

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

Энергетический институт
 Направление подготовки 13.04.02 «Электроэнергетика и электротехника»
 Кафедра «Электроэнергетические системы»

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Тема работы
Система автоматического управления статического компенсатора на базе преобразователя напряжения

УДК 621.316.726:681.51

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5AM5Б	Ламухина Ольга Павловна		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель кафедры электроэнергетических систем	А.С. Васильев	к.т.н., старший преподаватель		

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

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

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент кафедры экологии и безопасности жизнедеятельности	А.Г. Дашковский	к.т.н., доцент		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

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

Томск – 2017 г.

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

Институт – Энергетический
 Направление подготовки – 13.04.02 Электроэнергетика и электротехника
 Кафедра – Электроэнергетических систем

УТВЕРЖДАЮ:
 Зав. кафедрой

_____ Сулайманов А.О.
 (Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

ЗАДАНИЕ
на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

магистерской диссертации

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

Студенту:

Группа	ФИО
5AM5Б	Ламухиной Ольге Павловне

Тема работы:

Система автоматического управления статического компенсатора на базе преобразователя напряжения	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	18.05.2017 №3431/с

Срок сдачи студентом выполненной работы:	27.05.17
--	----------

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе	Объектом исследования является статический компенсатор реактивной мощности на базе преобразователя напряжения. Номинальная мощность СТАТКОМ составляет 50 Мвар.
Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов	Синтез математической модели статический компенсатор реактивной мощности. Разработка системы автоматического управления статического компенсатора реактивной мощности на базе преобразователя напряжения. Исследование характеристик разработанной системы автоматического управления.
Перечень графического материала	Результаты исследований

Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы	
Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»	Ассистент кафедры менеджмента Грахова Елена Александровна
Социальная ответственность»	Доцент кафедры экологии и безопасности жизнедеятельности Дашковский Анатолий Григорьевич
Раздел ВКР, выполняемый на иностранном языке	Доцент кафедры электроэнергетических систем М.В.Андреев
Раздел ВКР, выполняемый на иностранном языке	Доцент кафедры иностранных языков Буран Анна Леонидовна
Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:	
Flexible AC Transmission System Controllers	
Static synchronous compensator (STATCOM)	

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	25.01.2017
---	------------

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель	Васильев Алексей Сергеевич	к.т.н. старший преподаватель		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5AM5Б	Ламухина Ольга Павловна		

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

Студенту:

Группа	ФИО
5АМ5Б	Ламухиной Ольге Павловне

Институт	ЭНИН	Кафедра	ЭЭС
Уровень образования	Магистратура	Направление/специальность	Автоматика энергосистем

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

1. <i>Стоимость ресурсов технического проектирования: материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих.</i>	<i>В научной исследовательской работе задействованы 2 человека (руководитель, инженер). НИР проводится на базе лаборатории, поэтому дополнительных затрат на материально-технических ресурсов не потребуется. Оклады рабочей группы по исследованию в соответствии с окладами сотрудников НИ ТПУ</i>
2. <i>Нормы и нормативы расходования ресурсов</i>	<i>Величина накладных расходов 16 %</i>
3. <i>Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования</i>	<i>Отчисления на социальные цели 30,2 % от ФОТ</i>

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. <i>Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения</i>	<i>Анализ конкурентоспособности технического решения с позиции ресурсоэффективности</i>
2. <i>Планирование этапов и выполнения работ по НИР (определение состава работы, определение действующих лиц, установление длительности и трудоемкости работы)</i>	<i>Формирование плана и графика разработки: - определение структуры работ; - определение трудоемкости работ; - разработка графика Ганта.</i>
3. <i>Расчет бюджета для научно – технического исследования</i>	<i>Определение материальных затрат НИИ, затрат на специальное оборудование, расчет основной заработной платы и накладных расходов. Формирование общей сметы НИИ</i>
4. <i>Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования</i>	<i>Оценка целесообразности и эффективности научного исследования. Анализ и оценка научно-технического уровня исследования.</i>

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

1. <i>Календарный план-график проведения технического проекта</i>

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику

Задание выдал консультант:

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

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5АМ5Б	Ламухина Ольга Павловна		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
5AM5B	Ламухиной Ольге Павловне

Институт	ЭНИН	Кафедра	ЭЭС
Уровень образования	Магистратура	Направление/специальность	Автоматика энергосистем

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

<p>1. <i>Описание рабочего места (рабочей зоны, технологического процесса, механического оборудования) на предмет возникновения:</i></p>	<ul style="list-style-type: none"> - Опасные уровни напряжения в электрических цепях - шум - вибрации - повышенная температура воздуха на рабочем месте.
<p>2. <i>Знакомство и отбор законодательных и нормативных документов по теме.</i></p>	<p>Федеральный закон РФ от 22.07.2008г. №123 ФЗ «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности» СП 2.2.1.1312-03 «Гигиенические требования к проектированию вновь строящихся и реконструируемых промышленных предприятий»;</p>

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

<p>1. <i>Анализ выявленных вредных факторов проектируемой производственной среды в следующей последовательности:</i></p>	<ul style="list-style-type: none"> - Опасные уровни напряжения в электрических цепях - шум - повышенная температура воздуха на рабочем месте.
<p>2. <i>Анализ выявленных опасных факторов проектируемой производственной среды в следующей последовательности</i></p>	<ul style="list-style-type: none"> - Физические опасные факторы: электрический ток. - Возможные причины пожара: короткое замыкание в электропроводке.
<p>3. <i>Охрана окружающей среды</i></p>	<ul style="list-style-type: none"> - Бытовые отходы от производства
<p>4. <i>Защита в чрезвычайных ситуациях:</i></p>	<ul style="list-style-type: none"> - Возможные ЧС: пожар.
<p>5. <i>Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности</i></p>	<ul style="list-style-type: none"> - Право на условие труда, отвечающие требованиям безопасности и гигиены.

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

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент кафедры экологии и безопасности жизнедеятельности	Дашковский Анатолий Григорьевич	к.т.н. доцент		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5AM5B	Ламухина Ольга Павловна		

Запланированные результаты обучения

Код результата	Результат обучения
Универсальные компетенции	
P1	Совершенствовать и развивать свой интеллектуальный и общекультурный уровень, добиваться нравственного и физического совершенствования своей личности, обучению новым методам исследования, к изменению научного и научно-производственного профиля своей профессиональной деятельности.
P2	Свободно пользоваться русским и иностранным языками как средством делового общения, способностью к активной социальной мобильности.
P3	Использовать на практике навыки и умения в организации научно-исследовательских и производственных работ, в управлении коллективом, использовать знания правовых и этических норм при оценке последствий своей профессиональной деятельности.
P4	Использовать представление о методологических основах научного познания и творчества, роли научной информации в развитии науки, готовностью вести работу с привлечением современных информационных технологий, синтезировать и критически резюмировать информацию.
Профессиональные компетенции	
P5	Применять углубленные естественнонаучные, математические, социально-экономические и профессиональные знания в междисциплинарном контексте в инновационной инженерной деятельности в области электроэнергетики и электротехники.
P6	Ставить и решать инновационные задачи инженерного анализа в области электроэнергетики и электротехники с использованием глубоких фундаментальных и специальных знаний, аналитических методов и сложных моделей в условиях неопределенности.
P7	Выполнять инженерные проекты с применением оригинальных методов проектирования для достижения новых результатов, обеспечивающих конкурентные преимущества электроэнергетического и электротехнического производства в условиях жестких экономических и экологических ограничений.
P8	Проводить инновационные инженерные исследования в области электроэнергетики и электротехники, включая критический анализ данных из мировых информационных ресурсов.
P9	Проводить 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.
P10	Проводить монтажные, регулировочные, испытательные, наладочные работы электроэнергетического и электротехнического оборудования.
P11	Осваивать новое электроэнергетическое и электротехническое <i>оборудование</i> ; проверять техническое состояние и остаточный ресурс оборудования и организовывать профилактический осмотр и текущий ремонт.
P12	Разрабатывать рабочую проектную и научно-техническую документацию в соответствии со стандартами, техническими условиями и другими нормативными документами; организовывать метрологическое обеспечение электроэнергетического и электротехнического оборудования; составлять оперативную документацию, предусмотренную правилами технической эксплуатации оборудования и организации работы.

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа состоит из 94 с., 38 рис., 19 табл., 29 источников, 1 прил.

Ключевые слова: СТАТКОМ, регулирование напряжения, статический компенсатор, компенсация реактивной мощности, система автоматического управления, преобразователь напряжения, широтно-импульсная модуляция

Объектом исследования является статический компенсатор реактивной мощности на базе преобразователя напряжения.

Цель работы – разработать систему автоматического управления статического компенсатора реактивной мощности на базе преобразователя напряжения.

В процессе работы проводились исследования применения статического компенсатора на базе преобразователя напряжения для регулирования напряжения и реактивной мощности в электрической сети.

Определения, обозначения, сокращения, нормативные ссылки

FACTS – гибкие системы передачи переменного тока;

СТАТКОМ – статический синхронный компенсатор реактивной мощности;

ПН – преобразователь напряжения;

ЛЭП – линии электропередач;

ССПК – синхронный статический продольный компенсатор;

ВПТ – вставка постоянного тока;

ШИМ – широтно-импульсная модуляция;

ОРПМ – объединенный регулятор перетока мощности;

САУ – система автоматического управления;

САР – система автоматического регулирования;

ОШИМ – оптимальная широтно-импульсная модуляция;

ОУ – объект управления;

КЗ – короткое замыкание;

Оглавление

Введение.....	11
1. Обзор литературы.....	12
2. Объект и методы исследования.....	26
3. Обоснование требований к системе автоматического управления.....	27
3.1. Понятие системы автоматического управления.....	27
3.2. Классификация систем автоматического управления.....	28
3.3. Типы регуляторов и их основные характеристики.....	29
3.4. Критерии оптимальности настройки САУ.....	31
3.5. Общие требования к системе автоматического управления СТАТКОМ..	33
3.6. Обзор существующих решений по алгоритмам управления.....	36
4. Разработка системы автоматического управления статического компенсатора на базе преобразователя напряжения.....	41
4.1. Создание математической модели СТАТКОМ.....	41
4.2. Описание алгоритма настройки регуляторов.....	43
5. Тестирование разработанной системы автоматического управления.....	50
5.1. Тестирование работы регуляторов при их отдельной работе	50
5.1.1. Регулирование реактивной мощности.....	50
5.1.2. Регулирование активного тока.....	52
5.1.3. Регулирование напряжения на конденсаторных батареях.....	55
5.2. Тестирование работы регуляторов при их совместной работе в системе автоматического управления.....	56
5.2.1. Регулирование реактивной мощности.....	56
5.2.2. Регулирование напряжения на конденсаторных батареях.....	58
6. ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ.....	61
6.1. Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения.....	61
6.2. Организация работ научно-технического исследования.....	63

6.3. Составление сметы затрат.....	69
6.4. Определение научно-технической эффективности проекта.....	73
7. СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ.....	75
7.1. Описание рабочей зоны.....	75
7.2. Анализ опасных и вредных факторов.....	75
7.3. Производственная санитария.....	76
7.4. Воздух рабочей зоны.....	76
7.5. Защита от шума и вибрации.....	77
7.6. Освещение.....	78
7.7. Электробезопасность.....	78
7.8. Защита от случайного прикосновения.....	81
7.9. Защитное заземление.....	82
7.10. Зануление.....	84
7.11. Пожарная безопасность.....	85
7.12. Эвакуация людей из зданий и помещений.....	86
7.13. Охрана окружающей среды.....	86
7.14. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности.....	87
Заключение.....	89
Список использованных источников.....	91
Приложение А.....	94

Введение

Прогресс электроэнергетики в области систем передачи и распределения электроэнергии развивается в сторону повышения их управляемости, устойчивости и надежности при обеспечении нужного качества энергоснабжения потребителей. Наиболее комплексно указанные цели достигаются путем применения новейшей технологии управляемых линий электропередачи переменного тока – FACTS, содержащих многофункциональные управляемые устройства, а именно, устройства регулирования реактивной мощности, в частности – СТАТКОМ.

Магистерская диссертация направлена на разработку системы автоматического управления статического компенсатора реактивной мощности на базе преобразователя напряжения. Разработка системы проводится для подробной нелинейной динамической модели в MatLab.

После разработки системы автоматического управления необходимо провести анализ ее работы при различных изменениях режима в электрической сети.

1. Обзор литературы

Управляемые гибкие системы передачи переменного тока

В электрической сети разного класса напряжения постоянно происходят изменения ее параметров, вследствие часто изменяющейся нагрузки: отключений, подключений потребителей, оперативных переключений, различного рода аварийных ситуаций в межсистемных и внутрисистемных связях, создающих колебания активной и реактивной мощности, которые в свою очередь влияют на напряжение в сети. Отклонение напряжения в сторону увеличения или уменьшения может приводить к снижению эффективности работы системы в целом и сокращать срок службы электротехнического оборудования. Кроме того, для поддержания надлежащего качества электроэнергии, т.е. соответствия режимных параметров, а именно частоты, и напряжения, их требуемым значениям, необходимо управлять режимом работы сети.

Режим работы сети – совокупность процессов, которые характеризуют ее состояние в любой момент времени.

Регулирование напряжения – намеренное изменение напряжения в сети для качественной работы системы электроснабжения, увеличения ее экономичности и надежности.

Задачей регулирования напряжения [6,8,10] является обеспечение нормальных технических условий и совместной работы электрических сетей и производственных механизмов. В сети каждого класса напряжения, оно должно быть в нормируемых пределах.

Так как отклонения напряжения не всегда находятся в интервалах допустимых значений, необходимо его регулирование посредством изменения активной и реактивной мощностей.

Причинами отклонения напряжения являются [5,6,8,10]:

- а) потери напряжения;
- б) неправильный выбор мощности силовых трансформаторов и сечений проводников ЛЭП;

в) неправильно спроектированные схемы электрических сетей.

При регулировании напряжения проводятся следующие мероприятия:

1. Выбор мощности и места установки регулирующих устройств в сети;
2. Выбор средств регулирования, регулировочных диапазонов ступеней регулирования;
3. Выбор системы автоматического управления.

Устройства FACTS II поколения

Суть электросетевой технологии FACTS, являющейся одной из самых перспективных за последнее десятилетие, состоит в том, что электрическая сеть из обычного устройства передачи электроэнергии превращается в устройство, которое активно участвует в управлении режимами работы электрических сетей.

Устройства FACTS – электротехническое сетевое управляемое оборудование, которое гибко и плавно меняет характеристики преобразования или передачи электроэнергии для оптимальной работы сети сразу по нескольким пунктам[1,2,7]:

- пропускная способность линий электропередачи;
- потери мощности и напряжения;
- качество электроэнергии
- статическая и динамическая устойчивость;
- перераспределение потоков мощности;

Выделяют два поколения устройств FACTS[1,2]. Устройства FACTS первого поколения основываются на однооперационных тиристорных вентилях. К ним относятся такие устройства как статических тиристорный компенсатор, управляемые шунтирующие реакторы трансформаторного типа и управляемые подмагничиванием постоянным током. К новейшим устройствам FACTS второго поколения (FACTS-II) относят устройства, которые обеспечивают регулирование параметров режима на базе полностью управляемых силовых

приборов (IGCT – тиристоры, IGBT транзисторы, и др.). FACTS-II обладают новым векторным качеством регулирования, когда помимо амплитуды, регулируется также и фаза вектора напряжения электрической сети (СТАТКОМ, ССПК, ВПТ, ОРПМ).

Все выше перечисленные устройства основаны на базе преобразователя напряжения (ПН), его еще называют инвертором или автономным инвертором напряжения, который обладает способностью осуществлять обмен активной и реактивной мощностью с энергосистемой, а также потреблять или генерировать реактивную мощность, обменивая энергию цепи переменного напряжения и цепи постоянного напряжения в импульсном режиме.

Далее приведена краткая характеристика устройств FACTS II поколения на базе преобразователя напряжения.

Характеристика устройств FACTS II поколения на базе преобразователя напряжения

ССПК – синхронный статический продольный компенсатор – статическое устройство, работающее без использования внешнего источника энергии, включаемое в сеть последовательно.

Принцип работы ССПК основан на формировании на выводах напряжения, контролируемого независимо от тока линии и сдвинутого относительно него на угол 90 градусов, тем самым увеличивая или уменьшая реактивное падение напряжение в линии и изменяя, таким образом, передаваемую мощность.[1,2,5]

Для улучшения динамической устойчивости энергосистемы, имеется возможность подключения к ССПК источника энергии во время переходных процессов, для дополнительной компенсации реактивной мощности, посредством мгновенного увеличения или уменьшения суммарного падения напряжения на связи.

Структуры ССПК представлены на рисунке 2.

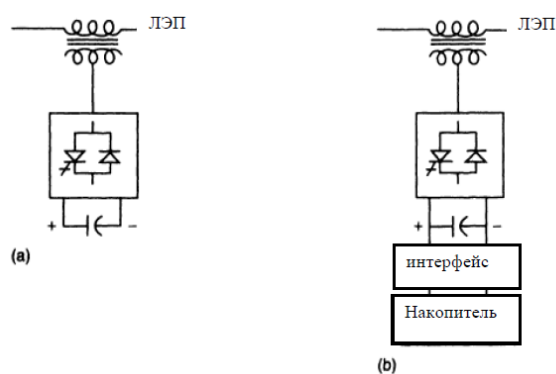


Рисунок 1 – Структуры синхронного статического продольного компенсатора с различными схемами реализации цепи постоянного тока

ВПТ (системный оператор правомерно применяет термин «вставка несинхронной связи» (ВНС), поскольку ток может менять направление, то есть не является постоянным во вставках на базе ПН) – вставка постоянного тока – своего рода подстанция, осуществляющая преобразование переменного тока в постоянный, с последующим его преобразованием в обратную сторону, той же или иной частоты.

Вставки постоянного тока в сети используются в качестве межсистемных связей и регулирующих звеньев в энергосистемах. Через ВПТ осуществляется передача постоянного тока, что предоставляет возможность создавать несинхронную связь между энергосистемами в случаях, когда их экономически нецелесообразно выполнять на переменном токе. Через ВПТ можно объединять энергосистемы, работающие на различной номинальной частоте, одной номинальной частоте, но разных фазовых сдвигов, различных фаз и частот. [1,2,5]

Можно передавать активную мощность в обоих направлениях и управлять реактивной мощностью не применяя дополнительных источников реактивной энергии. Для этой цели используются ВПТ на базе двунаправленных инверторов.

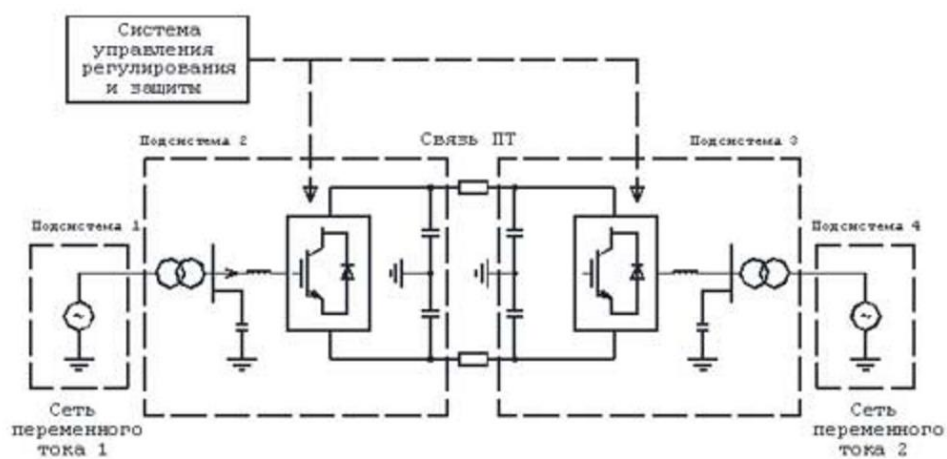


Рисунок 2 – Осуществление межсистемной связи с применением ВПТ

ОРПМ – объединённый регулятор потоков мощности – комбинированное устройство гибкой электропередачи переменного тока, которое может работать в различных режимах.

ОРПМ в общем случае состоит из двух преобразователей напряжения, трансформатора связи, источника напряжения и вольтодобавочного трансформатора. Схема устройства ОРПМ приведена на рисунке 4.

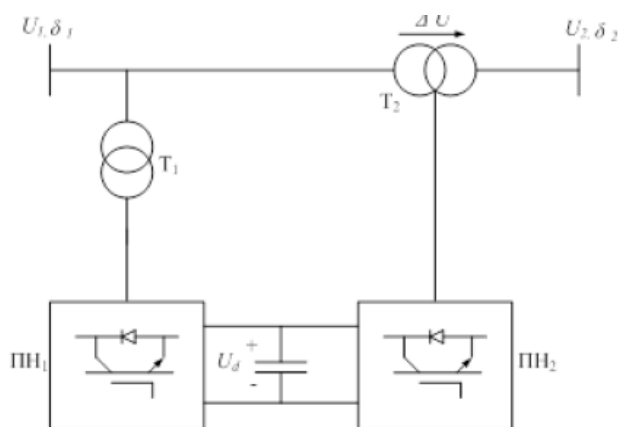


Рисунок 3 – Схема объединённого регулятора потоков мощности

Принцип работы:

Преобразователь напряжения ПН₁ способен потреблять активную мощность из сети, тем самым обеспечивая возможность выдачи активной

мощности преобразователем ПН2. ПН1 подключается к линии через трансформатор связи Т1.

Преобразователь напряжения ПН2 создает дополнительное напряжение ΔU , которое регулируется через трансформатор Т2. Напряжение ΔU изменяется в широком диапазоне по напряжению и по фазе.

ОРПМ объединяет в себе все преимущества существующих устройств FACTS, так как может работать в режиме СТАТКОМа, ССПК, ФПУ (фазоповоротного устройства) и т.д. [1,2,5]

К недостаткам ОРПМ относится его высокая стоимость, трудность согласования режимов работы двух преобразователей напряжения и точной настройки их системы регулирования. Также суммарные потери мощности в ОРПМ почти в 2 раза превышают потери в продольном компенсаторе ССПК и СТАТКОМ, что представляет собой очень существенный недостаток, который отражается на параметрах качества электроэнергии. Однако с точки зрения управления потоками мощности ОРПМ может оказаться выгоднее ВНС, поскольку при управлении потоками требуется небольшая доля мощности по сравнению со значением перетоков, ВНС же должна пропустить через себя всю мощность, соответственно оборудование должно быть рассчитано на большие токи.

Характеристика СТАТКОМ, принцип его работы и область применения устройства

СТАТКОМ – устройство FACTS, подобное по схеме замещения синхронному компенсатору (СК), построенное на управляемых силовых полупроводниковых приборах, представляющее собой синхронный источник реактивной мощности на базе статического преобразователя.[4,9]

Компенсатор может быть реализован как на базе источника напряжения, так и на базе источника тока. В данной магистерской диссертации будем

рассматривать СТАТКОМ на базе преобразователя напряжения ввиду их большей распространенности.

Устройство СТАТКОМ в общем случае состоит из:

- статического преобразователя напряжения, работающего в различных режимах генерации и потребления активной и реактивной мощностей;
- трансформатора для подключения к шинам высшего напряжения;
- звена выпрямленного напряжения;
- фильтров, для обеспечения синусоидальности токов или напряжений.

Упрощенная принципиальная схема СТАТКОМ приведена на рисунке 4.

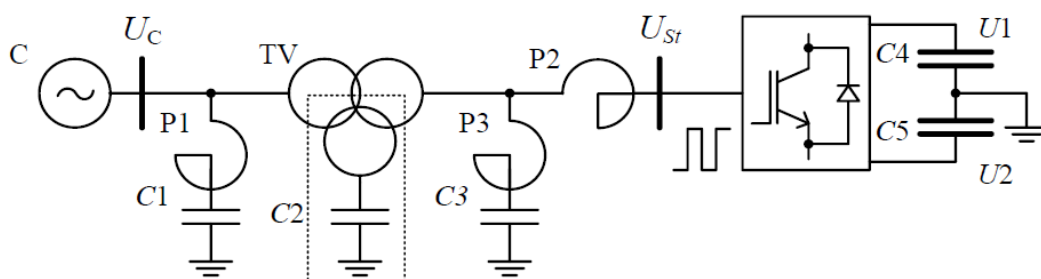


Рисунок 4 – Упрощенная принципиальная схема СТАТКОМ на базе преобразователя напряжения

Для определения возможных режимов работы СТАТКОМ и пояснения принципа его работы необходимо составить схему замещения и написать формулу для расчета мощности. [9]

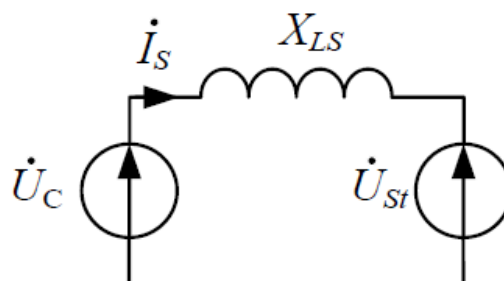


Рисунок 5 – Схема замещения СТАТКОМ

Полная мощность устройства находится по выражению

$$S = 3 \frac{U_c U_{st}}{X_{LS}} \sin(\alpha) - j3 \left(\frac{U_c U_{st}}{X_{LS}} \cos(\alpha) - \frac{U_c^2}{X_{LS}} \right)$$

где:

U_c – напряжение на шинах подстанции или напряжение сети;

U_{st} – напряжение статического преобразователя;

X_{LS} – сопротивление связи между шинами подстанции и точкой присоединения статического преобразователя;

α – угол между напряжением сети и напряжением статического преобразователя.

На рисунке 6 приведены векторные диаграммы токов и напряжений.[9]

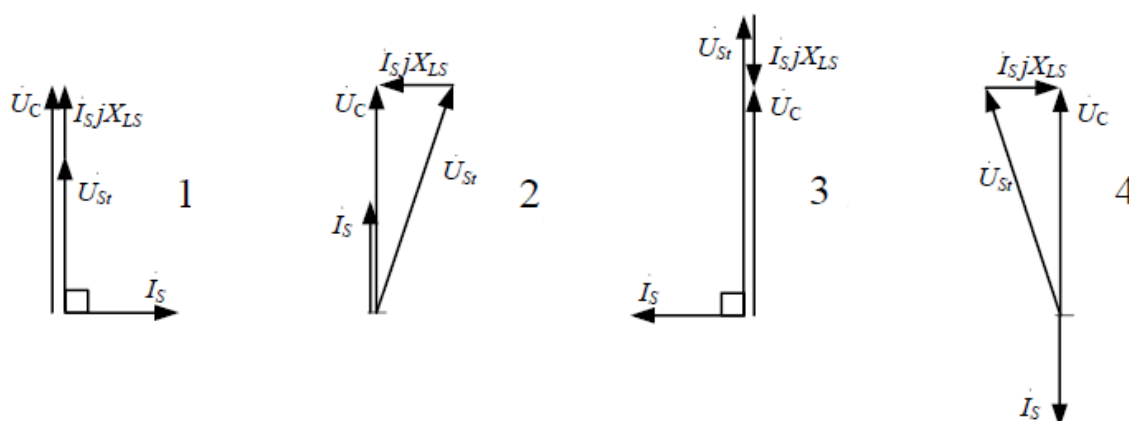


Рисунок 6 – Векторные диаграммы токов и напряжений устройства, 1 – потребление реактивной мощности, 2 – потребление активной мощности, 3 – генерация реактивной мощности, 4 – генерация активной мощности

Принцип работы СТАТКОМ поясним на осциллограммах тока и напряжения для случая работы его в режиме генерации реактивной мощности – векторная диаграмма - рисунок 6.

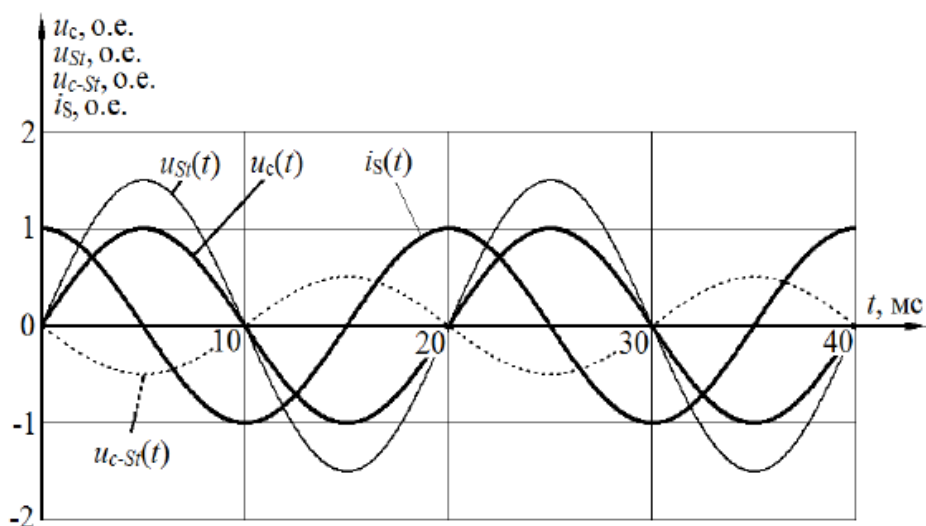


Рисунок 7 – Осциллограммы токов и напряжений устройства для схемы замещения СТАТКОМ, для случая работы устройства в режиме генерации реактивной мощности

Пусть напряжение статического преобразователя совпадает по фазе с напряжением сети и равно 1,5. Тогда падение напряжения на сопротивлении связи равно напряжению на статическом преобразователе, взятому с обратным знаком, в каждый момент времени. Ток по закону Ома будет равен 1 о.е. (в том случае если сопротивление связи будет равно 0,5 о.е., а напряжение сети будет 1 о.е.) и отставать от падения напряжения, а значит опережать напряжение сети на 90° , что соответствует режиму генерации реактивной мощности. [9]

Область допустимой длительной работы устройства ограничивается номинальными значениями напряжения и тока на выходе статического преобразователя. При кратковременной перегрузке допускается превышение тока в 1,5–2 раза выше номинального, что говорит о положительном влиянии СТАТКОМ на режим энергосистемы в случаях глубокого снижения напряжения, например в результате короткого замыкания.

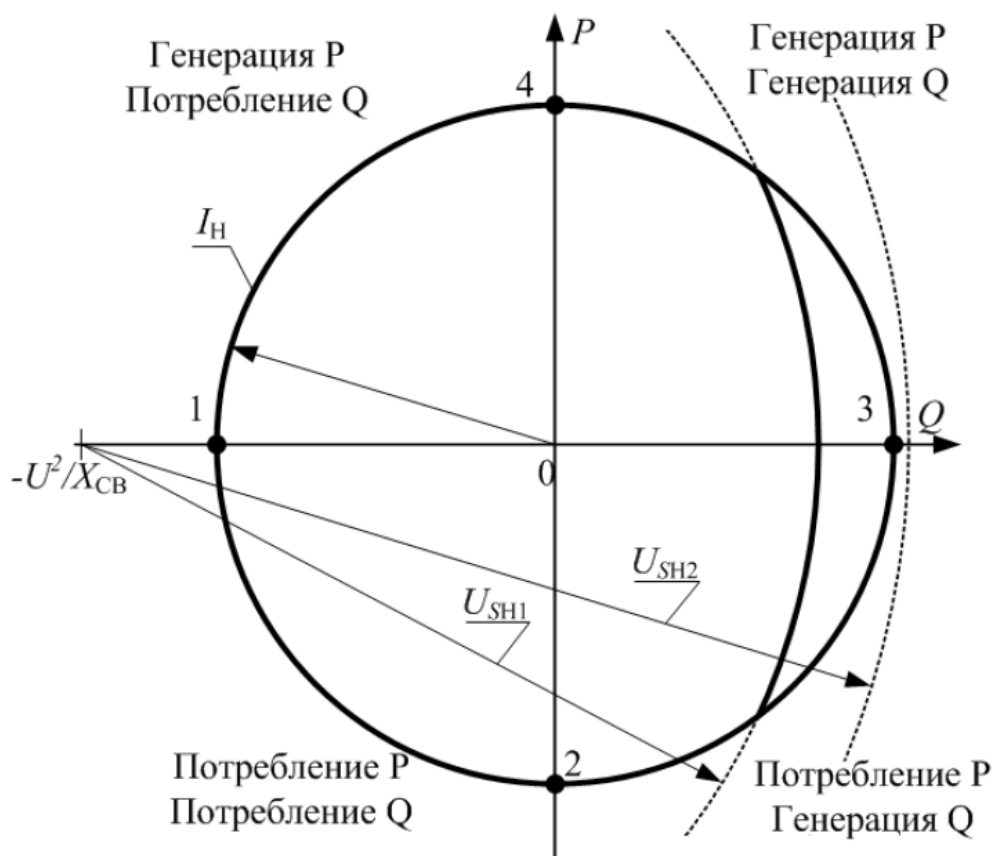


Рисунок 8 – Область допустимой работы статического синхронного компенсатора реактивной мощности

Точки 1–4 соответствуют случаям, которые представлены на векторных диаграммах напряжений и токов (рисунок 6).

Статические или внешние характеристики работы СТАТКОМ, представленные на рисунке 9, показывают независимость генерируемого или потребляемого реактивного тока от напряжения сети, и это является преимуществом при возникновении глубоких провалов напряжения сети по сравнению с остальными устройствами компенсации реактивной мощности.

Что касается динамических свойств СТАТКОМ, можно отметить, что напряжение, которое формируется на выводах статического преобразователя изменяется плавно в течение нескольких периодов. Таким образом, при провале напряжения СТАТКОМ может работать в режиме перегрузки, поддерживая неизменным напряжение в точке присоединения СТАТКОМ к сети.[4,9]

Таким образом, СТАТКОМ решает следующие задачи:

- регулирование и динамическая стабилизация напряжения;
- увеличение пропускной способности линий электропередачи;
- компенсация реактивной мощности;
- демпфирование колебаний в энергосистеме;
- повышение устойчивости при электромеханических переходных процессах;
- распределение нагрузки симметрично по фазам;
- фильтрация напряжения;
- сглаживание графиков нагрузки. [9]

СТАТКОМ находит свое применение в любых электрических сетях, особенно эффективен в сетях со слабыми межсистемными связями.

Все вышеописанные устройства FACTS II поколения построены на базе преобразователя напряжения.

Далее прилагается описание структур преобразователей напряжения, принципа работы и управления.

Преобразователь напряжения. Структура, принцип работы и управления.

Преобразователь напряжения или инвертор – статическое устройство, изменяющее величину напряжения, посредством преобразования тока из переменного в постоянный.

Преобразователь напряжения строится на полностью управляемых полупроводниковых ключах. К таким относятся биполярные транзисторы с изолированным затвором – IGBT (*Insulated-Gate Bipolar Transistor*) и запираемые тиристоры с интегрированным блоком управления – IGCT (*Integrated Gate Commutated Thyristor*).[5]

Для работы в сети низкого напряжения (до 10 кВ), рассчитаны преобразователи имеющие следующие структуры схем: однофазная мостовая (рис.5.), трехфазная мостовая двухуровневая (рис.6.), трехфазная мостовая трехуровневая(рис.7.).

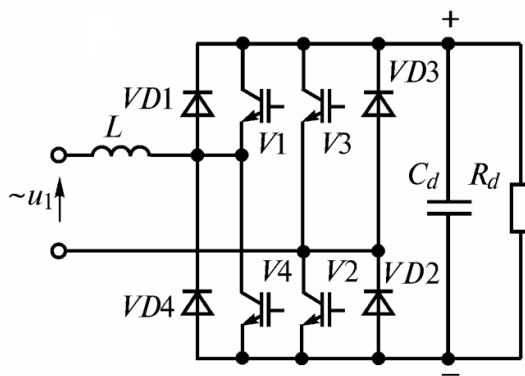


Рисунок 5 – Однофазная мостовая схема преобразователя напряжения

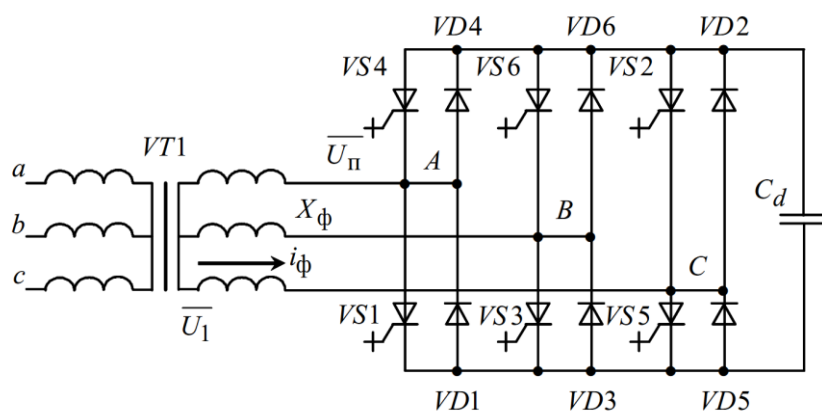


Рисунок 6 – Трехфазная мостовая двухуровневая схема преобразователя напряжения

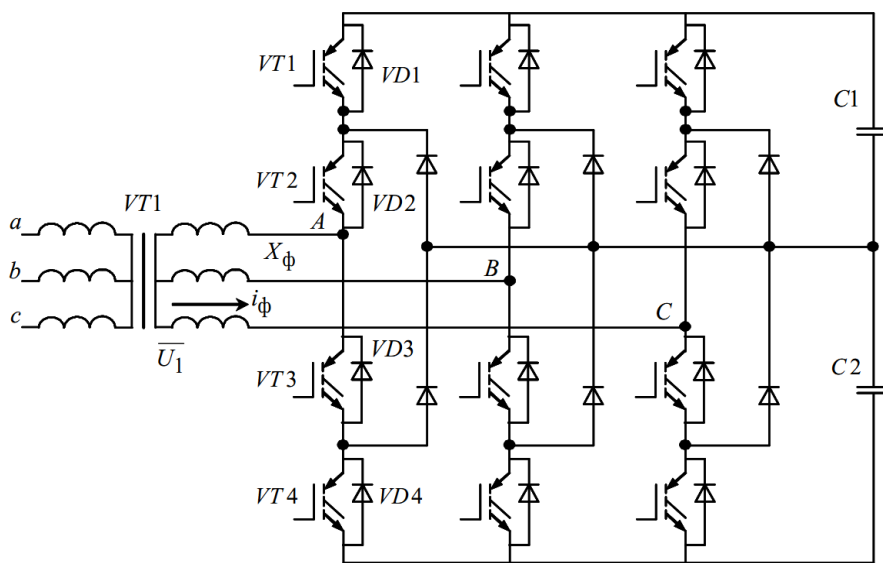


Рисунок 8 – Схема силовых цепей трехуровневого преобразователя напряжения на IGBT транзисторах

В нашей работе используется двухуровневый преобразователь напряжения на базе транзисторов IGBT, поэтому остановимся на описании работы последних.

Принцип многоуровневого преобразования состоит в увеличении числа силовых электронных ключей. Известно, что последовательное соединение вентиляей значительно усложняет схему из-за сложности распределения между ними напряжений, особенно в переходных процессах. Их особенностью является формирование на выходе преобразователей напряжений различного уровня и длительности. С ростом числа уровней становится возможным формировать ступенчатое напряжение, которое модулирует синусоидальное напряжение с точностью, пропорциональной числу уровней. Поэтому, становится возможным, изменяя число уровней в выходном напряжении, осуществлять амплитудно-импульсную модуляцию. При этом также можно одновременно осуществлять и ШИМ. В итоге при одних и тех же частотах коммутации вентиляей многоуровневыми преобразователями генерируются меньшие высшие гармоники чем, например, в двухуровневых. Существуют разные варианты схем многоуровневых преобразователей. Для наглядного представления на рисунке 8 приведена схема трёхфазного трёхуровневого преобразователя напряжения.[9,12,13]

Для модуляции синусоидального напряжения используется ШИМ – широтно-импульсная модуляция.

Важным преимуществом преобразователя на полностью управляемых вентиляях является возможность применения широтно-импульсной модуляции напряжения на стороне переменного тока преобразователя. С помощью организации ШИМ можно формировать токи и напряжения с близкой к синусоидальной форме.

Более высокочастотные составляющие фильтруются LC-фильтрами на стороне переменного тока. Потому как фильтрации подвергаются

составляющие высокой частоты, то параметры фильтра несущественно влияют на габаритные показатели СТАТКОМ.[9]

Существует множество способов реализации широтно-импульсной модуляции с помощью системы управления, выбор которых осуществляется на основе технико-экономического анализа.

Самый простой принцип синусоидальной ШИМ приведен на рисунке 9.

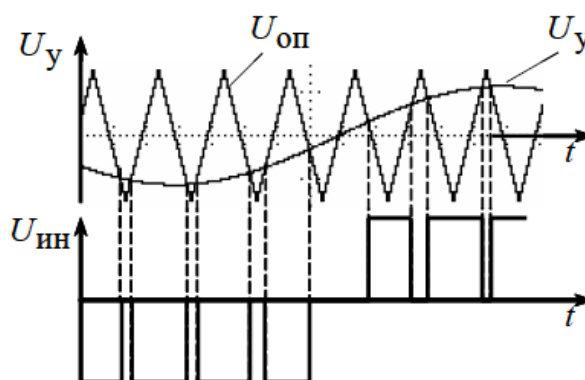


Рисунок 9 – Принцип синусоидальной широтно-импульсной модуляции

В процессе широтно-импульсной модуляции система управления определяет моменты коммутации полупроводниковых ключей в те моменты, когда опорное $U_{оп}$ треугольное напряжение и управляющее U_y синусоидальное равны.[9]

Можно сказать, что чем выше несущая частота широтно-импульсной модуляции, тем меньше амплитуда колебаний тока статического преобразователя. Осциллограммы фазных токов при высокой и низкой несущей частоте опорного напряжения ШИМ модулятора показаны на рисунке 10. За низкую частоту коммутации принимается частота менее 500 Гц, за высокочастотную – свыше 500 Гц.[9]

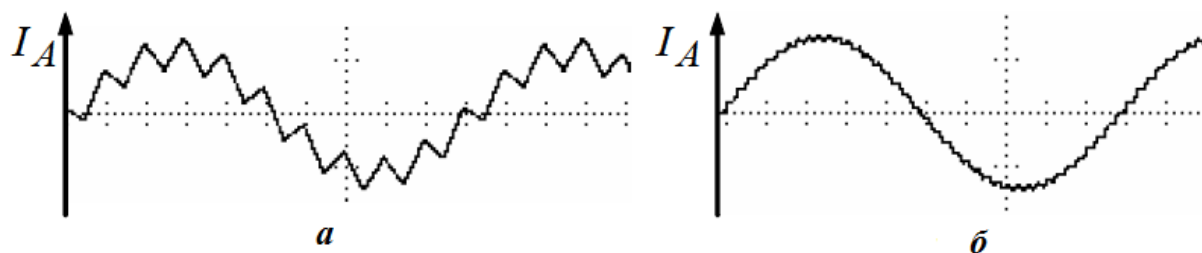


Рисунок 10 – Осциллограммы токов фаз ПН при низкой – а и высокой – б несущей частоте

Тем не менее чрезмерное увеличение несущей частоты порождает рост коммутационных потерь в СТАТКОМ. При увеличении потерь в ключах, повышается температура в них, что повышает требования к системе охлаждения. Именно поэтому частота коммутации в большинстве случаев не должна превышать 2 кГц, что создает ограничение по снижению генерации высших гармоник. При выходе за пределы этого ограничения усложняется электромагнитная часть СТАТКОМ.[9,12,13]

2. Объект и методы исследования

Объектом исследования является разработка системы автоматического управления статического компенсатора реактивной мощности на базе преобразователя напряжения.

Разработка проводится для нелинейной математической модели в MatLab.

Настройка системы автоматического регулирования осуществляется классическим методом по теории автоматического управления.

6. ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ

В настоящее время перспективность научного исследования определяется не только масштабом открытия, оценить которое на первых этапах жизненного цикла высокотехнологического и ресурсоэффективного продукта бывает достаточно трудно, сколько коммерческой ценностью разработки. Оценка коммерческой ценности (потенциала) разработки является необходимым условием при поиске источников финансирования для проведения научного исследования и коммерциализации его результатов. Это важно для разработчиков, которые должны представлять состояние и перспективы проводимых научных исследований. Через такую оценку ученый может найти партнера для дальнейшего проведения научного исследования, коммерциализации его результатов.

Целью данного раздела является организация работ научно-исследовательской работы, формирование сметы затрат на ее написание, определение ресурсосберегающей эффективности.

6.1. Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения

Потенциальные потребители результатов исследования

Данная научно-исследовательская работа не имеет потенциальных потребителей, так как имеет исключительно научно-прикладной характер.

Исследование направлено на подробную проработку уже готового устройства – СТАТКОМ, его более точную настройку. Следовательно, работа не имеет коммерческого и инновационного потенциала.

Проведем оценку рисков научно-технического исследования.

Оценка возможных рисков

Произведем оценку рисков. Идентифицированные риски проекта включают в себя возможные неопределенные события, которые могут возникнуть в проекте и вызвать последствия, которые повлекут за собой нежелательные эффекты.

При оценке важности рисков оценивается вероятность их наступления (P_i). По шкале от 0 до 100 процентов: 100 – наступит точно, 75 – скорее всего наступит, 50 – ситуация неопределенности, 25 – риск скорее всего не наступит, 0 – риск не наступит. Оценка важности риска оценивается весовым коэффициентом (w_i). Важность оценивается по 10- балльной шкале b_i . Сумма весовых коэффициентов должна равняться единице. Оценка важности рисков приведена в таблицах 1.2-1.6.

Таблица 1 – Социальные риски

№	Риски	P_i	b_i	w_i	$P_i \cdot w_i$
1	Низкая квалификация персонала	0	2	0,061	0
2	Непросвещенность предприятий о данном методе	50	4	0,168	8,928
3	Несоблюдение техники безопасности	25	6	0,23	6,25
4	Увеличение нагрузки на персонал	50	4	0,168	8,928
	Сумма		16	0,627	24,1

Таблица 2 – Экономические риски

№	Риски	P_i	b_i	w_i	$P_i \cdot w_i$
1	Инфляция	100	2	0,029	1,960
2	Экономический кризис	25	3	0,049	0,980
3	Непредвиденные расходы в плане работ	25	5	0,126	5,862
4	Сложность выхода на мировой рынок	75	6	0,136	10,29
	Сумма		16	0,34	19,92

Таблица 3 – Технологические риски

№	Риски	P_i	b_i	w_i	$P_i \cdot w_i$
1	Возможность поломки оборудования	25	6	0,24	5,25
2	Низкое качество поставленного оборудования	25	8	0,313	7,0357
	Сумма		14	0,553	12,2857

Таблица 4 – Научно-технические риски

№	Риски	P_i	b_i	w_i	$P_i \cdot w_i$
1	Развитие конкурентных методов	50	5	0,135	8,936
2	Отсутствие результата в установленные сроки	25	6	0,123	6,25
3	Несвоевременное патентование	25	8	0,176	3,657
	Сумма		19	0,434	18,843

Таблица 5 – Общие риски

№ п/п	Риски	b_i	w_i	$b_i \cdot w_i$
1	Социальные	16	0,627	10,03
2	Экономические	16	0,34	5,44
3	Технологические	14	0,553	7,742
4	Научно-технические	19	0,434	8,246
Итого				31,458

Расчет рисков дает общую оценку в 31,458. Эта цифра говорит, что проект имеет право на жизнь, хотя и не лишен вероятных рисков.

6.2. Организация работ научно-технического исследования

Планирование комплекса предполагаемых работ осуществляется в следующем порядке:

- определение структуры работ в рамках магистерской диссертации;
- определение участников каждой работы;
- установление продолжительности работ;
- построение графика написания магистерской диссертации.

Структура работ в рамках научно-исследовательской работы

Для написания научно-исследовательской работы формируется рабочая группа, в состав которой входят научный руководитель и студент. Научное исследование проводится на базе лаборатории. Составлен перечень этапов и работ в рамках проведения исследования и произведено распределение исполнителей по видам работ. Перечень этапов, работ и распределение исполнителей по данным видам работ приведены в таблице 1

Таблица 6 – Перечень этапов работ и распределение исполнителей

Основные этапы	№ работ	Содержание работ	Должность исполнителя
Разработка задания на магистерскую диссертацию	1	Составление и утверждение задания	Научный руководитель
Выбор направления магистерской диссертации	2	Подбор и изучение материалов по теме	Инженер
Разработка системы автоматического управления СТАТКОМ	3	Построение нелинейной динамической модели	Инженер
	4	Разработка системы автоматического управления СТАТКОМ	Инженер, научный руководитель
	5	Анализ работы системы автоматического управления СТАТКОМ при различных изменениях режима в электрической сети.	Инженер, научный руководитель
Обобщение и оценка результатов	6	Оценка эффективности полученных результатов	Инженер совместно с научным руководителем
Оформление отчета по ВКР	7	Составление пояснительной записки	Инженер
	8	Проверка выпускной квалификационной работы руководителем	Научный руководитель
Сдача выпускной квалификационной работы	9	Защита ВКР	Инженер совместно с научным руководителем

Определение трудоемкости выполнения работ

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 $t_{\text{ож}i}$ используется следующая формула:

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

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

$t_{\text{min}i}$ – минимально возможная трудоемкость выполнения заданной i -ой работы (оптимистическая оценка: в предположении наиболее благоприятного стечения обстоятельств), чел.-дн.;

$t_{\text{max}i}$ – максимально возможная трудоемкость выполнения заданной i -ой работы (пессимистическая оценка: в предположении наиболее неблагоприятного стечения обстоятельств), чел.-дн.

Исходя из ожидаемой трудоемкости работ, определяется продолжительность каждой работы в рабочих днях T_p , учитывающая параллельность выполнения работ несколькими исполнителями.

$$T_{pi} = \frac{t_{\text{ож}i}}{Ч_i},$$

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

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

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

В таблице 7 приведены ожидаемая трудоемкость и время выполнения работ.

Таблица 7 – Определение трудоемкости и длительности выполнения работ

Название работы	Трудоёмкость работ						Длительность работ в рабочих днях T_{pi}	
	t_{min} , чел-дни		t_{max} , чел-дни		$t_{ожг}$, чел-дни			
	Науч. рук-ль	Инженер	Науч. рук-ль	Инженер	Науч. рук-ль	Инженер	Науч. рук-ль	Инженер
Составление и утверждение задания	1	-	2	-	1,4	-	2	-
Подбор и изучение материалов по теме	-	3	-	5	-	3,8	-	4
Построение нелинейной динамической модели	-	28	-	33	-	30	-	30
Разработка системы автоматического управления СТАТКОМ	1	30	2	35	1,4	32	2	32
Анализ работы системы автоматического управления СТАТКОМ при различных изменениях режима в электрической сети	1	30	2	35	1,4	32	2	32
Оценка эффективности полученных результатов	1	4	2	6	1,4	4,8	2	5
Составление пояснительной записки	-	5	-	12	-	7,8	-	8
Проверка выпускной квалификационной работы руководителем	1	-	2	-	1,4	-	2	-
Сдача и защита выпускной квалификационной работы	1	2	2	4	1,4	2,8	2	3

Минимальное t_{min} и максимальное время t_{max} получены на основе экспертных оценок.

Разработка графика проведения научного исследования

Наиболее удобным и наглядным в данном случае является построение ленточного графика проведения научного исследования в форме диаграммы Ганта.

Диаграмма Ганта – горизонтальный ленточный график, на котором работы по теме представляются протяженными во времени отрезками, характеризующимися датами начала и окончания выполнения данных работ.

На основе таблицы 7 строим план-график. График строится для максимального по длительности исполнения работ в рамках научно-исследовательского проекта, с разбивкой по месяцам и декадам (10 дней) за период времени написания ВКР. При этом работы на графике следует выделить различной штриховкой в зависимости от исполнителей, ответственных за ту или иную работу.

Исходя из составленной диаграммы, можно сделать вывод, что продолжительность работ занимает 12 декад, начиная со второй декады февраля, заканчивая первой декадой июня.

6.3. Составление сметы затрат

Смета затрат – полный расчет затрат на создание технического проекта.

Смета затрат включает в себя:

- материальные затраты;
- полную заработную плату исполнителей технического проекта;
- отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления);
- накладные расходы.

Расчет материальных затрат

К материальным затратам относятся: приобретаемые со стороны сырье, покупные материалы, а также запасные части для ремонта оборудования, приборов, лабораторного оборудования и других средств труда, не относимых к основным средствам, износ спецодежды и других малоценных и быстроизнашивающихся предметов.

В материальные затраты, помимо вышеуказанных, включаются дополнительные затраты на канцелярские принадлежности, диски, картриджи и т.п.

Расчет материальных затрат осуществляется по следующей формуле:

$$Z_m = \sum_{i=1}^m C_i \cdot N_{расхi} ,$$

где m – количество видов материальных ресурсов;

$N_{расхi}$ – количество материальных ресурсов i -го вида, планируемых к использованию (натур.ед.);

C_i – цена приобретения единицы i -го вида потребляемых материальных ресурсов (руб./натур.ед.);

Значения цен на материальные ресурсы установлены по данным, размещенным на сайте канцелярского магазина ТД „Карандаш”. [6]

Таблица 9 – Материальные затраты

Наименование	Количество	Цена за ед., руб.	Затраты на материалы, (З _м), руб.
Канцелярские товары			600
Затраты на копировальные услуги			700
Ноутбук LENOVO	1	26500	26500
Программный комплекс MATLAB	1	150000	150000
Итого			177,800

При расчете материальных затрат не учитывались транспортные расходы.

Расчет полной заработной платы исполнителей темы

Полная заработная плата включает основную и дополнительную заработные платы:

$$Z_{полн} = Z_{осн} + Z_{доп} ,$$

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

$Z_{доп}$ – дополнительная заработная плата.

Основная заработная плата ($Z_{осн}$) исполнителя рассчитывается по следующей формуле:

$$Z_{осн} = Z_{дн} \cdot T_p ,$$

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

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

T_p – продолжительность работ, выполняемых работником, раб. дн.

(таблица 2);

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$Z_{\text{дн}} = \frac{Z_{\text{тс}} + Z_{\text{допл}} + Z_{\text{р.к.}}}{F_{\text{д}}},$$

где $Z_{\text{тс}}$ – заработная плата по тарифной ставке, руб.;

$Z_{\text{допл}}$ – доплаты и надбавки, руб.;

$Z_{\text{р.к.}}$ – районная доплата, руб.;

$F_{\text{д}}$ – количество рабочих дней в месяце (26 при 6-дневной рабочей неделе, 22 при 5-дневной рабочей неделе), раб. дн.

Расчёт основной заработной платы приведён в таблице 5.

Таблица 10 – Расчёт основной заработной платы

Исполнители	$Z_{\text{тс}}$, руб.	$Z_{\text{допл}}$, руб.	$Z_{\text{р.к.}}$, руб.	$Z_{\text{м}}$, руб.	$Z_{\text{дн}}$, руб.	$T_{\text{р}}$, раб. дн.	$Z_{\text{осн}}$, руб.
Руководитель	14584	2140	5017	21741	836	12	10032
Инженер	2344	350	808	3502	117	108	12636
Итого $Z_{\text{осн}}$, руб.							22668

Расчет дополнительной заработной платы ведется по следующей формуле:

$$Z_{\text{доп}} = k_{\text{доп}} \cdot Z_{\text{осн}}$$

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

Расчёт полной заработной платы приведён в таблице 6.

Таблица 11 – Расчет полной заработной платы

Исполнители	$k_{\text{доп}}$	$Z_{\text{осн}}$, руб.	$Z_{\text{доп}}$, руб.	$Z_{\text{полн}}$, руб.
Руководитель	0,15	10032	1468	11500
Инженер	0,12	12636	1464	14100
Итого $Z_{\text{осн}}$, руб.		22668	2932	25600

Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)

В данной статье расходов отражаются обязательные отчисления по установленным законодательством Российской Федерации нормам органам государственного социального страхования (ФСС), пенсионного фонда (ПФ)

и медицинского страхования (ФФОМС) от затрат на оплату труда работников.

Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется исходя из следующей формулы:

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

где $k_{\text{внеб}}$ – 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 30,2 %.

Отчисления во внебюджетные фонды составят:

$$З_{\text{внеб}} = 0,302 \cdot (22668 + 2932) = 7700 \text{ руб.}$$

Накладные расходы

Накладные расходы учитывают прочие затраты организации, не включенные в предыдущие статьи расходов: печать и ксерокопирование материалов исследования, оплата услуг связи, электроэнергии, почтовые и телеграфные расходы, размножение материалов и т.д.

$$З_{\text{накл}} = (\text{затраты на тех.проект}) \cdot k_{\text{нр}},$$

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

Величина коэффициента накладных расходов принимается в размере 16%.

Формирование сметы

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

Определение бюджета затрат приведено в таблице 7.

Таблица 12 – Смета затрат научного исследования

Наименование статьи	Сумма, тыс. руб.	Доля, %
1. Материальные затраты ТП	177,800	81,67
2. Затраты по полной заработной плате исполнителей темы	25,600	11,76
3. Отчисления во внебюджетные фонды	7,700	3,54
4. Накладные расходы	6,600	3,03
5. Итого	217,700	100,0

В ходе выполнения данного раздела была рассчитана продолжительность выполнения технического проекта, которая составляет 108 раб. дней для инженера и 12 для руководителя. Составлен календарный график выполнения работ. Смета затрат на разработку технического проекта составляет 4100 руб, из которых более половины (62,3 %) составляют затраты на оплату труда. Все результаты проекта оказались ожидаемы и могут быть реализованы.

6.4. Определение научно-технической эффективности проекта

Для оценки научной ценности, технической значимости и эффективности исследования необходимо: рассчитать коэффициент научно-технического уровня. Коэффициент НТУ рассчитывается при помощи метода балльных оценок, в котором каждому из признаков НТУ присваивается определенное число баллов по принятой шкале. Общую оценку приводят по сумме баллов по всем показателям с учетом весовых характеристик. Общая оценка рассчитывается по формуле:

$$НТУ = \sum_{i=1}^n k_i \cdot П_i ,$$

где k_i – весовой коэффициент i – го признака;

$П_i$ – количественная оценка i – го признака.

Таблица 13 - Весовые коэффициенты НТУ

Признаки НТУ	Весовой коэффициент
Уровень новизны	0.6
Теоретический уровень	0.4
Возможность реализации	0.2

Таблица 14 - Шкала оценки новизны

Баллы	Уровень
1-4	Низкий НТУ
5-7	Средний НТУ
8-10	Сравнительно высокий НТУ
11-14	Высокий НТУ

Таблица 15 - Значимость теоретических уровней

Характеристика значимости теоретических уровней	Баллы
Установка законов, разработка новой теории	2
Глубокая разработка проблем, многосторонний анализ, взаимозависимость между факторами	10
Разработка способа (алгоритм, устройство, программы)	6
Элементарный анализ связей между факторами (наличие гипотезы, объяснение версий, практические рекомендации)	8
Описание отдельных факторов (вещества, свойств, опыта, результатов)	6

Таблица 16 - Возможность реализации по времени и масштабам

Время реализации	Баллы
В течение первых лет	10
От 5 до 10 лет	4
Свыше 10 лет	2
Масштабы реализации	Баллы
Одно или несколько предприятий	10
Отрасль	4
Народное хозяйство	2

$$k_1 = 0.6, P_1 = 2, k_2 = 0.4, P_2 = 10,$$

$$k_3 = 0.2, P_3 = 6, k_4 = 0.2, P_4 = 8.$$

$$НТУ = 0.6 \cdot 2 + 0.4 \cdot 10 + 0.2 \cdot 6 + 0.2 \cdot 8 = 9.6$$

По полученным результатам расчета коэффициента научно-технического уровня можно сделать вывод, что данный проект имеет неплохие показатели новизны, значимость теоретического уровня. Относится к сравнительно невысокому НТУ.