

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



Институт ЭНИН
 Направление подготовки 13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника»
 Кафедра Электроэнергетических систем

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы	
Настройка автоматического регулятора возбуждения сильного действия	
УДК 621.313-52	

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5A2A	Мюсова Айдана Евгеньевна		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель	Свечкарев С.В.	К.Т.Н.		

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель	Потехина Н.В.			

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель	Романцов И.И.	К.Т.Н.		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Зав. кафедрой	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
ЭЭС	Сулайманов А.О.	К.Т.Н., доцент		

Планируемые результаты обучения по ООП

Код результата	Результат обучения
<i>Общекультурные компетенции</i>	
P1	Способность понимать и анализировать социальные и экономические проблемы и процессы; готовность применять базовые методы гуманитарных, социальных и экономических наук в различных видах профессиональной и социальной деятельности.
P2	Демонстрировать понимание сущности и значения информации в развитии современного общества, владение основными методами, способами и средствами получения, хранения, переработки информации; использование современных технических средств и информационных технологий в профессиональной области для решения коммуникативных задач.
P3	Способность самостоятельно применять методы и средства познания, обучения и самоконтроля; осознавать перспективность интеллектуального, культурного, нравственного, физического и профессионального саморазвития и самосовершенствования; уметь критически оценивать свои достоинства и недостатки.
P4	Способность эффективно работать индивидуально и в качестве члена команды, демонстрируя навыки руководства коллективом исполнителей, в том числе над междисциплинарными проектами; уметь проявлять личную ответственность, приверженность профессиональной этике и нормам ведения профессиональной деятельности.
P5	Демонстрировать знание социальных, правовых, культурных и экологических аспектов профессиональной деятельности, знание вопросов охраны здоровья, безопасности жизнедеятельности и труда на электроэнергетических и электротехнических производствах.
P6	Осуществлять коммуникации в профессиональной среде и в обществе в целом, в том числе на иностранном языке; анализировать существующую и разрабатывать самостоятельно техническую документацию; четко излагать и защищать результаты профессиональной деятельности.
<i>Общепрофессиональные компетенции</i>	
P7	Способность применять основные законы естественнонаучных дисциплин, методы математического анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования в профессиональной деятельности с целью моделирования элементов, систем и объектов электроэнергетики и электротехники.
P8	Способность применять стандартные методы расчета и средства автоматизации проектирования; принимать участие в выборе и проектировании элементов, систем и объектов электроэнергетики и электротехники в соответствии с техническими заданиями.
P9	Способность применять современные методы разработки энергосберегающих и экологически чистых технологий, обеспечивающих безопасность жизнедеятельности людей и их защиту от возможных последствий аварий, катастроф и стихийных бедствий; применять способы рационального использования сырьевых, энергетических и других видов ресурсов на электроэнергетическом и электротехническом производствах.
P10	Готовностью обеспечивать соблюдение производственной и трудовой дисциплины на электроэнергетическом и электротехническом производствах; осваивать новые технологические процессы производства продукции; обеспечивать соблюдение заданных параметров технологического процесса и качества продукции.
P11	Способность проводить предварительное технико-экономическое обоснование проектных решений; выполнять организационно-плановые расчеты по созданию или реорганизации производственных участков, планировать работу персонала и фондов оплаты труда; определять и обеспечивать эффективные режимы технологического процесса.
P12	Способность проводить эксперименты по заданным методикам с обработкой и анализом результатов; планировать экспериментальные исследования; применять методы стандартных испытаний электрооборудования, объектов и систем электроэнергетики и электротехники.

Код результата	Результат обучения
P13	Способность участвовать в работе над инновационными проектами, используя базовые методы исследовательской деятельности на основе систематического изучения научно-технической информации, отечественного и зарубежного опыта, патентных исследований по соответствующему профилю подготовки.
P14	Способностью к монтажу, регулировке, испытаниям, сдаче в эксплуатацию, наладке и опытной проверке электроэнергетического и электротехнического оборудования.
P15	Готовность осваивать новое электроэнергетическое и электротехническое оборудование; проверять техническое состояние и остаточный ресурс оборудования и организации профилактических осмотров и текущего ремонта.
P16	Способность разрабатывать рабочую проектную и научно-техническую документацию, выполнять проектно-конструкторские работы в соответствии со стандартами, техническими условиями и другими нормативными документами; использовать нормативные документы по качеству, стандартизации и сертификации электроэнергетических и электротехнических объектов, организовывать метрологическое обеспечение; подготавливать документацию для создания системы менеджмента качества; составлять оперативную документацию, предусмотренную правилами технической эксплуатации оборудования и организации работы.
<i>Специальные профессиональные компетенции</i> <i>Профиль «Релейная защита и автоматика электроэнергетических систем»</i>	
P7	Способностью моделировать режимы работы релейной защиты и противоаварийной автоматики энергосистем с использованием профессиональных программ; проводить экспериментальные исследования функционирования элементной базы системной автоматики.
P8	Способностью определить параметры срабатывания релейной защиты энергообъекта; оценивать защитную способность проектируемой релейной защиты.
P9	Способностью оценивать влияние аварийных ситуаций в энергосистемах на безопасность жизнедеятельности людей; последствия от прекращения электроснабжения на функционирование предприятий и возможного ущерба.
P10	Способностью обеспечить соблюдение заданных параметров при производстве устройств релейной защиты и противоаварийной автоматики; проводить работы по сертификации устройств автоматики энергосистем.
P11	Способностью планировать работу персонала и фондов оплаты труда при разработке релейной защиты и автоматики объектов электроэнергетических систем.
P12	Способностью использовать современную аппаратуру для измерения режимных параметров. Готовностью к участию в исследовательских работах по автоматизации энергообъектов; к участию во внедрении результатов выполненных исследований по автоматизации энергообъектов; использовать современную аппаратуру для измерения режимных параметров.
P13	Готовностью к участию в исследовательских работах и внедрению результатов выполненных исследований по автоматизации энергообъектов.
P14	Готовностью к участию в работе по монтажу и наладке устройств автоматики; способностью к участию в монтаже устройств релейной защиты и автоматики энергообъектов. Способностью к участию в натурных испытаниях и сдаче в эксплуатацию смонтированного оборудования релейной защиты и автоматики.
P15	Способностью к обслуживанию устройств релейной защиты и автоматики; способностью к оценке состояния и условий эксплуатации релейной защиты и автоматики энергообъекта. Готовностью к участию в работах по модернизации устройств релейной защиты и автоматики энергообъекта.
P16	Способностью к проведению анализа результатов работы и составлению отчетной документации.

Министерство образования и науки Российской Федерации
 Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
 высшего профессионального образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
 ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**



Институт _____ Энергетический _____
 Направление подготовки (специальность) _____ Релейная защита и автоматика
 электроэнергетических систем
 Кафедра _____ Электроэнергетических систем _____

УТВЕРЖДАЮ:
 Зав. кафедрой ЭЭС
 _____ А.О.Сулайманов

ЗАДАНИЕ
на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

Бакалаврской работы

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

Студенту:

Группа	ФИО
5A2A	Мюсова Айдана Евгеньевна

Тема работы:

Настройка автоматического регулятора возбуждения сильного действия	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	02.02.16 653/с

Срок сдачи студентом выполненной работы:

--

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе <i>(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).</i>	1. Математическая модель автоматического регулятора возбуждения. Схема энергосистемы. 2. Программа моделирования переходных процессов Power Factory.
---	---

Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов <i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</i>	Провести анализ влияния коэффициентов по каналам АРВ на режимы электрической сети. Особые требования: оценка безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, экономический анализ.
Перечень графического материала <i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i>	Схемы АРВ . Результаты исследований.
Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы <i>(с указанием разделов)</i>	
Раздел	Консультант
Социальная ответственность	Романцов Игорь Иванович
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Потехина Нина Васильевна
Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:	

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

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель	Свечкарев Сергей Владимирович	к.т.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5A2A	Мюсова Айдана Евгеньевна		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»

Студенту:

Группа	ФИО
5A2A	Мюсова Айдана Евгеньевна

Институт	ЭНИН	Кафедра	ЭЭС
Уровень образования	бакалавриат	Направление/специальность	13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника»

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

1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих	Стоимость материалов и должностные оклады: оклад руководителя – 20389,99 руб Инженера – 14584,32 руб
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов	Норма амортизации – 20%
3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования	Отчисления во внебюджетные фонды – 27,1% Налог на прибыль – 20%

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения	Оценка конкурентоспособности SWOT-анализ
2. Планирование и формирование бюджета научных исследований	Определение текущих затрат на исследование Определение трудоёмкости работ
3. Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования	Исследуемый регулятор АРВ СД повышает качество передаваемого напряжения потребителю

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

- Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений
- Календарный график проведения научного исследования
- Матрица SWOT анализа
- Расчет бюджета затрат научного исследования

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель	Потехина Н.В.			

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5A2A	Мюсова Айдана Евгеньевна		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
5A2A	Мюсова Айдана Евгеньевна

Институт	ЭНИН	Кафедра	ЭЭС
Уровень образования	бакалавр	Направление/специальность	13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника»

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

1. Описание рабочего места (рабочей зоны, технологического процесса, механического оборудования) на предмет возникновения: – вредных проявлений факторов производственной среды (метеоусловия, вредные вещества, освещение, шумы, вибрации, электромагнитные поля, ионизирующие излучения) – опасных проявлений факторов производственной среды (механической природы, термического характера, электрической, пожарной и взрывной природы) – негативного воздействия на окружающую природную среду (атмосферу, гидросферу, литосферу) – чрезвычайных ситуаций (техногенного, стихийного, экологического и социального характера)	1. Рабочее место описывается с точки зрения влияния на человека таких факторов, как: • микроклимат помещения; • концентрация вредных веществ в воздухе; • освещение; • шум и вибрации в помещении; • электромагнитное и ионизирующее излучение; – эргономичность помещения;
1. Знакомство и отбор законодательных и нормативных документов по теме	ГОСТ, СанПиН, СНиП, ПТБ

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Анализ выявленных вредных факторов проектируемой производственной среды в следующей последовательности: – 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)	1. Анализ выявленных вредных факторов проектируемой производственной среды в следующей последовательности: – 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 произведённой среды в следующей последовательности – механические опасности (источники, средства защиты); – термические опасности (источники, средства защиты); – электробезопасность (в т.ч. статическое электричество, молниезащита – источники, средства защиты); – пожаровзрывобезопасность (причины, профилактические мероприятия, первичные средства пожаротушения)	2. Анализ выявленных опасных факторов проектируемой произведённой среды в следующей последовательности – электробезопасность (в т.ч. статическое электричество, молниезащита, средства защиты); – пожаровзрывобезопасность (причины, профилактические мероприятия, первичные средства пожаротушения)

3. Охрана окружающей среды: – защита селитебной зоны – анализ воздействия объекта на атмосферу (выбросы); – анализ воздействия объекта на гидросферу (сбросы); – анализ воздействия объекта на литосферу (отходы); – разработать решения по обеспечению экологической безопасности со ссылками на НТД по охране окружающей среды.	3. Охрана окружающей среды: – анализ воздействия объекта на атмосферу ; – анализ воздействия объекта на гидросферу; – анализ воздействия объекта на литосферу ;
4. Защита в чрезвычайных ситуациях: – 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	4. Защита в чрезвычайных ситуациях: – перечень возможных ЧС на объекте; – выбор наиболее типичной 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 (характерные для проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства; – организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны	5. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности: – специальные (характерные для проектируемой рабочей зоны) 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	
---	--

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель	Романцов Игорь Иванович	к.т.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5A2A	Мюсова Айдана Евгеньевна		

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



Институт ЭНИН
Направление подготовки (специальность) электроэнергетика
Уровень образования бакалавр
Кафедра ЭЭС
Период выполнения _____ (весенний семестр 2015/2016 учебного года)

Форма представления работы:

бакалаврская работа

КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ-ПЛАН
выполнения выпускной квалификационной работы

Срок сдачи студентом выполненной работы:	
--	--

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
24.03.2016 г.	Обзор литературы	
3.04.2016 г.	Объект и методы исследования	
7.04.2016 г.	Изучение программного обеспечения	
1.05.2016 г.	Исследование переходных характеристик АРВ СД	
20.05.2016 г.	Исследование влияния параметров АРВ СД на процессы в сети	
21.05.2016 г.	Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	
26.05.2016 г.	Социальная ответственность	
31.05.2016 г.	Оформление работы	

Составил преподаватель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель	Свечкарев С.В.	к.т.н		

СОГЛАСОВАНО:

Зав. кафедрой	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
ЭЭС	Сулайманов А.О.	к.т.н., доцент		

Реферат

Выпускная квалификационная работа, состоящая из 94 страниц, 40 рисунков, 12 таблиц, 13 источников, 1 приложения.

Ключевые слова: автоматический регулятор возбуждения сильного действия, математическая модель, форсировка возбуждения, переходные характеристики, установившейся режим, короткое замыкание.

Объектом исследования является автоматический регулятор возбуждения сильного действия синхронного генератора.

Цель работы – настройка переходных характеристик автоматического регулятора возбуждения сильного действия и оценка влияния коэффициента по каналу напряжения на параметры сети в различных режимах работы.

В процессе исследования проводились опыты по изменению коэффициентов усиления в АРВ СД по каналам отклонения напряжения, представляющая главный регулятор и коэффициент усиления возбуждения, представляющая возбудитель при нормальных, аварийных и послеаварийных режимах работы с последующим анализом влияния этих коэффициентов на работу энергосистемы.

В результате исследования получены графики переходных процессов, протекающих в энергосистеме, выявлены оптимальные значения коэффициентов для устойчивой работы системы.

Основные конструктивные, технологические и технико-эксплуатационные характеристики: моделирование протекающих процессов в энергосистеме максимально приближено к реальным процессам.

Степень внедрения: планируется внедрить для ВМК РВ ЭЭС ЭНИН.

Область применения: моделирование ЭЭС.

Экономическая эффективность определяется заранее смоделированными испытаниями АРВ СД без реального ущерба ЭЭС. Полученные в ходе исследования результаты позволяют их использовать в ВМК РВ ЭЭС ЭНИН для научных и исследовательских целей.

В будущем планируется более подробно изучить конструкцию АРВ СД и составляющие его функции также путём изменения конкретных составляющих функций.

Определения, обозначения, сокращения, нормативные ссылки

ЭЭС – электроэнергетические системы;

АРВ – автоматический регулятор возбуждения;

ВМК РВ ЭЭС – всережимный моделирующий комплекс реального времени электроэнергетической системы;

РМ-реактивная мощность

АРВ СД- автоматический регулятор возбуждения сильного действия

АРВ СДП – автоматический регулятор возбуждения сильного действия полупроводниковый.

СМ – синхронная машина

СГ- синхронный генератор

ВДП – вращающийся диодный преобразователь

ВЧ – высокочастотный

АГП – автомат гашения поля

ЭДС – электродвижущая сила

ДП – диодный преобразователь

РГР- рабочая группа

ФГР-форсировочная группа

АРН – автоматический регулятор напряжения

ТП – тиристорный преобразователь

ВЛ – воздушная линия

ПС – подстанция.

Оглавление

Введение.....	15
1. Обзор литературы.....	17
2. Объект и методы исследования	29
2.1. Виды АРВ.....	30
2.2. Автоматический регулятор возбуждения сильного действия	30
2.3. Преобразование звена математической модели в систему дифференциальных уравнений	37
3. Программное обеспечение Power Factory для моделирования переходных режимов в устройствах автоматики.	38
3.1. Проведение исследований.....	37
3.2. Расчёт установившегося режима	37
3.3. Проведения опытов короткого замыкания	43
3.4. Исследование устойчивости энергосистемы на примере стандартного АРВ	44
3.5. Переходные характеристики стандартного АРВ	44
3.6. Переходные характеристики при разных значениях коэффициентов.....	51
4. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение..	62
4.1. SWOT-Анализ.....	65
4.2. Структура работ в рамках научного исследования	66
4.3. Определение трудоемкости выполнения работ	68
4.3.1. Отчисления во внебюджетные фонды	71
4.3.2. Амортизация	73
5. Социальная ответственность	76
5.1. Анализ выявленных вредных производственных факторов	76
5.1.1. Требования к производственным помещениям	76
5.1.2. Требования к организации рабочих мест пользователей.....	77
5.1.3. Требования к микроклимату рабочих мест	77
5.1.4. Требования к освещению рабочих мест	78
5.1.5. Требования к уровням шума и вибрации на рабочих местах.....	78
5.1.6. Требования к уровням электромагнитных полей на рабочих местах ...	79
5.2. Анализ выявленных опасных производственных факторов	80

5.2.1. Электробезопасность	80
5.2.2. Пожарная безопасность	82
5.3. Охрана окружающей среды	83
5.4. Чрезвычайные ситуации	85
5.5. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности.	87
5.6. Выводы:	88
Заключение	90
Список литературы	92
Приложение А	94

Введение

Актуальность проблемы. Электроэнергетическая система является электрической частью энергосистемы, включает в себя всё оборудование, участвующее в процессах производства, передачи, распределения и потребления электрической энергии.

Правильно спроектированное и настроенное оборудование является необходимостью для поддержания динамической устойчивости системы. Автоматические регуляторы возбуждения не исключение. Практически идеально спроектированная модель регулятора, тем не менее, несёт в себе малую долю погрешности, так как программа не может дать точного результата.

Неправильно спроектированный и настроенный регулятор может отрицательно повлиять на работу электроэнергетической системы даже в нормальном режиме работы. Это повлечёт за собой поломку оборудования, аварии, лишения потребителя электроэнергии и значительный материальный ущерб.

Целью работы является настройка модели АРВ СД, а конкретно зависимости работы энергосистемы от изменения параметров автоматического регулятора возбуждения при нормальных, аварийных и послеаварийных режимах работы.

Объект исследования. В соответствии с поставленной задачей объектом исследования является анализ влияния задаваемых параметров автоматического регулятора возбуждения на нормальные, аварийные и послеаварийные режимы в электроэнергетической системе.

Предмет исследования. Исследование изменения коэффициентов усиления в АРВ СД по каналам отклонения напряжения, представляющая главный регулятор, и коэффициент усиления возбуждения, представляющая возбудитель при нормальных, аварийных и послеаварийных режимах работы с последующим анализом влияния этих коэффициентов на работу

энергосистемы в не использованном ранее программном комплексе Power Factory.

Практическая значимость результатов ВКР. Данная модель АРВ СД, собранная в программном комплексе Power Factory, будет в дальнейшем исследована в ВМК РВ ЭЭС ЭНИН более подробно, также как и сам программный комплекс Power Factory.

Реализация и апробация работы. В процессе выполнения работы была изучена стандартная модель АРВ СД, исследованы изменения коэффициентов при разных режимах работы, проанализированы влияния этих коэффициентов на работу энергосистемы, и исследован на начальном этапе программный комплекс Power Factory.

1. Обзор литературы

В наши дни к качеству производимой электроэнергии уделяется очень большое значение. Основными её показателями являются напряжение и частота промышленного тока. Согласно ГОСТ 13109-97 на нормы качества электрической энергии отклонение напряжения на зажимах потребителей в зависимости от их вида ограничивается в нормальных режимах в пределах $\Delta U'_{don} = \pm 5\%$, а в послеаварийных режимах $\Delta U'_{don} = \pm 10\%$ номинального. Такие нормы соблюдаются благодаря оборудованию автоматического управления процессом производства и распределения электроэнергии, которое предполагает прежде всего автоматическое регулирование напряжения и частоты и связанных с ними реактивной и активной мощностей синхронных генераторов. [1]

В идеальных условиях напряжение и частота у потребителей должны быть неизменными и равными номинальным значениям. Для выполнения этого требования напряжения в различных точках энергосистемы должны быть различными, а частота переменного тока должна оставаться одинаковой. [1]

В процессе работы энергетической системы непрерывно происходят изменения потребляемой и соответственно выдаваемой генераторами мощности. При отсутствии регулирования эти изменения мощности вызывают отклонения от нормальных значений напряжения и частоты и приводят к ухудшению качества электрической энергии, передаваемой потребителям. Поэтому к турбине и генератору подключается устройство автоматического регулирования возбуждения, которое поддерживает постоянную частоту вращения и автоматически изменяет напряжение на генераторе. [1]

При коротких замыканиях или внезапных отключениях генераторов начинает нарушаться баланс между мощностью, подводимой к турбине, и мощностью, отдаваемой генераторами, что может привести к значительному

ускорению одних генераторов относительно других и выпадению из синхронизма. Поэтому с точки зрения устойчивой работы энергосистемы быстродействующее регулирование частоты вращения и напряжения имеет исключительно важное значение. Экономический эффект от внедрения автоматического регулирования в энергосистемах не поддается простому подсчету, но аварии с нарушением устойчивости энергетических систем в современных условиях приносят колоссальный материальный ущерб народному хозяйству страны. При оснащении энергосистем устройствами автоматического регулирования возбуждения такие аварии становятся маловероятными. [1]

Для поддержания надлежащего уровня напряжения и частоты в энергосистеме необходимо производить соответствующие изменения возбуждения генераторов для восстановления напряжения. Совокупность мероприятий, обеспечивающих поддержание напряжения, частоты и нагрузок генераторов и линий электропередачи на заданном уровне или изменение их по заранее заданному закону и является функцией автоматического регулятора возбуждения. Компоненты, входящие в состав АРВ, вместе с машинами, участвующими в процессе регулирования, образуют автоматическую систему регулирования. [1]

Основными задачами автоматических регуляторов напряжения и реактивной мощности являются:

- обеспечение задаваемых графиком напряжения на шинах электростанции и потоков реактивной мощности в процессе транспортировки электроэнергии от источников к потребителям;
- сохранение и повышение статической устойчивости электроэнергии в нормальном режиме работы энергосистемы, динамической, а также результирующей устойчивости электроэнергетической системы в аварийных режимах;

- предотвращение развития крутильных колебаний роторов турбогенераторов в нормальном режиме и обеспечение быстрого затухания (демпфирование) их качаний, возникающих в послеаварийном режиме;
- обеспечение требуемого значения напряжения у потребителей, что является наиболее важной нормой качества электроэнергии.

Вышеперечисленные задачи по автоматическому регулированию реактивной мощности и напряжения решаются при помощи:

- автоматического регулирования возбуждения синхронных генераторов;
- регулирования возбуждения электродвигателей и синхронных компенсаторов;
- регулирования мощности в управляемых статических источниках реактивной мощности;
- автоматического регулирования коэффициентов трансформации трансформаторов.

Наибольшую значимость среди этих задач имеет автоматическое регулирование возбуждения синхронных генераторов. Применяется автоматическое регулирование возбуждения:

- пропорционального (П-) действия;
- пропорционально-дифференциального (ПД-) — «сильного» действия (СД);
- пропорционально-интегрально-дифференциального (ПИД-) действия.

При пропорциональном регулировании управление происходит за счёт реагирования регулятора на отклонение напряжения от заданного значения, тока нагрузки генератора и коэффициента мощности.

При автоматическом регулировании возбуждения «сильного» действия управление происходит за счёт реагирования регулятора на производную действующего значения напряжения, а при ПИД-алгоритме автоматического регулирования формируются сигнал по интегральной

функции отклонения амплитуды напряжения (среднего выпрямленного или действующего его значения) и первая и вторая производные угла электропередачи δ .

При ПД- и ПИД-регулировании достигается максимальная пропускная способность электропередачи и соответственно повышается статическая устойчивость электроэнергетической системы.

Повышения динамической устойчивости можно достигнуть при помощи быстрого увеличения тока возбуждения до предельного допустимого значения. Это называется - форсировка возбуждения синхронного генератора, которая осуществляется устройствами релейного автоматического управления возбуждением.

Автоматическое регулирование и релейное управление возбуждением способствуют быстрому и полному гашению колебаний, возникающих после восстановления синхронной работы электропередачи, способствуют быстрому восстановлению напряжения после отключения коротких замыканий, облегчая самозапуск электродвигателей, и решают другие задачи по улучшению качества режимов электроэнергетической системы. [1]

Системы возбуждения

Системы возбуждения принадлежат к числу наиболее ответственных частей генератора. Относительная мощность возбудителей невелика и составляет всего 0,4—0,6 % мощности генераторов, но их характеристики значительно влияют как на устойчивость работы генераторов, так и на устойчивость двигательной нагрузки собственных нужд электростанции. Устойчивость двигательной нагрузки с.н., очень существенно для обеспечения устойчивости технологического режима мощных блочных станций.

Системы возбуждения должны придерживаться следующих требований: обеспечение надежного питания обмотки возбуждения СГ в

нормальных и аварийных режимах; допускать регулирование напряжения возбуждения в заданных пределах; обеспечивать быстрое автоматическое регулирование возбуждения в аварийных режимах; осуществлять развозбуждение за минимальное время и в случае необходимости осуществлять гашение поля в аварийных режимах.

Быстродействие системы возбуждения определяется кратностью форсирования. Возбудители современных турбогенераторов имеют не меньше двукратного номинального значения напряжения в секунду. Допустимая длительность форсировочного режима с предельным током возбуждения зависит от типа системы охлаждения генератора и должна быть не меньше 50с при косвенной системе охлаждения, 30с при косвенном охлаждении статора и непосредственном охлаждении, 20с при непосредственном охлаждении статора и ротора.

Системы возбуждения делятся на вентильные и электромашинные. В электромашинной системе возбуждения в качестве источника постоянного тока используется вспомогательный генератор постоянного тока - возбудитель, непосредственно связанный с валом главного синхронного генератора или приводимый независимым двигателем, синхронным или асинхронным. В вентильной системе в качестве источника выпрямленного тока выступают ртутные или полупроводниковые вентили, которые получают питание от вспомогательного или главного синхронного генератора.

В зависимости от источника энергии, используемого для возбуждения, все системы подразделяются на системы независимого возбуждения и самовозбуждения. Чаще применяются схемы независимого возбуждения, использующие механическую энергию на валу возбуждаемой синхронной машины. В данном случае возбудитель не связан с сетью системы и возбуждение осуществляется независимо от режима ее работы. В качестве возбудителя используется генератор постоянного тока (рисунок 1)

или генератор переменного тока в сочетании с вентильными выпрямителями (рисунок 3).

При самовозбуждении потребляется энергия, вырабатываемая возбуждаемой машиной или получаемая из сети. В качестве возбудителя используют генератор постоянного тока или вентильные выпрямители (рисунок 5).

Совсем недавно у генераторов всех типов наибольшее распространение имела электромашинная система возбуждения с генератором постоянного тока, непосредственно соединенным с валом основной машины. Предельная мощность возбудителей на основе электромашин при частоте вращения 3000 об/мин равна 500 кВт. Этого достаточно лишь для возбуждения турбогенераторов с косвенным охлаждением мощностью до 150 МВт и турбогенераторов с непосредственным охлаждением до 100 МВт. Уменьшение частоты вращения до 750 об/мин позволяет повысить предельную мощность возбудителей до 3 МВт, но требует редуктора, что снижает надежность и увеличивает габариты машинного зала. Из-за этого электромашинная система возбуждения с редуктором нашла у нас применение лишь на нескольких турбогенераторах мощностью 300 МВт (ТГВ-300 и ТВМ-300). [2]

Электромашинные системы возбуждения снабжены автоматическим регулятором в виде устройства компаундирования с корректором напряжения, но быстродействие их по сравнению с другими системами невысокое ($k_f = 2$, постоянная времени возбудителя $T_v = 0,3-0,6$ с). Поэтому такие системы могут быть применены лишь для возбуждения турбогенераторов, к которым не предъявляются повышенные требования в отношении устойчивости.

На данный момент электромашинные возбудители применяются только на турбогенераторах мощностью до 100 МВт, на гидрогенераторах небольшой мощности и в качестве резервных возбудителей, в том числе и для генераторов с вентильными системами возбуждения.

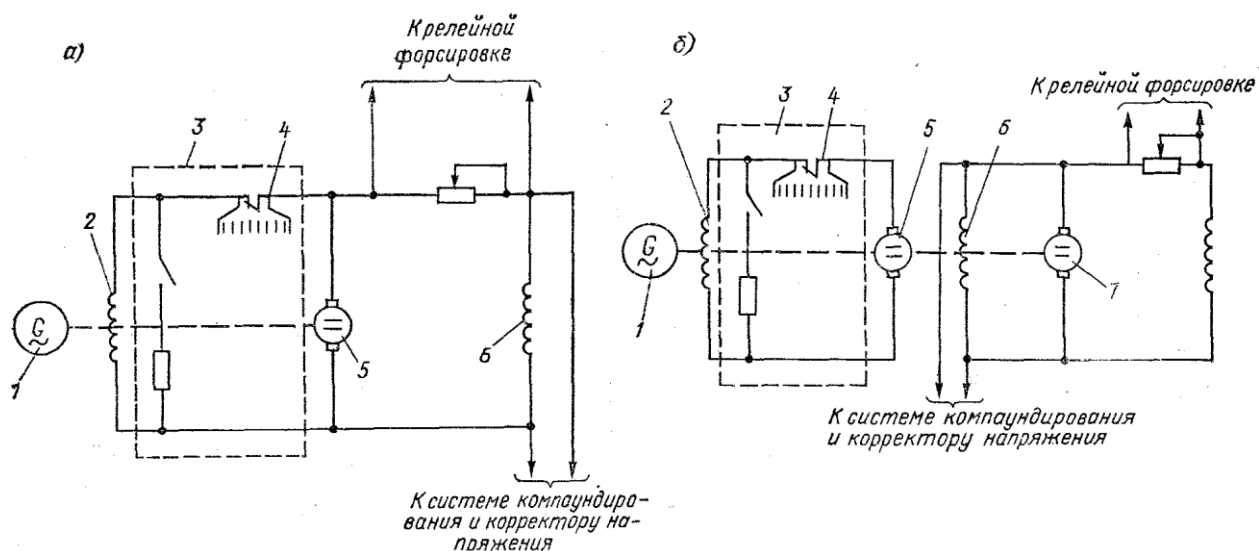


Рисунок 1 - Электромашинная система возбуждения с генератором постоянного тока: а) с самовозбуждением возбудителя; б) с подвозбудителем, где

1 — синхронный генератор (СГ); 2 — обмотка возбуждения генератора; 3 — АГП; 4 — дугогасительная решетка; 5 — возбудитель; 6 — обмотка возбуждения возбудителя; 7 — подвозбудитель

Для генераторов больших мощностей используют вентильные системы возбуждения с неуправляемыми (рисунок 2) или управляемыми вентилями (рисунок 3).

Полупроводниковая система возбуждения с высокочастотным возбудителем (рисунок 3) основная для турбогенераторов серии ТВВ мощностью 165, 200, 300 и 500 МВт. Высокочастотный возбудитель представляет собой сильно компаундированную индукторную машину, возбуждение которой определяется в основном обмоткой самовозбуждения, включенной последовательно с обмоткой ротора генератора.

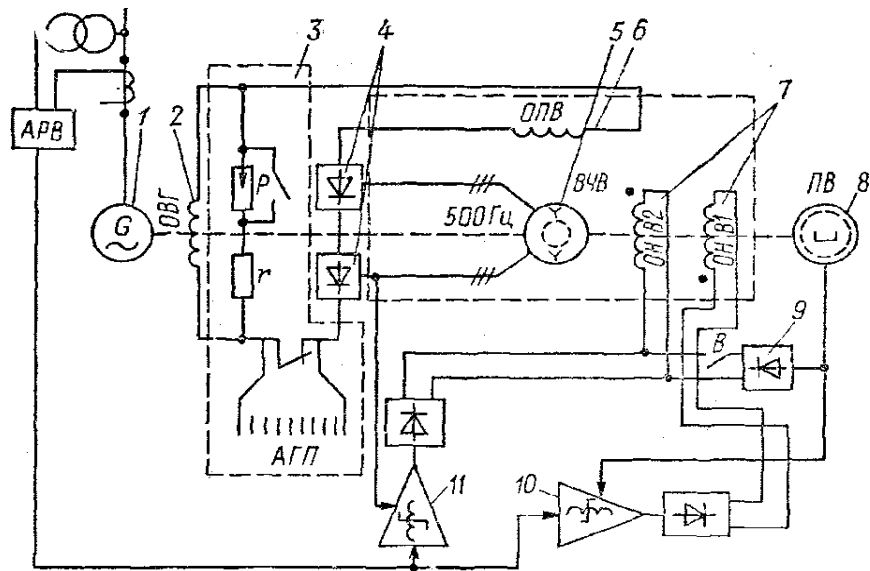


Рисунок 2 - Высокочастотная система возбуждения с неуправляемыми полупроводниковыми выпрямителями, где

1 - СГ; 2 - ОВГ; 3 - АГП; 4 - выпрямительное устройство; 5 - высокочастотный возбудитель; 6, 7 – ОПВ и ОНВ высокочастотного возбудителя (ВЧВ); 8 - высокочастотный подвозбудитель (Г1В); 9 - выпрямитель (В); 10, 11 – МУ бесконтактной форсировки и АРВ; Р – разрядник.

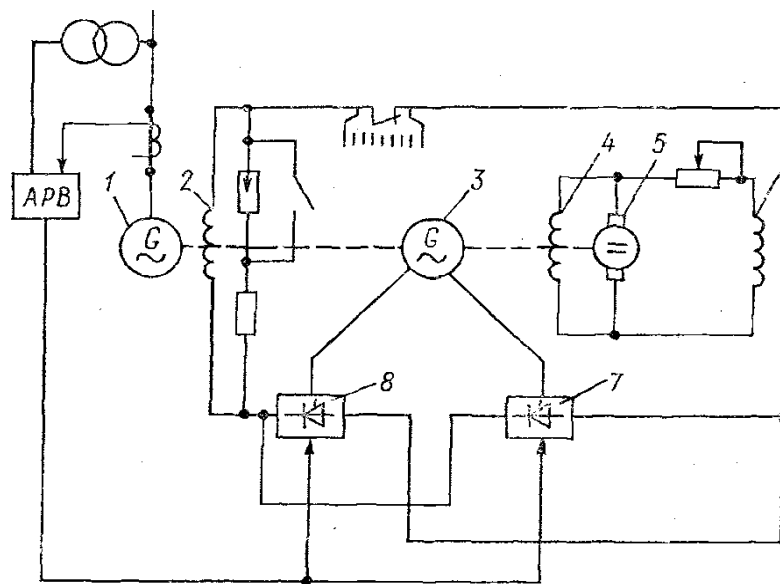


Рисунок 3 - Независимая система возбуждения с управляемыми вентилями, где

1 - СГ; 2 - обмотка возбуждения; 3 – возбудитель - вспомогательный генератор с двумя обмоткам и на статоре; 4 - ОВВ; 5 - подвозбудитель; 6 - обмотка возбуждения подвозбудителя; 7, 8 – группы управляемых вентиляей(рабочая и форсировочная).

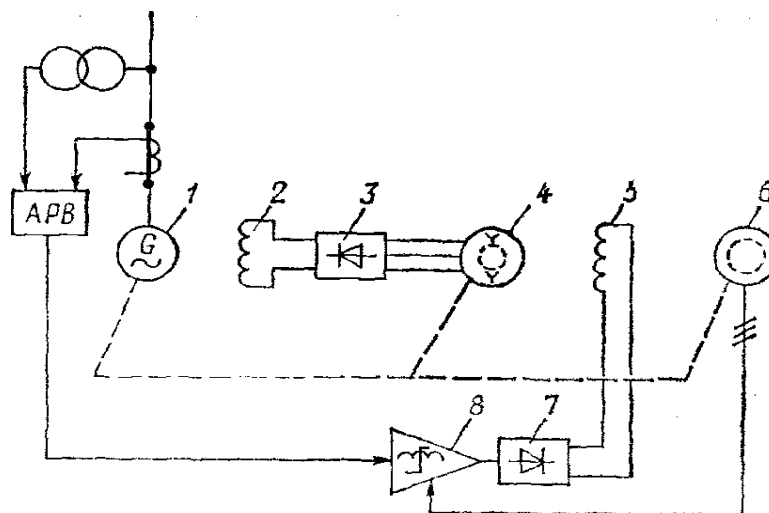


Рисунок 4 - Бесконтактная система возбуждения, где
 1 - СГ; 2 - ОВ; 3 - вращающиеся полупроводниковые выпрямители, 4 -
 высокочастотный возбудитель (обращенная индукторная машина); 5 - ОВВ; 6 -
 высокочастотный подвозбудитель; 7 – выпрямитель(В); 8 - магнитный усилитель(МУ)
 цепи возбуждения подвозбудителя.

При переходных процессах свободный ток ротора, протекающий по обмотке самовозбуждения, создает нужный компаундирующий эффект.

Устойчивость работы и регулирование обеспечиваются устройствами автоматического регулирования возбуждения (АРВ) и бесконтактной форсировки (УБФ), включенными на одинаковые независимые обмотки возбуждения высокочастотного возбудителя и представляющими собой двухсистемный корректор. УБФ берет питание от статорной обмотки высокочастотного возбудителя, а устройство АРВ—от высокочастотного подвозбудителя. Подвозбудитель локализуется на одном валу с возбудителем и основным генератором.

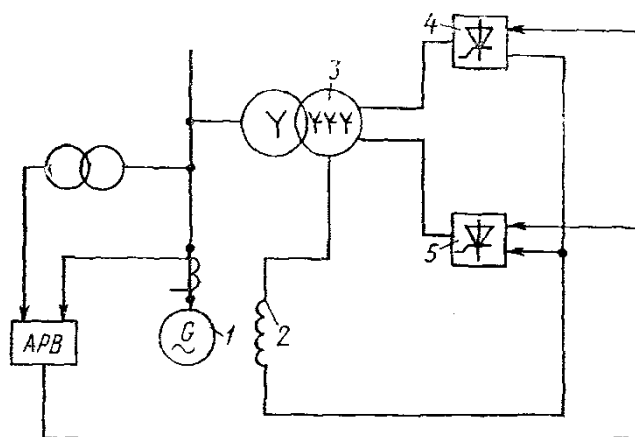


Рисунок 5 - Схема самовозбуждения с управляемыми вентилям, где:

1 - СГ; 2 - ОВ; 3 - выпрямительный трансформатор(ВТ); 4, 6 – группы управляемых вентиляей(рабочая и форсировочная).

Регулирование возбуждения осуществляется изменением токов в независимых обмотках возбуждения высокочастотного генератора. По быстродействию эта система превосходит электромашинную с ГПТ и обеспечивает скорость нарастания напряжения.

Повышение быстродействия системы возбуждения достигается с помощью управляемых вентиляей(ионные и тиристорные), преобразующих переменный ток вспомогательного синхронного генератора(ВСГ) частотой 50 Гц в постоянный. ВСГ имеет электромашинную систему возбуждения и при независимой системе располагается на одном валу с главным. При высокой кратности форсирования возбуждения ($k_f > 2$) применяются две группы управляемых вентиляей: рабочая и форсировочная. Рабочая группа вентиляей работает с малыми углами регулирования и обеспечивает возбуждение генератора в нормальных режимах, а форсировочная группа в нормальном режиме работает с большими углами регулирования и дает не более 30 % тока возбуждения. При форсировке эта группа полностью открывается и дает весь ток форсировки, а при гашении поля переводится в инверторный режим.

Описанные выше системы возбуждения называются контактными, так как обмотка возбуждения СГ соединяется с возбудителем посредством контактных колец и щеток. В настоящее время для турбогенераторов мощностью 300 МВт и выше разработаны бесконтактные системы возбуждения с непосредственным соединением возбудителя и обмотки возбуждаемой машины. В этой схеме высокочастотный возбудитель имеет обращенное исполнение с размещением трехфазной обмотки на роторе, а обмотки возбуждения на статоре. Полупроводниковые неуправляемые вентили и индивидуальные предохранители встроены в барабан, расположенный между соединительной муфтой и якорем возбудителя. Число вентиля выбирается с запасом, чтобы оставшиеся обеспечивали возбуждение в режиме форсировки при выходе из строя до 20%. Из-за 3-фазная обмотка возбудителя, выпрямители и обмотка возбуждения вращаются с одинаковой частотой, их соединяют электрически без контактных колец и щеток. Регулирование напряжения возбудителя осуществляется автоматически от высокочастотного подвозбудителя.

Бесконтактная схема повышает надежность системы возбуждения и перспективна для генераторов большой мощности с токами возбуждения 3 кА и выше. Такая система установлена на самом крупном в стране генераторе 1200 МВт, располагающим током возбуждения более 7,5 кА (Костромская ГРЭС). Однако она не лишена недостатков, в частности, при использовании этой системы гашение поля происходит медленнее а из-за инерционности высокочастотного возбудителя не могут быть получены большие скорости повышения напряжения при форсировке. Другой недостаток это невозможность работы на резервном возбуждении. Медленное гашение поля вызвано отсутствием размыкающих контактов в цепи обмотки возбуждения и осуществлением этого процесса через АГП возбудителя.

Эти недостатки фактически сведены к нулю в бесконтактной (бесщеточной) тиристорной системе возбуждения БТВУ-300, проходящей с

1981 года опытно-промышленную проверку на ряде ТЭС страны, и БТВ-500-4, установленной на одной из АЭС.

Эти системы различны от существующих:

- в них применен специальный вспомогательный шестнадцатифазный генератор с трапецеидальной э. д. с., обладающий повышенным быстродействием в диодном исполнении;

- бесконтактная система управления создает, формирует и смещает по фазе импульсы управления вращающимися тиристорами, и включает в себя синусно-косинусное устройство и специальный многофазный генератор управляющих импульсов;

- комбинированный способ управления и регулирования в сочетании с высоким быстродействием возбудителя обеспечивает высокое быстродействие системы возбуждения во всех режимах;

- процесс гашения поля ТГ значительно быстрее, так как в этой системе он осуществляется релейным переводом вращающегося выпрямителя в инверторный режим путем изменения угла регулирования от 38,9 до 137°.

Бесщеточные возбудители подобного типа имеет высокое быстродействие при форсировке возбуждения. На блоках с турбогенераторами ТГВ-300 при двукратной форсировке возбудителя из номинального режима достигается скорость нарастания напряжения до 13Ув., /с, а на блоках с ТГВ-200 — до 20Ув. и/с.

Специальные испытания показали, что при мощности генератора, равной половине номинальной, асинхронный режим не опасен для тиристорной бесщеточной системы.

Системы самовозбуждения (рисунок 5) обычно реализуются на базе статических преобразователей(СТ) с управляемыми ртутными(ионное самовозбуждение) или полупроводниковыми вентилями. Система ионного самовозбуждения использована на турбогенераторах ТГВ-200 и некоторых машинах ТГВ-300, Выпрямительный трансформатор подключен

ответвлением к токопроводу генератора и имеет две вторичные обмотки, которые соединены между собой уравнительным реактором. Каждая обмотка имеет выводы высокого и низкого напряжения для подключения форсировочной и рабочей групп вентилях. Управление вентилями осуществляется подобно схеме на рисунке 3. Ионный возбудитель с автоматическим регулятором возбуждения сильного действия обеспечивает устойчивую работу возбуждения во всех режимах, если напряжение генератора выше $0,8f/n$. Для самовозбуждения при значительных просадках напряжения в некоторых случаях применяют схему сильного компаундирования с дополнительным трансформатором, где первичная обмотка включена последовательно в цепь каждой фазы генератора, а вторичная — последовательно со вторичной обмоткой выпрямительного трансформатора.

По быстродействию система ионного самовозбуждения близка к схеме на рисунке 3 и достигается скорость нарастания напряжения при форсировке до 30с^{-1} . По финансово-экономическим показателям система самовозбуждения с управляемыми вентилями превосходит систему независимого возбуждения, но из-за прямой электрической связи с сетью имеет меньшую стабильность напряжения. [2]

2. Объект и методы исследования

Объектом исследования является анализ зависимости задаваемых параметров модели АРВ СД на работу синхронных генераторов при нормальном, аварийном и послеаварийном режимах работы. Весь ход исследования рассчитывается в программе Power Factory. В ней же, собирается схема АРВ СД, задаётся соответствующий алгоритм действий для сигналов и переменных, и в конце снимаются характеристики переходных процессов. В ходе исследования необходимо проанализировать влияние

коэффициентов усиления по каналу отклонения напряжения и по производной напряжения на работу генераторов и ЭЭС в целом.

2.1. Виды АРВ

На синхронных генераторах применяется множество разных видов АРВ, которые различают по двум составляющим. Первая – параметр, на который они реагируют. Вторая составляющая - способ влияния на систему возбуждения генератора. Регуляторы подразделяют на три группы.

Первая группа – это электромеханические АРВ, реагирующие на отклонение напряжения генератора от заданного значения и воздействующие на изменение сопротивления в цепи обмотки возбуждения.

Ко второй группе относятся электрические АРВ, реагирующие на отклонение напряжения или тока генератора от заданного значения. Эти АРВ получают ток от внешних источников питания (трансформаторы напряжения, тока, собственных нужд) и выпрямляя проводят его в обмотку возбуждения возбудителя, как дополнительный.

К третьей группе относятся АРВ, применяемые в основном с выпрямительными системами возбуждения: высокочастотной, тиристорной, бесщеточной. Они управляют работой возбудителей, не имея при этом собственных силовых органов (внешних источников питания). [3]

2.2. Автоматический регулятор возбуждения сильного действия

Автоматические регуляторы возбуждения сильного действия (АРВ СД) применяют для увеличения устойчивости при параллельной работе гидро- и турбогенераторов электрических станций, которые связаны с электроэнергетической системой сильно загруженными и протяженными линиями электропередачи. Увеличение устойчивости происходит из-за того,

что АРВ СД более интенсивно влияют на систему возбуждения генератора, чем АРВ пропорционального действия. Одновременно для стабильности процесса регулирования, регуляторы сильного действия используют дополнительные устройства, реагирующие на скорость и ускорение отклонения параметров от заданных значений. Учитывая эти дополнительные факторы, АРВ способен с опережением выявлять зависимость в протекании процесса с дальнейшим регулированием системы возбуждения генераторов в самом начале изменения режима.

Скорость изменения электрических параметров характеризуется первой производной, а ускорение - второй производной данного параметра по времени. Поэтому выявление этих факторов производится специальными дифференцирующими устройствами.

Применяются АРВ СД с быстродействующими безынерционными системами возбуждения с управляемыми выпрямителями (тиристорами). На рисунке.2. приведена упрощенная структурная схема АРВ СД, который обеспечивает:

- автоматическое регулирование возбуждения генератора по заданному закону для поддержания постоянства напряжения на шинах электростанции или в заданной точке сети;
- форсировку возбуждения и развозбуждение генератора;
- ограничение минимального тока ротора;
- ограничение тока ротора двукратным значением при форсировке и длительной перегрузке обмотки ротора генератора.

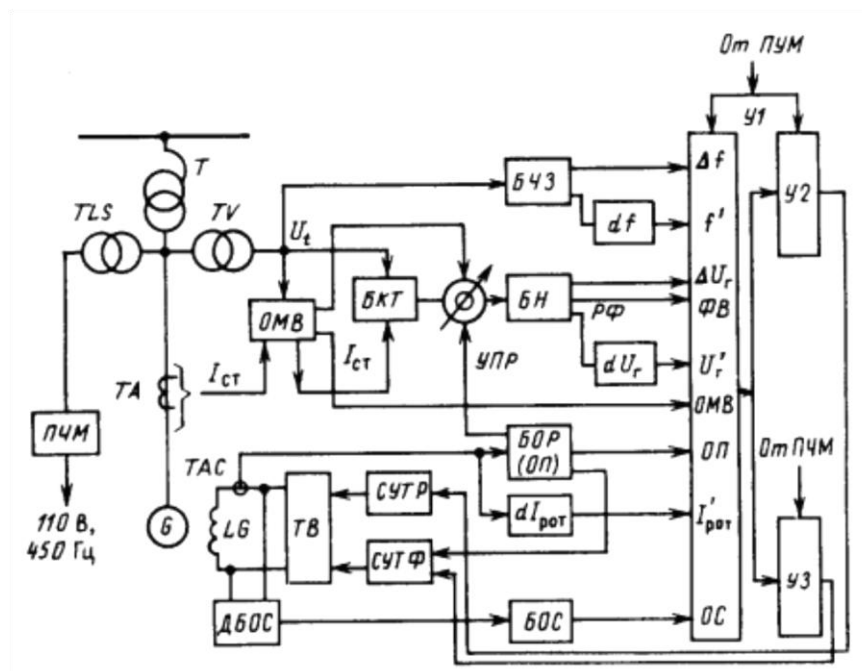


Рисунок 6 - Структурная схема автоматического регулятора возбуждения
сильного действия (АРВ СД)

Напряжение статора генератора U_G проходит вначале от трансформатора напряжения TV через блок компаундирования БКТ. Далее подаётся на блок напряжения БН. Блок БН имеет измерительный элемент, который выявляет отклонение напряжения от заданной уставки ΔU_G , элемент релейной форсировки возбуждения РФ и дифференцирующее устройство dU_G , которое выявляет скорость отклонения напряжения U_G . Сигналы ΔU_G форсировки возбуждения АД и U'_G подаются на суммирующий магнитный усилитель У7.

Блок компаундирования БКТ, в свою очередь создаёт статизм, необходимый для устойчивого распределения между параллельно работающими генераторами реактивной мощности. Ток статора генератора подводится к блоку БКТ от трансформаторов тока ТА.

Уставка по напряжению, поддерживаемого регулятором, задается при помощи потенциал-регулятора УПР, имеет как ручное, так и дистанционное управление.

Напряжение от TV генератора подводится также к блоку частоты и защиты БЧЗ. Имеющийся в БЧЗ измерительный элемент выявляет изменение частоты от нормального значения и формирует сигнал Δf . Дифференцирующее устройство Δf выявляет скорость изменения частоты f' . Оба эти параметра поступают в суммирующий усилитель У1.

В регуляторе предусмотрены защитные блокировки. Они защищают систему возбуждения генератора от ложных воздействий по каналам производных при аварийных ситуациях, включающих какие-либо внезапные сбросы нагрузки (при отключении короткого замыкания) при резких изменениях напряжения или частоты.

АРВ СД содержит специальный блок ограничения БОР, ограничивающий тока ротора генератора до двукратного значения при форсировке возбуждения, и предотвращающего длительную перегрузку обмотки ротора. От трансформатора постоянного тока ТАС подводится ток ротора к блоку БОР.

Ограничение тока происходит следующим образом. Когда ток ротора генератора достигает вдвое большего значения блок БОР подаёт сигнал форсировочной группе тиристоров СУТ Ф, которая и ограничивает значение тока.

Ограничитель перегрузки ОП в блоке БОР снижает ток ротора, изменяя уставку АРВ СД при помощи потенциал-регулятора УЛР через суммирующий усилитель У1. Ограничение перегрузки происходит с выдержкой по времени, которая зависит от кратности перегрузки.

Устойчивость работы генератора в режиме недовозбуждения обеспечивает ограничитель минимального возбуждения ОМВ. При срабатывании ОМВ воздействует на суммирующий усилитель и на повышение уставки АРВ СД потенциал - регулятором УПР.

Дифференцирующее устройство $dI'_{\text{рот}}$ образует регулируемый канал по скорости изменения тока ротора генератора $I'_{\text{рот}}$. К $dI'_{\text{рот}}$ от

трансформатора постоянного тока ТАС подводится ток ротора генератора. Сигнал $dI'_{\text{рот}}$ подаётся на суммирующий усилитель У1.

На выбор каналов и коэффициентов усиления по каждому из них существенное влияние оказывают параметры и характеристики энергосистемы. Потребуется рассмотрение установившихся режимов и переходных характеристик электроэнергетической системы, что делает выбор каналов сложной задачей.

При этом необходимо определить:

- значения параметров канала регулирования по отклонению напряжения, которые обеспечивают установленную точность поддержания напряжения при разных режимах работы синхронного генератора;
- параметры и тип каналов стабилизации ($U'_Г$, Δf , $\Delta f'$, $I_{\text{рот}}$) для обеспечения статической устойчивости и заданных показателей качества переходных характеристик при небольших отклонениях от начального установившегося режима;

В АРВ СД присутствует обратная связь по скорости изменения напряжения ротора генератора. Она стабилизирует процесс регулирования возбуждения генератора. Напряжение ротора генератора подводится к блоку обратной связи БОС через делитель напряжения ДБОС. Блок БОС, в свою очередь реагирует на магнитный усилитель У1 по своим выходным цепям.

Суммирующий магнитный усилитель У1 считывает сигналы поступающие на его вход, с последующим их суммированием и усилением. Сигнал с выхода далее подводится к операционным усилителям У2 и У3, воздействующих на системы управления рабочей СУТ Р и форсировочной групп СУТ Ф тиристорных выпрямителей возбуждения генератора. Усилители У1, У2, У3 и блок БЧЗ питаются от трансформатора собственных нужд TLS, напряжение которого перед этим проходит через магнитный преобразователь частоты ПЧМ. С его выхода снимается напряжение 110 В, 450 Гц. [3]

В НИЛ «МЭЭС» ЭНИН была разработана математическая модель АРВ СД представленная на рисунке 3.

Входные сигналы:

P_2 - активная мощность на выходе генератора;

Q_2 - реактивная мощность;

I_f - ток возбуждения;

U_2 - полное напряжение;

I_2 - полный ток;

ω - частота.

Входные сигналы от внешних устройств релейной защиты:

$U_{рф}$ - сигнал релейной форсировки.

I_f - ограничение напряжения возбуждения от защиты по максимальному току ротора

Выходная переменная:

U_f - напряжение возбуждения.

2.3. Преобразование звена математической модели в систему дифференциальных уравнений

Рассмотрим звено $\frac{T_{1U} p}{1 + T_{1U} p}$, на примере которого можно показать принцип построения звена операторной схемы АРВ СД за счет преобразования системы дифференциальных уравнений. [4]

$$\frac{U_0}{U_1} = \frac{T_{1U} p}{1 + T_{1U} p},$$

$$U_0(1 + T_{1U} p) = U_1 \cdot T_{1U} p,$$

$$U_0 + U_0 T_{1U} p = U_1 \cdot T_{1U} p,$$

$$U_0 T_{1U} p = U_1 \cdot T_{1U} p - U_0,$$

$$U_0 p = \frac{1}{T_{1U}} (U_1 \cdot T_{1U} p - U_0),$$

$$\text{Где } p = \frac{d}{dt},$$

Следовательно:

$$\int U_0 \frac{d}{dt} = U_0$$

По полученным выше системам уравнения, составляем операторную схему звена, состоящей из ЦАП, интегратора и сумматора.

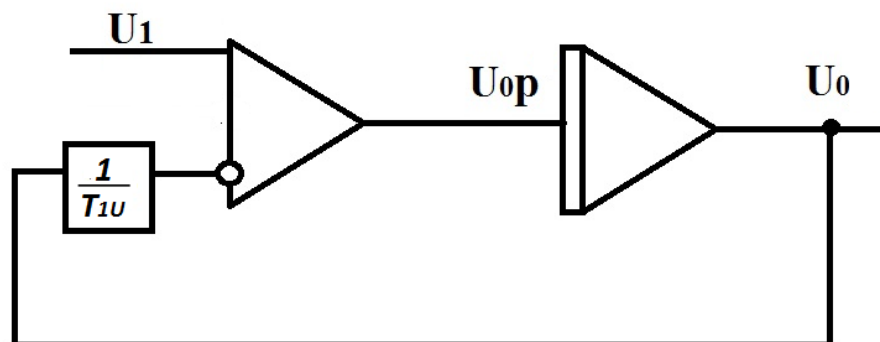


Рисунок 8 - Звено операторной схемы АРВ СД

3. Программное обеспечение Power Factory для моделирования переходных режимов в устройствах автоматики

Система PowerFactory - программное обеспечение для анализа электрических систем, появилась в 1997 году.

Среди главных преимуществ продукта - повышенная стабильность вычислений, развитый графический интерфейс пользователя, надежная объектно-ориентированная база данных.

Концепции, заложенные при создании этого ПО, делают его наиболее гибким и надежным инструментом компьютерного моделирования и анализа электрических систем и сетей.

Функционально интегрированное ПО представляет собой единый исполняемый модуль полностью совместимый с ОС Windows 95/98/NT/2000/XP/2003/Vista. Этот подход позволяет PowerFactory избежать рутинных процедур переноса данных между различными приложениями, такими как расчет потокораспределения мощности, расчет токов КЗ и др.

Вертикально интегрированное ПО позволяет использовать единый программный "движок" и интерфейс PowerFactory для различных приложений и сегментов рынка - генерация, передача, распределение электроэнергии, системы электроснабжения.

Интегрированная база данных избавляет пользователя от забот по организации и поддержке структур файлов и каталогов. Концепция единой интегрированной базы данных подразумевает, что все данные приложения (графика, параметры, результаты, условия выполнения, опции расчетов, сообщения и др.) хранятся в одной базе данных. Дополнительно предусмотрены механизмы проверки целостности базы, резервного копирования и восстановления, а также многопользовательские режимы обращения к данным, хранящимся на сервере.

Концепция управления проектами позволяет пользователю легко переходить от анализа одного варианта разработки системы к другому,

сравнивать варианты, что в итоге повышает производительность работы и помогает избежать ошибок, связанных с дублированием информации.

Что касается режимов работы, Power Factory работает в полностью графической оконной среде, реализуя наиболее современный и интуитивно понятный графический интерфейс пользователя. Предусмотрены отдельные окна для отображения результатов расчета, однолинейных схем сети, детальных схем соединения подстанций, таблиц исходных данных и т.д.

В интерактивном режиме пользователь может работать с системой в режиме командной строки. Этот режим позволяет также создавать пользовательские последовательности команд, процедуры и сохранять их в специальных файлах. Таким образом, при помощи простого встроенного языка программирования (DPL) реализуется пакетный режим работы системы. Последнее, особенно необходимо при решении сложных задач, требующих расчетов множества режимов и их автоматизированного анализа.

Система документирования проектов автоматически формирует отчеты, заполняя готовые шаблоны результатами расчетов. Существует возможность построения собственных шаблонов отчетов. Все данные могут быть импортированы или экспортированы в другие форматы хранения. Табличные данные могут быть конвертированы в формат MS Excel или Access, а обмен графическими данными с другими приложениями может быть осуществлен через BMP или WMF форматы.

PowerFactory включает постоянно растущий перечень поддерживаемых функций для решения прикладных задач:

- Расчет симметричных и несимметричных установившихся режимов, токов КЗ для 1,2 или трехфазных сетей произвольной конфигурации переменного и постоянного тока.
- Моделирование стационарных групповых регуляторов, первичных регуляторов и АРЧМ[3] (в частности для задания распределения небаланса активной мощности между станциями и анализа поставарийных УР при расчете N-1 для блоков).

- Ведение перспективных схем с помощью привязки элементов к времени ввода и вариантам развития.
- Анализ низковольтных и оптимизация распределительных сетей.
- Оптимизация (линейная и нелинейная) режимов энергосистем со множеством ограничений, включая перетоки по сечениям, пределы регулирования реактива станционными регуляторами, актива - регуляторами АРЧМ и т.п.
- Оценка состояния
- Моделирование электромагнитных и электромеханических переходных процессов, расчеты статической и динамической устойчивости.
- Создание пользовательских моделей регуляторов, например АРВ и идентификация их параметров по данным натуральных испытаний.
- Расчет, моделирование и координация систем РЗА, устройств силовой электроники, FACTS.
- Моделирование и анализ утяжеленных и аварийных режимов.
- Расчет и анализ надежности, гармонический анализ.
- Различные интерфейсы интеграции с системами WAMS, SCADA, ГИС, БД.
- Многопользовательский режим работы.
- Локальные и серверные БД для организации объектно-ориентированных принципов хранения и управления данными, поддержка CIM Введение в МЭК 61970-301 & 61968-11: Common Information Model (Общая Информационная Модель).

PowerFactory содержит встроенные средства программирования. Это выводит функции ПО на новый уровень, позволяя создавать новые комплексные функции на основе встроенных функций. [5]

3.1. Проведение исследований

Исследование регулятора возбуждения целесообразно начать со стандартной модели, чтобы проверить исправность работы программы и выяснить в целом, что следует ожидать, и на какой результат опираться в дальнейшем. Поскольку, в данной работе анализируется влияния изменения параметров АРВ на работу генератора, то для исследования регулятора не потребуется крупномасштабных схем, вполне достаточно минимального наличия составляющих процесса генерации электроэнергии. Проведём расчёт установившегося режима, при помощи чего установим, правильно ли работает схема, и не возникает ли перегруза по мощности.

Проанализировав работу стандартного АРВ, приступим к исследованию АРВ СД в таком же порядке и на той же схеме энергосистемы. Поскольку целью работы является анализ влияния параметров АРВ СД на различные режимы работы энергосистемы, то будут проведены опыты короткого замыкания, в которых будут задействованы разные значения анализируемых коэффициентов, с последующим получением переходных характеристик.

4. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

Цель работы - целью раздела «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение» является проектирование и настройка конкурентноспособной модели АРВ СД отвечающих современным требованиям в области ресурсоэффективности и ресурсосбережения.

Достижение цели обеспечивается решением задач:

- оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения;
- планирование и формирование бюджета научно-исследовательских работ;
- определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования.

Оценка конкурентоспособности - автоматическое регулирование возбуждения способно быстро восстановить напряжение после ликвидации коротких замыканий, погасить его колебания после восстановления динамической устойчивости системы, тем самым поставляя напряжение лучшего качества потребителю. Выбирая регулятор возбуждения необходимо обратить внимание на его параметры в техническом паспорте.

В данном проекте необходимо провести оценку и убедиться в том, что автоматический регулятор возбуждения сильного действия является лидером перед другими АРВ применяемые на электрических станциях.

Применяется автоматическое регулирование возбуждения:

- пропорционального (П-) действия;
- пропорционально-дифференциального (ПД-) — «сильного» действия (СД);
- пропорционально-интегрально-дифференциального (ПИД-) действия.

При пропорциональном регулировании управление происходит за счёт реагирования регулятора на отклонение напряжения от заданного значения, тока нагрузки генератора и коэффициента мощности.

При автоматическом регулировании возбуждения «сильного» действия управление происходит за счёт реагирования регулятора на производную действующего значения напряжения, а при ПИД-алгоритме автоматического регулирования формируются сигнал по интегральной функции отклонения амплитуды напряжения (среднего выпрямленного или действующего его значения) и первая и вторая производные угла электропередачи δ .

При ПД- и ПИД-регулировании достигается максимальная пропускная способность электропередачи и соответственно повышается статическая устойчивость электроэнергетической системы.

Модель оценки будет построена по следующим критериям(оценка производится по пятибалльной шкале):

- Цена устройства АРВ;
- Помехоустойчивость;
- Надежность;
- Энергоэффективность и энергосбережение;
- Диапазон регулирования по напряжению;
- Точность работы ограничения тока возбуждения;
- Предполагаемый срок эксплуатации;

Таблица 2 – Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы			Конкурентоспособность		
		АРВ ПД	АРВ СД	АРВ ПИД	$K_{ПД}$	$K_{СД}$	$K_{ПИД}$
1	2	3	4	5	6	7	8
Технические критерии оценки ресурсоэффективности							
Помехоустойчивость	0,15	5	5	5	0,75	0,75	0,75
Надежность	0,2	4	5	5	0,8	1	1
Энергоэффективность и энергосбережение	0,2	3	4	5	0,6	0,8	1
Диапазон регулирования по напряжению	0,1	3	4	5	0,3	0,4	0,5
Точность работы ограничения тока возбуждения	0,15	5	5	3	0,75	0,75	0,45
Экономические критерии оценки эффективности							
Предполагаемый срок эксплуатации	0,1	4	5	5	0,4	0,5	0,5
Цена устройства АРВ	0,1	5	4	3	0,5	0,4	0,3
Итого	1				4,1	4,6	4,5

По полученным результатам можно сделать вывод о том что АРВ СД, являются наиболее эффективными и перспективными для использования в данном проекте. Превосходство данного устройства так же обуславливается тем что устройство распространено на территории страны и опыты использования данной продукции позволяют сделать вывод о том что данная продукция является надежной, и соответствует стандартам качества.

Анализ конкурентных технических решений определяется по формуле: $K = \sum B \cdot F$

где K – конкурентоспособность научной разработки или конкурента;

B_i – вес показателя (в долях единицы);

B_i – балл i -го показателя

4.1. SWOT-анализ

SWOT – Strengths (сильные стороны), Weaknesses (слабые стороны), Opportunities (возможности) и Threats (угрозы) – представляет собой комплексный анализ научно-исследовательского проекта. SWOT-анализ применяют для исследования внешней и внутренней среды проекта.

Таблица 3 - Матрица SWOT

	Потенциальные внутренние сильные стороны (S): 1.Высокая надежность АРВ СД по сравнению с АРВ ПД; 2.Энергоэффективность технологии; 3. Проектирование в многофункциональной программе Power Factory;	Потенциальные внутренние слабости (W) 1.Технические проблемы с компьютером (зависание, поломка); 2.Отсутствие опыта у инженера при работе с новой технологией; 3.Высокая стоимость лицензии, ограниченное время использования; 4.Недостаточное знание технического английского языка;
Потенциальные внешние благоприятные возможности (O) 1. Отсутствие конкурентов; 2.Потребность в реализации ; 3. Проектирование и настройка других электроустановок ;	Стратегия при сопоставлении сильных сторон и возможностей: Наиболее благоприятный для реализации вариант. При этом реализация проекта проходит максимально быстро и безошибочно. Чёткая и слаженная работа и бесперебойное обеспечение всем необходимым позволят сделать всё в срок и без лишних издержек	Стратегия при сопоставлении слабых сторон и возможностей: С учетом большой доступности ресурсов и высокой потребности в реализации работ, возможно дополнительное обучение группы как инженера, так и руководителя. Это позволит создать хорошую команду специалистов. Возможно придется дополнительно проанализировать рынок для поиска новых более дешевых комплектующих либо попытаться потребовать более высокий объем финансирования;

Продолжение таблицы 3

Потенциальные внешние угрозы (Т)	Стратегия при сопоставлении сильных сторон и угроз:	Стратегия при сопоставлении слабых сторон и угроз:
1.Отзыв лицензии у НИ ТПУ; 2.Низкая рентабельность производственной деятельности 3.Нестабильная политическая обстановка;	Сильная команда и наличие лицензионной версии программы позволят завершить проект, несмотря на другие возможные трудности. Возможно придется пересмотреть объем планируемых исследований или сдвинуть сроки реализации работ из-за различных проблем.	При таком сочетании есть смысл задуматься о кардинальной смене направления проекта(выбор менее сложной темы ВКР) Возможен поиск похожих программ, новых более компетентных инженеров или быстрое решение возникших проблем без откладывания на определенное время..

В данном разделе SWOT-анализ проекта, определены сильные и слабые стороны, возможные пути решения различных проблем, которые могут возникнуть в ходе работы. Разработаны оптимальные стратегии поведения в различных ситуациях. Реализация такого сложного технического проекта, как настройка АРВ СД на стационарном генераторе, тем более на малоизученной программе Power Factory, невозможна без проработки слабых и сильных сторон, но также она невозможна без четкого календарного и финансового плана, который будет описан далее.

4.2. Структура работ в рамках научного исследования

Для успешного выполнения научного исследования, формируется рабочая группа, в состав которой входят научный руководитель (старший преподаватель) и инженер. Для оптимального распределения нагрузки по каждому виду работ, устанавливается соответствующая должность исполнителей.

В таблице 4 представлен перечень этапов и работ в рамках проведения научного исследования, а также установлена соответствующая должность исполнителей.

Таблица 4 - Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

Основные этапы	№ раб	Содержание работ	Должность исполнителя
Разработка технического задания	1	Составление и утверждение технического задания	Руководитель, инженер
Выбор направления исследований	2	Выбор направления исследований	Руководитель, инженер
	3	Подбор материалов и литературы по теме	Руководитель, инженер
	4	Календарное планирование работ по теме	Инженер
Теоретическое исследование	5	Изучение материалов и литературы	Инженер
	6	Выбор программного обеспечения	Руководитель, инженер
	7	Изучение программного обеспечения	Инженер
Экспериментальное исследование	8	Исследование опытного образца АРВ СД	Инженер
Оформление отчета по НИР	9	Оценка итогов полученных результатов	Инженер
	10	Составление пояснительной записки	Инженер

4.3. Определение трудоемкости выполнения работ

Одной из части стоимости разработки являются трудовые затраты, для ее подсчета необходимо определить трудоемкость работ каждого из участников научного исследования.

Трудоемкость выполнения научного исследования оценивается экспертным путем в человеко-днях и носит вероятностный характер, т.к. зависит от множества трудно учитываемых факторов. Для определения ожидаемого (среднего) значения трудоемкости $t_{ожі}$ используется следующая формула:

$$t_{ожі} = \frac{3t_{\min i} + 2t_{\max i}}{5},$$

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

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

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

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

$$T_{pi} = \frac{t_{ожі}}{Ч_i},$$

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

$t_{ожі}$ – ожидаемая трудоемкость выполнения одной работы, чел.-дн.

$Ч_i$ – численность исполнителей, выполняющих одновременно одну и ту же работу на данном этапе, чел. [6]

Для примера расчета, рассчитаем ожидаемую трудоемкость и продолжительность работы №4:

$$t_{\text{ожі}} = \frac{3t_{\text{mini}} + 2t_{\text{maxi}}}{5} = \frac{3 \cdot 1 + 2 \cdot 3}{5} = 1,8;$$

$$T_{\text{pi}} = \frac{t_{\text{ожі}}}{\text{Ч}_i} = \frac{1,8}{2} = 0,9.$$

Таблица 5 - Календарный график проведения научного исследования

№ п/п	Перечень работ	Трудоемкость работ, чел.-дн.	Количество исполнителей	Длительность выполнения работ, чел.-дн.
1	Составление и утверждение технического задания	1	2	1
2	Выбор направления исследований	2	2	1
3	Подбор материалов и литературы по теме	4	2	2
4	Календарное планирование работ по теме	2	1	2
5	Изучение материалов и литературы	14	1	14
6	Выбор программного обеспечения	2	2	1
7	Изучение программного обеспечения	42	1	42
8	Исследование опытного образца	5	1	5
9	Оценка итогов полученных результатов	40	1	40
10	Составление пояснительной записки	10	1	10
Суммарная длительность выполнения работ		118		

Календарный план-график представлен в приложении А.

Бюджет научно-технического исследования (НТИ)

При планировании бюджета НТИ должно быть обеспечено полное и достоверное отражение всех видов расходов, связанных с его выполнением. В процессе формирования бюджета НТИ используется следующая группировка затрат по статьям:

- материальные затраты;
- оплата труда;
- отчисления во внебюджетные фонды (страховые взносы);
- амортизация;
- накладные расходы.

Расчет материальных затрат НТИ

Данная статья включает стоимость всех материалов, используемых при разработке проекта, а именно канцелярские затраты.

Материальные затраты представлены в таблице 6.

Таблица 6 - Материальные затраты

№	Наименование изделия	Кол-во единиц изделия	Цена единицы изделия, тыс. руб.	Общая стоимость изделия, тыс. руб.
1	Канцелярские товары	1	1	1
2	Запоминающие устройства	2	1	1
Итого:	3 тыс. руб.			

Расчет затрат на специальное оборудование для научных работ

Данные затраты учитывают приобретение программного обеспечения для выполнения научно-исследовательской работы. Расчет затрат по данной статье представлен в таблице 7.

Таблица 7 - Расчет бюджета затрат на приобретение спецоборудования для научных работ

№	Наименование оборудования	Кол-во единиц оборудования	Цена единицы оборудования, тыс. руб.	Общая стоимость оборудования, тыс. руб.
1	DIgSILENT PowerFactory 15	1	500	500
Итого:	500 тыс. руб.			

Основная заработная плата исполнителей темы

В данном пункте рассчитываются заработная плата инженера и научного руководителя, участвующих в выполнении научно-исследовательской работы. Расходы по заработной плате определяется исходя из трудоемкости выполняемых работ и действующей системы окладов.

Статья включает основную заработную плату работников, непосредственно занятых выполнением НИИ, (включая премии, доплаты) и дополнительную заработную плату:

$$Z_{\text{зп}} = (Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}) \cdot 1,3,$$

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

$Z_{\text{доп}}$ – дополнительная заработная плата (12 % от $Z_{\text{осн}}$),

1,3 – коэффициент для г. Томска.

Расчет основной заработной платы представлен в таблице 8.

Таблица 8 - Расчет основной заработной платы

Исполнители	З _м , руб	З _{дн} , руб.	Т _р , раб. дн.	З _{осн} , руб.	З _{доп} , руб	З _{зп} , руб
Инженер	20389,99	486,144	118	57369,99	6884,4	64254,39
Руководитель(старший преподаватель)	14584,32	679,66	5	3398,33	407,79	3806,13
Итого З _{зп}	68060,52 руб.					

4.3.1. Отчисления во внебюджетные фонды

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:

$$З_{внеб} = k_{внеб} \cdot (З_{осн} + З_{доп}) ,$$

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

На 2016 г. в соответствии с Федеральным закона от 24.07.2009 №212-ФЗ установлен размер страховых взносов равный 27,1%.

Таблица 9 - Расчет отчислений во внебюджетные фонды

Исполнители	$k_{внеб}$, %	З _{зп} , руб
Все исполнители	27,1	68060,52
Итого	49616,118 руб.	

4.3.2. Амортизация

В данном пункте рассчитывается амортизация компьютерного оборудования и принтеров, необходимых в исследовательской работе.

Расчет амортизации проводился следующим образом:

$$H_A = \frac{1}{n} = \frac{1}{3} = 0,33,$$

где H_A – норма амортизации;

n – срок полезного использования в количествах лет;

$$A = \frac{H_A I}{12} \cdot m = \frac{0,33 \cdot 80}{12} \cdot 4 = 8,8 \text{ тыс. руб.},$$

где I – итоговая сумма в тыс. руб.;

m – время использования в месяцах;

Результаты расчета амортизации используемой техники представлены в таблице 10.

Таблица 10 - Расчет амортизации компьютерного оборудования

№	Наименование изделия	Кол-во единиц изделия	Цена единицы изделия, тыс. руб.	Общая стоимость изделия, тыс. руб.
1	Компьютерное оборудование	2	40	80
Норма амортизации	20 %			
Амортизация	8,8 тыс. руб.			

Накладные расходы

К накладным расходам относятся расходы, не вошедшие в предыдущие элементы затрат, и рассчитываются по формуле:

$$З_{\text{накл}} = (МЗ + А + \text{СпецЗ} + ЗП + ЗВн) \cdot k_{\text{нр}},$$

где $МЗ$ – материальные затраты;

$А$ – амортизация;

СпецЗ - затраты на приобретение спецоборудования;

ЗП – заработная плата работников;

ЗВн – отчисления во внебюджетные фонды;

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

Величина коэффициента накладных расходов берется в размере 16%.

$$\begin{aligned} Z_{\text{накл}} &= (500000 + 3000 + 68060.52 + 49616.118 + 8800) \cdot 0,16 = \\ &= 100716.262 \text{ руб.} \end{aligned}$$

Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта

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

Определение бюджета затрат и цены на научно-исследовательский проект приведены в таблице 11

Таблица 11 - Расчет бюджета затрат НТИ

Наименование статьи	Сумма, руб.	% от общей суммы
1.Материальные затраты НТИ	503000	68,88
2.Оплата труда	68060,52	9,32
3.Отчисления во внебюджетные фонды	49616,118	6,795
4.Амортизация	8800	1,205
5.Накладные расходы	100716,262	13,793
6.Бюджет затрат НТИ	730193,302	

Находим продажную цену разработанной системы. Пусть планируемая прибыль от продажи составляет не менее 20%. Цену разработки АРВ СД рассчитаем по формуле:

$$Ц = З_{\text{общ}} \cdot (1 + P / 100)$$

где P - расчетная прибыль от продажи (P = 20%).

$$Ц = 730193.302 \cdot (1 + 20 / 100) = 876231.962 \text{ руб.}$$

В данном разделе «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение» был оценен коммерческий потенциал, перспективность и альтернативы проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения с помощью оценки НТУ и оценки конкурентоспособности с помощью SWOT-анализа. Также проведено планирование и формирование бюджета научных исследований (расчет текущих затрат на исследование, определение трудоёмкости работ). Грамотно спланированная последовательность действий, адекватная оценка экономических и человеческих ресурсов, знание различных стратегий, предусматривающих выход из различных возможных неприятных ситуаций делают реализацию ВКР простой, надежной, эффективной.