

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

Институт Энергетический
Направление подготовки 13.03.02 Электроэнергетика и электротехника
Кафедра Электрические сети и электротехника

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы
Разработка технологии адаптивной идентификации сигналов для оценки технического состояния турбогенераторов

УДК 621.313.322-81

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5А2Г	Васильева Юлия Захаровна		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент кафедры Электрические сети и электротехника	Бацева Наталья Ленмировна	к.т.н., доцент		

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент кафедры Менеджмент	Е.А. Грахова			

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент кафедры Экология и безопасность жизнедеятельности	Ю.А. Амелькович	к.т.н., доцент		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Зав. кафедрой	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Электрические сети и электротехника	А.В. Прохоров	к.т.н.		

Томск 2016 г.

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

Институт Энергетический
Направление подготовки 13.03.02 Электроэнергетика и электротехника
Кафедра Электрические сети и электротехника

УТВЕРЖДАЮ:
Зав. кафедрой ЭСиЭ

_____ А.В. Прохоров
(Подпись) (Дата)

ЗАДАНИЕ
на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

бакалаврской выпускной квалификационной работы

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

Студенту:

Группа	ФИО
5А2Г	Васильева Юлия Захаровна

Тема работы:

Разработка технологии адаптивной идентификации сигналов для оценки технического состояния турбогенераторов

Утверждена приказом

Дата 27.04.2016 №3266/с

Срок сдачи студентом выполненной работы:

Дата 02.06.2016

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе	Технические характеристики синхронного генератора ГАБ-4-Т/230: коэффициент мощности 0,8; номинальное напряжение 230 В; номинальный ток 12,5 А; ток ротора 7,3 А; W_f 225 витков.
Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов	<ol style="list-style-type: none">1. Анализ статистики и причин возникновения виткового замыкания в обмотках ротора синхронного генератора. Сбор сведений о методах идентификации.2. Создание математической модели синхронного генератора при витковых замыканиях в обмотках ротора в MatLab.3. Экспериментальные исследования модели синхронного генератора в лабораторных условиях.4. Сравнительный анализ результатов.5. Проведение SWOT-анализа исследования, расчет бюджета проекта.

	6. Изучение охраны безопасности персонала на рабочих местах, анализ воздействий станции на окружающую среду.
Перечень графического материала <i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i>	Нет
Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы	
Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Ассистент кафедры Менеджмент Е.А. Грахова
Социальная ответственность	Доцент кафедры Экология и безопасность жизнедеятельности Ю.А. Амелькович

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	08.02.2016 г.
---	---------------

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент кафедры Электрические сети и электротехника	Бацева Наталья Ленмировна	к.т.н., доцент		08.02.2016 г.

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5А2Г	Васильева Юлия Захаровна		08.02.2016 г.

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

Студенту:

Группа	ФИО
5А2Г	Васильева Юлия Захаровна

Институт	Энергетический	Кафедра	Электрические сети и электротехника
Уровень образования	Бакалавриат	Направление	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	При проведении исследования используется база лабораторий ЭНИИ ТПУ; в исследовании задействованы 2 человека: студент-исполнитель и научный руководитель.
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов	ГОСТ 14.322-83 Нормирование расхода материала. Основные положения; ГОСТ 51541-99 Энергосбережение. Энергетическая эффективность. Состав показателей. Общие положения.
3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования	Отчисления по страховым взносам составляют 30% от ФОТ

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения	Технико-экономическое обоснование НИИ, SWOT-анализ исследования
2. Разработка устава научно-технического проекта	Проект выполнен в рамках выпускной квалификационной работы, разработка устава не требуется
3. Планирование процесса управления НИИ: структура и график проведения, бюджет, риски и организация закупок	Организация и планирование научно-исследовательских работ Разработка календарного плана. Расчет бюджета проекта
4. Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования	Определение научно-технического уровня проекта

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

1. SWOT-анализ
2. Диаграмма Ганта
3. Бюджет проекта
4. Оценка научно-технического уровня проекта

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

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент кафедры МЕН	Грахова Елена Александровна			26.02.2016

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5А2Г	Васильева Юлия Захаровна		26.02.2016

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
5А2Г	Васильева Юлия Захаровна

Институт	Энергетический	Кафедра	Электрические сети и электротехника
Уровень образования	Бакалавриат	Направление	13.03.02 Электроэнергетика и электротехника

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

1. Описание рабочего места	<ul style="list-style-type: none"> – вредные проявления факторов производственной среды (метеоусловия, сильные электромагнитные поля, повышенный уровень шума на рабочем месте, освещение); – опасные проявления факторов производственной среды (наличие вращающихся и движущихся частей механизмов и машин; опасные уровни напряжения в электрических цепях; наличие легковоспламеняющихся жидкостей); <p><i>чрезвычайные ситуации (техногенного, стихийного, экологического и социального характера)</i></p>
2. Знакомство и отбор законодательных и нормативных документов по теме	<p><i>ПУЭ, СанПиН 2.2.4.548 – 96, ГОСТ 12.1.003 - 89 ССБТ, СН 2.2.4/2.1.8.562 – 96, СНиП 41-01-2003, СНиП 23-05-2010, ГОСТ 12.1.019 – 90, ГОСТ 12.4.011 – 89, ГОСТ 12.2.062 – 81, НПБ 105-03, ГОСТ 12.1.004 – 95 ССБТ, СНиП 21-01 – 97, ГОСТ Р 12.4.026-2001, ГОСТ 12.1.005 – 88.</i></p>

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Анализ выявленных вредных факторов проектируемой производственной среды	<ul style="list-style-type: none"> – физико-химическая природа вредности, её связь с разрабатываемой темой; – действие фактора на организм человека; – приведение допустимых норм с необходимой размерностью (со ссылкой на соответствующий нормативно-технический документ); – предлагаемые средства защиты (сначала коллективной защиты, затем – индивидуальные защитные средства)
2. Анализ выявленных опасных факторов проектируемой производственной среды в следующей последовательности	<ul style="list-style-type: none"> – электробезопасность (в т.ч. статическое электричество, молниезащита – источники, средства защиты); – пожаробезопасность (причины, профилактические мероприятия, первичные средства пожаротушения)
3. Охрана окружающей среды	<ul style="list-style-type: none"> – анализ воздействия объекта на атмосферу (выбросы); – анализ воздействия объекта на литосферу (отходы);
4. Защита в чрезвычайных ситуациях	<ul style="list-style-type: none"> – перечень возможных ЧС на объекте; – выбор наиболее типичной ЧС; – разработка превентивных мер по предупреждению ЧС; – разработка мер по повышению устойчивости объекта к данной ЧС;

	– разработка действий в результате возникшей ЧС и мер по ликвидации её последствий
5. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности	– специальные правовые нормы трудового законодательства; – организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны
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	21.03.2016 г.
---	---------------

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент кафедры Экологии и безопасности жизнедеятельности	Амелькович Юлия Александровна	к.т.н., доцент		21.03.2016

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5А2Г	Васильева Юлия Захаровна		21.03.2016

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

Институт Энергетический
 Направление подготовки 13.03.02 Электроэнергетика и электротехника
 Уровень образования бакалавриат
 Кафедра Электрические сети и электротехника
 Период выполнения _____ весенний семестр 2015/2016 учебного года

Форма представления работы:

Бакалаврская выпускная квалификационная работа

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

Срок сдачи студентом выполненной работы:	02.06.2016
--	------------

Дата контроля	Название раздела/ вид работы	Максимальный балл раздела
01.03.2016	1. Статистика и причины возникновения виткового замыкания в обмотках ротора синхронного генератора	15
18.03.2016	2. Математическое описание синхронного генератора	10
02.04.2016	3. Реализация модели в Matlab	28
22.04.2016	4. Идентификации нестационарных сигналов	11
10.05.2016	5. Экспериментальное исследование моделей и алгоритмов идентификации	21
25.05.2016	6. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	8
29.05.2016	7. Социальная ответственность	7
	Итого	100

Составил преподаватель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент кафедры Электрические сети и электротехника	Бацева Наталья Ленмировна	к.т.н., доцент		

СОГЛАСОВАНО:

Зав. кафедрой	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Электрические сети и электротехника	А.В. Прохоров	к.т.н.		

Результаты обучения
профессиональные и общекультурные компетенции
по основной образовательной программе подготовки бакалавров
13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника»,
профиль «Электроэнергетические системы и сети»

Код результата	Результат обучения	Требования ФГОС, критериев и/или заинтересованных сторон
<i>Профессиональные</i>		
Р 1	Применять соответствующие гуманитарные, социально-экономические, математические, естественно-научные и инженерные знания, компьютерные технологии для решения задач расчета и анализа электроэнергетических систем и электрических сетей.	Требования ФГОС (ОК-1, ОК-2, ОК-3, ОК-4, ОПК-2, ОПК-3), <i>CDIO Syllabus</i> (1.1), Критерий 5 АИОР (п. 1.1), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
Р 2	Уметь формулировать задачи в области электроэнергетических систем и сетей, анализировать и решать их с использованием всех требуемых и доступных ресурсов.	Требования ФГОС (ОПК-1, ОПК-2, ОПК-3), <i>CDIO Syllabus</i> (2.1), Критерий 5 АИОР (п. 1.2), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
Р 3	Уметь проектировать электроэнергетические системы и электрические сети.	Требования ФГОС (ОК-3, ПК-3, ПК-4, ПК-9), <i>CDIO Syllabus</i> (4.4), Критерий 5 АИОР (п. 1.3), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
Р 4	Уметь планировать и проводить необходимые экспериментальные исследования, связанные с определением параметров, характеристик и состояния электрооборудования, объектов электрических сетей энергосистем, а также энергосистемы в целом, интерпретировать данные и делать выводы.	Требования ФГОС (ОПК-2, ОПК-3, ПК-1, ПК-2, ПК-5, ПК-12, ПК-14, ПК-15), <i>CDIO Syllabus</i> (2.2), Критерий 5 АИОР (п. 1.4), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
Р 5	Применять современные методы и инструменты практической инженерной деятельности при решении задач в области электроэнергетических систем и электрических сетей.	Требования ФГОС (ОПК-2, ПК-11, ПК-13, ПК-18), <i>CDIO Syllabus</i> (4.5), Критерий 5 АИОР (п. 1.5), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
Р 6	Иметь практические знания принципов и технологий электроэнергетической отрасли, связанных с особенностью проблем, объектов и видов профессиональной деятельности профиля подготовки на предприятиях и в организациях – потенциальных работодателях.	Требования ФГОС (ПК-4, ПК-5, ПК-6, ПК-7, ПК-8, ПК-9, ПК-16, ПК-17), <i>CDIO Syllabus</i> (4.6), Критерий 5 АИОР (п. 1.5), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
<i>Универсальные</i>		
Р 7	Использовать знания в области менеджмента для управления комплексной инженерной деятельностью в области электроэнергетических систем.	Требования ФГОС (ПК-20, ПК-19, ПК-21), <i>CDIO Syllabus</i> (4.3, 4.7, 4.8), Критерий 5 АИОР (п. 2.1), согласованный с требованиями

Код результата	Результат обучения	Требования ФГОС, критериев и/или заинтересованных сторон
		международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
Р 8	Использовать навыки устной, письменной речи, в том числе на иностранном языке, компьютерные технологии для коммуникации, презентации, составления отчетов и обмена технической информацией в области электрических сетей энергосистем.	Требования ФГОС (ОК-5, ОПК-1, ПК-2), <i>CDIO Syllabus</i> (3.2, 4.7), Критерий 5 АИОР (п. 2.2), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
Р 9	Эффективно работать индивидуально и в качестве члена или лидера команды, в том числе междисциплинарной, в области электроэнергетических систем и сетей.	Требования ФГОС (ОК-6), <i>CDIO Syllabus</i> (3.1), Критерий 5 АИОР (п. 2.3), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
Р 10	Проявлять личную ответственность и приверженность нормам профессиональной этики и нормам ведения комплексной инженерной деятельности.	Требования ФГОС (ОК-1, ОК-2, ОК-5, ОК-6), <i>CDIO Syllabus</i> (2.5), Критерий 5 АИОР (п. 2.4), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
Р 11	Осуществлять комплексную инженерную деятельность в области электроэнергетических систем и сетей с учетом правовых и культурных аспектов, вопросов охраны здоровья и безопасности жизнедеятельности.	Требования ФГОС (ОК-4, ОК-8, ОК-9, ПК-3, ПК-4, ПК-10), <i>CDIO Syllabus</i> (4.1), Критерий 5 АИОР (п. 2.5), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
Р 12	Быть заинтересованным в непрерывном обучении и совершенствовании своих знаний и качеств в области электроэнергетических систем и сетей.	Требования ФГОС (ОК-7, ОК-8), <i>CDIO Syllabus</i> (2.6), Критерий 5 АИОР (п. 1.4), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа 94 с., 12 рис., 22 табл., 49 литературных источников, приложений 3.

Ключевые слова: синхронный генератор, турбогенератор, диагностика, витковое замыкание, идентификация параметров, математическая модель, нестационарный сигнал, априорная информация, адаптация.

Key words: synchronous generator, turbo generator, diagnostics, turn-to-turn short circuit, parameter identification, mathematical model, a-priori information, non-stationary signal, adaptation.

Объектом исследования является синхронный генератор типа ГАБ-4-Т/230.

Целью работы является разработка и экспериментальные исследования способов идентификации параметров и переменных состояний синхронного генератора.

The aim of this research is developing the mathematical model and then carrying out experiments for the synchronous generator parameter identification and state variables methods.

В процессе исследования выполнен статистический анализ повреждаемости турбогенераторов, а также причин возникновения виткового замыкания в обмотке ротора синхронного генератора. На основе созданной математической модели генератора, созданной в программной среде MatLab, произведен сравнительный анализ результатов имитационного моделирования и лабораторных экспериментов с синхронным генератором типа ГАБ-4-Т/230.

В результате исследования предложена технология адаптивной идентификации, позволяющая определять витковое замыкание в обмотке ротора, как на математической модели, так и на экспериментальной установке.

Область применения: результаты работы могут быть использованы для определения технического состояния синхронных генераторов.

Список принятых сокращений

АД – асинхронный двигатель;

ВЗ – витковое замыкание;

ДПТ НВ – двигатель постоянного тока независимого возбуждения;

ИД - индукционный датчик;

МОРО – метод обратного распространения ошибки;

МП – магнитное поле.

ОСВ – оборудование систем возбуждения;

СГ – синхронный генератор;

СДПМ – синхронный двигатель на постоянных магнитах;

СЛАУ – система линейных алгебраических уравнений;

ФВЧ – фильтр верхних частот;

ФНЧ – фильтр низких частот;

ЩКА – щеточно-контактный аппарат;

ЭДС – электродвижущая сила;

ЭЭ – электроэнергия.

ТЕРМИНЫ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ

Турбогенератор – это синхронный генератор, приводимый во вращение от паровой или газовой турбины [1].

Межвитковое короткое замыкание – это короткое замыкание между разными витками одной катушки или секции обмотки электрической машины, трансформатора или электрического аппарата [2].

Идентификация – совокупность технологий, в которых с помощью электронных средств выявляется уникальная характеристика или уникальная последовательность данных, связанная с материальным объектом, и на основе электронной обработки этой информации производится распознавание объекта [3].

Оглавление

ВВЕДЕНИЕ	15
1 СТАТИСТИКА И ПРИЧИНЫ ВОЗНИКНОВЕНИЯ ВИТКОВОГО ЗАМЫКАНИЯ В ОБМОТКЕ РОТОРА СИНХРОННОГО ГЕНЕРАТОРА	17
1.1 Статистика повреждаемости обмотки ротора и ущерб от недоотпуска электроэнергии	17
1.2 Последствия виткового замыкания	20
1.3 Причины появления витковых замыканий	22
1.4 Методы идентификации	24
2 МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ СИНХРОННОГО ГЕНЕРАТОРА ПРИ ВИТКОВОМ ЗАМЫКАНИИ В ОБМОТКЕ РОТОРА	27
2.1 Математическое описание синхронного генератора	27
2.2 Переход из дифференциальных уравнений в алгебраическую форму	31
2.3 Реализация модели в MatLab	33
3 АДАПТИВНАЯ ИДЕНТИФИКАЦИЯ СИГНАЛОВ СИНХРОННОГО ГЕНЕРАТОРА	37
3.1 Индукционный датчик МП	37
3.2 Идентификации нестационарных сигналов в системах управления и связи	38
3.3 Модели и алгоритмы идентификации нестационарных сигналов	39
3.4 Результаты исследований моделей и алгоритмов идентификации	44
3.5 Заключение по разделу	47
4 ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСО-ЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ	48
4.1 Техничко-экономическое обоснование НТИ	48
4.2 SWOT-анализ проекта	49
4.3 Организация и планирование НТИ	51
4.4 Линейное планирование	52
4.5 Бюджет НТИ	55
4.5.1 Расчет материальных затрат	55
4.5.2 Оплата труда	55
4.5.3 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)	58
4.5.4 Амортизация	59
4.5.5 Накладные расходы	60
4.5.6 Прочие неучтенные расходы	60
4.5.7 Формирование сметы затрат	60
4.6 Оценка научно-технического уровня проекта	61
4.7 Расчет прибыли проекта	62
4.8 Заключение по разделу	62
5 СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ	64
5.1 Производственная безопасность	64
5.1.1 Анализ выявленных вредных и опасных факторов	64
5.1.2 Микроклимат на электростанциях	65
5.1.3 Акустический шум	67
5.1.4 Освещение	68
5.1.5 Электромагнитное поле	69

5.1.6	Электрический ток	70
5.2	Безопасность в чрезвычайных ситуациях	72
5.3	Экологическая безопасность	74
5.4	Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности	75
ЗАКЛЮЧЕНИЕ		76
Список публикаций		78
Список литературных источников		80
Приложение А. Реализация модели в программной среде Matlab		
Приложение Б. Справочные данные экспериментального стенда		
Приложение В. Акт испытаний защитно-диагностического устройства		

ВВЕДЕНИЕ

Основным источником выработки электрической энергии переменной частоты являются синхронные генераторы. В настоящее время около 80% установленных СГ на электростанциях находятся в эксплуатации более 20 лет. В связи с большим сроком службы число повреждений в обмотках ротора СГ резко возрастает. Основным источником таких повреждений являются витковые замыкания [4].

Возникновение виткового замыкания в обмотках ротора вызывает неравномерное распределение механической нагрузки на вал ротора, что в свою очередь становится причиной вибрации всего агрегата с последующими авариями. Поэтому диагностика виткового замыкания приобретает важное значение, т.к. непредвиденное аварийное отключение СГ приводит к значительным материальным затратам вплоть до замены всего генератора.

Следовательно, разработка новых методов выявления труднодиагностируемых дефектов подобного рода в электрических машинах является актуальной технической задачей.

Исследования по данной проблеме проводились в ТПУ в научно-исследовательской лаборатории интеллектуальной системы идентификации, диагностики и управления.

Целью работы является разработка и экспериментальные исследования способов идентификации параметров и переменных состояний электромеханических преобразователей энергии.

Задачи данной работы:

- 1) изучение причины возникновения витковых замыканий в обмотках ротора СГ;
- 2) разработка модели СГ для оценки повреждения обмоток ротора;
- 3) практическое применение метода адаптивной фильтрации для решения задач идентификации.

Объектом исследования является синхронный генератор ГАБ-4-Т/230, в котором производилась имитация виткового замыкания в обмотке ротора.

Научная новизна: исследован метод адаптивной фильтрации с целью надежного выделения диагностического признака дефекта в эксплуатационных режимах работы СГ.

Практическая значимость результатов: созданная в MatLab математическая модель СГ с витковым замыканием в обмотке ротора позволяет получить токи и напряжения в роторе в различных эксплуатационных режимах СГ, на основе которых можно получить изменение индукции МП в различных зонах при возникновении ВЗ. На примере решения задачи диагностики сигналов магнитного поля синхронного генератора показано, что предложенная модель и технология идентификации с учетом априорной информации позволяют надежно определять локальные изменения сигнала с датчика магнитного поля, вызванные замыканием обмотки ротора.

Апробированный метод диагностики виткового замыкания обмоток ротора позволит применять его в лабораториях электрических станций.

Апробация работы: основные положения, использованные в работе, докладывались на международных научных конференциях: "Современные техника и технологии", ТПУ, г. Томск, 2014 г.; "Zpravy vedecke ideje - 2014", Чехия, г. Прага, 2014 г.; "The Third International Conference on Eurasian scientific development", Австрия, г. Вена, 2014 г.; "Технические науки в России и за рубежом", г. Москва, 2015 г.; «Молодежный научный форум: Технические и математические науки», г. Москва, 2015 г.; «CUTTING-EDGE SCIENCE - 2015», г. Шеффилд, 2015 г.; «Электротехника. Электротехнология. Энергетика», НГТУ, г. Новосибирск, 2015 г.; "Интеллектуальные энергосистемы", ТПУ, г. Томск, 2015 г.; «Электроэнергетика глазами молодежи – 2015», ИГЭУ, г. Иваново, 2015 г., а также опубликованы в 17 работах, журналах, таких как "Научное обозрение", "Фундаментальные исследования", "Applied Mechanics and Materials". Предложенный метод диагностики ВЗ в обмотке ротора СГ успешно испытан в филиале АО «Қазақстан темір жолы» в г. Павлодар.

1 СТАТИСТИКА И ПРИЧИНА ВОЗНИКНОВЕНИЯ ВИТКОВОГО ЗАМЫКАНИЯ В ОБМОТКАХ РОТОРА СИНХРОННОГО ГЕНЕРАТОРА

1.1 Статистика повреждаемости обмотки ротора и ущерб от недоотпуска электроэнергии

Согласно статистике об инцидентах и авариях, которые подробно рассмотрены в [4], можно сказать, что основным источником информации о показателях повреждаемости обмотки ротора синхронного генератора являются данные эксплуатации.

В качестве примера использованы данные по 10 турбогенераторам типов ТВВ-800-2Е и ТВВ-800-2, находившимся в эксплуатации на трех электростанциях, по состоянию на 31.12.2015г. За этот период произошло 8 технологических нарушений, в том числе в роторах – 4, на статорах – 2, в щеточно-контактном аппарате – 1, в оборудовании систем возбуждения – 1. Распределение нарушений по узлам и системам турбогенераторов показано на рисунке 1.1.

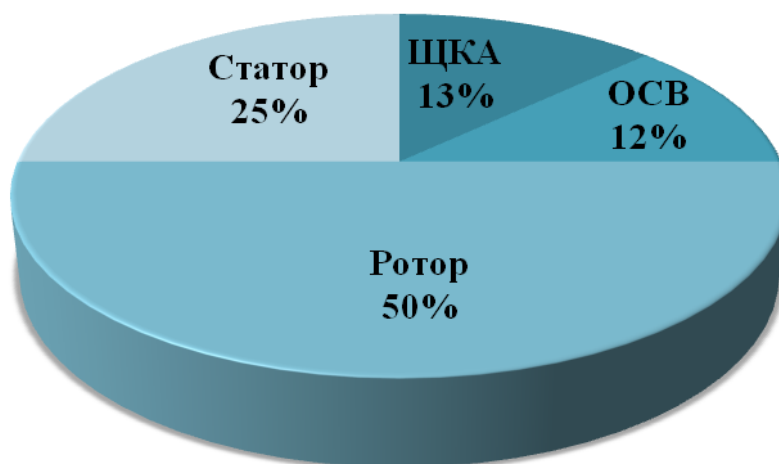


Рисунок 1.1 – Распределение нарушений по узлам и системам ТВВ-800

Из рисунка 1.1 видно, что большинство нарушений приходится на внутренние повреждения ротора. Для оценки ущерба от повреждений в обмотках ротора, вызванных витковым замыканием, проведем расчет на примере турбогенератора типа ТВВ-800.

Выработка электроэнергии за год одним турбогенератором определяется по формуле:

$$W_{\text{год}} = P_{\text{ном}} \cdot T_{\text{экспл.}} \cdot \eta; \quad (1.1)$$

где $P_{\text{ном}} = 800000$ кВт – мощность турбогенератора ТВВ-800;

$T_{\text{экспл.}} = 330 \cdot 24 = 7920$ час. – время эксплуатации турбогенератора за год;

$\eta = 0,8$ – коэффициент загрузки турбогенератора.

Поставляя данные в формулу (1.1)

$$W_{\text{год}} = 800000 \cdot 7920 \cdot 0,8 = 5\,068\,800\,000 \text{ кВт} \cdot \text{ч};$$

Полученное значение показывает, какую большую выработку ЭЭ может дать всего лишь один турбогенератор.

Рассмотрим варианты развития событий при повреждении обмоток ротора:

1) *Обнаружение ВЗ на ранней стадии.* Время на останов и в вывод в текущий ремонт турбогенератора составит трое суток. Ремонт не занимает много времени, т.к. не требует применения сложных технологий (обдувка обмотки ротора компрессором от загрязнения).

2) *Обнаружение ВЗ во время останова или планового ремонта.* В данной ситуации возможна замена изоляции обмоток ротора, что потребует затраты дополнительного времени от 3 до 10 суток.

3) *Если дефект носит затяжной характер и происходит появление микротрещин на шейке ротора в результате несвоевременного обнаружения ВЗ.* В таком случае требуется замена всего ротора. Время на изготовление ротора составит 7 месяцев, а запуск турбогенератора возможен только через 9-9,5 месяцев (в данное время входит изготовление ротора, организационные мероприятия, пуско-наладочные работы и пр.) [5].

Ущерб в каждом случае различен и будет складываться из различных издержек:

$$Y = \sum_{k=1}^N I_k, \quad (1.2)$$

где $У$ – ущерб;

Сумма издержек состоит из:

$I_{НЭЭ}$ – издержки на недоотпуск электроэнергии, млн.руб;

$I_{Тек.рем.}$ – издержки на текущий ремонт, млн.руб;

$I_{Ост}$ – издержки на останов турбогенератора, млн.руб;

$I_{оборуд}$ – издержки на покупку нового оборудования (ротора), млн.руб;

$I_{косв}$ – косвенные расходы, включающие в себе замену масла, млн.руб;

Издержки на недоотпуск электроэнергии рассчитываются по следующей формуле:

$$I_{НЭЭ} = W_{Нед.ЭЭ} \cdot Ц, \quad (1.3)$$

где $W_{Нед.ЭЭ} = P_{Н.Ген} \cdot T_{ост} \cdot \eta$ – недоотпущенная электроэнергия;

$Ц = 2,5$ руб. – стоимость 1 кВт/ч ЭЭ.

Согласно формуле (1.3) издержки на недоотпуск ЭЭ для каждого варианта:

- 1) $I_{НЭЭ} = 800000 \cdot 72 \cdot 0,8 \cdot 2,5 = 115200000 = 115,2$ млн.руб;
- 2) $I_{НЭЭ} = 800000 \cdot 200 \cdot 0,8 \cdot 2,5 = 320000000 = 320$ млн.руб;
- 3) $I_{НЭЭ} = 800000 \cdot 6800 \cdot 0,8 \cdot 2,5 = 10880000000 = 10880$ млн.руб;

По вышесказанным трем вариантам составим сравнительную таблицу ущерба (табл. 1.1.).

Таблица 1.1 – Сравнительная таблица ущерба

Вариант	Кол-во затр. времени, ч.	$I_{НЭЭ}$, млн. руб.	$I_{Тек.рем.}$, млн. руб.	$I_{Ост}$, млн. руб.	$I_{оборуд}$, млн. руб.	$I_{косв}$, млн. руб.	Итого ущерб, млн. руб.
1	72	115,2	0,75	4,5	-	35	155,75
2	200	320	3,75	4,5	-	35	363,25
3	6800	10880	3,75	4,5	1280	35	12223,25

Примечание: Данные издержек взяты укрупнено.

Из таблицы 1.1 видно, что несвоевременное определение повреждений в роторе турбогенератора может нанести огромный ущерб, большая часть которого приходится на недоотпуск ЭЭ.

1.2 Последствия виткового замыкания

Вибрация. Вибрация в двухполюсных роторах происходит из-за неравномерного нагрева поковки ротора. Витковое замыкание может вызвать неравномерное распределение всех витков между полюсами, количество тепла между полюсами становится также неравномерным. Такое неравномерное нагревание искривляет ось ротора и тем самым становится причиной вибрации. Если ротор испытывает вибрацию, то причиной ее возникновения становится неравномерное распределение работающих витков в обмотках.

Рисунок 1.2 отражает одну из причин возникновения вибрации, связанную с искривлением ротора.

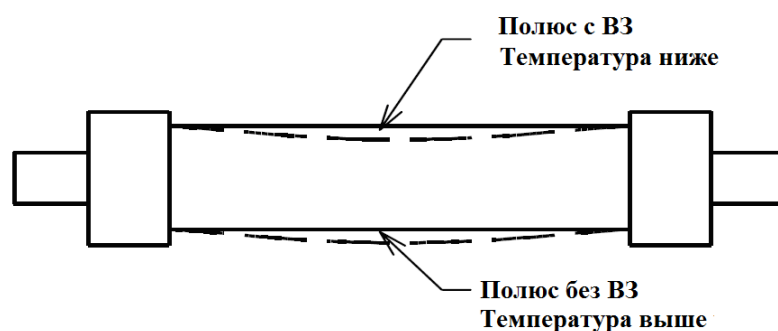


Рисунок 1.2 – Двухполюсный ротор синхронного генератора с ВЗ

Изменение вибрации при увеличении нагрузки является явным признаком присутствия виткового замыкания в обмотке ротора. Увеличение тока возбуждения в обмотке ротора способствует повышению температуры в поковке ротора, тем самым вызывая искривление оси ротора с последующей его вибрацией.

Вибрация в четырехполюсном роторе обусловлена в первую очередь магнитным дисбалансом. В отличие от двухполюсных роторов, где весь

магнитный поток в поковке ротора остается симметричным, четыре полюса не будут поддерживать симметрию при наличии короткозамкнутых витков. Небольшое содержание короткозамкнутых витков приведет к индуцированной вибрации.

Ограниченная работа генератора. Система возбуждения генератора имеет определенную избыточную мощность. Тем не менее, обмотки роторов с многочисленными короткозамкнутыми витками, требуют снижения нагрузки порядка одного МВт/МВАр в год. В случаях, когда требуется снижение нагрузки, при наличии короткозамкнутых витков порядка 5-10% и более, необходима перемотка ротора СГ при первой же возможности.

Увеличение тока возбуждения. Выработка электроэнергии генератора находится в прямой зависимости от количества витков в обмотках ротора. Любое сокращение количества витков в обмотке потребует соответствующего увеличения тока возбуждения в целях поддержания уровня напряжения на статоре. От этого увеличения тока возбуждения зависит стоимость для производителя электроэнергии. Кроме того, увеличение тока возбуждения приведет к повышению температуры изоляции в обмотках ротора.

Повышение температуры в роторе ускоряет процесс разрушения системы изоляции и увеличивает эффект деформации обмоток.

Повреждение стопорного кольца. Одним из самых серьезных состояний, вызываемых витковым замыканием, является повреждение стопорного кольца. В этом случае верхний виток одной обмотки входит в контакт с верхним витком смежной обмотки. В этом случае дуга будет гореть через стопорное кольцо и вызывать дефект в самом стопорном кольце. Конструктивный дефект стопорного кольца является серьезным повреждением, требующим немедленного отключения генератора в связи с опасностью для персонала станции [6-8].

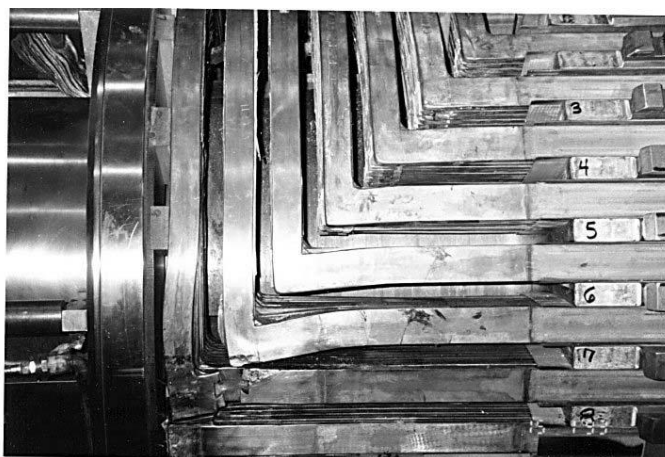


Рисунок 1.3 – Деформация витков в обмотке

Рисунок 1.3 представляет собой фотографию виткового замыкания между витками 6 и 7 [9].

1.3 Причины появления витковых замыканий

Относительное смещение витков может ухудшить изоляционный слой, что в свою очередь может привести к витковому замыканию. Металлическая грязь также может привести к появлению ВЗ, образуя проводящие мостики между витками [5].

Изменение формы обмотки относится к явлению, при котором длина медного витка уменьшается в пазу ротора после ряда случаев нестабильной работы генератора. Медь в пазах ротора расширяется в результате нагрева во время работы генератора.

В результате постоянных температурных изменений внутри обмотки ротора происходит трение между витками за счет изменения длины витка. Если прочность на сжатие обмотки превышена, то медь в пазе может деформироваться. Удлинение стяжки является результатом чрезмерного трения между витками и стопорным кольцом изоляции. Когда ротор разгоняется до нормальной рабочей скорости и температуры, диаметр крепежных колец увеличится.

Проблемой с системой охлаждения роторов СГ является засорение вентиляционных каналов. В роторах СГ медь находится в непосредственном

контакте с воздухом или охлаждающим водородом. Обычно пазы ротора имеют вентиляционные каналы для свободного прохождения охлаждающего водорода или воздуха. При смещении витков в обмотке ротора нарушается нормальное течение охлаждающего газа, что нарушает тепловой баланс СГ, как показано на рисунке 1.4.

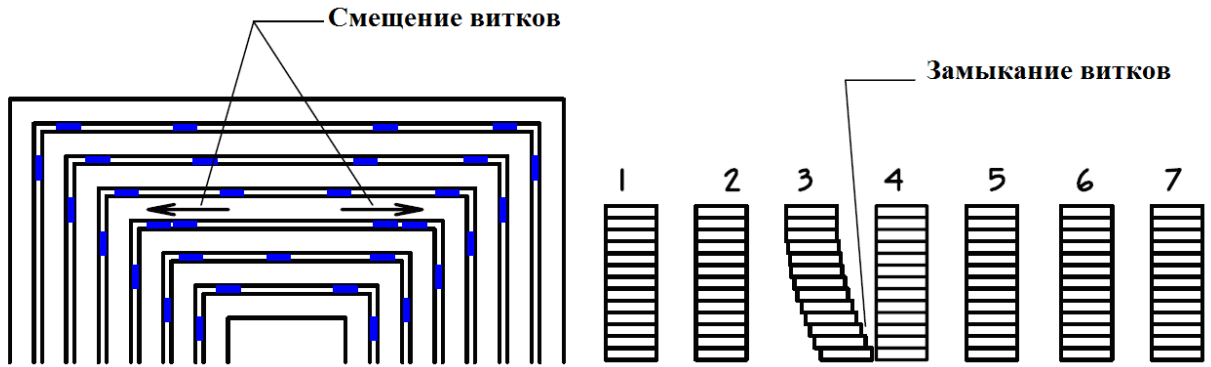


Рисунок 1.4 – Замыкание витков из-за смещения

Еще одной причиной возникновения виткового замыкания является появление влаги внутри обмотки ротора СГ.

На рисунке 1.5 показана упрощенная схема вентиляции СГ. При такой схеме охлаждении между витками возможно скопление грязи и влаги.

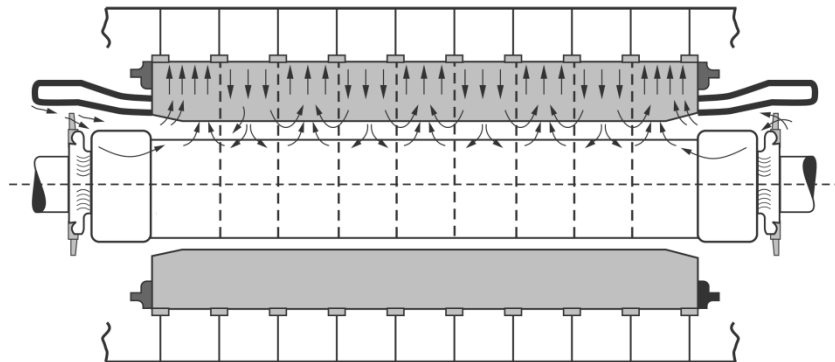


Рисунок 1.5 – Схема вентиляции

Загрязняющие вещества скапливаются на внутренней поверхности изоляции за счет центробежных сил. Влага, содержащаяся в охлаждающем газе, будет поглощать загрязняющие вещества, что в свою очередь может создать проводящий мостик между витками.

На рисунке 1.6 показан эффект загрязнения обмотки.

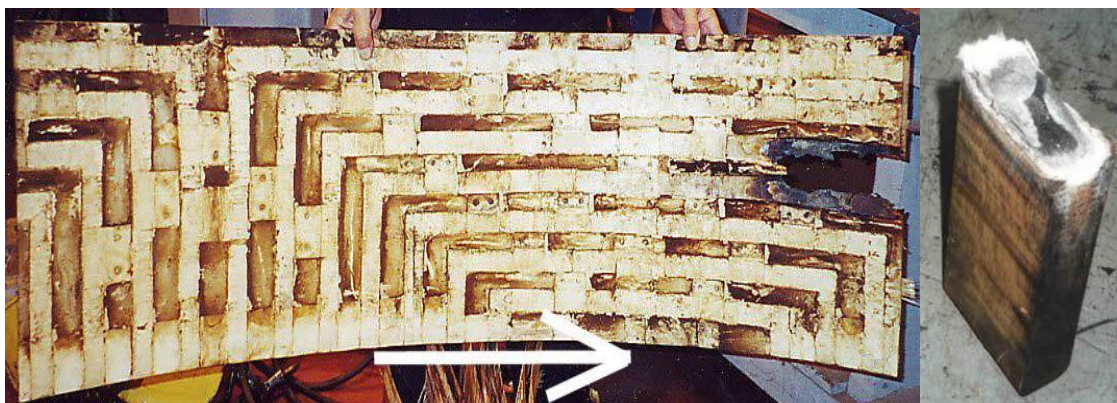


Рисунок 1.6 – Загрязненная часть обмотки

Данная обмотка, имеющая ВЗ, является внутренним слоем изоляции генератора с воздушным охлаждением. Аналогичные условия наблюдаются и в генераторах с водородным охлаждением. Светлоокрашенные районы отражают контуры торцевых обмоток и блоков, а темные области – загрязнения [10-12].

Таким образом, для своевременного выявления повреждения обмоток ротора СГ требуется разработка методики обнаружения ВЗ. Предлагается метод диагностики виткового замыкания обмотки ротора, основанный на идентификации параметров и переменных состояний СГ.

1.4 Методы идентификации

Идентификация - это определение структуры и параметров математической модели, которые обеспечивают наилучшую близость выходных величин модели и объекта в смысле заданного критерия при совпадающих входных воздействиях.

Комплекс идентификации включает в себя три этапа:

1 этап - Структурная идентификация. На этом этапе выбирают структуру модели по результатам изучения объекта или имеющимся априорным сведениям.

2 этап - Критерий качества. Здесь определяют критерий подобия (близости) модели и объекта.

3 этап - Параметрическая идентификация. На данном этапе по экспериментальным данным определяют параметры модели исходя из выбранного критерия.

Различают следующие методы идентификации статических характеристик объектов управления: статические методы идентификации, методы идентификации нелинейных объектов и методы идентификации с настраиваемыми моделями. В данной работе для построения модели синхронного генератора с витковым замыканием воспользуемся методом идентификации с настраиваемыми моделями. Выбранный метод относится к схемам замкнутого типа [13].

Преимуществами метода идентификации с настраиваемыми моделями являются возможность работы в режиме нормальной эксплуатации и получение характеристик в реальном времени, что позволяет производить текущую идентификацию, а, следовательно, оперативно следить за изменением характеристик в случае нестационарности объекта, что в свою очередь делает возможным управление объектами с изменяющимися в широких пределах характеристиками.

Структурная схема общего вида представлена на рис.1.7.

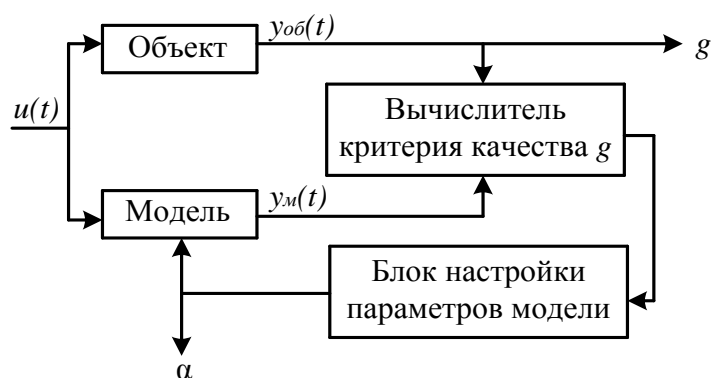


Рисунок 1.7 – Функциональная схема системы идентификации объекта с применением настраиваемой модели

Схема включает вычислитель критерия качества g сигналов с выхода объекта $y_{об}(t)$ и настраиваемой модели $y_m(t)$, а также блок настройки параметров модели, изменяющий вектор параметров $\alpha = (\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_n)$ в целях оптимизации критерия g .

2 МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ синхронного генератора при витковом замыкании в обмотке ротора

При изучении любых объектов одной из основных задач является построение их моделей. Модель представляет собой отображение в той или иной форме свойств, закономерностей, физических и других характеристик, присущих исследуемому объекту.

На рис.2.1 приведена классификация моделей объектов управления по операторам их описания.

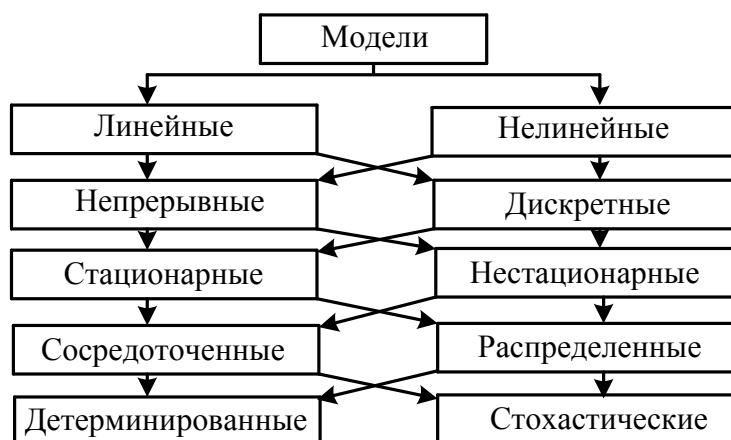


Рисунок 2.1 – Классификация моделей

Модель является имитацией фактического устройства системы, которая отражает существенные свойства, "подражая" поведению моделируемой системы [14]. Рассмотрим процесс моделирования СГ с витковым замыканием.

2.1 Математическое описание синхронного генератора

Модель синхронного генератора часто представляется в двухфазной $(\alpha - \beta)$ или в dq-системе координат. Но для анализа работы СГ при витковых замыканиях целесообразно представлять модель в фазных координатах. Зачастую токи в фазах статора СГ отличаются друг от друга, как по амплитуде, так и по углу сдвигу фаз. Это связано с несимметрией нагрузки. Отсюда следует, что модель должна достоверно отображать свойства СГ, позволять

осуществлять переход от модели к оригиналу и наоборот, а также быть наглядной, простой и доступной для изучения.

Математическая модель СГ при витковом замыкании описывается следующими дифференциальными уравнениями [15]:

Уравнение статора, ротора и замкнутого витка:

$$\begin{cases} -U_A = \frac{d\psi_A}{dt} + R_A \cdot i_A; \\ -U_B = \frac{d\psi_B}{dt} + R_B \cdot i_B; \\ -U_C = \frac{d\psi_C}{dt} + R_C \cdot i_C; \\ U_f = \frac{d\psi_f}{dt} + R_f \cdot i_f; \\ 0 = \frac{d\psi_{kd}}{dt} + R_{kd} \cdot i_{kd}. \end{cases} \quad (2.1)$$

где U_A, U_B, U_C, U_f - мгновенные значения напряжений обмоток статора и ротора;

$\psi_A, \psi_B, \psi_C, \psi_f, \psi_{kd}$ - потокосцепления, связанные с соответствующими обмотками;

$i_A, i_B, i_C, i_f, i_{kd}$ - мгновенные значения токов фаз А, В, С статора, в обмотке возбуждения приведенного ротора и тока в замкнутом витке;

$R_A, R_B, R_C, R_f, R_{kd}$ - соответствующие активные сопротивления фаз А, В, С статора, ротора и замкнутого витка.

Потокосцепление в соответствующих обмотках СГ:

$$\begin{cases} \psi_A = L_A \cdot i_A + M_{AB} \cdot i_B + M_{AC} \cdot i_C + M_{Af} \cdot i_f + M_{Akd} \cdot i_{kd}; \\ \psi_B = M_{BA} \cdot i_A + L_B \cdot i_B + M_{BC} \cdot i_C + M_{Bf} \cdot i_f + M_{Bkd} \cdot i_{kd}; \\ \psi_C = M_{CA} \cdot i_A + M_{CB} \cdot i_B + L_C \cdot i_C + M_{Cf} \cdot i_f + M_{Ckd} \cdot i_{kd}; \\ \psi_f = M_{fA} \cdot i_A + M_{fB} \cdot i_B + M_{fC} \cdot i_C + L_f \cdot i_f + M_{fkd} \cdot i_{kd}; \\ \psi_{kd} = M_{kdA} \cdot i_A + M_{kdB} \cdot i_B + M_{kdc} \cdot i_C + M_{kdf} \cdot i_f + M_{kd} \cdot i_{kd}; \end{cases} \quad (2.2)$$

где L_{ij} и M_{ij} - индуктивности и взаимоиндуктивности соответствующих обмоток.

Индуктивности в обмотках фаз можно расписать в следующем виде:

$$\begin{cases} L_A = L_{m0} + L_{m2} \cdot \cos 2\alpha + L_{A\sigma}; \\ L_B = L_{m0} + L_{m2} \cdot \cos 2\left(\alpha - \frac{2 \cdot \pi}{3}\right) + L_{B\sigma}; \\ L_C = L_{m0} + L_{m2} \cdot \cos 2\left(\alpha + \frac{2 \cdot \pi}{3}\right) + L_{C\sigma}; \end{cases} \quad (2.3)$$

где L_A, L_B, L_C - индуктивность обмоток фаз статора;

$$L_{m0} = \frac{L_{md} + L_{mq}}{2} - \text{среднее значение индуктивности фаз};$$

$$L_{m2} = \frac{L_{md} - L_{mq}}{2} - \text{амплитуда по отношению к среднему значению};$$

α - угол между продольной осью приведенной обмотки ротора и осью фазы А;

L_{md}, L_{mq} - главные индуктивности фаз по продольным и поперечным осям;

$L_{\sigma A}, L_{\sigma B}, L_{\sigma C}$ - индуктивность рассеяния фазных обмоток статора.

Главные индуктивности всех фаз обмоток по продольной и поперечной осям [16] рассчитываются по:

$$L_{md} = \frac{4 \cdot \mu_{01}}{p \cdot \pi^2} \cdot (w_1 \cdot k_{01})^2 \cdot \lambda_{ad}; \quad L_{mq} = \frac{4 \cdot \mu_{01}}{p \cdot \pi^2} \cdot (w_1 \cdot k_{01})^2 \cdot \lambda_{aq}; \quad (2.4)$$

где $\lambda_{ad} = \frac{k_d \cdot \tau \cdot l_\delta}{k_\delta \cdot \delta}$ и $\lambda_{aq} = \frac{k_q \cdot \tau \cdot l_q}{k_\delta \cdot \delta}$ - коэффициенты проводимости зазора по

продольной и поперечной осям;

w_1 - число витков обмотки статор;

k_{01} - обмоточный коэффициент обмотки статора;

τ - полюсное деление;

δ - величина воздушного зазора;

k_δ - коэффициент Картера;

l_δ - длина воздушного зазора.

Взаимные индуктивности между обмотками фаз статора

$$\begin{cases} M_{AB} = M_{BA} = -\frac{L_{m0}}{2} + L_{m2} \cdot \cos\left(2\alpha - \frac{2 \cdot \pi}{3}\right) + L_{AB\sigma}; \\ M_{BC} = M_{CB} = -\frac{L_{m0}}{2} + L_{m2} \cdot \cos 2\alpha + L_{BC\sigma}; \\ M_{CA} = M_{AC} = -\frac{L_{m0}}{2} + L_{m2} \cdot \cos\left(2\alpha + \frac{2 \cdot \pi}{3}\right) + L_{CA\sigma}; \end{cases} \quad (2.5)$$

где $L_{AB\sigma}$, $L_{BC\sigma}$, $L_{CA\sigma}$ - взаимная индуктивность рассеяния фазных обмоток статора.

Взаимные индуктивности между фазами статора и приведенной обмотки возбуждения

$$\begin{cases} M_{Af} = \frac{3}{2} \cdot L_{md} \cdot \cos \alpha; \\ M_{Bf} = \frac{3}{2} \cdot L_{md} \cdot \cos\left(\alpha - \frac{2 \cdot \pi}{3}\right); \\ M_{Cf} = \frac{3}{2} \cdot L_{md} \cdot \cos\left(\alpha + \frac{2 \cdot \pi}{3}\right). \end{cases} \quad \begin{cases} M_{fA} = L_{md} \cdot \cos \alpha; \\ M_{fB} = L_{md} \cdot \cos\left(\alpha - \frac{2 \cdot \pi}{3}\right); \\ M_{fC} = L_{md} \cdot \cos\left(\alpha + \frac{2 \cdot \pi}{3}\right). \end{cases} \quad (2.6)$$

Взаимные индуктивности между фазами статора и замкнутым витком

$$\begin{cases} M_{Akd} = \frac{3}{2} \cdot M_{kd} \cdot \cos \alpha; \\ M_{Bkd} = \frac{3}{2} \cdot M_{kd} \cdot \cos\left(\alpha - \frac{2 \cdot \pi}{3}\right); \\ M_{Ckd} = \frac{3}{2} \cdot M_{kd} \cdot \cos\left(\alpha + \frac{2 \cdot \pi}{3}\right). \end{cases} \quad \begin{cases} M_{kdA} = M_{kd} \cdot \cos \alpha; \\ M_{kdB} = M_{kd} \cdot \cos\left(\alpha - \frac{2 \cdot \pi}{3}\right); \\ M_{kdC} = M_{kd} \cdot \cos\left(\alpha + \frac{2 \cdot \pi}{3}\right). \end{cases} \quad (3.7)$$

Взаимные индуктивности между ротором и замкнутым витком

$$M_{kdf} = M_{fkd} = \frac{3}{2} \cdot M_{kd} \quad (2.8)$$

Система уравнений (2.1) дополненной системой (2.2) образует математическую модель СГ с витковым замыканием в фазных координатах.

2.2 Переход из дифференциальных уравнений в алгебраическую форму

При составлении модели могут возникнуть проблемы использования функции дифференцирования, обычно в таких случаях дифференциальные

уравнения представляют в виде передаточной функцией. В нашем случае, если воспользоваться указанным методом, возникнет сложность представления передаточной функция, что в итоге может привести к ошибочным расчетам модели.

Для решения данной задачи воспользуемся численным методом расчета дифференциальных уравнений. Но здесь, в отличие от обычного метода расчета, возникает понятие задержки.

Ниже представлен пример разбора дифференциального уравнения для фазы А. Остальные уравнения для фаз В, С, ротора и замкнутого витка составляется аналогично.

Представим уравнение в нормальной форме Коши

$$\frac{d\psi_A}{dt} = -U_A - R_A \cdot i_A; \quad (2.9)$$

Перейдем из $\frac{d\psi_A}{dt} \rightarrow \frac{\Delta\psi_A}{\Delta t}$ и получаем

$$\frac{\Delta\psi_A}{\Delta t} = -U_{A(k-1)} - R_A \cdot i_{A(k-1)};$$

$$\frac{\psi_{A(k)} - \psi_{A(k-1)}}{\Delta t} = -U_{A(k-1)} - R_A \cdot i_{A(k-1)};$$

где (k) - индекс текущего сигнала; $(k-1)$ - индекс задержанного сигнала; Δt - шаг дифференцирования.

Переменные с индексом $(k-1)$ запишем в правой части, а с (k) - в левой части уравнения

$$\psi_{A(k)} = \left(-U_{A(k-1)} - R_A \cdot i_{A(k-1)} \right) \cdot \Delta t + \psi_{A(k-1)}; \quad (2.10)$$

Уравнение (3.10) является основным уравнением для расчета потокосцепления для фазы А. По аналогии, составляется уравнения для остальных фаз, ротора и замкнутого витка.

Так как на выходе модели СГ необходимо получать напряжения, следует перезаписать уравнения (3.10)

$$U_{A(k-1)} = \frac{-\psi_{A(k)} - R_A \cdot i_{A(k-1)} \cdot \Delta t + \psi_{A(k-1)}}{\Delta t}; \quad (2.11)$$

Для удобства моделирования представим потокосцепление ψ_A как

$$\psi_A = L_A \cdot i_A + \psi'_A; \quad (2.12)$$

где $\psi'_A = M_{AB} \cdot i_B + M_{AC} \cdot i_C + M_{Af} \cdot i_f + M_{Akd} \cdot i_{kd}$;

Подставим (3.12) в (3.11) и получаем

$$U_{A(k-1)} = \frac{-\psi'_{A(k)} - L_A \cdot i_{A(k)} - R_A \cdot i_{A(k-1)} \cdot \Delta t + \psi'_{A(k-1)} + L_A \cdot i_{A(k-1)}}{\Delta t}; \quad (2.14)$$

Аналогично составляется уравнения в алгебраической форме для фаз В, С, ротора и замкнутого витка.

Запишем итоговую систему уравнения

$$\left\{ \begin{array}{l} U_{A(k-1)} = \frac{-\psi'_{A(k)} - L_A \cdot i_{A(k)} - R_A \cdot i_{A(k-1)} \cdot \Delta t + \psi'_{A(k-1)} + L_A \cdot i_{A(k-1)}}{\Delta t}; \\ U_{B(k-1)} = \frac{-\psi'_{B(k)} - L_B \cdot i_{B(k)} - R_B \cdot i_{B(k-1)} \cdot \Delta t + \psi'_{B(k-1)} + L_B \cdot i_{B(k-1)}}{\Delta t}; \\ U_{C(k-1)} = \frac{-\psi'_{C(k)} - L_C \cdot i_{C(k)} - R_C \cdot i_{C(k-1)} \cdot \Delta t + \psi'_{C(k-1)} + L_C \cdot i_{C(k-1)}}{\Delta t}; \\ i_{f(k)} = \frac{\left(U_f - i_{f(k-1)} \cdot R_f \right) \cdot \Delta t + \psi'_{f(k-1)} + L_f \cdot i_{f(k-1)} - \psi_{f(k)}}{L_f}; \\ i_{kd(k)} = \frac{i_{kd(k-1)} \cdot R_{kd} \cdot \Delta t + \psi'_{kd(k-1)} + M_{kd} \cdot i_{kd(k-1)} - \psi_{kd(k)}}{M_{kd}}. \end{array} \right. \quad (2.15)$$

где $\psi'_A = M_{AB} \cdot i_B + M_{AC} \cdot i_C + M_{Af} \cdot i_f + M_{Akd} \cdot i_{kd}$;

$$\psi'_B = M_{BA} \cdot i_A + M_{BC} \cdot i_C + M_{Bf} \cdot i_f + M_{Bkd} \cdot i_{kd};$$

$$\psi'_C = M_{CA} \cdot i_A + M_{CB} \cdot i_B + M_{Cf} \cdot i_f + M_{Ckd} \cdot i_{kd};$$

$$\psi'_f = M_{fA} \cdot i_A + M_{fB} \cdot i_B + M_{fC} \cdot i_C + M_{fkd} \cdot i_{kd};$$

$$\psi'_{kd} = M_{kda} \cdot i_A + M_{kdb} \cdot i_B + M_{kdc} \cdot i_C + M_{kdf} \cdot i_f$$

На основании уравнения (2.15) составляется модель СГ с витковым замыканием в фазных координатах.

Так как реальный СГ работает на нагрузку, ток к системе уравнения (2.15) добавляются уравнения фазных токов. Примем, что нагрузка носит активно-индуктивный характер, то система уравнения (2.15) запишется в следующем виде:

$$\left\{ \begin{array}{l} U_{A(k-1)} = \frac{-\psi'_{A(k)} - L_A \cdot i_{A(k)} - R_A \cdot i_{A(k-1)} \cdot \Delta t + \psi'_{A(k-1)} + L_A \cdot i_{A(k-1)}}{\Delta t}; \\ U_{B(k-1)} = \frac{-\psi'_{B(k)} - L_B \cdot i_{B(k)} - R_B \cdot i_{B(k-1)} \cdot \Delta t + \psi'_{B(k-1)} + L_B \cdot i_{B(k-1)}}{\Delta t}; \\ U_{C(k-1)} = \frac{-\psi'_{C(k)} - L_C \cdot i_{C(k)} - R_C \cdot i_{C(k-1)} \cdot \Delta t + \psi'_{C(k-1)} + L_C \cdot i_{C(k-1)}}{\Delta t}; \\ i_{f(k)} = \frac{\left(U_f - i_{f(k-1)} \cdot R_f \right) \cdot \Delta t + \psi'_{f(k-1)} + L_f \cdot i_{f(k-1)} - \psi_{f(k)}}{L_f}; \\ i_{kd(k)} = \frac{i_{kd(k-1)} \cdot R_{kd} \cdot \Delta t + \psi'_{kd(k-1)} + M_{kd} \cdot i_{kd(k-1)} - \psi_{kd(k)}}{M_{kd}}; \\ i_{A(k)} = \frac{U_{A(k)} - R_A \cdot i_{A(k)}}{L_{A.нагр}} \cdot \Delta t + i_{A(k-1)}; \\ i_{B(k)} = \frac{U_{B(k)} - R_B \cdot i_{B(k)}}{L_{B.нагр}} \cdot \Delta t + i_{B(k-1)}; \\ i_{C(k)} = \frac{U_{C(k)} - R_C \cdot i_{C(k)}}{L_{C.нагр}} \cdot \Delta t + i_{C(k-1)}. \end{array} \right. \quad (2.16)$$

Система уравнения (2.16) становится основной системой уравнения для моделирования синхронного генератора с витковым замыканием.

2.3 Реализация модели в MatLab

На основе полученных формул создается модель в программной среде Simulink MatLab. Для удобства работы создаются отдельные блоки для каждого уравнения.

Параметры синхронного генератора:

Сопротивление обмоток статора: $R_A = R_B = R_C = 1,71 \text{ Ом};$

Главные индуктивности фаз по продольным и поперечным осям:

$$L_{md} = 0,052 \text{ Гн}, L_{mq} = 0,015 \text{ Гн};$$

Взаимная индуктивность рассеяния фазных обмоток статора:

$$L_{AB\sigma} = 0,0001 \text{ Гн}, L_{BC\sigma} = 0,0001 \text{ Гн}, L_{CA\sigma} = 0,0001 \text{ Гн};$$

Индуктивность рассеяния фазных обмоток статора $L_{\sigma A} = 0,01 \text{ Гн}$,

$$L_{\sigma B} = 0,01 \text{ Гн}, L_{\sigma C} = 0,01 \text{ Гн};$$

Сопротивление обмотки ротора до ВЗ: $R_f = 1,2 \text{ Ом}$;

Индуктивность обмотки ротора до ВЗ: $L_f = 0,091 \text{ Гн}$;

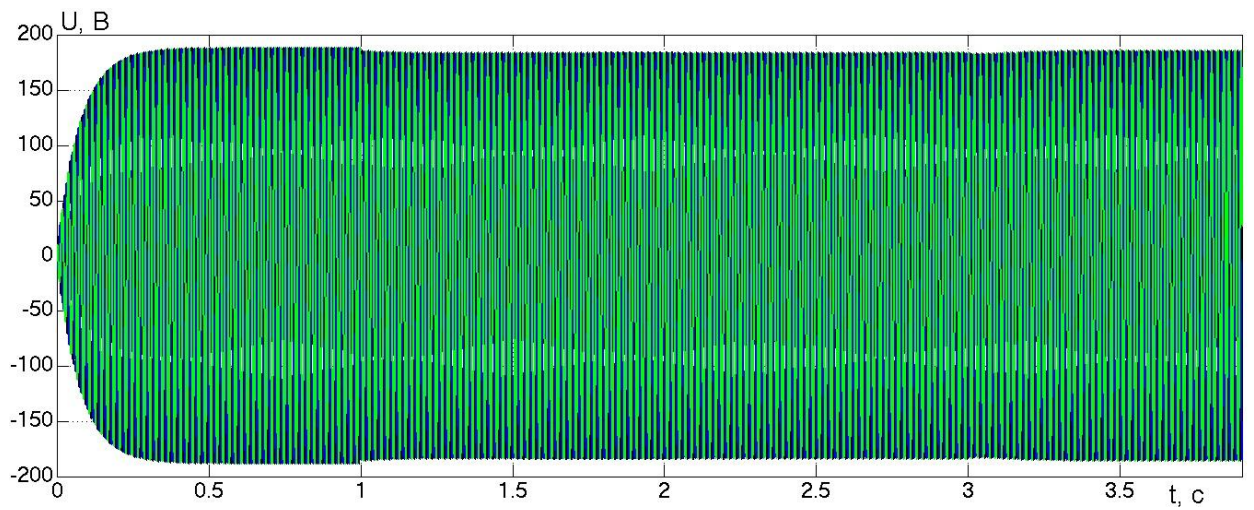
Сопротивление обмотки ротора после ВЗ: $R_f = 1,188 \text{ Ом}$;

Индуктивность обмотки ротора после ВЗ: $L_f = 0,09009 \text{ Гн}$;

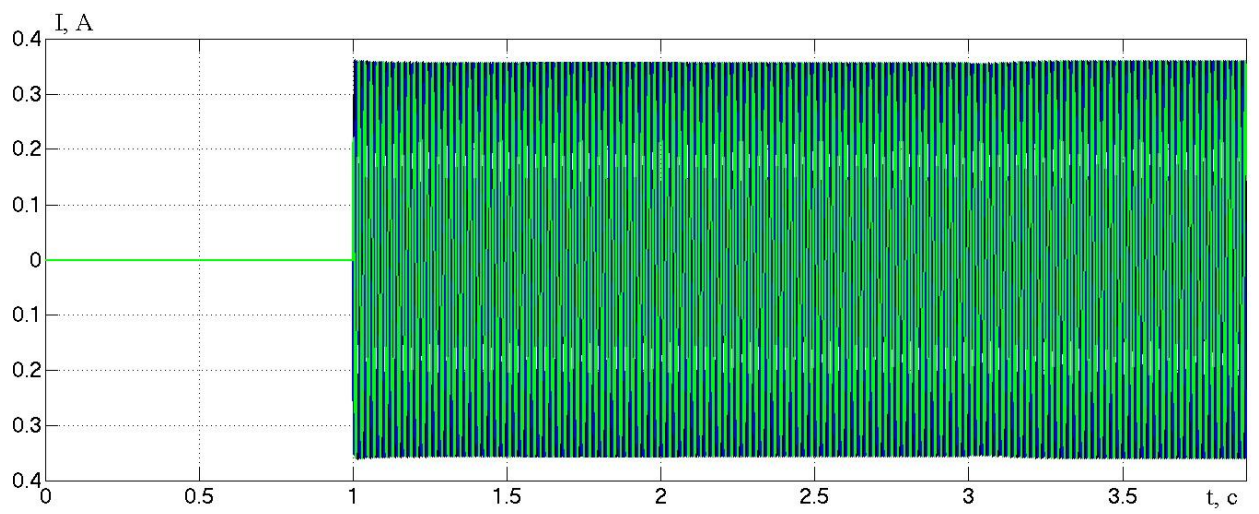
Алгоритм реализации модели в программной среде Matlab представлен в приложении Б.

На рисунке 2.2 представлены переходные процессы напряжения и тока статора, тока возбуждения при включении СГ в режиме ХХ, включении нагрузки и появлении ВЗ в обмотке ротора.

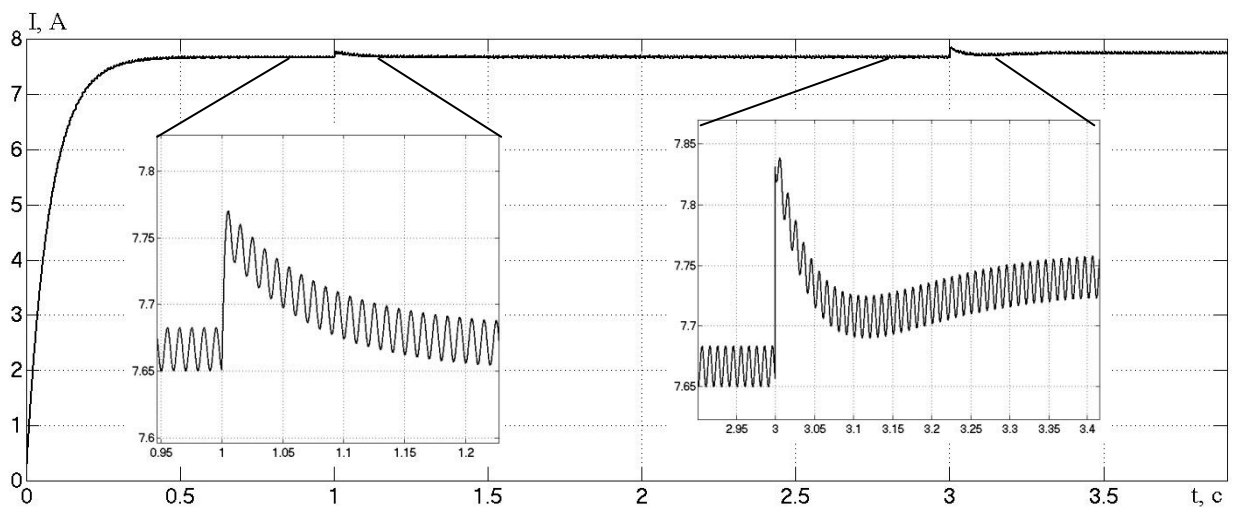
Через одну секунду после запуска СГ происходит включение активно-реактивной нагрузки. А в момент 3 с. происходит витковое замыкание в обмотке ротора.



а)



б)



в)

Рисунок 2.2 – График переходных процессов напряжения на статоре (а), тока в статоре (б) и тока в роторе (в)

Таким образом, в данной части выпускной квалификационной работы пошагово представлен процесс математического моделирования СГ с витковым замыканием в обмотке ротора. Предложенная модель, разработанная на основе классического метода моделирования, позволяет в режиме реального времени наблюдать изменения параметров СГ при тактовой частоте, равной частоте дискретизации АЦП. Следовательно, с помощью предложенной модели можно наблюдать изменение искажения параметров тока и напряжения при возникновении ВЗ. На основании этих данных можно получить изменение индукции МП в различных зонах при возникновении ВЗ.

3 АДАПТИВНАЯ ИДЕНТИФИКАЦИЯ СИГНАЛОВ СИНХРОННОГО ГЕНЕРАТОРА

Процесс адаптивной идентификации заключается в сравнении систем математических моделей исследуемых сигналов и моделей объектов с дополнительной априорную информацию [20]. Решение задачи идентификации проводилось в оптимизационной постановке, где использовались показатели качества моделей сигналов, моделей объектов аналогов и методы решения оптимизационных задач.

Исходными сигналами для экспериментального исследования были сигналы ЭДС на выходе датчика магнитного поля, установленного в торцевой зоне СГ.

3.1 Индукционный датчик МП

Индукционный датчик магнитного поля представляет собой магнитный трансформатор тока. Выходным сигналом ИД является индуцированная в обмотке ЭДС, которая служит функцией магнитного поля.

Конструкция ИД определяется конструкцией СГ и его мощностью, а также местом его установки. Обычно его располагают в непосредственной близости от обмоток ротора, которые и являются источником информации. Допускается установка ИД как в торцевой зоне внутри СГ, так и снаружи на торцевом щите.

Воздушный промежуток между ИП и токоведущими частями внутри торцевой зоны СГ должен быть не меньше того, который регламентирует ПУЭ. Крепление ИД осуществляется немагнитными кронштейнами к присутствующим внутри элементам торцевой зоны СГ или прикрепляют к подшипниковому или торцевому щиту.

Датчик и обмотка статора в торцевой зоне СГ неподвижны. При этом в обмотке статора протекают токи частотой f_1 . В тоже время в обмотке полюсов с постоянным током I_f перемещаются со скоростью ω_f вращения ротора.

Поэтому в ИД индуцируются ЭДС с частотами f_1 и f_f соответственно. И если размеры катушки преобразователя в сравнении с размерами торцевой зоны незначительны, то амплитудное и действительные значения ЭДС, основной гармонической на ее выходе, определяются как

$$E_{mn} = 2\pi(B_{z1m}f_1 + B_{zfm}f_f)w_n a_x a_y \text{ и}$$

$$E_n = 4,44(B_{z1m}f_1 + B_{zfm}f_f)w_n a_x a_y \quad (3.1)$$

соответственно. Если ротора вращается синхронно, то $f_f = f_1$, а уравнения (3.1) упрощаются. При этом

$$E_{mn} = 2\pi f B_{zm} f_1 w_n a_x a_y \text{ и } E_n = 4,44 B_{zm} f_1 w_n a_x a_y,$$

где B_{zm} - амплитудное значение суммарного поля статора, ротора и воздушного зазора.

При установке ИД снаружи СГ измеряемый сигнал получается несколько слабее. Однако его легко увеличить за счет изменения параметров ИД. Немаловажную роль при выборе места установки играет необходимость защищать ИД от механических повреждений и влияния внешних магнитных полей других машин. Но при этом появляется возможность контроля исправности ИД без разбора СГ. В результате они обладают повышенной надежностью и меньшими затратами на установку и эксплуатацию. Следует добавить, что при такой установке ИД разрешение-согласование завода изготовителя с внесением изменений в конструкторскую документацию не требуется.

3.2 Идентификации нестационарных сигналов в системах управления и связи

Решение многих практических задач управления и связи приводит к необходимости рассмотрения нестационарных сигналов $y(t) = f(t, \alpha(t), \xi(t))$ с переменными параметрами $\alpha(t)$, где актуальными в настоящее время являются обратные задачи структурной и параметрической идентификации в условиях неопределенности при неизвестных статистических характеристиках

случайных процессов $y(t), \xi(t)$ и ограниченных объемах реализаций сигнала $y^*(t_i), i = \overline{1, n}$. [17-20]. Сложность решения задач идентификации нестационарных сигналов в условиях неопределенности возрастает при увеличении размерности вектора оцениваемых параметров $\mathbf{\alpha}(t)$ и малом объеме исходных данных n .

Перспективным направлением развития методов обработки нестационарных сигналов в условиях неопределенности являются интегрированные системы идентификации, обеспечивающие комплексное решение задач: учета разнородной априорной информации, обеспечение устойчивости, повышение точности, формализацию и учет накопленного опыта и знаний, согласованности и оптимизации решений прикладных задач [21,22].

Для решения задач обработки нестационарных сигналов предлагается использовать интегрированные системы идентификации, основанные на интегрированных системах моделей с переменными, зависящими от времени параметрами $\mathbf{\alpha}(t) = (\alpha_1(t), \alpha_1(t), \dots, \alpha_m(t))$ с учетом дополнительной априорной информации [23,24]. Отметим, что размерность моделей сигналов с переменными параметрами может быть значительно меньше размерности, а значит, и сложности моделей с постоянными параметрами, что значительно упрощает решение задачи структурной идентификации.

3.3 Модели и алгоритмы идентификации нестационарных сигналов

В основе алгоритмов идентификации нестационарных сигналов y_t^* использована интегрированная система моделей с учетом дополнительной априорной информации вида [21-24]:

$$\begin{cases} y_t^* = y_t + \xi_t = f_0(t, \mathbf{\alpha}(t)) + \xi_t, \\ \bar{\mathbf{z}}_{t+\tau} = \mathbf{f}_a(t + \tau, \mathbf{\alpha}(t)) + \boldsymbol{\eta}_t, \tau \geq 0, \end{cases} \quad (3.2)$$

где параметры $\mathbf{\alpha}(t) = (\alpha_j(t), j = \overline{1, m})$ – неизвестные ограниченные, однозначные функции времени t ; $\mathbf{f}_a(t + \tau, \mathbf{\alpha}) = (f_{a,j}(t + \tau, \mathbf{\alpha}(t)), j = \overline{1, p})$ – модели

объектов аналогов, позволяющих учитывать дополнительную априорную информацию $\bar{\mathbf{z}}_t = (\bar{z}_{t,j}, j = \overline{1, p})$, известную к моменту времени t . Модели исследуемого процесса и модели объектов аналогов $f_0, f_{a,j}$ – известные функции (функционалы); $\xi_t, \boldsymbol{\eta}_t = (\eta_{t,j}, j = \overline{1, p})$ – случайные процессы, представляющие погрешности измерений сигнала; y_t^* , ошибки дополнительных данных и экспертных оценок $\bar{\mathbf{z}}_t$.

В качестве дополнительной априорной информации могут быть использованы известные к моменту времени t значения параметров модели сигнала $\bar{\mathbf{z}}_t = \bar{\boldsymbol{\alpha}}_t$, экспертные оценки прогнозных значений сигнала $\bar{\mathbf{z}}_{t+\tau} = \bar{y}_{t+\tau}, \tau = 1, 2, \dots, \infty$, а также различные интегральные характеристики процесса y_t , представляющие различные его свойства.

Рассмотрим процедуру определения параметров $\boldsymbol{\alpha}(\tilde{t})$ модели (3.2), предполагая, что $f_0(t, \boldsymbol{\alpha}(\tilde{t}))$ можно представить моделью $f_0(t, \boldsymbol{\alpha}(\tilde{t}))$ с постоянными параметрами $\boldsymbol{\alpha}(\tilde{t})$ в окрестности некоторой точки $\tilde{t} \in [t_1, t_n]$. Параметры $\boldsymbol{\alpha}(\tilde{t}) = \tilde{\boldsymbol{\alpha}}$ могут быть определены с использованием данных $y_i^*, i \in \overline{1, n}$, обучающего интервала $(\tilde{t} - u) \in [t_1, t_n]$, сформированного с помощью весовой функции $w((\tilde{t} - u)/h)$ с параметром h .

В данном случае процесс идентификации можно представить в виде решения двух оптимизационных задач [21-23]:

$$\boldsymbol{\alpha}_n^*(\tilde{t}, \boldsymbol{\beta}) = \arg \min_{\boldsymbol{\alpha}} \Phi_n(\tilde{t}, \tilde{\boldsymbol{\alpha}}, \boldsymbol{\beta}), \quad (3.3)$$

$$\boldsymbol{\beta}_n^* = \arg \min_{\boldsymbol{\beta}} J_{0,n}(\boldsymbol{\alpha}_n^*(\tilde{t}, \boldsymbol{\beta})), \quad (3.4)$$

где запись $\arg \min_x f(x)$ означает точку минимума x^* функции $f(x)$

($f(x^*) = \min_x f(x)$); $\Phi_n(\tilde{t}, \tilde{\boldsymbol{\alpha}}, \boldsymbol{\beta}) = J_{0,n}(\tilde{t}, h, \tilde{\boldsymbol{\alpha}}) + J_a(\tilde{\boldsymbol{\alpha}}, \mathbf{r})$ – комбинированный

показатель качества модели сигнала и моделей объектов аналогов

$$J_{0,n}(\tilde{t}, h, \tilde{\mathbf{a}}) = \sum_{i=1}^n K_n((\tilde{t} - t_i)/h_n) \psi_0(y_i^* - f(t_i, \tilde{\mathbf{a}}))$$

$$J_a(\tilde{\mathbf{a}}, \mathbf{r}) = \sum_{j=1}^p r_j \psi_{a,j}(\bar{z}_j(\tilde{t} + \tau) - f_{a,j}(\tilde{t} + \tau, \tilde{\mathbf{a}}))$$

$\mathbf{r} = (r_j, j = \overline{1, p})$ – вектор управляющих параметров, определяющих значимость (вес) дополнительных априорных данных $\bar{z}_{n,j}$; $\mathbf{b} = (\mathbf{r}, h)$ – объединенный вектор; $\psi_0, \psi_{a,j}$ – известные функции;

Отметим, что рассмотренный метод синтеза (3.3), (3.4) позволяет синтезировать достаточно широкий спектр оптимальных оценок параметров $\mathbf{a}_n^*(\tilde{t}, \mathbf{b}_n^*)$ для различных моделей исследуемых сигналов, моделей объектов аналогов f_0, \mathbf{f}_a (3.1), показателей качества, определяемых функциями $\psi_0, \psi_{a,j}$.

Рассмотрим для примера решение оптимизационной задачи (3.3) для линейной интегрированной системы моделей

$$\begin{cases} y_t^* = y_t + \xi_t = \varphi(t)\mathbf{a}(t) + \xi_t, \\ \bar{\mathbf{a}}_t = \mathbf{a}(t) + \boldsymbol{\eta}_t, \end{cases} \quad (3.5)$$

где $\varphi(t) = (\varphi_1(t), \varphi_2(t), \dots, \varphi_m(t))$ – вектор известных функций, а $\mathbf{a}(t) = (\alpha_j(t), j = \overline{1, m})^T$ – вектор столбец неизвестных ограниченных функций. В данном случае оптимизационная задача (3.3) при использовании квадратичных показателей качества ($\psi_0(x) = \psi_{a,j}(x) = x^2$) сводится к решению системы линейных алгебраических (СЛАУ) уравнений вида

$$A_n \mathbf{a}_n^*(\tilde{t}, \mathbf{b}_n) = B_n, \quad (3.6)$$

$$A_n = (F_n^T K_n(h_n) F_n + W(\mathbf{r}_n)); B_k = (F_n^T K_n(h) \mathbf{y}_n^* + W(\mathbf{r}_n) \bar{\mathbf{a}}_{t,j}),$$

где запись $\|X\|_W^2$ означает квадратичную форму $X^T W X$; $\mathbf{y}^* = (y_n^*(t_i), i = \overline{1, n})$ – вектор фактических значений сигнала $y(t)$; $\bar{\mathbf{a}}_{t,j} = (\bar{\alpha}_{n,j}, j = \overline{1, m})$ – вектор дополнительных априорных сведений и экспертных оценок;

$F_n = (\varphi_j(t_i)), j = \overline{1, m}, i \in \overline{1, n}$ – матрица значений известных функций $\varphi_j(t)$ в моменты времени t_i ; $W(\mathbf{r}_n) = \text{diag}(r_{n,j}, j = \overline{1, m})$ – диагональная матрица, определяющая значимость (вес) дополнительных априорных данных $\bar{\mathbf{a}}_n$; $K_n(h_n) = \text{diag}(w((\tilde{t} - t_i)) / h_n, i = \overline{1, n})$ – диагональная матрица значений весовой функции $w((t - \tau) / h)$.

В случае нелинейной по параметрам модели сигнала $y(t) = f(t, \mathbf{a}(t))$ оптимизационная задача (3.3) при использовании метода Гаусса–Ньютона сводится к последовательному решению систем линейных алгебраических уравнений:

$$\mathbf{a}_{j,n}^*(\tilde{t}, \mathbf{b}_n) = \mathbf{a}_{(j-1),n}^*(\tilde{t}, \mathbf{b}_n) + \gamma_{j,n} \Delta \mathbf{a}_{(j-1),n}^*(\tilde{t}, \mathbf{b}_n), j = 1, 2, 3, \dots, \quad (3.7)$$

где $\gamma_{j,n}$ – параметр шага [24]. В (3.7) оценка вектор приращений параметров $\Delta \mathbf{a}_{(j-1),n}^*$ на каждом шаге j итерационного процесса определяется путем решения системы линейных уравнений (3.6), в которой матрицу F_n необходимо заменить матрицей частных производных

$$D_{n,(j-1)} = \left(\frac{\partial f(t_i, \tilde{\mathbf{a}}_{j-1})}{\partial \tilde{\alpha}_{k,(j-1)}}, i \in \overline{1, n}, k = \overline{1, m} \right), \text{ а векторы } \mathbf{y}_n^*, \bar{\mathbf{a}}(\tilde{t}) = \bar{\mathbf{a}}_{\tilde{t}} \text{ заменить на}$$

$\mathbf{e}_{(j-1),n} = (y_i^* - f_0(t_i, \tilde{\mathbf{a}}_{j-1}), i = \overline{1, n})$ и $\Delta \bar{\mathbf{a}} = (\bar{\mathbf{a}}_{\tilde{t}} - \tilde{\mathbf{a}}_{j-1})$ соответственно.

Алгоритмы определения параметров (3.6), (3.7) могут быть представлены в рекуррентном виде, что позволяет при поступлении новых измерений получать оценки без решения СЛАУ и обращения матрицы. Например, при $\tilde{t} = t_n$, $W(\mathbf{r}) = r \cdot \mathbf{I}$ имеют место рекуррентные формулы для уточнения параметров и вычисления обратной матрицы $H_n = A_n^{-1}$:

$$\mathbf{a}_n = \mathbf{a}_{n-1} + w_n(h_n) \cdot H_n \varphi_n (y_n^* - \varphi_n \mathbf{a}_{n-1}), \quad (3.8)$$

$$H_n = H_{n-1} + \frac{H_{n-1} \varphi_n \varphi_n^T H_{n-1}}{w_n(h_n) + \varphi_n H_{n-1} \varphi_n^T}, n = 1, 2, 3, \dots,$$

где $H_0 = (r_0 \cdot \mathbf{I})^{-1}$; \mathbf{I} - единичная диагональная матрица; $\varphi_n = (\varphi_1(t_n), \varphi_2(t_n), \dots, \varphi_m(t_n))$; $\mathbf{a}_0 = \overline{\mathbf{a}_0}$ - вектор начальных оценок параметров соответствующий дополнительным априорным данным (3.5).

Следует отметить, что рассмотренные метод (3.3), (3.4) и алгоритмы идентификации (3.6)-(3.8) для одиночного нестационарного сигнала нетрудно обобщить на случай системы взаимодействующих сигналов $y(t), X(t) = (x_1(t), x_2(t), \dots, x_m(t))$. Для этого достаточно модель $f_0(t, \mathbf{a}(t))$ в (3.2) заменить моделью $y_t^* = y_t + \xi_t = f_0(t, X(t), \mathbf{a}(t)) + \xi_t$. Аналогичные обобщения имеют место и для динамических моделей сигналов вида $y_t^* = f_0(y_{t-\tau}^*, X_{t-\nu}, \mathbf{a}_t, \tau, \nu = 1, 2, \dots) + \xi_t$.

Нетрудно видеть при соответствующем выборе весовых функций $w((t - \tau)/h)$, матриц $K_n(h_n)$, $W(\mathbf{r}_n)$, дополнительных априорных сведений $\overline{\mathbf{a}_n}$, что оценки (3.5)-(3.7) соответствуют многим известным оценкам параметров нестационарных сигналов, полученных с использованием метода наименьших квадратов, регуляризованного метода наименьших квадратов с учетом информации о решении [25-28].

Важной нерешенной проблемой возникающей при практическом использовании рекуррентных алгоритмов вида (3.8) является задача определения оптимальных значений параметров h, r , в том числе начальных приближений \mathbf{a}_0 , существенно влияющих на качество оценок. В этой связи, в силу идентичности оценок (3.6) и (3.8), целесообразно периодически в моменты времени $t_{n(k)}, k = 1, 2, 3, \dots$, определять $h_{n(k)}^*$ и $r_{n(k)}^*$ путем решения оптимизационной задачи (3.3) с использованием оценок вида (3.6), (3.7). Для этого необходимо хранить в памяти ограниченную реализацию $y_n^*(t_i), i = \overline{1, n}$ исследуемого процесса. Возможны разные стратегии поочередного использования оценок (3.6), (3.7) и их рекуррентных аналогов при решении задач управления и связи в вычислительных компьютерных средах [28].

Отметим, что особенностью рассмотренных алгоритмов идентификации (3.3), (3.4), (3.6)-(3.8) является их пригодность для решения широкого спектра задач обработки сигналов, таких как фильтрация, сглаживание данных, обнаружение локальных изменений сигналов, оценка параметров, диагностика состояний исследуемых объектов.

3.4 Результаты исследований моделей и алгоритмов идентификации

Решение задач сглаживания, обнаружения локальных изменений сигнала, определение его параметров, с использованием моделей и алгоритмов (3.3)-(3.8) рассмотрим на примере идентификации сигналов с датчика магнитного поля рассеивания синхронного генератора.

Для имитации виткового замыкания в обмотке ротора синхронного генератора в лаборатории имеется экспериментальная установка (рис. 3.1). Данные снимаются с частотой дискретизаций 10 кГц и записываются в память промышленного компьютера.

Параметры СГ:

Номер модели ГАБ-4-Т/230; Коэффициент мощности 0,8;

Номинальное напряжение 230 В; Номинальный ток 12,5 А;

Ток ротора 7,3 А; W_f 225 витков.

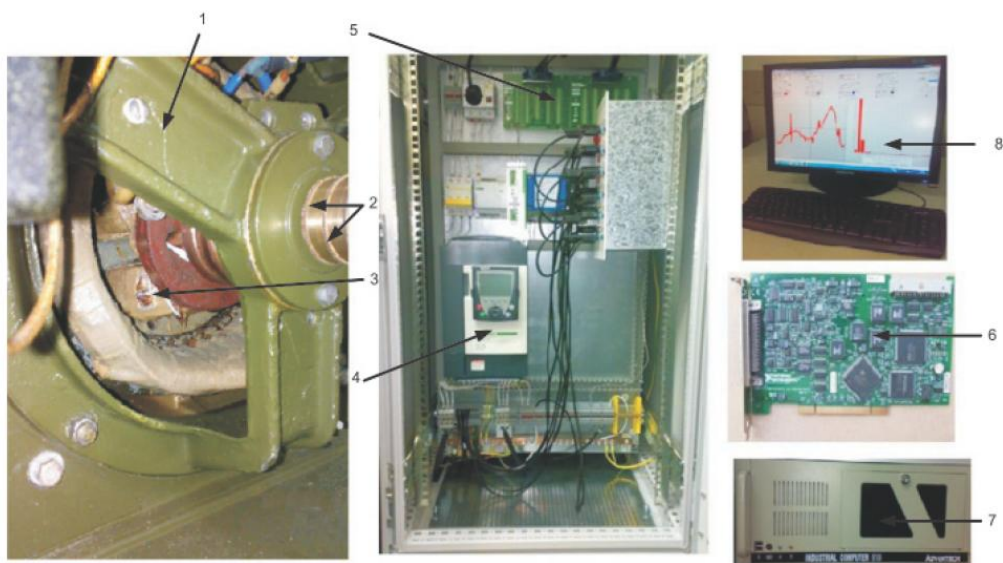


Рисунок 3.1 – Экспериментальная установка:

Обозначения на рисунке 3.1: 1 – синхронный генератор; 2 – контактные кольца; 3 – отпайки; 4 – преобразователь частоты; 5 – коннектор ввода (СВ-68LP); 6 – плата ввода/вывода; 7 – промышленный компьютер; 8 – монитор

Анализ данных, полученных с датчика магнитного поля рассеивания синхронного генератора (рис. 3.2, линия 1), показывает, что при возникновении виткового замыкания наблюдаются локальные изменения сигнала $y^*(t_i)$ (рис. 3.2, линия 1) в области его максимальных значений.

В качестве диагностического критерия предлагается использовать показатель, характеризующий меру отклонения фактического (сглаженного) сигнала $\hat{y}(t)$ от восстановленного $\tilde{y}(t)$ с использованием данных, лежащих вне области $y^*(t_i), i \notin (t_n, t_k)$

$$J = \frac{\int_{t_1}^{t_{100}} |\hat{y}(t) - \tilde{y}(t)| dt}{\int_{t_{100}}^{t_{200}} |\hat{y}(t) - \tilde{y}(t)| dt} \leq \varepsilon, \quad (3.9)$$

где t_1, t_{100}, t_{200} временные границы локальной области изменения сигнала. Наличие виткового замыкания определяется при превышении критерия J величины ε .

Из (3.9) видно, что проблема диагностики ВЗ синхронного генератора заключается в комплексном решении задач - сглаживания для получения оценки $\hat{y}(t)$, определения моментов времени локальных изменения сигнала и его восстановления для получения оценки $\tilde{y}(t)$.

На рис. 3.2 линией 3 изображены сглаженные значения сигнала $\hat{y}(t)$, полученные с использованием оценок (3.6) при $\tilde{t} = n, m = 1, \varphi_1(t) = 1, r = 0$ и весовой функции $K((x/h) = \exp(-x^2/h)$. Оценки параметра сглаживания $h_{n(k)}^*$ определялись периодически в моменты времени $t_{n(k)}$, при $n(k) = 5, 10, 15, \dots$ путем решения оптимизационной задачи (3.4) методом золотого сечения с использованием процедуры «скользящий контроль» [29]. Линией 2 изображены

восстановленные значения сигнала с датчика МПР полученные при использовании модели

$$\begin{cases} y_t^* = \alpha_1(t) + \alpha_2(t) \sin(\alpha_3 \cdot t) + \xi_t, \\ \bar{\alpha}_2 = \alpha_2(t) + \eta_t, \end{cases} \quad (3.10)$$

и алгоритма (3.7) $K_n(h_n) = \mathbf{I}$, $W(\mathbf{r}_n) = r \cdot \mathbf{I}$, $\bar{\alpha}_2 = 0,3$ по всей реализации сигнала, $y_n^*(t_i), i = \overline{1,201}$, приведенной на рис. 3.2.

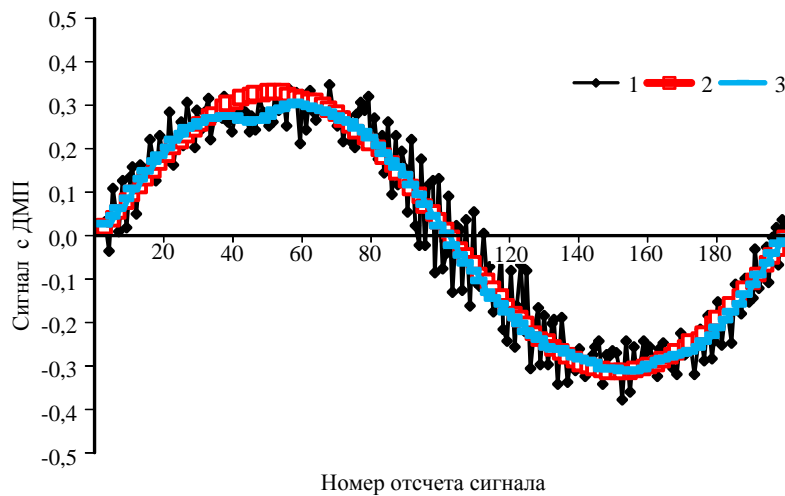


Рисунок 3.2 – Исходные (линия 1) и восстановленные (линии 2,3) значения сигнала с датчика МП турбогенератора с 3 % короткозамкнутых витков

На рис. 3.3 приведены значения диагностического критерия J . Из данного рисунка видно, что в области локальных изменений сигнала I при наличии ВЗ происходит существенное изменение критерия J .

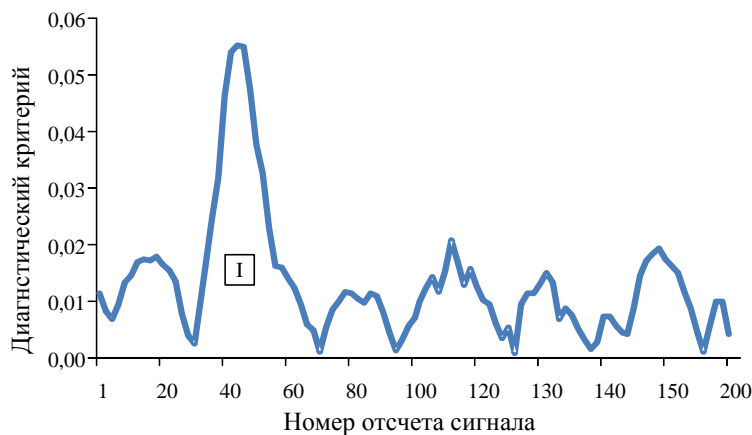


Рисунок 3.3 – Значения диагностического критерия в областях изменений сигнала

В качестве диагностического параметра для выделения области локальных изменений сигнала ЭДС на выходе датчика МП y_i^* и определения ее границ $[t_n, t_k]$ использовались значения оценок $\alpha_{2,n}^*(n, \beta_n^*)$ параметра α_2 , по алгоритмом (3.6), (3.8) соответствующих модели (3.10). Оценки параметра сглаживания $h_{n(k)}^*$ и регуляризации $r_{n(k)}^*$ определялись периодически, при $n(k) = 5, 10, 15, \dots$ путем решения оптимизационной задачи (3.3) при квадратичном показателе методом деформированного многогранника [30].

Таким образом, в данном разделе выпускной квалификационной работы описан метод алгоритмов идентификации нестационарных сигналов с переменными параметрами, зависящими от времени, с учетом дополнительной априорной информации при неизвестных статистических характеристиках случайных факторов и ограниченных объемах исходных данных.

На основе экспериментальных данных, полученных с датчика магнитного поля турбогенератора, показано, что предложенные модели и алгоритмы идентификации обеспечивают достаточно надежное обнаружение локальных изменений сигнала в связи с повреждением обмотки ротора.

4 ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ

Целью выпускной квалификационной работы является разработка и экспериментальные исследования способов идентификации параметров и переменных состояний электромеханических преобразователей энергии.

Целью данного раздела является определение перспективности и успешности научно-исследовательского проекта, выявление преимуществ информационных технологий для снятия режимных параметров и сопровождения конкретных проектных решений на этапе реализации.

Данная глава выпускной квалификационной работы посвящена описанию потребителя результата исследования, составлению плана выполнения работ, определению трудоемкости работ, построению линейного графика. Также будет рассчитана стоимость затрат научной исследовательской работы, осуществлен комплексный SWOT - анализ научно-исследовательского проекта.

Разработка НТИ производится руководителем и студентом, выполняющим выпускную квалификационную работу.

4.1 Технико-экономическое обоснование НТИ

Технико-экономическое обоснование научно-исследовательских работ проводится с целью определения и анализа трудовых и денежных затрат, направленных на их реализацию, а также уровня их научно-технической результативности [31].

Основным источником выработки электроэнергии на электростанциях, является турбогенератор и, следовательно, для обеспечения качественной электроэнергии потребителям необходимо проводить постоянное диагностирование данного вида оборудования. Основным тяжело выявляемым источником повреждения является витковое замыкание в обмотках ротора, которое может стать причиной выхода из строя всего агрегата. Поэтому

определение повреждения в обмотках ротора является актуальной задачей в настоящее время.

Предлагаемый способ диагностирования обмоток ротора позволит значительно снизить затраты на ремонт турбогенераторов, поскольку даст возможность своевременно выявить витковое замыкание в обмотках ротора даже на ранних стадиях зарождения дефекта.

Целевая аудитория результатов исследовательской работы может быть весьма разнообразной. Потребителями могут являться следующие компании: ОАО «СО ЕЭС», ПАО «Россети», ОАО «ФСК ЕЭС», а так же различные как энергетические, так и проектировочные компании.

4.2 SWOT-анализ проекта

Значимым инструментом маркетингового исследования является SWOT-анализ. Для оценки научно-технического исследования воспользуемся данным анализом.

SWOT-анализ - это изучение сильных и слабых сторон, возможностей и угроз, которые помогают выяснить те обстоятельства, в которых существует предприятие [32].

В таблице 4.1 представлена матрица SWOT научно-исследовательского проекта.

Таблица 4.1 – SWOT-анализ научно-исследовательского проекта

Внутренняя среда	Внешняя среда
<p><u>Сильные стороны научно-исследовательского проекта:</u></p> <p>С1. Применение новых технологий. С2. Экологичность технологии. С3. Более низкая стоимость производства по сравнению с другими технологиями. С4. Наличие бюджетного финансирования. С5. Квалифицированный персонал.</p>	<p><u>Возможности:</u></p> <p>В1. Использование инновационной инфраструктуры ТПУ В2. Поддержка энергоснабжающих организации В3. Появление дополнительного спроса на новый продукт В4. Снижение таможенных пошлин на сырье и материалы, используемые при научных исследованиях В5. Повышение стоимости конкурентных разработок</p>
<p><u>Слабые стороны научно-исследовательского проекта:</u></p>	<p><u>Угрозы:</u></p> <p>У1. Отсутствие спроса на новые</p>

Сл1. Отсутствие прототипа научной разработки	технологии производства У2. Развитая конкуренция технологий производства У3. Ограничения на экспорт технологии У4. Введения дополнительных государственных требований к сертификации продукции У5. Несвоевременное финансовое обеспечение научного исследования со стороны государства
Сл2. Отсутствие у потенциальных потребителей квалифицированных кадров по работе с научной разработкой	
Сл3. Отсутствие инжиниринговой компании, способной построить производство под ключ	
Сл4. Отсутствие необходимого оборудования для проведения испытания опытного образца	
Сл5. Большой срок поставок материалов и комплектующих, используемых при проведении научного исследования	

В таблице 42 представлена интерактивная матрица проекта.

Таблица 4.2 – Интерактивная матрица проекта

Сильные стороны проекта						
Возможности проекта		C1	C2	C3	C4	C5
	B1	+	+	-	0	+
	B2	+	+	0	-	0
	B3	-	+	+	-	0
	B4	-	-	0	+	0
	B5	+	+	+	0	0

По данной интерактивной матрице можно сказать, что направление реализации проекта будет происходить по двум возможным путям: B1C1C2C5 и B5C1C2C3.

Таблица 4.3 – Матрица решений

Внутренняя среда	Внешняя среда
<u>Использования сильных сторон научно-исследовательского проекта:</u> С1. Использование новых технологий. С2. Сохранение целостности окружающей среды. С3. Простота производства по сравнению с другими технологиями. С4. Получение бюджетного финансирования. С5. Квалифицированный персонал.	<u>Использования возможностей внешней среды:</u> В1. Применение инновации в ТПУ В2. Финансирование заинтересованных сторон В3. Появление дополнительного спроса на новый продукт В4. Недорогая доставка сырья и материалов, используемые при научных исследованиях В5. Повышение стоимости конкурентных разработок
<u>Способы преодоления слабых сторон научно-исследовательского проекта:</u> Сл1. Создания первичного прототипа Сл2. Привлечение квалифицированных	<u>Способ преодоления угроз внешней среды:</u> У1. Проведения рекламных акций У2. Публикация полученных положительных результатов

кадров по работе с научной разработкой Сл3. Привлечение различных компании связанные для создания производства нового продукта Сл4. Закупка необходимого оборудования для проведения испытания опытного образца Сл5. Авиа-доставка необходимых материалов	У3. Создания договоренности сторон У4. Повышения качества продукции У5. Привлечение спонсоров
---	---

4.3 Организация и планирование научно-исследовательских работ

Для выполнения научных исследований была сформирована рабочая группа, в состав которой входят научный руководитель и студент. На каждый вид запланированных работ установлены соответствующие исполнители.

В этом разделе производится планирование работ в рамках проведения научного исследования. Составляется распределение исполнителей по видам работ. Порядок работ и распределение исполнителей по данным видам работ приведен в таблице 4.4.

Таблица 4.4 – Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

Этапы	Содержание работы	Исполнитель
Разработка научного задания	1. Разработка научного задания, постановка задачи	Руководитель студент
Выбор направления исследований	2. Подбор и изучение материалов по теме	студент
	3. Выбор направления исследований	Руководитель студент
	4. Календарное планирование работ по теме	Руководитель студент
Теоретические исследования	5. Изучение программного обеспечения математического аппарата искусственных нейронных сетей, лабораторного оборудования	студент
	6. Исследование и моделирование различных динамических объектов	Руководитель студент
Практический и расчетный этап	7. Создание модели синхронного генератора с витковым замыканием	Руководитель студент
	8. Проведение ряда экспериментов	Руководитель студент
Обобщение и оценка результатов	9. Оценка полученных результатов	Руководитель студент
Оформление отчета	10. Составление отчета	студент

Таким образом, научное исследование состоит из шести этапов, которые включают в себя 10 видов работ.

4.4 Линейное планирование

Для определения трудовых затрат необходимо рассчитать трудоемкость работ каждого из участников научного исследования.

Трудоемкость выполнения научного исследования оценивается экспертным путем в человеко-днях [33]. Для расчёта ожидаемого (среднего) значения трудоемкости $t_{\text{ож}i}$ используется следующая формула:

$$t_{\text{ож}i} = \frac{3t_{\text{мин}i} + 2t_{\text{макс}i}}{5}, \quad (4.1)$$

где $t_{\text{ож}i}$ – ожидаемая трудоемкость выполнения i -ой работы чел.-дн.;

$t_{\text{мин}i}$ – минимально возможная трудоемкость выполнения заданной i -ой работы, чел.-дн.;

$t_{\text{макс}i}$ – максимально возможная трудоемкость выполнения заданной i -ой работы, чел.-дн.

Исходя из расчетов трудоемкости работ, определяется время выполнения каждой i -ой работы (T_{pi}) по формуле:

$$T_{pi} = t_{\text{ож}i} / \mathcal{C}_i, \quad (4.2)$$

где T_{pi} – продолжительность одной работы, раб. дн.;

$t_{\text{ож}i}$ – ожидаемая трудоемкость выполнения одной работы, чел.-дн.

\mathcal{C}_i – численность исполнителей, выполняющих одновременно одну и ту же работу на данном этапе, чел.

Пример расчета ожидаемой трудоемкости и продолжительности работы №1:

$$t_{\text{ожі}} = \frac{3t_{\text{min } i} + 2t_{\text{max } i}}{5} = \frac{3 \cdot 2 + 2 \cdot 7}{5} = 4;$$

$$T_{p_i} = \frac{t_{\text{ожі}}}{\text{Ч}_i} = \frac{4}{2} = 2.$$

В таблице 4.5 отражена необходимая информация для построения графика Ганта.

Таблица 4.5 – Состав информации для построения календарного графика

Перечень работ	Трудоемкость работ			Численность исполнителей Ч_i , чел	Длительность выполнения работ T_{p_i} , раб. дн.
	t_{min} , чел-дни	t_{max} , чел-дни	$t_{\text{ожі}}$, чел-дни		
1. Получение задания, постановка задачи	2	7	4	2	2
2. Подбор и изучение материалов по теме	12	17	14	1	14
3. Выбор направления исследований	2	7	4	2	2
4. Календарное планирование работ по теме	3	5	3,8	2	2
5. Изучение программного обеспечения математического аппарата искусственных нейронных сетей, лабораторного оборудования	12	17	14	1	14
6. Исследование и моделирование различных динамических объектов	11	15	12,6	2	6
7. Создание модели синхронного генератора с витковым замыканием	14	19	16	2	8
8. Проведение ряда экспериментов	6	11	8	1	8
9. Оценка полученных результатов	6	16	10	2	5
10. Составление отчета	7	14	9,8	1	10
Итого:					71

На основе таблицы 4.5 построен календарный план-график (табл.4.6). Таким образом, общая продолжительность НИР составила 71 рабочий день, при этом не учитывались выходные и праздничные дни. Общая продолжительность НИР составила 102 дня.

Таблица 4.6 – Календарный план-график

№	Выполнение работ	Исп.	Февраль														Март																								
			5	8	9	10	11	12	15	16	17	18	19	22	24	25	26	29	1	2	3	4	7	9	10	11	14	15	16	17	18	21	22	23	24	25	28	29	30	31	
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	
1	Получение задания, постановка задачи	Рук	■	■																																					
		студент	■	■																																					
2	Подбор и изучение материалов по теме	Рук																																							
		студент			■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
3	Выбор направления исследования	Рук																																							
		студент																				■	■																		
4	Календарное планирование работ по	Рук																																							
		студент																					■	■																	
5	Изучение программного обеспечения	Рук																																							
		студент																																							
6	Исследование и моделирование	Рук																																							
		студент																																							■

№	Выполнение работ	Исп.	Апрель														Май																								
			6	7	8	11	12	13	14	15	18	19	20	21	22	25	26	27	28	29	2	3	4	5	6	10	11	12	13	16	17	18	19	20	23						
			39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71						
6	Исследование и моделирование	Рук	■	■																																					
		студент	■	■																																					
7	Создание модели СГ с ВЗ	Рук			■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
		студент			■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
8	Проведение экспериментов	Рук																																							
		студент																																							
9	Оценка полученных результатов	Рук																																							
		студент																																							
10	Составление отчета	Рук																																							
		студент																																							

4.5 Бюджет НТИ

При формировании бюджета научного проекта учитываются следующие группы затрат:

- а) материальные затраты;
- б) затраты на оплату труда:
 - основная заработная плата;
 - дополнительная заработная плата;
- в) отчисления во внебюджетные фонды (страховые взносы);
- г) амортизация;
- д) накладные расходы.

4.5.1 Расчет материальных затрат

К материальным затратам относятся приобретаемые со стороны материалы, а также запасные части оборудования [34]. Для разработки текущего научного проекта необходимо приобретение бумаги, ручек, а также затраты на заправку картриджа для принтера. В таблице 4.7 представлены данные по канцелярским расходам.

Таблица 4.7 – Канцелярские расходы

№	Наименование	Единица измерения	Количество	Цена за ед., руб.	Общая стоимость, руб.
1	Бумага	Упаковка	2	150	300
2	Ручка	Штука	5	12	60
3	Картридж для принтера	Штука	1	1600	1600
	Итого:				1960

4.5.2 Оплата труда

Величина расходов на оплату труда определяется исходя из трудоемкости выполняемых работ и действующей системы окладов и тарифных ставок. Для руководителя проекта заработная плата за один рабочий день составляет 1100 руб., для студента, принятого в качестве м.н.с. - 450 руб. Расчет основной заработной платы приведен в таблице 4.8.

Таблица 4.8 – Расчет основной заработной платы

Наименование этапов	Исполнители по категориям	Трудо-емкость, чел.-дн.	З/п, приходящаяся на один чел.-дн., руб.	Всего з/п по тарифу (окладам), руб
1. Получение задания, постановка задачи	Руководитель	2	1100	2200
	м.н.с.		450	900
2. Подбор и изучение материалов по теме	м.н.с.	14	450	6300
3. Выбор направления исследований	Руководитель	2	1100	2200
	м.н.с.		450	900
4. Календарное планирование работ по теме	Руководитель	2	1100	2200
	м.н.с.		450	900
5. Изучение программного обеспечения	м.н.с.	14	450	6300
6. Исследование и моделирование динамических объектов	Руководитель	6	1100	6600
	м.н.с.		450	2700
7. Создание модели СГ с витковым замыканием	Руководитель	8	1100	8800
	м.н.с.		450	3600
8. Проведение ряда экспериментов	м.н.с.	8	450	3600
9. Оценка полученных результатов	Руководитель	5	1100	5500
	м.н.с.		450	2250
10. Составление пояснительной записки	м.н.с.	10	450	4500
Итого:				60000

Рассчитывается плановый фонд заработной платы в соответствии с построенным графиком выполнения работ. Величина планового фонда заработной платы определяется по формуле:

$$ЗП = ЗП_T + ЗП_д + ЗП_п, \quad (4.3)$$

где $ЗП_T$ – тарифный фонд заработной платы (по окладам);

$ЗП_д$ – дополнительная заработная плата за неотработанное время (отпуск),

$$ЗП_{д} = (0,08 - 0,16) ЗП_{т};$$

$ЗП_{п}$ – доплаты за условия работы и проживания (0,3-0,5) $ЗП_{т}$ (учитывается поправочный коэффициент и доплата за вредные и опасные условия работы).

Тарифный фонд заработной платы на месяц

$$ЗП_{т} = З_{тс} \cdot (1 + k_{пр} + k_{д}) \cdot k_{р}, \quad (4.4)$$

где $З_{тс}$ – заработная плата по тарифной ставке, руб.;

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

$k_{д}$ – коэффициент доплат и надбавок, составляет примерно 0,2 – 0,5, примем равным 0,3;

$k_{р}$ – районный коэффициент, равный 1,3 (город Томск).

Тогда для руководителя:

$$ЗП_{т} = З_{тс} \cdot (1 + k_{пр} + k_{д}) \cdot k_{р} = 27500 \cdot (1 + 0,3 + 0,3) \cdot 1,3 = 57200 \text{ рублей.}$$

Для м.н.с.:

$$ЗП_{т} = З_{тс} \cdot (1 + k_{пр} + k_{д}) \cdot k_{р} = 30150 \cdot (1 + 0,3 + 0,3) \cdot 1,3 = 62700 \text{ рублей.}$$

Средняя зарплата за один день руководителя:

$$ЗП_{день} = \frac{ЗП_{т}}{21} = \frac{57200}{21} = 2723 \text{ рублей.}$$

Средняя зарплата за один день м.н.с.:

$$ЗП_{день} = \frac{ЗП_{т}}{21} = \frac{62700}{21} = 2985 \text{ рублей.}$$

Дополнительная заработная плата

Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей учитывают величину доплат за отклонение от нормальных условий труда, а также выплат, связанных с обеспечением гарантий и компенсаций (при исполнении государственных и общественных обязанностей, при совмещении работы с обучением, при предоставлении ежегодного оплачиваемого отпуска и т.д.). Расчет дополнительной заработной платы ведется по следующей формуле:

$$ПЗ_{II} = 0,08 \cdot ПЗ_T, \quad (4.5)$$

Для руководителя: $ПЗ_{II} = 0,08 \cdot ПЗ_T = 0,08 \cdot 103500 = 8280$ рублей.

Для м.н.с.: $ПЗ_{II} = 0,08 \cdot ПЗ_T = 0,08 \cdot 212000 = 16960$ рублей.

Таблица 4.9 – Расчет заработной платы

Исполнитель	З _{тс} , руб.	К _{пр}	К _д	К _р	ЗП _т , руб·м	ЗП _{день} , руб	Т _р , раб.дн.	ЗП _т , руб	ЗП _п , руб	ЗП, руб
Руководитель	27500	0,3	0,3	1,3	57200	2723	38	103500	8280	111780
м.н.с.	30150	0,3	0,3	1,3	62700	2985	71	212000	16960	228960
Итого:										340750

4.5.3 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)

Отчисления во внебюджетные фонды – это обязательные отчисления по установленным законодательством Российской Федерации нормам органам государственного социального страхования (ФСС), пенсионного фонда (ПФ) и медицинского страхования (ФФОМС) от затрат на оплату труда работников.

Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется исходя из следующей формулы:

$$З_{внеб} = k_{внеб} \cdot З_{ЗП}, \quad (4.6)$$

где $k_{внеб}$ – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды (пенсионный фонд, фонд обязательного медицинского страхования и пр.).

На 2015 г. в соответствии с Федеральным законом от 24.07.2009 №212-ФЗ установлен размер страховых взносов равный 30%. На основании пункта 1 ст.58 закона №212-ФЗ для учреждений осуществляющих образовательную и научную деятельность в 2015 году водится пониженная ставка– 27,1%.

$$З_{внеб} = 0,271 \cdot 340750 = 92345 \text{ рублей.}$$

Таблица 4.10 – Отчисления во внебюджетные фонды

Исполнители	З _{зп} , руб.	З _{внеб} ,руб
Руководитель	111780	30295
м.н.с.	228960	62050
Итого:		92345

4.5.4 Амортизация

В статью не включаются все затраты, связанные с приобретением специального оборудования и ПО, необходимых для проведения работ по данной теме. Т.к. оборудование и ПО не приобреталось специально для данного проекта, а существовало ранее в лаборатории ЭНИН ТПУ, то учтем эту статью расходов как амортизационные отчисления.

Расчет амортизации проводился следующим образом:

$$H_A = \frac{1}{n} = \frac{1}{5} = 0,2, \quad (4.7)$$

где H_A – норма амортизации;

n – срок полезного использования, лет;

$$A = \frac{H_A \cdot I}{12} \cdot t, \quad (4.8)$$

где I – итоговая сумма, тыс.руб.;

t – время использования, мес.;

$$A = \frac{0,2 \cdot 506,4}{12} \cdot 4 = 33,76 \text{ тыс.руб.},$$

Таблица 4.11 – Затраты на оборудование и ПО

Наименование оборудования	Кол-во единиц оборудования	Цена единицы оборудования, тыс. руб.	Общая стоимость оборудования, тыс. руб.
Компьютер	2	25	50
Программное обеспечение Microsoft Visio 2013	2	13,2	26,4
Программное обеспечение Microsoft Office 2013	2	15	30
Программное обеспечение MATLAB	1	400	400

Итого:	506,4 тыс. руб.
Амортизация:	33,76 тыс. руб.

4.5.5 Накладные расходы

К накладным расходам относятся налоги, сборы, отчисления в специальные внебюджетные фонды, платежи по обязательному страхованию имущества, платежи за предельно допустимые выбросы загрязняющих веществ; вознаграждения за изобретения и рационализаторские предложения; затраты на командировки; плата сторонним организациям за пожарную и сторожевую охрану; за подготовку кадров; оплата услуг связи, вычислительных центров, банков; плата за аренду; представительские расходы; затраты на ремонт. И принимаются как 140 % от заработной платы.

В итоге накладные расходы будут равны:

$$З_{\text{накл}} = ЗП \cdot 1,4 = 340750 \cdot 1,4 = 477050 \text{ руб.}$$

4.5.6 Прочие неучтенные расходы

Прочие расходы учитывают прочие затраты организации, не попавшие в предыдущие статьи расходов: печать и ксерокопирование материалов исследования, оплата услуг связи, электроэнергии, почтовые и телеграфные расходы, размножение материалов и т.д. Их величина определяется с помощью таблицы 4.8 по следующей формуле:

$$З_{\text{пр}} = (\text{сумма статей } 1 \div 4) \cdot k_{\text{пр}},$$

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

Величина коэффициента прочих неучтенных расходов принята в размере 10%.

4.5.7 Формирование сметы затрат

Смета бюджета затрат отражает сумму средств необходимых для конкретного пункта проекта (табл.4.12).

Таблица 4.12 – Смета затрат

Элементы текущих затрат	Сумма текущих затрат, руб.
1. Материальные затраты	1960
2. Затраты на оплату труда	340750
3. Отчисления во внебюджетные фонды	92345
4. Амортизация	33760
5. Накладные расходы	555520
6. Прочие неучтенные расходы	25200
7. Бюджет затрат	1049550

4.6 Оценка научно-технического уровня проекта

Количественная оценка научного или научно-технического уровня может быть произведена путем расчета результативности участников разработки по формуле:

$$K_{\text{нy}} = \sum_{i=1}^n (K_{\text{дy}i} \cdot d_i), \quad (4.9)$$

где $K_{\text{нy}}$ – коэффициент научного или научно-технического уровня;

$K_{\text{дy}i}$ – коэффициент достигнутого уровня i -го фактора;

d_i – значимость i -го фактора;

n – количество факторов.

Таблица 4.13 – Оценка научного уровня разработки

Показатели	Значимость показателя	Достигнутый уровень	Значение i -го фактора
	d_i	$K_{\text{дy}i}$	$K_{\text{дy}i} \cdot d_i$
1. Новизна полученных или предполагаемых результатов	0,3	0,5	0,15
2. Перспективность использования результатов	0,3	0,6	0,18
3. Завершенность полученных результатов	0,2	0,8	0,16
4. Масштаб возможной реализации полученных результатов	0,2	0,5	0,1
Результативность	$K_{\text{нy}} = \sum (K_{\text{дy}i} \cdot d_i) = 0,59$		

Далее приведено обоснование величины коэффициента достигнутого уровня, соответствующего перечисленным показателям:

а) Новизна полученных или предполагаемых результатов: подобная исследовательская работа не производилась ранее для решения данной проблемы.

б) Перспективность использования результатов: результаты данной работы можно использовать в будущем, т.к. разработанная математическая модель СГ с витковым замыканием в обмотке ротора позволяет наблюдать токи и напряжения в статоре и роторе в различных эксплуатационных режимах СГ при возникновении данного вида повреждения.

в) Завершенность полученных результатов: полученные результаты отражают разработанные мероприятия и могут быть взяты за основу при дальнейших исследованиях.

г) Масштаб возможной реализации полученных результатов: апробированный метод диагностики виткового замыкания обмоток ротора позволит применять ее в энергетической промышленности и в различных областях электроэнергетики. Результаты экспериментальных исследований показывают достоверность и обоснованность математической модели.

4.7 Расчет прибыли проекта

При расчете прибыли учитывается, коэффициент научного уровня. Тогда прибыль составит:

$$П = С \cdot K_{\text{н}} = 1050550 \cdot 0,59 = 619\,225 \text{ рублей.}$$

В результате прибыль проекта составит 619 225 рублей.

Цена проекта определяется как сумма себестоимости и прибыли и равна:

$$Ц = С + П = 1050550 + 619225 = 1\,669\,775 \text{ рублей.}$$

В результате цена проекта составит 1 669 775 рублей.

4.8 Заключение по разделу

Таким образом, в ходе выполнения данного раздела было произведено определение структуры работы в рамках научного

исследования, определение участников каждой работы, установлены продолжительности работ, построен график проведения научных исследований. Произведен расчет затрат на проведение научно-исследовательской работы по диагностике витковых замыканий в СГ.

Данное исследование имеет высокую актуальность, а его результаты могут быть использованы для проведения более масштабных научно-исследовательских работ и в дальнейшем воплощены в жизнь в больших масштабах. Разработанная математическая модель СГ с витковым замыканием в обмотке ротора позволяет наблюдать токи и напряжения в статоре и роторе в различных эксплуатационных режимах СГ при возникновении данного вида повреждения.

По итогам расчетов цена проекта составила 1 669 775 рублей.

С экономической точки зрения, разработка системы диагностирования обмоток ротора синхронных машин, позволит снизить затраты на ремонт и эксплуатацию турбогенераторов, что в свою очередь увеличит эффективность эксплуатации данного оборудования. Это означает, что данное научно-техническое исследования имеет привлекательность и экономическую основу для взаимодействия с потенциальными инвесторами.

5 СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ

Тема выпускной квалификационной работы: «Разработка технологии адаптивной идентификации сигналов для оценки технического состояния турбогенераторов», в данном разделе будут рассмотрены вредные и опасные производственные факторы, действующие на машиниста-оператора турбинного цеха на электростанции, а также безопасность в чрезвычайных ситуациях и экологическая безопасность.

В соответствии со стандартом [35], социальная ответственность – это ответственность организации за воздействие ее решений и деятельности на общество и окружающую среду через прозрачное и этическое поведение, которое: содействует устойчивому развитию, включая здоровье и благосостояние общества; учитывает ожидания заинтересованных сторон; соответствует применяемому законодательству и согласуется с международными нормами поведения; интегрировано в деятельность всей организации и применяется в ее взаимоотношениях.

В процессе любой трудовой деятельности, каждый человек, вовлечённый в эту деятельность, подвергается воздействию целого комплекса производственных факторов. В свою очередь, эти факторы способны влиять на здоровье человека. Совокупность всех факторов, влияющих на здоровье человека, называется условиями труда.

Реальные условия труда характеризуются различными вредными и опасными факторами. Зачастую, между опасными и вредными факторами не существует чёткой границы, каждый фактор может рано или поздно привести к потере здоровья или к несчастному случаю.

5.1 Производственная безопасность

5.1.1 Анализ выявленных вредных и опасных факторов

В связи с интенсивным развитием промышленности проблема предупреждения неблагоприятного воздействия на организм вредных и

опасных факторов производственной среды приобретает в последнее время все большее медико-биологическое и социальное значение.

Вредные производственные факторы, которые воздействуют на машиниста-оператора могут привести к его заболеванию, а именно:

- микроклимат;
- освещение;
- акустический шум;
- электромагнитное поле ;

Опасные производственные факторы, которые воздействуют на машиниста-оператора и могут привести к его травме, а именно:

- электрический ток;
- пожар;

Классификация производственных факторов осуществляется на основании [36].

5.1.2 Микроклимат на электростанциях

Оптимальные микроклиматические условия – сочетание параметров климата, которые при длительном и систематическом воздействии на человека обеспечивают сохранение нормального функционирования и теплового состояния без напряжения реакций терморегуляции. Они обеспечивают ощущение теплового комфорта и создают предпосылки для высокого уровня работоспособности.

Условия труда машиниста-оператора турбинного цеха осложняет наличие источника тепловыделений - турбогенераторов и котлов.

Температура воздуха в турбинных отделениях ТЭС в теплое время составляет 21-48°C, относительная влажность – 15-76 %, скорость движения воздуха – 0,5-2,2 м/с, в холодный период – соответственно 18-38°C, 20-70 %, 0,5-1,5 м/с [37].

Неблагоприятные перепады производственного микроклимата в турбинных отделениях ТЭС обусловлены наличием многочисленного теплонесущего оборудования. Высокая температура воздуха и низкая (большей частью) относительная влажность в котельно-турбинных цехах объясняется значительными конвективными и радиационными тепловыделениями от оборудования.

Работа машиниста-оператора по категории тяжести относится средней тяжести категория Пб согласно [28].

Допустимые величины показателей микроклимата на рабочих местах производственных помещений представлены в таблице 7 и допустимые величины интенсивности теплового облучения поверхности тела работающих от производственных источников в таблице 5.1.

Таблица 5.1 – Допустимые величины показателей микроклимата на рабочих местах производственных помещений

Период года	Категория работ по уровню энергозатрат, Вт	Температура воздуха, °С	Температура поверхностей, °С	Относительная влажность воздуха, %	Скорость движения воздуха, м/с
Холодный	Пб (233-290)	15-22	14-23	15-75	0,2-0,4
Теплый	Пб (233-290)	16-27	15-28	15-75	0,2-0,5

Таблица 5.2 – Допустимые величины интенсивности теплового облучения поверхности тела работающих от производственных источников

Облучаемая поверхность тела, %	Интенсивность теплового облучения, Вт/м, не более
50 и более	35
25-50	70
Не более 25	100

Требуемое состояние микроклимата рабочей зоны может быть обеспечено при использовании:

- защиты от источников тепловых излучений для снижения температуры воздуха в помещении и теплового облучения работающих;
- устройств вентиляции и отопления [39].

Для обеспечения норм согласно [40] принимаются меры к устранению избыточного тепловыделения (сверх расчетного) с использованием естественных и принудительных средств вентиляции.

Сжигание в котлах газа может сопровождаться поступлением в воздух рабочей зоны оксида углерода, никеля, ванадия, диоксида серы, оксида азота, углеводородов, аммиака, сероводорода, триоксикрезилфосфата и других химических веществ. В случае неисправностей в газопроводах газ может поступать в цеха. В воздухе рабочей зоны основных цехов ТЭС определяются содержание указанных ингредиентов в соответствии

Для обеспечения норм ПДК оксида углерода в турбинных отделениях устанавливают средства принудительной вентиляции согласно требованиям [41].

5.1.3 Освещение

Рабочее освещение предусматривается для всех помещений производственных зданий, а также участков открытых пространств, предназначенных для работы.

На рабочем месте машиниста-оператора освещение нормируется согласно таблице 5.5 [42].

Таблица 5.5 – Нормируемые показатели естественного, искусственного и совмещенного освещения

Помещение	Искусственное освещение			
	Освещенность, лк			Коэффициент пульсации освещенности, K_p , %, не более
	При комбинированном освещении		При общем освещении	
	всего	От общего		
Помещения для работы с дисплеями и видеотерминалами	500	300	400	10

Искусственное освещение на рабочем месте машиниста-оператора осуществляется с помощью электрических источников света, люминесцентными лампами, по сравнению с лампами накаливания имеют существенные преимущества:

- По спектральному составу света ни близки к дневному;
- Высокая светоотдача (в 3-4 раза выше, чем у ламп накаливания);
- Высокий КПД (в 1,5-2 раза выше, чем КПД ламп накаливания);
- Больше длительный срок службы.

5.1.4 Акустический шум

Работа агрегатов сопровождается постоянным высоко- и низкочастотным шумом. Уровни шума в котельно-турбинных цехах находятся в определенной зависимости от мощности оборудования, вида используемого топлива.

Действие шума на организм человека не ограничивается влиянием на состояние человека. Повышенный шум влияет на нервную и сердечнососудистую системы, репродуктивную функцию человека, вызывает раздражение, нарушение сна, утомление, агрессивность, способствует психическим заболеваниям.

Согласно [40] уровни звукового давления на электростанции не должны превышать значений, указанных в таблице 5.4.

Таблица 5.4 – Допустимые уровни звукового давления в октавных полосах частот

Уровни звукового давления, дБ в октавных полосах со среднегеометрическими частотами, Гц									Уровни звука и эквивалентные уровни звука, дБА
31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
107	95	87	82	78	75	73	71	69	80

Характеристика уровня шумового воздействия на машиниста-оператора турбинного цеха ТЭС свидетельствует, что на рабочих местах в турбинном и котельном цехах уровень шума превышает допустимую величину 80 дБА.

Для снижения шума применяют следующие методы: уменьшение в источнике, изменение направленности излучения, рациональная планировка предприятий и цехов, акустическая обработка помещений, уменьшение шума на пути его распространения.

Защита от шума регламентируется [41]. К мероприятиям по защите от шума относятся: уменьшение шума в источнике возникновения; применение специальных глушителей, звукоизоляция помещений и оборудования, звукопоглощение, проведение предварительных и периодических осмотров рабочих мест и помещений, использования СИЗ от шума (беруши, противозумные шлемы, антифоны).

5.1.5 Электромагнитное поле

Источником электромагнитных полей промышленной частоты являются токоведущие части действующих электроустановок, находящиеся под напряжением, в нашем случае турбогенераторы.

Оценка электромагнитных полей промышленной частоты осуществляется отдельно по напряженности электрического поля, напряженности магнитного поля. Нормирование электромагнитных полей 50 Гц на рабочих местах на рабочих местах персонала дифференциально в зависимости от времени пребывания.

Нормы на предельно допустимые напряженности электрического поля на промышленной частоте для персонала установлены в [43]:

- $E \geq 25$ кВ/м – пребывание в ЭП без средств защиты не допускается;
- $20 < E < 25$ кВ/м – пребывание в ЭП не более 10 минут;
- при $5 < E \leq 20$ кВ/м допустимое время пребывания в ЭП вычисляют по формуле: $T, \text{ часов} = (50 / E) - 2$;
- $E \leq 5$ кВ/м – пребывание в ЭП допускается в течение полного рабочего дня.

Нормы на предельно допустимые напряженности магнитного поля на промышленной частоте для персонала установлены в таблице 5.6 [44]:

Таблица 5.6 - Предельно допустимые уровни магнитного поля

Время пребывания (ч)	Допустимые уровни МП Н (А/м)/В (мкТл) при воздействии	
	общем	локальном
<1	1600/2000	6400/8000
2	800/1000	3200/4000
4	400/500	1600/2000
8	80/100	800/1000

Защита от электромагнитного поля должна обеспечиваться применением средств и методов коллективной и индивидуальной защиты.

Методы и средства индивидуальной защиты включают в себя: экранирующие куртка с капюшоном; экранирующие брюки или полукомбинезон; экранирующий нагасник; экранирующие перчатки; экранирующая обувь; экранирующие перчатки и утепленные рукавицы; экран для лица.

Методы и коллективной защиты включают в себя: заземляющие устройства; нейтрализаторы; увлажняющие устройства; антиэлектростатические вещества; экранирующие устройства [45].

5.1.6 Электрический ток

Электрическая безопасность – система организационных мероприятий и технических средств, предотвращающих вредное и опасное воздействие на работающих от электрического тока и электрической дуги.

На электростанциях наибольшую опасность оказывает ток, прошедший через сердце, головной или спинной мозг, легкие.

Согласно [46, п.1.1.13] на электростанциях имеются помещения:

- без повышенной опасности (сухое, хорошо отапливаемое, помещение с токонепроводящими полами, с температурой 18-20°, с влажностью 40-50%.
- с повышенной опасностью (где имеется один из следующих признаков: повышенная температура, влажность 70-80%, токопроводящие

полы, металлическая пыль, наличие заземления, большого количества оборудования).

Все распоряжения, касающиеся включения и выключения напряжения питания, а также, фактическое время включения и выключения напряжения должны быть записаны в журнале работ станции или усилительного пункта.

На ключах, рубильниках или кнопках, посредством которых снято напряжение дистанционного питания, должны быть повешены плакаты с надписью «Не включать — работают люди!». Снять плакат и включить напряжение может только лицо, повесившее плакат (или его заменяющее по смене), после получения сообщения об окончании работ.

Отсутствие напряжения проверяют вольтметром или индикатором напряжения с неоновой лампой. Нельзя проверять наличие напряжения телефоном (наушниками) или рукой.

Для защиты персонала, обслуживающего электроустановку, от поражения электрическим током служат изолирующие защитные средства: при напряжении 1000 В – диэлектрические перчатки, монтерский инструмент с изолирующими ручками, указатели напряжения; при напряжении выше 1000 В – изолирующие и измерительные штанги, изолирующие лестницы и другие устройства и приспособления. К дополнительным изолирующим средствам при напряжении до 1000 В относятся диэлектрические боты и галоши, резиновые коврики и дорожки; при напряжении выше 1000 В – диэлектрические перчатки, боты, коврики, а также изолирующие подставки.

Во время работы на установках, находящихся под напряжением, при пользовании монтерским инструментом работающий должен быть в диэлектрических галошах или стоять на изолирующем основании, он должен быть в головном уборе и с опущенными и застегнутыми рукавами одежды. Заземление монтерского инструмента не допускается.

При пользовании переносными ручными электроинструментами и электроприборами, работающими под напряжением 127/220В, их корпуса

заземляют. У всех ручных электроинструментов периодически проверяют состояние изоляции проводов; ручки электроинструментов тщательно изолируют.

К защитным средствам относятся также переносные временные и постоянные ограждения, щиты, изолирующие колпаки, временные заземления и предупредительные плакаты.

Ограждения в виде сплошных или решетчатых деревянных щитов и ширм устанавливаются на расстоянии не менее 0,3-0,5 м от токопроводящих частей. Переносные временные заземления применяют для защиты от поражения током при случайном появлении напряжения на отключенных токопроводящих частях аппаратуры. При этом также вывешивается плакат «Не включать работают люди!».

5.2 Безопасность в чрезвычайных ситуациях

Под источником чрезвычайной ситуации понимают опасное природное явление, аварию или опасное техногенное происшествие, широко распространенную инфекционную болезнь людей, сельскохозяйственных животных и растений, а также применение современных средств поражения, в результате чего произошла или может возникнуть чрезвычайная ситуация [47].

Возможные чрезвычайные ситуации:

- аварии на электроэнергетическом оборудовании станции;
- пожары на подстанции;

Технологический процесс преобразования энергии топлива в теплоту связан с опасностью пожара и взрыва. При пожаре опасными факторами являются: открытый огонь, повышенная температура воздуха и предметов, дым, недостаток кислорода в воздухе, обрушение зданий.

В таблице 5.7 приведены помещения электростанции с категориями по взрывопожарной и пожарной опасности [48].

Таблица 5.7 – Помещения тепловой электростанции с категориями по взрывопожарной и пожарной опасности

№ п/п	Наименование помещений	Условия производства, характеристика веществ и материалов в помещении	Категория помещения
1	С паровыми турбинами	Паропроводы, арматура и оборудование с температурой нагрева поверхности 400 °С и выше	Г
2	С газовыми турбинами	Горючие газы и жидкости сжигаются в качестве топлива	Г
3	Котельное отделение, пиковая, пускорезервная и отопительная котельная	Горючие газы, жидкости и твердые вещества сжигаются в качестве топлива	Г
4	Бункерно-деаэрационное отделение	Открыто со стороны котельного отделения. Бункера и питатели закрыты. Паропроводы с температурой нагрева поверхности 400 °С и выше	Г
5	Бункерная галерея	Транспортировка сгораемых материалов (угля, торфа, сланцев)	В2
6	Газоочистные, золоулавливающие устройства и помещения дымососов	Дымовые газы и зола, выше 100 °С	Г

Основные меры защиты от пожара:

1) Ограничение количества горючих веществ в производственном помещении, изоляция (герметизация) горючей среды.

2) Устранение возможных источников зажигания: электрических искр, нагрева оболочек оборудования, искр от удара инструмента, статического электричества и т. п.

3) Применение конструкций зданий, в том числе стен, колонн, перекрытий и т. п., определенной огнестойкости (например, в течение 0,25-2,5 ч) и горючести (несгораемые, трудносгораемые, сгораемые). Применение огнестойких покрытий конструкций в помещениях (окраска, облицовка, специальная пропитка).

4) Устройство противопожарных преград, противодымной защиты.

5) Устройство путей эвакуации людей в случае пожара.

6) Противопожарный режим на электростанции.

7) Пожарная охрана и сигнализация.

Противопожарный режим на электростанции включает разносторонние мероприятия. Чтобы газ или угольная пыль не попадали в помещение, технологическое оборудование, пыле- и газопроводы, горелки и т. п. надежно уплотняют. Помещения, а также тару из под взрывоопасных веществ вентилируют, чтобы избежать скопления взрывоопасной газовой смеси.

В помещении, где работают с огнеопасными веществами, нельзя пользоваться открытым пламенем; нужно применять электрические нагреватели с закрытым резистором или водяные бани.

Полы в помещениях тепловых цехов выполняют ровными, нескользящими, огнестойкими из твердых, прочных негорючих материалов. Их поддерживают постоянно в сухом и чистом состоянии. Пролитое масло должно немедленно насухо вытираться.

Нормативный перечень средств пожаротушения на подстанции [49]:

- огнетушитель углекислый ручной ОУ-2;
- огнетушитель воздушно-пенный ОВПС-250А;
- ящик с песком, лопата;
- войлок, асбест (2*1,5; 2*2).

При невозможности самостоятельно потушить пожар необходимо вызвать пожарную команду, после чего поставить в известность о случившемся инженера по технике безопасности.

5.3 Экологическая безопасность

Согласно федеральному закону "Об охране окружающей среды" от 10.01.2002 N 7-ФЗ, окружающая среда – совокупность компонентов природной среды, природных и природно-антропогенных объектов, а также антропогенных объектов.

Основными источниками загрязнения окружающей среды в энергетике являются тепловые электростанции. При сжигании твердого топлива в котлах на ТЭС или ТЭЦ образуется большое количество золы,

диоксида серы, канцерогенов. Они загрязняют окружающую среду и оказывают влияние на все компоненты природы. В таблице 5.8 показаны загрязнения атмосферы при работе ТЭЦ на разных видах топлива.

Таблица 5.8 – Загрязнение атмосферы при работе ТЭЦ на разных видах топлива, г/кВт/ч

Выброс	Вид топлива			
	Каменный уголь	Бурый уголь	Мазут	Природный газ
SO ₂	6,0	7,7	7,4	0,002
NO	21,0	3,4	2,4	1,9
Твердые частицы	1,4	2,7	0,7	-
Фтористые соединения	0,05	1,11	0,004	-

На электростанциях контроль за выбросам вредных веществ осуществляется специальными приборами.

Уменьшение выбросов летучей золы достигается путем использования высокоэффективных золоуловителей, а так же путем применения технологией сжигания топлива.

Также в топке котла при сжигании твердого топлива образуется шлак, который удаляется системой золошлакоудаления через лётку (отверстие в шлаковой шахте). Затем данные отходы захороняют на золо- и шлакоотвалах за пределами станции. Кроме того топливный шлак находит широкое применение в строительстве: из шлаковых расплавов вырабатывают минеральную вату, шлаковую пемзу, шлаковое литье и шлакоситаллы.

Для объективной санитарно-гигиенической оценки состояния той или иной природной среды (в т.ч. атмосферного воздуха) разработаны критерии, основным из которых является предельно допустимая концентрация (ПДК) вредного вещества, научно устанавливаемая для каждого вида в отдельности.

Современные промышленные предприятия путем сооружения высоких дымовых труб, позволяющих рассеивать вредные соединения, золу, сажу и пыль на большие пространства, обеспечивают нормы их ПДК в атмосфере.

5.4 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

Руководитель подстанции несет социальную ответственность как должностное лицо, в его обязанности входит контроль над процессами, происходящими на объекте.

Допуск к выполнению работ на подстанции осуществляется в соответствии с группой допуска по электробезопасности.

Работы по обслуживанию и ремонту действующих электроустановок с напряжением 42 В и выше переменного тока, 110 В и выше постоянного тока, а также монтажные, наладочные работы, испытания и измерения в этих электроустановках, предусматривают прохождение медосмотра с периодичностью 1 раз в 2 года.

В соответствие с Трудовым кодексом Российской Федерации, Правительство Российской Федерации постановлением от 20.11.2008 №870 установило работникам, занятым на тяжелых работах, работах с вредными и опасными и иными особыми условиями труда, по результатам аттестации рабочих мест следующие компенсации: повышение оплаты труда, сокращенную продолжительность рабочего времени и ежегодный дополнительный оплачиваемый отпуск.

В соответствии со статьей 219 Трудового кодекса РФ в случае обеспечения на рабочих местах безопасных условий труда, подтвержденных результатами аттестации рабочих мест по условиям труда или заключением государственной экспертизы условий труда, компенсации работникам не устанавливаются.

Таким образом, в данном разделе рассмотрены вредные и опасные производственные факторы, действующие на машиниста-оператора турбинного цеха электростанции, безопасность в чрезвычайных ситуациях, а также экологическая безопасность. Требуемые меры и средства защиты в чрезвычайных ситуациях способны максимально обезопасить предприятие и персонал от различных видов ущерба.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В соответствии с целью выпускной квалификационной работы было произведено моделирование синхронного генератора с витковым замыканием в обмотке ротора, разработана технология адаптивной идентификации сигналов для оценки технического состояния синхронных генераторов.

В первом разделе выполнен анализ статистики и причин возникновения витковых замыканий в обмотке ротора синхронных генераторов, а также их последствий, приводящих к недоотпуску электроэнергии.

Во втором разделе подробно описан процесс создания математической модели генератора с витковым замыканием в программной среде MatLab. С помощью разработанной модели можно наблюдать изменение искажения параметров тока и напряжения при возникновении виткового замыкания. На основании этих данных можно получить изменение индукции магнитного поля в различных зонах при возникновении данного вида повреждения.

В третьем разделе приведены результаты исследований по разработке технологии адаптивной идентификации сигналов для оценки технического состояния синхронных генераторов, позволяющей решать задачи фильтрации, сглаживания данных, обнаружения локальных изменений сигналов, оценки их параметров. На примере решения задачи диагностики сигналов магнитного поля синхронного генератора показано, что предложенные модель и технология идентификации с учетом априорной информации позволяют надежно определять локальные изменения сигнала с датчика магнитного поля, вызванные замыканием обмотки ротора. Работоспособность рассмотренных и разработанных моделей экспериментально подтверждается.

В ходе выполнения четвертого раздела было произведено определение структуры работы в рамках научного исследования,

определение участников каждой работы, установлены продолжительности работ, построен график проведения научных исследований. Произведен расчет затрат на проведение научно-исследовательской работы по диагностике витковых замыканий. По итогам расчетов цена проекта составила 1 669 775 рублей.

С экономической точки зрения, разработка системы диагностирования обмоток ротора синхронных машин, позволит снизить затраты на ремонт и эксплуатацию турбогенераторов, что в свою очередь увеличит эффективность эксплуатации данного оборудования. Это означает, что научно-техническое исследование имеет практическое значение и экономическую основу для взаимодействия с потенциальными инвесторами.

В пятом разделе рассмотрены основные вопросы по охране безопасности персонала на рабочих местах. Предложенные меры способствуют сохранению здоровья работников и повышению производительности труда. Требуемые меры и средства защиты в чрезвычайных ситуациях способны максимально обезопасить предприятие и персонал от различных видов ущерба. Меры пожарной и электробезопасности предохраняют от аварий крупного масштаба.

Список публикаций Васильевой Ю.З.

1. Васильева Ю. З. , Полищук В. И. Разработка способа выявления виткового замыкания в обмотке возбуждения синхронной машины // Научное обозрение. - 2014 - №. 12-1. - С. 55-58

2. Васильева Ю. З. , Елгина Г.А. Методика построения фильтра минимального порядка для диагностической системы генератора // Фундаментальные исследования. - 2014 - №. 11-9. - С. 1897-1900

3. Васильева Ю. З. Построение диагностики электроэнергетического оборудования на основе анализа собственного электромагнитного излучения [Электронный ресурс] // Современные техника и технологии: сборник трудов XX международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых: в 3 т., Томск, 14-18 Апреля 2014. - Томск: ТПУ, 2014 - Т. 1 - С. 11-12.- Режим доступа: http://www.lib.tpu.ru/fulltext/c/2014/C01/V1/C01_V1.pdf

4. Vasiljeva Y. Z. , Polishchuk V. I. Development of synchronous generator protection method against turn-to-turn short circuit rotor winding // Zpravy vedecke ideje - 2014: materialy X mezinarodni vedecko-prakticka konference , Prague, 27 January-5 February 2014. - Praha: Education and Science, 2014 - Vol. 11. Technike vedy. Moderni informacni technologie. Fyzika - p. 97-100

5. Vasiljeva Y. Z. , Balastov A. V. Power apparatus and systems malfunction diagnostic on the basis of its own electromagnetic emission analysis // Язык и мировая культура: взгляд молодых исследователей: сборник научных трудов XIV Всероссийской научно-практической конференции: в 2 частях , Томск, 25-28 Апреля 2014. - Томск: Изд-во ТПУ, 2014 - Т. 2 - С. 167-170

6. Васильева Ю. З. , Полищук В. И. Диагностика повреждения короткозамкнутой обмотки ротора асинхронного двигателя // Технические науки в России и за рубежом: материалы IV Международной научной конференции, Москва, 29 Января 2015. - Москва: Буки-Веди, 2015 - С. 50-53

7. Васильева Ю. З. Синтез оптимального фильтра для диагностической системы синхронного генератора // The Third International Conference on Eurasian scientific development: proceedings of the Conference, Вена, December 10, 2014. - Вена: East West, 2014 - p. 150-153

8. Vasiljeva Y. Z. Designing of digital band-pass filter for synchronous generator diagnostic system // Cutting-edge science - 2015 : materials of the XI International scientific and practical conference, Шеффилд, 30 April-7 May 2015. - Sheffield: Science and Education LTD, 2015 - Vol. 28. Technical Sciences - p. 38-41

9. Васильева Ю. З. , Полищук В. И. , Кулешова Е. О. Определение реактивной мощности для системы диагностики витковых замыканий в обмотке ротора синхронного генератора // Электротехника. Электротехнология. Энергетика: сборник научных трудов VII Международной научной конференции молодых ученых, Новосибирск, 9-12 Июня 2015. - Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2015 - Т. 1 - С. 13-15

10. Васильева Ю. З. Диагностика электрических машин в условиях сильных импульсных помех на основе ИНС [Электронный ресурс] // Молодежный научный форум: технические и математические науки: электронный сборник статей по материалам XXII студенческой Международной заочной научно-практической конференции, Москва, 8-10 Июня 2015. - Москва: МЦНО, 2015 - Т. 6 (25) - С. 83-88. - Режим доступа: [http://www.nauchforum.ru/archive/MNF_tech/6\(25\).pdf](http://www.nauchforum.ru/archive/MNF_tech/6(25).pdf)

11. Васильева Ю. З. , Полищук В. И. Технология адаптивной идентификации нестационарных сигналов // Электроэнергетика глазами молодежи: труды VI Международной научно-технической конференции, Иваново, 9-13 Ноября 2015. - Иваново: ИГЭУ, 2015 - Т. 2 - С. 445-448

12. Polishchuk V. I. , Kuleshova E. O. , Vasiljeva Y. Z. Turn-to-turn short circuit diagnostic improvement method based on ANN for synchronous generator excitation winding // Applied Mechanics and Materials. - 2015 - Vol. 792.- p.51-55

Список литературных источников

1. ГОСТ 27471-87. Машины электрические вращающиеся. Термины и определения. – Введ.1988-07-01. Текст. М.: Изд-во стандартов, 2005. 21 с.
2. ГОСТ 26522-85. Короткие замыкания в электроустановках. Термины и определения. – Введ.1986-07-01. Текст. М.: Изд-во стандартов, 2005. 20 с.
3. ГОСТ Р 51294.3-99. Автоматическая идентификация. Кодирование штриховое. Термины и определения. – Введ.1999-12-14. Текст. М.: Изд-во стандартов, 2000. 31 с.
4. Самородов Ю.Н. Турбогенераторы: Аварии и инциденты. Техническое пособие. – М.: ЭЛЕКС-КМ, 2008.-488с.:ил.
5. Полищук В.И. Развитие теории построения защит ротора синхронного генератора от витковых замыканий: Дис. канд. техн. наук. - Омск, 2007. - 149 с.
6. Хазан С.И. Турбогенераторы: Повреждения и ремонт / Под ред. Устинова П.И.. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Энергоатомиздат, 1983, -520., ил.
7. ГОСТ 27905.1-88. Системы электрической изоляции электрооборудования. Оценка и классификация. – Введ.1990-01-01. Текст. М.: Изд-во стандартов, 1990. 36 с.
8. РД 153-34.0-35.648-01. Рекомендации по модернизации, реконструкции и замене длительно эксплуатирующихся устройств релейной защиты и электроавтоматики энергосистем. Введ. 2001-12-01. М.: Департамент научно-технической политики и развития РАО «ЕЭС России», 2001, 136 с.
9. DJ Albright and DR Albright, Generatortech. Generator Field Winding Shorted Turns: Observed Conditions and Causes.pp. 11, August 25-27, 2003, Nashville, TN
10. J.D. Albright, D. R. Albright, “Generator Field Winding Shorted Turns: Observed Conditions and Causes”, EPRI International Conference, January 20, 2003, Orlando, FL

11. J. Bothwell. Monitoring Moisture in Hydrogen Cooled Generators / EPRI On-Line Monitoring and Condition Assessment Workshop, August 26, 2003, Nashville, TN

12. Wilamowski B.M., Chen Y., Malinowski A. Efficient algorithm for training neural networks with one hidden layer / In: International Joint Conference on Neural Networks (IJCNN '99). Vol. 3, 1999. Pp. 1725–1728.

13. Идентификация и диагностика систем: учеб. для студ. высш. учебно-заведений / А.А. Алексеев, Ю.А. Кораблев, М.Ю. Шестопапов. – М.: Издательский центр "Академия", 2009 – 352 с.

14. Мальцева О.П., Кояин Н.В., Удут Л.С. Численные методы в электротехнике: лабораторный практикум. Томск: Изд. ТПУ, 2003. -100 с.

15. Глазырин А.С. Математического моделирования электромеханических систем. Аналитические методы: учебное пособие. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2010. – 204 с.

16. Черных И. В. Ч45 Моделирование электротехнических устройств в MATLAB. SimPowerSystems и Simulink. – М.: ДМК Пресс, 2007. – 288 с

17. Однокопылов И.Г. О-43 Электрический привод. Динамика. Лабораторный практикум: учебное пособие / И.Г. Однокопылов, С.М. Семенов; Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2011. – 117 с

18. Умутбеков Д.А., Обработка экспериментальных данных на основе искусственной нейронной сети. Реф.на конк. по электроэнергетической и электротехнической тематикам. 17 декабря 2012. – «Российский национальный комитет Международного Совета по большим электрическим системам высокого напряжения» (РНК СИГРЭ) при участии ОАО «СО ЕЭС».

19. Уидроу Б. , Стирнз С. Адаптивная обработка сигналов. – М.: Радио и связь, – 1989.440 с.

20. Сейдж. Э., Мелс Дж. - Теория оценивания и ее применения в управлении и связи. – М.: Связь, 1976.

21. Ципкин В.Я. Основы информационно теории идентификации. – М.: Наука, 1984. – 320 с.
22. Сергеев В.Л. Интегрированные системы идентификации. – Томск: Изд-во ТПУ, 2011. – 198 с.
23. Сергеев В.Л. Гаврилов К.С. Адаптивная интерпретация нестационарных гидродинамических исследований скважин в системе «пласт - скважина» методом интегрированных моделей// Известия Томского политехнического университета. 2013. – Т.321- № 5. – стр.72-75.
24. Polishchuk, V.I. Sergeev V.L. Adaptive identification method of a signal from stray field magnetic sensor for turbogenerator diagnostics // Journal of Siberian Federal University. Mathematics & Physics 2015, 8(2),201 -207.
25. Демиденко Е.З . Оптимизация и регрессия. – М.: Наука, 1989. – 296 с.
27. Тихонов А.Н., Арсенин В.Я. Методы решения некорректных задач. – М.: Наука, 1979. – 392 с.
26. Граничин О.Н. Поляк Б.Т. Рандомизированные алгоритмы оптимизации и оценивания при почти произвольных помехах. – М.: Наука, 2003. – 291 с.
27. Воскобойников Ю.Е. Рекуррентное оценивание в динамических системах. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2002. – 92 с.
28. Руденко О.Г., Теренковский И.Д., Штефан А., Ода Г.А. Модифицированный алгоритм текущего регрессионного анализа в задачах идентификации и прогнозирования // Радиоэлектроника и информатика. - № 4, 1998. – С.58-61.
29. Вапник В.Н. Восстановление зависимостей по эмпирическим данным.- М: Наука, 1979.
30. Пантелеев А.В., Летова Т.А. Методы оптимизации в примерах и задачах. – М.: Высшая школа, 2002. – 544 с.
31. Гаврикова Н.А. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение: учебно-методическое пособие / Н.А. Гаврикова, Л.Р.

Тухватулина, И.Г. Видяев, Г.Н. Серикова, Н.В. Шаповалова; ТПУ. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2014. – 73 с.

32. Антонова З.Г. Практикум в бизнес – планировании. Учебное пособие. Томск Издание ТПУ, 1999г.

33. Королёва Н.И. Стратегический менеджмент: Учебное пособие. Томск Издание ТПУ, 2005г.

34. Королёва Н.И. Планирование на предприятии: Издание ТПУ, 2009г.

35. IS CSR 26000: 2011. Международный стандарт «Социальная ответственность организации. Требования». Введ.2011-03-03.

36. ГОСТ 12.0.003-74. Опасные и вредные производственные факторы. Классификация. – Введ.1976-01-01. Текст. М.: Изд-во стандартов, 2004. 4 с.

37. СанПиН 2.2.4.548-96 Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений.

38. СНиП 41-01-2003. Отопление, вентиляция и кондиционирование. М.: Гострой России, 2004. –12 с.

39. ГОСТ 12.1.005-88. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны – Введ.1989-01-01. Текст. М.: Изд-во стандартов, 2004. 8 с.

40. ГОСТ 12.1.003-83. ССБТ. Шум, общие требования безопасности – Введ.1984-01-07. Текст. М.: Изд-во стандартов, 2004. 11 с.

41. ГОСТ 12.1.029-80. Средства и методы защиты от шума. Классификация. Введ. 1981-30-06. Текст. М.: Изд-во стандартов, 1988. 4 с.

42. СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278-03. Гигиенические требования к естественному, искусственному и совмещённому освещению жилых и общественных зданий. – Введ.2003-06-15. Текст. М.: Изд-во стандартов, 2004. 11 с.

43. СанПиН 2.2.4.1191-03. Электромагнитные поля в производственных условиях. – М.: Госкомсанэпиднадзор России, 2003.

44. ГОСТ 12.1.002 – 84. Электрические поля промышленной частоты. Допустимые уровни напряженности и требования к проведению контроля на рабочих местах. Введ. 1986-01-01. Текст. М.: Изд-во стандартов, 2009. 7 с.

45. ГОСТ 12.4.172 – 2014. Комплект индивидуальный экранирующий для защиты от электрических полей промышленной частоты. Введ. 2015-01-12. Текст. М.: Изд-во стандартов, 2009. 37 с.

46. Правила устройства электроустановок. Все действующие разделы шестого и седьмого изданий с изменениями и дополнениями по состоянию на 1 февраля 2014 г. – М.: КНОРУС, 2014– 488 с.

47. ГОСТ Р 22.0.02.-94. Безопасность в чрезвычайных ситуациях. Термины и определения основных понятий. Введ. 1996-01-01. Текст. М.: Изд-во стандартов, 1994. 16 с.

48. НПБ 05-03. Определение категорий помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности. Введ. 2003-08-01. 31 с.

49. СНиП 21 – 01 – 97. Пожарная безопасность зданий и сооружений. М.: Гострой России, 1997. – с.12.

Приложение А (обязательное)

Реализация модели в программной среде MatLab

Для вычисления напряжения фазы А создается блок

$$U_{A(k-1)} = \frac{-\psi'_{A(k)} - L_A \cdot i_{A(k)} - R_A \cdot i_{A(k-1)} \cdot \Delta t + \psi'_{A(k-1)} + L_A \cdot i_{A(k-1)}}{\Delta t};$$

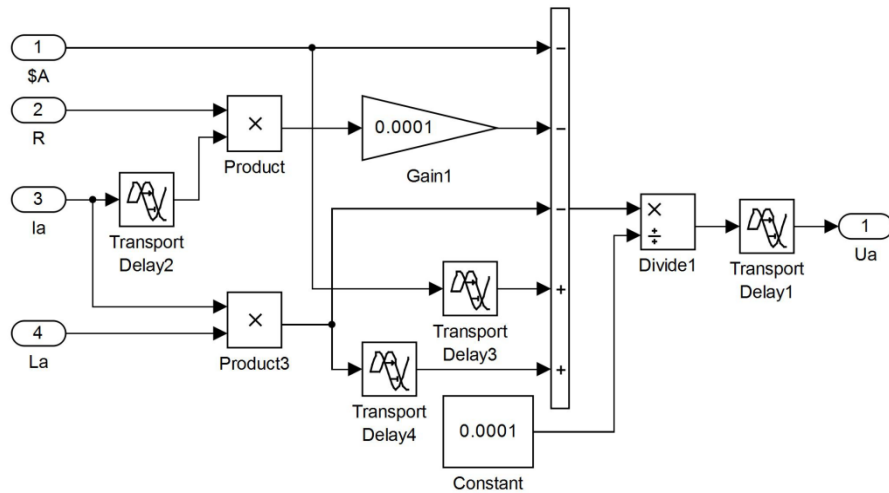


Рисунок А.1 – Блок вычисления напряжения статора фазы А

Блок для вычисления напряжения фазы В и С выглядит аналогично блоку вычисления напряжения фазы А.

Блок вычисления тока в обмотке ротора:

$$i_f(k) = \frac{\left(U_f - i_f(k-1) \cdot R_f \right) \cdot \Delta t + \psi'_f(k-1) + L_f \cdot i_f(k-1) - \psi_f(k)}{\Delta t};$$

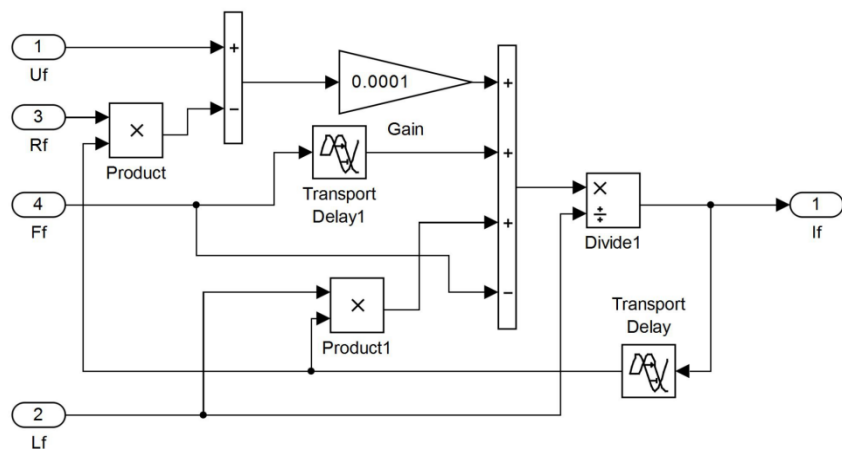


Рисунок А.2 – Блок вычисления тока в обмотке возбуждения

Блок вычисления тока в замкнутом витке согласно формуле:

$$i_{kd}(k) = \frac{i_{kd}(k-1) \cdot R_{kd} \cdot \Delta t + \psi'_{kd}(k-1) + M_{kd} \cdot i_{kd}(k-1) - \psi_{kd}(k)}{\Delta t}$$

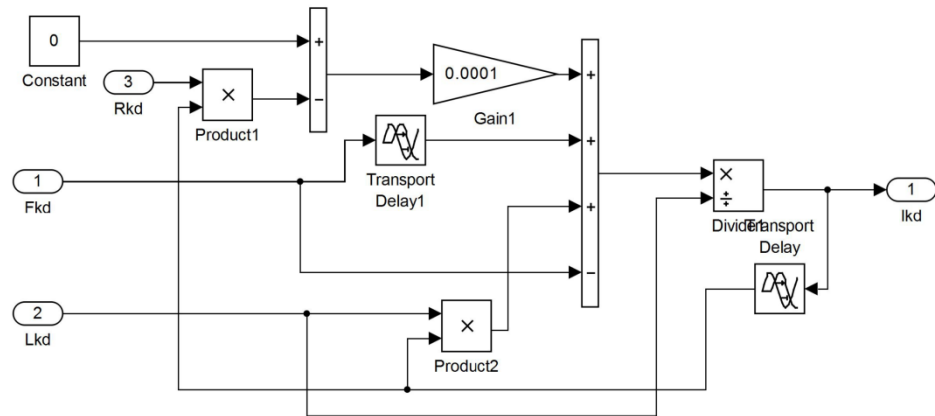


Рисунок А.3 – Блок вычисления тока в замкнутом витке

Согласно

$$\psi'_A = M_{AB} \cdot i_B + M_{AC} \cdot i_C + M_{Af} \cdot i_f + M_{Akd} \cdot i_{kd};$$

$$\psi'_B = M_{BA} \cdot i_A + M_{BC} \cdot i_C + M_{Bf} \cdot i_f + M_{Bkd} \cdot i_{kd};$$

$$\psi'_C = M_{CA} \cdot i_A + M_{CB} \cdot i_B + M_{Cf} \cdot i_f + M_{Ckd} \cdot i_{kd};$$

Создаются блоки для вычисления переменных $\psi'_A, \psi'_B, \psi'_C$:

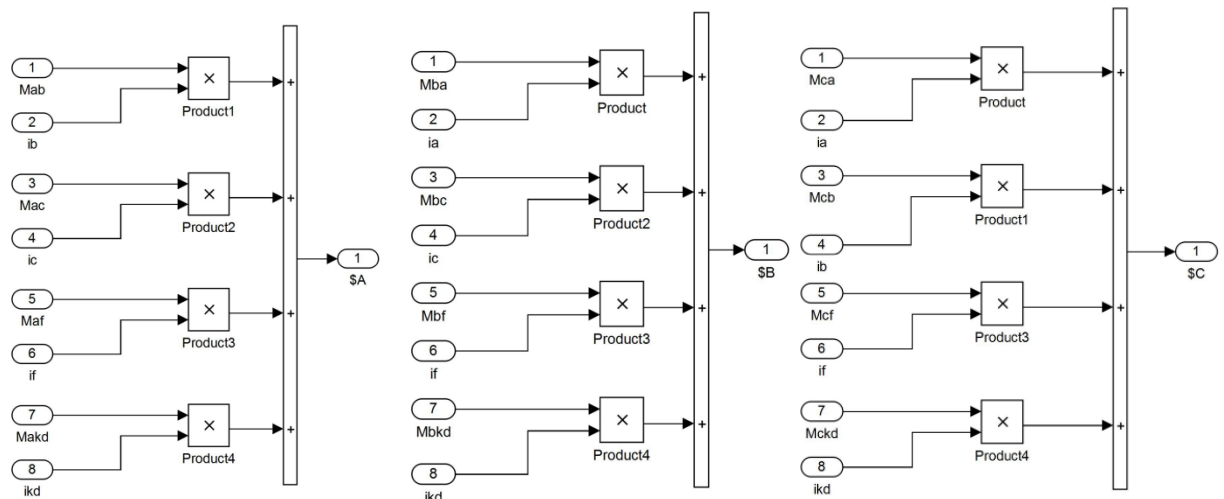


Рисунок А.4 – Блок вычисления переменных $\psi'_A, \psi'_B, \psi'_C$

Создается блок вычисления переменных

$$\psi'_f = M_{fA} \cdot i_A + M_{fB} \cdot i_B + M_{fC} \cdot i_C + M_{fkd} \cdot i_{kd};$$

$$\psi'_{kd} = M_{kdA} \cdot i_A + M_{kdB} \cdot i_B + M_{kdC} \cdot i_C + M_{kdf} \cdot i_f$$

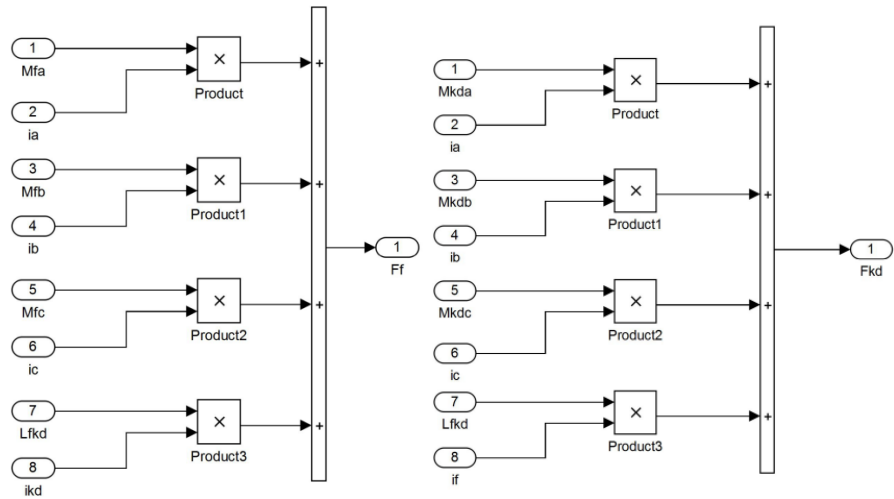


Рисунок А.5 – Блок вычисления переменных ψ'_f, ψ'_{kd}

Согласно системе уравнения (5.3) создается блок для вычисления индуктивности обмоток фаз статора:

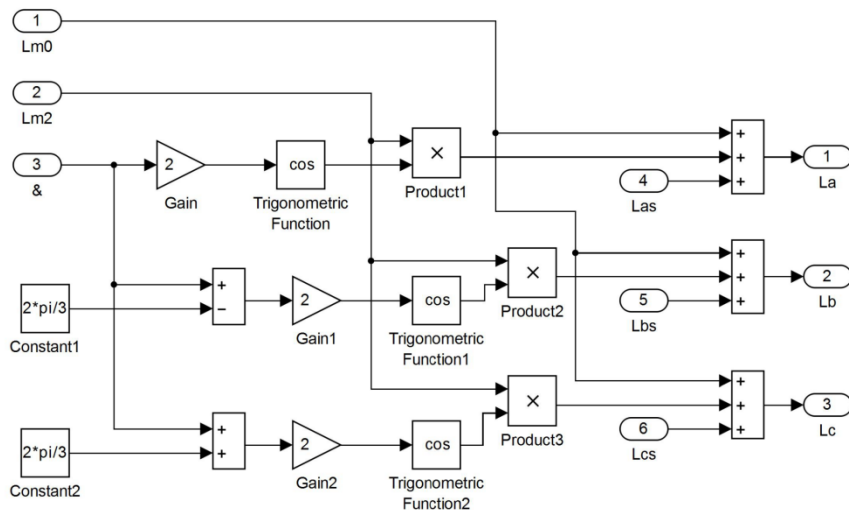


Рисунок А.6 – Блок для вычисления индуктивности обмоток фаз статора

Исходя из системы уравнения (5.5) создается блок для вычисления взаимных индуктивностей:

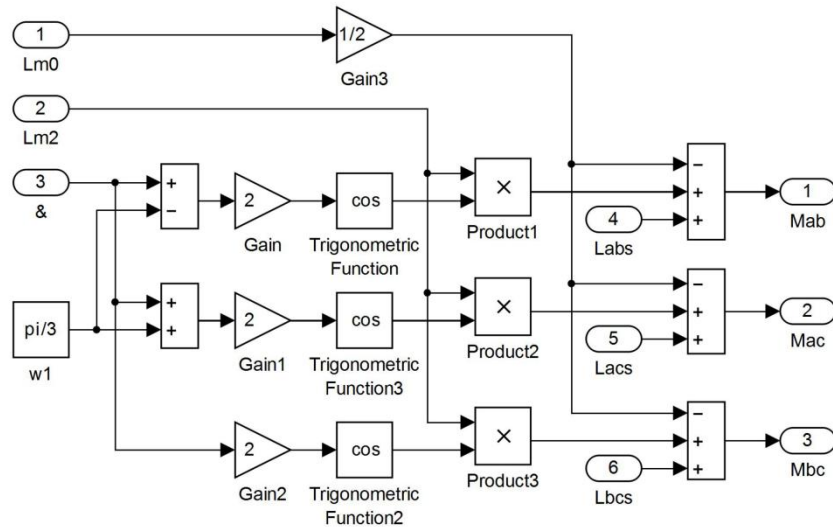


Рисунок А.7 – Блок для вычисления взаимных индуктивности между обмотками фаз статора

Создается блок для вычисления коэффициентов L_{m0} и L_{m2}

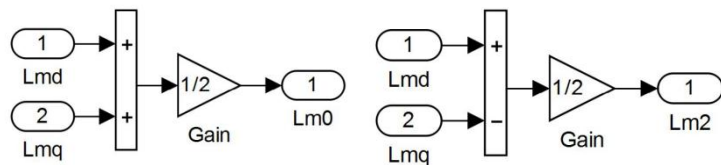


Рисунок А.8 – Блок вычисления коэффициентов L_{m0} и L_{m2}

Блок вычисления взаимных индукции между ротором и фаз статора согласно системе уравнения (5.6):

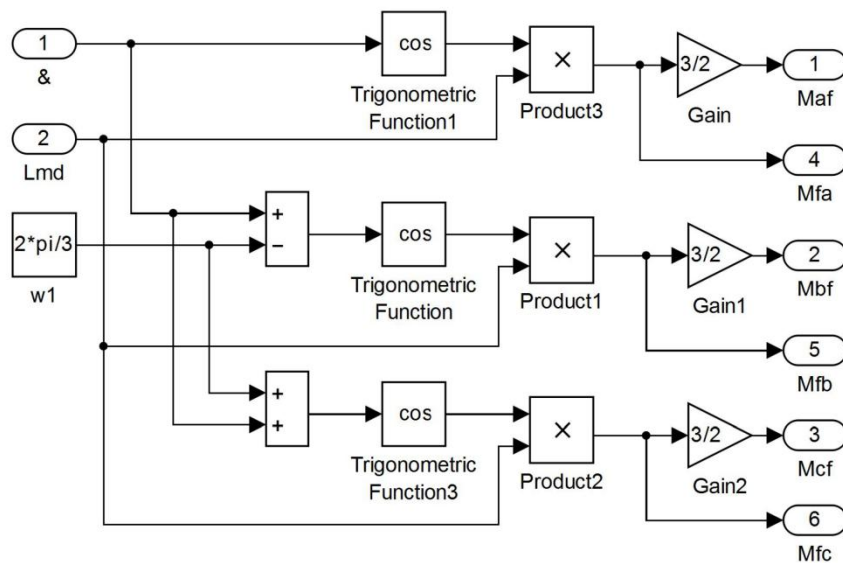


Рисунок А.9 – Блок вычисления взаимных индуктивностей между фазами статора и обмоткой возбуждения

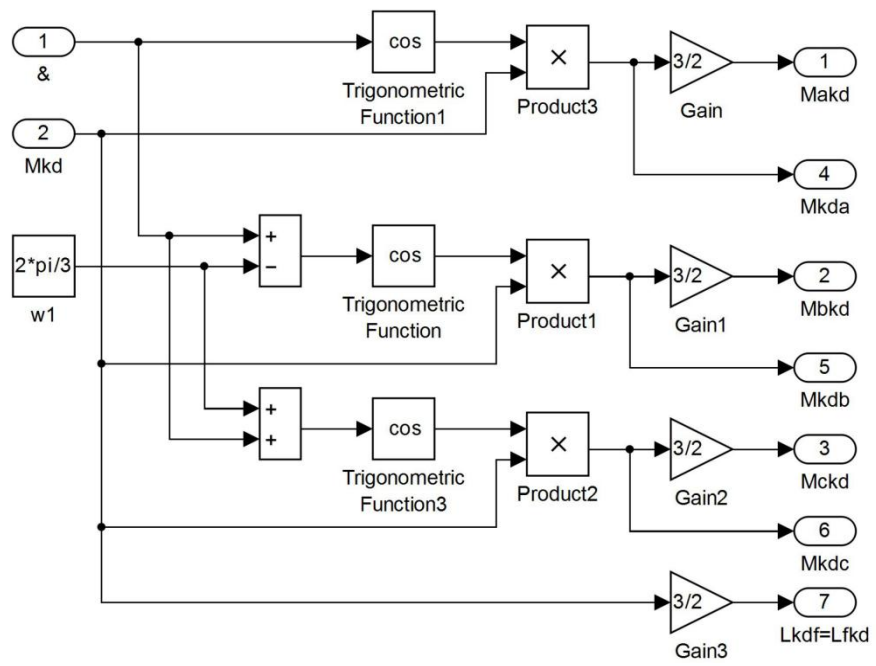


Рисунок А.10 – Блок вычисления взаимных индуктивностей между обмоткой ротора и замкнутым витком

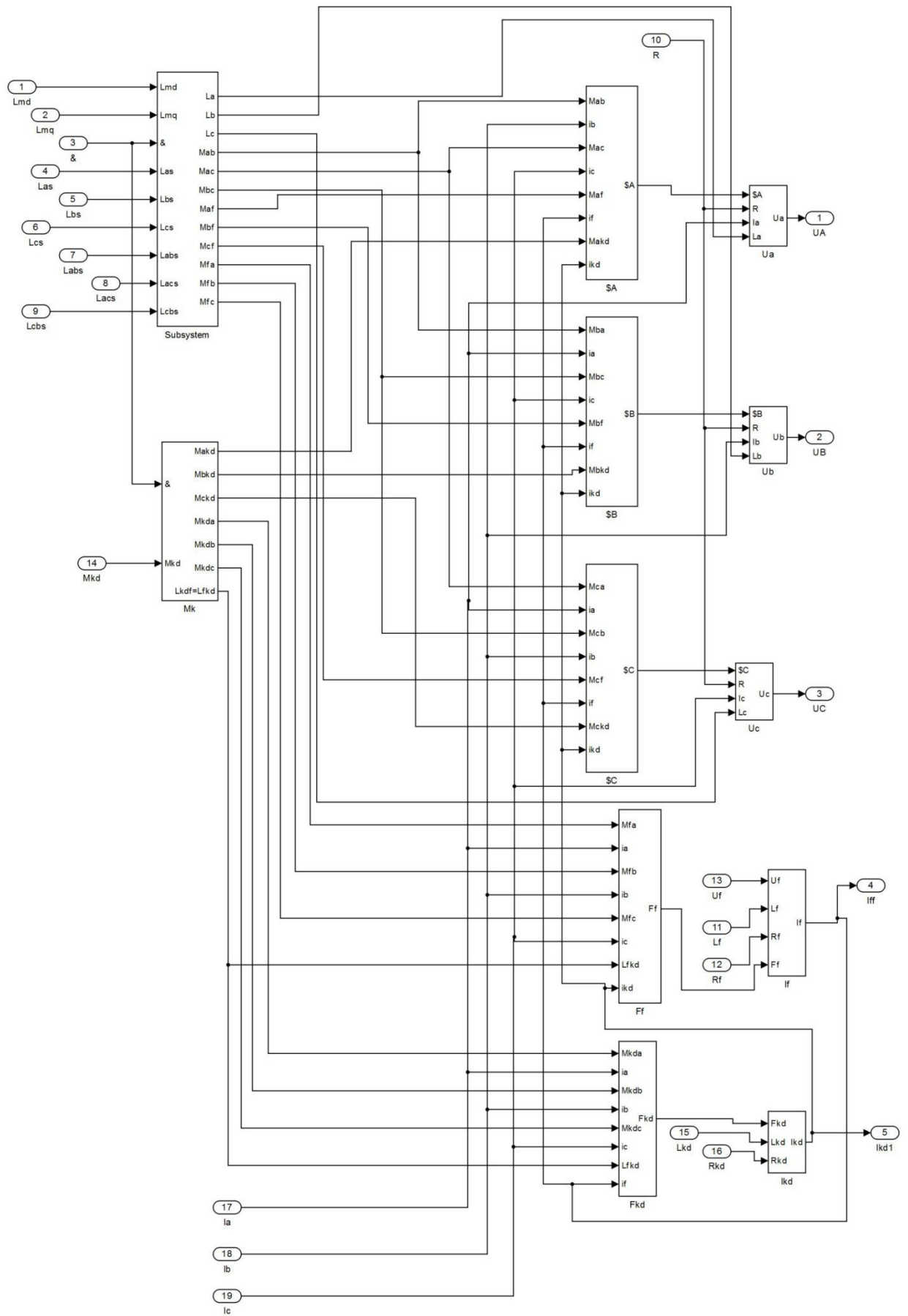


Рисунок А.11 – Модель СГ с ВЗ

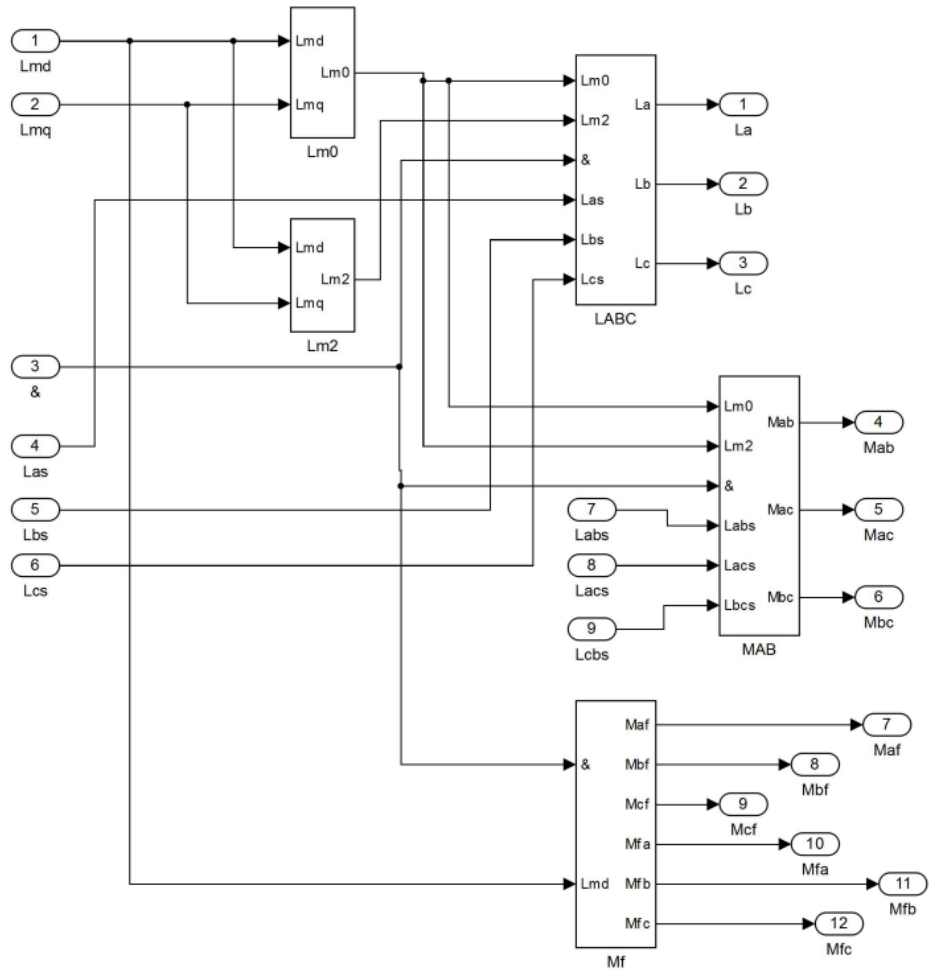


Рисунок А.12 – Блок Subsystem

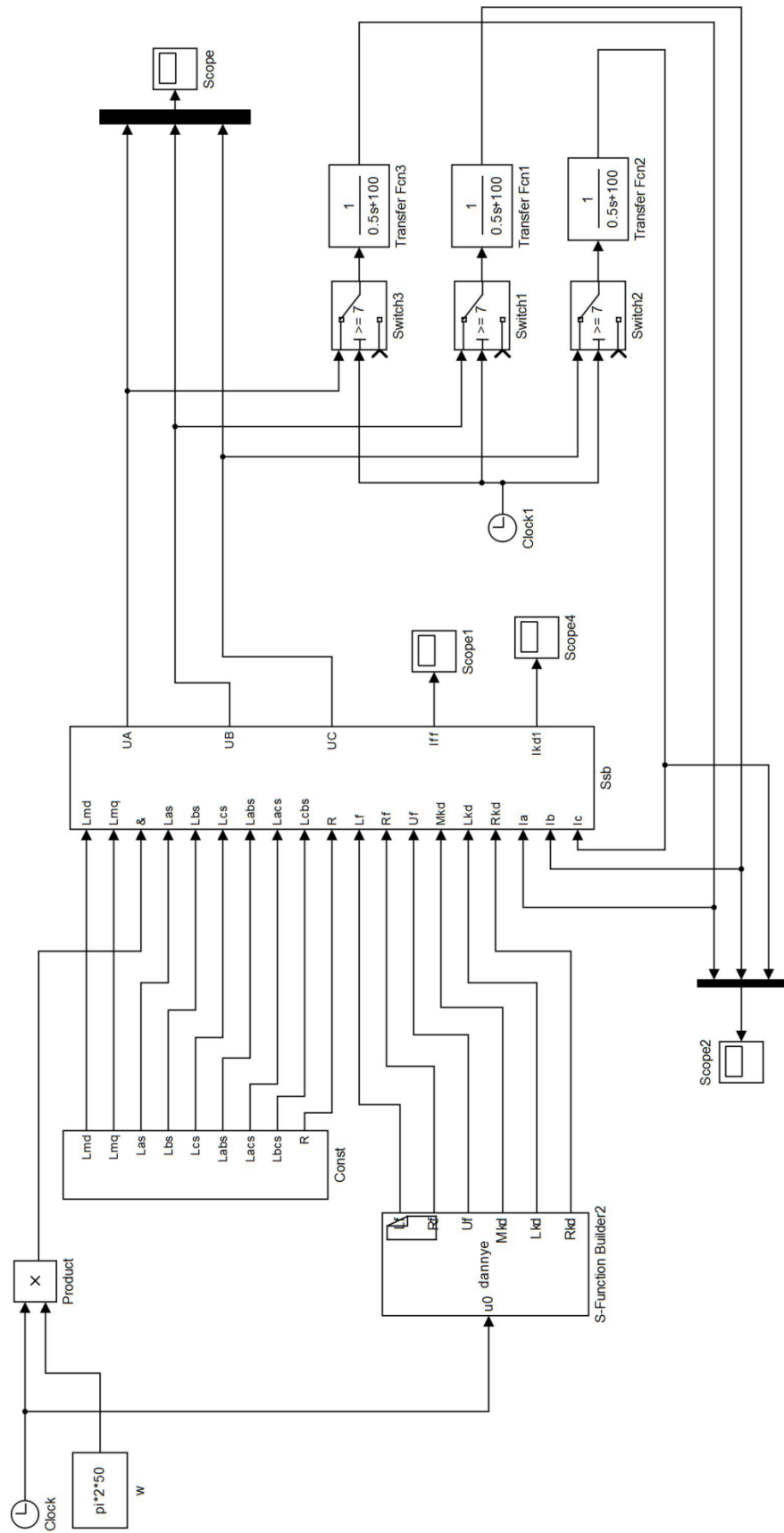


Рисунок А.13 – Итоговая модель работы СГ при витковом замыкании

Приложение Б
(Справочное)

Справочные данные экспериментального стенда

Таблица Б.1 – Характеристики аналогового ввода платы 6024E

Количество каналов	16 однопроводных и 8 дифференциальных
Тип АЦП	Последовательная аппроксимация
Разрешение	12 бит, 1 в 4096
Скорость сэмплирования	20000 сэмплов в секунду (гарантировано)
Диапазон входных сигналов	Только биполярный
Входная связь	Постоянный ток
Макс. рабочее напряжение (сигнал + синфазный режим)	Каждый вход должен находиться в пределах ± 11 В от земли
Размер буфера <i>FIFO</i>	512 сканов
Передача данных	<i>DMA</i> , прерывания, программируемый ввод/вывод
Режим <i>DMA</i>	Сбор вразброс (одна передача, запрос на передачу)
Размер памяти конфигурирования	512 слов

Приложение В

«КАЗАКСТАН ТЕМІР ЖОЛЫ»
ҰЛТТЫҚ КОМПАНИЯСЫ»
АКЦИОНЕРЛІК ҚОҒАМЫНЫҢ
«ПАВЛОДАР ЭЛЕКТРМЕН
ЖАБДЫҚТАУ ДИСТАНЦИЯСЫ»
ФИЛИАЛЫ

ФИЛИАЛ АКЦИОНЕРНОГО
ОБЩЕСТВА «НАЦИОНАЛЬНАЯ
КОМПАНИЯ «КАЗАКСТАН
ТЕМІР ЖОЛЫ» - «ПАВЛОДАРСКАЯ
ДИСТАНЦИЯ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ»

140000, Павлодар қ-сы, 2-ші Зеленый переулок к-сі, 5
тел. 37-33-07, факс 37-37-33, 37-35-79

140000г. Павлодар, ул. 2-ой Зеленый переулок, 5
тел. 37-33-07, факс 37-37-33, 37-35-79



Утверждаю

Главный инженер

В.А.Барабанов

01 2016 г.

АКТ

испытаний защитно-диагностического устройства от повреждений
обмотки возбуждения синхронного генератора ЕСС5-93-4
(устройство по патентам РК (KZ) №5381 и № 17810)

Комиссия в составе главного инженера В.А.Барабаева, начальника эксплуатационно-производственного участка А.И.Рядского и начальника технического отдела А.Т.Акаева провела испытания защитно-диагностического устройства от повреждений обмотки возбуждения синхронного генератора предоставленного Ю.З.Васильевой.

Устройство испытывалось на явнополюсном синхронном генераторе ЕСС5-93-4 при следующих режимах:

1. Холостой ход с возбуждением до $U_{\text{стат}} = U_{\text{ном}}$
2. Номинальная нагрузка.
3. Замыкание на землю в одной точке обмотки возбуждения.
4. Замыкание на землю во второй точке обмотки возбуждения при шунтировании 2%, 5% и 10% витков одного полюса.
5. Несимметричной нагрузке по фазам.
6. Обрыв одной фазы статора.

Во всех режимах устройство вело себя верно. При отстройке от небаланса с коэффициентом 1,5 защита срабатывала при замыкании 2% витков обмотки возбуждения.

Таким образом, устройство обладает более высокой чувствительностью к витковым и двойным на землю замыканиям обмотки возбуждения синхронного генератора, чем известные защиты, предназначенные для тех же целей.

Члены комиссии:

Начальник эксплуатационно-
производственного участка

Рядский А.И.

Начальник технического отдела

Акаев А.Т.