

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации

Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования
«Комсомольский-на-Амуре государственный университет»

На правах рукописи

Карпов Никита Алексеевич

**Совершенствование релейной защиты специального
трансформатора для энергоснабжения объектов**

Направление подготовки

13.04.02 «Электроэнергетика и электротехника»

АВТОРЕФЕРАТ

МАГИСТЕРСКОЙ ДИССЕРТАЦИИ

2023

Работа выполнена в ФГБОУ ВО «Комсомольский-на-Амуре
государственный университет»

Научный руководитель:

Сериков Александр Владимирович, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Электромеханика» ФГБОУ ВО «КНАГУ»

Рецензент:

Киница Олег Игоревич, кандидат технических наук, начальник отдела подбора и обучения персонала ПАО «Амурский судостроительный завод»

Защита состоится «03» марта 2023 года в 10 часов 00 мин на заседании государственной экзаменационной комиссии по направлению подготовки 13.04.02 «Электроэнергетика и электротехника» в Комсомольском-на-Амуре государственном университете по адресу: 681913, г. Комсомольск-на-Амуре, пр. Ленина, 27, ауд. 203/3.

Секретарь ГЭК

Мельникова Н.Н.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы.

Силовые трансформаторы являются основными элементами систем электроснабжения и используются во всех отраслях экономики, включая промышленность, жилищно-коммунальное и сельское хозяйство, отдельные учреждения, организации, фирмы. Надежность электроснабжения различных потребителей и экономичность работы электрооборудования во многом определяются правильным выбором вида и мощности трансформаторов.

Поскольку трансформаторы являются системообразующими элементами и по своим техническим и конструктивным параметрам не подлежат частой замене, т. е. аварийный выход трансформатора из строя ставит под угрозу нормальное функционирование объекта, существует необходимость некоторой интуитивной (техноценологической) оценки принимаемого решения по выбору конкретного трансформатора.

Стандартные подходы построения релейной защиты в недостаточной мере учитывают особенности работы специального трансформатора для электро-и теплоснабжения объекта

Современные силовые трансформаторы имеют высокий коэффициент полезного действия (КПД), причем с повышением номинальной мощности КПД выше. Так КПД трансформатора мощностью 100 кВ·А составляет 98,7 %, а КПД трансформатора мощностью 10 МВ·А – 99,3 % [21, 13]. Несмотря на высокий КПД, потери холостого хода и короткого замыкания мощных трансформаторов достигают значительных величин. Для трансформатора мощностью 10 МВ·А эти потери составляют 12 и 60 кВт, соответственно. Все потери с помощью жидкого теплоносителя (обычно трансформаторного масла) отводятся от сердечника магнитопровода и обмоток через стенки бака, охлаждающие трубы или радиаторы в окружающую среду. Существующие системы охлаждения силовых трансформаторов могут использовать принцип естественного охлаждения (естественной конвекции трансформаторного масла и охлаждающего воздуха), а также принудительной циркуля-

ции трансформаторного масла с помощью циркуляционного насоса и (или) воздушного потока через радиаторы с помощью вентиляторов

Объект и предмет исследования. Объектом исследования является специальный трансформатор с нагревательным блоком. Предметом исследования являются релейные защиты специального трансформатора.

Цели и задачи.

Целью диссертации является совершенствование релейной защиты специального трансформатора для энергоснабжения объекта, для этого необходимо выполнить следующие задачи:

1. Рассмотреть особенности процессов специального силового трансформатора.
2. Исследовать особенности дифференциальной защиты специально силового трансформатора с нагревательным блоком.
3. Разработать имитационную модель для изучения дифференциальной защиты специального трансформатора в энергоснабжения объектов.

Научная новизна.

Научная новизна заключается в разработке имитационной модели для исследования особенностей работы дифференциальной защиты специального трансформатора с учетом его конструктивной особенности и особенности работы.

Практическая ценность работы заключается:

В повышении точности защиты специального силового трансформатора, уменьшение технических простоев на объекте.

Методы исследований.

В качестве решения поставленных задач был выбран метод:

1. Разработка имитационной модели в среде MatLab.

К защите предоставляются следующие основные положения:

1. Имитационные модели дифференциальной защиты специального трансформатора.
2. Результаты моделирования дифференциальной защиты специального трансформатора.

Публикации по теме диссертации. Основные содержания диссертационной работы опубликованы в материалах 4-ой Всероссийской национальной конференции молодых ученых и в сборнике научных трудов Всероссийской научно-технической конференции с международным участием, посвященной 60-летию кафедры "Системы электроснабжения" и 100-летию плана ГОЭЛРО.

Апробация результатов. Результаты исследований, включённые в работу, докладывались:

- на 4-ой Всероссийской национальной научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых «Молодежь и наука: актуальные проблемы фундаментальных и прикладных исследований», ФГБОУ ВО «КнАГУ», 2021 год.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы из 25 наименований. Работа изложена на 80 страницах, содержит 38 рисунков.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

В введении обоснована актуальность темы диссертационной работы, дана характеристика научной проблемы, сформулированы цели и задачи, показана научная новизна, апробация выполненных исследований.

В первой главе рассмотрена конструкция специального трансформатора и нагревательного блока.

В масляных трансформаторах основной защитой от внутренних повреждений является газовая защита. Кроме этого, трансформаторы оборудуются дифференциальной защитой. Особенностью этой защиты является то, что со стороны обмоток высокого и низкого напряжений контролируются величины протекающих токов. При отсутствии внутренних повреждений с учетом коэффициента трансформации эти токи практически одинаковы. Разность в значениях токов появляется в следствии внутренних повреждений изоляции обмоток и последующего замыкания. Продольная дифференциальная защита реагирует на эту разность. В специальном трансформаторе с нагревательным блоком токи обмоток во включенном состоянии нагревательного блока разные, поэтому классическая продольная диф-

дифференциальная защита будет срабатывать в нормальном режиме работы трансформатора, и без модернизации такую защиту нельзя использовать.

Для повышения энергоэффективности силовых трансформаторов и уменьшения тепловых потерь, предложено включить в конструкцию силового масляного трансформатора нагревательный блок, который состыковывается с системой отопления рядом расположенных производственных, бытовых или служебных помещений.

На рисунке 1 представлена активная часть специального трансформатора с блоком нагрева жидкости и его составляющие элементы.

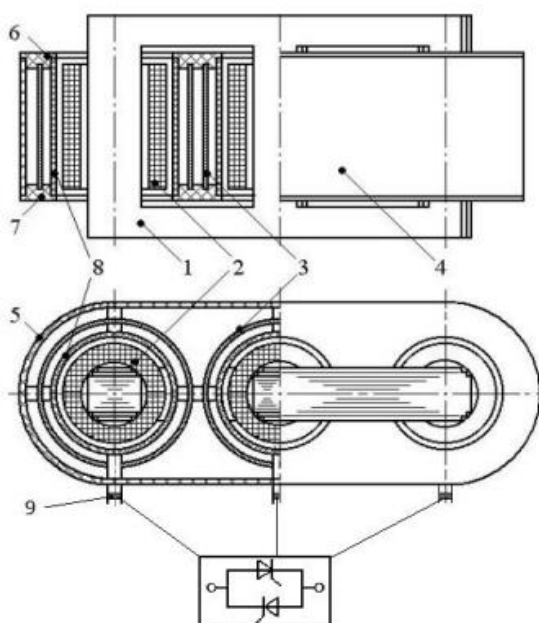


Рисунок 1 – Активная часть трансформатора с блоком нагрева жидкости

Основными повреждениями в силовых трансформаторах являются межфазные короткие замыкания в обмотках и на их выводах, однофазные замыкания на землю и между витками одной фазы, нарушение изоляции между листами магнитопровода, что приводит к внутренним повреждениям, увеличению потерь на переманчивание и вихревые токи. В связи с этим и в соответствии с требованиями «Правил устройства электроустановок» (ПУЭ) трансформаторы снабжаются релейной и другими типами защит.

В конструкцию трансформаторов входят следующие составные части:

1 Корпус;

2 Активная часть (остов, обмотки, изоляция, отводы, переключающее устройство);

3 Вводы ВН и НН;

4 Контрольно-измерительная и защитная аппаратура.

Корпус трансформатора представляет собой металлическую сварную конструкцию прямоугольной формы, состоящую из бака и крышки. Наружная поверхность корпуса трансформатора окрашена порошковой краской светлого цвета. Соединение крышки и бака в разъеме – болтовое. Уплотнение разъема – прокладка из маслобензостойкой резины. Бак распределительного трансформатора состоит из верхней рамы, гофрированных стенок и дна. К дну приварены опорные швеллера. Гофрированные баки трансформаторов полностью безопасны и имеют высокую надежность. На боковой стенке дна бака предусмотрен вентиль для слива масла и два контакта заземления.

На рисунке 2 представлена техническая схема трансформатора и его составных частей

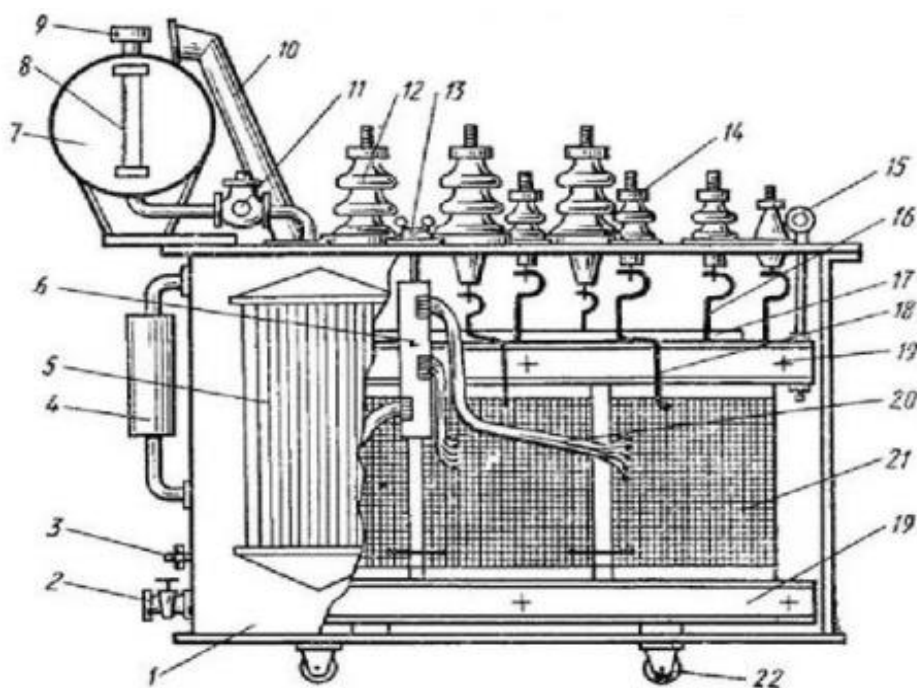


Рисунок 2 – Составные части трансформатора

Конструкции трубчатых обмоток с бифиляром, намотанным вокруг стержней трех фаз, и обмоток с пассивным витком имеют относительно большие радиусы изгибов и относительно малое электромагнитное рассеяние. Минимальным рассеянием обладает обмотка с бифиляром, расположенным вокруг стержней трех фаз (рисунок 3).

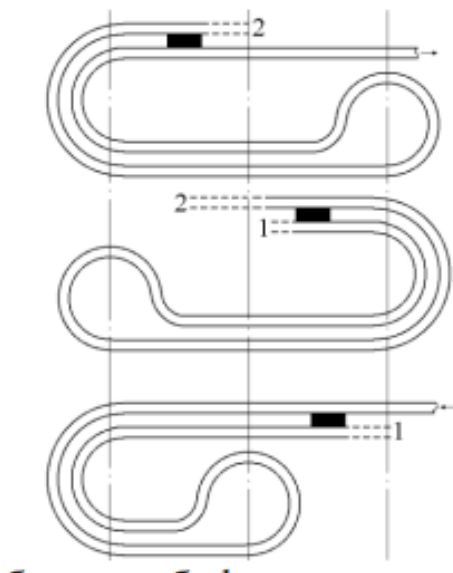


Рисунок 3 - Трубчатая вторичная обмотка с бифиляром, расположенная вокруг стержней трех фаз

Эта обмотка также позволяет изменять в определенных пределах эквивалентную длину витка изменением местоположения сварного шва.

Во второй главе рассмотрена релейная защита специального трансформатора и ее особенности.

В современных энергетических системах значение релейной защиты особенно возрастает в связи с бурным ростом мощности энергосистем, объединением их в единые электрически связанные системы в пределах нескольких областей, всей страны, и даже нескольких государств.

К релейной защите предъявляются следующие основные требования:

- селективности: релейная защита должна определять поврежденный элемент и подавать команду на локализацию (отключение) этого элемента выключателями, ближайшими к месту повреждения;

- быстродействия: быстрое отключение коротких замыканий позволяет уменьшить размер повреждения оборудования за счет термического и динамического действия токов;

- надежности: защита должна обладать аппаратной и функциональной надежностью;

- резервирования: релейная защита объекта в случае отказа основных защит или защит смежных присоединений должна обеспечивать ликвидацию коротких замыканий;

- чувствительности: защита должна четко фиксировать все виды повреждений, предусмотренные алгоритмом ее функционирования.

Для защиты понижающих трансформаторов от повреждений и ненормальных режимов применяются следующие основные типы релейной защиты:

- 1 Продольная дифференциальная защита;
- 2 токовая отсечка без выдержки времени.
- 3 газовая защита
- 4 Максимальная токовая защита
- 5 Специальная токовая защита нулевой последовательности,
- 6 Максимальная токовая защита в одной фазе,

В третьей главе рассмотрены вопросы электромагнитного расчета специального трансформатора для энергоснабжения объектов. Так как конструкция предлагаемого трансформатора имеет много общего с конструкцией силового трансформатора, то за основу взята известная методика расчета Тихомирова.

Расчет состоит из:

1. Расчет обмоток.
2. Расчет параметров короткого замыкания.
3. Тепловой расчет трансформатора.

Особенностью является расчет нагревательного блока. Результаты расчета необходимы для настройки параметров имитационной модели.

В четвертой главе разработана имитационная модель дифференциальной защиты специального трансформатора и рассмотрены ее результаты.

Всё основное оборудование электроэнергетических систем (ЭЭС) взаимосвязано единым процессом производства, передачи, распределения и потребления электроэнергии. При этом к наиболее дорогостоящего оборудования относят силовые трансформаторы и автотрансформаторы. Выход из строя которых связаны со значительным технологическим и экономическим ущербом. Минимизировать эти последствия позволяет правильное действие релейной защиты и прежде всего основной – дифференциальной защиты трансформаторов. Исходя из вышесказанного, настройка ДЗТ, является актуальной, однако, с учетом общеизвестной специфики и сложности ЭЭС, крайне сложной задачей. Решение обозначенной проблемы невозможно без использования имитационной модели, учитывающих ключевые особенности самих защит и измерительных преобразователей.

Выбирать тип ГПП необходимо в зависимости от климатических условий района расположения подстанции. Так, для районов Крайнего Севера (Печера, Инта и т.д.) приемлемы ЗРУ напряжением 35-110/6 (10) кВ и ЗРУ-6 (10) кВ, для остальных районов – распределительные устройства напряжением 35 кВ и выше сооружаются открытыми. РУ-6 (10) кВ при наличии КРУН в исполнении, соответствующем условиям, должны быть открытыми, а при отсутствии необходимого электрооборудования РУ-6 (10) кВ – закрытыми.

Основная имитационная модель дифференциальной защиты специального трансформатора состоит из:

- 1) Источника питания;
- 2) Высоковольтные выключатели;
- 3) Трансформаторы тока;
- 4) Нагрузка;
- 5) Блок дифференциальной защиты;

Основным источником питания данного трансформатора является ГПП.

На рисунке 4 представлена имитационная модель с дифференциальной защитой специального трансформатора.

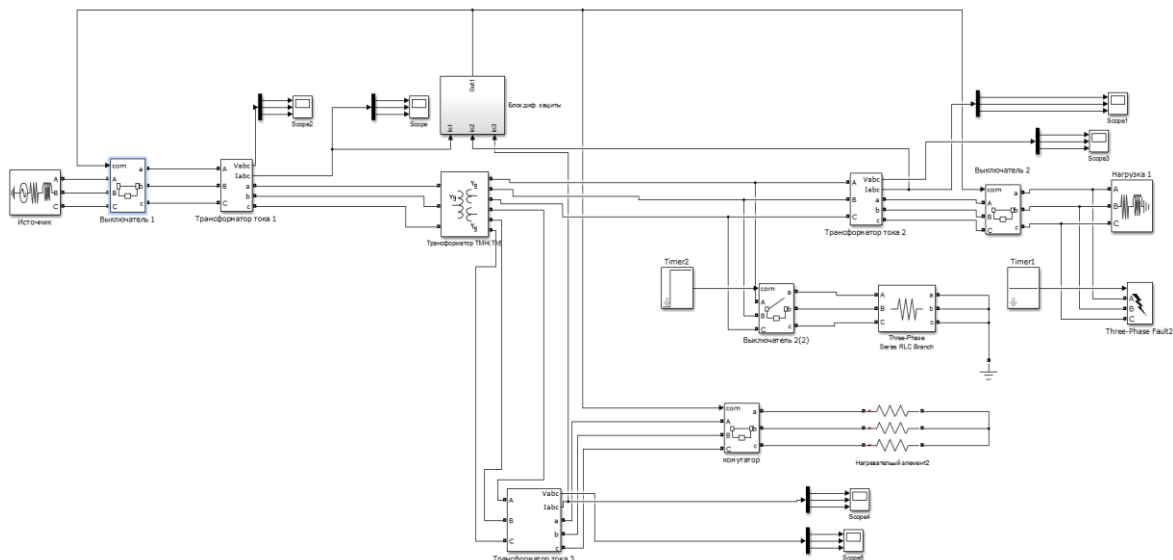


Рисунок 4 – Модель дифференциальной защиты специального трансформатора на базе силового трансформатора ТМН(ТМ)

На рисунке 5 представлен модель нагревательный блок.

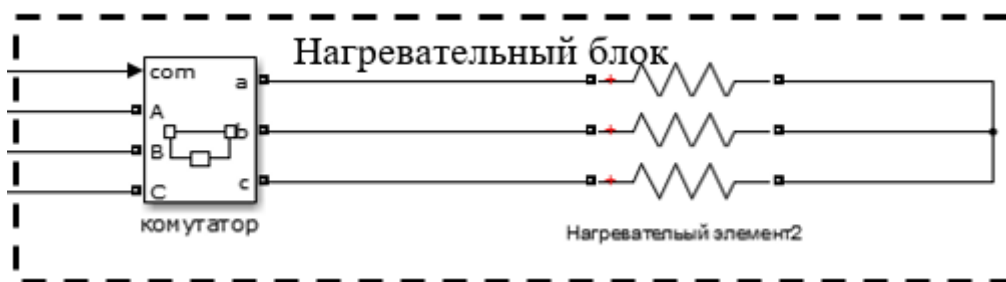


Рисунок 5 – Модель нагревательный блок

Нагревательный блок состоит из коммутирующего устройства (тиристор) и сопротивлений, рассчитанных под нагревательный блок мощностью в 100 кВт.

В качестве примера для имитационной модели был выбран выключатель ВМК (выключатель маломасляный колонковый) выпускающийся на напряжение 35—220 кВ. Дугогасительное устройство прикреплено к верхнему фланцу, контактные стержни проходят в него снизу-вверх. Управление выключателем осуществляется встроенным пневматическим приводом, расположенным у основания.

Опорный измерительный трансформатор тока внутренней установки с классом изоляции 35 кВ. Обеспечивает передачу сигнала измерительной информации приборам измерения, устройствам защиты, сигнализации, автоматики и управле-

ния. Предназначен для использования в цепях коммерческого и технического учета электроэнергии в электрических установках переменного тока на соответствующий класс напряжения. Изготавливается в 2-х вариантах, отличающихся длиной корпуса.

В промышленности чаще всего используются трехфазные асинхронные электродвигатели 500 кВт с замкнутым ротором. Предназначены они для вращения механизмов, которые не требуют регулирования частоты вращения осевого вала (насосы, вентиляторы и др.). Вес электродвигателя может достигать 10 тонн.

На рисунке 6 представлен Блок аварийного режима, который моделирует нагрузку при витковых замыканиях.

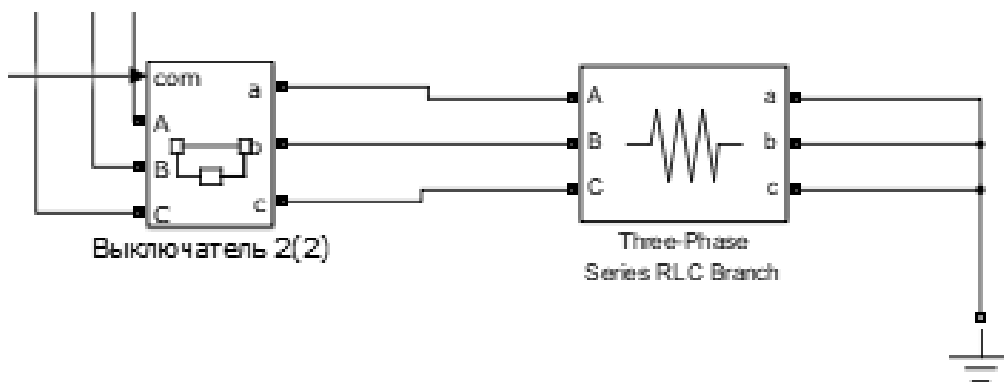


Рисунок 6 – Блок аварийного режима

Дифференциальная защита была смоделирована в блоке подсистемы (Subsystem) через логические операторы. Блок подсистемы представлен на рисунке 7.

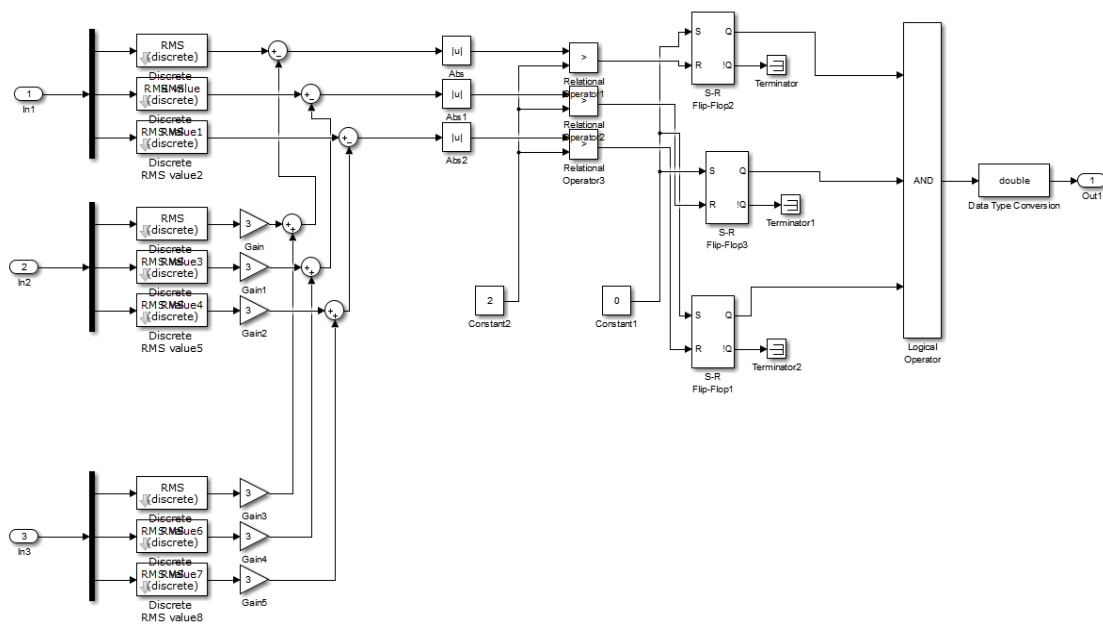


Рисунок 7 – Блок дифференциальной защиты

В блок подсистемы (Subsystem) с измерителями тока и напряжения (Three-Phase V-I Measurement) приходят три сигнала тока с разных сторон трансформатора. При обнаружении разности токов на высокой и низкой сторонах проходит анализ, заданный в блоке subsystem.

Результаты имитационной модели при моделировании короткого замыкания за пределами защиты, в зоне действия защиты. Так же было смоделировано изменение напряжения (увеличение) путем добавления в имитационную модель дополнительной нагрузки (Блок аварийного режима).

На рисунках 8, 9, 10 представлены графики зависимости тока от времени для каждой фазы при разных режимах.

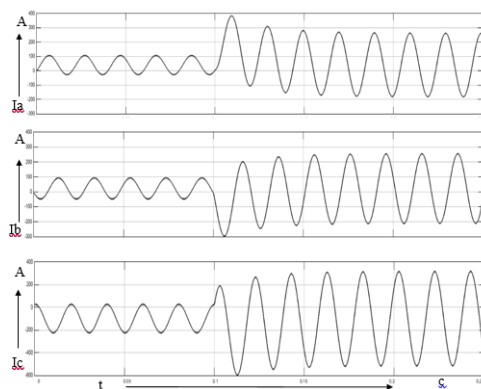


Рисунок 8 - График зависимости тока на стороне ВН при изменении нагрузки

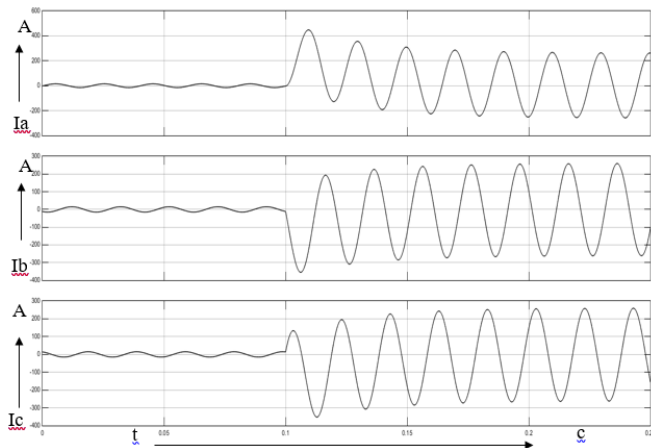


Рисунок 9 - График зависимости тока на стороне ВН при КЗ за пределами зоны защиты

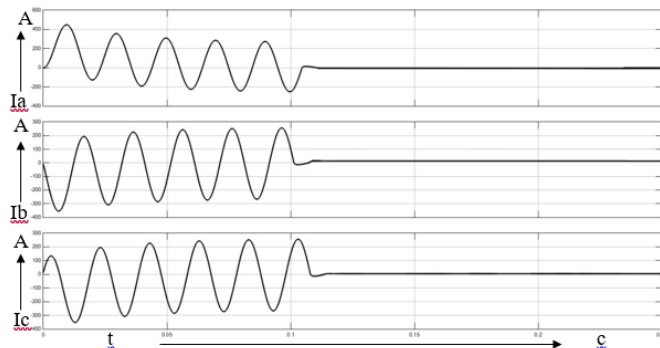


Рисунок 10 - График зависимости тока на стороне ВН при КЗ за пределами зоны защиты

Из всех представленных графиков видно, что разработанная имитационная модель дифференциальной защиты специального трансформатора удовлетворяет требованиям релейной защиты.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ВЫВОДЫ

В диссертационной работе рассмотрена конструкция специального трансформатора для энергоснабжения объектов. Выявлены аварийные режимы при работе рассматриваемого устройства и средства защиты от этих режимов. Сформулирована проблема для реализации дифференциальной защиты. Разработаны алгоритм и имитационная модель дифференциальной защиты специального трансформатора.

Основные результаты диссертационной работы заключаются в следующем:

1. Рассмотрены особенности процессов специального силового трансформатора.
2. Исследованы особенности дифференциальной защиты специально силового трансформатора с нагревательным блоком.
3. Разработана имитационная модель для изучения дифференциальной защиты специального трансформатора в энергоснабжении объектов.

ОСНОВНЫЕ ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

1 Карпов Н.А. Совершенствование конструкции и повышение энергосберегающих свойств силового масляного трансформатора. / Н.А. Карпов, И.И Беленко, В.В. Иванов, А.В. Сериков // Электроэнергетические комплексы и системы: история, опыт, перспектива: Сборник научных трудов Всероссийской научно-технической конференции с международным участием, посвященной 60-летию кафедры "Системы электроснабжения" и 100-летию плана ГОЭЛРО Хабаровск : ФГБОУ ВО «ДВГУПС», 2020. – С. 53-56.

2 Карпов, Н.А. Релейная защита специального трансформатора для энергоснабжения объектов. / Н.А. Карпов, А.В Сериков // Молодежь и наука: Актуальные проблемы фундаментальных и прикладных исследований: Материалы IV Всероссийской национальной конференции молодых ученых, Комсомольск-на-Амуре : ФГБОУ ВО «КНАГУ», 2021.-Ч. 2. – С. 143-145.