_{0.НБ}^{(2)} = 1,25 \times 0 = 0 A$$

где  $k_B = 0,95$  - коэффициент отстройки.

$I_{0.НБ}^{(2)}$  - первичный ток нулевой последовательности в послеаварийном нагрузочном режиме, рассчитываемый по выражению:

$$I_{0.НБ}^{(2)} = k_{НБ} I_{П.КЗ} = 0,06 \times 0 = 0 A$$

где  $I_{П.КЗ} = 0$  - первичный ток в месте установки защиты в послеаварийном нагрузочном режиме

- отстройка от тока нулевой последовательности, обусловленного несимметрией в системе в неполнофазном режиме, по выражению:

$$I_{C3} \frac{k_{отс}}{k_B} I_{0.НБ}^{(3)} = 1,25 \times 0 = 0 A$$

где  $I_{0.НБ}^{(3)} = 0$  - первичный ток нулевой последовательности, обусловленный несимметрией в системе, возникающий.

Значение параметра срабатывания тока нулевой последовательности принимается равным наибольшему значению из рассчитанных выше.

Коэффициент чувствительности ТЗНП трансформаторов определяют при однофазном КЗ в конце смежных линий, защита которых резервируется, по формуле:

$$k_{ч} = \frac{3I_{мин.КЗ}^{(1)}}{I_{C3}} = \frac{0}{17} = 0$$

где  $I_{мин.КЗ}^{(1)}$  - утроенный ток нулевой последовательности в месте установки защиты при металлическом КЗ на землю одной фазы в конце смежных линий в режиме с наименьшим значением этого тока;

Коэффициенты чувствительности должен быть больше 1,2. Условие не выполняется, так как для тока нулевой последовательности нет контура для протекания.

Выдержка времени ТЗНП выбирается по условию согласования с последними, наиболее чувствительными ступенями защит от замыканий на землю смежных элементов:

$$t_{\text{ЗНП}_t} = 0$$

где  $t$  - ступень селективности.

## **2.5. Описание принципов выполнения сигнализации от замыканий на землю в сетях с изолированным режимом работы нейтрали**

Под системой с изолированной нейтралью подразумевают систему, в которой нейтрали трансформаторов и генераторов не имеют глухого соединения с землей. В такой системе при нормальном режиме работы и одинаковых частичных емкостях на землю напряжения изоляции между землей и фазой происходит замыкание на землю, которое сопровождается изменением напряжения на фазах, а также на нейтрали. Основными причинами замыкания на землю являются: перекрытия или пробой изоляции под воздействием атмосферных перенапряжений, обрыв проводов, набросы.

Особенностью замыканий на землю в сетях с изолированным режимом работы нейтрали является то, что ток замыкания на землю замыкается через емкости неповреждённых фаз (то есть равен он емкостному току линий). Его значение невелико и определяется суммарной емкостью неповрежденных фаз. Соотношения линейных напряжений при возникновении однофазного замыкания на землю не изменяются, что позволяет эксплуатировать сеть, не отключая повреждения данного вида незамедлительно. Однако, однофазное замыкание на землю представляет значительную опасность для оборудования, вследствие того, что уравнивание потенциала поврежденной фазы и земли приводит к увеличению напряжения между неповрежденными фазами и землей до значения порядка номинального линейного напряжения сети. Изоляция неповрежденных фаз в результате воздействия повышенного напряжения подвержена ускоренному старению, что в конечном счете может привести к замыканию на землю других фаз и возникновению двойного замыкания на землю, являющегося коротким замыканием и требующего немедленного отключения поврежденного участка сети.

Кроме того, ток однофазного замыкания, растекаясь по земле вблизи места замыкания на землю, представляет опасность для жизни людей и животных, так как величина тока может достигать до 500 А.

Защиты от замыканий на землю могут быть выполнены в виде: селективной защиты, действующей на отключение поврежденного присоединения (когда это необходимо по требованиям безопасности); селективной защиты, действующей на сигнал; устройства контроля изоляции.

При построении защиты (или сигнализации) от ОЗЗ, в зависимости от режима работы нейтрали, используются принципы контроля (измерения) следующих параметров: тока нулевой последовательности (НП) промышленной частоты, напряжения НП, мощности НП промышленной частоты, гармонических составляющих в токе ОЗЗ всех присоединений, переходных токов и напряжений НП при возникновении ОЗЗ. Во всех этих случаях в защитах от ОЗЗ воздействующий сигнал получается от первичных измерительных преобразователя, в качестве которых выступает фильтр напряжения нулевой последовательности (ФННП) и фильтр тока нулевой последовательности (ФТНП).

За счёт геометрического суммирования вторичных токов трех фаз защищаемого присоединения данные фильтры выделяют действующее значение полного тока нулевой последовательности промышленной частоты ( $3I_0$ ). Однако, ФТНП имеют ряд недостатков, в частности большой ток небаланса (как следствие наличия токов намагничивания), сложность выделения малого тока замыкания на землю (так как используемые трансформаторы тока имеют относительно большой коэффициент трансформации). Поэтому ФТНП практически не применяются в сетях с малыми токами замыкания на землю. В этих сетях находят применение в основном трансформаторы тока нулевой последовательности ТНП. Принцип работы ТНП заключается в геометрическом суммировании магнитных потоков, образованных первичными токами трех фаз. При этом результирующая магнитодвижущая сила первичной обмотки пропорциональна сумме токов трех фаз.

Устройства сигнализации замыканий на землю работают на принципе измерения (и, соответственно, реагирования) высших гармонических составляющих в токе замыкания на землю.

Эти составляющие имеются и в токах нормального режима. Они обусловлены несинусоидальным характером ЭДС генераторов, токами намагничивания силовых трансформаторов и нагрузки. При замыкании на землю их содержание в сети резко увеличивается (и особенно в токе нулевой последовательности поврежденной линии).

В принципе устройства сигнализации могут реагировать либо на одну (определенную) гармонику, либо на все гармонические составляющие в токе замыкания на землю.

На практике находят применение следующие устройства сигнализации замыканий на землю: УСЗ-2/2, УСЗ-3М (УСЗ-3), предназначенные для селективной сигнализации замыканий на землю в кабельных сетях 6–10 кВ с нейтралью, заземленной через ДГР.

УСЗ-2/2 – индивидуальное устройство, которое включается через ТНП кабельного типа (Ферранти), основанное на принципе абсолютного замера.

УСЗ-3М – групповое устройство, состоящее из прибора, который поочередно подключается к ТНП каждого из кабелей (присоединений). Это дает возможность персоналу однозначно определить фидер с ОЗЗ по относительно большему показанию прибора (принцип относительного замера). Групповое устройство УСЗ-3М основано на измерении высших гармонических составляющих в токе ОЗЗ (от 150 до 650 Гц). Оно нашло широкое применение в основном в кабельных сетях городов и промышленных предприятий.

В настоящее время имеются устройства для одновременного измерения сумм высших гармоник на всех отходящих линиях, сравнения этих значений между собой и выявления поврежденной линии. Например, в цифровом терминале защиты линии для сетей с резонансно заземленной нейтралью SPAS 801.013 имеется токовая ненаправленная защита от замыканий на землю – аналог УСЗ, измеряющая высшие гармоники тока.

## 2.6. Описание принципов выполнения и характеристики газовой защиты трансформаторов

При повреждении трансформатора, возникающие внутри его кожуха, сопровождается электрической дугой или нагревом деталей, что приводит к разложению масла и изоляционных материалов и образованию летучих газов. Будучи легче масла, газы поднимаются в расширитель, создавая сильное давление, под влиянием которого масло в кожухе трансформатора приходит в движение, перемещаясь в сторону расширителя. На этом принципе основана газовая защита.

Газовое реле помещают в специальный металлический кожух и врезают в маслопровод трансформатора между баком и расширителем (рисунок 17).

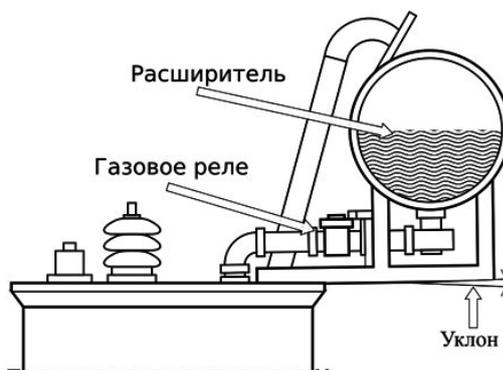


Рисунок 17 – Газовая защита трансформатора

Газовая защита является простым и универсальным инструментом для определения внутренних повреждений трансформатора. Она позволяет определить и витковые замыкания, на которые не реагирует дифференциальная защита из-за малой величины тока.

При любом виде реле, срабатывание защиты должно происходить с блокировкой отключающей системы.

Газовая защита из-за механического характера срабатывания датчиков подвержена ложным срабатываниям при вибрации почвы. Конструкция газовых реле должна быть рассчитана на возможную тряску.

Случайное попадание в охлаждающую систему воздуха также приводит к сигнализации. Не электрический характер исходной величины – уровня масла – не может гарантировать срабатывания защиты при замыканиях вне корпуса трансформатора.

Поэтому газовой реле не может быть основной системой защиты и трансформатор должен дополнительно защищаться другими типами релейной автоматики.

Газовые реле обладают малым временем отключения и способны реагировать утечку масла из охлаждающей системы. Такой вид защиты обязателен к установке на мощных трансформаторах.

## 2.7. Выбор параметров срабатывания АПВ линий и трансформаторов подстанции. Выбор время срабатывания АВР

Выдержка времени автоматического просторного включения (АПВ) на повторное включение выключателя определяется двумя условиями:

1) Выдержка времени должна быть больше времени готовности привода выключателя:

$$t_{1АПВ} = t_{ГП} + t_{зап} = 0,2 + 0,3 = 0,5 \text{ с}$$

где  $t_{ГП} = 0,2$  - время готовности привода;

$t_{зап} = 0,3$  - время запаса, учитывающее непостоянство  $t_{ГП}$  и погрешность реле времени схемы АПВ.

2) Для успешного АПВ необходимо, чтобы за время от момента отключения до повторного включения и подачи напряжения не только погасла электрическая дуга в месте повреждения, но и восстановились изоляционные свойства воздуха – время деионизации среды:

$$t_{2АПВ} = t_{д} + t_{зап} = 0,1 + 0,3 = 0,4 \text{ с}$$

где  $t_{д} = 0,1$  - время деионизации среды.

Из полученных значений выбираем наибольшее.

Время автоматического возврата схемы АПВ в исходное положение выбирается по условию:

$$t_{3АПВ} = t_{защ} + t_{отк} + t_{зап}$$

где  $t_{защ}$  - наибольшая выдержка времени защиты;

$t_{отк}$  - время отключения выключателя, примем 0,2 с;

Сведем данные в таблицу

Таблица 18 – Параметры срабатывания АПВ

	МТЗ	АПВ	
		на повторное включение, с	время возврата схемы, с
Л2	1,7	0,5	2,2
Л3	1,1	0,5	1,6
Л4	1,6	0,5	2,1
Л5	1	0,5	1,5
Л6	0,9	0,5	1,4
Л6	0,1	0,5	0,6
Тр	2,3	0,5	2,8

Время срабатывания АВР выбирается из следующих условия отстройка от времени срабатывания тех защит, в зоне действия которых КЗ может вызывать снижение напряжения ниже допустимого

( $U_{ABP1} = (0,25 \dots 0,4) \times U_{ном} = (2,6 \dots 4,2) \text{кВ}$ ):

$$t_{ABP1} = t_1 + t = 2,8 + 0,3 = 3,3 \text{с}$$

$$t_{ABP2} = t_2 + t = 2,2 + 0,3 = 2,5 \text{с}$$

где  $t_1$  - наибольшее время срабатывания защит присоединений, отходящих от шин высокой стороны подстанции.

$t_2$  - наибольшая выдержка времени защиты присоединений, отходящих от шин низшей стороны подстанции

$t$  - степень селективности. Для микропроцессорных 0,3с, а для простых реле в зависимости от шкалы.

## 2.8. Оценка выбранных параметров срабатывания всех защит с точки зрения их соответствия требованиям по нормативным документам

Сведем полученные результаты уставок и коэффициентов чувствительности в таблицы 19 и 20.

Таблица 11 – Уставки срабатывания защиты

Защищаемый объект	ТО	МТЗ		ДЗТ	ТСЗНТ	
	Уставка, А	Уставка, А	Время срабатывания, с	Уставка, А	Уставка, А	Время срабатывания, с
Л2	3454	46	1,7			
Л3	3217	99	1,1			
Л4	3254	34	1,6			
Л5	3234	54	1			
Л6	3402	24	0,9			
Л7	3580	92	1			
Тр	397	177	2.3	2,2	17	$t_{ТЗНП\_Тр} = 0$
Л1.3 и Л1.4	-	237				

Таблица 20 – Оценка коэффициентов чувствительности

	ТО	МТЗ	ДЗТ	ТСЗНТ
Л2	0,91	62.37		
Л3	0,98	27		
Л4	0,97	79.52		
Л5	0,97	49.97		
Л6	0,93	118.25		
Л7	0,89	32,46		
Тр	-	9,3	60	-
Л1	-	27,7 31,27		

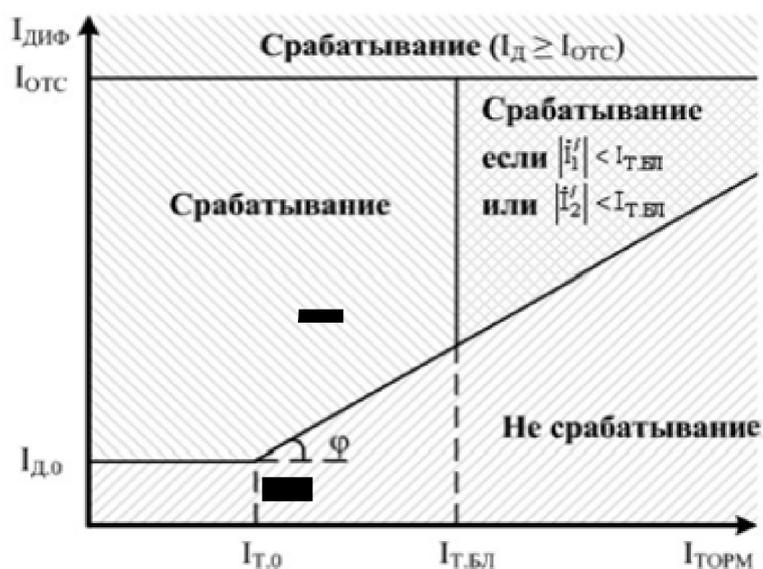


Рисунок 18 – Характеристика срабатывания ДТЗ с торможением

где:  $I_{д.0}$  – начальный ток срабатывания ДТЗ;  $I_{отс}$  – ток срабатывания дифференциальной отсечки;  $I_{т.бл}$  – ток торможения блокировки ДТЗ;  $k_T = \text{tg}(\ )$  – коэффициент торможения ДТЗ;  $I_{т.0}$  – ток начала торможения ДТЗ

Можно заметить, что рассчитанные коэффициенты чувствительности защит линий и трансформаторов удовлетворят условиям, соответственно параметры срабатывания защиты рассчитаны правильно

### **Вывод по главе**

Для ведения сетевой информации совместно с графическим изображением схемы замещения в программе АРМ СРЗА были подготовлены расчетные данные рассматриваемого района, подготовлены расчеты уставок защит первой периферии для рассматриваемой линии.

Учитывая условия сохранения устойчивости, надежной защиты линии и смежных присоединении были установлены и рассчитаны уставки комбинированной отсечки по току и напряжению и токовой защиты нулевой последовательности. Расчеты показали, что выбранные уставки удовлетворяют требованиям чувствительности.

### **3. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение**

Целью данного раздела работы является оценка расчета и проектирование релейной защиты основного оборудования подстанции «Кличка» 110/10 кВ Забайкальской энергосистемы с позиции ресурсоэффективности и конкурентоспособности.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- проанализировать конкурентные технические решения проекта;
- провести SWOT-анализ;
- выполнить планирование и организацию научного исследования;
- создать диаграмму Гантта
- определить бюджет научного проекта;
- определить ресурсоэффективность проекта.

#### **3.1. Анализ конкурентных технических решений**

На данном этапе будут оцениваться реле трех типов:

- ~ Микропроцессорное;
- ~ Аналоговое;
- ~ Электромеханическое.

В связи с этим необходимо провести экспертную оценку и убедиться в том, что микропроцессорное устройство является лидером перед ранее действующими релейными защитами.

Детальный анализ конкурирующих разработок, существующих на рынке, необходимо проводить систематически, поскольку рынки пребывают в постоянном движении. Данный анализ произведём с помощью оценочной карты (таблица 21).

Таблица 21 – Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы			Конкурентоспособность		
		$B_{мпр}$	$B_{ан}$	$B_{э/м}$	$K_{мп}$	$K_{ан}$	$K_{э/м}$
1	2	3	4	5	6	7	8
Технические критерии оценки ресурсоэффективности							
1. Удобность внедрения в энергосистему	0,06	5	4	1	0,3	0,24	0,06
2. Удобство в эксплуатации	0,01	4	3	3	0,04	0,03	0,03
3. Безопасность	0,1	5	3	2	0,5	0,3	0,2
4. Надежность	0,2	5	3	2	1	0,6	0,4
5. Возможность ремонта собственноручно	0,04	1	2	5	0,04	0,08	0,2
6. Потребность в ресурсах памяти	0,01	5	2	1	0,05	0,02	0,01
7. Функциональная мощность (предоставляемые возможности)	0,02	5	4	1	0,1	0,08	0,02
8. Простота эксплуатации	0,1	2	3	4	0,2	0,3	0,4
9. Качество интерфейса	0,02	5	2	2	0,1	0,04	0,04
10. Возможность подключения в сеть ЭВМ	0,1	5	2	1	0,5	0,2	0,1
Экономические критерии оценки эффективности							
1. Конкурентоспособность продукта	0,04	5	3	1	0,2	0,12	0,04
2. Уровень проникновения на рынок	0,04	5	3	2	0,2	0,12	0,08
3. Цена	0,1	3	3	4	0,3	0,3	0,4
4. Предполагаемый срок эксплуатации	0,07	5	4	3	0,35	0,28	0,21
Итого	1	60	41	32	3,88	2,71	2,19

Анализ конкурентных технических решений определяется по формуле:

$$K = \sum B_i \cdot \mathbf{B}_i$$

где  $K$  – конкурентоспособность научной разработки или конкурента;

$B_i$  – вес показателя (в долях единицы);

$\mathbf{B}_i$  – балл  $i$ -го показателя.

Исходя из результатов анализа, микропроцессорное реле получило наивысший балл по сравнению с другими конкурентами ( $K=3,88$ ). Это объясняется тем, что реле данного типа выполнено по современной технологии, что позволяет использовать его совместно с программными устройствами и ПК. Это сказывается на эффективности и удобности при эксплуатации. Если рассматривать общую картину анализа, то исследуемый тип реле превосходит

конкурентов по всем параметрам сравнения, за исключением возможности ремонта своими силами. Микропроцессорное реле представляет из себя блок, состоящий из микросхем и вычислительных устройств, что затрудняет ремонт при поломке в отличие от электромеханического реле.

### **3.2. SWOT-анализ**

SWOT – анализ – представляет собой комплексный анализ научно-исследовательского проекта. SWOT-анализ применяют для исследования внешней и внутренней среды проекта, и позволяет определить:

- ~ Сильные стороны и преимущества микропроцессорного реле, его конкурентоспособная сторона;
- ~ Слабые стороны микропроцессорного реле в конкурентной борьбе с другими типами реле;
- ~ Возможности для развития и улучшения конкурентной позиции;
- ~ Угрозы, наносящие ущерб проекту и наиболее эффективные действия для защиты от них.

Результаты SWOT-анализа представлены ниже.

Таблица 22 – Матрица SWOT-анализа

	<p>Сильные стороны научно-исследовательского проекта:</p> <p>С1. Удобное внедрение в энергосистему.</p> <p>С2. Экологичность технологии.</p> <p>С3. Большой срок эксплуатации.</p> <p>С4. Высокая безопасность и надежность данной системы по сравнению с другими.</p> <p>С5. Высокое качество продукции.</p> <p>С6. Использование современных тенденций</p> <p>С7. Простота в использовании</p>	<p>Слабые стороны научно-исследовательского проекта:</p> <p>Сл1. Высокая стоимость</p> <p>Сл2. Необходимость в высококвалифицированном персонале</p> <p>Сл3. Малая ремонтпригодность</p>
<p>Возможности:</p> <p>В1. Развитие данной отрасли в России</p> <p>В2. Появление дополнительного спроса на новый продукт</p> <p>В3. Возможность подключения в сеть ЭВМ.</p> <p>В4. Финансовая поддержка государства для развития</p>	<p>Вовлечение в производство микропроцессорного реле позволяет продлить срок эксплуатации, повысить надежность защиты защищаемого объекта и способствует привлечению поддержки в развитии технологии со стороны государства.</p>	<p>Введение нового технологически развитого оборудования, то есть микропроцессорного реле может повлечь за собой необходимость переквалификации персонала и повышение их компетенции</p>
<p>Угрозы:</p> <p>У1. Отсутствие спроса на новые технологии производства из-за ухудшения экономической ситуации в стране</p> <p>У2. Развитая конкуренция технологий производства</p> <p>У3. Отсутствие стимула для переоборудования защищаемых объектов.</p>	<p>В ближайшем будущем на энергообъектах будут установлены микропроцессорные реле за счет большего количества преимуществ по сравнению с остальными, при благоприятной экономической ситуации в стране</p>	<p>Наиболее значимым минусом является поиск источников финансирования для поддержания конкурентоспособности и дальнейшего развития производства</p>

Анализируя полученную интерактивную матрицу проекта, видим, что интегрирование микропроцессорных реле в энергосистему имеет больше преимуществ, чем недостатков, и способно, конкурируя с другими типами реле, занять лидирующее место на рынке

### 3.3. Планирование научно-исследовательских работ

Планирование комплекса предполагаемых работ осуществляется в следующем порядке:

- определение структуры работ в рамках научного исследования;
- определение участников каждой работы;
- установление продолжительности работ;
- построение графика проведения научных исследований.

Результат представлен в таблице 23.

Таблица 23 – Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

Основные этапы	№ раб	Содержание работ	Должность исполнителя
Разработка технического задания	1	Составление и утверждение технического задания	Руководитель
	2	Календарное планирование работ по теме	Руководитель
Выбор направления исследований	3	Подбор и изучение материала по теме	Инженер
	4	Описание объекта	Инженер
	5	Разработка структурной (принципиальной) схемы защищаемого объекта	Инженер
Теоретические и экспериментальные исследования	6	Выбор типа исполнения защиты	Инженер
	7	Выбор устройств РЗиА	Инженер
	8	Расчет параметров РЗиА	Инженер
	9	Планирование аварийных режимов	Инженер
	10	Технико-экономические расчеты	Инженер
	11	Вопросы безопасности и экологичности проекта	Инженер
Обобщение и оценка результатов	12	Оценка эффективности полученных результатов	Руководитель
Разработка технической документации	13	Составление пояснительной записки (эксплуатационно-технической документации)	Инженер

### 3.4. Определение трудоемкости выполнения работ и разработка графика проведения проекта

В данном разделе определим трудоемкость работы инженера и руководителя и построим диаграмму Гантта, которая характеризует даты начала и окончания выполнения работ.

В приведённой ниже таблице приведены расшифровки величин, которые используются в таблице 24.

Таблица 24 – Обозначение величин

Обозначение	Расшифровка	Единицы измерения
$t_{ож\ i}$	Ожидаемая трудоемкость выполнения $i$ -ой работы	чел.-дни
$t_{mi\ ni}$	Минимально возможная трудоемкость выполнения заданной $i$ -ой работы	чел.-дни
$t_{ma\ xi}$	Максимально возможная трудоемкость выполнения заданной $i$ -ой работы	чел.-дни
$T_{ki}$	Продолжительность выполнения $i$ -й работы в календарных днях	дни
$T_{pi}$	Продолжительность выполнения $i$ -й работы в рабочих днях	дни

Таблица 25 – Временные показатели проекта

Название работы	Трудоёмкость работ						Длительность работ в рабочих днях $T_{pi}$	Длительность работ в календарных днях $T_{ki}$	
	$t_{min}$ , чел-дни		$t_{max}$ , чел-дни		$t_{ож\ i}$ , чел-дни				
	Руководитель	Инженер	Руководитель	Инженер		Руководитель	Инженер	Руководитель	Инженер
Составление и утверждение технического задания	1		2		2		2		3
Календарное планирование работ по теме	3		5		4		4		5
Подбор и изучение материалов по теме		5		8	7		7		9
Описание объекта		3		4	4		4		5

Продолжение таблицы 25

Разработка структурной принципиальной схемы защищаемого объекта		4		9		6		6		8
Выбор типа исполнения защиты		5		8		7		7		9
Выбор устройств РЗиА		4		8		6		6		8
Расчет параметров РЗиА		2		4		8		8		10
Планирование аварийных режимов		3		6		5		5		6
Технико-экономические расчеты		3		7		5		5		6
Вопросы безопасности и экологичности проекта		3		7		5		5		6
Оценка эффективности полученных результатов	2		3		3		3		5	
Составление пояснительной записки		1		3		2		2		5

Пример расчёта

Ожидаемое значение трудоемкости:

$$t_{\text{ож}} = \frac{3 \cdot t_{\text{min}} + 2 \cdot t_{\text{max}}}{5} = \frac{3 \cdot 1 + 2 \cdot 2}{5} = 1,4 \approx 2 \text{ чел - дней};$$

Продолжительность работы в рабочих днях:

$$T_{\text{р}} = \frac{t_{\text{ож}}}{\text{Ч}} = \frac{2}{1} = 2 \text{ дня};$$

Коэффициент календарности:

$$k_{\text{кал}} = \frac{T_{\text{кал}}}{T_{\text{кал}} - T_{\text{вых}} - T_{\text{пр}}} = \frac{365}{365 - 66} = 1,22;$$

Продолжительность работы в календарных днях:

$$T_{\text{к}} = T_{\text{р}} \cdot k_{\text{кал}} = 2 \cdot 1,22 = 2,54 \approx 3 \text{ дня}.$$

На основании таблицы 5 строим календарный план-график



### 3.6. Расчет материальных затрат

Статьи включают все затраты, связанные с приобретением материалов, необходимого для проведения работ по конкретной теме.

В таблице 26 представлены статьи материальных затрат, связанных с выполнением проекта.

Таблица 26 – Материальные затраты

Наименование	Цена за единицу, руб.	Кол-во	Общая стоимость, руб.
Ручка	20	2 шт.	40
Бумага	240	1 упаковка	240
Скоросшиватель	35	1 шт.	35
Мультифоры	125	1 упаковка	125
Итого			340

По таблице 26 материальные затраты на выполнение данного научно-технического исследования составляют 340 рублей.

### 3.7. Расчет затрат на программное обеспечение

Осуществим анализ необходимого оборудования, который потребуется для выполнения научного исследования.

Таблица 27 – Затраты на программное обеспечение

Наименование	Единица измерения	Количество	Цена за ед. руб.	Затраты на оборудовани, руб.
Программный комплекс АРМ СРЗА	шт.		694 500	694 500
ПК	шт.	1	40 000	40 000
Итого:				734 500

В связи с длительностью использования, учитывается стоимость программного обеспечения с помощью амортизации:

$$A = \frac{\text{Стоимость} \cdot N_{\text{дней использ.}}}{\text{Срок службы} \cdot 365} = \frac{734\,500 \cdot 72}{3 \cdot 365} = 48\,296 \text{ руб.}$$

Итого, сумма амортизации равна 48 296 руб.

### 3.8. Основная заработная плата исполнителей темы

Статья включает основную заработную плату работников, непосредственно занятых выполнением НИИ и дополнительную заработную плату:

$$Z_{зп} = Z_{осн} + Z_{доп},$$

где  $Z_{осн}$  – основная заработная плата;

$Z_{доп}$  – дополнительная заработная плата (12-20 % от  $Z_{осн}$ ).

Основная заработная плата ( $Z_{осн}$ ):

$$Z_{осн} = Z_{дн} \cdot T_p,$$

где  $Z_{осн}$  – основная заработная плата;

$T_p$  – продолжительность работ, выполняемых научно-техническим работником, раб. дн. (табл. 28);

$Z_{дн}$  – среднедневная заработная плата работника, руб.

Среднедневная заработная плата:

Для руководителя:

$$Z_{дн} = \frac{Z_m \cdot M}{F_d} = \frac{51\,285 \cdot 10,4}{237} = 2250,5 \text{ руб.}$$

Для инженера:

$$Z_{дн} = \frac{Z_m \cdot M}{F_d} = \frac{33\,150 \cdot 10,4}{237} = 1454,7 \text{ руб.}$$

где  $Z_m$  – месячный должностной оклад работника, руб.;

$M$  – количество месяцев работы без отпуска в течение года:

при отпуске в 24 раб. дня  $M = 11,2$  месяца, 5-дневная неделя;

при отпуске в 48 раб. дней  $M = 10,4$  месяца, 6-дневная неделя;

$F_d$  – действительный годовой фонд рабочего времени научно-технического персонала, раб. дн.

Таблица 28 – Баланс рабочего времени

Показатели рабочего времени	Руководитель	Инженер
Календарное число дней	365	365
Количество нерабочих дней		
- выходные дни	52	52
- праздничные дни	14	14
Потери рабочего времени		
- отпуск	48	48
- невыходы по болезни	14	14
Действительный годовой фонд рабочего времени	237	237

Месячный должностной оклад работника:

Для руководителя

$$Z_m = Z_{TC} \cdot (1 + k_{пр} + k_d) \cdot k_p = 26\,300 \cdot (1 + 0,3 + 0,2) \cdot 1,3 = 51\,285 \text{ руб.}$$

Для инженера

$$Z_m = Z_{TC} \cdot (1 + k_{пр} + k_d) \cdot k_p = 17\,000 \cdot (1 + 0,3 + 0,2) \cdot 1,3 = 33\,150 \text{ руб.}$$

где  $Z_{TC}$  – заработная плата по тарифной ставке, руб.;

$k_{пр}$  – премиальный коэффициент, равный 0,3 (т.е. 30% от  $Z_{TC}$ );

$k_d$  – коэффициент доплат и надбавок составляет примерно 0,2 – 0,5;

$k_p$  – районный коэффициент, равный 1,3 (для Томска).

Расчёт основной заработной платы приведён в таблице 29

Таблица 29 – Расчёт основной заработной платы

Исполнители	$Z_{TC}$ , руб.	$k_{пр}$	$k_d$	$k_p$	$Z_m$ , руб	$Z_{дн}$ , руб.	$T_p$ , раб. дн.	$Z_{осн}$ , руб.
Руководитель	31 000	0,3	0,2	1,3	60 450	2 857	55	157 118
Инженер	17 000	0,3	0,2	1,3	33 150	1 454,7	55	80 008,5
Итого								237 127

Таким образом сумма основной заработной платы исполнителей составляет 237 127 руб.

### 3.9. Дополнительная заработная плата исполнителей темы

Руководитель:

$$З_{\text{доп}} = k_{\text{доп}} \cdot З_{\text{осн}} = 0,12 \cdot 157\,118 = 18\,854,16 \text{ руб}$$

Инженер:

$$З_{\text{доп}} = k_{\text{доп}} \cdot З_{\text{осн}} = 0,12 \cdot 80\,008,5 = 9\,601,02 \text{ руб}$$

где  $k_{\text{доп}}$  – коэффициент дополнительной заработной платы (на стадии проектирования принимается равным 0,12 – 0,15).

Таким образом затраты на дополнительную заработную плату составили 28 455,18 рублей.

### 3.10. Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)

В данной статье расходов отражаются обязательные отчисления по установленным законодательством Российской Федерации нормам органам государственного социального страхования (ФСС), пенсионного фонда (ПФ) и медицинского страхования (ФФОМС) от затрат на оплату труда работников.

Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется исходя из следующей формулы:

Руководителя:

$$З_{\text{внеб}} = k_{\text{внеб}} \cdot (З_{\text{осн}} + З_{\text{доп}}) = 0,302 \cdot (123\,777 + 14\,853,24) = 53\,143,6 \text{ руб}$$

Инженер:

$$З_{\text{внеб}} = k_{\text{внеб}} \cdot (З_{\text{осн}} + З_{\text{доп}}) = 0,302 \cdot (80\,008,5 + 9\,601,0) = 24\,284,18 \text{ руб}$$

где  $k_{\text{внеб}}$  – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды (пенсионный фонд, фонд обязательного медицинского страхования и пр.). В 2021 году равен 30,2%.

Таким образом величина отчислений во внебюджетные фонды исполнителей составляет 77 427,8 руб.

### **3.11. Накладные расходы**

Накладные расходы учитывают прочие затраты организации, не попавшие в предыдущие статьи расходов: печать и ксерокопирование материалов исследования, оплата услуг связи, электроэнергия, почтовые и телеграфные расходы, размножение материалов и т.д. Их величина определяется по следующей формуле:

$$\begin{aligned} Z_{\text{накл}} &= (\text{сумма ст ат ей } 1 \div 5) \cdot k_{\text{нр}} = (Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}} + Z_{\text{внеб}} + Z_{\text{м}} + A) \cdot 0,16 = \\ &= (237\,127 + 28\,455,18 + 77\,427,8 + 340 + 48\,296) \cdot 0,16 = 62\,663,4 \text{ руб.} \end{aligned}$$

где  $k_{\text{нр}}$  – коэффициент, учитывающий накладные расходы.

Величину коэффициента накладных расходов можно взять в размере 16%.

Итого, накладные расходы составляют 62 663 рубля.

### **3.12. Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта**

Рассчитанная величина затрат научно-исследовательской работы является основой для формирования бюджета затрат проекта, который при формировании договора с заказчиком защищается научной организацией в качестве нижнего предела затрат на разработку научно-технической продукции.

Определение бюджета затрат на научно-исследовательский проект по каждому варианту исполнения приведен в таблице.

Таблица 30 – Бюджет затрат НТИ

№	Наименование статьи	Сумма, руб.	%
1	Амортизация	48 296	12,1
2	Материальные затраты НТИ	340	0,1
3	Затраты по основной заработной плате исполнителей темы	237 127	51,2
4	Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы	28 455,18	6,1
5	Отчисления во внебюджетные фонды	77 427,8	16,6
6	Накладные расходы	62 663	13,9
Бюджет затрат НТИ		454 309	100

Наибольшей статьёй расходов оказалась зарплата (основная и дополнительная). Итоговая сумма необходимая на выполнение проекта составила 454 309 рублей.

### 3.13.Ресурсоэффективность

Ресурсоэффективность научного исследования определяется при помощи интегрального критерия ресурсоэффективности, который имеет следующий вид:

$$I_{pi} = \sum a_i \cdot b_i,$$

где  $I_{pi}$  – интегральный показатель ресурсоэффективности;

$a_i$  – весовой коэффициент проекта;

$b_i$  – балльная оценка проекта, устанавливается экспертным путем по выбранной шкале оценивания.

Таблица 31 - Сравнительная оценка характеристик проекта

Критерии	Весовой коэффициент	Балльная оценка разработки
1. Безопасность	0,25	5
2. Надежность	0,25	5
3. Удобство в эксплуатации (соответствует требованиям потребителей)	0,20	4
4. Предполагаемый срок эксплуатации	0,15	4
5. Энергоэкономичность	0,15	3
Итого:	1,00	

Интегральный показатель ресурсоэффективности для разрабатываемого проекта:

$$I_{pi} = 0,25 \cdot 5 + 0,25 \cdot 5 + 0,20 \cdot 4 + 0,15 \cdot 4 + 0,15 \cdot 3 = 4,35$$

Проведенная оценка ресурсоэффективности научного исследования дает достаточно хороший результат (4,35 из 5), что свидетельствует об эффективности его реализации.

## **Вывод по разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»**

1. Оценочная карта сравнения технических решений конкурентов показала, что среди реле, наилучшими показателями конкурентоспособности обладает микропроцессорное реле, поэтому использование данного реле при проектировании будет наиболее эффективным.

2. SWOT-анализ проекта, в ходе которого были выявлены потенциальные внутренние и внешние сильные и слабые стороны, возможности и угрозы. Из анализа выяснили, что потенциальных сильных сторон у проекта больше, чем слабостей. Сильные стороны проекта: оборудование высокого качества, большой срок службы.

2. В ходе планирования научно-исследовательских работ определён перечень работ, выполняемый рабочей группой. В данном случае рабочая группа состоит из двух человек: руководитель и инженер. Согласно составленному плану работ длительность трудовой занятости сотрудников исследовательского проекта составила 69 дня (55 дней – занятость инженера, 14 дней – длительность работы руководителя). На основе временных показателей по каждой из произведенных работ был построен календарный план-график, построенный на основе диаграммы Гантта, по которому можно увидеть, что самая продолжительная по времени работа – это Расчет параметров РЗиА.

4. Бюджет научно-технического исследования составил 454 309 руб. Бюджет НТИ состоит из материальных затрат (340 руб.), амортизационных отчислений (48 296 руб.), затрат на оплаты труда (237 127 руб.), отчислений во внебюджетные фонды (77 427,8 руб.) и накладных расходов (62 663 рубля).

5. Сравнив значения интегральных показателей ресурсоэффективности можно сделать вывод, что реализация технологии в первом исполнении ничуть не уступает остальным вариантам с позиции ресурсосбережения.

6. В ходе выполнения раздела «Финансовый менеджмент» был выполнен анализ конкурентоспособности, в котором было установлено, что проектирование микропроцессорного реле является более эффективным по

сравнению с аналогами. Длительность работ исполнителей проекта составляет 14 дней для руководителя и 55 дней для инженера. После формирования бюджета затрат на проектирование суммарные капиталовложения составили 454 309 руб. Проект экономически целесообразен, что определено при помощи показателя ресурсоэффективности проекта.

7. Капиталовложения в размере 454 309 рублей позволят реализовать разработанный проект по расчёту и проектированию релейной защиты основного оборудования подстанции «Кличка» 110/10 кВ Забайкальской энергосистемы. Микропроцессорное реле позволит оптимизировать работу энергосистемы и сохранять синхронизм при малых возмущениях системы.

#### **4. Социальная ответственность**

Целью данной ВКР является Проектирование релейной защиты основного оборудования подстанции «Кличка» 110/10 кВ Забайкальской энергосистемы. Данная экспериментальная установка предназначена для приема, преобразования и распределения электрической энергии т.е. были проведены все необходимые технические расчеты с помощью различных программных комплексов, текстовых и графических редакторов.

При выполнении данной работы рабочими зонами являются: Учебная лаборатория 8 корпуса ТПУ отделение электроэнергетики и электротехники, где располагается несколько рабочих компьютеров со специализированными программами;

##### **4.1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности**

Согласно Трудовому кодексу РФ [8], регулирование трудовых отношений в соответствии с Конституцией Российской Федерации осуществляется: трудовым законодательством (включая законодательство об охране труда), постановлениями Правительства Российской Федерации и нормативными правовыми актами федеральных органов исполнительной власти, нормативными правовыми актами органов исполнительной власти субъектов Российской Федерации, нормативными правовыми актами органов местного самоуправления.

Согласно Трудовому кодексу РФ: продолжительность рабочего времени не может превышать 40 часов в неделю; во время регламентированных перерывов целесообразно выполнять комплексы упражнений и осуществлять проветривание помещения.

Согласно санитарным нормам, площадь на одно рабочее место пользователей ПК на базе плоских дискретных экранов - 4,5 м<sup>2</sup>. Оптимальная рабочая поза при работе сидя обеспечивается также конструкцией стула: размерами, формой, площадью и наклоном сиденья, регулировкой по высоте.

Основные требования к рабочей зоне приведены в ГОСТ 12.2.032–78 «ССБТ. Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования» [9] и ГОСТ 21889–76 «Кресло человека-оператора. Общие эргономические требования» [10].

Физиологические и функциональные требования оператора и наличие линий визирования, используемых во время выполнения производственного задания, определяют место расположения дисплея относительно оператора. Согласно ГОСТ Р ИСО 9355-1-2009 «Эргономические требования к проектированию дисплеев и механизмов управления. Часть 1. Взаимодействие с человеком» [11], дисплеи должны быть расположены так, чтобы они всегда находились в пределах поля зрения оператора.

Руководствуясь ГОСТ Р ИСО 9355-2-2009 «Эргономические требования к проектированию дисплеев и механизмов управления. Часть 2. Дисплеи» [12] выделяют три зоны поля зрения оператора по критерию уменьшающейся эффективности визуального распознавания как для задач обнаружения, так и для задач мониторинга: рекомендуемая, допустимая и несоответствующая (таблица 32).

Таблица 32 – Зоны эффективности визуального распознавания

Зоны	Применяемость
Рекомендуемая	Применяется всегда, когда это возможно
Допустимая	Применяется тогда, когда невозможно использовать зону "рекомендуемая"
Несоответствующая	Эта зона не должна использоваться

Центральные линии рекомендуемой и допустимой визуальных зон лежат в средней плоскости и соответствуют линии визирования, как показано на рисунке 20

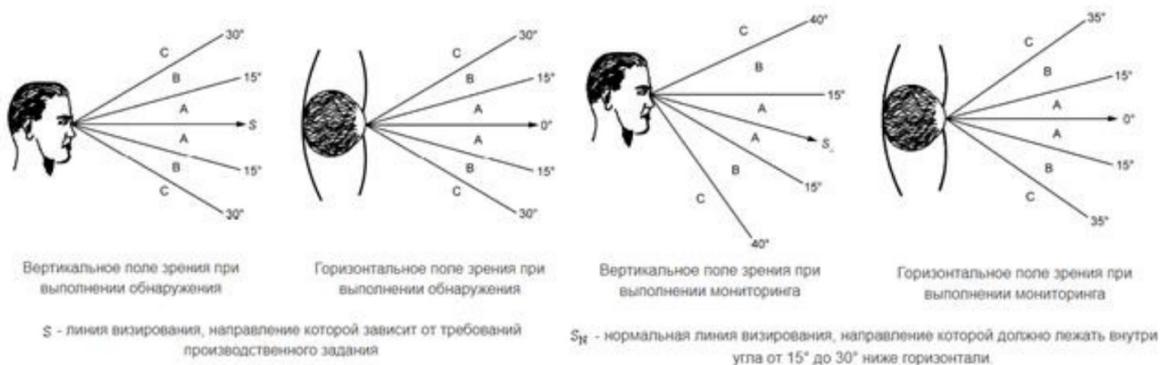


Рисунок 20 – Зоны эффективности распознавания сигнала в задаче обнаружения и мониторинга

. При выполнении задачи обнаружения линия визирования связана с главным центром внимания. Для выполнения задачи мониторинга дисплей может быть установлен в соответствии с линией визирования, которая проходит под углом к горизонтали и ниже горизонтали, что, как известно, более удобно для оператора

#### 4.2. Производственная безопасность

На человека в процессе разработки могут воздействовать опасные и вредные факторы, перечень которых утвержден стандартом ГОСТ 12.0.003-2015 «Опасные и вредные производственные факторы. Классификация» [13].

Данные производственные факторы подразделяются на четыре группы: физические, химические, биологические и психофизиологические.

С помощью ГОСТ 12.0.003-2015 «Опасные и вредные производственные факторы. Классификация», был определен перечень опасных и вредных факторов при разработке проектируемого решения. Данный перечень представлен в таблице 33.

Таблица 33 – Возможные опасные и вредные производственные факторы на рабочем месте в аудитории 8 корпуса ТПУ

Факторы (ГОСТ 12.0.003-2015)	Нормативные документы
Отклонение показателей микроклимата	СанПиН 1.2.3685-21 Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания
Отсутствие или недостатки необходимого искусственного освещения	СП 52.13330.2016 Естественное и искусственное освещение. Актуализированная редакция СНиП 23-05-95*
Повышенный уровень и другие неблагоприятные характеристики шума	СанПиН 1.2.3685-21 Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания
Перенапряжение зрительного анализатора	МР 2.2.9.2311-07 Состояние здоровья работающих в связи с состоянием производственной среды. Профилактика стрессового состояния работников при различных видах профессиональной деятельности ГОСТ Р МЭК 60950- 2002 Безопасность оборудования информационных технологий
Статические перегрузки, связанные с рабочей позой	Р 2.2.2006-05 Гигиена труда. Руководство по гигиенической оценке факторов рабочей среды и трудового процесса. Критерии и классификация условий труда
Повышенный уровень ультрафиолетового излучения	СанПиН 1.2.3685-21 Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания
Производственные факторы, связанные с электрическим током, вызываемым разницей электрических потенциалов, под действие которого попадает работающий	ГОСТ 12.1.038-82 ССБТ. Электробезопасность. Предельно допустимые уровни напряжений прикосновения и токов

### **4.3. Анализ опасных и вредных производственных факторов**

#### **4.3.1. Отклонение показателей микроклимата**

Согласно СанПиН 1.2.3685-21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания» [14] показателями, характеризующими микроклимат в производственных помещениях, являются: температура воздуха, температура поверхностей ограждающих устройств конструкций (стены, потолок, пол), устройств, а также технологического оборудования или ограждающих его устройств, относительная влажность воздуха, скорость движения воздуха, интенсивность теплового облучения.

Низкая температура вызывает охлаждение организма и может способствовать возникновению простудных заболеваний. При высокой температуре – перегрев организма, повышенное потоотделение и снижение работоспособности. Повышенная влажность воздуха приводит к нарушению терморегуляции организма, ухудшению состояния человека.

Вид деятельности относится к категории 1а по энергозатратам, т.к. процессы разработки, изготовления и эксплуатации происходят преимущественно в сидячем режиме. К данной категории относятся работы с интенсивностью энергозатрат до 120 ккал/ч (до 139 Вт).

Оптимальные и допустимые нормы параметров микроклимата в обслуживаемой зоне помещений общественных зданий согласно пункту 95 таблицы 5.28\* СанПиН 1.2.3685-21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания» [14] приведены в таблице

Таблица 34 – Оптимальные и допустимые нормы параметров микроклимата

Период года	Категория помещения	Температура воздуха, °С		Результирующая температура, °С		Относительная влажность, %		Скорость движения воздуха, м/с	
Холодный	1 категория-помещения, в которых люди в положении лежа или сидя находятся в состоянии покоя и отдыха	20-22	18-24	19-20	17-23	45-30	60-30	0,2	0,3

Для регулирования параметров микроклимата в помещении должны применяться системы отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха. В стенах аудитории установлена механическая вентиляция, оснащенная вентилятором и отводящая воздух из помещения. Кроме того, аудитория подключена к системе центрального городского отопления, что помогает регулировать температуру в период зимних месяцев.

#### **4.3.2. Отсутствие или недостатки необходимого искусственного освещения**

Согласно нормам освещенности, освещенность рабочей зоны является вредным фактором, который негативно воздействует на зрение, а также приводит к быстрому утомлению и снижению работоспособности. Для нормализации освещенности производственных помещений и рабочих мест рекомендуется применять следующие меры: дополнительные источники света, осветительные приборы и световые проемы. Для снижения негативного влияния рассматриваемого фактора на здоровье и работоспособность человека при работе за компьютером необходимо соблюдать допустимое время нахождения перед монитором компьютера и делать перерывы в работе.

В таблице 35 представлены нормативные показатели освещения рабочих мест в учебных аудиториях в университете согласно приложению Л\* в СП 52.13330.2016 «Естественное и искусственное освещение. Актуализированная редакция СНиП 23-05-95\*» [15]

Таблица 35 – Показатели искусственного освещения основных помещений общественных, жилых и вспомогательных зданий

Искусственное освещение			
Освещенность, лк		Объединенный показатель дискомфорта RUG, не более	Коэффициент пульсации освещенности, Кп, %, не более
При комбинирован ном	При общем освещении		
-	500	19	10

### 4.3.3. Перенапряжение зрительного анализатора

Работа с ПК подразумевает обработку большого количества информации. При работе с визуальной информацией напрягаются глаза, которые являются зрительным анализатором человека. При длительных контактах с дисплеем, постоянного наблюдения схожей по структуре зрительной информации, человек начинает испытывать стресс.

Согласно ГОСТ Р МЭК 60950-2002 «Безопасность оборудования информационных технологий» [9], разработка программно-алгоритмического комплекса относится к группе В, I категории (до двух часов) – творческая работа в режиме диалога с ПК. При выполнении разных групп работ в течение смены за основную принимают такую, которая занимает не менее 50% времени рабочего дня. Для обеспечения оптимальной работоспособности и сохранения здоровья пользователей на протяжении рабочей смены должны устанавливаться регламентированный перерыв, при восьмичасовом рабочем дне 30 минут. Продолжительность непрерывной работы с ПК не должна превышать 2 часов. Для I категории работ – через два часа от начала работы и через 1,5 – 2 часа после обеденного перерыва продолжительностью 15 минут каждый.

Во время регламентированных перерывов с целью сохранения высокой работоспособности выполняется комплекс упражнений для глаз во время регламентированных перерывов. С целью уменьшения отрицательного влияния монотонности целесообразно чередование операций осмысленного текста и числовых данных, чередование редактирования текстов и ввода данных (изменение содержания работы).

#### 4.3.4. Повышенный уровень и другие неблагоприятные характеристики шума

В данной работе основным источником шума является системный блок ПК, внутри которого работает система охлаждения, состоящая из вентиляторов, воспроизводящих непрерывный шелест или гудение.

Уровень звука, при этом не превышает 50 дБ. Постоянный уровень шума влияет на работоспособность и сосредоточенность человека. Рабочее место соответствует нормам и является помещением с минимальным уровнем шума при программировании и разработке программного обеспечения планирования производственных процессов. Санитарными нормами в пункте 100 СанПиН 1.2.3685-21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания» [14] установлены нормируемые параметры шума – таблица 36.

Таблица 36 – Нормируемые параметры шума в октавных полосах частот, эквивалентных и максимальных уровней звука проникающего шума в помещениях жилых и общественных зданий и шума на селитебной территории

Назначение помещений	Для источников пост. шума									Для источников непост. шума		
	Уровни звукового давления, дБ, в октавных полосах со среднегеометрическими частотами, Гц					Уровни звука L(A), дБА				Эквивалентные уровни звука L(Aэкв.), дБА	Максимальные уровни звука L(Aмакс), дБА	
	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000			
Аудитории образовательных организаций	79	63	52	45	39	35	32	30	28	40	40	55

#### **4.3.5. Повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека**

Помещение, в котором находится рабочее место, относится к категории помещений без повышенной опасности. Его можно охарактеризовать, как сухое, непыльное, с токонепроводящими полами и нормальной температурой воздуха. Защита от электрического тока на рабочем месте производится с помощью изоляции токопроводящих частей (все провода изолированы). Электрические устройства, в частности процессор от ПК расположен в защитном коробе.

Исходя из пункта 1.2. в ГОСТ 12.1.038-82 [17], в таблице 6 приведены предельно допустимые значения силы переменного и постоянного тока и напряжения, протекающие через тело человека при нормальном режиме электроустановки.

Таблица 37 – Предельно допустимые значения силы тока и напряжения

	Переменный ток при частоте 50 Гц	Переменный ток при частоте 400 Гц	Постоянный ток
Напряжение, В	2,0	3,0	8,0
Сила тока, мА	0,3	0,4	1,0

Для защиты от повышенной напряженности электрических полей следует использовать оградительные устройства, защитные заземления, системы автоматического отключения питания, знаки безопасности, изолирующие устройства и покрытия

#### **4.4. Экологическая безопасность**

В данном подразделе рассматривается характер воздействия на окружающую среду программного обеспечения для проектирования релейной защиты основного оборудования подстанции.

#### **4.5. Воздействие на литосферу**

При выходе из строя, а также устаревании компонентов, ПК начинает представлять собой источник второсортного сырья. Каждый ПК содержит цветные металлы и целый набор опасных для окружающей среды веществ.

Это производные газов, тяжелые металлы, среди которых кадмий, ртуть и свинец. Попадая на свалку, все эти вещества под воздействием внешней среды постепенно проникают в почву.

Документы, перенесенные на бумагу, становятся источником бумажных отходов. Такие отходы медленнее разлагаются из-за предварительной обработки бумаги, а также содержат на себе следы краски, химические вещества которой опасны для почвы.

Юридические лица имеют право утилизировать оргтехнику только при прохождении процедуры полного списания, подтвержденного актом Р 2.2.2006-05. 2.2. «Гигиена труда. Руководство по гигиенической оценке факторов рабочей среды и трудового процесса. Критерии и классификация условий труда» [18].

Для макулатуры существуют специально установленные контейнеры, в которые помещаются отработавшие печатные издания, офисная бумага и другие изделия из переработанной целлюлозы. Макулатура отвозится в пункты по сбору макулатуры, где она утилизируются.

#### **4.6. Безопасность в чрезвычайных ситуациях**

В лаборатории, где проводились эксперименты, возможен такой вид техногенной чрезвычайной ситуации, как пожар.

Для повышения устойчивости работы экспериментальной установки в ЧС предусмотрена установка источника бесперебойного питания, которое обеспечивает безопасную остановку работы установки в условиях нарушения электро- и водоснабжения. Также предусматривается формирование запасов медицинских и прочих санитарных средств.

Основную опасность представляет возгорание. Пожар в рабочем помещении может возникнуть вследствие причин неэлектрического и электрического характера

К причинам неэлектрического характера относятся халатное и неосторожное обращение с огнём (курение, оставление без присмотра нагревательных приборов).

К причинам электрического характера относятся: короткое замыкание, перегрузка проводов, искрение, статическое электричество.

Обоснование мероприятий по предотвращению ЧС и разработка порядка действия в случае возникновения ЧС:

В качестве превентивных мер по предотвращению пожаров в помещении используются такие меры как: не менее одного раза за полгода необходимо проводить со всеми работниками противопожарный инструктаж; необходимо проводить обучение всех работников правилам противопожарной безопасности; внедрение инструктивных материалов наглядной агитации, регламентов и норм ведения технологического процесса в помещении; необходимо устраивать противоаварийные работы с распределением выполнения работ при аварийных ситуациях [19].

В рассматриваемой рабочей зоне (открытое распределительное устройство), для увеличения противопожарной устойчивости: периодический осмотр состояния оборудования, при необходимости вывод его в ремонт; содержание в исправном состоянии токоведущих проводников, обеспечение беспрепятственного подхода, подъезда и отхода от оборудования; благоустройство территории открытого распределительного устройства, скас травы.

В помещениях для оповещения рабочего персонала о наличие ЧС предусмотрено звуковое оповещение, происходящее при срабатывании датчиков на задымление в помещениях.

Для локализации или ликвидации возгорания на начальной стадии используются первичные средства пожаротушения. Первичные средства

пожаротушения обычно применяют до прибытия пожарной команды. Углекислотные (ОУ-2) и порошковые огнетушители предназначены для тушения электроустановок, находящихся под напряжением до 1000 В. Кроме того, порошковые применяют для тушения документов. Для тушения токоведущих частей и электроустановок применяется переносной порошковый огнетушитель, например, ОП-5.

В общественных зданиях и сооружениях на каждом этаже должно размещаться не менее двух переносных огнетушителей. Огнетушители следует располагать на видных местах вблизи от выходов из помещений на высоте не более 1,35 м.

Важную роль при возникновении ЧС играет успешная эвакуация людей. Для того чтобы чётко обозначить пути эвакуации, эвакуационные выходы, обеспечивающие безопасность процесса организованного самостоятельного движения людей из помещений, а также указать расположение пожарного оборудования и средств оповещения о пожаре и напомнить о первоочередных действиях при пожаре применяется план эвакуации.

Для устранения причин возникновения пожаров в помещении лаборатории должны проводиться следующие мероприятия:

1. Использование только исправного оборудования;
2. Проведение периодических инструктажей по пожарной безопасности;
3. Назначение ответственного за пожарную безопасность помещений;
4. Издание приказов по вопросам усиления пожарной безопасности
5. Отключение электрооборудования, освещения и электропитания по окончании работ;
6. Курение в строго отведенном месте;
7. Содержание путей и проходов для эвакуации людей в свободном состоянии.

## **Вывод по разделу социальная ответственность**

При выполнении данного раздела были рассмотрены требования законодательства в сфере социальных, правовых и экологических вопросов, а также вопросов охраны здоровья и безопасности жизнедеятельности.

Согласно СанПиН 1.2.3685-21 разработка проектного решения относится к категории работ 1а по уровню энергозатрат организма. Выполнен анализ выявленных вредных и опасных факторов, предложены мероприятия по снижению их воздействий. Аудитория по электробезопасности, согласно ПУЭ, относится к категории «помещение без повышенной опасности», так как в данном помещении отсутствуют условия, создающие повышенную или особую опасность. Согласно Правил по охране труда при эксплуатации электроустановок персонал относится к группе I по электробезопасности.

Также рассмотрены вопросы экологической безопасности и безопасности в чрезвычайных ситуациях при проектировании релейной защиты. Наиболее вероятным видом чрезвычайной ситуации является пожар. При разработке проектного решения имеется воздействие на литосферу в виде образования отходов при выходе из строя ПК. Объект, оказывающий значительное негативное воздействие на окружающую среду, относится к объекту I категории.

Исходя из СП 12.13130.2009 «Определение категорий помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной безопасности», анализируемое в данной работе помещение относится к категории В1.

Следование правилам, описанным в данном разделе, помогут избежать чрезвычайных ситуаций, а также обеспечить здоровье персонала и сохранность окружающей среды.

## **Заключение**

Основные результаты, полученные в выпускной работе, заключаются в следующем:

Для ведения сетевой информации совместно с графическим изображением схемы замещения в программе АРМ СРЗА были подготовлены расчетные данные рассматриваемого района, подготовлены расчеты уставок защит первой периферии для рассматриваемой линии.

Учитывая условия сохранения устойчивости, надежной защиты линии и смежных присоединении были установлены и рассчитаны уставки комбинированной отсечка по току и напряжению и токовой защиты нулевой последовательности. Расчеты показали, что выбранные уставки удовлетворяют требованиям чувствительности.

## Список использованных источников

1. Правила устройств электроустановок - 6-е изд. - М.: Энергоатомиздат, 1985. – 640 с.
2. Федосеев А. М., Федосеев М. А. Релейная защита электроэнергетических систем, - 2-е изд., перераб. и доп. - М: Энергоатомиздат, 1992. - 528 с.
3. Проектирование микропроцессорных защит элементов электрических сетей напряжением 110–220 кВ : учебно-методическое пособие / В.П. Федотов, С.С. Старосельников, Л.А. Федотова.— 2-е изд., перераб. и доп.— Екатеринбург : Изд-во Урал. ун-та, 2018.— 268 с.
4. Чернобровов Н.В., Семёнов В.А. Релейная защита энергетических систем – М. Энергоатомиздат 1998. 800 с.
5. Авербух А.М. Релейная защита в задачах с решениями и примерами. Л.: Энергия, 1975. - 416 с.: с ил.
6. Руководящие указания по релейной защите. Вып. 12. Токовая защита от замыкания на землю линий 110-750 кВ. Расчеты. - М.: Энергия, 1980.-88 с.
7. Руководство по эксплуатации ЭКРА.656453.902 РЭ. ШКАФ ДИСТАНЦИОННОЙ И ТОКОВОЙ ЗАЩИТ ЛИНИИ ШЭ2607 021(021021). (021\_400 от 25.6.2020).
8. Видяев И.Г., Серикова Г.Н., Гаврикова Н.А. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение: учебно-методическое пособие / И.Г. Видяев, Г.Н. Серикова, Н.А. Гаврикова, Н.В. Шаповалова, Л.Р. Тухватулина З.В. Криницына; Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2014. – 36 с.
9. Трудовой кодекс Российской Федерации" от 30.12.2001 N 197-ФЗ Трудовой кодекс Российской Федерации от 30.12.2001 N 197-ФЗ (ред. от 25.02.2022)
10. ГОСТ 12.2.032-78 Система стандартов безопасности труда. Рабочее место при выполнении работ сидя, 2017
11. ГОСТ 12.0.003-2015 Опасные и вредные производственные факторы.

Классификация, 2015

12. СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278-03. Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания.

13. СанПиН 2.2.4.548-96 «Гигиеническими требованиями к микроклимату производственных помещений»; утв. постановлением Госкомсанэпиднадзора РФ от 13.06.2003 г.

14. СанПиН 2.2.2/2.4.1.1340-03. «Гигиеническими требованиями к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы»; утв. постановлением Госкомсанэпиднадзора РФ от 15.06.2003 г.

15. Грязная и опасная сторона технологий [Электронный ресурс] URL: <https://www.osp.ru/pcworld/2013/06/13035804/> Дата доступа: 01.05.2020

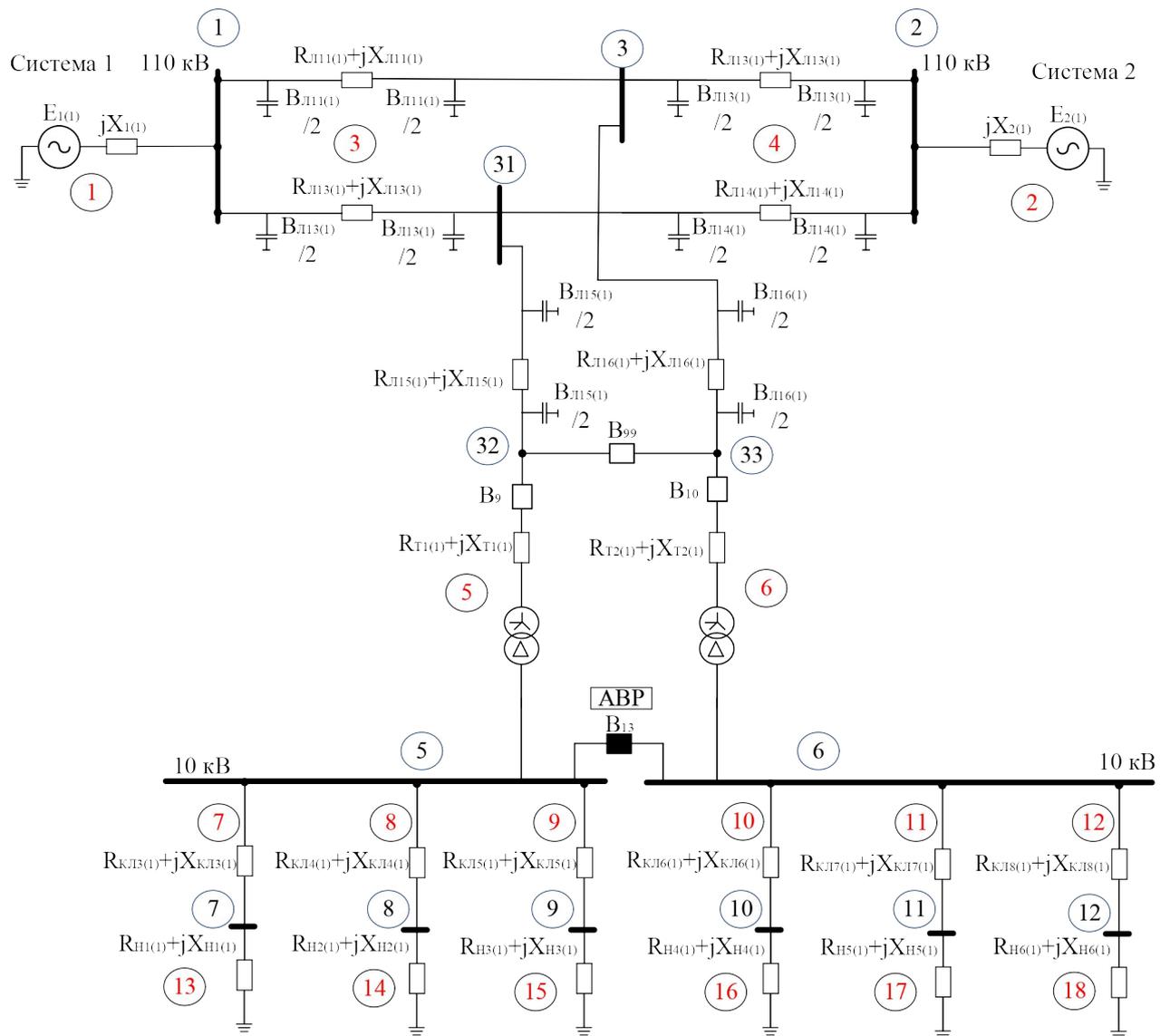
16. Необходимость утилизации компьютерной техники [Электронный ресурс] URL: [https://vtorothodi.ru/utilizaciya/utilizacija\\_kompjuterov](https://vtorothodi.ru/utilizaciya/utilizacija_kompjuterov) Дата доступа: 02.05.2020

17. НПБ 105-03, Определение категорий помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности, 2003.

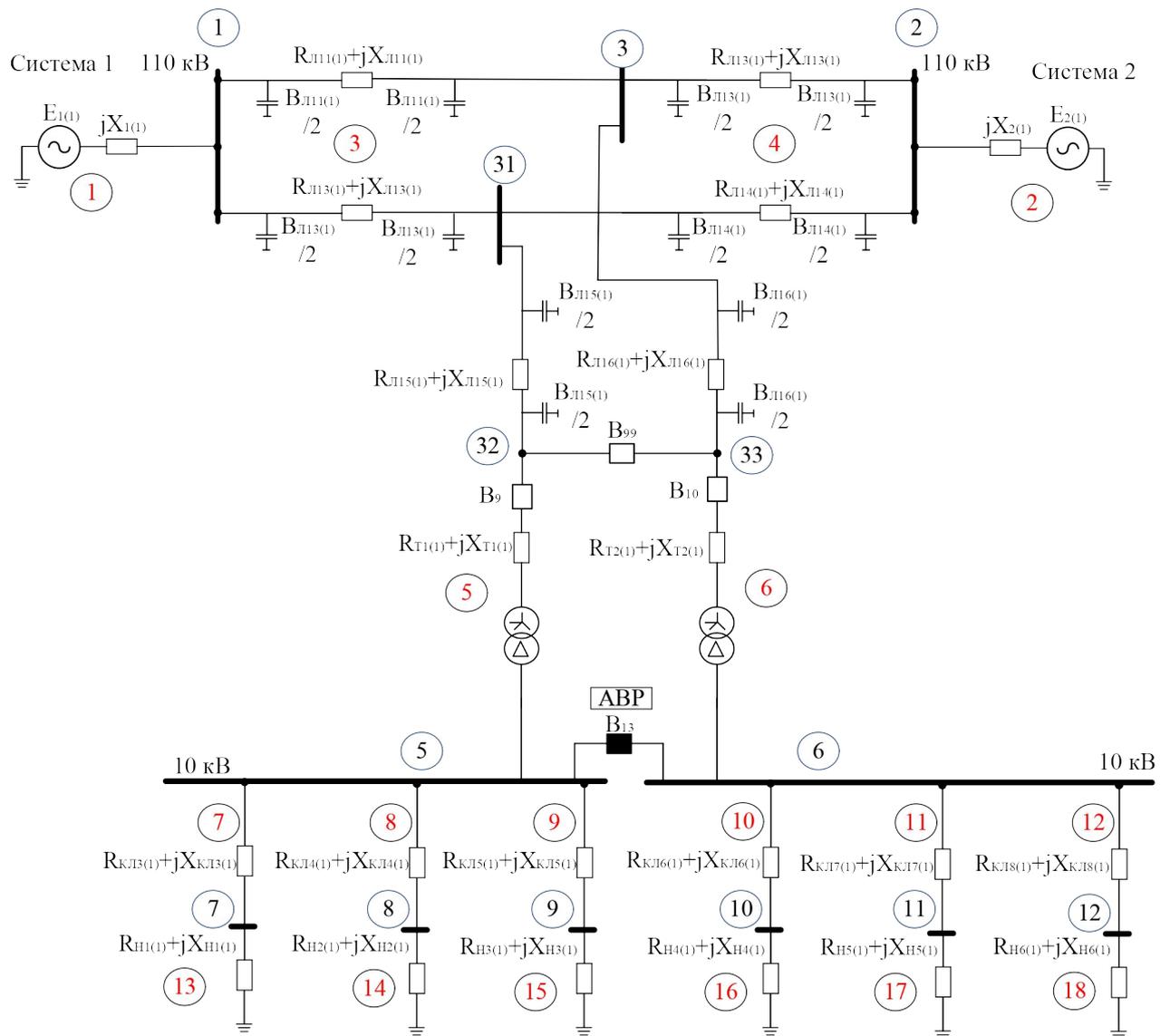
18. ГОСТ 12.2.032-78 «Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования».

19. СН 2.2.4/2.1.8.562-96. «Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки»; утв. постановлением Госкомсанэпиднадзора РФ от 31.10.1996 г.

## Приложение А – Электрическая схема подстанции

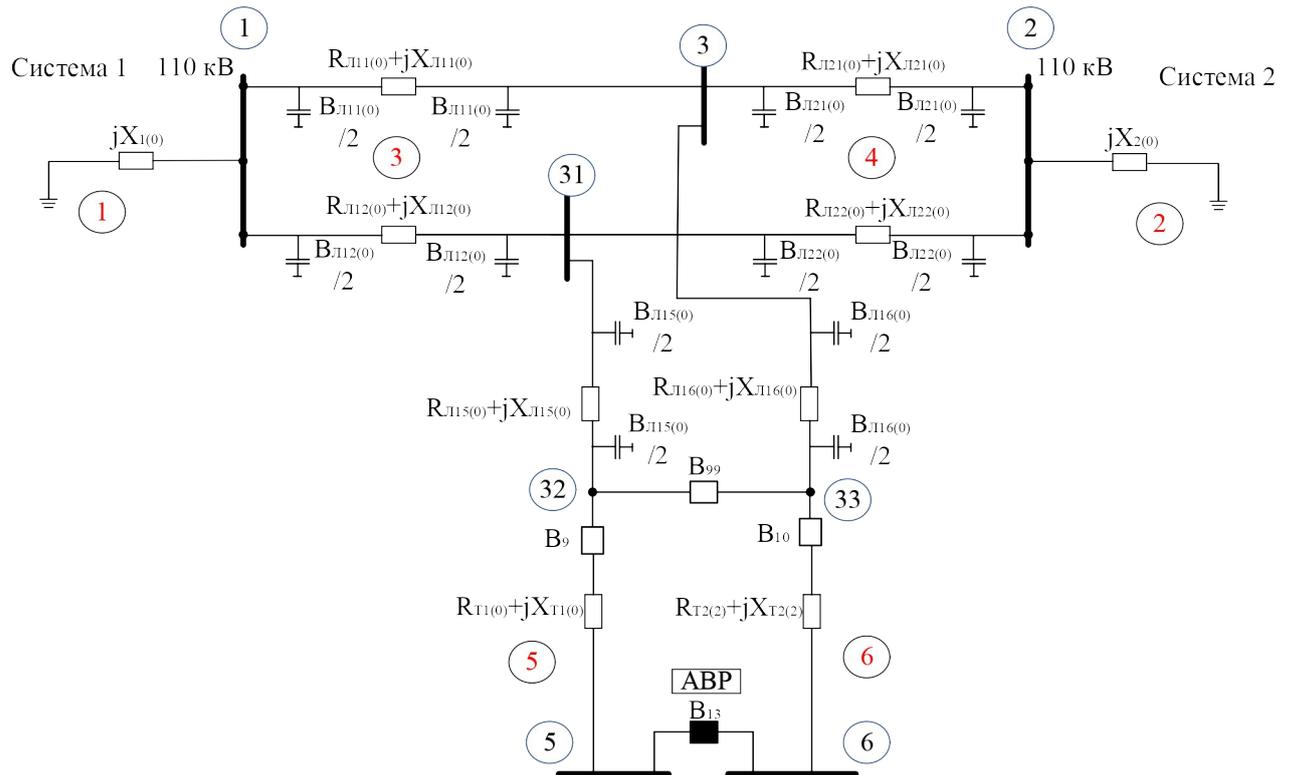


## Приложение Б – Схемы замещения прямой последовательности

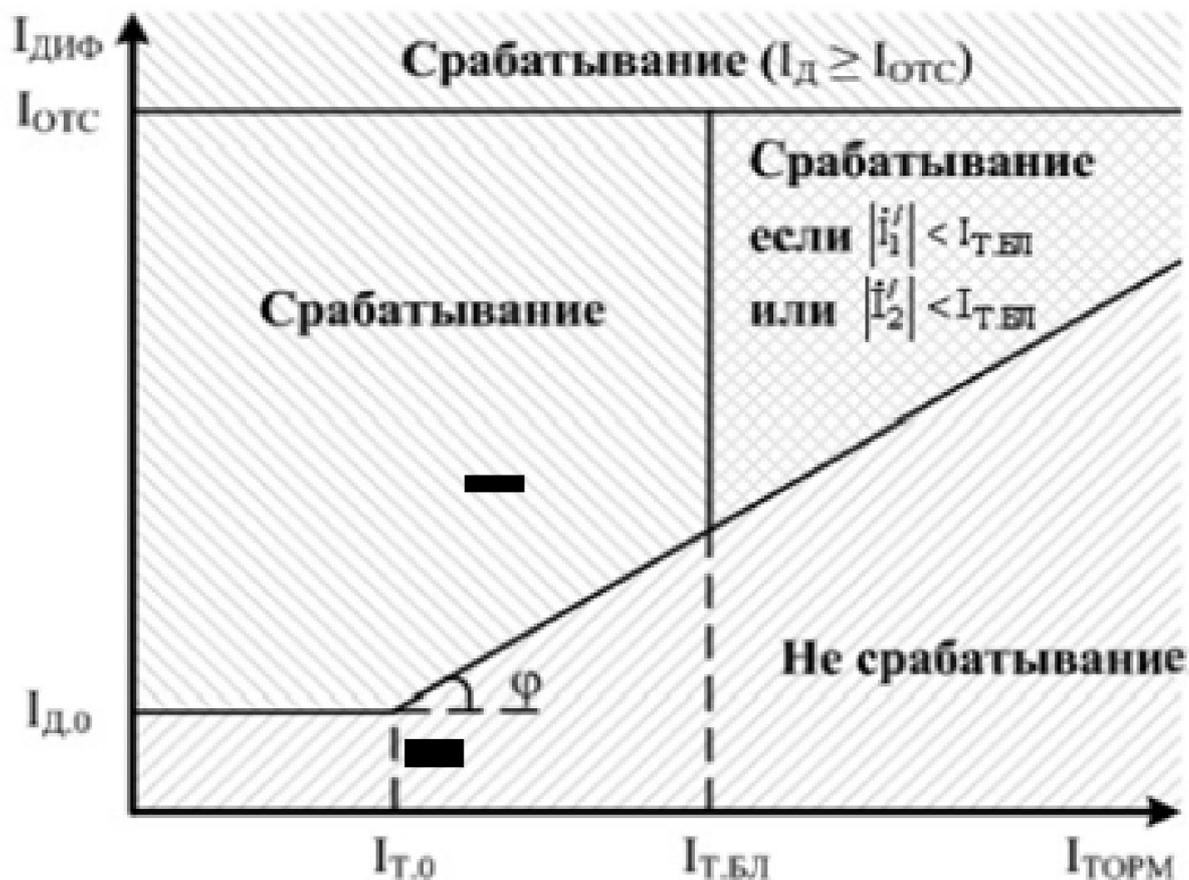




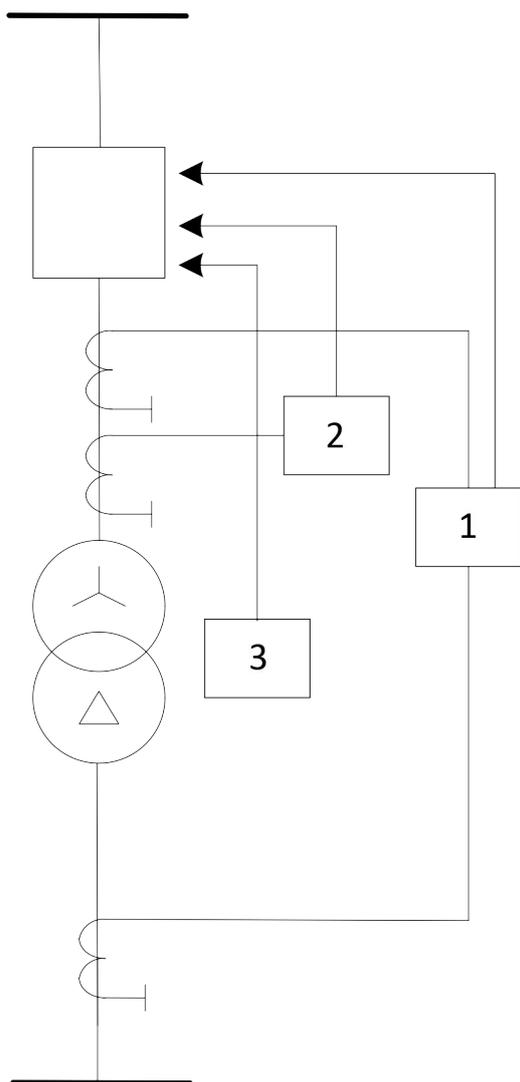
## Приложение Г – Схема замещения нулевой последовательности



Приложение Д – Характеристика срабатывания дифференциальной защиты



## Приложение Е – Схема защит трансформатора



1 – Защита дифференциального типа (ДЗТ);  
2 – Газовая защита;  
3 – МТЗ.