

Министерство образования и науки Российской Федерации
федеральное государственное автономное образовательное
учреждение высшего образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Институт ИнЭО

Направление подготовки 13.03.02 Электроэнергетика и электротехника

Кафедра Электрических сетей и электротехники

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы
Расчёт релейной защиты газотурбинной электростанции "Двуреченская" 110/35/6 кВ УДК 621.316.925.1:621.311.238.001.24

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-5А3А2	Щеблыкин Сергей Константинович		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент	В.А. Корнев			

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Фигурко А.А.	к.э.н., доцент		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Дашковский А.Г.	к.т.н., доцент		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Зав. кафедры	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
13.03.02 электроэнергетика и электротехника	Шестакова Вера Васильевна	к.т.н., доцент		

Томск – 2018 г.

Министерство образования и науки Российской Федерации
 федеральное государственное автономное образовательное
 учреждение высшего образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
 ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Институт ИнЭО

Направление подготовки 13.03.02 Электроэнергетика и электротехника

Кафедра Электрических сетей и электротехники

УТВЕРЖДАЮ:

Зав. кафедрой

 (Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

ЗАДАНИЕ

на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА
(бакалаврской работы, дипломного проекта/работы, магистерской диссертации)

Студенту:

Группа	ФИО
3-5А3А2	Щеблыкину Сергею Константиновичу

Тема работы:

Расчёт релейной защиты газотурбинной электростанции "Двуреченская" 110/35/6 кВ	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	

Срок сдачи студентом выполненной работы:	
--	--

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

<p>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.).</p>	<p>Объект: турбогенератор ГТЭС 4х6 МВт «Двуреченская», релейная защита и автоматика. Исходные данные: наименование и типы энергетического оборудования ГТЭС, схемы и токи короткого замыкания.</p>
<p>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).</p>	<p>Анализ объема релейных защит в соответствии с ПУЭ, выбор устройств релейной защиты, их комплектация и характеристики. Расчет уставок основного и дополнительного комплекта защит. Проверка их чувствительности. Оценка экономической эффективности от установки, рассмотрение вопросов социальной ответственности при эксплуатации РЗА.</p>
<p>Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей)</p>	<p>Однолинейная схема электрических соединений электростанции</p>
<p>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы (с указанием разделов)</p>	
Раздел	Консультант

Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Доцент Фигурко А.А.
Социальная ответственность	Доцент Дашковский А.Г.

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	
---	--

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент	В.А Корнев			

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-5А3А2	Щеблыкин Сергей Константинович		

Министерство образования и науки Российской Федерации
 федеральное государственное автономное образовательное
 учреждение высшего образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
 ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Институт ИнЭО

Направление подготовки 13.03.02 Электроэнергетика и электротехника

Кафедра Электрических сетей и электротехники Уровень образования Бакалавриат

Период выполнения Весенний семестр 2017/2018 учебного года

Форма представления работы:

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

(бакалаврская работа, дипломный проект/работа, магистерская диссертация)

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

Срок сдачи студентом выполненной работы: _____

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
29.02.2018	Цели и задачи исследования, аналитический обзор источников по теме исследования.	15
07.03.2018	Сбор необходимых данных для проектирования РЗА генератора ГТЭС	10
15.03.2018	Аналитический обзор микропроцессорных устройств РЗА, выбор производителя РЗА, описание устройства и его характеристики	15
02.04.2018	Составление схемы замещения ГТЭС. Расчёт токов короткого замыкания.	10
10.04.2018	Расчет и проверка чувствительности основного комплекта защит	25
15.04.2018	Расчет и проверка чувствительности дополнительного комплекта защит	10
19.04.2018	Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение.	5
27.04.2018	Социальная ответственность	5
04.05.2018	Заключение	5

Составил преподаватель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент электроэнергетики и электротехники	В.А. Корнев			

СОГЛАСОВАНО:

Зав. кафедры	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
13.03.02 электроэнергетика и электротехника	Шестакова Вера Васильевна	К.Т.Н., доцент		

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

Студенту:

Группа	ФИО
3-5А3А2	Щеблыкин Сергей Константинович

Институт	ИнЭО	Кафедра	Электрических сетей и электротехники
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 материалов и оборудования; - квалификация исполнителей; - трудоёмкость работы.
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов	- нормы амортизации;
3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования	- отчисления в социальные фонды; - накладные расходы и прочие расходы

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Оценка коммерческого потенциала инженерных решений (ИР)	
2. Формирование плана и графика разработки и внедрения ИР	- планирование выполнения проекта
3. Составление бюджета инженерного проекта (ИП)	- расчёт затрат на проектирование, определение стоимости проекта;
4. Оценка ресурсной, финансовой, социальной, бюджетной эффективности ИР и потенциальных рисков	- определение технико-экономической эффективности от установки устройства РЗА генератора

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

1. График выполнения проектных работ

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	
---	--

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Фигурко А.А.	к.э.н., доцент		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-5А3А2	Щеблыкин Сергей Константинович		

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА
«СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»**

Студенту:

Группа	ФИО
3-5А3А2	Щеблыкин Сергей Константинович

Институт	ИнЭО	Кафедра	Электрических сетей и электротехники
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	13.03.02 Электроэнергетика и электротехника

ЗАДАНИЕ

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:	
1. Описание рабочего места и проверка соответствия	Рабочее место инженера РЗА, представляющее собой отсек электротехнического оборудования газотурбинного агрегата.
2. Знакомство и отбор законодательных и нормативных документов по теме	– Федеральный закон “Технический регламент о требованиях пожарной безопасности” от 28.12.2013 г. №123 – Федеральный закон “О специальной оценке условий труда” от 28.12.2013 г. №426
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
1. Анализ выявленных вредных факторов проектируемой производственной среды	Перечень ВФ: – Параметры МК – Производственный шум и т.д.
2. Анализ выявленных опасных факторов проектируемой произведённой среды	– В каких случаях может произойти поражение электрическим током (источники)
3. Охрана окружающей среды	– Утилизация отходов производства и потребления.(источники отходов)
4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях	– Пожарная безопасность (пожар в электротехническом отсеке ГТА)
5. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:	– Рассмотрены основные организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны. – Социальное страхование работников
Перечень графического материала:	
При необходимости представить эскизные графические материалы к расчётному заданию (обязательно для специалистов и магистров)	

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	
---	--

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Дашковский А.Г.	к.т.н		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-5А3А2	Щеблыкин Сергей Константинович		

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа 88 с., 15 рис., 7 табл., 25 источников, 3 приложения.

Ключевые слова: газотурбинная электростанция, генератор, однолинейная схема соединений, ток короткого замыкания, трансформатор тока, уставка защиты, чувствительность

Объектом исследования является газотурбинная электростанция установленной мощностью 24 МВт.

Цель работы – расчет уставок защит основного оборудования электростанции, в частности, синхронного генератора мощностью 6 МВт.

В процессе работы составим расчетную схему замещения электростанции, определим состав комплекта защит для защищаемого электрооборудования, выберем оборудование, на котором будут реализованы функции защит, рассчитаем токи короткого замыкания в ключевых узлах энергорайона, выберем уставки, характеристики защит с последующей проверкой их чувствительности и селективности.

Результаты и информация, полученные и представленные в данном проекте, могут быть использованы как при эксплуатации электростанции, так и для решения других научно-исследовательских задач в энергорайоне расположения объекта.

					ФЮРА.СТО.ТПУ.2.5.01-2006			
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>	<i>Реферат</i>	<i>Лит.</i>	<i>Лист</i>	<i>Листов</i>
<i>Разраб.</i>		<i>С.К. Щеблыкин</i>						
<i>Руков.</i>		<i>В.А. Корнев</i>					7	90
						НИ ТПУИНЭО зр. 3-5А3А2		
<i>Н.контр.</i>		<i>В.А. Корнев</i>						

Содержание

Обозначения и сокращения	10
Введение	11
1.Краткая характеристика газотурбинной электростанции и района расположения	13
2. Релейная защита генератора	15
2.1. Обоснование выбора объема защит	15
2.2. Расчет токов короткого замыкания	16
2.3. Выбор устройства защиты генератора	19
2.4. Однолинейная схема распределительного устройства генераторного напряжения и точки подключения терминала Seram	24
2.5. Проверка нагрузочной способности измерительных трансформаторов тока	26
2.6. Основные защиты генератора	28
2.6.1. Защита от многофазных замыканий в обмотке статора генератора и на его выводах - продольная дифференциальная защита ANSI 87M	28
2.6.2. Защита от однофазных замыканий на землю в обмотке статора ANSI 50N/51N	33
2.6.3. Максимальная направленная токовая защита от замыканий на землю ANSI 67N	38
2.6.4. Защита двойных замыканий на землю, одно из которых возникло в обмотке статора, а второе - во внешней сети	40
2.6.5. Защита генератора от внешних КЗ	41
2.6.6. Защита от симметричной перегрузки обмотки статора	44
2.7. Дополнительные защиты статора генератора	44
2.7.1. Защита минимального сопротивления	45
2.7.2. Максимальная направленная защита максимальной мощности	46

					ФЮРА.СТО ТПУ 2.5.01-2006		
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>			
<i>Разраб.</i>		<i>С.К. Щерблюкин</i>			<i>Лит.</i>	<i>Лист</i>	<i>Листов</i>
<i>Руков.</i>		<i>В.А. Корнев</i>				8	90
<i>Н.контр.</i>		<i>В.А. Корнев</i>			НИ ТПУИНЭО зр. 3-5А3А2		
<i>Содержание</i>							

2.7.3. Защита от асинхронного хода при потере возбуждения	47
2.8. Защиты и автоматика системы возбуждения генератора	48
2.8.1. Описание станции управления возбуждением КОСУР-220	49
2.8.2. Автоматический регулятор возбуждения АРВ	49
2.8.3. Система управления возбуждением СУВ	50
2.8.4. Комплекс защит системы возбуждения КЗВ	51
2.8.5. Блок защиты УЗКИ	53
2.9. Заключение по главе	54
3. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	57
3.1 Введение	57
3.2 Планирование работ по проектированию и определение трудоемкости проектных работ	57
3.3 Расчёт затрат на проектирование	59
3.4 Экономическая эффективность от установки устройств РЗА	63
4. Социальная ответственность	71
4.1. Введение	71
4.2. Производственная безопасность	72
4.3. Обеспечение безопасности работ, проводимых в цепях РЗА	74
4.4 Экологическая безопасность	77
4.5 Безопасность в чрезвычайных ситуациях	78
4.6. Противопожарные мероприятия и пожарная защита	82
4.7 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности	84
4.8. Заключение по главе	86
5. Заключение	88
Список используемых источников	90
Приложение А	
Приложение Б	
Приложение В	

ОБОЗНАЧЕНИЯ И СОКРАЩЕНИЯ

ГТЭС – газотурбинная электростанция;

ГТА(ГТУ) – газотурбинный агрегат (установка);

ГДК – газодожимной компрессор;

ПС – подстанция;

ОПУ – общеподстанционный пункт управления;

АВР – автоматическое включение резерва;

КЗ – короткое замыкание

Введение

Северные районы Томской области богаты нефтью и газом. Группа добывающих компаний ведет эксплуатацию месторождений энергоресурсов и перспективную разработку недр. На западе Каргасокского района, практически у границы с Омской областью, располагается Крапивинская группа нефтяных месторождений. С целью утилизации попутного нефтяного газа этой группы месторождений, на Двуреченском месторождении установлена газотурбинная электростанция установленной мощностью 24 МВт.

Энергорайон расположения этой газотурбинной электростанции значительно удален от главного транзита мощности Томской области – воздушной линии 220 кВ ПС 220 «Восточная» - ПС 220 кВ «Советско-Соснинская» и действующие линии электропередач 110 кВ не смогли бы обеспечить рост энергопотребления, связанный с активной разработкой нефтяных месторождений южного Васюгана, начиная с 1995 года. К тому же, государством вводятся новые стандарты в лицензировании использования недр, а в частности закон требует 95%-ной утилизации попутного нефтяного газа, в противном случае владелец лицензии будет выплачивать экологические штрафы, возможно лишения лицензии. Таким образом, мощные факела, которые отчетливо видны из космоса и к которым невозможно подойти на 50 метров из-за большого количества выделяемого при горении тепла, должны потухнуть. На Лугинецком месторождении, отличительной особенностью которого является высокий газовый фактор, была запущена в эксплуатацию мощная газоконденсатная станция. Для месторождений с меньшими объемами получаемого попутного нефтяного газа, да ещё и удаленных от источников мощности, наиболее оптимальным

					ФЮРА.СТО ТПУ 2.5.01-2006			
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>				
<i>Разраб.</i>		<i>С.К. Щелыкин</i>			<i>Введение</i>	<i>Лит.</i>	<i>Лист</i>	<i>Листов</i>
<i>Руков.</i>		<i>В.А. Корнев</i>					11	90
						<i>НИ ТПУИНэО</i>		
<i>Н.контр.</i>		<i>В.А. Корнев</i>				<i>гр. 3-5АЗА2</i>		

вариантом является строительство газотурбинных электростанций. Так, на Игольском месторождении в 2005 году была введена в эксплуатацию ГТЭС «Игольская» установленной мощностью 24 МВт, в последствии расширенная до 36 МВт, а в 2014 году – ГТЭС «Двуреченская» мощностью 24 МВт. Работа этих ГТЭС в настоящий момент полностью обеспечивает утилизацию попутного нефтяного газа южновасюганской группы нефтяных месторождений (имеется даже некоторый дефицит топлива), а также покрывает большую часть мощностей потребителей. Организация, эксплуатирующая эти ГТЭС, имеет необходимые резервные мощности (как горячие, так и холодные) для обеспечения стабильного покрытия графика нагрузок районов электроснабжения. Также местные сети газораспределения и газоснабжения могут обеспечить переток газа между ГТЭС для обеспечения резервных мощностей топливом.

Целью данной работы является обеспечение необходимым уровнем релейной защиты генераторов ГТЭС «Двуреченская». Для этого, в соответствии с ПУЭ, определим объём необходимых защит, выполним выбор устройств релейной защиты, для расчета уставок и чувствительности защит рассчитаем токи КЗ, уставки задействованных функций защит, рассмотрим алгоритмы их действия.

1. Краткая характеристика газотурбинной электростанции и района расположения

Электрически ГТЭС «Игольская» и ГТЭС «Двуреченская» связаны сетями 110 кВ, выдача мощности генераторами осуществляется на головные подстанции 110/35/6 кВ посредством собственных повышающих трансформаторов 6/35 кВ или непосредственно на генераторном напряжении 6 кВ. Однолинейная схема района электрических сетей представлена в приложении А.

ГТЭС «Двуреченская» представляет собой электростанцию блочного исполнения. Четыре блока «генератор – трансформатор» представлены:

- генератором в составе ГТА-6РМ (производитель ОДК «Газовые турбины») номинальной мощностью 6 МВт;
- генераторным распределительным устройством КРУ-6, обеспечивающим распределение электроэнергии в пределах газотурбинного агрегата;
- внешним распределительным устройством КРУН-6 кВ, к которому подключен блочный газодожимной компрессор с главным электродвигателем 6 кВ мощностью 250 или 280 кВт;
- силовой повышающий трансформатор ТДНС-10000/35 с коммутационной аппаратурой 35 кВ в составе ОРУ-35 кВ ГТЭС.

Для электроснабжения собственных нужд ГТЭС на напряжении 0,4 кВ, питания резервного ГДК-5, на территории ГТЭС установлена блочная комплектная трансформаторная подстанция с двумя сухими трансформаторами 6/0,4 кВ мощностью по 1000 кВА и высоковольтной ячейкой вакуумного контактора. Подстанция получает питание от распределительного устройства 6 кВ головной подстанции по трём

					ФЮРА.СТО ТПУ 2.5.01-2006			
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>				
<i>Разраб.</i>		<i>С.К. Щеблыкин</i>			<i>Краткая характеристика газотурбинной электростанции и района расположения</i>	<i>Лит.</i>	<i>Лист</i>	<i>Листов</i>
<i>Руков.</i>		<i>В.А. Корнев</i>					13	90
<i>Н.контр.</i>		<i>В.А. Корнев</i>			<i>НИ ТПУИНЭО гр. 3-5А3А2</i>			

кабельным линиям 6 кВ.

ОРУ-35 кВ ГТЭС обеспечивает связь с ПС 110/35/6 кВ «Двуреченская» по ВЛ-35 кВ ЦЛ-3, ЦЛ-4, а также электроснабжение потребителей по ВЛ-35 кВ ЦЛ-3.1, ЦЛ-4.1. Однолинейная схема ГТЭС представлена в приложении Б.

Головная подстанция 110/35/6 кВ «Двуреченская» представляет собой систему 110 кВ с двумя рабочими и одной обходной системой шин, двумя трансформаторами ТМН-25000/110/35/6 кВ, ОРУ-35 кВ, КРУН-6 кВ, двух ячеек 110 кВ блока компенсирующего устройства мощностью 25 МВАр, состоящего из батареи статических конденсаторов и управляемого реактора.

Генерируемая мощность ГТЭС в нормальном режиме покрывает потребление с шин 35, 6 кВ головной подстанции и часть мощности передается в транзитные линии 110 кВ до ПС 110 кВ «Западно-Моисеевская».

Энергоузел головной подстанции 110 кВ «Игольская» устроен аналогично узлу подстанции 110 кВ «Двуреченская», разница лишь в подключении генераторов к сети.

2. Релейная защита генератора

2.1. Обоснование выбора объема защит

Представим основные характеристики защищаемого генератора, которые могут повлиять на выбор объема защит:

Генераторное напряжение ГТА-6РМ – $U_{ном} = 6$ кВ,

Номинальная мощность ГТА-6РМ $P_{ном} = 6$ МВт.

Охлаждение статора, ротора и возбuditеля генератора – косвенное воздушное с со смешанным циклом циркуляции охлаждающего воздуха.

Возбуждение генератора осуществляется от бесщеточной системы, включающей станцию управления возбуждением и синхронный возбuditель с диодным вращающимся выпрямителем. Для контроля цепи возбуждения турбогенератора со стороны возбuditеля предусмотрен измерительный щеточно-контактный узел, соединенный с выводами обмотки возбуждения турбогенератора и массивом ротора. Контроль сопротивления изоляции цепи возбуждения генератора осуществляется блоком УЗКИ, входящими в комплект поставки.

Каждый генератор имеет как собственный трансформатор, так собственный выключатель, поэтому шины КРУ-6 считаем сборными шинами генераторного напряжения, а силовой трансформатор обеспечен собственным комплектом защит.

Статор генератора имеет три фазных вывода для подключения нагрузки и три вывода со стороны нейтрали.

Таким образом, в соответствии с ПУЭ [п. 3.2.34 – п. 3.2.45] и параметрами генератора должны быть предусмотрены устройства релейной защиты от следующих повреждений и нарушений нормального режима

					ФЮРА.СТО ТПУ 2.5.01-2006			
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>				
<i>Разраб.</i>		<i>С.К. Щерблькин</i>			<i>Релейная защита генератора</i>	<i>Лит.</i>	<i>Лист</i>	<i>Листов</i>
<i>Руков.</i>		<i>В.А. Корнев</i>					15	90
					НИ ТПУИНЭО гр. 3-5А3А2			
<i>Н.контр.</i>		<i>В.А. Корнев</i>						

работы:

- многофазных замыканий в обмотке статора генератора и на его выводах;
- однофазных замыканий на землю в обмотке статора;
- двойных замыканий на землю, одно из которых возникло в обмотке статора, а второе - во внешней сети;
- внешних КЗ;
- симметричной перегрузки обмотки статора;
- замыкания на землю во второй точке цепи возбуждения.

2.2. Расчет токов короткого замыкания

Таблица 1. Параметры генератора ТК-6-2, необходимые для расчетов:

$P_{\text{НОМ}},$ МВт	$S_{\text{НОМ}},$ МВА	$U_{\text{НОМ}},$ кВ	$I_{\text{НОМ}},$ А	$\cos\phi_{\text{НОМ}},$ о.е.	$\sin\phi_{\text{НОМ}},$ о.е.	$x''_d,$ о.е.	$x''_d,$ Ом
6	7,5	6,3	687	0,8	0,6	0,1488	0,787

Расчетное значение емкости трех фаз обмотки статора на землю в горячем состоянии $C_{\Gamma} = 0,2017$ мкФ.

Рассчитаем параметры схем замещения эквивалентного генератора энергосистемы для максимального и минимального режимов.

По информации центральной службы РЗА ООО «Энергонефть-Томск» ток трехфазного КЗ в максимальном режиме работы сети на шинах ОРУ-35 кВ ПС 110/35/6 кВ «Двуреченская» составляет $I_{\text{КЗ max}}^{(3)} = 5,419$ кА, ток двухфазного КЗ в минимальном режиме – $I_{\text{КЗ min}}^{(2)} = 1,242$ кА.

Данные величины токов КЗ обеспечиваются следующими состояниями сети:

Максимальный режим:

- Максимальный режим сети 110 кВ (все ВЛ-110 кВ включены, включен СВ-110 на ПС «Двуреченская», нагрузка сети максимальна);
- Включен СВ-35 кВ ОРУ-35 ГТЭС «Двуреченская»;

- Нагрузка сети 35, 6 кВ ПС «Двуреченская» максимальна;
- Все генераторы ГТЭС в работе.

Минимальный режим:

- Минимальный режим сети 110 кВ (отключена одна ВЛ-110 кВ связи ПС «Игольская» с энергосистемой, все секционные выключатели отключены, нагрузка сети минимальная);
- Нагрузка сети 35, 6 кВ ПС «Двуреченская» минимальна;
- Из работы выведены все генераторы ГТЭС.

Составляем расчетную схему замещения электрической сети:

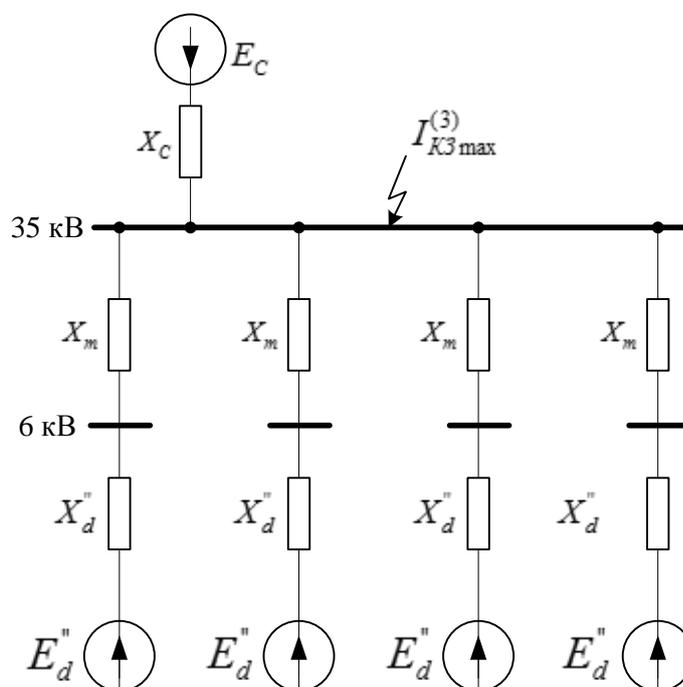


Рис. 1. Расчётная схема замещения электрической сети в максимальном режиме.

Расчеты проводим в именованных единицах с приведением сопротивлений и токов к генераторному напряжению. Значениями активных составляющих сопротивлений и ЭДС пренебрегаем.

Параметры схемы замещения силового трансформатора ТДНС-10000/35:

$$S_{\text{ном}} = 10000 \text{ кВА}; U_{\text{вн}}/U_{\text{нн}} = 36,75/6,3 \text{ кВ}; U_k = 8 \%$$

$$X_m = \frac{U_k}{100} \cdot \frac{U_{нн}^2}{S_{ном}} = \frac{8}{100} \cdot \frac{6,3^2}{10} = 0,318 \text{ Ом}$$

Параметры схемы замещения синхронного генератора:

$$x''_d = 0,787 \text{ Ом}$$

$$E_d'' = \sqrt{\left(\frac{U_{ном}}{\sqrt{3}} + I_{ном} \cdot (-X_d'' \cdot \sin \varphi_{ном})\right)^2 + (I_{ном} \cdot X_d'' \cdot \cos \varphi_{ном})^2} =$$

$$= \sqrt{\left(\frac{6300}{1,732} - 687 \cdot 0,787 \cdot 0,6\right)^2 + (687 \cdot 0,787 \cdot 0,8)^2} = 3341, \text{ В}$$

Максимальный ток трехфазного короткого замыкания на выводах синхронного генератора со стороны генератора:

$$I_{K3 \max G}^{(3)} = \frac{E_d''}{X_d''} = \frac{3341}{0,787} = 4,245 \text{ кА}$$

Ток трехфазного короткого замыкания подпитки точки КЗ на шинах 35 кВ от блока генератор-трансформатор, приведенное к генераторному напряжению:

$$I_{K3 \max T-G}^{(3)} = \frac{E_d''}{X_d'' + X_m} = \frac{3341}{0,787 + 0,318} = 3,023 \text{ кА}$$

Ток трехфазного короткого замыкания на шинах 35 кВ ОРУ-35 ГТЭС, приведенное к генераторному напряжению:

$$I_{K3 \max}^{(3)*} = I_{K3 \max}^{(3)} \cdot \frac{U_{нн}}{U_{вн}} = 5,419 \cdot \frac{36,75}{6,3} = 31,6 \text{ кА}$$

Ток трехфазного короткого замыкания подпитки точки КЗ на шинах 35 кВ от энергосистемы:

$$I_{K3 \max C}^{(3)} = I_{K3 \max}^{(3)*} - 4 \cdot I_{K3 \max T-G}^{(3)} = 31,6 - 4 \cdot 3,023 = 19,508 \text{ кА}$$

Эквивалентное сопротивление энергосистемы со стороны ПС 110 «Двуреченская»:

$$X_C = \frac{E_C}{I_{K3 \max C}^{(3)}} = \frac{6300}{1,732 \cdot 19508} = 0,186 \text{ Ом}$$

Эквивалентное сопротивление и ЭДС от трех блоков генератор-трансформатор:

$$X_G = (X_d'' + X_m) / 3 = (0,787 + 0,318) / 3 = 0,368 \text{ Ом}$$

$$E_G = E_d'' = 3341 \text{ В}$$

Эквивалентное сопротивление энергосистемы при КЗ на выводах генератора:

$$X_{\text{эквС}} = \frac{X_G \cdot X_C}{X_G + X_C} + X_m = \frac{0,368 \cdot 0,186}{0,368 + 0,186} + 0,318 = 0,442 \text{ Ом}$$

Эквивалентная ЭДС энергосистемы при КЗ на выводах генератора:

$$E_{\text{эквС}} = \frac{E_G \cdot X_C + E_C \cdot X_G}{X_G + X_C} = \frac{3341 \cdot 0,186 + 3637 \cdot 0,368}{0,368 + 0,186} = 3537 \text{ В}$$

Максимальный ток трехфазного короткого замыкания на выводах синхронного генератора со стороны энергосистемы:

$$I_{\text{КЗmaxС}}^{(3)} = \frac{E_{\text{эквС}}}{X_{\text{эквС}}} = \frac{3537}{0,442} = 8,002 \text{ кА}$$

Максимальное значение модуля уравнивающего тока при пренебрежении активной составляющей сопротивления эквивалента энергосистемы и активной составляющей сопротивления статора:

$$\left| I_{\text{ур.ас.реж.мах}} \right| = \frac{\left(1 + \frac{E_{\text{эквС}}}{E_d''}\right) \cdot E_d''}{X_{\text{эквС}} + X_d''} = \frac{\left(1 + \frac{3537}{3341}\right) \cdot 3341}{0,442 + 0,787} = 5596,4 \text{ А}$$

2.3. Выбор устройства защиты генератора

Мировая промышленность в настоящий момент практически полностью перешла на выпуск устройств защиты электрического оборудования и электрических сетей в модульном исполнении на микропроцессорной основе. Благодаря своей гибкой архитектуре, простоте монтажа, тестирования и наладки, эти устройства получили весьма обширный спектр применения. Так

для защиты генераторов ГТЭС «Двуреченская» выбраны терминалы Seram серии 80 производства Merlin Gerin всемирно известного немецкого концерна Schneider Electric.



Рис. 2. Seram - 80 со встроенным усовершенствованным человеко-машинным интерфейсом (УМИ)

Выбор терминалов РЗА для генераторов ГТЭС «Двуреченская» именно этого производителя был сделан на основании следующих факторов:

- высокая надежность;
- удобство и понятность интерфейса;
- широкая сеть технической поддержки по России;
- широкая область распространения электроустановок с терминалами защит Seram в сетях южновасюганской группы нефтяных месторождений.
- возможность интеграции терминала в информационные сетитеlemetry и управления;

Архитектура модулей Seram-80 представлена на рисунке 3.

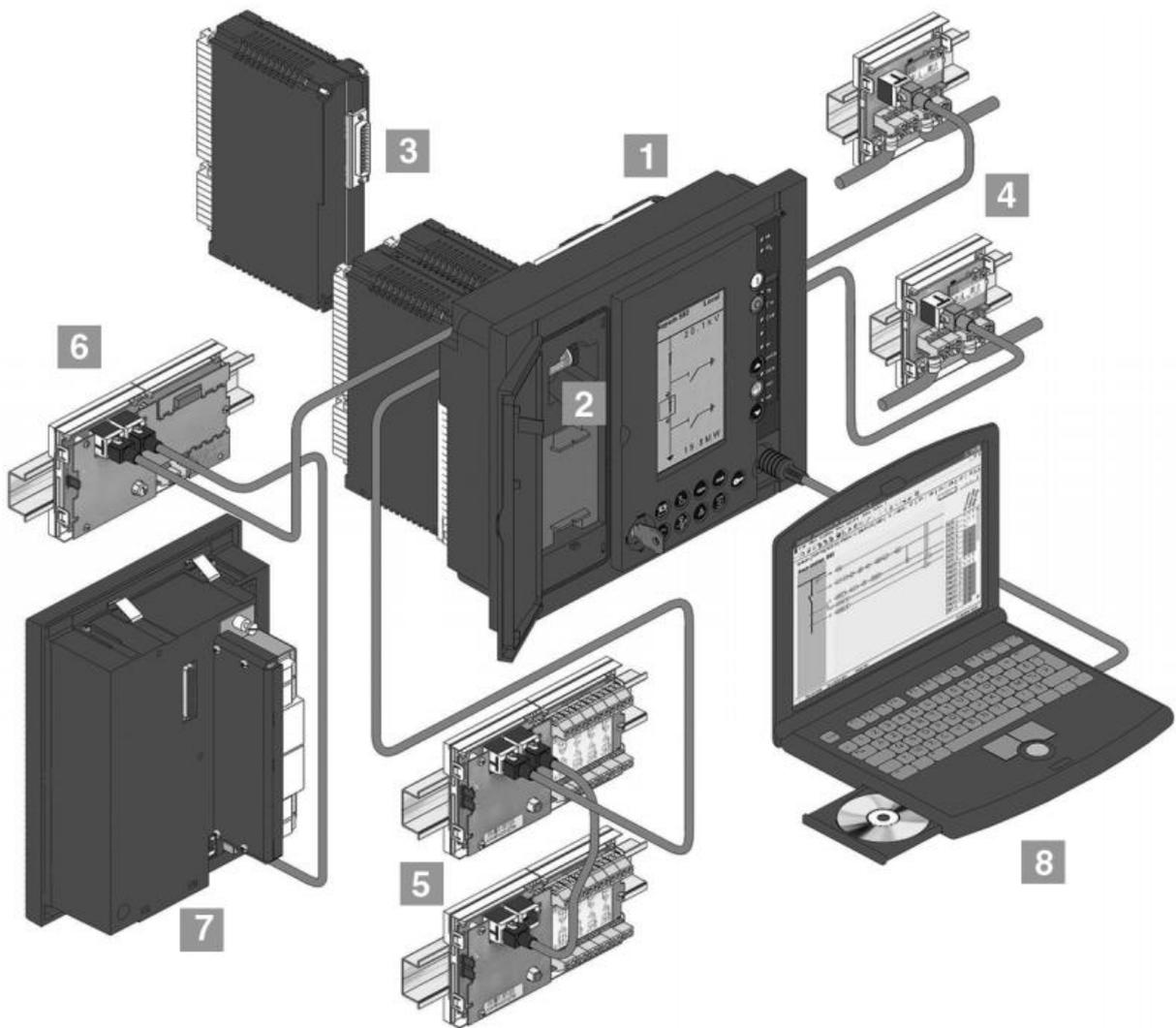


Рис. 3. Архитектура модулей Seram-80.

- 1 – базовое устройство с интерфейсом;
- 2 – картридж для сохранения данных параметрирования и настроек;
- 3 – дополнительный модуль расширения на 42 логических и 23 релейных выходаMES 120;
- 4 –2 независимых порта связи RS 485 (прямое подключение по 2, 4 – проводной линии связи RS-485 или оптоволоконной линии, подключение к EthernetTCP/IP);
- 5 – модуль обработки данных от 16 температурных датчиковМЕТ 148-2;
- 6 – низкоуровневый аналоговый выход;
- 7 – модуль контроля синхронизмаMSC 025;
- 8 – Программное обеспечение.

Для обеспечения определенного в п. 2.1 необходимого комплекта защит выбираем терминал Seram серии 80 типа G87 со специальной функцией защиты «Дифференциальная защита электрической машины».

Уточним комплектацию терминала. ГТА-6РМ имеет собственные блоки управления генератором и двигателем (БУГ и БУД), которые обеспечивают автоматическое управление подсистемами ГТА, а также отключение вакуумного выключателя генератора при срабатывании технологических защит агрегата.

Таким образом, в установке модуля обработки данных от 16 температурных датчиков МЕТ 148-2 нет необходимости. Достаточно лишь ввести в терминал сигнал на отключение выключателя от БУГ и БУД.

Дополнительный модуль расширения MES 120 обеспечивает подключение цепей защит по понижению и повышению частоты вращения, термостата или газового реле, цепей автоматического повторного включения. Защита по повышению и понижению частоты вращения в полной мере реализована в алгоритме работы БУД, остальные функции модуля расширения не востребованы технологией ГТА-6РМ. В установке модуля MES 120 нет необходимости.

Включение генератора в сеть происходит собственным генераторным выключателем по команде от общестанционного синхронизатора. В целях обеспечения синхронного включения предусматриваем установку модуля контроля синхронизма MSC 025.

Остальные модули используем в соответствии с приведенной на рисунке 2 архитектурой.

Представим таблицы защит и измерений для терминала РЗА ячейки генератора ГТА-6РМ.

Таблица 2. Защиты терминала Seram - 80 G87.

Наименование защиты	Код ANSI	кол-во выходных реле
Максимальная токовая в фазах	50/51	8
Максимальная токовая от замыканий на землю/чувствительная от замыканий на землю	50N/51N 50G/51G	8
УРОВ	50BF	1
Максимальная токовая обратной последовательности	46	2
Тепловая электрической машины	49RMS	2
Дифференциальная электрической машины		1
Максимальная направленная токовая в фазах	67	2
Максимальная направленная токовая от замыканий на землю	67N	2
Максимальная направленная активной мощности	32P	2
Максимальная направленная реактивной мощности	32Q	1
От асинхронного режима с потерей возбуждения (мин. полного сопротивления)	40	1
От потери синхронизма	78PS	1
Максимальная токовая с коррекцией по напряжению	50V/51V	2
Минимальная по полному сопротивлению	21B	1
От ошибочного включения в сеть	50/27	1
Минимального напряжения нулевой последовательности 3-й гармоники/ 100% защита статора от замыканий на землю	27TN/64G2/ 64G	2
Контроль насыщения (В/Гц)	24	2
Минимального напряжения (линейное или фазное)	27D	2
Минимального напряжения прямой последовательности	27R	2
Минимального напряжения однофазная	27	4
Максимального напряжения (линейное или фазное)	59	4
Максимального напряжения нулевой последовательности	59N	2
Максимального напряжения обратной последовательности	47	2
По максимальной частоте	81H	2
По минимальной частоте	81L	4
Контроль синхронизма	25	да

Реализованные в Seram - 80 защиты полностью удовлетворяют требования ПУЭ по объёму защит для статора генератора. Защиты цепей ротора генератора обеспечивает станция управления возбуждением генератора «КОСУР-220»

Для обеспечения работы всех необходимых по ПУЭ защит Seram - 80 G87 задействует каналы измерения, представленные в таблице 3.

Таблица 3. Каналы измерения терминала Seram - 80 G87.

Наименование канала измерения	Основной канал	Дополнительный канал
Фазные токи	I1, I2, I3	I1, I2, I3
Ток нулевой последовательности	I0	I0
Фазные напряжения	V1, V2, V3 или U21, U32	
Напряжение нулевой последовательности	V0	

Остальные величины, такие как мощности, $\cos \varphi$, угловые сдвиги векторов тока и напряжения и т.д., процессор получает расчетным путем.

2.4. Однолинейная схема распределительного устройства генераторного напряжения и точки подключения терминала Seram

Таким образом, для обеспечения сигналами, генераторное распределительное устройство должно состоять из следующих аппаратов:

- трансформаторы тока на всех фазах на выводах нагрузки генератора;
- трансформаторы тока на всех фазах на выводах «звезды» генератора;
- трансформатор напряжения для измерительных шин напряжения генератора (для питания цепей напряжения Seram - 80 и «КОСУР-220», проборов учёта электроэнергии;
- трансформатор собственных нужд для питания станции возбуждения генераторным напряжением;
- трансформатор собственных нужд для питания вспомогательных систем ГТА-6PM;
- коммутационная аппаратура с блокировочными устройствами.

На рисунке 4 представим упрощенную (без разъединителей и заземлителей) однолинейную схему генераторного распределительного устройства ГТА-6PM с указанием источников сигналов для терминала Seram - 80.

2.5. Проверка нагрузочной способности измерительных трансформаторов тока по паспортным характеристикам допустимой кратности тока

Типы и параметры трансформаторов тока, вторичные обмотки класса точности 10P которых используются для подключения к терминалу Seram:

- в нейтрали генератора: ТОЛ-10-I-2У2, $k_{ТТ} = 800/5$, $S_N = 15$ ВА, $K_{пред} = 10$; $R_{вторТТН} = 0,25$ Ом

- выводы генератора: ТЛО-10-3-У3, $k_{ТТ} = 800/5$, $S_{\Phi} = 15$ ВА, $K_{пред} = 10$; $R_{вторТТ} = 0,25$ Ом

Активная и реактивная составляющие номинального сопротивления вторичной нагрузки трансформатора тока:

$$R_{н.ном.ТТ} = \frac{S_{N(\Phi)}}{I_{втор.ном.ТТ}^2} \cdot \cos \varphi = \frac{15}{5^2} \cdot 0,8 = 0,48 \text{ Ом};$$

$$X_{н.ном.ТТ} = \frac{S_{N(\Phi)}}{I_{втор.ном.ТТ}^2} \cdot \sin \varphi = \frac{15}{5^2} \cdot 0,6 = 0,36 \text{ Ом};$$

Трансформаторы тока в нейтрали генератора расположены на выводах генератора в отсеке генератора в блоке двигатель-генератор, трансформаторы тока со стороны фазных выводов расположены непосредственно в ячейке генератора блока контроля и управления. Расчетные длины кабелей – $l_{кабN} = 20$ м, $l_{каб\Phi} = 2$ м; сечение медного проводника токовых цепей – $S_{пр} = 4$ мм²; удельное сопротивление электротехнической меди $\rho = 1,75 \cdot 10^{-8}$ Ом·м.

Сопротивления кабельных линий:

$$R_{кабN} = \rho \cdot \frac{l_{кабN}}{S_{пр}} = 1,75 \cdot 10^{-8} \cdot \frac{20}{4 \cdot 10^{-6}} = 0,08 \text{ Ом};$$

$$R_{каб\Phi} = \rho \cdot \frac{l_{каб\Phi}}{S_{пр}} = 1,75 \cdot 10^{-8} \cdot \frac{2}{4 \cdot 10^{-6}} = 0,008 \text{ Ом};$$

Сопротивления входных токовых цепей Seram:

$$R_{P3A} = 0 \text{ Ом}; X_{P3A} = 0,001 \text{ Ом}$$

Сопротивление контактных соединений:

$$R_{\text{конт}} = 0,05 \text{ Ом}$$

Составляющие расчетного сопротивления нагрузки трансформаторов тока в режиме трехфазного короткого замыкания:

$$R_{\text{н.расч.ТТН}}^{(3)} = R_{\text{каб}} + R_{\text{РЗА}} + R_{\text{конт}} = 0,08 + 0 + 0,05 = 0,13 \text{ Ом};$$

$$R_{\text{н.расч.ТТФ}}^{(3)} = R_{\text{каб}} + R_{\text{РЗА}} + R_{\text{конт}} = 0,008 + 0 + 0,05 = 0,058 \text{ Ом};$$

$$X_{\text{н.расч.ТТН}}^{(3)} = X_{\text{н.расч.ТТФ}}^{(3)} = X_{\text{РЗА}} = 0,001$$

Допустимая предельная кратность тока при пренебрежении сопротивлением рассеяния вторичной обмотки трансформатора тока:

$$K_{\text{пред.насп.ТТ.Н}}(Z_{\text{расч.ТТ}}^{(3)}) = K_{\text{ном.насп.ТТ.Н}} \cdot \frac{\sqrt{(R_{\text{втор.ТТН}} + R_{\text{н.ном.ТТН}})^2 + (X_{\text{н.ном.ТТН}})^2}}{\sqrt{(R_{\text{втор.ТТН}} + R_{\text{н.расч.ТТН}}^{(3)})^2 + (X_{\text{н.расч.ТТН}})^2}} =$$

$$10 \cdot \frac{\sqrt{(0,25 + 0,48)^2 + 0,36^2}}{\sqrt{(0,25 + 0,13)^2 + 0,001^2}} = 21,4$$

$$K_{\text{пред.насп.ТТ.Ф}}(Z_{\text{расч.ТТ}}^{(3)}) = K_{\text{ном.насп.ТТ.Ф}} \cdot \frac{\sqrt{(R_{\text{втор.ТТФ}} + R_{\text{н.ном.ТТФ}})^2 + (X_{\text{н.ном.ТТФ}})^2}}{\sqrt{(R_{\text{втор.ТТФ}} + R_{\text{н.расч.ТТФ}}^{(3)})^2 + (X_{\text{н.расч.ТТФ}})^2}} =$$

$$= 10 \cdot \frac{\sqrt{(0,25 + 0,48)^2 + 0,36^2}}{\sqrt{(0,25 + 0,058)^2 + 0,001^2}} = 26,4$$

Нагрузочная способность трансформаторов тока

$$K_{\text{расч.ТТ}}^{(3)} = \frac{I_{\text{КЗmaxG}}^{(3)}}{I_{\text{перв.ном.ТТ}}} = \frac{4245}{800} = 5,3$$

Поскольку

$$K_{\text{расч.ТТ}}^{(3)} < K_{\text{пред.насп.ТТ.Н}}(Z_{\text{расч.ТТ}}^{(3)}), K_{\text{расч.ТТ}}^{(3)} < K_{\text{пред.насп.ТТ.Ф}}(Z_{\text{расч.ТТ}}^{(3)})$$

трансформаторы тока удовлетворяют требованиям по нагрузочной способности.

2.6. Основные защиты статора генератора

2.6.1. Защита от многофазных замыканий в обмотке статора генератора и на его выводах - продольная дифференциальная защита (код ANSI 87M)

2.6.1.1. Обоснование применения и характеристики защиты

В соответствии в ПУЭ:

Для защиты от многофазных замыканий в обмотке статора турбогенераторов выше 1 кВ мощностью более 1 МВт, имеющих выводы отдельных фаз со стороны нейтрали, должна быть предусмотрена продольная дифференциальная токовая защита (исключение см. в [3.2.37](#)). Защита должна действовать на отключение всех выключателей генератора, на гашение поля, а также на останов турбины.

В зону действия защиты кроме генератора должны входить соединения генератора со сборными шинами электростанции (до выключателя).

Продольная дифференциальная токовая защита должна быть выполнена с током срабатывания не более $0,6 I_{\text{ном}}$.

Для генераторов мощностью до 30 МВт с косвенным охлаждением допускается выполнять защиту с током срабатывания $1,3-1,4 I_{\text{ном}}$.

Контроль неисправности токовых цепей защиты следует предусматривать при токе срабатывания защиты более $I_{\text{ном}}$.

Продольная дифференциальная токовая защита должна быть осуществлена с отстройкой от переходных значений токов небаланса (например, реле с насыщающимися трансформаторами тока).

Защиту следует выполнять трехфазной трех релейной. Для генераторов мощностью до 30 МВт защиту допускается выполнять двухфазной двухрелейной при наличии защиты от двойных замыканий на землю.

Расчет защиты выполняется по методическим указаниям в Руководстве по эксплуатации Seram-80 [3.стр.153] и методическим указаниям [4, стр. 18].

Токовая продольная дифференциальная защита ANSI 87M выполнена пофазной и имеет две ступени – грубую, дифференциальную отсечку, и чувствительную с торможением.

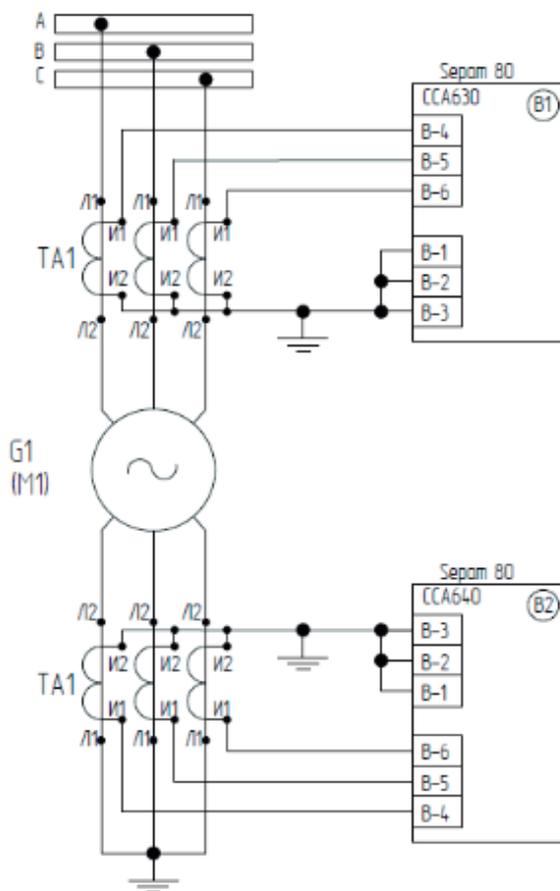
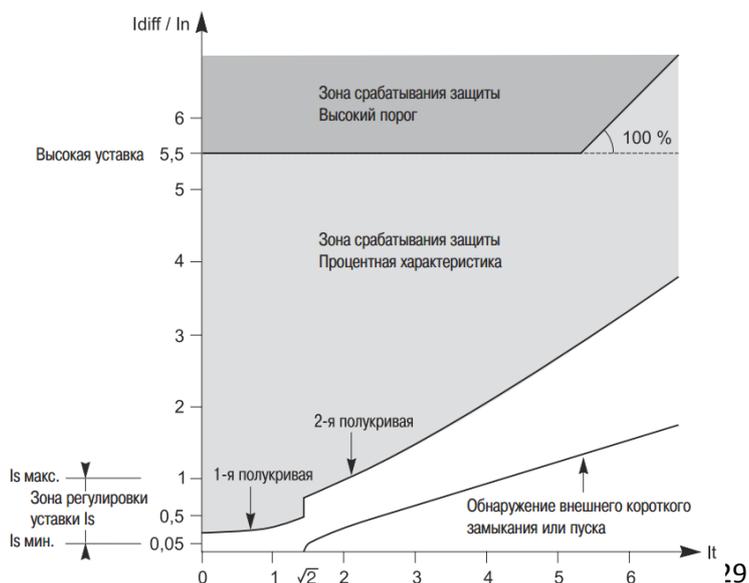


Рис. 5. Схема подключения Seram-80 G87 к трансформаторам тока.

Дифференциальная отсечка имеет высокий порог срабатывания ($5.5I_{ном}$) и является эффективной при повреждениях обмотки статора с большим уровнем токов короткого замыкания. Особенностью этой грубой ступени токовой продольной дифференциальной защиты является ее линейная характеристика срабатывания при тормозном сигнале кратностью более 5.5 $I_{ном}$.

Рис. 6. Характеристика срабатывания продольной дифференциальной защиты ANSI 87M



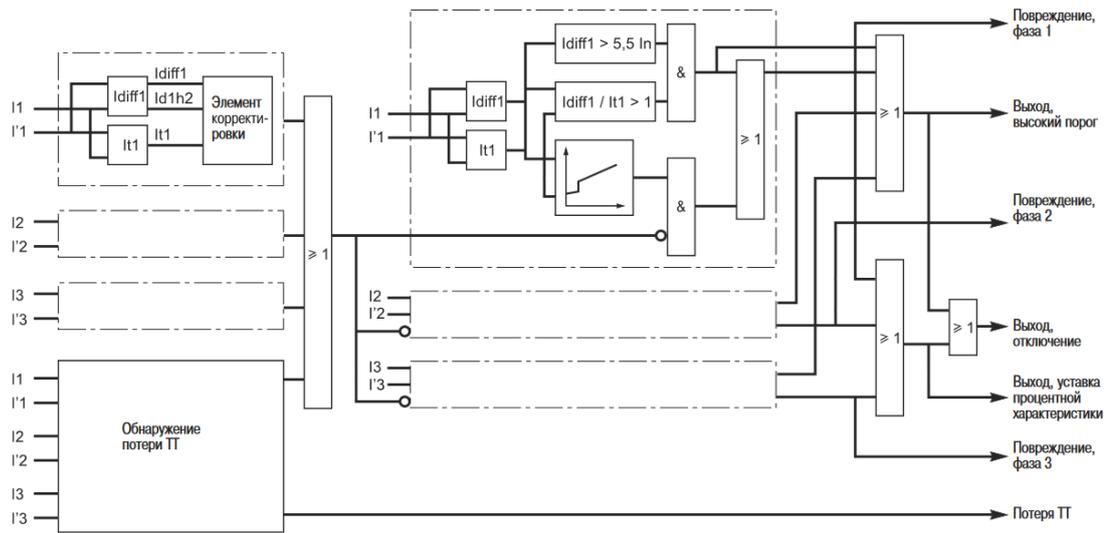


Рис. 7. Блок-схема функционального алгоритма дифференциальной защиты. I_{diff} – дифференциальный токовый сигнал, формирующийся из векторной суммы токов плеч защиты. I_t – сквозной ток генератора, I_n – номинальный ток генератора.

Чувствительная степень продольной дифференциальной защиты с торможением ANSI 87M имеет нелинейную, параболическую характеристику срабатывания, состоящую из двух участков:

$$I_{diff}^2 > I_{C3.min}^2 + \frac{I_{торм}^2}{32} \text{ при } I_{торм} \in [0, \sqrt{2} \cdot I_{ном}]$$

$$\frac{I_{diff}^2}{8} > (0,005 \cdot I_{ном})^2 + \frac{I_{торм}^2}{32} \text{ при } I_{торм} \in [\sqrt{2} \cdot I_{ном}, \infty]$$

Для исключения ложного срабатывания защиты при обрывах токовых цепей процедура «обнаружения потери измерительного трансформатора тока» блокирует функциональный алгоритм защиты ANSI 87M. Контроль целостности вторичных токовых цепей основан на принципе «постоянства измерений». Кроме этого, функциональный алгоритм содержит процедуру выявления насыщенного состояния измерительного трансформаторов тока с использованием следующего критерия:

$$\frac{I_{diff}^2}{2} > -(0,25 \cdot I_{ном})^2 + \frac{I_{торм}^2}{32}$$

По факту выявления насыщенного состояния (при соблюдении неравенства) трансформаторов тока, к которым подключается продольная дифференциальная защита, также вводится ее блокировка.

2.6.1.2. Расчет параметров срабатывания и проверка чувствительности продольной дифференциальной защиты ANSI 87M

Минимальный ток срабатывания чувствительной ступени продольной токовой дифференциальной защиты генератора:

$$I_{C3.min} = k_{от} \cdot k_{одн} \cdot \varepsilon \cdot I_{раб.маx} = 1,2 \cdot 1 \cdot 0,1 \cdot 755,7 = 90,7 \text{ А}$$

$$I_{C3.min*} = \frac{I_{C3.min}}{I_{ном}} = \frac{90,7}{687} = 0,132$$

Где $k_{от}$ - коэффициент отстройки, принимаем равным 1,2;

$k_{одн}$ - коэффициент, учитывающий однотипность характеристик и равномерность распределения нагрузки трансформаторов тока плеч дифференциальной защиты. Трансформаторы тока имеют одинаковые характеристики, но нагрузка их вторичных цепей различается за счет разной длины подключенных кабельных линий. Принимаем $k_{одн} = 1$;

ε - приведенная погрешность трансформаторов тока. Для класса точности 10P равна 0,1.

$I_{раб.маx}$ - максимальный рабочий ток. Согласно паспортным данным, генератор ТК-6-2 может работать с 10%-ной перегрузкой в течение 1 часа, а газотурбинный двигатель на 10% ресурса, при условии отсутствия других технологических ограничений, может развивать на валу до 8 МВт. Принимаем $I_{раб.маx} = 1,1 \cdot I_{ном} = 1,1 \cdot 687 = 755,7 \text{ А}$

Расчетные условия срабатывания дифференциальной защиты с торможением отвечают режиму внутреннего короткого замыкания вблизи выводов генератора:

$$I_{дифф} = k_{одн} \cdot k_{ан} \cdot (I_{КЗмаxG}^{(3)} + I_{КЗмаxC}^{(3)}) = 1 \cdot 1,5 \cdot (4,245 + 8,002) = 18,371 \text{ кА}$$

где $k_{ан} = 1,5$ - коэффициент, учитывающий апериодическую составляющую тока короткого замыкания.

$$I_{торм} = k_{одн} \cdot k_{ан} \cdot \varepsilon \cdot \frac{|I_{K3\max G}^{(3)} - I_{K3\max C}^{(3)}|}{2} = 1 \cdot 1,5 \cdot 0,1 \cdot \frac{|4,245 - 8,002|}{2} = 282 \text{ А}$$

Относительные значения дифференциального и тормозного токов защиты:

$$I_{дифф*} = \frac{I_{дифф}}{I_{ном}} = \frac{18371}{687} = 26,74 \text{ о.е.} \quad I_{торм*} = \frac{I_{торм}}{I_{ном}} = \frac{282}{687} = 0,41 \text{ о.е.}$$

Действующее значение периодической составляющей минимального тока двухфазного короткого замыкания генератора:

$$I_{K3\min G}^{(2)} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot \frac{E_d''}{X_d''} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot \frac{3341}{0,787} = 3,676 \text{ А}$$

Оценка чувствительности дифференциальной защиты с торможением

$$k_{\chi} = \frac{I_{K3\min G}^{(2)}}{I_{C3.\min}} = \frac{3,676}{90,7} = 40,5$$

Выполним проверку условий достаточности уровня тормозного сигнала при аварийных режимах работы.

Согласно рабочей характеристике торможение дифференциальной защиты синхронного генератора производится в асинхронном режиме или при внешнем коротком замыкании:

$$I_{дифф*} = \begin{cases} \frac{k_{одн} \cdot \varepsilon \cdot I_{ур.ас.реж.мах}}{I_{ном}} = \frac{1 \cdot 0,1 \cdot 5596,4}{687} = 0,815 \\ \frac{k_{одн} \cdot k_{ан} \cdot \varepsilon \cdot I_{K3\max G}^{(3)}}{I_{ном}} = \frac{1 \cdot 1,5 \cdot 0,1 \cdot 4245}{687} = 0,927 \end{cases}$$

$$I_{торм*} = \begin{cases} \frac{k_{одн} \cdot I_{ур.ас.реж.мах}}{I_{ном}} = \frac{1 \cdot 5596,4}{687} = 8,15 \\ \frac{k_{одн} \cdot k_{ан} \cdot I_{K3\max G}^{(3)}}{I_{ном}} = \frac{1 \cdot 1,5 \cdot 4245}{687} = 9,27 \end{cases}$$

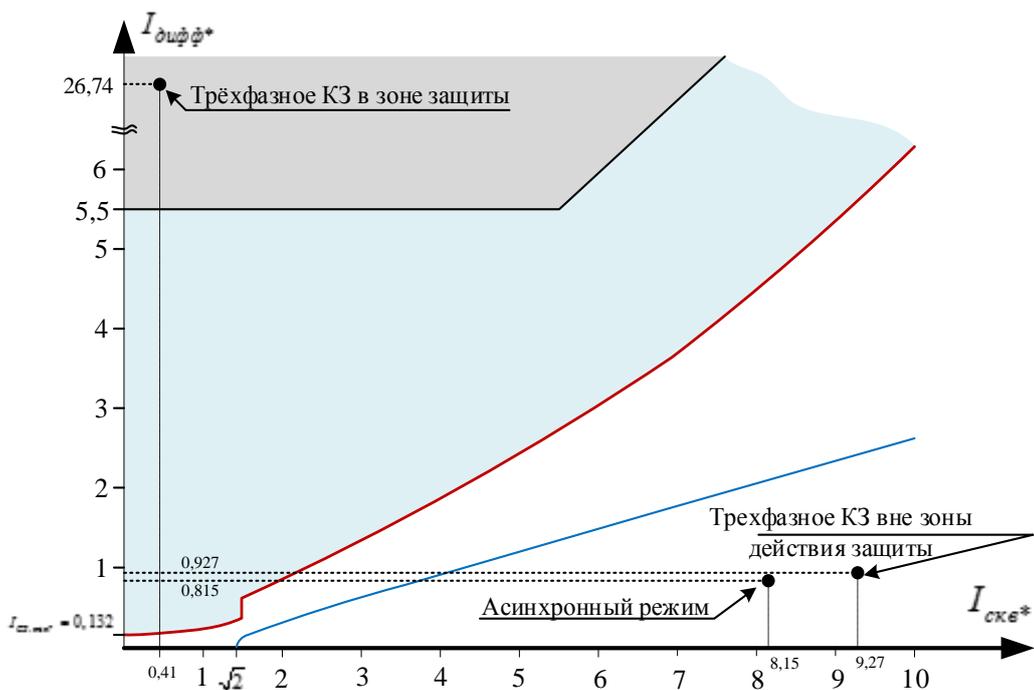


Рис. 8. Характеристика срабатывания продольной дифференциальной защиты синхронного генератора ANSI 87 М ГТЭС «Двуреченская».

2.6.2. Защита от однофазных замыканий на землю в обмотке статора(код ANSI 50N/51N)

2.6.2.1. Обоснование применения и характеристики защиты

В соответствии в ПУЭ:

Для защиты генераторов выше 1 кВ от однофазных замыканий на землю в обмотке статора при естественном емкостном токе замыкания на землю 5 А и более (независимо от наличия или отсутствия компенсации) должна быть предусмотрена токовая защита, реагирующая на полный ток замыкания на землю или на его составляющие высших гармоник. При необходимости для ее включения могут быть установлены трансформаторы тока нулевой последовательности непосредственно у выводов генератора. Применение защиты рекомендуется и при емкостном токе замыкания на землю менее 5 А. Защита должна быть отстроена от переходных процессов и действовать, как в

[1, п.3.2.36.]. Когда защита от замыканий на землю не устанавливается (так как при емкостном токе замыкания на землю менее 5 А она нечувствительна) или не действует (например, при компенсации емкостного тока в сети генераторного напряжения), в качестве защиты генератора от замыканий на землю может использоваться установленное на шинах и действующее на сигнал устройство контроля изоляции.

Защита выполняется на основе измерения тока нулевой последовательности на стороне выводов генератора к нагрузке и подключают к трансформатору тока нулевой последовательности. Расчетный ток срабатывания защиты отстраивается от тока внешнего однофазного замыкания, который принимается равным емкостному току своего присоединения с учетом броска.

Защита имеет:

- независимую или зависимую выдержку времени;
- 8 ступеней защиты по две группы уставок;
- регулируемый таймер удержания с несколькими зависимыми (различной степени обратной зависимости вплоть до возможности задания персонализированной кривой) или независимой выдержкой времени, обеспечивающий обнаружение повторяющихся повреждений;
- регулирование каждой ступени защиты независимо по двум измерительным каналам I_0 или I'_0 , либо по сумме фазных токов в основных или дополнительных каналах

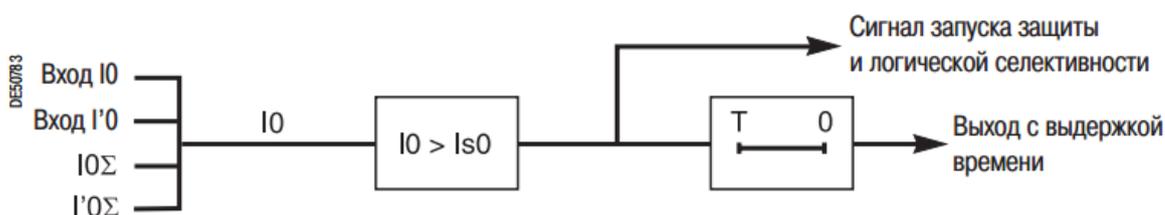


Рис. 9. Алгоритм работы защиты ANSI 50N/51N.

2.6.2.2. Расчет параметров срабатывания и проверка чувствительности защиты от однофазных замыканий на землю в обмотке статора ANSI 50N/51N

Ёмкостной ток генератора в установившемся режиме однофазного замыкания:

$$I_{CT} = \sqrt{3} \cdot U_{ном} \cdot \omega \cdot C = 1,732 \cdot 6300 \cdot 314 \cdot 0,2017 \cdot 10^{-6} = 0,691 \text{ A}$$

где

$U_{ном} = 6,3 \text{ кВ}$ – номинальное междуфазное напряжение генератора;

$\omega = 314 \text{ рад/с}$ - круговая промышленная частота сети;

$C = 0,2017 \text{ мкФ}$ – ёмкость трех фаз обмотки статора на землю.

Ток срабатывания защиты от замыканий на землю обмотки статора должен удовлетворять следующим условиям:

- а) быть не выше 5 А;
- б) быть больше тока небаланса, проходящего через трансформатор нулевой последовательности при внешнем двухфазном коротком замыкании.

Ток срабатывания защиты с учётом вышеприведенных условий:

$$I_{C3} = \frac{k'_{отс} \cdot I_{CT} + k''_{отс} \cdot I_{НБ}}{k_{в}} = \frac{2 \cdot 0,691 + 1,5 \cdot 1}{0,935} = 3,08 \text{ A}$$

Где $I_{НБ}$ – ток небаланса, приведенный к первичной стороне трансформатора нулевой последовательности. Согласно рекомендаций, упрощенно допускается принять равным 1 А.

$k'_{отс}$ - коэффициент отстройки от перемежающегося внешнего замыкания на землю. Принимается равным 2 при работе защиты с выдержкой времени более 1 с;

$k''_{отс} = 1,5$ – коэффициент отстройки по току небаланса

$k_{в} = 0,935$ – коэффициент возврата [3, стр.122]

Для обеспечения отстройки защиты от переходных процессов при внешних замыканиях на землю принимаем независимую выдержку времени $t_{сз}=1,5$ с.

В соответствии с требованиями ПУЭ для предотвращения повреждения статора, ток срабатывания защиты не превышает 5 А.

Чувствительность защиты от однофазных замыканий определяют при замыкании на выводах генератора.

$$k_{\text{ч}} = \frac{I_{0\Sigma}}{I_{\text{сз}}}$$

Для этого необходимо определить установившийся ёмкостный ток замыкания на землю сети генераторного напряжения. Величина этого тока зависит от количества работающих в сеть генераторов (кроме расчетного) и включенных в работу асинхронных электродвигателей газодожимных компрессоров, а также длин кабельных линий сети генераторного напряжения. Для расчёта чувствительности принимаем минимальный режим подпитки точки однофазного короткого замыкания, когда в работе находится только расчетный генератор, его блочный газодожимной компрессор, под напряжением находятся все кабельные линии до генераторных выключателей и вакуумных контакторов компрессоров.

Ёмкостная подпитка кабельных линий генератор – КРУ-6:

$$l = 30 \text{ м, } 2\text{x(ВВГнг-6 3x185)} I_{\text{C(185)}} = 1,25 \text{ А/км}$$

$$I_{\text{C(Ген-КРУ)}} = 2 \cdot I_{\text{C(185)}} \cdot l = 2 \cdot 1,25 \cdot 0,03 = 0,075 \text{ А}$$

Ёмкостная подпитка кабельных линий КРУ-6 – КРУН-6:

$$l = 30 \text{ м, } 2\text{x(ЦСБл-6 3x240)} I_{\text{C(240)}} = 1,45 \text{ А/км}$$

$$I_{\text{C(КРУ-КРУН)}} = 2 \cdot I_{\text{C(240)}} \cdot l = 2 \cdot 1,45 \cdot 0,03 = 0,087 \text{ А}$$

Ёмкостная подпитка кабельных линий КРУН-6 – ДТ-10 ГДК:

$$l = 230 \text{ м, ПвВнг-LS(B) 3x35} I_{\text{C(35)}} = 0,58 \text{ А/км}$$

$$I_{\text{C(КРУН-ДТ-10)}} = I_{\text{C(35)}} \cdot l = 0,58 \cdot 0,23 = 0,133 \text{ А}$$

Ёмкостная подпитка от асинхронного двигателя работающего ГДК по эмпирической формуле: $P_{AD} = 0,28$ МВт; $\cos \varphi = 0,92$; $\eta = 0,95$

$$I_{C(AD)} = 0,0172 \cdot \frac{P_{AD}}{\eta \cdot \cos \varphi} = 0,0172 \cdot \frac{0,280}{0,95 \cdot 0,92} = 0,006 \text{ А}$$

Исходя из вышеприведенных расчётов и конфигурации сети генераторного напряжения в минимальном режиме, ёмкостный ток подпитки точки однофазного замыкания на землю составит:

$$\begin{aligned} I_{0\Sigma} &= I_{C(Ген-КРУ)} + 4 \cdot (I_{C(КРУ-КРУН)} + I_{C(КРУН-ДТ-10)}) + I_{C(AD)} = \\ &= 0,075 + 4 \cdot (0,087 + 0,133) + 0,006 = 0,961 \text{ А} \end{aligned}$$

Коэффициент чувствительности защиты от однофазных замыканий в минимальном режиме работы ГТЭС:

$$k_q = \frac{I_{0\Sigma}}{I_{C3}} = \frac{0,961}{3,08} = 0,312$$

Как видим, коэффициент чувствительности защиты существенно меньше 2, поэтому защиту от однофазных замыканий на землю необходимо выполнить направленной. Для принятия решения о необходимости включения в работу данной защиты, выполним расчет коэффициента чувствительности в нормальном режиме работы ГТЭС, когда в работе находятся три генератора и их блочных ГДК (один в резерве – фактически в настоящее время и ближайшей перспективе работа всех генераторов ГТЭС не просматривается ввиду нехватки топливного газа, а блочный ГДК резервного ГТА может находиться в работе).

Ёмкостный ток подпитки точки однофазного замыкания на землю в нормальном режиме:

$$\begin{aligned} I_{0\Sigma} &= 2 \cdot I_{CG} + 4 \cdot (I_{C(Ген-КРУ)} + I_{C(КРУ-КРУН)} + I_{C(КРУН-ДТ-10)} + I_{C(AD)}) = \\ &= 2 \cdot 0,691 + 4 \cdot (0,075 + 0,087 + 0,133 + 0,006) = 2,586 \text{ А} \end{aligned}$$

Коэффициент чувствительности защиты от однофазных замыканий в нормальном режиме работы ГТЭС:

$$k_{\text{ч}} = \frac{I_{0\Sigma}}{I_{\text{сз}}} = \frac{2,586}{3,08} = 0,84$$

Даже в нормальном режиме защита не обладает необходимой чувствительностью, поэтому в качестве защиты от однофазных замыканий на землю используем максимальную направленную токовую защиту от замыканий на землю ANSI 67N, а использование защиты на отключение ANSI50N/51N считаем нецелесообразным, защита вводится с действием на сигнал на первой ступени.

2.6.3. Максимальная направленная токовая защита от замыканий на землю ANSI 67N

Данная защита определяет проекцию тока нулевой последовательности I_0 на характеристическую прямую, положение которой устанавливается регулировкой характеристического угла θ_0 по отношению к напряжению нулевой последовательности. Эта проекция сравнивается с уставкой тока I_{s0} . При значениях напряжения нулевой последовательности ниже заданной уставки защита блокируется. Защита имеет две ступени с независимыми выдержками времени. Направление срабатывания может устанавливаться как со стороны сборных шин, так и со стороны генератора.

Обнаружение повторяющихся замыканий контролируется выдержкой времени $T_{0\text{mem}}$, которая продлевает действие переходной информации о превышении уставки и обеспечивает, таким образом, срабатывание независимой выдержки времени, даже в случае быстро исчезающих (≈ 2 мс) и периодически повторяющихся замыканий. Срабатывание защиты в этом случае обеспечивается благодаря обнаружению повреждения во время переходного процесса, и это обнаружение сохраняется в течение всего периода действия повреждения на основании критерия $V_0 \geq V_{0\text{mem}}$ и с ограничением $T_{0\text{mem}}$. Для этого типа применения $T_{0\text{mem}}$ должно быть больше T (независимая выдержка времени).

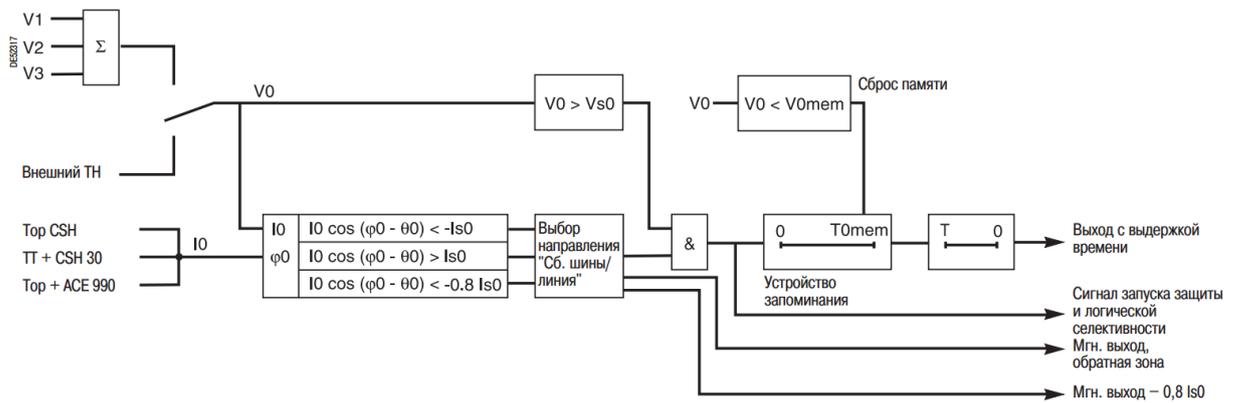


Рис. 10. Алгоритм работы защиты ANSI 67N.

Для генератора с изолированной нейтралью стандартные регулировки защиты предусматривают следующие значения по умолчанию:

- $\theta_0 = 90^0$;
- направление – к генератору;
- $V_s = 0,02 U_{ns}$;
- сектор – не задается;
- время и напряжение запоминания – 0

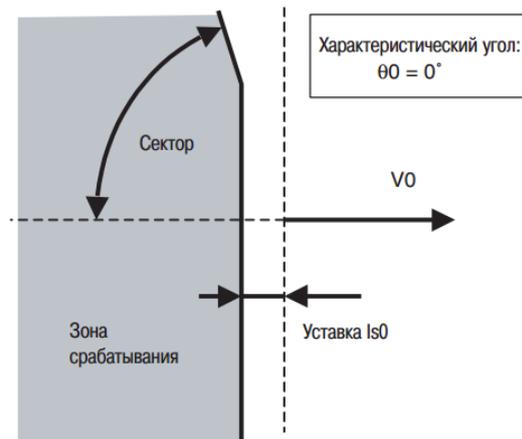


Рис. 11. Характеристика отключения защиты, тип 1.

Уставку срабатывания защиты по току определим из условия отстройки от тока небаланса при внешнем КЗ между двумя фазами по формуле:

$$I_{CЗ} = \frac{k_{отс}'' \cdot I_{НБ}}{k_{\epsilon}} = \frac{1,5 \cdot 1}{0,935} = 1,6 \text{ А}$$

Где $I_{НБ}$ – установившийся ток небаланса, обусловленный погрешностью трансформатора тока нулевой последовательности в режиме внешнего двухфазного КЗ. Согласно рекомендаций, упрощенно допускается принять равным 1 А.

$k''_{отс}=1,5$ – коэффициент отстройки по току небаланса

$k_{в} = 0,935$ – коэффициент возврата [3, стр.122]

Уставку срабатывания защиты на отключение генератора по времени принимаем $t_{сз} = 2,0$ с.

2.6.4. Защита двойных замыканий на землю, одно из которых возникло в обмотке статора, а второе - во внешней сети

В соответствии в ПУЭ:

При установке на генераторах трансформатора тока нулевой последовательности для защиты от однофазных замыканий на землю должна быть предусмотрена токовая защита от двойных замыканий на землю, присоединяемая к этому трансформатору тока.

Для повышения надежности действия при больших значениях тока следует применять реле с насыщающимся трансформатором тока. Эта защита должна быть выполнена без выдержки времени и действовать как защита, указанная в [1, [3.2.36.](#)].

Защита от двойных замыканий на землю, одно из которых возникло в обмотке статора, а второе - во внешней сети применяется на генераторах при установленных трансформаторов тока нулевой последовательности и имеет большую чувствительность к двойным замыканиям на землю, чем дифференциальная защита генератора. Защита от двойных замыканий на землю работает без выдержки времени и действует на отключение генератора и останов турбины.

Защита реализуется на второй ступени ANSI 50N/51N.

Рекомендуется выбирать уставку срабатывания этой защиты равную от 50 до 100 А. Принимаем $I_{Дв.ЗЗ.СЗ} = 50$ А без выдержки времени.

2.6.5. Защита генератора от внешних КЗ

2.6.5.1. Обоснование применения и характеристики защиты

В соответствии в ПУЭ:

Для защиты генераторов мощностью более 1 МВт до 30 МВт от внешних КЗ следует применять максимальную токовую защиту с комбинированным пуском напряжения, выполненным с одним минимальным реле напряжения, включенным на междуфазное напряжение, и одним устройством фильтр-реле напряжения обратной последовательности, разрывающим цепь минимального реле напряжения.

Ток срабатывания защиты и напряжение срабатывания минимального органа напряжения следует принимать равными указанным в [1, [3.2.42.](#)] ($1,3-1,5 I_{НОМ}$, $0,5- 0,6 U_{НОМ}$), напряжение срабатывания устройства фильтр-реле напряжения обратной последовательности - $0,1- 0,12 U_{НОМ}$.

Защита генераторов мощностью более 1 МВт от токов, обусловленных внешними КЗ, должна быть выполнена с соблюдением следующих требований:

1. Защиту следует присоединять к трансформаторам тока, установленным на выводах генератора со стороны нейтрали.

2. При наличии секционирования шин генераторного напряжения защиту следует выполнять с двумя выдержками времени: с меньшей выдержкой - на отключение соответствующих секционных и шиносоединительного выключателей, с большей - на отключение выключателя генератора и гашение поля.

Для защиты генератора от внешних симметричных и несимметричных КЗ используем функцию максимальной токовой защиты с пуском по

напряжению. Для реализации этой защиты используем первую ступень функции максимальной токовой защиты в фазах ANSI 50/51.

Защита является трехфазной и может иметь как зависимую (несколько типов крутизны кривых, включая возможность построения собственной кривой), так и независимую выдержку времени. Данной функцией реализовано 8 ступеней защиты. Первая ступень защиты может иметь подтверждение по минимальному напряжению прямой последовательности, по максимальному напряжению обратной последовательности.

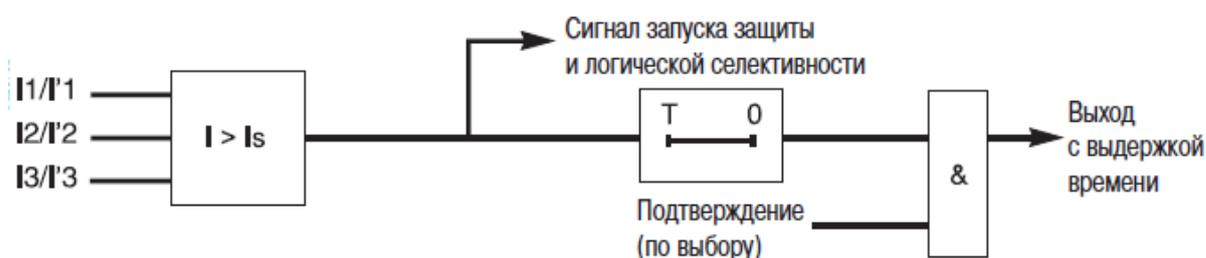


Рис. 12. Алгоритм работы защиты ANSI 50/51.

Согласно ПУЭ, источником сигналов для данной защиты являются трансформаторы тока, установленные со стороны нейтрали генератора, т.е. I'1, I'2, I'3. Защита действует на отключение генератора от сети.

2.6.5.2. Расчет защиты генератора от внешних КЗ

Согласно ПУЭ, ток срабатывания защиты принимается в диапазоне от 1,3 до 1,5 $I_{ном}$.

$$I_{C3} = 1,5 \cdot I_{ном} = 1,5 \cdot 687 = 1031 \text{ А};$$

Коэффициент чувствительности защиты при металлическом двухфазном КЗ в конце зоны резервирования (т.е. за повышающим трансформатором):

$$I_{K3 \min T-G}^{(2)} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot \frac{E_d''}{X_d'' + X_m} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot \frac{3341}{0,787 + 0,318} = 2,618 \text{ кА}$$

$$k_u = \frac{I_{K3 \min T-G}^{(2)}}{I_{C3 \min}} = \frac{2618}{1031} = 2,54 > 1,5$$

Чувствительность защиты по току достаточная

Согласно ПУЭ, срабатывание защиты обеспечиваем комбинированным пуском по напряжениям:

- минимального напряжения прямой последовательности с уставкой от 0,5 до 0,6 $U_{ном}$;

- максимального напряжения обратной последовательности с уставкой от 0,1 до 0,12 $U_{ном}$

$$U_{пуск.пр} = 0,5 \cdot U_{ном} = 0,5 \cdot 6300 = 3150 \text{ В};$$

$$U_{пуск.обр} = 0,1 \cdot U_{ном} = 0,1 \cdot 6300 = 630 \text{ В}$$

Коэффициент чувствительности защиты по уставке минимального напряжения прямой последовательности:

$$k_{Uпр} = \frac{U_{пуск.пр}}{U_{КЗ.маx}}$$

Где $U_{КЗ.маx}$ - значение междуфазного напряжения в месте установки защиты при металлическом трехфазном КЗ между фазами в конце зоны резервирования (за повышающим трансформатором):

$$U_{КЗ.маx} = \sqrt{3} \cdot (E_d'' - I_{КЗмаx T-G}^{(3)} \cdot X_d'') = 1,732 \cdot (3341 - 3023 \cdot 0,787) = 1670 \text{ В}$$

$$k_{Uпр} = \frac{U_{пуск.пр}}{U_{КЗ.маx}} = \frac{3150}{1670} = 1,89 > 1,5$$

Коэффициент чувствительности защиты по уставке максимального напряжения обратной последовательности:

$$k_{Uобр} = \frac{U_{(2)КЗ.мин}}{U_{пуск.обр}}$$

Где $U_{(2)КЗ.мин}$ - значение междуфазного напряжения в месте установки защиты при металлическом двухфазном КЗ между фазами в конце зоны резервирования (за повышающим трансформатором):

$$U_{(2)КЗ.маx} = \sqrt{3} \cdot (E_d'' - I_{КЗмин T-G}^{(2)} \cdot X_d'') = 1,732 \cdot (3341 - 2618 \cdot 0,787) = 2218 \text{ В}$$

$$k_{Uобр} = \frac{U_{(2)КЗ.мин}}{U_{пуск.обр}} = \frac{2218}{630} = 3,52 > 1,5$$

Предполагая, что уставка по времени МТЗ повышающего трансформатора не будет больше 3 с, то, с учетом селективности, принимаем время срабатывания защиты 3,5 с.

2.6.6. Защита от симметричной перегрузки обмотки статора

В соответствии в ПУЭ:

Защита генератора от токов, обусловленных симметричной перегрузкой, должна быть выполнена в виде максимальной токовой защиты, действующей на сигнал с выдержкой времени и использующей ток одной фазы статора.

Защиту реализуем четвертой ступенью функции защиты ANSI 50/51. Согласно рекомендаций, используем чрезвычайно обратозависимую выдержку времени ЕПТ с $t_{cp} = 10$ с.

Ток срабатывания защиты:

$$I_{сз} = \frac{k_{отс} \cdot I_{ном}}{k_{в}} = \frac{1,05 \cdot 687}{0,935} = 771 \text{ А}$$

Где $k_{отс} = 1,05$ – коэффициент отстройки;

$k_{в} = 0,935$ – коэффициент возврата

2.7. Дополнительные защиты статора генератора

В разделе 2.6. был произведен расчет тех защит, которые обязательны в соответствии с ПУЭ, но терминал РЗА «Seram-80» обладает существенно более широкими защитными функциями. Поэтому было бы целесообразно использовать эти возможности для повышения защищенности исследуемого генератора.

2.7.1. Защита минимального сопротивления

Данная защита генератора от межфазных коротких замыканий является резервной и реализуется функцией 21В. Данная функция имеет круговую характеристику отключения с учетом полного сопротивления (R, X), с независимой выдержкой времени (постоянная DT).

Данная защита запускается, когда одно из значений межфазного полного сопротивления находится в зоне отключения.

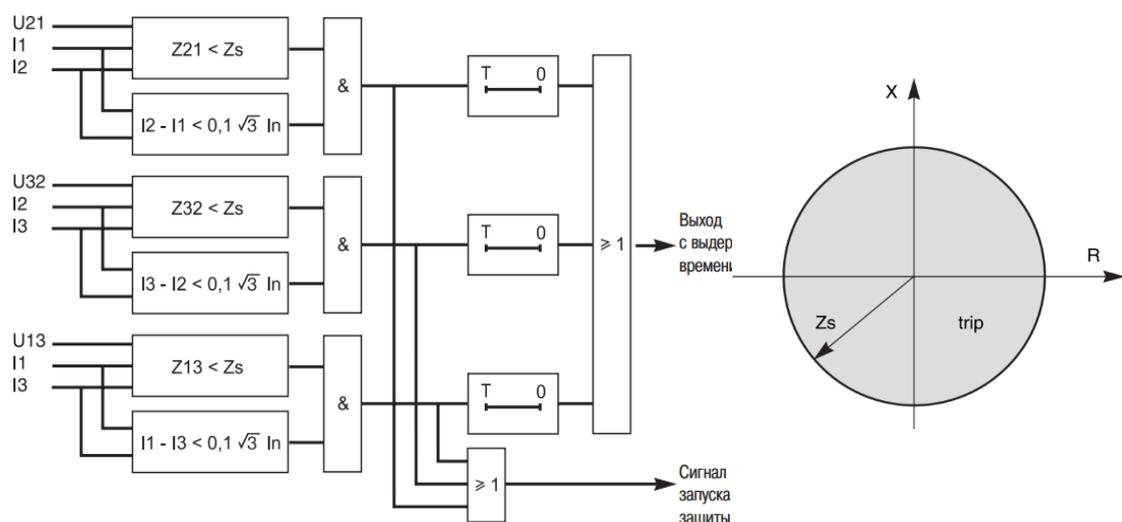


Рис. 13. Алгоритм работы и зона срабатывания защиты ANSI 21В.

Контроллер защиты производит вычисления сопротивления по векторным значениям фазных сигналов тока и напряжения:

$$\vec{Z}_{21} = \frac{\vec{U}_{21}}{\vec{I}_1 - \vec{I}_2}; \vec{Z}_{32} = \frac{\vec{U}_{32}}{\vec{I}_2 - \vec{I}_3}; \vec{Z}_{13} = \frac{\vec{U}_{13}}{\vec{I}_3 - \vec{I}_1} \text{ и сравнивает его с уставкой.}$$

Вычисляем номинальное полное сопротивление генератора в номинальном режиме работы:

$$Z_{ном} = \frac{U_{ном}}{\sqrt{3} \cdot I_{ном}} = \frac{6300}{1,732 \cdot 687} = 5,29 \text{ Ом}$$

Обычно характеристика срабатывания устанавливается на уровне 30% номинального полного сопротивления генератора:

$$Z_{ср} = 0,3 \cdot Z_{ном} = 0,3 \cdot 5,29 = 1,59 \text{ Ом}$$

Т.к. это единственная защита, функцией срабатывания которой является полное сопротивление, а смежный элемент (трансформатор) не имеет подобных защит, поэтому по времени срабатывания отстраиваемся от времени действия основной дифференциальной защиты. Принимаем уставку срабатывания равной ступени селективности, т.е. $t_{cp} = 0,5$ с

2.7.2. Максимальная направленная защита максимальной мощности

Двунаправленная защита, реализованная функцией 32P, основана на расчёте значения активной мощности, адаптированная для следующих видов применения:

- максимальная защита по активной мощности для обнаружения случая перегрузки и обеспечения разгрузки;
- защита от возврата активной мощности для обеспечения защиты генератора от работы в качестве двигателя при потреблении генератором активной мощности.

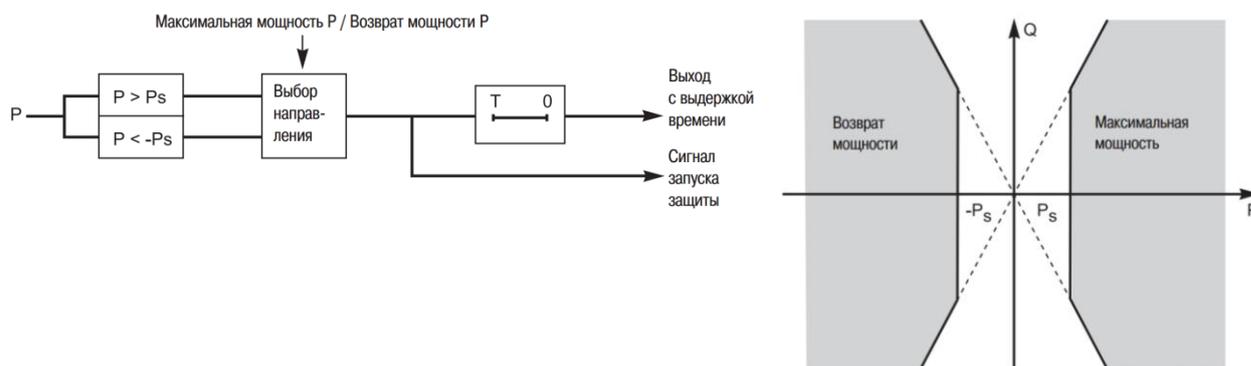


Рис. 14. Алгоритм работы и зона срабатывания защиты ANSI 32P.

В нашем случае выставляем регулировку функции на возврат мощности чтобы защита обеспечила отключение нагрузки генератора в случае потребления активной мощности генератором. Такой режим возможен, если произойдет сбой в аппарате регулирования током возбуждения и мощностью турбины. В этом случае защита срабатывает, если вырабатываемая активная

мощность превышает пороговый уровень P_s . Принимаем уставку по полной мощности генератора равной $5\% S_{ном}$ генератора.

$$P_s = 0,05 \cdot S_{ном} = 0,05 \cdot 7500 = 375 \text{ кВт}$$

Т.к. защита является второстепенной, принимаем независимую постоянную выдержку времени с отстройкой от времени действия токовых защит основного комплектат_{ср} = 3 с.

2.7.3. Защита от асинхронного хода при потере возбуждения

Система управления возбуждением «КОСУР-220» имеет два независимых канала подачи тока возбуждения на ротор. Однако возможны случаи, когда станция управления полностью потеряет питание (например, отключение автоматического выключателя питания). В этом случае в технологической системе управления генератором заложена функция отключения генератора от сети. Включение в работу этой защиты обеспечит дополнительную надежность отключения генераторного выключателя при потере возбуждения.

Защита имеет две круговые характеристики отключения по полному сопротивлению (R, X). Функция защиты 40 срабатывает, когда полное сопротивление прямой последовательности Z_d входит в зону одной из двух круговых характеристик отключения.

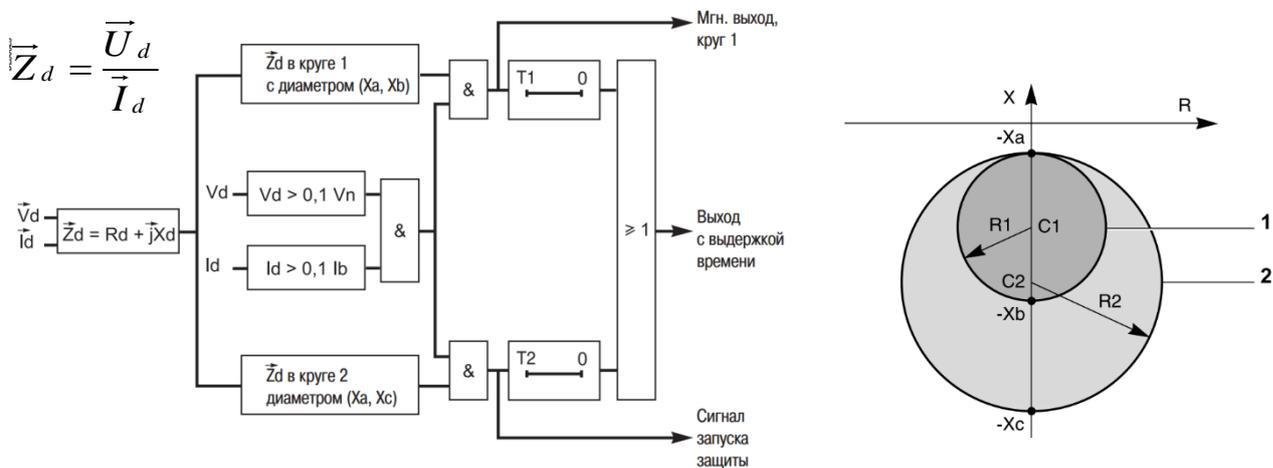


Рис. 15. Алгоритм работы и зоны срабатывания защиты ANSI 40.

Рассчитаем круговые характеристики отключения. Для генератора, работающего на отходящую линию (в нашем случае на блочный трансформатор).

Круговые характеристики отключения:

	Круг 1	Круг 2
центр	$C1 = -(X_a + X_b)/2$	$C2 = -(X_a + X_c)/2$
радиус	$R1 = (X_b - X_a)/2$	$R2 = (X_c - X_a)/2$

Рассчитаем центры и радиусы круговых характеристик отключения.

В терминал вводятся значения X_a , X_b , X_c . Рассчитаем их.

Параметры генератора, необходимые для расчета:

$$Z_{ном} = 5,29 \text{ Ом}; X_d = 2,001 \text{ о.е или } X_d = 200 \text{ \%};$$

$$X'_d = 0,2428 \text{ о.е или } X'_d = 24,3 \text{ \%};$$

$$X_a = \frac{X'_d(\%)}{200} Z_{ном} = \frac{24,3}{200} \cdot 5,29 = 0,64 \text{ Ом};$$

$$X_b = \left(\frac{X'_d(\%)}{200} + 1\right) \cdot Z_{ном} = \left(\frac{24,3}{200} + 1\right) \cdot 5,29 = 6,58 \text{ Ом};$$

$$X_c = \left(\frac{X'_d(\%)}{200} + \frac{X_d(\%)}{100}\right) \cdot Z_{ном} = \left(\frac{24,3}{200} + \frac{200}{100}\right) \cdot 5,29 = 11,22 \text{ Ом};$$

Повреждения, обнаруженные в круге 1, характеризуют значительную потерю возбуждения и должны быть быстро устранены. В круге 2 определяются иные, чем потеря возбуждения, повреждения и в этом случае применяется более длительная выдержка времени на отключение. Принимаем $t_{cp1} = 70 \text{ мс}$, $t_{cp2} = 500 \text{ мс}$.

2.8. Защиты и автоматика системы возбуждения генератора

Как ранее было указано, возбуждение генератора осуществляется от бесщеточной системы, включающей станцию управления возбуждением КОСУР-220 и синхронный возбудитель с диодным вращающимся выпрямителем.

Согласно ПУЭ, для исследуемого генератора должна быть предусмотрена защита от замыкания на землю во второй точке цепи возбуждения.

2.8.1. Описание станции управления возбуждением КОСУР-220

КОСУР-220—цифровая система управления бесщеточным возбудителем синхронных генераторов, двухканальная, с регулятором АРВ и независимым регулятором тока возбуждения в каждом канале, с двумя силовыми тиристорными преобразователями, с блоком токового канала на напряжение $=220\text{В}$, номинальный ток 5А , номинальное напряжение 50В , кратность форсировки 2, климатическое исполнение УХЛ, категория размещения 4.

В цифровой системе управления возбуждением синхронного генератора выделены следующие функции:

- автоматический регулятор возбуждения (АРВ);
- система управления возбуждением (СУВ);
- комплекс защит системы возбуждения (КЗВ).

Все эти функциональные блоки реализованы программно на единой аппаратной базе – кассете регулирования, управления и защиты. Они имеют единое информационное поле и воспринимаются как отдельные устройства благодаря режиму работы микропроцессора разделения во времени.

2.8.2. Автоматический регулятор возбуждения АРВ

Регулятор возбуждения АРВ функционально входящий в каждый канал регулирования устройства системы возбуждения обеспечивает:

- цифровое измерение режимных параметров генератора и возбудителя;
- регулирование напряжения статора генератора U_r по ПИД закону с поддержанием напряжения на шинах электростанции в соответствии с

заданными значениями и статизмом при изменении реактивной мощности генератора;

- регулирование Q_G или $\cos\varphi$ генератора;
- регулирование тока возбуждения ;
- ограничение перегрузок тока возбуждения по величине и длительности;
- ограничение минимального возбуждения;
- введение жесткой обратной связи для повышения быстродействия бесщеточной системы возбуждения с инерционным возбудителем;
- форсировку возбуждения при понижении напряжения статора генератора более 90% его номинального значения.

Регулятор напряжения статора U_G является основным и режим работы с этим регулятором устанавливается автоматически по умолчанию. Переход на другие режимы регулирования осуществляется по оперативным командам или автоматически.

К функциям цифрового измерения режимных параметров генератора и возбудителя относятся:

- измерение напряжения U_G и тока I_G статора генератора;
- измерение полной S_G , реактивной Q_G и активной P_G мощностей генератора;
- измерение коэффициента мощности генератора $\cos\varphi$;
- измерение частоты напряжения статора генератора F_G ;
- измерение тока $I_{ВВ}$ возбуждения возбудителя;
- измерение напряжения сети $U_{сети}$ в точке синхронизации генератора;
- формирование сигнала тока ротора I_r .

2.8.3. Система управления возбуждением СУВ

Программный модуль системы управления возбуждением выполняет операции приёма и отработки команд оператора и защит, функции контроля, управления и мониторинга системы возбуждения, а именно:

- сбор информации о состоянии (включено, отключено) всей коммутационной аппаратуры системы возбуждения генератора;
- сбор информации о работе источников питания аппаратуры управления системой возбуждения;
- на основе собранной информации проводит анализ состояния аппаратуры управления, принимает решение о переводе на резервный канал регулирования, запрет форсировки и ограничение режима работы генератора.
- вся информация о работе системы возбуждения и генератора записывается в память компьютера с указанием последовательности событий.

2.8.4. Комплекс защит системы возбуждения КЗВ

Система возбуждения имеет следующий комплекс защит:

- защиту от потери возбуждения;
- защиту от коротких замыканий вращающегося возбудителя (от пробоя роторных диодов, междуфазных КЗ в якоре возбудителя);
- защиту от перегрузки ротора;
- защиту от превышения тока возбуждения – токовая отсечка;
- защиту от снижения частоты напряжения статора генератора;
- защиту от повышения напряжения статора генератора.

Программный модуль защит входит в каждый канал регулирования (КР), при этом в работе всегда находятся оба модуля, независимо от того, выполняет ли канал регулирования КР1 или КР2 функции регулятора возбуждения, либо находится в резерве. Поэтому при срабатывании защит в любом канале выдается сигнал на отключение возбуждения, что значительно повышает надежность работы системы возбуждения.

Настройка защит (ввод параметра, блокировка защиты, время выдержки) осуществляется с помощью пульта управления. С этого же пульта действие защит канала регулирования или отдельных из них может быть

заблокировано. Приведенные ниже уставки защит определены заводом изготовителем генератора.

В дневнике событий фиксируется факт срабатывания какой-либо защиты с указанием времени срабатывания.

Защита от повышения напряжения статора генератора реагирует на увеличение напряжения статора более 115% номинального значения в режиме холостого хода генератора. Время задержки срабатывания защиты $t_{cp} = 0,15$ с.

Защита от снижения частоты напряжения статора генератора реагирует на снижение частоты менее 45 Гц в режиме холостого хода генератора. Время задержки срабатывания защиты $t_{cp} = 0,5$ с.

Защита от превышения предельного тока возбуждения (отсечка тока) действует при увеличении тока возбуждения возбудителя более 260% номинального значения во всех режимах работы генератора. Время задержки срабатывания защиты $t_{cp} = 0,15$ с.

Защита от перегрузки тока возбуждения реализует допустимую время зависимую характеристику перегрузки тока ротора генератора. Изменения длительности срабатывания этой защиты вводятся автоматически с соответствующими номерами характеристик время зависимого ограничения тока возбуждения с пульта управления, которые отличаются при двукратном токе возбуждения ступенями – время срабатывания 55с, 45с, 35с и 25с соответственно. По умолчанию установлена характеристика №1 ограничения перегрузки возбуждения и защиты.

Защита от потери возбуждения построена на принципе контроля реактивной мощности генератора. При потере возбуждения реактивная мощность на выводах генератора имеет индуктивный характер и значение близкое к номинальной. Поэтому по изменению реактивной мощности можно судить о вхождении генератора в режим потери возбуждения. Для отстройки от ложных срабатываний введено дополнительное условие

$I_{\text{ВВ}} \leq 0,1 I_{\text{ВВн}}$, где $I_{\text{ВВ}}$ – ток возбуждения возбудителя, $I_{\text{ВВн}}$ – номинальный ток возбуждения возбудителя.

При выполнении указанных условий защита запускается и, если в течение времени отсчета таймера условие срабатывания не исчезает, производится выдача сигнала на отключение возбуждения и выключателя генератора.

В защите установлены следующие уставки срабатывания:

- реактивная мощность $Q = - 0,4 \text{о.е.}$;
- время срабатывания защиты $t_{\text{ср.}} = 2 \text{ с.}$

Защита от коротких замыканий возбудителя КЗ (пробой роторных диодов, междуфазные КЗ в якоре возбудителя) реагирует на возникновение пульсаций переменного тока с частотой 400 Гц и 800 Гц в цепи обмотки возбуждения возбудителя. Защита срабатывает при достижении амплитуды пульсаций переменной составляющей тока возбуждения возбудителя $\sim I_{\text{ВВ}} \geq 0,5 \text{о.е.}$ с частотой $F_{\text{В}} = 400 \dots 800 \text{ Гц.}$ Время задержки срабатывания защиты $t_{\text{ср}} = 0,15 \text{ с.}$

2.8.5. Блок защиты УЗКИ

Замыкание на землю обмотки возбуждения в одной точке практически не приводит к изменению параметров возбуждения, т.к. цепь не будет иметь замкнутого контура. Но развитие такого замыкания в условиях тяжелых механических нагрузок на ротор может привести к образованию второй точки замыкания. Этом случае обмотка ротора может получить повреждения.

В целях исключения образования замыкания обмотки ротора в двух точках и его повреждения, генератор оборудуется защитой цепей возбуждения генераторов от замыкания на землю в одной точке, которая состоит из блока УЗКИ.

Защита предназначена для применения на синхронных генераторах и компенсаторах с любой системой возбуждения, имеющей контактные кольца

и позволяет своевременно выявить уменьшение сопротивления изоляции цепей возбуждения и произвести их профилактический ремонт, что сократит время простоев электрических машин.

Защита имеет две ступени срабатывания по снижению сопротивления изоляции с диапазонами регулирования уставок: 2 ступень (на сигнал) $R_{из2} = 50$ кОм, 1 ступень (отключение возбуждения, выключателя генератора), $R_{из1} = 5$ кОм с временем срабатывания 1 с.

Возможность ручного периодического измерения сопротивления изоляции цепи возбуждения с помощью встроенного прибора в диапазоне, кОм 0,5-80.

2.10. Заключение по главе

В настоящей главе был произведен выбор и расчет релейных защит синхронного генератора ТК-6-2, работающего в составе газотурбинной установки ГТА-6РМ ГТЭС 4х6 МВт «Двуреченская».

В качестве комплекса релейной защиты статора генератора используем микропроцессорный терминал «Seram-80» как одно из наиболее современных, надежных, распространенных и удобных в эксплуатации устройств. Для определения уставок и проверки чувствительности токовых защит был выполнен расчет токов КЗ по известным токам КЗ максимального и минимального режимов внешней сети и ГТЭС. В процессе выполнения расчетов были определены уставки защит как основных, определенных по ПУЭ для данного класса генераторов, релейных защит, так и дополнительных, применения которых необязательно, но их функции реализованы в терминале РЗА.

Так уставка дифференциальной защиты ANSI 87M $I_{сз} = 90,7$ А, что составляет 0,132 от номинального тока. ПУЭ допускает уставку до 0,6 от номинального тока. Защита своей характеристикой срабатывания обеспечивает отключение генератора только при КЗ в зоне действия защиты,

а при внешних КЗ или в асинхронном режиме срабатывания не происходит. Коэффициент чувствительности защиты составил 40,5. При таком большом коэффициенте чувствительности допускается применить уставку срабатывания вплоть до $0,6I_{ном}$. Защита от замыканий на землю ANSI 50N/51N, реализованная на первой ступени с $I_{сз} = 3,08$ А, нечувствительна ввиду малой подпитки точки однофазного КЗ в генераторе. Данная выведена на сигнал с выдержкой времени 1,5 с, а для реализации данной защиты использована функция направленной токовой защиты от замыканий на землю ANSI67T с $I_{сз} = 1,6$ А, которая, ввиду наличия органа направления, обладает абсолютной селективностью. Защита от двойных замыканий на землю реализована второй ступенью ANSI 50N/51N с $I_{сз} = 50$ А. Величина уставки выбрана согласно ПУЭ. Защита генератора от внешних КЗ реализована первой ступенью функции ANSI 50/51 с $I_{сз} = 1031$ А или $1,5I_{ном}$. При этом защита чувствительна к КЗ в генераторе, а от внешних КЗ имеет пусковые органы по напряжению прямой и обратной последовательности и отстроена по времени от МТЗ блочного трансформатора. Защита от перегрузки генератора выполнена на второй ступени ANSI 50N/51N с $I_{сз} = 771$ А чрезвычайно обратной зависимой выдержкой времени с $t_{ср} = 10$ с. Данная защита продублирована технологическими защитами турбины. Защита минимального сопротивления с $Z_{ср} = 1,59$ Ом при $Z_{ном} = 5,29$ Ом, обеспеченная функцией ANSI21B, является резервной защитой генератора от междуфазных КЗ, поэтому она отстроена от основной ANSI 87M уставкой $t_{сз} = 0,5$ с. Максимальная направленная защита максимальной мощности ANSI 32P фактически резервирует защиту от перегрузки, а также обеспечивает отключение генератора при обратной мощности, т.е., наряду с технологическими защитами турбины, обеспечивает исключение двигательного режима на мощности $P = 375$ кВт с выдержкой времени $t_{сз} = 3$ с. Защита от асинхронного хода при потере возбуждения ANSI 40 своими круговыми характеристиками определяет степень потери возбуждения и отключает генератор от сети с различными выдержками времени.

Также рассмотрены защиты цепей возбуждения – как обмотки ротора, так и цепей возбудителя, которые реализованы аппаратно в станции управления возбуждением КОСУР-220.

3. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

3.1. Введение

В данной части работы определим затраты на выполнение данного проекта релейной защиты и автоматики генератора ТК-6-2 ГТЭС 24 МВт «Двуреченская», рассчитаем себестоимость, общую стоимость проекта. Итоги расчётов стоимости проекта представим в смете затрат.

Технико-экономическую эффективность капиталовложений в установку устройств РЗА настоящего проекта будем оценивать по оценке вероятности ущерба от повреждения генератора при отсутствии устройств РЗА.

3.2. Планирование работ по проектированию и определение трудоемкости проектных работ

Для расчета основной заработной платы сотрудников отдела проектирования составляем график выполнения проектных работ (см. таблицу 4 и приложение В). Для оценки объёма работ и трудоёмкости выполнения проекта, составляем перечень основных этапов работ, которые должны быть выполнены для подготовки проекта. При составлении графика учитываем, что работы для каждого сотрудника следуют друг за другом строго последовательно. Для определения ожидаемого значения продолжительности работ $t_{ож.}$ применим вариант, основанный на использовании двух оценок: t_{max}, t_{min} . [13]

$$t_{ож.} = \frac{3 \cdot t_{min} + 2 \cdot t_{max}}{5}$$

ФЮРА.СТО ТПУ 2.5.01-2006				
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата
Разраб.		С.К. Щерблякин		
Руков.		В.А. Корнев		
Консультант		А.А. Фигурко		
Н.контр.		В.А. Корнев		
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение				
		Лит.	Лист	Листов
		57	90	
НИ ТПУИНЭО гр. 3-5АЗА2				

$t_{det\ min}$ – кратчайшая продолжительность данной работы;

t_{max} – самая длительная продолжительность работы.

Таблица 4. График выполнения проектных работ.

№ этапа	Наименование работы	Исполнитель	Продолжительность работы, ч			кол-во раб. дней	
			t_{min}	t_{max}	$t_{ож}$		
1	Разработка задания	Руководитель	2	4	2,8	1	
2	Подбор необходимой литературы, источников информации	Ведущий инженер	6	10	7,6	2	
		Инженер	20	24	21,6	3	
3	Анализ полученной исходной информации, схемы электросетей расположения объекта исследования	Руководитель	2	4	2,8	1	
		Ведущий инженер	4	6	4,8	1	
		Инженер	30	40	34	6	
4	Обоснование выбора объема защит	Инженер	24	36	28,8	5	
5	Выбор устройства защиты генератора, изучение его возможностей, устройства, характеристик и функций	Руководитель	2	4	2,8	1	
		Ведущий инженер	2	4	2,8	1	
		Инженер	12	20	15,2	3	
6	Исследование однолинейной схемы распределительного устройства генераторного напряжения	Ведущий инженер	2	4	2,8	1	
		Инженер	12	20	15,2	3	
7	Исследование схемы подключения терминала РЗА генератора	Инженер	8	12	9,6	2	
8	Расчёт токов КЗ	Ведущий инженер	2	4	2,8	1	
		Инженер	20	30	24	4	
9	Проверка нагрузочной способности измерительных трансформаторов тока	Инженер	30	40	34	6	
10	Расчет уставок РЗА основного комплекта защит генератора	Инженер	6	10	7,6	2	
11	Расчет уставок РЗА дополнительного комплекта защит генератора	Ведущий инженер	3	6	4,2	1	
		Инженер	20	30	24	4	
12	Исследование оборудования, защит и автоматики системы возбуждения генератора	Руководитель	2	4	2,8	1	
		Ведущий инженер	2	4	2,8	1	
		Инженер	20	28	23,2	4	
13	Оценка экономической эффективности работы устройств РЗА генератора	Руководитель	2	4	2,8	1	
		Ведущий инженер	3	6	4,2	1	
		Инженер	20	26	22,4	4	
14	Подготовка пояснительной записки	Ведущий инженер	3	6	4,2	1	
		Инженер	100	150	120	18	
15	Оформление графической части проекта	Ведущий инженер	3	6	4,2	1	
		Инженер	60	80	68	11	
16	Проверка и сдача проекта	Руководитель	10	16	12,4	2	
		Инженер					75
		Ведущий инженер					11
		Руководитель					7

При составлении графика работ считаем, что длительность одного рабочего дня $t_{рд}$ составляет 8 часов и на каждый час работы отводится 10 мин на перерывы в работе, т.е. эффективное время работы в день составит:

$$t_{эф} = 50\text{мин} \cdot 8\text{часов} / 60\text{мин} = 6,67 \text{ часа}$$

Тогда длительность выполнения этапа работ в днях можно определить по формуле:

$$T_i = \frac{t_{ож}}{6,67}$$

По графику работ определим трудозатраты для каждого работника.

3.3 Расчет затрат на проектирование.

Определим затраты, за счёт которых образуются себестоимость проекта. К таким затратам можно отнести:

1. Оплата труда (заработная плата разработчикам проекта);
2. Отчисления на социальные нужды (единый социальный налог);
3. Материальные затраты (приобретение расходных материалов, по большей части канцелярские принадлежности);
4. Амортизация основных фондов (износ мебели, оргтехники);
5. Прочие затраты;
6. Накладные расходы.

3.3.1. Расчет заработной платы

Расчёт заработной платы:

$$З_n = \frac{O \cdot k_1 \cdot k_2 \cdot X}{21}$$

где: O – оклад; k_1 - коэффициент за отпуск (1,16 - для руководителя, 1,1 – для ведущего инженера, 1,08 – для инженера); k_2 - районный коэффициент (1,3); 21 - количество рабочих дней в месяце; X - количество рабочих дней затраченных на проект (таблица 14).

Для руководителя: Оклад – 32000 руб.

$$Зn_{Рук} = \frac{32000 \cdot 1,16 \cdot 1,3}{21} \cdot 7 = 16085 \text{ руб}$$

Для ведущего инженера: Оклад – 26000 руб.

$$Зn_{Вед.инж} = \frac{26000 \cdot 1,1 \cdot 1,3}{21} \cdot 11 = 19475 \text{ руб}$$

Для инженера: Оклад – 22000 руб.

$$Зn_{Инж} = \frac{22000 \cdot 1,08 \cdot 1,3}{21} \cdot 75 = 110314 \text{ руб}$$

Итого фонд заработной платы ФЗП = $\sum Зп = 16085 + 19475 + 110314 = 145874$ руб.

3.3.2. Расчёт отчислений на социальные нужды

Размер отчислений на социальные нужды (единый социальный налог) составляет 30% от ФЗП. Сумма начислений на социальные нужды составляет:

$$И_{сн} = \sum Зп \cdot 0,3 = 145874 \cdot 0,3 = 43762 \text{ руб.}$$

3.3.3 Материальные затраты

К материальным затратам или расходным материалам относятся: бумага, картриджи для принтера, плоттера, канцелярские принадлежности, носители информации и др.

Таблица 5. Материальные затраты.

Материал	Ед. изм.	Кол-во	Стоимость, руб	Итого, руб
Печатная бумага А4	Пачка	1	170	170
Печатная бумага А3	Пачка	0,1	350	35
Печатная бумага для плоттера А0	шт	5	100	500
CD 650 Мб	шт.	2	50	100
Канц. товары	набор	3	400	1200
				2005

3.3.4. Амортизационные отчисления

Амортизационные отчисления образуются за счёт износа имеющихся основных средств производства. Амортизационные отчисления считаем по следующей формуле:

$$I_{AM} = \frac{T_{И}}{T} \cdot N_A \cdot \Phi_{П}$$

Где $\Phi_{П}$ - первоначальная стоимость оборудования; N_A - норма амортизации; $T_{И}$ - количество дней использования оборудования; T - количество календарных дней в году.

По графику выполнения проектных работ общая продолжительность проектирования составляет $T_{И} = 77$ дней

Таблица 6. Амортизационные отчисления.

Наименование	Количество	$\Phi_{П}$, руб	N_A , %	$I_{ам}$, руб
Компьютер	3	50000	20	6329
Принтер	1	20000	10	422
Стол	4	8000	10	675
Стул	3	4000	10	253
Итого $I_{ам}$				7679

3.3.5. Прочие расходы

Прочие неучтенные прямые затраты включают в себя все расходы связанные с не предусмотренными в предыдущих статьях, платежи по страхованию, оплата услуг связи, представительские расходы, затраты на ремонт и прочее. Принимаем размер прочих затрат как 15% от суммы всех ранее рассчитанных расходов.

$$\begin{aligned} I_{ПР} &= 0,15 \cdot (I_{ФЗП} + I_{СН} + I_{AM} + I_{МЗ}) = \\ &= 0,15 \cdot (145874 + 43762 + 2005 + 7679) = 29898 \text{ руб} \end{aligned}$$

3.3.6 Накладные расходы

Принимаем 150% от ФЗП и включают в себя затраты на хозяйственное обслуживание помещения, обеспечение нормальных условий труда, оплату за энергоносители и другие косвенные затраты.

$$I_{\text{накл}} = 1,5 \cdot I_{\text{ФЗП}} = 1,5 \cdot 145874 = 218811 \text{ руб.}$$

Себестоимость проекта:

$$I = \sum I = 145874 + 43762 + 2005 + 7679 + 29898 + 218811 = 448029 \text{ руб}$$

3.3.7 Составление сметы затрат на проектирование

Принимаем рентабельность 15%, тогда прибыль:

$$Pr = 0,15 \cdot I = 0,15 \cdot 448029 = 67204 \text{ руб}$$

Стоимость проекта:

$$C_{\text{пр}} = Pr + I = 67204 + 448029 = 515233 \text{ руб}$$

Смета затрат на проектирование представлена в таблице 7.

Таблица 7. Смета затрат

Вид расходов	Обозначение	Сумма, руб.
Заработная плата	$I_{\text{фзп}}$	145874
Отчисления в социальные фонды	$I_{\text{сн}}$	43762
Материальные затраты	$I_{\text{м}}$	2005
Амортизация	$I_{\text{ам}}$	7679
Прочие расходы	$I_{\text{пр}}$	29898
Накладные расходы	$I_{\text{накл}}$	218811
Себестоимость проекта	I	448029
Прибыль	Pr	67204
Стоимость проекта	$C_{\text{пр}}$	515233

3.4. Экономическая эффективность от установки устройств РЗА

3.4.1. Обоснование метода расчета экономической эффективности от установки устройств РЗА генератора

Устройства РЗА в первую очередь обеспечивают минимизацию объема повреждений в электрооборудовании. Чем больше длительность воздействия короткого замыкания в генераторе, тем больше требуется затрат на восстановление работоспособности защищаемого электрооборудования, вплоть до полной его замены на новое. Исходя из того, что нейтраль генератора изолирована, для него наиболее опасными являются междуфазные короткие замыкания. Так, при длительном воздействии тока междуфазного КЗ обмотки генератора выгорают, необратимо повреждая статорное железо, обмотку возбуждения, вплоть до заклинивания ротора и динамического удара с разрушением отсека генератора и рядом расположенного оборудования. Авария такого характера не только несет большой материальный ущерб, но и опасность для жизни и здоровья находящегося рядом обслуживающего персонала.

Однако генераторы ТК-6-2 с бесщеточной системой возбуждения обладают существенной надежностью и вероятность их повреждения крайне мала. Однако генератор подключен к вакуумному выключателю КРУ-6 посредством кабельных линий, надежность которых существенно ниже самого генератора. Так при длительном междуфазном коротком замыкании на кабельной линии, например на концевой муфте, с большой вероятностью может привести к тем же последствиям, как и при КЗ в обмотке статора.

Также следует отметить, что протекание токов короткого замыкания также может привести в выходу из строя как генераторного вакуумного выключателя, так и отсека КРУ-6.

3.4.2. Оценка вероятностей повреждения генератора

Для оценки эксплуатационной надежности синхронных генераторов широко применяется понятие удельной повреждаемости (удельного числа аварийных отключений), которое представляет собой среднее число аварийных отключений на одну машину в год, выраженное в процентах от общего числа отключений. Статистика показывает, что удельная повреждаемость возрастает с увеличением мощности. Так, для турбогенераторов мощностью более 100 МВт собрана следующая статистика по повреждениям:

- статор – 2,75 %;
- ротор – 1,63 %;
- возбуждатель – 2,65 %;
- прочие – 1,15 %.

Для оценки экономической эффективности установки терминала РЗА «Seram-80» рассматриваем повреждения статора, т.к. защита остальных элементов генератора осуществляется другими устройствами. Таким образом, поток отказов статора генератора $\omega_{\text{ген}} = 0,0275$ 1/год.

3.4.3. Определение объема повреждений генератора и мероприятий для их устранения.

При определении стоимости повреждаемого оборудования принимаем следующие условия, характерные двухфазному КЗ:

- при возникновении междуфазного КЗ в генераторе при отсутствии терминала РЗА генераторного выключателя ток короткого замыкания отключается действием защит трансформатора или УРОВ, т.е. ориентировочно через 2 – 2,5 с. За это время развивающимся коротким замыканием происходит необратимое повреждение твердых секций замкнувших фаз обмотки с повреждением зубцовой зоны активной стали

статора генератора в месте КЗ. Оплавы металлов повреждают обмотку возбуждения, заполняя воздушный зазор и заклинивая ротор, с отключением турбины технологическими защитами. Кабельная линия при этом выдерживает термическое воздействие тока КЗ без повреждений.

- при возникновении междуфазного КЗ в генераторе при наличии терминала РЗА генераторного выключателя ток КЗ отключается через 0,06 с. За это время происходит повреждение замкнувших секций обмоток в одном пазе (непосредственно в месте КЗ) без повреждения активной стали генератора и обмотки возбуждения.

- для восстановления работоспособного состояния генератора после длительного КЗ его необходимо демонтировать из отсека генератора и транспортировать на завод изготовитель в г. Лысьва. Для устранения КЗ, отключенного терминалом РЗА генератора, генератор демонтируется и ремонтируется в местной мастерской на территории ГТЭС силами персонала ГТЭС с привлечением специалиста завода-изготовителя.

- объем заводского ремонта генератора включает в себя замену двух фаз обмотки, перешихтовку статора с заменой поврежденной части активной стали, частичную замену поверхностной изоляции обмотки возбуждения.

3.4.4. Определение условий для оценки ущерба от повреждения генератора.

Исходя из условий и объема повреждений генератора при наличии и в отсутствие терминала РЗА генераторного выключателя определим ущерб, нанесенный производству.

Этот ущерб будет состоять из следующих работ и затрат:

В отсутствие терминала РЗА:

- затраты на работы по демонтажу/демонтажу генератора из отсека генератора ГТА-6РМ. Работы выполняются местным обслуживающим персоналом. Длительность работ – 4 дня;

- погрузочно-разгрузочные работы выполняются местным обслуживающим персоналом с использованием автокрана грузоподъемностью 40 тн при массе генератора 20,5 тн. Длительность работ – 2 дня;

- для транспортировки генератора на завод-изготовитель используется авто трал грузоподъемностью 40 тн. Расстояние маршрута движения ГТЭС-24 «Двуреченская» - Нижневартовск – Лысьва – 2150 км. Длительность транспортировки в обе стороны – 6 дней;

- капитальный ремонт генератора составляет 60 % стоимости самого генератора (стоимость генератора на промышленных порталах – $C_{ген} = 5$ млн. р.). Длительность работ – 45 дней;

- недовыработка электрической энергии за время простоя генератора.

При наличии терминала РЗА:

- затраты на работы по демонтажу/демонтажу генератора из отсека генератора ГТА-6РМ. Работы выполняются местным обслуживающим персоналом. Длительность работ – 6 дней;

- погрузочно-разгрузочные работы выполняются местным обслуживающим персоналом с использованием автокрана грузоподъемностью 40 тн при массе генератора 20,5 тн. Длительность работ – 2 дня;

- транспортировка генератора в мастерскую по территории ГТЭС авто тралом грузоподъемностью 40 тн. Длительность транспортировки в обе стороны входит в объем погрузочно-разгрузочных работ (два дополнительных подъема);

- ремонт генератора силами местного персонала с привлечением представителя завода. Длительность работ – 15 дней;

- недовыработка электрической энергии за время простоя генератора.

3.4.5. Расчет смет затрат

Объем погрузочно-разгрузочных работ по срокам привлечения автокрана в обоих случаях будут одинаковыми по срокам привлечения автокрана и их не рассчитываем.

Расчет затрат в отсутствие терминала РЗА:

Как так работы по демонтажу/монтажу генератора будут выполняться в рабочее время местным оперативно-ремонтным персоналом, то расчет заработной платы не выполняем, а читаем, что этим работникам будет выплачена дополнительная премия из фонда главного инженера в размере $Z_{пр} = 100$ тыс. р.

Стоимость услуг низкорамного трала, базирующегося в г. Стрежевом (по прейскуранту ООО «УТТ-2»), с грузом до 40 тн с транспортировкой от ГТЭС до г. Лысьва на расстояние 2150 км с преодолением переправы через р. Обь составляет 200 тыс. рублей. Таким образом, затраты на транспорт для вывоза в ремонт и завоза после ремонта генератора составят: $Z_{тр} = 400$ тыс.р.

Стоимость капитального ремонта генератора $Z_{кр} = 0,6 \cdot C_{ген} = 0,6 \cdot 5000$ тыс.р = 3000 тыс.р.

Ущерб от недовыработки электрической энергии рассчитаем на весь срок простоя. Этот срок будет состоять из:

- времени на организацию работ и заключение необходимых договоров. Принимаем 10 дней. За это время генератор демонтируют и подготовят к транспортировке;

- времени на погрузочно-разгрузочные работы – 2 дня;
- времени на транспортировку – 6 дней;
- времени выполнения капитального ремонта – 45 дней;
- времени на монтаж генератора в отсек – 2 дня

Таким образом время простоя составит $T_{пр} = 10+2+6+45+2 = 65$ дней

Ущерб от недовыработки при расчетной мощности генерации с учетом задействования горячих резервов работающих ГТА $P_{расч} = 3,0$ МВт и стоимости 1 кВт*ч $C_э = 3,5$ руб:

$$З_э = C_э \cdot T_{пр} \cdot 24 \cdot P_{расч} = 3,5 \cdot 65 \cdot 24 \cdot 3000 = 16380 \text{ тыс.р}$$

Итого ущерб от КЗ в отсутствие терминала РЗА с учетом прочих и непредвиденных затрат в размере 10 % от суммарных затрат:

$$У_{безРЗА} = 1,1 \cdot (З_{пр} + З_{тр} + З_{кр} + З_э) = 1,1 \cdot (100 + 400 + 3000 + 16380) = 21868 \text{ тыс.р.}$$

Расчет затрат при наличии терминала РЗА:

Как так работы по демонтажу/монтажу и ремонту генератора в условиях местной мастерской будут выполняться в рабочее время местным оперативно-ремонтным персоналом, то расчет заработной платы не выполняем, а читаем, что этим работникам будет выплачена дополнительная премия из фонда главного инженера в размере $З_{пр} = 250$ тыс. р.

Также для работ будет привлекаться представитель завода-изготовителя. Ориентировочная цена сервис - договора на 10-12 дней составит $З_{сд} = 200$ тыс.р.

Для выполнения ремонта в условиях мастерской необходимо будет изготовить приспособление для выемки ротора. Затраты на его изготовление ориентировочно $З_{вр} = 50$ тыс. р

Затраты на приобретение расходных материалов для ремонта (изоляционные материалы, две секции обмотки и т.д.) принимаем равными $З_{мат} = 50$ тыс.р.

Ущерб от недовыработки электрической энергии за срок простоя. Этот срок будет состоять из:

- принимая во внимание наличие необходимых сервисных договоров с заводом-изготовителем, возможностью начала работ без представителя завода (демонтаж и доставка генератора в мастерскую на территории ГТЭС, разборка подшипниковых узлов и торцевых щитов, изготовление

специального устройства для выемки ротора) принимаем время на организацию работ равным 5 дням;

- времени на погрузочно-разгрузочные работы – 2 дня;
- времени выполнения ремонта – 15 дней;
- времени на монтаж генератора в отсек – 2 дня

Таким образом, время простоя составит $T_{пр} = 5+2+15+2 = 24$ дня

Ущерб от недовыработки при расчетной мощности генерации с учетом задействования горячих резервов работающих ГТА $P_{расч} = 3,0$ МВт и стоимости $1 \text{ кВт}\cdot\text{ч} C_э = 3,5$ руб:

$$Z_э = C_э \cdot T_{пр} \cdot 24 \cdot P_{расч} = 3,5 \cdot 24 \cdot 24 \cdot 3000 = 6048 \text{ тыс.р}$$

Итого ущерб от КЗ при наличии терминала РЗА с учетом прочих и непредвиденных затрат в размере 10 % от суммарных затрат:

$$Y_{сРЗА} = 1,1 \cdot (Z_{пр} + Z_{сд} + Z_{вр} + Z_{мат} + Z_э) = 1,1 \cdot (250 + 200 + 50 + 50 + 6048) = 7258 \text{ тыс.р.}$$

3.4.6. Определение срока окупаемости терминала РЗА

Определим разницу ущербов от воздействия КЗ:

$$\Delta Y = Y_{безРЗА} - Y_{сРЗА} = 21868 - 7258 = 14610 \text{ тыс.р.}$$

Поток отказов статора генератора $\omega_{ген} = 0,0275$ 1/год. Т.е. к расчетным финансовым потерям за один год можно отнести 2,75 % от расчетной разницы ущербов.

$$\Delta Y_{год} = \omega_{ген} \cdot \Delta Y = 0,0275 \cdot 14610 = 402 \text{ тыс. руб}$$

Согласно информации технических порталов, занимающихся продажей терминалов РЗА стоимость «Seram-80» с доставкой составляет 130 тыс. р.

Терминал крайне прост в монтаже и фактически требует только наладки каналов измерения токов и напряжений, остальные функции при подаче питания на устройство автоматически проходят самотестирование. Таким образом, затраты на монтаж и наладку терминала принимаем равными 1,3 от стоимости терминала.

$$C_{\text{тер}} = 1,3 \cdot 130 = 169 \text{ тыс. р.}$$

Как видим, стоимость установки терминала РЗА меньше расчетных финансовых потерь от воздействия междуфазного КЗ за один год, т.е. срок окупаемости будет меньше одного года. Определим эту величину точнее:

$$T_{\text{ок}} = C_{\text{тер}} / \Delta U_{\text{год}} = 169 / 402 = 0,42 \text{ года}$$

3.4.7. Заключение по главе

В настоящей главе была определена смета затрат на проектирование, которая включает в себя заработную плату, отчисления в социальные фонды, материальные затраты, амортизацию, прочие и накладные расходы.

Экономическая эффективность от установки устройства РЗА выполнена на принципе сравнения ущербов производству при наличии устройства РЗА в генераторной ячейке и при его отсутствии. При этом выбраны наиболее мягкие последствия от воздействия КЗ на генератор, когда имеются резервирующие и технологические защиты, и КЗ перекрывает только две фазы статора генератора в одном из пазов. Даже в этом варианте развития аварии окупаемость установки терминала РЗА меньше полугода. Другие варианты развития аварии могут привести к более серьезным последствиям, вплоть до уничтожения ГТА пожаром, взрывом, с жертвами среди обслуживающего персонала. Поэтому отказ от использования устройств РЗА просто немыслим и грубо нарушает ПУЭ. В связи с этим данный расчет является просто дополнительным подтверждением необходимости использования устройств РЗА и их важности в энергетике.

4. Социальная ответственность

4.1. Введение

Данный раздел проекта представляет собой область научных знаний, охватывающих теорию и практику защиты человека от опасных и вредных факторов в среде обитания, во всех сферах человеческой деятельности, в том числе и на производстве.

При приеме на работу будущий сотрудник обязательно должен пройти инструктаж по технике безопасности, а после прохождения стажировки – пройти проверку знаний по правилам охраны труда в действующих электроустановках.

Руководители предприятий и их подразделений осуществляют четкий контроль над своевременными инструктажами. Обязательно ведут журнал, где ставят подписи все работники, которые прошли инструктаж.

Строгое выполнение норм техники безопасности обеспечивает защиту сотрудника от опасностей и рисков, которые могут возникнуть на работе. Безопасность жизнедеятельность на производстве была создана, чтобы обеспечить правильную среду обитания на рабочем месте, и не навредить деятельности и здоровью человека.

В данном дипломном проекте рассматривается релейная защита и автоматика генератора ГТЭС 24 МВт «Двуреченская», устройства которой расположены в КРУ-6 кВ в электротехническом отсеке газотурбинного агрегата. Для правильной организации работ по борьбе с травматизмом, профессиональными и общими заболеваниями рассмотрены вопросы охраны труда: проанализированы условия труда с точки зрения наличия возможности появления вредных факторов и их воздействие на работающих,

					ФЮРА.СТО ТПУ 2.5.01-2006			
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>				
<i>Разраб.</i>		<i>С.К. Щеблыкин</i>			<i>Социальная ответственность</i>	<i>Лит.</i>	<i>Лист</i>	<i>Листов</i>
<i>Руков.</i>		<i>В.А. Корнев</i>					71	90
<i>Консультант</i>		<i>А.Г. Дашковский</i>				<i>НИ ТПУИНЭО гр. 3-5А3А2</i>		
<i>Н.контр.</i>		<i>В.А. Корнев</i>						

рассмотрены мероприятия по технике безопасности и производственной санитарии, мероприятия по противопожарной профилактике

4.2. Производственная безопасность

Рабочим местом для мастера, электромонтера РЗА является электротехнический отсек газотурбинного агрегата. В этом отсеке установлены ячейки 6 кВ генераторного распределительного устройства (КРУ-6), трансформатор собственных нужд (сухого исполнения), распределительное устройство собственных нужд 0,4 кВ, станция управления возбуждением, щит постоянного тока с аккумуляторными батареями.

Вредным производственным фактором называется такой производственный фактор, воздействие которого на работающего человека в определенных условиях приводит к заболеванию или снижению трудоспособности.

К вредным производственным факторам относятся:

- неблагоприятные метеорологические условия;
- запыленность и загазованность воздушной среды;
- воздействие шума, инфра- и ультразвука, вибрации;
- наличие электромагнитных полей, лазерного и ионизирующих

излучений и др.

Опасным производственным фактором называется такой производственный фактор, воздействие которого на работающего в определенных условиях приводит к травме или к другому внезапному резкому ухудшению здоровья.

Травма – это повреждение тканей организма и нарушение его функций внешним воздействием.

К опасным производственным факторам относятся:

- электрический ток определенной силы;
- раскаленные тела;

- возможность падения с высоты самого работающего либо различных деталей и предметов;

- оборудование, работающее под давлением выше атмосферного, и т.д.

Исследуемому рабочему месту свойственны следующие возможные опасные и вредные производственные факторы:

- поражение электрическим током;
- падение на скользкой поверхности;
- повышенная температура;
- загазованность.

Для минимизации или полного исключения действия опасных и вредных производственных факторов на работника на рабочем месте предприняты следующие меры защиты:

Для исключения повышения или понижения температуры воздуха в отсеке установлена система кондиционирования воздуха и подогрева;

Для исключения проникновения возможной загазованности отсека установлена автоматическая система приточно-вытяжной вентиляции;

Для исключения падения на скользкой поверхности покрытие отсека выполнено из рифлёного металла, работникам на предприятии выдается специальная обувь с нескользящей подошвой.

С целью защиты работника от поражения электрическим током в электротехническом отсеке предусмотрен целый ряд технических устройств.

Так, все щиты и панели напряжением до 1000 В имеют двери, запирающиеся на замок, ключи от которых получаются только под роспись в специальном журнале у начальника смены. Но даже открыв дверь, работник не получает доступа к токоведущим частям, т.к. за дверями установлены фальшпанели, позволяющие только оперировать коммутационной аппаратурой.

В ячейках КРУ-6 кВ предусмотрен комплекс защитных мер, призванных исключить поражение электрическим током:

- наличие блокировочных устройств, исключающие ошибочные действия персонала при производстве оперативных переключений;
- автоматическое закрывание шторок отсека вакуумного выключателя при его выкатке в ремонтное положение. Шторки имеют запорные приспособления, на которые можно повесить механический замок;
- со стороны дверей на задней стороне ячеек КРУ, обеспечивающих доступ персонала к камерам подключения кабелей и камерам шинного моста, установлены перфорированные защитные экраны, обеспечивающие осмотр токоведущих частей с безопасного расстояния;
- клеммные колодки в шкафах РЗА ячеек специального исполнения (с высокими перегородками или со скрытыми клеммами), исключающие возможность прикосновения рукой.

Другие опасные и вредные производственные факторы в электротехническом отсеке ГТА не присутствуют. Так, работающая рядом с электротехническим отсеком газотурбинная установка защищена звукопоглощающим кунгом, стены отсека также выполнены из звукопоглощающего материала.

Источником вибрации могла бы являться газотурбинная установка, но она смонтирована на отдельном фундаменте, поэтому в электротехническом отсеке вибрации отсутствуют.

Однако все эти меры не могут гарантировать безопасности работнику. Особое место в обеспечении производственной безопасности занимает организация безопасного выполнения работ.

4.3. Обеспечение безопасности работ, проводимых в цепях РЗА

Работы в цепях измерения, защиты, автоматики и сигнализации проводятся, как правило, по распоряжению. Распоряжение – это задание на производство работы, определяющее ее содержание, место, время, меры безопасности (если они требуются) и работников, которым поручено ее

выполнение, с указанием группы по электробезопасности. Распоряжение оформляется в журнале регистрации работ, выполняемых по нарядам и распоряжениям.

Для обеспечения безопасности работ, проводимых в цепях измерительных приборов, устройств релейной защиты и электроавтоматики, вторичные цепи (обмотки) измерительных трансформаторов тока и напряжения должны иметь постоянные заземления. В сложных схемах релейной защиты для группы электрически соединенных вторичных обмоток измерительных трансформаторов допускается выполнять заземление только в одной точке.

При необходимости разрыва токовой цепи измерительных приборов, устройств релейной защиты, электроавтоматики цепь вторичной обмотки трансформатора тока предварительно закорачивается на специально предназначенных для этого зажимах или с помощью испытательных блоков. Во вторичной цепи между трансформаторами тока и установленной закороткой не допускается производить работы, которые могут привести к размыканию цепи.

При работах во вторичных устройствах и цепях трансформаторов напряжения с подачей напряжения от постороннего источника должны быть приняты меры, исключающие возможность обратной трансформации.

При монтаже, ремонте и эксплуатации вторичных цепей, устройств релейной защиты, измерительных приборов, электроавтоматики, телемеханики, связи, включая работы в приводах и агрегатных шкафах коммутационных аппаратов, независимо от того находятся они под напряжением или нет, производителю работ разрешается по распоряжению отключать и включать вышеуказанные устройства, а также опробовать устройства защиты и электроавтоматики на отключение и включение выключателей с разрешения оперативного персонала.

Производителю работ, имеющему группу IV, из числа персонала, обслуживающего устройства релейной защиты, электроавтоматики и т.д.,

разрешается совмещать обязанности допускающего. При этом он определяет меры безопасности, необходимые для подготовки рабочего места. Подобное совмещение разрешается, если для подготовки рабочего места не требуется выполнения отключений, заземления, установки временных ограждений в части электроустановки напряжением выше 1000 В.

Производителю работ, имеющему группу IV, единолично, а также членам бригады, имеющим группу III, разрешается работать отдельно от других членов бригады во вторичных цепях и устройствах релейной защиты, электроавтоматики и т.п., если эти цепи и устройства расположены в РУ и помещениях, где токоведущие части напряжением выше 1000 В отсутствуют, полностью ограждены или расположены на высоте не требующей ограждения.

Персонал энергоснабжающих организаций работы с приборами учета потребителя проводит на правах командированного персонала. Эти работы проводятся бригадой в составе не менее двух работников. В помещениях РУ записывать показания электросчетчиков допускается работнику энергоснабжающей организации, имеющему группу III, в присутствии представителя потребителя.

В электроустановках напряжением до 1000 В потребителей, имеющих обслуживающий персонал по совместительству или по договору (детские сады, магазины, поликлиники, библиотеки и др.), подготовку рабочего места и допуск к работе с приборами учета электрической энергии может проводить оперативный персонал соответствующих энергоснабжающих организаций по утвержденному перечню работ, выполняемых в порядке текущей эксплуатации, бригадой из двух работников, имеющих группы III и IV, в присутствии представителя потребителя.

Работы с приборами учета электроэнергии должны проводиться со снятием напряжения. В цепях электросчетчиков, подключенных к измерительным трансформаторам, при наличии испытательных коробок

следует снимать напряжение со схемы электросчетчика в указанных коробках.

Работу с однофазными электросчетчиками оперативный персонал энергоснабжающих организаций, имеющий группу III, может проводить единолично при снятом напряжении по утвержденному перечню работ, выполняемых в порядке текущей эксплуатации. При отсутствии коммутационного аппарата до электросчетчика в деревянных домах, в помещениях без повышенной опасности эту работу допускается проводить без снятия напряжения при снятой нагрузке.

В отдельных случаях за работниками должен быть закреплен приказом или распоряжением руководства энергоснабжающей организации территориальный участок (район, квартал, округ и т.п.). В бланках заданий оперативный персонал должен отмечать выполнение технических мероприятий, обеспечивающих безопасность работ в электроустановках.

В энергоснабжающих организациях для проведения работ с приборами учета должны быть составлены инструкции или технологические карты по каждому виду работ.

4.4. Экологическая безопасность

В электротехническом отсеке ГТА отсутствуют постоянно действующие источники загрязнения воздуха.

КРУ-6 кВ и трансформатор собственных нужд выполнены по современным технологиям. Так в КРУ вместо масляных выключателей, являющихся источником загрязнения трансформаторным маслом, используются вакуумные, а в качестве трансформатора собственных нужд использован сухой трансформатор.

Для обеспечения нормальной работы системы электроснабжения собственных нужд на постоянном токе, персоналом ГТЭС производится периодическое тестирование и замена свинцовых аккумуляторов.

Отходы, образующиеся при эксплуатации электротехнического оборудования ГТЭС сортируются по классам опасности.

Первый класс опасности (чрезвычайно опасное, токсичное химическое вещество) - люминесцентные и газонаполненные лампы (содержание ртути и её соединений). Лампы складываются отдельно от всех отходов и упаковываются в коробки или ящики для сохранения их целостности при транспортировке, сдаются на специализированное предприятие для переработки.

Второй класс опасности - отработанные аккумуляторы и батарейки (содержание свинца, кислот и щелочей). Возможно кислотное или свинцовое отравление окружающей среды. Их следует хранить отдельно и далее сдавать на переработку.

Третий класс опасности - отработанные масла, смазки и фильтры. Такие отходы лишь частично могут быть обезврежены воздействием природных процессов и их накопление приносит вред окружающей среде. Такие отходы также должны складываться в отдельных контейнерах или емкостях и утилизироваться на специальных предприятиях.

Четвертый класс опасности - промасленная ветошь как нефтесодержащий отход. Для их хранения на территории ГТЭС устанавливаются специальные контейнеры. Далее ветошь вывозят на полигон хранения и утилизации.

Пятый класс опасности - неопасные или малоопасные отходы. Они накапливаются на соответствующих местах хранения и вывозятся на полигон твердых бытовых отходов. Отходя, подлежащие вторичному использованию (черные и цветные металлы) вывозятся в пункты приема.

4.5. Безопасность в чрезвычайных ситуациях

В данном разделе сложно рассматривать место установки устройств РЗА отдельно от газотурбинной электростанции и её территории, т.к.

чрезвычайная ситуация как правило охватывает весь объект целиком, а порой и район расположения объекта.

Предупреждение чрезвычайных ситуаций - это комплекс мероприятий, проводимых заблаговременно и направленных на максимально возможное уменьшение риска возникновения чрезвычайных ситуаций, а также на сохранение здоровья людей, снижение размеров ущерба окружающей природной среде и материальных потерь в случае их возникновения.

Ликвидация чрезвычайных ситуаций - это аварийно-спасательные и другие неотложные работы, проводимые при возникновении чрезвычайных ситуаций, направленные на спасение жизни и сохранение здоровья людей, снижение размеров ущерба окружающей природной среде и материальных потерь, а также на локализацию зон чрезвычайных ситуаций, прекращение действия характерных для них опасных факторов.

На предприятии, обслуживающем ГТЭС, утвержден план ликвидации аварийных ситуаций и их последствий. Так как основными опасными производственными факторами на территории ГТЭС являются оборудование газораспределения и сосуды, работающие под давлением, то все проводимые по данному плану противоаварийные проводятся по темам, непосредственно связанным с этим оборудованием.

Чрезвычайные ситуации классифицируются по следующим основным признакам:

По сфере возникновения (технологические, природные, экологические, социально-политические и т.д.).

По ведомственной принадлежности (в промышленности, строительстве, сельском хозяйстве, на транспорте и т.д.).

По масштабу возможных последствий (глобальные, региональные, местные).

По масштабу и уровням привлекаемых для ликвидации последствий сил, средств и органов управления.

По сложности обстановки и тяжести последствий.

По характеру лежащих в ее основе явлений и процессов.

Основные причины возникновения чрезвычайных ситуаций:

Результат стихийных бедствий и особо опасных инфекций.

Воздействие внешних природных факторов, приводящих к старению или коррозии металлов, конструкций, сооружений и снижение их физико-механических показателей.

Проектно-производственные дефекты сооружений.

воздействие технологических процессов промышленного производства на материалы сооружений (нагрузки, высокие температуры, скорость, вибрация).

Нарушение правил эксплуатации сооружений и технических процессов.

Нарушение правил техники безопасности при ведении работ и технологических процессов.

Ошибки, связанные с системой отбора руководящих кадров, низким уровнем профессиональной подготовки рабочих и их некомпетентностью и безответственностью.

Чрезвычайные ситуации, возникающие в мирное время в результате производственных аварий, катастроф, стихийных бедствий, сопровождаются разрушением зданий, сооружений, инженерных коммуникаций, промышленных и энергетических объектов, гибелью и поражением людей, оборудования, материальных ценностей. Уменьшить потери, спасти пострадавших, восстановить нормальные условия жизнедеятельности людей, предприятий, учреждений можно только принятием экстренных мер.

Перечень потенциальных опасностей, которые могут возникнуть на рассматриваемом объекте:

Техногенные чрезвычайные ситуации:

1. Пожары, взрывы, внезапные выбросы газа.

Аварии на пожаро- и взрывоопасных объектах могут вызвать разрушения, нанести материальный ущерб, нарушить нормальный ход производственной деятельности предприятия.

В случае возгорания трансформатора опасность состоит в том, что баки трансформаторов наполнены маслом и при возгорании в любое время можно ожидать взрыва, а следовательно и поражения персонала ВЭС, находящегося на близком расстоянии от места взрыва.

2. Аварии с выбросом (сбросом) загрязняющих веществ, приводящие к экстремально высокому загрязнению окружающей среды.

При авариях возможно заражение территории и объектов ВЭС, а также поражения людей, степень и опасность заражения радиоактивными веществами и поражения людей будет зависеть от объемов и степени зараженности атмосферы РВ, направления и скорости ветра, удаление радиоактивного опасного объекта от ВЭС, времени года и суток, состояния погоды.

Исходя из известных характеристик радиоактивных опасных объектов, степень заражения территории и объектов ВЭС и поражения людей может колебаться от допустимых норм (в том числе однократных) до опасных, что вызовет необходимость не только проведения в больших объемах защитных мер и специальной обработки, но и больших объемов работ по ликвидации последствий радиоактивного заражения зданий, оборудования, проведения дезактивационных работ по удалению (снижению степени заражения) РВ с поверхностей техники, оборудования, инструмента, подъездных путей, территории ВЭС и т.д.

Природные чрезвычайные ситуации

3. Опасные геологические, стихийные, гидрометеорологические и другие природные явления:

- землетрясения 3 балла и более;
- сильные дожди и ливни - 50 мм осадков и более за 12 часов и менее;
- снегопад - 150 мм и более за 12 часов и менее;
- гололед и ветер - скорость при порывах 25 м/сек и более;
- отложение льда и снега на проводах ЛЭП - 20 мм и более;
- значительное понижение и резкие перепады температур воздуха.

Стихийные бедствия могут вызвать разрушения, нанести материальный ущерб, внезапно нарушить нормальную жизнедеятельность людей, а зачастую привести к безвозвратным потерям определенной их части.

Природные лесные и торфяные пожары - крупные (25 Га и более) не контролируемые пожары на прилегающих к территории объекта энергетики площадях, а также на территории самого объекта.

4.6. Противопожарные мероприятия и пожарная защита

Пожарная и взрывная безопасность - это система организационных и технических средств, направленных на профилактику и ликвидацию пожаров и взрывов, ограничение их последствий.

Пожары представляют большую опасность для людей и могут причинить огромный материальный ущерб. Основной причиной пожара в электротехническом отсеке ГТА является неисправность электрооборудования, короткое замыкание, нагрев проводов и загорание изоляции. Основы противопожарной защиты предприятий определены ГОСТ 12.1.004-91 «Пожарная безопасность. Общие требования» и Правилами пожарной безопасности ППБ 01-02-95 РД153-34.0-03.301-00.

Мероприятия по пожарной профилактике разделяются на организационные, технические, режимные и эксплуатационные.

Организационные мероприятия предусматривают правильную эксплуатацию электрооборудования, правильное содержание здания, территории, противопожарный инструктаж рабочих и т. д. В соответствии с действующим законодательством ответственность за противопожарное состояние энергетических предприятий возлагается на руководителей этих предприятий.

К техническим мероприятиям относятся: соблюдение противопожарных правил, норм при проектировании, при устройстве электроприборов освещения и оборудования.

Мероприятия режимного характера - запрещение курения в неустановленных местах.

Эксплуатационные мероприятия являются своевременные профилактические осмотры, ремонты и испытание технологического оборудования (электроустановок, изоляции и т. д.).

Согласно общероссийских норм технологического проектирования ОНТП 24-96 МВД РФ помещения и здания по пожаровзрывной и пожарной опасности классифицируются на категории А, Б, В, Г и Д. Так как электротехнический отсек ГТА по степени пожаровзрывоопасности относится к категории "Д" и II степени огнестойкости, то необходимо предусмотреть ряд профилактических мероприятий технического, эксплуатационного и организационного плана.

При загорании в электротехническом отсеке сработает противопожарная сигнализация с выводом сигнала на главный щит. При обнаружении пожара необходимо в первую очередь позвонить в пожарную службу по телефону 01, предотвратить доступ электрического тока к электроустановкам, где произошло возгорание, по возможности сообщить руководству и приступить к тушению пожара с помощью первичных средств пожаротушения. Из средств пожаротушения желательнее применять локализованные средства: воздушно - механическую пену высокой плотности, а также инертные газообразные разбавители.

Из первичных средств пожаротушения в электротехническом отсеке ГТА установлены ручные углекислотные огнетушители ОУ-5 в количестве двух штук, а на расстоянии 30-50 метров от отсека имеется пожарный гидрант с кнопкой включения пожарного насоса. С их помощью можно быстро ликвидировать очаг загорания или локализовать огонь до прибытия пожарной команды.

Если горящая электроустановка не отключена и находится под напряжением, то тушение ее представляет опасность поражения электрическим током. Как правило, тушить ручными средствами пожар электрооборудования

следует при снятом с него напряжении. Тушение пожаров компактными и распыленными водяными струями без снятия напряжения с электроустановок допускается только в открытых для обзора ствольщика электроустановках, в том числе горящих кабелей при номинальном напряжении до 10 кВ. При этом ствол должен быть заземлен, а ствольщик — работать в диэлектрических ботах и перчатках и находиться на расстоянии от очага не менее 4,5 м. При этом применение морской и сильно загрязненной воды не допускается.

4.7. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

Правовое обеспечение безопасности жизнедеятельности на производстве включает законодательство о труде и охране труда. Основными законами, на основе которых осуществляется управление охраной труда, являются Федеральный закон «Об основах охраны труда в Российской Федерации» от 17 июля 1999 г. № 181-ФЗ; Трудовой кодекс РФ, принятый 30 декабря 2001 г.; Гражданский кодекс РФ.

Федеральный закон «Об основах охраны труда в Российской Федерации» устанавливает правовые основы регулирования отношений в области охраны труда между работодателями и работниками. В данном Законе рассматриваются вопросы, связанные с конкретным решением проблем охраны труда физических лиц, вступивших в трудовые отношения с работодателем. Нормы Закона распространяются как на работодателей, так и на работников, состоящих с работодателями в трудовых отношениях, а также на студентов и учащихся, проходящих производственную практику.

Работодатель обязан ознакомить работников с требованиями охраны труда и на каждом рабочем месте обеспечить такие условия труда, которые соответствовали бы данным требованиям. Рабочие места должны аттестоваться работодателем на соответствие их условиям труда. При заключении работником трудового договора (контракта) закон обязывает

работодателя осуществлять за счет собственных средств обязательные предварительные медицинские осмотры работников, а также периодические медицинские осмотры.

Особо подчеркивается, что работодатель обязан не допускать работников к выполнению ими трудовых обязанностей без прохождения обязательных медицинских осмотров, а также в случае медицинских противопоказаний.

В разделе «Общие положения» констатируется, что каждый работник имеет право на справедливые условия труда, в том числе на условия труда, отвечающие требованиям безопасности и гигиены; на обязательность возмещения вреда, причиненного ему в связи с исполнением им трудовых обязанностей, и др. Для этого каждый работник страхуется на случай получения травм и профессиональных заболеваний при выполнении должностных обязанностей. Размер страховой выплаты зависит от тяжести травмы или группы инвалидности.

Дополнительно между работниками работодателем заключается коллективный договор. Коллективный договор- правовой акт, регулирующий социально-трудовые отношения в организации или у индивидуального предпринимателя и заключаемый работниками и работодателем в лице их представителей (по определению статьи 40 ТК РФ). Коллективный договор на предприятии заключают работодатель и профсоюз работников или полномочные представители работников, если работники не объединились в профсоюз.

Содержание и структура коллективного договора определяется сторонами. В коллективный договор могут включаться взаимные обязательства сторон по следующим вопросам:

- формы, системы и размеры оплаты труда, денежные вознаграждения, пособия, компенсация, доплаты;

- механизм регулирования оплаты труда исходя из роста цен, уровня инфляции, выполнения показателей, определённых коллективным договором;
- занятость, переобучение, условия высвобождения работников;
- продолжительность рабочего времени и времени отдыха, отпусков;
- улучшение условий и охраны труда молодёжи, женщин и других работников;
- добровольное и обязательное медицинское страхование;
- соблюдение интересов работников при приватизации предприятия, ведомственного жилья;
- экологическая безопасность и охрана здоровья работников на производстве; льготы для работников, совмещающих работу с обучением;
- контроль за выполнением коллективного договора;
- ответственность сторон, социальное партнёрство, обеспечение условий функционирования профсоюзов, иных уполномоченных работниками исполнительных органов;
- отказ от забастовок по условиям, включённым в данный коллективный договор, при своевременном и полном их выполнении.
- дополнительные выплаты работнику при получении травмы или профессионального заболевания, кроме страховых выплат.

4.8. Заключение по главе

В данной главе были выявлены вредные и опасные факторы, которые могут оказывать влияние на работников, обслуживающих устройства РЗА в месте расположения защит генератора ГТА-БРМ – в электротехническом отсеке. Выявлены и уяснены меры производственной безопасности, возможные чрезвычайные ситуации, которые могут возникнуть на объекте, рассмотрены мероприятия по их предотвращению. Рассмотрена противопожарная безопасность, способы и средства борьбы с возгораниями. Также выявлено, что

рабочее место – электротехнический отсек ГТА – в процессе эксплуатации не загрязняет окружающую среду. Рассмотрены правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности и надлежащих условий труда, развития плодотворных и взаимовыгодных отношений.

5. Заключение

В настоящей работе был произведен выбор и расчет релейных защит синхронного генератора ТК-6-2, работающего в составе газотурбинной установки ГТА-6РМ ГТЭС 4х6 МВт «Двуреченская».

В качестве комплекса релейной защиты статора генератора применен микропроцессорный терминал «Seram-80» как одно из наиболее современных, надежных, распространенных и удобных в эксплуатации устройств. Для определения уставок и проверки чувствительности токовых защит был выполнен расчет токов КЗ по известным токам КЗ максимального и минимального режимов внешней сети и ГТЭС. В процессе выполнения расчетов были определены уставки защит как основных, определенных по ПУЭ для данного класса генераторов, релейных защит, так и дополнительных, применения которых необязательно, но их функции реализованы в терминале РЗА. Также рассмотрены защиты цепей возбуждения – как обмотки ротора, так и цепей возбудителя. Все защиты, кроме ANSI50N/51, обладают достаточной чувствительностью и обеспечивают селективное отключение генератора при внутренних повреждениях. Защита ANSI50N/51N, ввиду её недостаточной чувствительности, вводится с действием на сигнал.

В экономической части данной работы определена смета затрат на проектирование, которая включает в себя заработную плату, отчисления в социальные фонды, материальные затраты, амортизацию, прочие и накладные расходы.

Экономическая эффективность от установки устройства РЗА выполнена на принципе сравнения ущербов производству при наличии устройства РЗА в генераторной ячейке и при его отсутствии. При этом выбраны наиболее мягкие последствия от воздействия КЗ на генератор, когда имеются резервирующие и технологические защиты, и КЗ перекрывает только две

фазы статора генератора в одном из пазов. В расчетном варианте развития аварии окупаемость установки терминала РЗА меньше полугода.

В заключительной части работы были выявлены вредные и опасные факторы, которые могут оказывать влияние на работников, обслуживающих устройства РЗА в месте расположения защит генератора ГТА-6РМ – в электротехническом отсеке. Выявлены и уяснены меры производственной безопасности, возможные чрезвычайные ситуации, которые могут возникнуть на объекте, рассмотрены мероприятия по их предотвращению. Рассмотрена противопожарная безопасность, способы и средства борьбы с возгораниями. Также выявлено, что рабочее место – электротехнический отсек ГТА – в процессе эксплуатации не загрязняет окружающую среду. Рассмотрены правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности и надлежащих условий труда, развития плодотворных и взаимовыгодных отношений.

Список используемых источников

1. Правила устройства электроустановок/ Минэнерго. - М.: «Энергоиздат», 1985. - 648 с.
2. Неклепаев, Б.Н., Крючков, И.П. Электрическая часть станций и подстанций. Справочные материалы для курсового и дипломного проектирования: Учеб. пособие для вузов. – 4-е изд. перераб. и доп. – М: «Энергоатомиздат», 1989. – 608 с.
3. Защита электрических цепей. Seram серии 80. Измерение, защита, управление и контроль. Руководство по эксплуатации. Merlin Gerin/Schneider Electric. – 245 с.
4. М.Г. Попов. Выпуск № 40. Методические указания по расчету продольной дифференциальной токовой защиты ANSI 87M. СПб ГТУ. 2011. – 31 с.
5. Техническая коллекция Schneider Electric. Выпуск №3. Методика расчета уставок защит Seram. – 71 с.
6. Трансформаторы тока ТОЛ-10. Руководство по эксплуатации 1ГГ.671 213.027 РЭ. Екатеринбург, ОАО «Свердловский завод трансформаторов тока». – 20 с.
7. Турбогенератор ТК-6-2РУХЛЗ, 6300В. Руководство по эксплуатации ВЖ.32240РЭ. – 47 с.
8. Копьев В.Н. Релейная защита. Проектирование: Учебное пособие. Томск: Изд. ТПУ, 2012. – 100 с.
9. Механотроника. СТО ДИВГ-057-2016. Защита генераторов, работающих на сборные шины. Расчет уставок. Методические указания. СПб, 2016. – 74 с.

					ФЮРА.СТО ТПУ 2.5.01-2006		
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>	Список используемых источников		
<i>Разраб.</i>		<i>С.К. Щеблыкин</i>					
<i>Руков.</i>		<i>В.А. Корнев</i>					
<i>Н.контр.</i>		<i>В.А. Корнев</i>					
					<i>Лит.</i>	<i>Лист</i>	<i>Листов</i>
					90	90	90
					НИ ТПУИНЭО ⁹⁰ зр. 3-5А3А2		

10. Копьев В.Н. Релейная защита. Принципы выполнения и применения. Учебное пособие. -Томск; Изд. ТПУ, 2001.-132 с.
11. Шнеерсон Э.М. Цифровая релейная защита. М.: Энергоатомизда 2007 - 549с.
12. В. И. Готман. Электромагнитные переходные процессы в электроэнергетических системах. – Томск: изд. ТПУ, 2013. – 117 с
13. Коршунова Л.А., Кузьмина Н.Г. Техничко-экономическое обоснование инновационного проекта. Методические указания по выполнению экономического раздела ВКР для студентов энергетических специальностей всех форм обучения. – Томск: изд. ТПУ, 2012. – 42 с
14. Межотраслевые правила по охране труда (правила безопасности) при эксплуатации электроустановок, 2002
15. Электрическая часть электростанций /Под ред. С. В. Усова., 1987.
16. Грибов, В.Д. Экономика организации (предприятия).: учеб. пособие/ В.Д. Грибов, В.П. Грузинов, В.А. Кузьменко.
17. Неклепаев, Б.Н., Крючков, И.П. Электрическая часть станций и подстанций. Справочные материалы для курсового и дипломного проектирования: Учеб. пособие для вузов. – 4-е изд. перераб. и доп. – М: «Энергоатомиздат», 1989. – 608 с.
18. Басова Т.Ф., Борисов Е.И., Бологова В.В. Экономика и управление энергетическими предприятиями. Учебник для студентов высших учебных заведений. – М.: Издательский центр «Академия», 2004. – 432с., ил.
19. СанПиН2.2.4.548-96 – Санитарные правила и нормы. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений. – М.: Минздрав России, 1997.
20. ГОСТ 12.1.002 – 84 Межгосударственный стандарт. Система стандартов безопасности труда. Электрические поля промышленной частоты. М.: Издательство стандартов, ПЕРЕИЗДАНИЕ 1999. – 26с.

21. Назаренко О.Б. Безопасность жизнедеятельности. Расчет искусственного освещения. Методические указания к выполнению индивидуальных заданий для студентов дневного и заочного обучения всех специальностей. – Томск: Издательство ТПУ, 2005. – 12с.
22. Правила технической эксплуатации электрических станций и сетей Российской Федерации. – Новосибирск: Норматика, 2013. – 143с.
23. Рожкова Л.Д., Козулин В.С. Электрооборудование станций и подстанций. – М.: Энергоатомиздат, 1987. – 648с.,ил.
24. Руководящие указания по релейной защите. Выпуск 1. "Защита генераторов, работающих на сборные шины." – М.: «Госэнергоиздат», 1961, – 68 с. черт. и табл.
25. РД 153-34.0-20.527-98 Руководящие указания по расчету токов короткого замыкания и выбору электрооборудования. Введ. 1998-03-23.