

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

Инженерная школа энергетики

Отделение Электроэнергетики и электротехники

Направление подготовки 13.04.02 Электроэнергетика и электротехника

Профиль Авиакосмическая электроэнергетика

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Тема работы:

«Варианты построения авиационной системы электроснабжения на основе трансформатора Скотта»

УДК 621.314.58

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5AM05	Мандригеля Григорий Евгеньевич		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор	Гарганеев А. Г.	д.т.н., профессор		

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Рыжакина Т.Г.	к.э.н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
ст. преподаватель	Черемискина М.С.			

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель Отделения/НОЦ/ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
13.04.02 Электроэнергетика и электротехника	Гарганеев А.Г.	д.т.н., профессор		

13.04.02 Электроэнергетика и электротехника Электромеханические системы автономных объектов и автоматизированный электропривод Авиакосмическая электроэнергетика	
Код компетенции СУОС	Наименование компетенции СУОС
Универсальные компетенции	
УК(У)-1	Способен осуществлять критический анализ проблемных ситуаций на основе системного подхода, вырабатывать стратегию действий
УК(У)-2	Способен управлять проектом на всех этапах его жизненного цикла
УК(У)-3	Способен организовывать и руководить работой команды, вырабатывая командную стратегию для достижения поставленной цели
УК(У)-4	Способен применять современные коммуникативные технологии, в том числе на иностранном (-ых) языке (-ах), для академического и профессионального взаимодействия
УК(У)-5	Способен анализировать и учитывать разнообразие культур в процессе межкультурного взаимодействия
УК(У)-6	Способен определять и реализовывать приоритеты собственной деятельности и способы ее совершенствования на основе самооценки
Общепрофессиональные компетенции	
ОПК(У)-1	Способен формулировать цели и задачи исследования, выявлять приоритеты решения задач, выбирать критерии оценки
ОПК(У)-2	Способен применять современные методы исследования, оценивать и представлять результаты выполненной работы
Профессиональные компетенции университета	
ПК(У) -1.	Способен анализировать параметры и характеристики электрифицируемого узла летательного аппарата, как основы технического задания при проектировании изделий электрооборудования летательных аппаратов
ПК(У)-2	Способен технически поддерживать процесс разработки чертежей, схем и электронных моделей комплексов и систем бортового оборудования летательных аппаратов различного назначения
ПК(У)-3	Способен проводить научно-исследовательские и опытно-конструкторские разработки по отдельным разделам темы
ПК(У)-4	Способен осуществлять техническое руководство разработкой электронного, электромеханического и электрокоммутационного и оборудования летательных аппаратов
ПК(У)-5	Способен проводить эксперименты и испытания систем бортового оборудования по направлениям, автономно и в составе комплекса

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

Инженерная школа энергетики

Направление подготовки 13.04.02 Электроэнергетика и электротехника

Отделение Электроэнергетики и электротехники

УТВЕРЖДАЮ:

Руководитель ООП

_____ Гарганеев А.Г.

(Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

ЗАДАНИЕ

на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

Магистерской работы

Студенту:

Группа	ФИО
5AM05	Мандригеля Григорию Евгеньевичу

Тема работы:

Варианты построения авиационной системы электроснабжения на основе трансформатора Скотта	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	10.12.2021, №344-49/с

Срок сдачи студентом выполненной работы:	15.06.2022
--	------------

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе	Напряжение первичной сети: 27 В Выходное напряжение на нагрузке: 3ф,36 В Мощность нагрузки: 800 Вт Требуемое значение КПД: 95 % Требуемое значение коэффициента гармоник выходного напряжения: не более 0,05
Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов	1. Роль вторичной системы в энергообеспечении летательных аппаратов 2. Требования, предъявляемые ко вторичной СЭС 3. Моделирования вариантов построения вторичной СЭС 4. Расчет и построение структурных схем 5. Сравнительный анализ 6. Финансовый менеджмент

	7. Социальная ответственность 8. Заключение.
Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы	
Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент	Рыжакина Татьяна Гавриловна
Социальная ответственность	Черемискина Мария Сергеевна

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

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор	Гарганеев А.Г.	д.т.н., профессор		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5AM05	Мандригеля Григорий Евгеньевич		

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

Студенту:

Группа	ФИО
5AM05	Мандригеля Григорий Евгеньевич

Школа	ИШПР	Отделение	ОЭЭ
Уровень образования	Магистратура	Направление/специальность	13.04.02 Электроэнергетика и электротехника. Электромеханические системы автономных объектов и автоматизированный электропривод

Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:	
Варианты построения авиационной системы электроснабжения на основе трансформатора Скотта	Разработка имитационных моделей вторичной системы электроснабжения на основе трансформатора Скотта, проведение моделирования, анализ полученных результатов и выбор оптимального варианта

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив разработки проекта с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения	Проведение предпроектного анализа. Определение целевого рынка и проведение его сегментирования. Выполнение SWOT-анализа проекта
2. Планирование и формирование бюджета разработки	Определение целей и ожиданий, требований проекта. Определение бюджета научного исследования
3. Определение ресурсной, финансовой, экономической эффективности разработки	Проведение оценки экономической эффективности, ресурсоэффективности и сравнительной эффективности различных вариантов исполнения

Перечень графического материала:

1. Оценка конкурентоспособности технических решений
2. Матрица SWOT
3. График проведения и бюджет проекта
4. Оценка ресурсной, финансовой и экономической эффективности разработки

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	01.03.2022
---	------------

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Рыжакина Татьяна Гавриловна	Кандидат экономических наук		01.03.2022

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5AM05	Мандригеля Григорий Евгеньевич		01.03.2022

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА
«СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»**

Студенту:

Группа		ФИО	
5AM05		Мандригеля Григорий Евгеньевич	
Школа	ИШЭ	Отделение (НОЦ)	Электроэнергетики и электротехники
Уровень образования	магистратура	Направление/специальность	<i>13.04.02 Электроэнергетика и электротехника. Электромеханические системы автономных объектов и автоматизированный электропривод</i>

Тема ВКР:

Варианты построения авиационной системы электроснабжения на основе трансформатора Скотта	
Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:	
<p>Введение</p> <ul style="list-style-type: none"> – Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика) и области его применения. – Описание рабочего места при разработке проектного решения 	<p><i><u>Объект исследования:</u> Трехфазная система электроснабжения на основе трансформатора Скотта</i></p> <p><i><u>Область применения:</u> Вторичная бортовая система питания</i></p> <p><i><u>Рабочая зона:</u> Производственное помещение</i></p> <p><i><u>Размеры помещения:</u> 30 м²</i></p> <p><i><u>Количество и наименование оборудования рабочей зоны:</u> Компьютер (2 ед.), верстак (1 ед.)</i></p> <p><i><u>Рабочие процессы, связанные с объектом исследования, осуществляющиеся в рабочей зоне:</u> Моделирование, сборка и оценка работоспособности системы</i></p>
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
<p>1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности при разработке проектного решения:</p> <ul style="list-style-type: none"> – специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства; – организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны. 	<p><i>Трудовой кодекс Российской Федерации от 30.12.2001 N 197-ФЗ (ред. от 27.12.2018)</i></p> <p><i>ГОСТ 12.2.032-78 ССБТ. Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования</i></p>
<p>2. Производственная безопасность при разработке проектного решения:</p> <ul style="list-style-type: none"> – Анализ выявленных вредных и опасных производственных факторов – Расчет уровня опасного или вредного производственного фактора 	<p><i>Выявленные вредные и опасные производственные факторы:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> - Отклонение показателей микроклимата; - Отсутствие или недостаток искусственного освещения; - Перенапряжение зрительного анализатора; - Повышенный уровень электромагнитных излучений;

	<p>- Повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека.</p> <p>Требуемые средства коллективной и индивидуальной защиты:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Система вентиляции и кондиционирования - Указатели напряжения, изолирующие подставки, диэлектрические перчатки. <p>Произведен расчет общего равномерно искусственного освещения рабочей поверхности</p>
3. Экологическая безопасность при разработке проектного решения:	<ul style="list-style-type: none"> - Воздействие на атмосферу обуславливается выбросами механического цеха; - Воздействие на гидросферу обусловлено возможными попаданиями в водопроводную систему технических жидкостей и твердых отходов ; - Воздействие на литосферу обусловлено твердыми отходами цеха в процессе производства.
4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях при разработке проектного решения:	<p>Возможные ЧС: землетрясение, электропоражение, пожар</p> <p>Наиболее типичная ЧС: пожар</p>
Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
ст. преподаватель	Черемискина Мария Сергеевна			

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5AM05	Мандригеля Григорий Евгеньевич		

Реферат

Выпускная квалификационная работа состоит из 111 страниц, 38 рисунков, 33 таблиц, 20 источников.

Ключевые слова: вторичная энергосистема переменного тока, авиационный преобразователь, трехфазный автономный инвертор напряжения, трансформаторная схема Скотта, широтно-импульсная модуляция, стабилизация напряжения.

В качестве объекта исследования выступает вторичная система электроснабжения на основе трансформатора Скотта.

Целью работы является исследование вариантов построения авиационной системы электроснабжения на основе трансформатора Скотта, получение графических характеристик и выбор оптимального метода стабилизации выходного напряжения системы. Рассчитать затраты НТИ и провести анализ вредных и опасных факторов в производственном помещении.

Научная новизна: результаты исследования качества работы полупроводниковой авиационной СЭС на основе трансформаторной схемы Скотта.

Практическая значимость: разработанные имитационные модели вторичной авиационной СЭС на основе трансформаторной схемы Скотта.

Для достижения поставленных целей решаются следующие задачи:

- анализ предъявляемых требований к вторичной СЭС,
- разработка имитационных моделей,
- расчет и построение структурных схем.

Разработка графических материалов производилась в программе Microsoft Visio 2016, создание имитационных моделей и построение структурных схем в MatLab Simulink R2017b.

В результате работы были получены имитационные модели с различными вариантами стабилизации выходного напряжения вторичной

системы питания, исследована динамика переходного процесса и произведен анализ полученных результатов.

Степень внедрения: на стадии технического предложения.

Оглавление	
Введение	12
1 Роль вторичной системы электроснабжения в энергообеспечении летательных аппаратов и предъявляемые к ней требования	14
1.1 Вторичная системы электроснабжения ЛА	15
1.2 Основные требования, предъявляемые ко вторичной системе электроснабжения	16
1.3 Обоснование необходимости развития систем электроснабжения	17
2 Обоснование использования трансформаторной схемы Скотта для создания вторичной бортовой системы электроснабжения трехфазного переменного тока	18
3 Повышение качества выходного напряжения	22
4 Варианты построения авиационной системы электроснабжения на основе трансформатора Скотта	25
4.1 Вторичная авиационная система электроснабжения на основе трансформатора Скотта со стабилизацией напряжения по среднему значению напряжения одной из фаз	28
4.2 Вторичная авиационная система электроснабжения на основе трансформатора Скотта со стабилизацией напряжения по его выпрямленному значению	35
4.3 Вторичная авиационная система электроснабжения на основе трансформатора Скотта со стабилизацией напряжения по модулю вектора	41
5 Построение структурных схем управления проектируемой вторичной системы электроснабжения	46
6 Сравнительный анализ конфигураций вторичной системы электроснабжения на основе трансформатора Скотта	49
7 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	52
7.1 Предпроектный анализ	53
7.1.1 Потенциальные потребители результатов исследования	53
7.1.2 Анализ конкурентных технических решений	53
7.1.3 SWOT-анализ	55
7.1.4 Оценка готовности проекта к коммерциализации	57
7.1.5 Методы коммерциализации результатов научно-технического исследования	59
7.2 Инициация проекта	60

7.3	Планирование управления научно-техническим проектом	62
7.3.1	Иерархическая структура работ проекта	62
7.3.2	План проект.....	63
7.4	Бюджет научного исследования	66
7.4.1	Накладные расходы.....	66
7.5	Организационная структура проекта.....	72
7.6	План управления коммуникациями проекта	72
7.7	Реестр рисков проекта.....	73
7.8	Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности	73
7.8.1	Оценка абсолютной эффективности исследования	73
7.8.2	Оценка сравнительной эффективности исследования	78
7.9	Вывод по разделу	81
8	Социальная ответственность	82
8.1	Введение.....	82
8.2	Правовые и организационные вопросы обеспечени безопасности	83
8.3	Производственная безопасность.....	84
8.4	Анализ опасных и вредных производственных факторов	85
8.4.1	Отклонение показателей микроклимата	85
8.4.2	Недостаток искусственного освещения	86
8.4.3	Повышенный уровень электромагнитных излучений.....	89
8.4.4	Повышенное значение напряжения установок	91
8.4.5	Перенапряжение зрительного анализатора	92
8.5	Экологическая безопасность	93
8.6	Безопасность в чрезвычайных ситуациях	95
8.7	Выводы по разделу.....	97
	Список использованных источников.....	98
	Приложение 1.....	100

Введение

Повышенное внимание к проектированию и модернизации электроэнергетических систем современного летательного аппарата обусловлено развитием как самолетостроения в целом, так и повышением уровня сложности, точности и надежности авиационного бортового оборудования. Текущие изменения требуют от специалистов в области авиационной электротехники радикального изменения структуры и принципов функционирования всего электроэнергетического комплекса самолета, включающего в себя всю совокупность источников, преобразователей и приемников электрической энергии. Решение этих проблем откроет перспективы наиболее полного использования возможностей электротехнического оборудования для совершенствования летно-технических, эксплуатационных и экономических показателей авиационной техники.

Одним из возможных решений обеспечения питания отдельных групп потребителей, таких как: радиолокационное оборудование, пилотажно-навигационные системы, системы автоматического управления, следящие системы, в рамках выпускной квалификационной работы бакалавра было предложено использовать трансформаторную схему Скотта для формирования трехфазной системы вторичного переменного тока пониженного напряжения 36 В постоянной частоты 400 Гц. Были рассчитаны все элементы схемы, настроено ШИМ-управление транзисторными ключами инверторов, проведено первичное моделирование системы в программных пакетах Matlab Simulink и Multisim. Спроектированная схема показала успешные результаты при моделировании и на выходе было получено трехфазное синусоидальное напряжение.

На следующем этапе инженерный вопрос стоит в создании вторичной авиационной системы электроснабжения на основе трансформаторной схемы Скотта с высокими энергетическими показателями, максимально быстрой и стабильной работой при любых условиях

функционирования и комбинации включения потребителей. Главной задачей является подобрать наиболее оптимальный способ стабилизации выходного напряжения с соблюдением требований качества по ГОСТ Р 54073-2017.

В представленной магистерской диссертации производится анализ вариантов построения авиационной системы электроснабжения на основе трансформатора Скотта с моделированием в среде Matlab Simulink.

1 Роль вторичной системы электроснабжения в энергообеспечении летательных аппаратов и предъявляемые к ней требования

Получение на борту любого ЛА электроэнергии с требуемыми параметрами обеспечивается первичными и вторичными системами. В первичной СЭС осуществляется преобразование механической, гидравлической, химической, солнечной энергии в электрическую с помощью генераторов и другой вспомогательной аппаратуры

[2] Наряду с основной первичной энергосистемой на летательном аппарате применяется вторичная СЭС однофазного и трехфазного переменного тока постоянной частоты 400 Гц. Мощность таких систем доходит до десятков кВА. Основная ее задача – обеспечение ограниченного числа электроприемников требуемым значением напряжения питания в различных режимах работы. В рамках ВКР рассматривается проектирование одного из каналов вторичной системы электроснабжения трехфазного переменного тока пониженного напряжения 36 В с фиксированной частотой 400Гц, представленной на Рисунке 1.

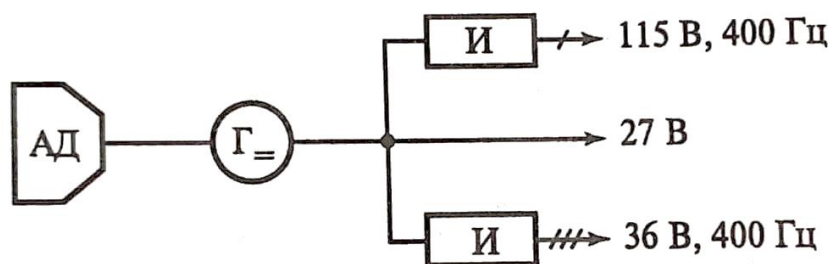


Рисунок 1 - Вариант структуры системы электроснабжения постоянного тока с двумя вторичными подсистемами.

где:

АД – авиационный двигатель

Г – генератор постоянного тока

И – электромашинный или статический преобразователь (инвертор)

1.1 Вторичная системы электроснабжения ЛА

[1] Вторичная СЭС преобразует электроэнергию первичной системы в электроэнергию другого рода тока, напряжения или частоты. Эти системы широко применяются как в основных, так и во вспомогательных и аварийных СЭС, преобразуя энергию постоянного тока аккумуляторной батареи в энергию переменного тока для питания потребителей первой и второй категории, ответственных за жизнеобеспечение ЛА в воздухе.

В основной СЭС вторичная система обеспечивает питание отдельных групп потребителей, таких как: радио- и радиолокационное оборудование, пилотажно-навигационные системы, системы автоматического управления, следящие системы, различных видов приборов переменным трехфазным напряжением 115 В и пониженным напряжением 36 В на частоте 400 Гц.

В качестве источников энергии в этих системах выступают преобразователи постоянного тока в однофазный и трехфазный переменный ток постоянной частоты – инверторы. Наибольшее распространение получили вращающиеся электромашинные преобразователи, однако с недавнего времени все более широкое распространение получают статические преобразователи, основанные на полупроводниковых элементах. Во вторичных энергосистемах переменного тока параллельная работа не нашла применения ввиду ее сложности и недостаточной надежности. Преобразователь, как правило, питает сразу группу потребителей, что позволяет обеспечить наиболее рациональную его загрузку в течении всего полета, снижает вес и мощность как основных, так и резервных преобразователей, подключаемых автоматически взамен вышедшего из строя основного.

1.2 Основные требования, предъявляемые ко вторичной системе электроснабжения

[3] Технические требования, предъявляемые ко вторичной системе электроснабжения, строятся из соображения обеспечения максимальной надежности, оптимальных масса-габаритных показателей и безопасности обслуживания. Также, ряд требований напрямую зависит от эксплуатационных особенностей системы, характеризующихся требуемыми параметрами качества электроэнергии для потребителей.

Основным документом при разработке технического задания на проектируемую систему электроснабжения является [1] ГОСТ Р 54073-2017, в котором регламентированы требования к качеству преобразуемой электроэнергии.

В целом современная вторичная система электроснабжения должна обеспечить требуемые установившиеся рабочие характеристики потребителей переменного тока частоты 400Гц при:

- небалансе нагрузок фаз до 15 % номинальной мощности фазы;
- импульсно-периодической составляющей нагрузки с $\cos \varphi = 0,95$ и импульсом тока до 7 % номинального значения тока фазы;
- трехфазной двухполупериодной трансформаторно-выпрямительной нагрузке до 25 % номинальной мощности источника переменного тока при вторичной системе 27 В.

Также стоит отметить немаловажные требования:

- мощности вторичной СЭС должно быть достаточно для обеспечения электроснабжением приемников при всех комбинациях их включения;
- должна обеспечиваться высокая безопасность обслуживания;
- СЭС, как и любая авиационная система, должна иметь минимальные массу и габариты.

1.3 Обоснование необходимости развития систем электроснабжения

Анализ тенденций развития СЭС как отечественных, так и зарубежных самолетов показывает, что в настоящее время основными типами СЭС остаются системы трехфазного переменного тока стабильной частоты 400 Гц для питания большей части авиационного и радиоэлектронного оборудования.

Дальнейшее развитие авиационных систем электроснабжения просматривается с точки зрения роста энергопотребности борта. Повышенное внимание к разработкам гиперзвуковых, воздушно космических ЛА с энергоемким оборудованием и тяжелыми условиями эксплуатации ставит под сомнение текущие обеспечивающие энергосистемы.

[3] В качестве наиболее актуальных тенденций развития авиационной техники стоит отметить всеобщее увеличение сложности и объема решаемых задач в процессе эксплуатации, рост мощности установленного оборудования и усложнение характера создаваемой им нагрузки на сеть электроснабжения.

Также, перспективы реализации концепции полностью электрифицированного самолета (ПЭС) определяют повышение уровня электрификации других самолетов различного назначения, вследствие чего потерпит кардинальные изменения система электроснабжения в целом. Как показывают исследования, уже на текущий момент разрабатываемые элементы системы электроснабжения для ПЭС по установленной массе не уступают электромеханическим устройствам, но при этом по эксплуатационной надежности, уровню автоматизации, показателям качества существенно превосходят их.

Исходя из вышеописанного можно сформулировать ряд общих требований к наиболее перспективным системам электроснабжения:

- увеличение установленной мощности;
- повышение качества электрической энергии;
- повышение надежности и бесперебойности электроснабжения;

2 Обоснование использования трансформаторной схемы Скотта для создания вторичной бортовой системы электроснабжения трехфазного переменного тока

[4] В качестве источников энергии во вторичных энергосистемах переменного тока получили распространение электромашинные и статические преобразователи постоянного тока в переменные постоянные частоты. Электромашинные преобразователи выполняются как двигатель-генераторные агрегаты и ввиду своей конструкции имеют невысокую надежность за счет наличия контактных колец и коллекторного узла, а также характерна неустойчивая работа преобразователя и возникновение резкого понижения напряжения сети вследствие высоких пусковых токов. Наличие перечисленных недостатков постепенно приводит к сокращению оснащения такими преобразователями современных ЛА.

Альтернативным способом преобразования энергии постоянного тока в переменный является применение полупроводниковых приборов – инверторов, превосходящие по основным параметрам электромашинные преобразователи, такие как ПОС-250, ПОС-800, ПТС-500 и другие.

Однако, формирование системы трехфазного напряжения 36 В может осуществляться несколькими методами, от выбора которого напрямую зависит надежность, вес, степень искажения формы кривой напряжения и сложность его стабилизации при изменении нагрузки во время полета ЛА.

Возможны три комбинации трехфазных инверторов, схемы которых представлены на Рисунке 2.

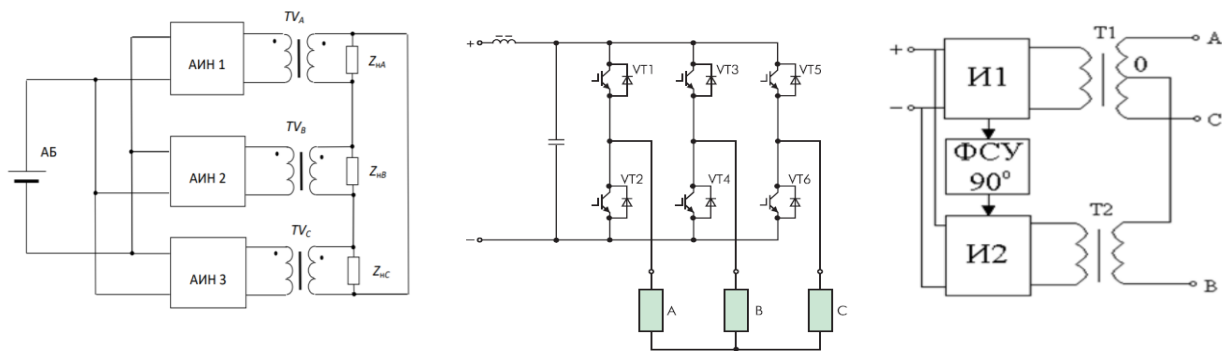


Рисунок 2 - Схемы трехфазных инверторов. а) трехфазный автономный инвертор на основе трех однофазных; б) трехфазный мостовой инвертор; в) трехфазный инвертор по схеме Скотта

Все вышеизложенные схемы формирования трехфазной системы напряжений имеют право быть использованными во вторичной системе электроснабжения летательных аппаратов, но, проведя сравнение можно выделить наиболее предпочтительную схему трехфазного инвертора.

Мостовые трехфазные инверторы применяются в том случае, когда нагрузка равномерно распределяется по фазам преобразователя. Такие инверторы просты и обладают меньшим количеством элементов, также они наиболее надежны. Однако при неравномерной нагрузке фаз на выходе преобразователя появляется несимметрия фазных напряжений, для устранения которой требуется применения дополнительных регулирующих устройств в силовой цепи, что снижает его КПД, надежность и ухудшает массогабаритные показатели по сравнению с преобразователями других типов.

Подобные недостатки мостовых инверторов устраняются применением схемы из трех однофазных инверторов. Симметрия фазных напряжений здесь обеспечивается относительно простыми средствами путем пофазного регулирования напряжения или соответствующего сдвига фаз за счет управления. Однако количество силовых полупроводниковых приборов в преобразователях такого типа выше, чем в схеме мостового инвертора, что значительно усложняет как саму схему, так и систему управления устройствами коммутации. Также повышается и общая стоимость

преобразователя, так хорошие, например, транзисторы, стоят достаточно дорого.

[6] Способ формирования трехфазной системы напряжений с использованием трехфазного инвертора по схеме Скотта занимает компромиссное положение между первыми двумя способами как по сложности преобразователя, так и по его функциональным возможностям. Для применения в бортовой преобразовательной технике трехфазного инвертора по схеме Скотта интересна возможностью выравнивания перекаса фазного напряжения, симметричности работы всех фаз за счет обеспечения равенства полных мощностей обоих инверторов при любом характере нагрузки.

В выпускной квалификационной работе бакалавра была доказана эффективность использования данной схемы, произведен расчет элементов схемы, построена имитационная модель в MatLab Simulink.

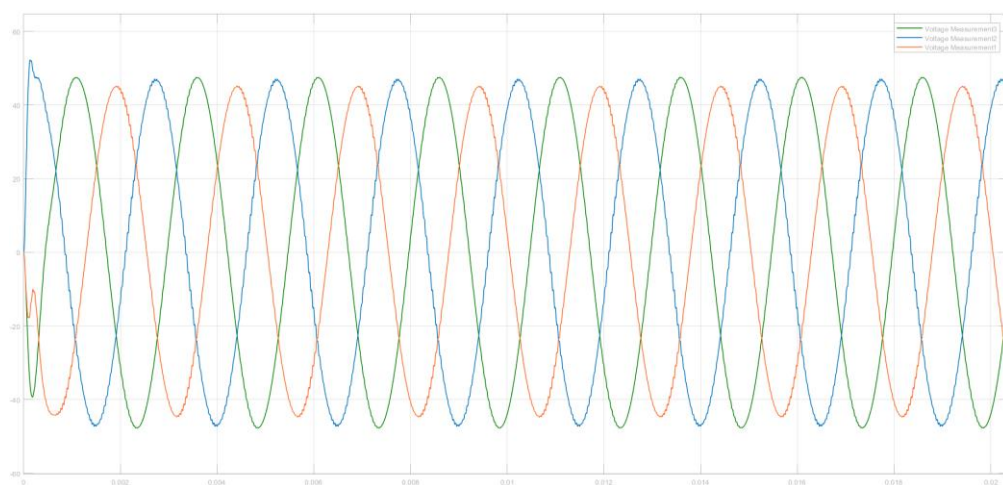


Рисунок 3 - Осциллограмма выходного напряжения трехфазного инвертора по схеме Скотта, спроектированного в квалификационной работе бакалавра.

Таблица 1 – Выходные параметры схемы

Фаза	Напряжение, В (эксп.)	Ток, А (эксп.)	Напряжение, В (тех.задание)	Ток, А (расчетный)
А	34,95	22,13	36	22,2
В	36,35	22,46		
С	35,72	22,05		

Но стоит принять во внимание тот факт, что, исходя из результатов моделирования, небаланс фазных напряжений около 3% является граничным значением для удовлетворения требований качества системы электроснабжения переменного тока по ГОСТ Р 54073-2017.

3 Повышение качества выходного напряжения

В квалификационной работе бакалавра при расчете силовых элементов системы вторичного электроснабжения для повышения качества выходного напряжения был рассчитан классический Г-образный LC-фильтр нижних частот, который должен был обеспечить пульсации выходного напряжения не более 5%. Свою задачу фильтр выполнял, однако, прослеживался искажение напряжения в фазах, вследствие чего было принято решение изменить структуру фильтра.

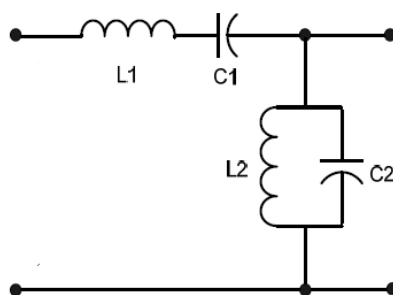


Рисунок 4 - Структура измененного фильтра

Данный фильтр является предпочтительным для ослабления гармоник низкого порядка. Особенность такого полостно-заграждающего фильтра в том, что одна его ветвь L_1C_1 работает по принципу последовательного резонанса напряжения, а другая ветвь L_2C_2 работает по принципу параллельного резонанса токов. Выполним уточняющий расчет фильтра по методике, указанной в [4].

Условие:

$$\omega_0 = 2\pi f_0 = \frac{1}{\sqrt{L_1C_1}} = \frac{1}{\sqrt{L_2C_2}}$$

Частота ближайшей искажающей гармоники находится по выражению:

$$f_{\min} = (2q - 3)f_{\text{вых}} = (2 \cdot 30 - 3) \cdot 400 = 22800 \text{ Гц}$$

где $q = \frac{f_m}{f_{\text{вых}}} = \frac{12 \cdot 10^3}{400} = 30$ - кратность квантования на частоте квантования при

частоте квантования, равной 12 кГц.

Коэффициент гармоник выходного напряжения определяется по выражению:

$$K_r[\%] = \frac{20}{\omega_*^2(2q-3)-1} = 5\% \text{ - согласно техническому заданию}$$

где $\omega_* = \frac{\omega_{\text{вых}}}{\omega_0}$ - относительная частота, а $\omega_{\text{вых}} = 2\pi f$

ω_0 - резонансная (собственная) частота фильтра

$$\omega_*^2 = \frac{\frac{20}{K_r[\%]} + 1}{(2q-3)^2} = \frac{\frac{20}{5} + 1}{(2 \cdot 30 - 3)^2} = 1,539 \cdot 10^{-3} \text{ рад / сек}$$

Отсюда резонансная частота фильтра:

$$\omega_0 = \frac{\omega_{\text{вых}}}{\omega_*} = \frac{2\pi f}{\omega_*} = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 400}{0,03923} = 64 \cdot 10^3 \text{ рад / сек}$$

Следовательно:

$$\omega_0 = 2\pi f_0 = \frac{1}{\sqrt{L_1 C_1}} = \frac{1}{\sqrt{L_2 C_2}} \Rightarrow LC = \left(\frac{1}{\omega_0} \right)^2 = 155 \cdot 10^{-9} \text{ ГнФ}$$

Емкостное сопротивление конденсатора фильтра на частоте первой гармоники пульсации $f_{\min} = 22800 \text{ Гц}$ должно быть много меньше чем $R_{\text{экв}}$

$$\frac{1}{2\pi f_{\min} C} \leq \frac{R_{\text{экв}}}{5}$$

Отсюда

$$C \geq \frac{5}{2\pi f_{\min} R_{\text{экв}}} = \frac{5}{2 \cdot 3,14 \cdot 22800 \cdot 0,451} = 76,43 \cdot 10^{-6} \text{ Ф}$$

Принимаем $C=100 \text{ мкФ}$

$$L = \frac{155 \cdot 10^{-9}}{100 \cdot 10^{-6}} = 1,55 \cdot 10^{-3} \text{ Гн}$$

В результате замены фильтра удалось существенно улучшить качество выходного напряжения, добиться равномерности фазных напряжений (0,5%)

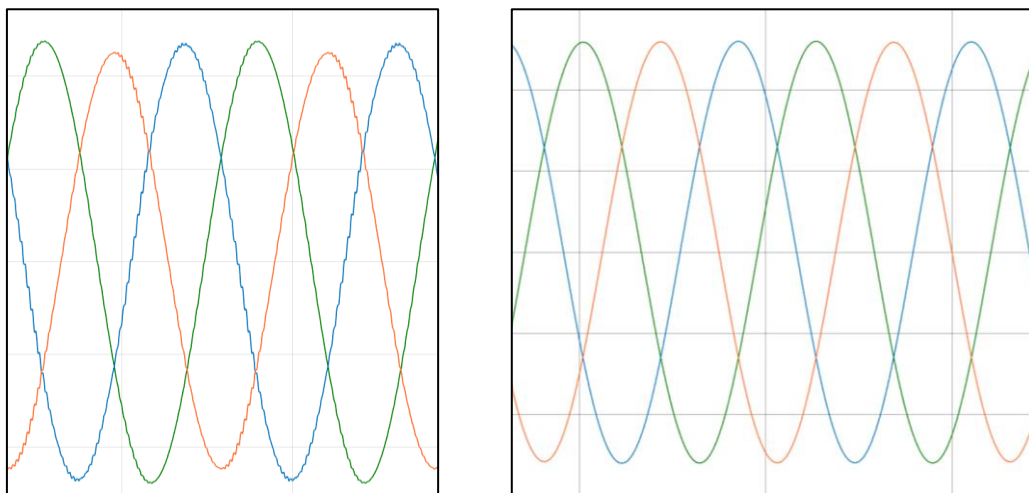


Рисунок 5 - Результат повышения качества выходного напряжения путем замены фильтра

4 Варианты построения авиационной системы электроснабжения на основе трансформатора Скотта

В дипломной работе проектируется один основной канал вторичной системы электроснабжения переменного тока, однотипно может быть построен резервный канал. Основной задачей является выбор оптимальной структуры обратной связи по напряжению в системе для обеспечения наилучших энергетических показателей напряжения на группе потребителей переменного тока напряжением 36 В 400 Гц.

Структурная схема проектируемой вторичной системы электроснабжения представлена на Рисунке 6.

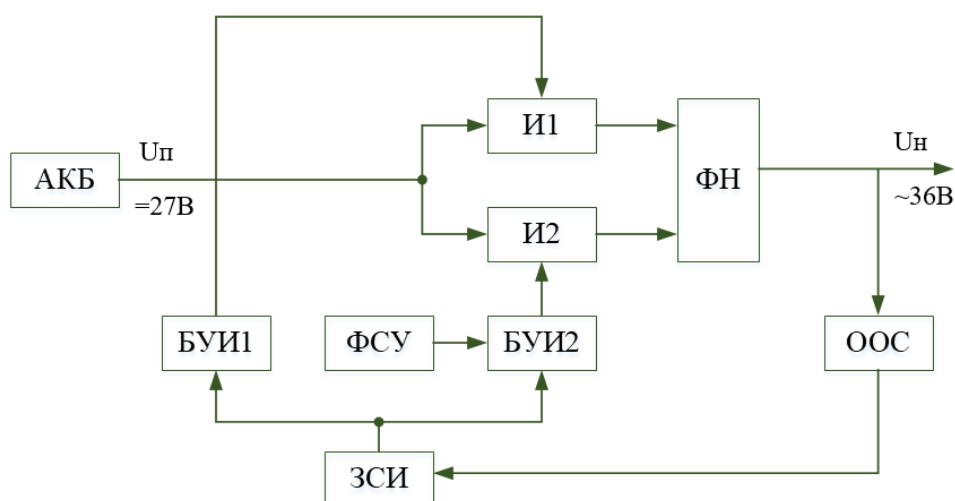


Рисунок 6 - Структурная схема вторичной авиационной системы электроснабжения

Система содержит следующие функциональные узлы:

- аккумуляторная батарея АКБ, источник постоянного тока 27 В;
- два аналогичных однофазных мостовых инвертора И1 и И2;
- формирователя напряжения ФН;
- орган обратной связи ООС;
- задатчик скважности импульсов ЗСИ;
- блоки управления инверторами БУИ1 и БУИ2;
- фазосдвигающее устройство ФСУ.

Кроме того, в состав системы входит резонансный фильтр на выходе ФН, для обеспечения требуемого качества выходного переменного напряжения.

[7] Напряжение на выходах обоих инверторов имеет прямоугольную форму, которая обеспечивается блоками управления инверторами БУИ1 и БУИ2, формирующие для управления силовыми транзисторами инверторов И1 и И2. Управление инвертора построено по принципу двуполярной ШИМ, несущий сигнал которое $U_H=12$ кГц, а модулирующий синус $U_M=400$ Гц.

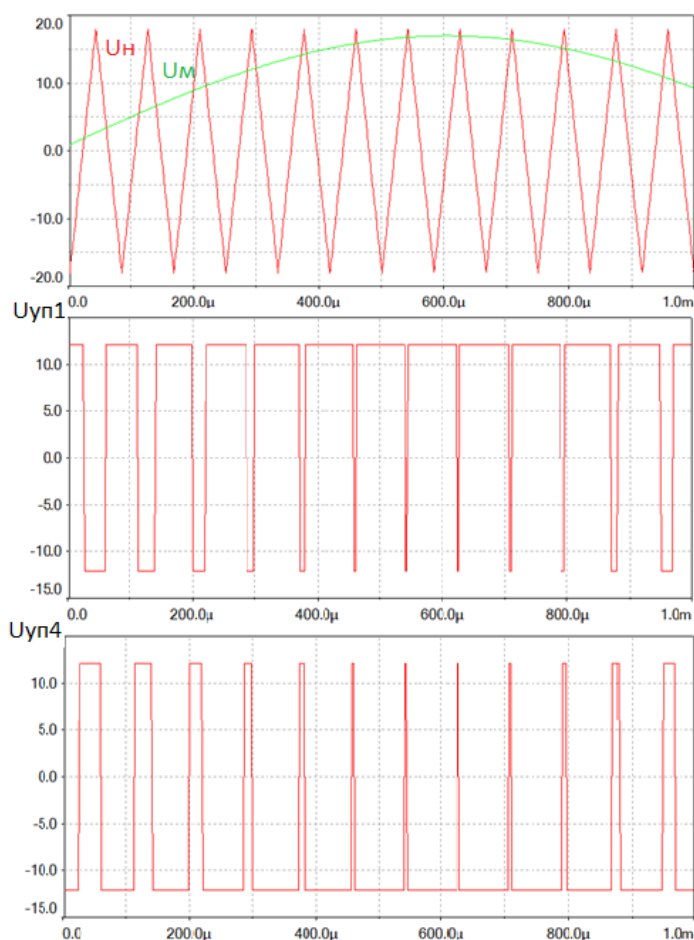


Рисунок 7 – Сигналы управления при двуполярной ШИМ в однофазном мостовом инверторе напряжения.

Формирователь напряжения ФН выполнен по схеме Скотта, уже описанной выше. Требуемый в соответствии со схемой Скотта фазовый сдвиг напряжений инверторов обеспечивается фазосдвигающим устройством ФСУ,

которое является частью БУИ2 и реализует задержку импульсов управления И2 на время, равное фазовому сдвигу $\varphi = 90^\circ$.

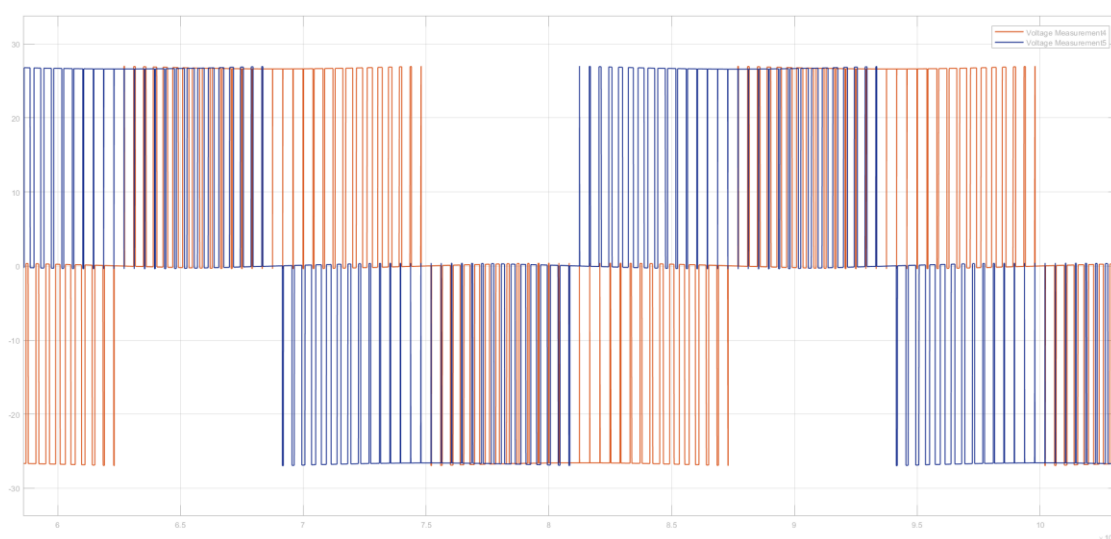


Рисунок 8 – Форма выходного напряжения инверторов И1 и И2

Стабилизация напряжения на выходе системы при изменении нагрузки осуществляется без искажения формы кривой с помощью органа обратной связи ООС, который может быть исполнен разными способами, анализ которых будет представлен в следующем разделе.

Вне зависимости от типа исполнения органа обратной связи, стабилизация выходного напряжения реализуется по общему принципу. Если значение напряжения (или преобразованная величина) на потребителе отличается от требуемого, например, становится ниже вследствие увеличения нагрузки, то с помощью ООС подается сигнал рассогласования на задатчик скважности импульсов управления ШИМ инверторов, скважность импульсов снижается, что приводит к увеличению напряжения на выходе инверторов. В результате напряжение на потребителях возвращается к заданному уровню.

Теоретически, было выдвинуто три способа стабилизации напряжения на нагрузке, формируя обратную связь по одному из следующих значений:

- по среднему значению напряжения одной из трех фаз;
- по выпрямленному значению напряжения;

- по модулю вектора трехфазного напряжения.

Произведем моделирование каждого из вариантов построения вторичной авиационной системы электроснабжения на основе трансформатора Скотта.

4.1 Вторичная авиационная система электроснабжения на основе трансформатора Скотта со стабилизацией напряжения по среднему значению напряжения одной из фаз

Данный способ формирования ООС является самым простым методом достижения стабильного трехфазного напряжения на нагрузке 36 В 400 Гц и не требует дополнительных устройств схемотехники. Обратная связь осуществляется за счет измерителя фазного напряжения – цифрового вольтметра и ПИ-регулятора. Схема модели представлена на Рисунке 9.

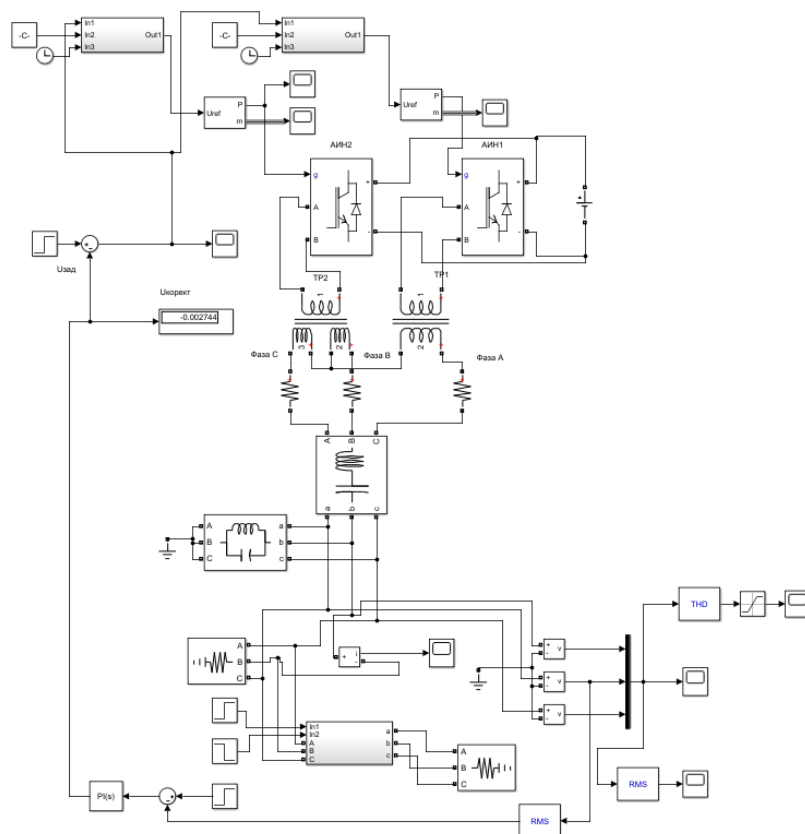


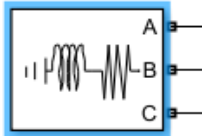

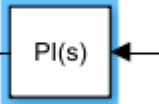



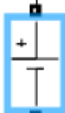
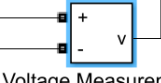

Рисунок 9 – Модель вторичной системы электроснабжения переменного трехфазного напряжения 36 В с обратной связью по среднему значению напряжения одной из фаз

Для создания модели использовались функциональные блоки Multisim, представленные в таблице 2.

Таблица 2 – Назначение использованных функциональных блоков

 <p>PWM Generator (2-Level)</p>	<p>Блок-генератор пульсаций на силовые ключи. Имитация ШИМ. Настраивается частота и амплитуда несущего и модулирующего сигнала, задать начальную фазу в градусах.</p>
 <p>Universal Bridge1</p>	<p>Блок – преобразователь универсальный. В данном случае выполняется в роли однофазного инвертора с выбранными MOSFET транзисторами и параллельно с ними соединенных диодов. Возможно настроить сопротивление силовых ключей.</p>
 <p>Linear Transformer1</p>	<p>Блок, имитирующий однофазный трансформатор с одной вторичной обмоткой. Возможно настроить необходимое активное/индуктивное сопротивление обмоток, учесть ветвь намагничивания, установить необходимую мощность и частоту.</p>
 <p>Linear Transformer</p>	<p>Блок, имитирующий однофазный трансформатор с двумя вторичными обмотками (Tr2). Настройки аналогичны блоку выше.</p>
 <p>Three-Phase Parallel RLC Branch</p> <p>Three-Phase Series RLC Branch</p>	<p>Блоки, реализующий ветвь сопротивления. R/L/C/RL/RC/RLC. В данной модели используется в конфигурации конденсатора и дросселя, образующих последовательную и параллельную ветвь.</p>

Продолжение Таблицы 2

 <p>Three-Phase Series RLC Load1</p>	<p>Блок, имитирующий трехфазную нагрузку с настраиваемыми параметрами активного и индуктивного сопротивления</p>
 <p>Subsystem</p>	<p>Блок, позволяющий создавать внутреннюю подсистему с использованием блоков и уравнений</p>
 <p>PID Controller1</p>	<p>Блок-ПИД-регулятор с настраиваемыми параметрами</p>
 <p>Multimeter</p>	<p>Блок – мультиметр. Для сбора сигналов с различных каналов для последующего численного отображения с помощью дисплея</p>
 <p>Display1</p>	<p>Блок – дисплей для отображения информации</p>
 <p>RMS2</p>	<p>Блок – преобразователь мгновенного значения ввода в среднеквадратичное значение вывода</p>
 <p>DC Voltage Source</p>	<p>Блок - источник постоянного напряжения 27 В</p>
 <p>Voltage Measurement</p>	<p>Блок измеритель напряжения в цепи (вольтметр)</p>
 <p>Scope1</p>	<p>Блок отображения сигналов (осциллограф)</p>

Контур обратной связи состоит вольтметра, преобразователя мгновенного значения фазного напряжения в среднеквадратичное (RMS), ПИ-регулятора, уставки 36 В.

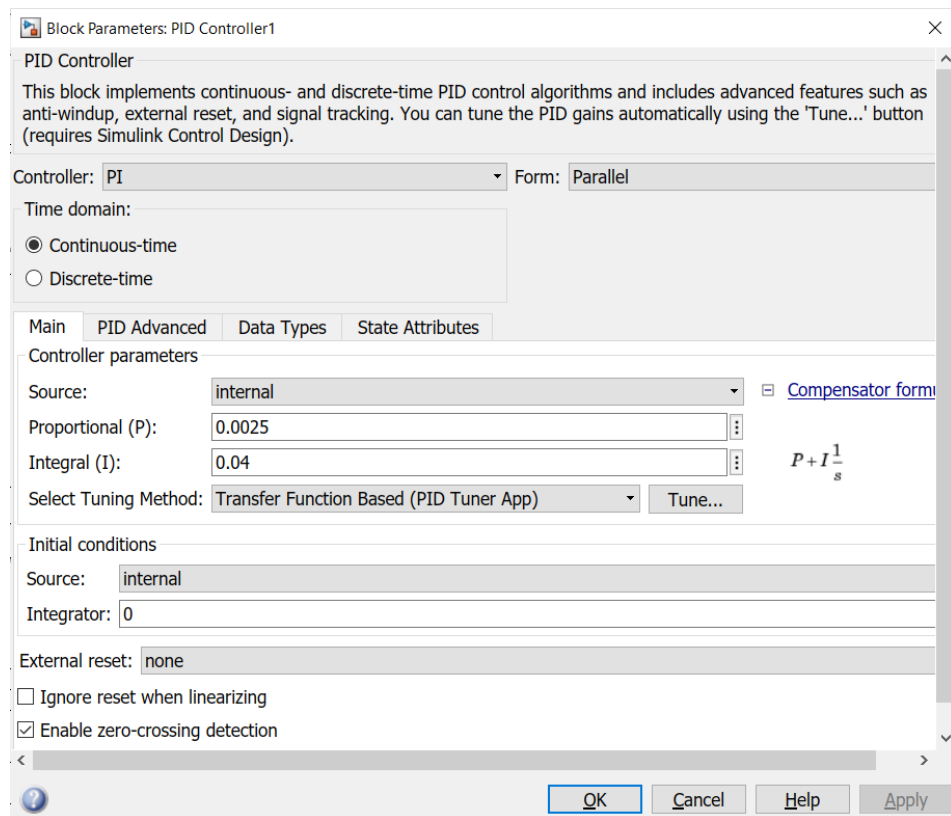


Рисунок 10 – Параметры ПИ-регулятора

Фактическое значение напряжения одной из фаз сравнивается на сумматоре с уставкой и, при появлении сигнала рассогласования ΔU , он через ПИ-регулятор подается на следующий сумматор, на котором уже происходит сравнение с уставкой задатчика скважности импульсов управления ШИМ, равной 1. Сигнал коррекции скважности импульса подается на блок, формирующий синусоидальный модулирующий сигнал ШИМ, происходит коррекция времени длительности сигналов управления силовыми транзисторами обоих инверторов, следовательно происходит коррекция напряжения на выходе инверторов и на потребителях.

В рамках моделирования условий работы системы, после ее запуска и выхода на рабочее фазное напряжение, в момент времени $T=0.03$ с был осуществлено подключение добавочной нагрузки, равной 20% от номинальной в первом случае, во втором величина добавочной нагрузки увеличилась до 50%. В момент времени $T_2=0.06$ с система была переведена обратно на номинальную нагрузку.

Переходный процесс и форма трехфазного напряжения на потребителе, полученные при имитации данного режима работы системы электроснабжения представлены на Рисунках 11 и 12.

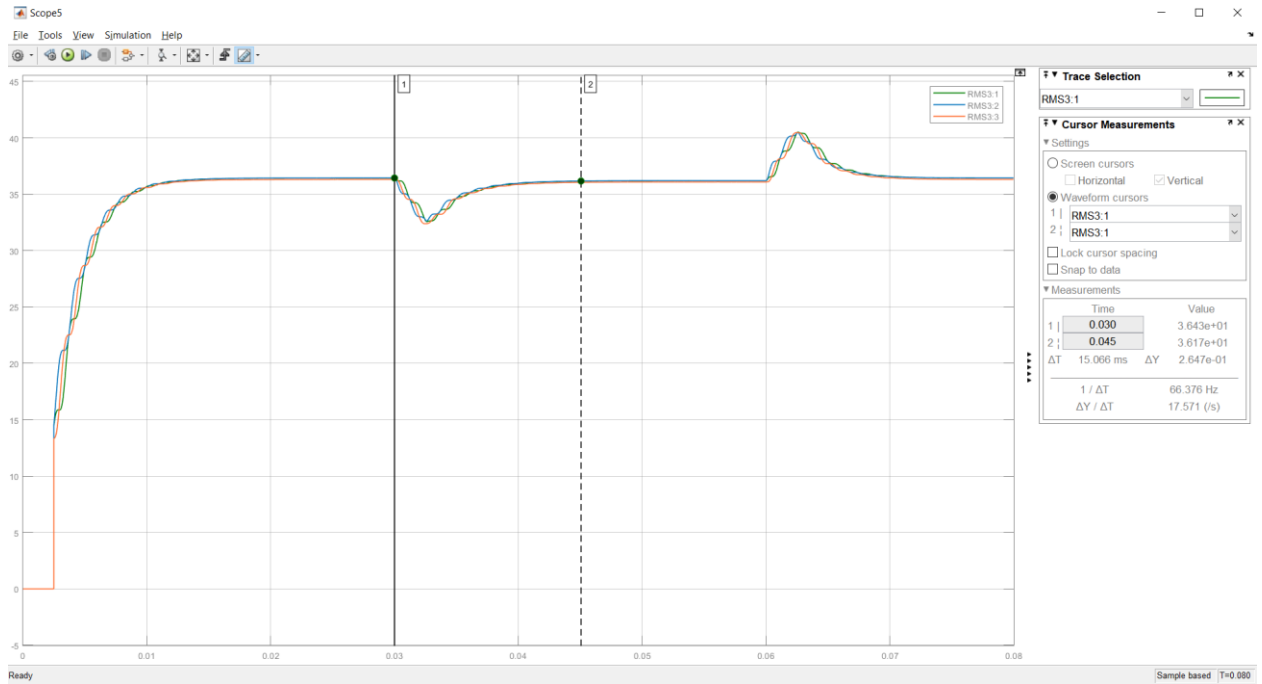


Рисунок 11 – Переходный процесс стабилизации выходного напряжения проектируемой системы электроснабжения с обратной связью по среднему значению напряжения одной из фаз (наброс-сброс нагрузки 20%)

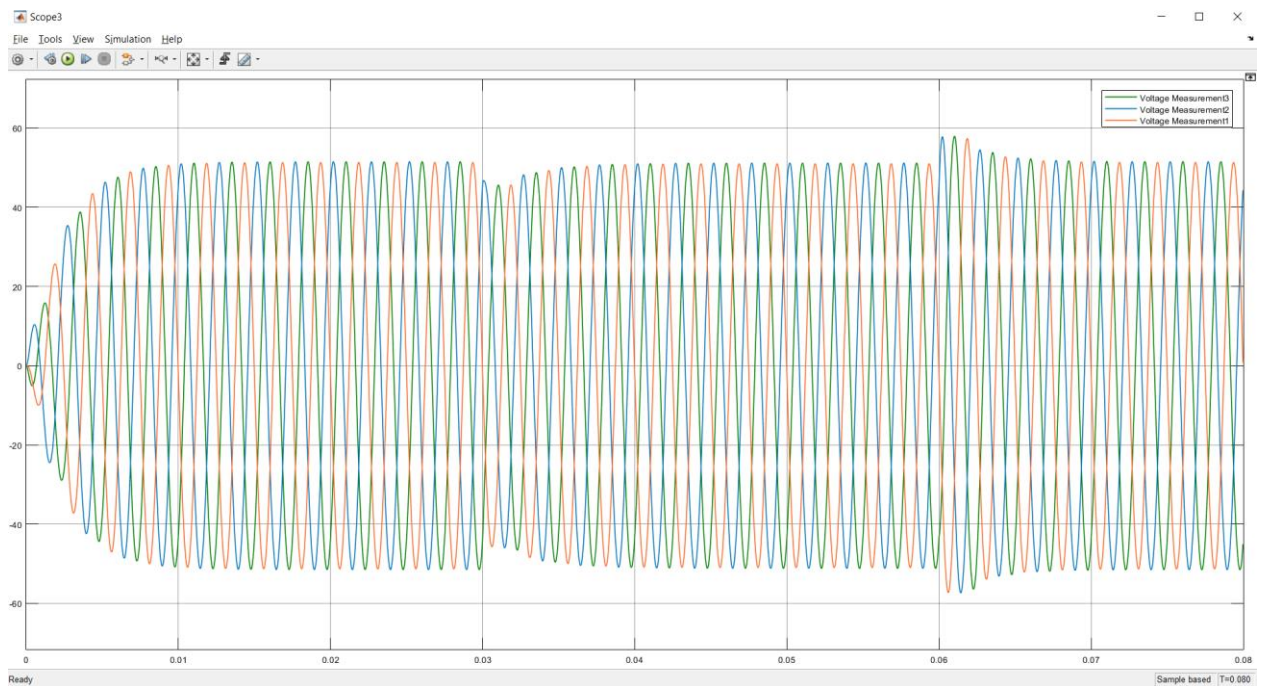


Рисунок 12 – Форма трехфазного напряжения на потребителе

Согласно полученным кривым, при запуске системы выход на требуемое значение напряжения 36 В осуществляется без перерегулирования, а время переходного процесса при подключении дополнительной нагрузки $T_{III} = 15 \text{ мс}$, просадка по напряжению при этом 3,4 В (9,3%).

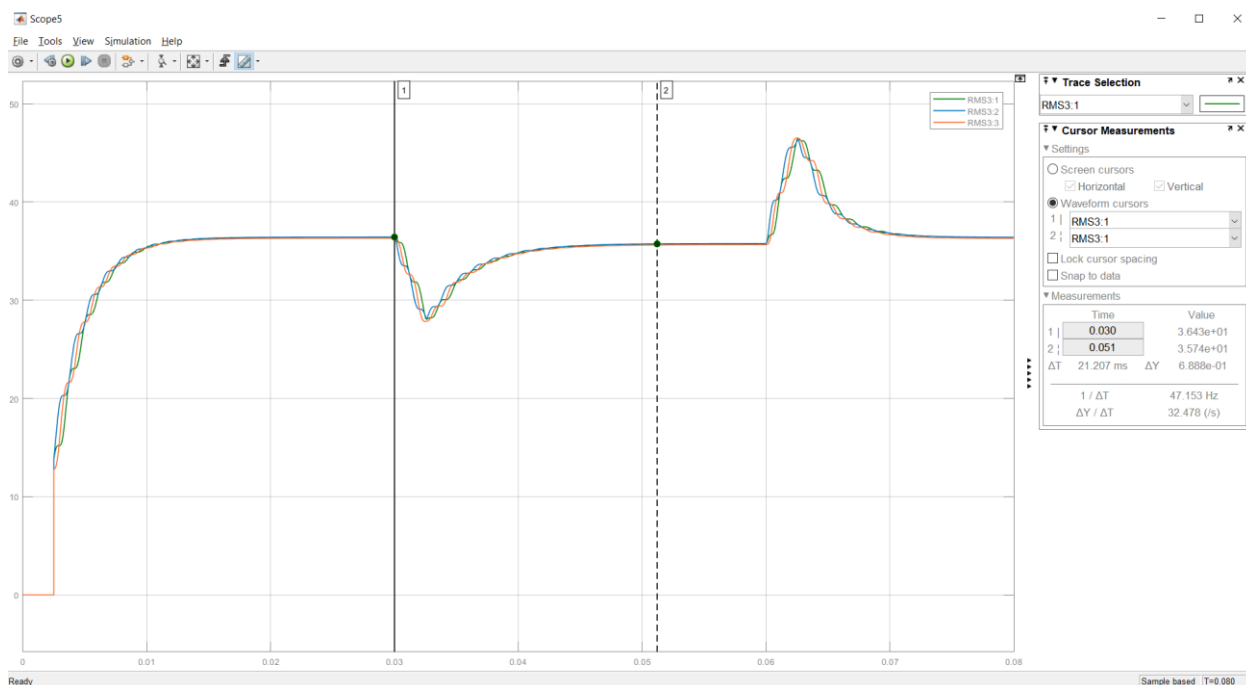


Рисунок 13 - Переходный процесс стабилизации выходного напряжения проектируемой системы электроснабжения с обратной связью по среднему значению напряжения одной из фаз (наброс-сброс нагрузки 50%)

Очевидно, что время восстановления системы увеличилось до 21 мс, а пиковая просадка по напряжению оказалась равной 7,5 В (20,8%). Стоит отметить, что такой режим работы маловероятен на современном ЛА, но даже в таких условиях проектируемая система способна обеспечить требуемую величину напряжения на потребителе. Также, согласно ГОСТ Р 54073-2017 время регулирования не должно превышать 0,1 с или 40 периодов основной гармоники выходного напряжения, что выполняется в обоих вариантах добавочной нагрузки.

Оценивая качество сети воспользуемся блоками Total Harmonic Distortion и Fourier. Блок вычисления гармонических искажений (THD)

анализирует буфер выборок на интервале периода заданной частоты, выходной сигнал лежит в диапазоне от 0 до 1. Блок преобразования Фурье позволяет вычислять значение выбранной гармоники на интервале периода заданной частоты, в данном случае он используется для вычисления постоянной составляющей переменного напряжения.

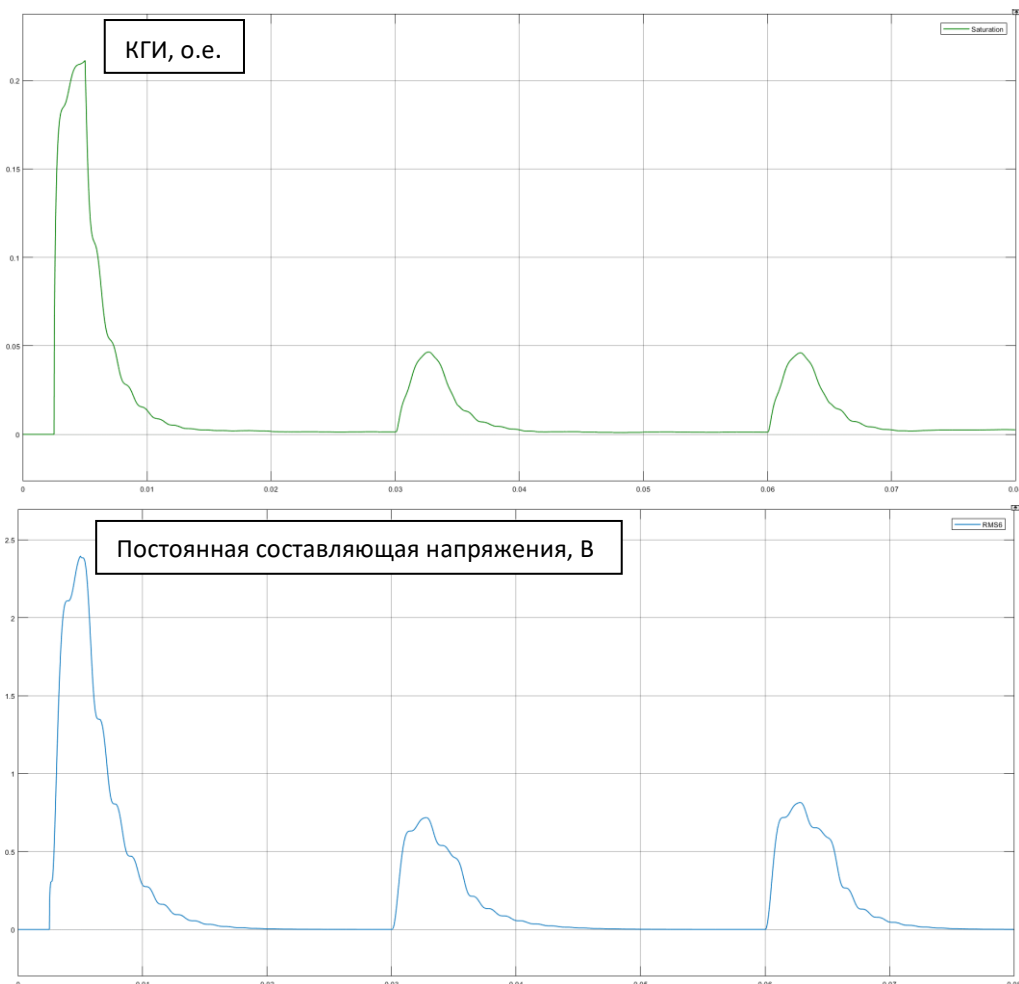


Рисунок 14 – Показатели качества системы при набросе и сбросе нагрузки 20%

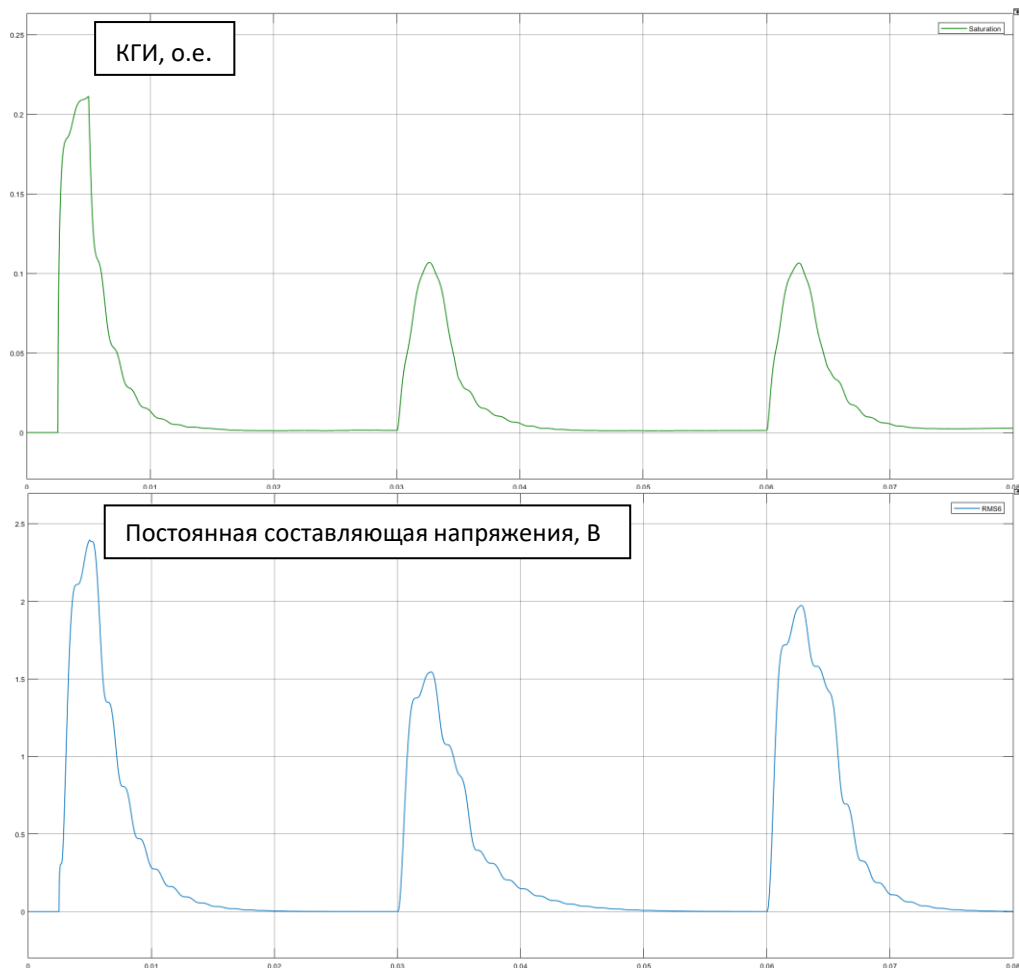


Рисунок 15 - Показатели качества системы при набросе и сбросе нагрузки 50%

В целом, результат моделирования показывает работоспособность системы, параметры качества входят в норму, постоянная составляющая в установившемся режиме равна нулю, а коэффициент искажений на периоде не превышает 0,1%.

4.2 Вторичная авиационная система электроснабжения на основе трансформатора Скотта со стабилизацией напряжения по его выпрямленному значению

Такой вариант построения системы предполагает внедрение в состав органа обратной связи (ООС) трехфазного мостового выпрямителя, по выпрямленному напряжению которого будет осуществляться регулировка напряжения на потребителе вторичной системы переменного тока.

Соответственно, меняется уставка для ПИ-регулятора, которая теперь будет составлять 84,9 В постоянного тока.

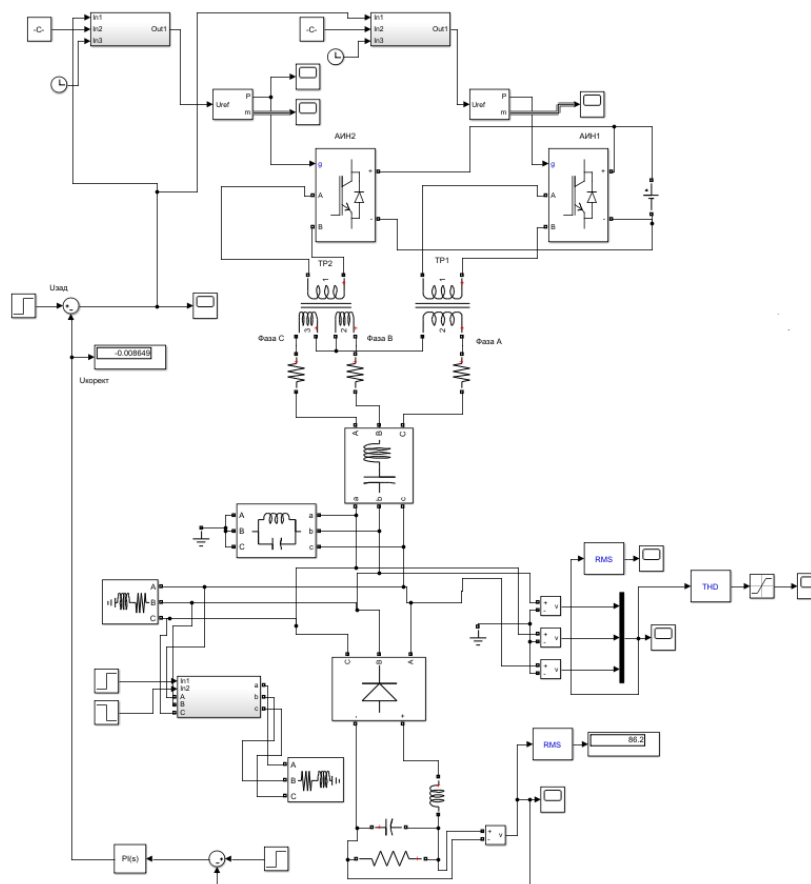


Рисунок 16 - Модель вторичной системы электроснабжения переменного трехфазного напряжения 36 В с обратной связью по выпрямленному значению напряжения

Проведем имитацию аналогичного режима работы СЭС, снимем график переходного процесса и форму выходного напряжения на нагрузке.

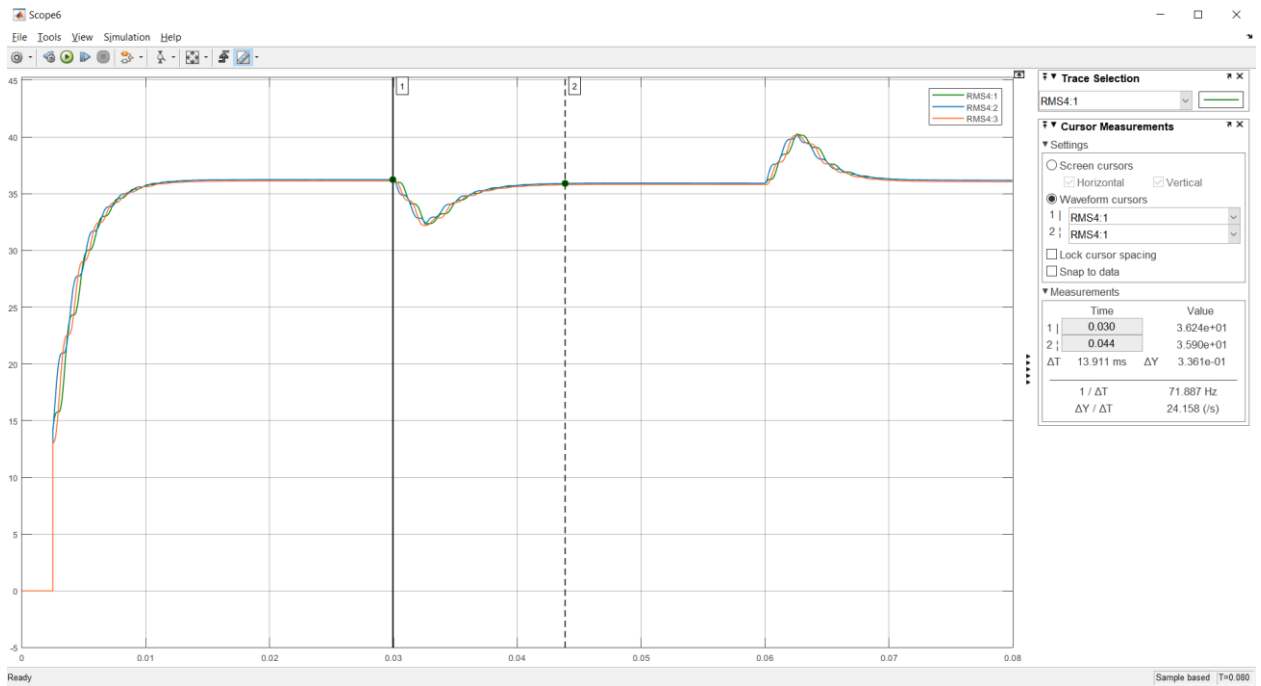


Рисунок 17 – Переходный процесс стабилизации выходного напряжения проектируемой системы электроснабжения с обратной связью по выпрямленному значению напряжения (наброс-сброс нагрузки 20%)

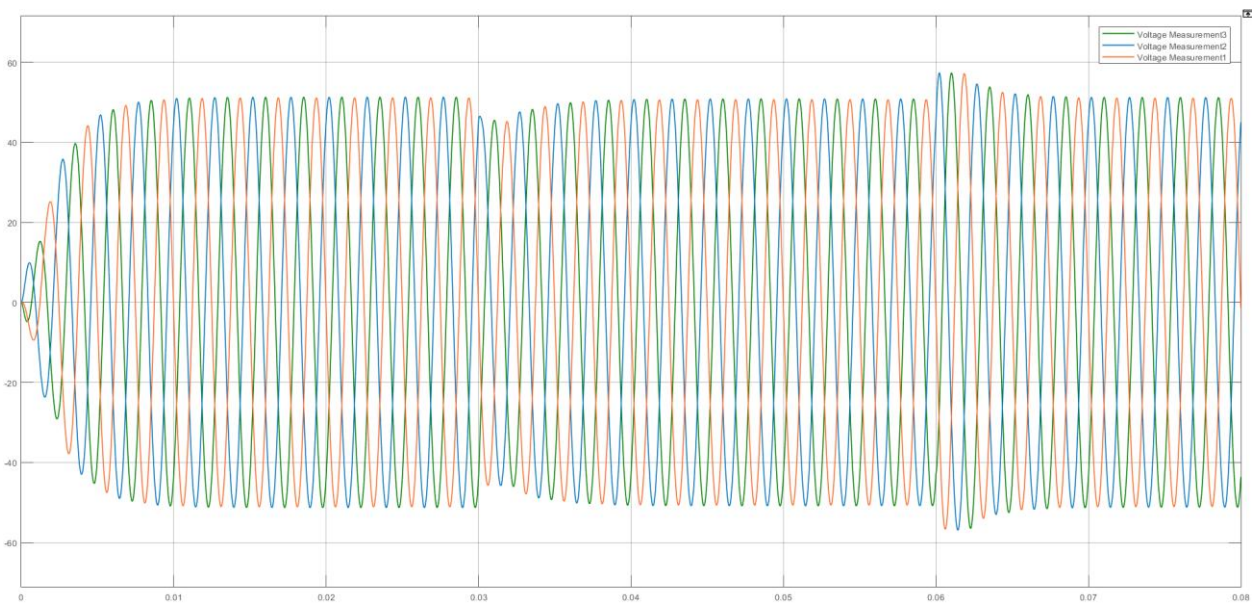


Рисунок 18 – Форма трехфазного напряжения на потребителе

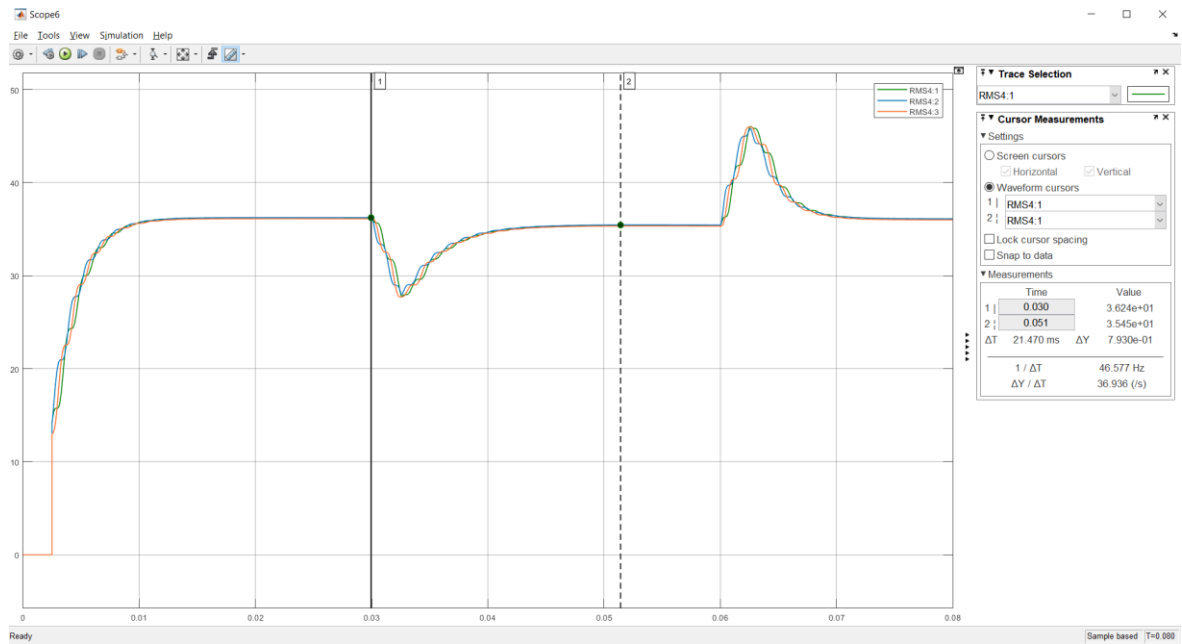


Рисунок 19 - Переходный процесс стабилизации выходного напряжения проектируемой системы электроснабжения с обратной связью по выпрямленному значению напряжения (наброс-сброс нагрузки 50%)

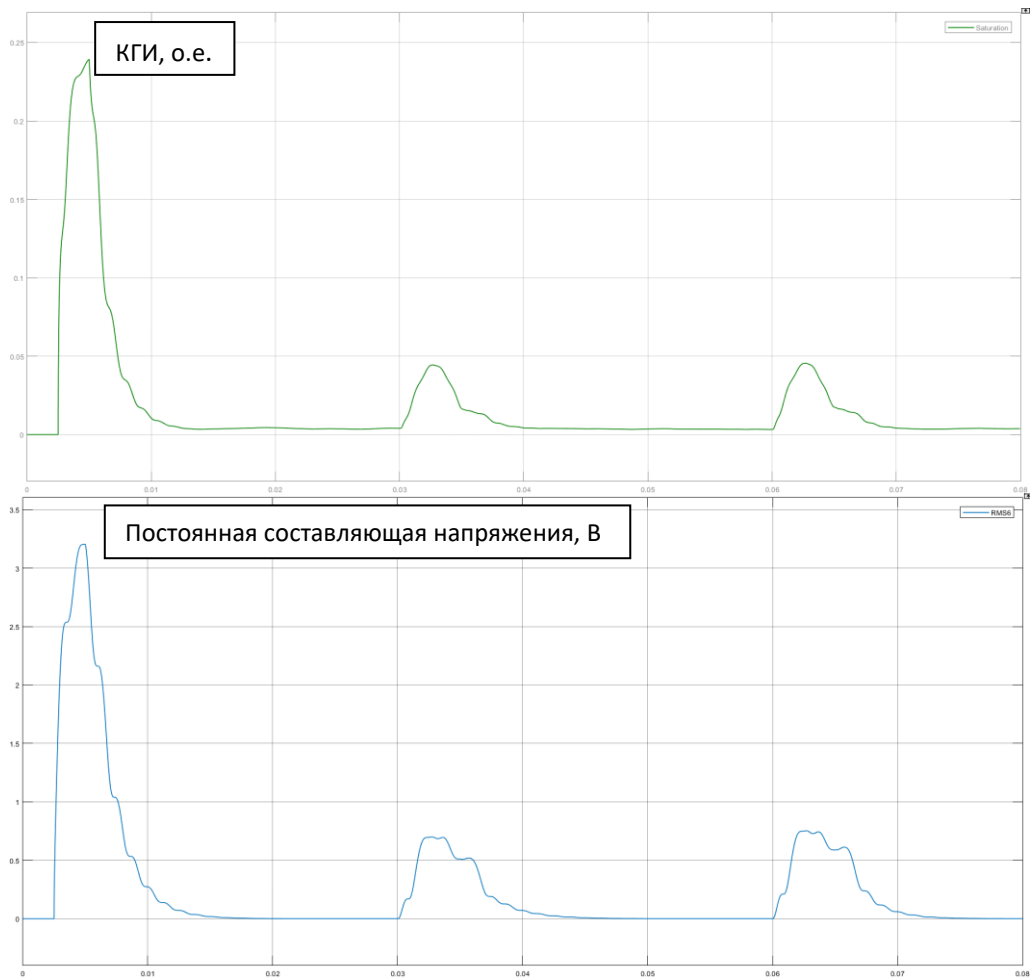


Рисунок 20 - Показатели качества системы при набросе и сбросе нагрузки 20%

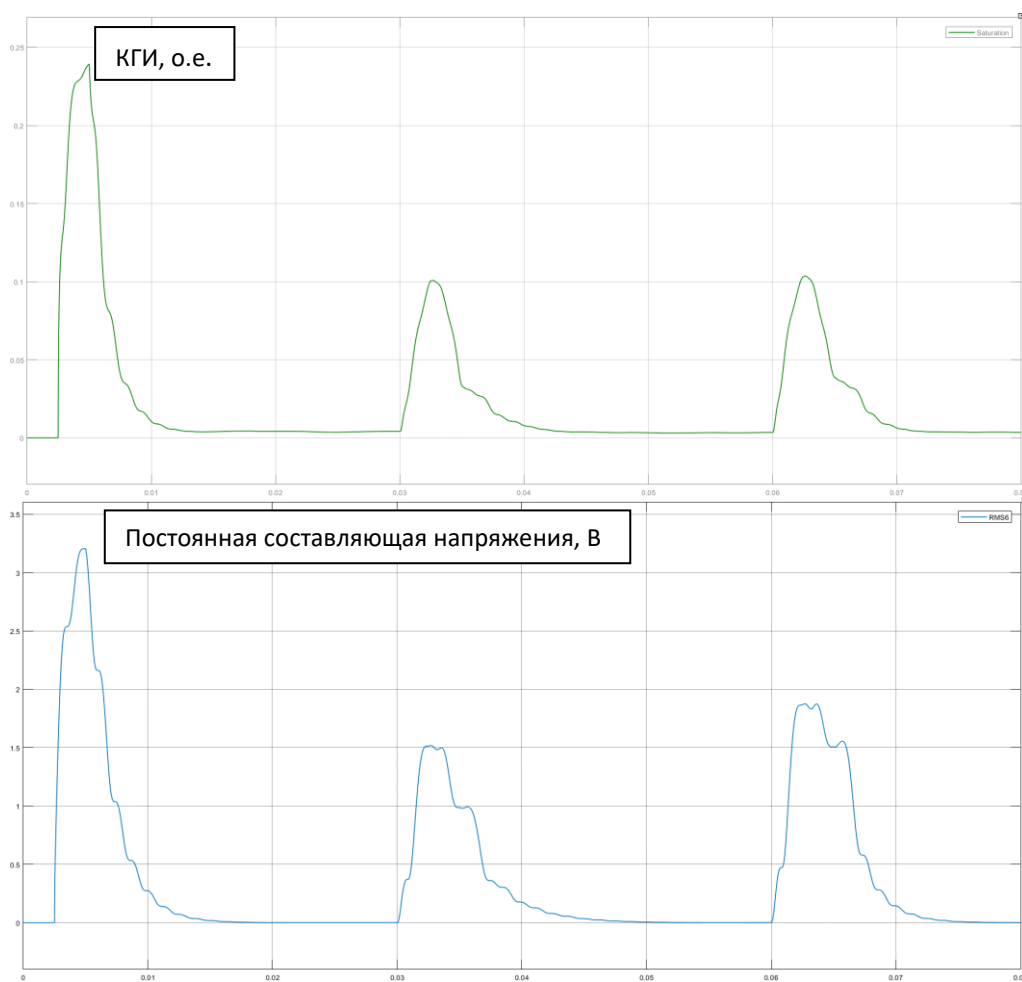


Рисунок 21 - Показатели качества системы при набросе и сбросе нагрузки 50%

Также по результатам моделирования можно сделать вывод о работоспособности системы и корректной отработке стабилизации напряжения по выпрямленному значению. Запуск системы и выход на номинальное напряжение осуществляется плавно, без перерегулирования, стабилизация напряжения при увеличении нагрузки на 20% происходит за $T_{\text{шт}} = 14 \text{ мс.}$, на 50% за $T_{\text{шт}} = 21,4 \text{ мс.}$ Просадка по напряжению составила 3,2 В (8,8 %) и 7,7 В (21,3 %) в первом и втором случае соответственно. Из оценки показателей качества системы следует, что постоянная составляющая в установившемся режиме равна нулю, а коэффициент искажений на периоде не превышает 0,1% при обоих вариантах нагрузки. Полученные результаты схожи с результатами моделирования системы со стабилизацией напряжения по среднему значению напряжения одной из фаз.

4.3 Вторичная авиационная система электроснабжения на основе трансформатора Скотта со стабилизацией напряжения по модулю вектора

Предлагаемый метод стабилизации выходного напряжения вторичной энергосети является самым сложным из представленных, для осуществления стабилизации по модулю вектора потребуется выполнить преобразование координат из трехфазной А-В-С в двухфазную $\alpha - \beta$ посредством блока прямого преобразования Кларка (Clarke Transform)

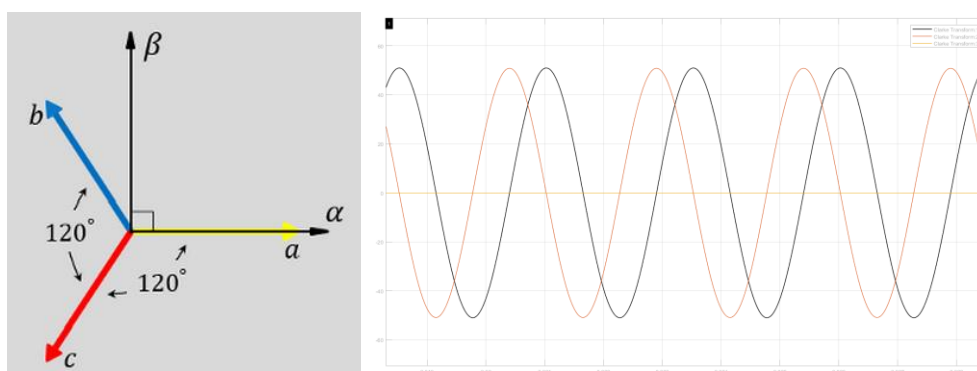


Рисунок 22 - Преобразование Кларк

Была выдвинута гипотеза о том, что, поддерживая постоянным значение модуля суммарного вектора $\alpha - \beta$ можно добиться максимально качественной стабилизации выходного напряжения в системе и увеличить быстродействие при тех же параметрах ПИ-регулятора.

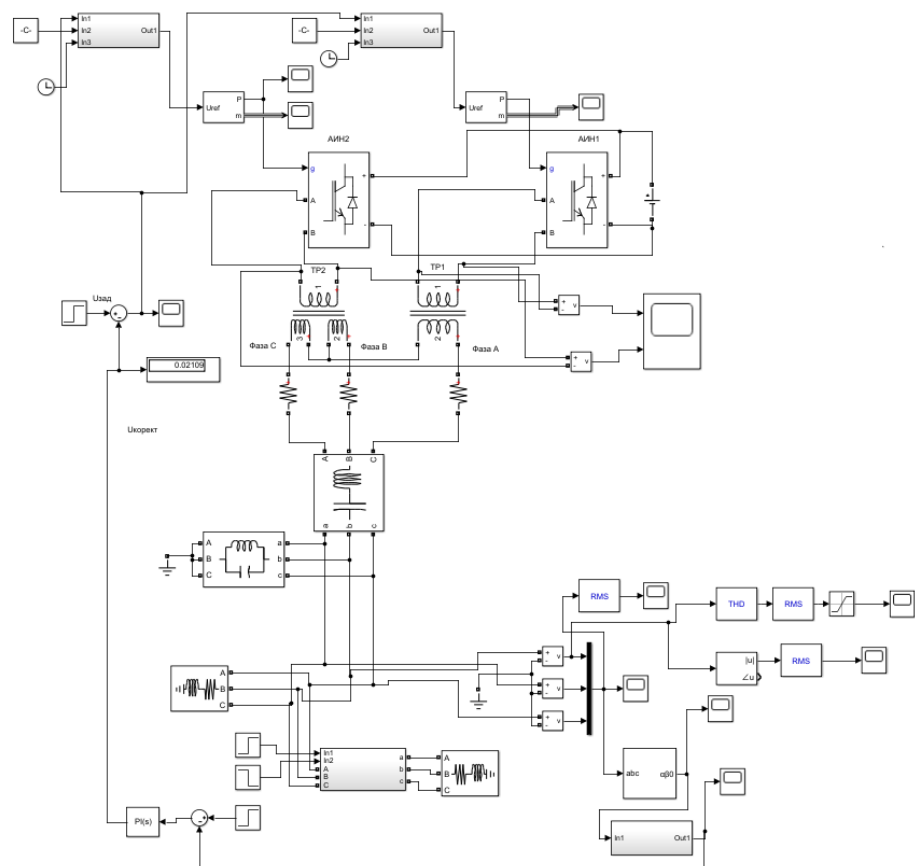


Рисунок 23 - Модель вторичной системы электроснабжения переменного трехфазного напряжения 36 В с обратной связью по модулю вектора

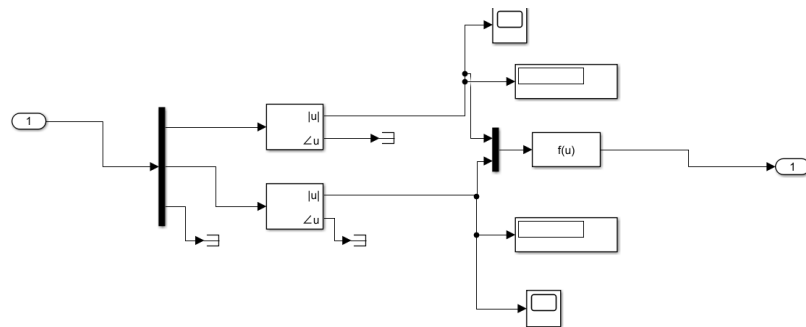


Рисунок 24 - Структура блока-вычислителя суммарного вектора между $\alpha - \beta$

Проведем аналогичную имитацию режимов работы системы при набросе-сбросе нагрузки, оценим качество переходного процесса и сети в целом.

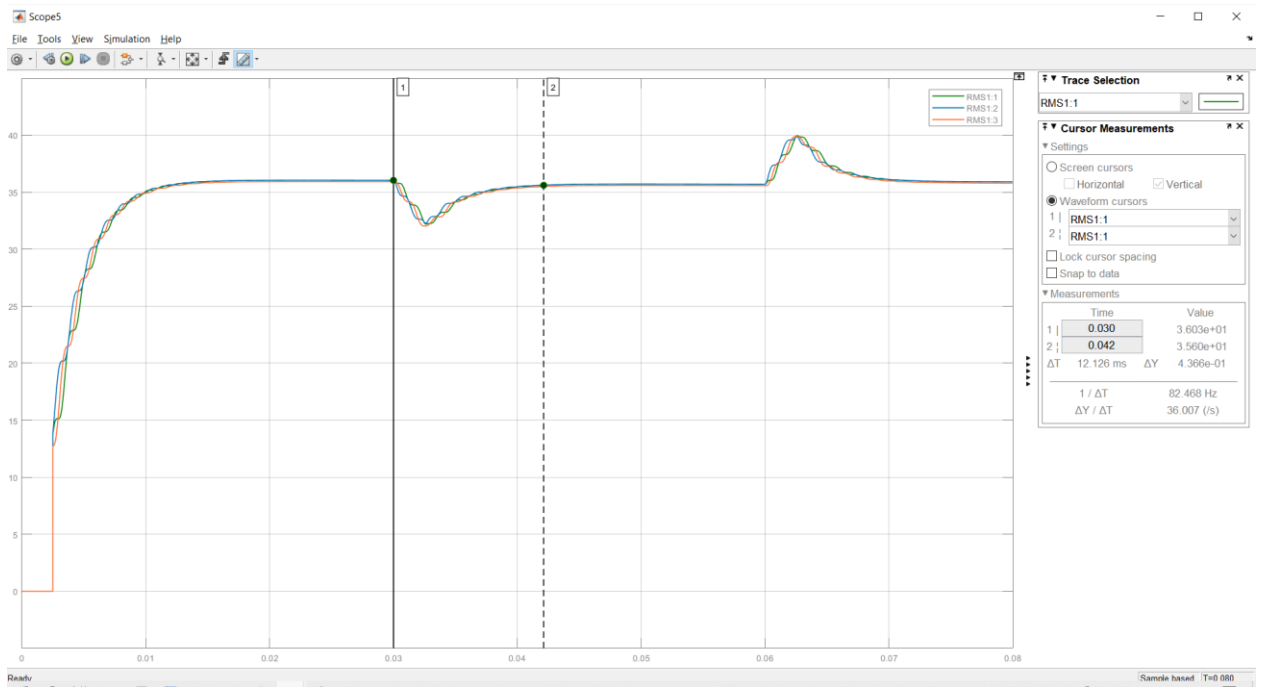


Рисунок 25 - Переходный процесс стабилизации выходного напряжения проектируемой системы электроснабжения с обратной связью по модулю вектора (наброс-сброс нагрузки 20%)

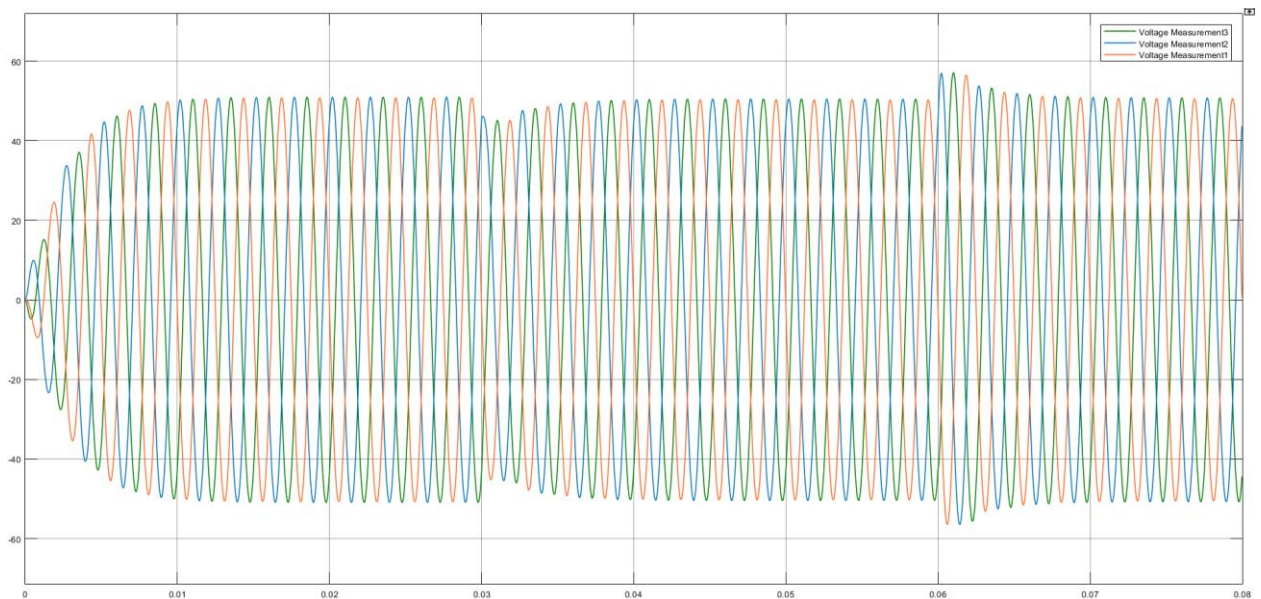


Рисунок 26 – Форма трехфазного напряжения на потребителе

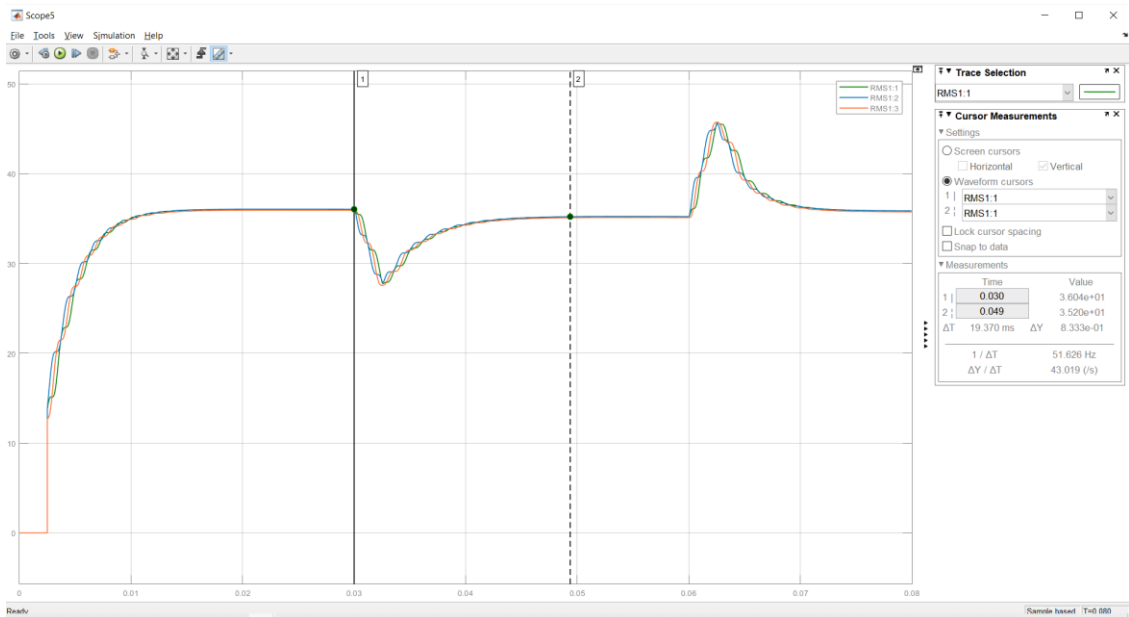


Рисунок 27 - Переходный процесс стабилизации выходного напряжения проектируемой системы электроснабжения с обратной связью по модулю вектора (наброс-сброс нагрузки 50%)

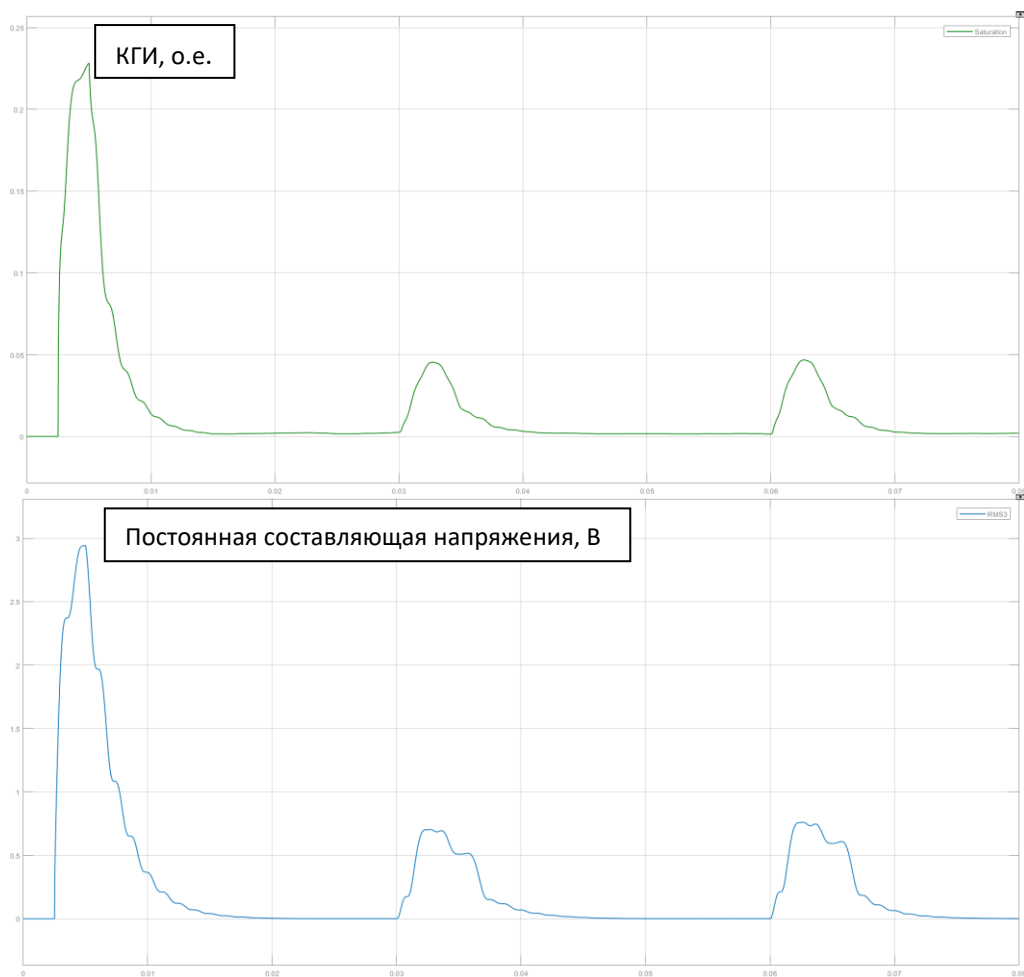


Рисунок 28 - Показатели качества системы при набросе и сбросе нагрузки 20%

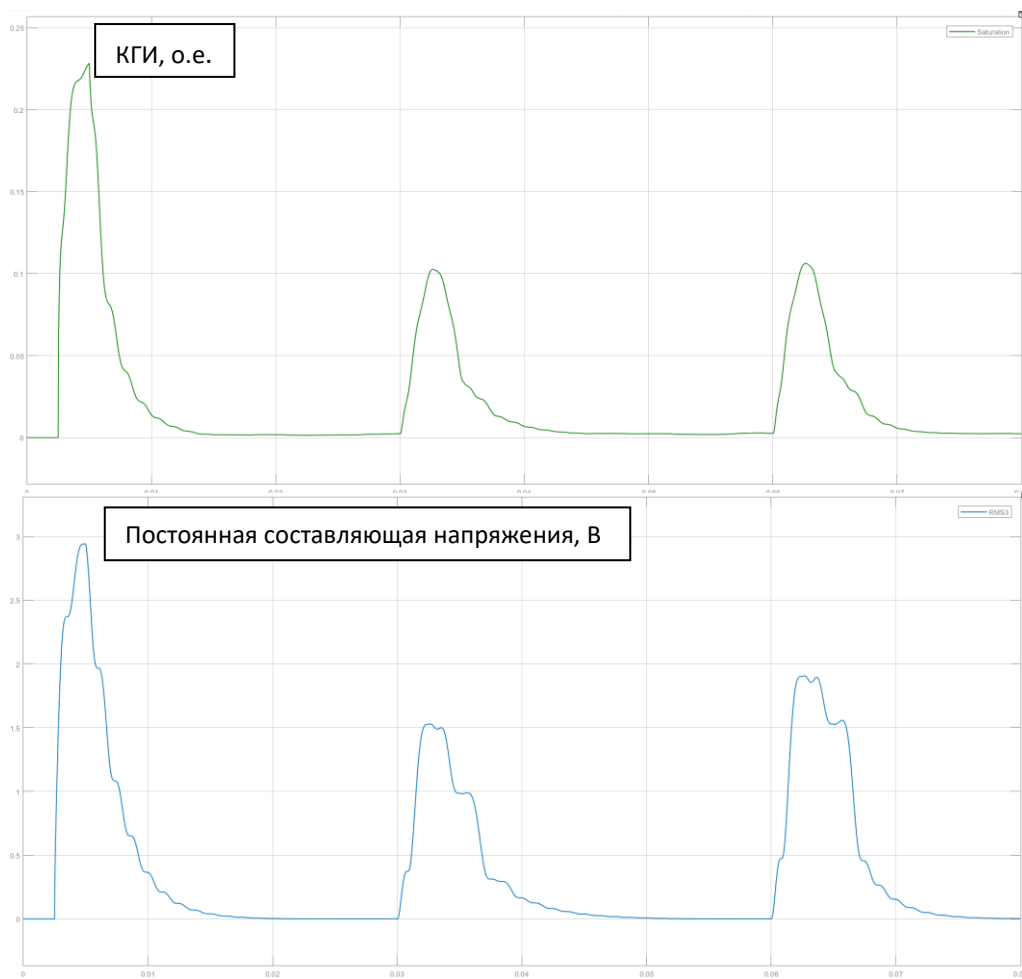


Рисунок 29 - Показатели качества системы при набросе и сбросе нагрузки 50%

В целом близкие кривые показывает и данный способ регулирования напряжения. Настройка ПИ-регулятора позволяет вывести систему на установившееся значение напряжения 36 В без перерегулирования, восстановление напряжения после подключения дополнительной активно-индуктивной нагрузки происходит немного быстрее конкурентных методов, за $T_{III} = 12,1$ мс при набросе 20% от номинальной нагрузки и за $T_{III} = 19,3$ мс при набросе 50%. Просадка напряжения достигает 3,2 В (8,8%) и 7,3 В (20,2%). Качество выходного напряжения также остается существенно выше требований, гармонические искажения ниже 0,1%, а постоянная составляющая напряжения стремится к нулю.

5 Построение структурных схем управления проектируемой вторичной системы электроснабжения

Согласно теории автоматического управления, разрабатываемую систему можно представить в виде математической модели, записав передаточную функцию каждого объекта. С целью исследования предлагается записать математическую модель для каждой конфигурации проектируемой вторичной системы электроснабжения, получить переходную характеристику и оценить корректность полученных ранее результатов имитационных моделей.

Так как входным параметром системы является скважность ШИМ импульсов управления транзисторными ключами инверторов, которая задается для транзисторов VT1 и VT4, а VT2 и VT3 работают комплементарно, то передаточная функция выходного напряжения такого инвертора от скважности может быть получена путем вычитания передаточных функций первой и второй стоек инвертора, каждая из которых представляет собой апериодическое звено.

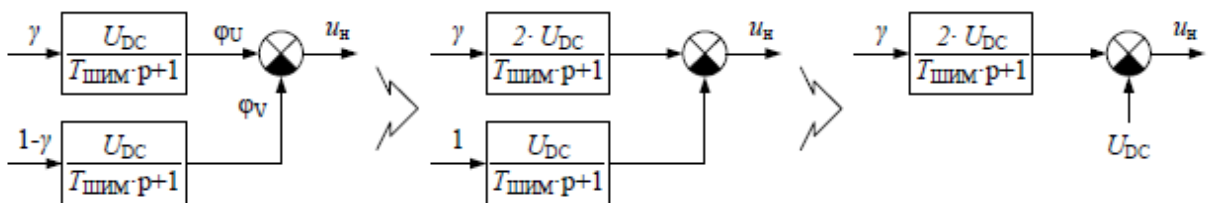


Рисунок 30 – Передаточная функция инвертора

где $T_{ШИМ} = \frac{1}{12 \cdot 10^3} = 8,3 \cdot 10^{-5} \text{ с}$ - постоянная времени ШИМ-инвертора

$U_{DC} = 27$ - напряжение питания постоянного тока инвертора

Трансформаторы с точки зрения теории автоматического управления можно представить как усилительное звено с коэффициентом усиления равным коэффициенту трансформации $K_{mp1} = 0,582$ и $K_{mp2} = 0,291$ соответственно.

Так как применяемый выходной фильтр рассчитан на подавление высших гармоник (30-я и выше) считаем, что его влияние на динамику

процесса пренебрежимо мало. Из чего следует, что на рабочей частоте 400 Гц, коэффициент передачи фильтра близок к единице, с учетом падений напряжения примем $K_\phi = 0,95$.

Нагрузка СЭС в математической модели представлена на Рисунке 31 и имеет как активную, так и индуктивную составляющие

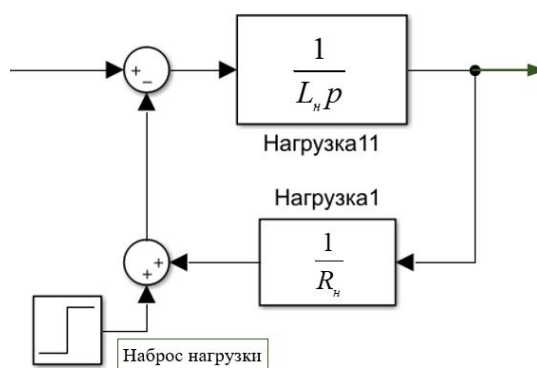


Рисунок 31 – Передаточная функция нагрузки СЭС

На основе полученных данных по передаточным функциям составных частей СЭС составлены структурные схемы каждой конфигурации управления: по среднему значению напряжения фазы; по выпрямленному значению напряжения; по модулю вектора напряжения.

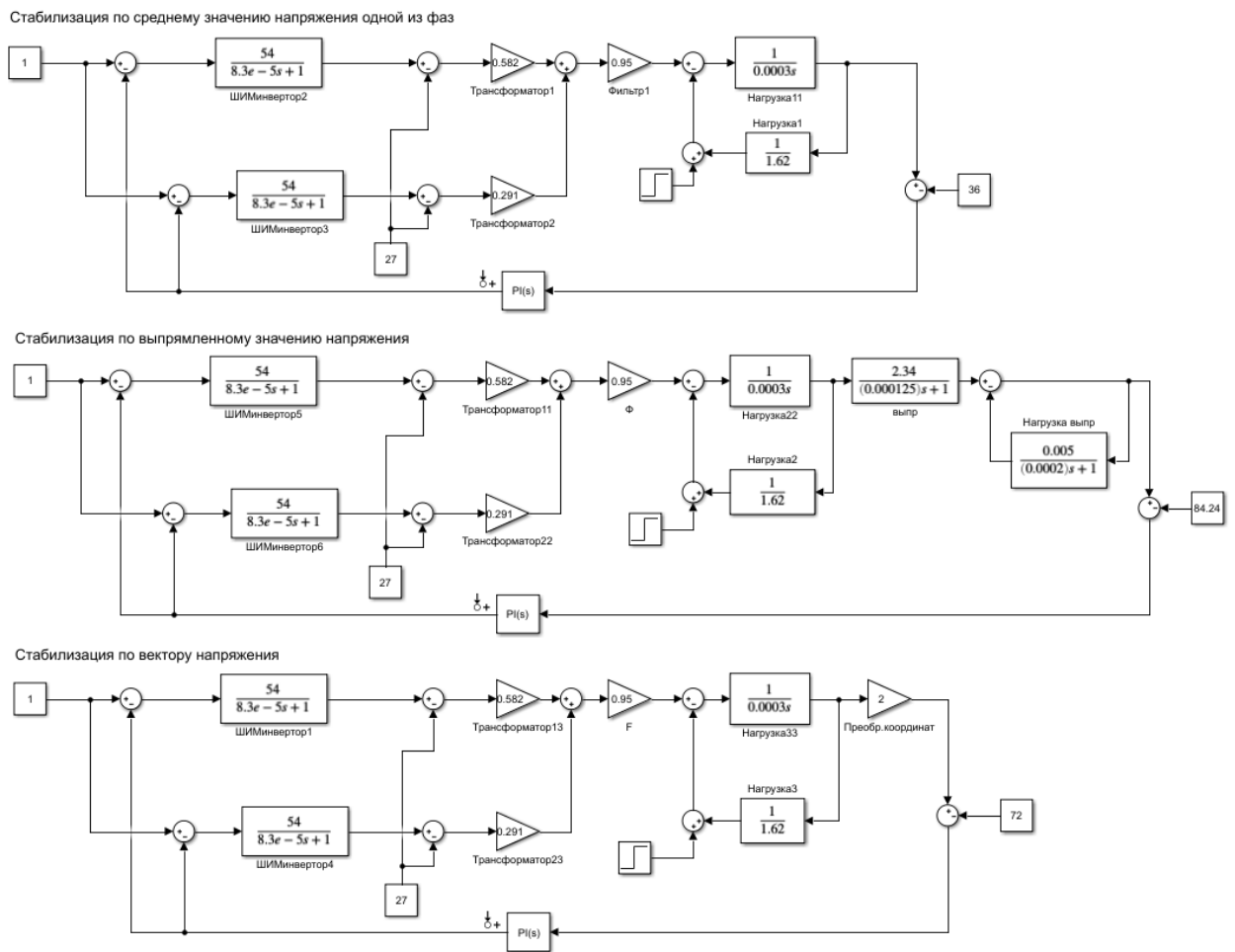


Рисунок 32 – Структурные схемы трех конфигураций вторичной авиационной системы электроснабжения на основе трансформатора Скотта

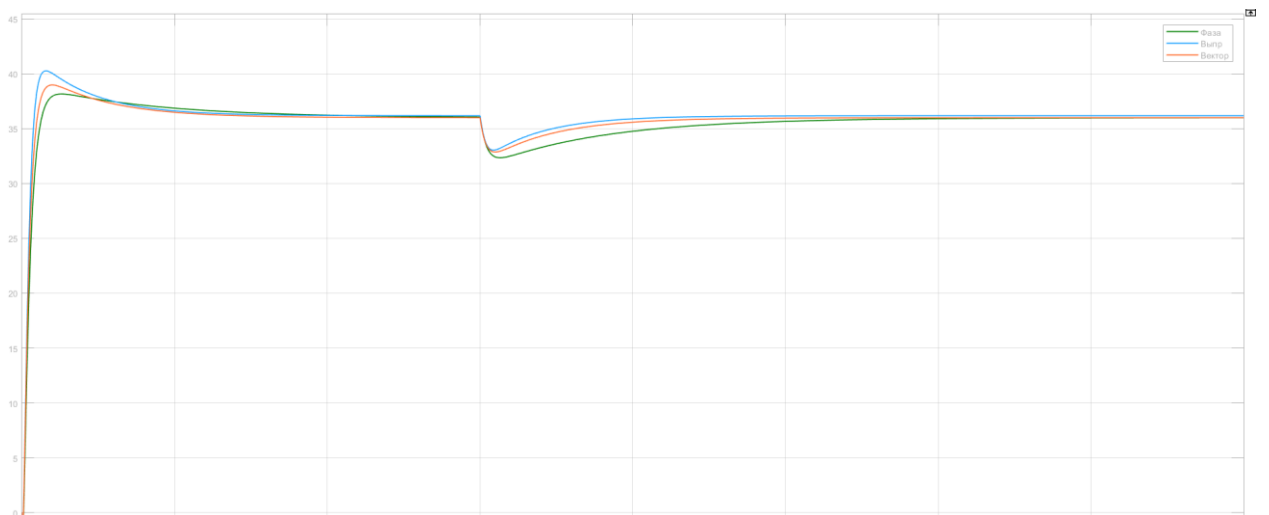


Рисунок 33 – Переходный процесс стабилизации выходного напряжения при набросе нагрузки 20%

Отображение полученных переходных процессов стабилизации напряжения на одном графике позволяет наглядно сравнить между собой три способа регулирования и сделать вывод. Очевидно, различные конфигурации стабилизации напряжения показывают сравнительно аналогичные результаты по восстановлению системы после возмущающего воздействия – наброса нагрузки. Регулирование по среднему значению напряжения одной из фаз осуществляется, как и ранее было отмечено, немного медленнее и с большей просадкой по напряжению сети.

6 Сравнительный анализ конфигураций вторичной системы электроснабжения на основе трансформатора Скотта

Данные, полученные в результате моделирования системы в MatLab Simulink как с помощью функциональных блоков, так и с помощью построения математической модели с передаточными функциями звеньев, позволяют наглядно сравнить между собой все три варианта стабилизации напряжения и выбрать наиболее предпочтительный. Для этого занесем опорные показатели в Таблицу 3.

Таблица 3 – Сравнение результатов моделирования

Параметр	Способ стабилизации напряжения сети		
	По среднему значению напряжения одной из фаз	По выпрямленному значению напряжения	По модулю вектора напряжения
$U_{\phi.A}, B$	36,31	36,06	36,02
$U_{\phi.B}, B$	36,43	36,18	36,09
$U_{\phi.C}, B$	36,43	36,18	36,09
Небаланс фазных напряжений $\Delta U_{\phi}, B$	0,12	0,12	0,06
$I_{\phi.A}, A$	22,42	22,26	22,21
$I_{\phi.B}, A$	22,49	22,33	22,28
$I_{\phi.C}, A$	22,49	22,33	22,28
Провал напряжения при	3,4	3,2	3,2

набросе нагрузки 20%, В			
Провал напряжения при набросе нагрузки 50%, В	7,5	7,7	7,3
Просадка установившегося значения напряжения при нагрузке 120%, В	0,28	0,28	0,24
Просадка установившегося значения напряжения при нагрузке 150%, В	0,69	0,73	0,67
КГИ, %	<0,1	<0,1	<0,1
Время переходного процесса, при набросе нагрузки 20%, мс	15	13,9	12,1
Время переходного процесса, при набросе нагрузки 50%, мс	21	21,4	19,3

На начальном этапе формирования гипотез о вариантах построения авиационной вторичной системы электроснабжения предполагалось, что преимущество векторного способа стабилизации напряжения сети будет достаточно очевидным и формулировка вывода о проделанной работе будет однозначной. Однако, как показала практика, все три метода имеют право быть использованными в современных структурах СЭС ввиду близости их основных показателей, характеризующих качество и быстродействие системы.

Реализация векторного регулирования схемотехнически предполагает установку дополнительных вычислительных устройств – процессоров, что повлечет за собой усложнение системы, увеличение масса-габаритных показателей, увеличение затрат времени на этапе разработки. Да, согласно результатам исследования, стабилизация напряжения по модулю вектора обладает небольшим преимуществом по всем контролируемым параметрам, однако, это преимущество становится незначительным на этапе рассмотрения других немаловажных критериев.

Отсюда можно сформулировать следующий научный вывод:

Построение вторичной авиационной системы электроснабжения с применением трансформаторной схемы Скотта позволяет формировать трехфазную систему напряжений, воздействуя только на два канала

управления – генераторов ШИМ-сигналов однофазных инверторов напряжения, за счет этого регулирование напряжения в системе может быть реализовано любым из предложенных методов с обеспечением требуемого качества выходного напряжения для потребителей по ГОСТ Р 54073-2017.

7 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

Оценка коммерческой ценности разработки является необходимым условием при поиске источников финансирования для проведения научного исследования и коммерциализации его результатов.

Целью раздела «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение» является определение перспективности и успешности научно-технического исследования, оценка его эффективности, уровня возможных рисков, разработка механизма управления и сопровождения конкретных проектных решений на этапе реализации.

Для достижения обозначенной цели необходимо решить следующие задачи:

- организовать работы по научному исследованию;
- осуществить планирование этапов выполнения исследования;
- оценить коммерческий потенциал и перспективность проведения научного исследования;
- рассчитать бюджет проводимого научно-технического исследования;
- произвести оценку социальной и экономической эффективности исследования.

Исследования проводились в корпусе ТПУ с целью проведения сравнительного анализа и выбора оптимального варианта построения авиационной системы электроснабжения на основе трансформатора Скотта. Объектом исследования в данном случае выступает статический преобразователь постоянного тока в переменный, в котором для формирования трехфазной системы напряжений применяется трансформаторная схема Скотта.

7.1 Предпроектный анализ

7.1.1 Потенциальные потребители результатов исследования

Для анализа потребителей результатов исследования необходимо рассмотреть целевой рынок и провести его сегментирование.

Целевым рынком для данного результата исследования будет являться авиакосмическая отрасль, для применения в которой и разрабатывается система электроснабжения, а также научно-исследовательские организации и университеты.

Сегмент рынка – предприятия, занимающиеся проектированием и испытанием самолетных устройств и систем.

7.1.2 Анализ конкурентных технических решений

Общей схемой количественного анализа конкурентоспособности, которая может применяться на любом этапе существования изделий, является следующая:

1. Выбор базового образца, аналогичного по назначению и условиям эксплуатации с оцениваемой продукцией.
2. Определение перечня нормативных, технических и экономических параметров, подлежащих исследованию (показать в таблице).
3. Сравнение по каждому выбранному параметру проектируемого изделия и с соответствующими параметрами конкурентного образца (аналога).
4. Подсчет итоговых показателей

Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения позволяет провести оценку сравнительной эффективности научной разработки и определить направления для ее будущего повышения.

В Таблице 1 приведена оценка конкурентов, где ф – разрабатываемый проект, к – конкурентное устройство электромашинный преобразователь ПТ-500Ц

Каждому параметрическому показателю по отношению к изделию в целом (т.е. обобщенному удовлетворению потребности) соответствует некий вес B , разный для каждого показателя. Анализ конкурентных технических решений определяется по формуле:

$$K = \sum B_i B_i,$$

где K – конкурентоспособность научной разработки или конкурента;

B_i – Вес показателя (в долях единицы);

B_i – балл i -го показателя;

Таблица 4 – Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы		Конкурентоспособность	
		Бф	Бк	Кп	Кк
Технические критерии оценки ресурсоэффективности					
1. Масса	0,122	4	2	0,488	0,244
2. Помехоустойчивость	0,065	3	4	0,195	0,260
3. КПД	0,212	5	3	1,06	0,636
4. Коэффициент гармоник	0,102	4	2	0,408	0,204
5. Симметричность работы фаз	0,152	5	3	0,760	0,456
Экономические критерии оценки эффективности					
1. Конкурентоспособность	0,105	4	3	0,420	0,315
2. Предполагаемый срок эксплуатации	0,205	5	2	1,025	0,410
3. Цена	0,037	2	4	0,074	0,148
Итого	1	32	21	4,43	2,673

Где $B_{п}, K_{п}$ - балл и конкурентоспособность проектируемого устройства;

$B_{к}, K_{к}$ - критерии конкурентного устройства ПТ-500

В результате анализа конкурентных технических решений можно сделать вывод о том, что проектируемое устройство превосходит аналоги на рынке не только по техническим и масса-габаритным показателем, но и

экономически выгоднее, так как имеет гораздо больший срок службы и способно обеспечивать потребителей электроэнергией более высокого качества, выравнивая перекося фазных напряжений. Проектируемое устройство имеет высокую надежность и не требует проведения ремонтно-проверочных работ.

7.1.3 SWOT-анализ

Этот анализ выполняется с целью выявления сильных и слабых сторон проекта, а также действий при возникновении той или иной кризисной ситуации. SWOT-анализ проводится в несколько этапов. Первый этап заключается в описании сильных и слабых сторон проекта, выявлении возможностей и угроз для реализации проекта, которые проявились или могут появиться в его внешней среде.

Таблица 5 – Промежуточная матрица SWOT

<p>Сильные стороны научно-исследовательского проекта: С1. Заявлены высокие технические показатели. С2. Экологичность технологии. С3. Простота реализации. С4. Квалифицированный персонал. С5. Возможно настроить производство под ключ.</p>	<p>Слабые стороны научно-исследовательского проекта: Сл1. Требуется особые материалы и комплектующие для реализации проекта. Сл2. Длительный срок изготовления.</p>
<p>Возможности: В1. Использование инновационной инфраструктуры ТПУ В2. Появление дополнительного спроса на разрабатываемый продукт. В3. Использование новых материалов для усовершенствования разработки. В4. Использование разработки в проектах полностью электрических самолетов.</p>	<p>Угрозы: У1. Несвоевременное финансовое обеспечение научного исследования. У2. Ограничения в поставках материала и комплектующих. У3. Цена будет выше за счет применения дорогостоящих комплектующих</p>

Второй этап состоит в выявлении соответствия сильных и слабых сторон проекта внешним условиям. В рамках данного этапа строим интерактивную матрицу проекта.

Интерактивная матрица проекта представлена в таблице 3. Каждый фактор помечается либо знаком «+» (означает сильное соответствие сильных

сторон возможностям), либо знаком «-» (что означает слабое соответствие); «0» – если есть сомнения в том, что поставить «+» или «-».

Таблица 6 – Интерактивная матрица проекта

Сильные стороны проекта						
Возможности проекта		C1	C2	C3	C4	C5
	B1	+	0	-	-	-
	B2	+	+	+	-	0
	B3	+	+	-	-	-
	B4	+	+	0	0	+
Слабые стороны проекта						
Возможности проекта		Сл1			Сл2	
	B1	-			+	
	B2	+			+	
	B3	+			+	
	B4	-			-	
Сильные стороны проекта						
Угрозы		C1	C2	C3	C4	C5
	У1	-	-	-	+	0
	У2	0	-	0	-	+
	У3	+	+	-	-	+
Слабые стороны проекта						
Угрозы		Сл1			Сл2	
	У1	-			-	
	У2	+			+	
	У3	+			-	

В рамках третьего этапа составляется итоговая матрица SWOT-анализа (Таблица 7)

Таблица 7 – Матрица SWOT-анализа

	Сильные стороны научно-исследовательского проекта: С1. Заявлены высокие технические показатели. С2. Экологичность технологии. С3. Простота реализации. С4. Квалифицированный персонал. С5. Возможно настроить производство под ключ.	Слабые стороны научно-исследовательского проекта: Сл1. Требуются особые материалы и комплектующие для реализации проекта. Сл2. Длительный срок изготовления.
Возможности: В1. Использование инновационной инфраструктуры ТПУ В2. Появление дополнительного спроса на разрабатываемый продукт. В3. Использование новых материалов для усовершенствования разработки. В4. Использование разработки в проектах полностью электрических самолетов.	- Разработка новых комплектующих для разрабатываемого решения. - Привлечение внимания к использованию данной технологии не только в летательных аппаратах - Увеличение производственных мощностей	- Внедрение собственных изготовленных комплектующих - Сокращение срока изготовления за счет усовершенствования технологического процесса
Угрозы: У1. Несвоевременное финансовое обеспечение научного исследования. У2. Ограничения в поставках материала и комплектующих. У3. Цена будет выше за счет применения дорогостоящих комплектующих	- Привлечение инвесторов - Доработка устройства - Снижение цены за счет увеличения объёмов - Продвижение продукции с акцентированием на высокие технические характеристики	Анализ ситуации с возможными решениями: - дальнейшая проработка проекта; - закрытие проекта;

7.1.4 Оценка готовности проекта к коммерциализации

На какой бы стадии жизненного цикла не находилась научная разработка полезно оценить степень ее готовности к коммерциализации и выяснить уровень собственных знаний для ее проведения (или завершения). Для этого заполнена специальную форма, содержащая показатели о степени

проработанности проекта с позиции коммерциализации и компетенциям разработчика научного проекта (таблица 8).

При проведении анализа по таблице, по каждому показателю ставится оценка по пятибалльной шкале. При оценке степени проработанности научного проекта 1 балл означает не проработанность проекта, 2 балла – слабую проработанность, 3 балла – выполнено, но в качестве не уверен, 4 балла – выполнено качественно, 5 баллов – имеется положительное заключение независимого эксперта. Для оценки уровня имеющихся знаний у разработчика система баллов принимает следующий вид: 1 означает не знаком или мало знаю, 2 – в объеме теоретических знаний, 3 – знаю теорию и практические примеры применения, 4 – знаю теорию и самостоятельно выполняю, 5 – знаю теорию, выполняю и могу консультировать.

Таблица 8 – Оценка степени готовности проекта к коммерциализации

№ п/п	Наименование	Степень проработанности научного проекта	Уровень имеющихся знаний у разработчика
1.	Определен имеющийся научно-технический задел	5	5
2.	Определены перспективные направления коммерциализации научно-технического задела	5	3
3.	Определены отрасли и технологии (товары, услуги) для предложения на рынке	4	4
4.	Определена товарная форма научно-технического задела для представления на рынок	3	2
5.	Определены авторы и осуществлена охрана их прав	5	5
6.	Проведена оценка стоимости интеллектуальной собственности	5	5
7.	Проведены маркетинговые исследования рынков сбыта	3	3
8.	Разработан бизнес-план коммерциализации научной разработки	2	2
9.	Определены пути продвижения научной разработки на рынок	4	3
10.	Разработана стратегия (форма) реализации научной разработки	5	5

11.	Проработаны вопросы международного сотрудничества и выхода на зарубежный рынок	2	2
12.	Проработаны вопросы использования услуг инфраструктуры поддержки, получения льгот	5	5
13.	Проработаны вопросы финансирования коммерциализации научной разработки	5	4
14.	Имеется команда для коммерциализации научной разработки	5	5
15.	Проработан механизм реализации научного проекта	5	5
	ИТОГО БАЛЛОВ	63	60

Оценка готовности научного проекта к коммерциализации (или уровень имеющихся знаний у разработчика) определяется по формуле:

$$B_{\text{сум}} = \sum B_i$$

где: $B_{\text{сум}}$ – суммарное количество баллов по каждому направлению;

B_i – балл по i -му показателю.

Значение $B_{\text{сум}}$ позволяет говорить о мере готовности научной разработки и ее разработчика к коммерциализации. В итоге получилось, что разработка является перспективной, а уровень имеющихся знаний у разработчика выше среднего.

7.1.5 Методы коммерциализации результатов научно-технического исследования

Для коммерциализации результатов, проведенного исследования будут использоваться следующие методы: инжиниринг и передача интеллектуальной собственности.

Инжиниринг будет предполагать предоставление на основе договора инжиниринга одной стороной, именуемой консультантом, другой стороне, именуемой заказчиком, комплекса или отдельных видов инженерно-технических услуг, связанных с проектированием, строительством и вводом

объекта в эксплуатацию, с разработкой новых технологических процессов на предприятии заказчика.

Передача интеллектуальной собственности будет производиться в уставной капитал предприятия или государства.

Данные методы коммерциализации будут наиболее продуктивными в отношении данного проекта.

7.2 Инициация проекта

Группа процессов инициации состоит из процессов, которые выполняются для определения нового проекта или новой фазы существующего. В рамках процессов инициации определяются изначальные цели и содержание и фиксируются изначальные финансовые ресурсы. Определяются внутренние и внешние заинтересованные стороны проекта, которые будут взаимодействовать и влиять на общий результат научного проекта. Данная информация закрепляется в Уставе проекта (таблица 9).

Таблица 9 – Заинтересованные стороны проекта

Заинтересованные стороны проекта	Ожидания заинтересованных сторон
НИ ТПУ	Выпуск высококвалифицированных специалистов
	Получение результатов исследования перспективного направления развития авиационной системы электроснабжения

В таблице 10 представлена иерархия целей проекта и критерии достижения целей.

Таблица 10 – Цели и результат проекта

Цели проекта:	Изучение вариантов построения авиационной системы электроснабжения на основе трансформатора Скотта
Ожидаемые результаты проекта:	Получение современной высококачественной системы вторичного питания потребителей первой категории на борту летательных аппаратов
Критерии приемки результата проекта:	Стабилизации напряжения сети с обеспечением требуемого качества по ГОСТ Р 54073-2017
Требования к результату проекта:	Требование:
	Обосновать преимущество использования трансформаторной схемы Скотта в авиационных системах электроснабжения;
	Провести моделирования системы вторичного электроснабжения со стабилизацией напряжения;
	Провести обработку полученных данных;

В таблице 11 представлена организационная структура проекта (роль каждого участника, их функции, трудозатраты).

Таблица 11 – Рабочая группа проекта

№ п/п	ФИО, основное место работы, должность	Роль в проекте	Функции	Трудозатраты, час.
1.	Гарганеев А.Г., НИ ТПУ, профессор ИШЭ	Руководитель проекта	Консультирование, координация деятельности, определение задач, контроль выполнения.	600
2.	Мандригеля Г.Е., магистрант ИШЭ	Исполнитель по проекту	Анализ литературных источников, моделирование системы, анализ полученных результатов, написание работы	1600
ИТОГО:				2200

Ограничения проекта – это все факторы, которые могут послужить ограничением степени свободы участников команды проекта, а также «границы проекта» – параметры проекта или его продукта, которые не будут реализованными в рамках данного проекта (Таблица 12).

Таблица 12 – Ограничения проекта

Фактор	Ограничения/ допущения
3.1. Бюджет проекта	400000
3.1.1. Источник финансирования	НИ ТПУ
3.2. Сроки проекта:	01.09.2020-22.06.2022
3.2.1. Дата утверждения плана управления проектом	15.09.2020
3.2.2. Дата завершения проекта	22.06.2021

7.3 Планирование управления научно-техническим проектом

Группа процессов планирования состоит из процессов, осуществляемых для определения общего содержания работ, уточнения целей и разработки последовательности действий, требуемых для достижения данных целей.

План управления научным проектом должен включать в себя следующие элементы:

- иерархическая структура работ проекта;
- контрольные события проекта;
- план проекта;
- бюджет научного исследования.

7.3.1 Иерархическая структура работ проекта

Иерархическая структура работ (ИСР) – детализация укрупненной структуры работ. В процессе создания ИСР структурируется и определяется содержание всего проекта (Рисунок 34).



Рисунок 34 – Иерархическая структура работ

7.3.2 План проект

В рамках планирования научного проекта построены календарный график проекта (таблица 13, 14).

Таблица 13– Календарный план проекта

Название	Длительность, дни	Дата начала работ	Дата окончания работ	Состав участников
Утверждение темы магистерской диссертации	7	01.09.20	07.09.20	Гарганеев А.Г., Мандригеля Г.Е.
Согласование плана работ	7	08.09.20	15.09.20	Гарганеев А.Г., Мандригеля Г.Е.
Литературный обзор	138	16.09.20	31.01.21	Мандригеля Г.Е.

Разработка имитационных моделей	212	01.02.21	01.09.21	Мандригеля Г.Е.
Моделирование	110	02.09.21	31.12.21	Мандригеля Г.Е.
Обработка полученных данных и обсуждение результатов	89	01.01.22	31.03.22	Гарганеев А.Г., Мандригеля Г.Е.
Написание отчета	75	01.04.22	15.06.22	Мандригеля Г.Е.
Итого:	638			

Таблица 14 – Календарный план-график проведения НИОКР по теме

Наименование этапа	Т, дней	2020				2021								2022										
		Сентябрь	Октябрь	Ноябрь	Декабрь	Январь	Февраль	Март	Апрель	Май	Июнь	Июль	Август	Сентябрь	Октябрь	Ноябрь	Декабрь	Январь	Февраль	Март	Апрель	Май	Июнь	
Утверждение темы магистерской диссертации	7																							
Согласование плана работ	7																							
Литературный обзор	138																							
Разработка имитационных моделей																								
Моделирование																								
Обработка полученных данных и обсуждение результатов																								
Написание отчета																								



- Мандригеля Г.Е.



- Мандригеля Г.Е., Гарганеев А.Г.

7.4 Бюджет научного исследования

При планировании бюджета научного исследования должно быть обеспечено полное и достоверное отражение всех видов планируемых расходов, необходимых для его выполнения. В процессе формирования бюджета, планируемые затраты сгруппированы по статьям. В данном исследовании выделены следующие статьи:

1. Сырье, материалы, покупные изделия и полуфабрикаты;
2. Специальное оборудование для научных работ;
3. Заработная плата;
4. Отчисления на социальные нужды;
5. Научные и производственные командировки;
6. Оплата работ, выполняемых сторонними организациями и предприятиями;

7.4.1 Накладные расходы

Сырье, материалы, покупные изделия и полуфабрикаты (за вычетом отходов). В эту статью включаются затраты на приобретение всех видов материалов, комплектующих изделий и полуфабрикатов, необходимых для выполнения работ по данной теме (таблица 15).

Таблица 15 – Расчет затрат по статье «Сырье и материалы»

Наименование	Количество, шт	Цена за единицу, руб.	Сумма, руб.
Тетрадь	2	40,0	80,0
Ручка шариковая	3	31,0	93,0
Печать	150	2	300,0
Энергия	1350	2,73	3603,6
Всего за материалы	4076,6		
Транспортно-заготовительные расходы (3-5%)			122,3
Итого по статье			4198,9

Специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ.

В данную статью включены все затраты, связанные с приобретением специального оборудования, необходимого для проведения работ по теме НИР (таблица 13).

Таблица 16 – Расчет затрат по статье «Спецоборудование для научных работ»

№ п/п	Наименование оборудования	Кол-во единиц оборудования	Цена единицы оборудования, руб.	Общая стоимость оборудования, руб.
1	Компьютер (HP)	1	60000,0	60000,0
2	Программное обеспечение MicrosoftOffice	1	5990,0	5990,0
3	MatLab Simulink	1	15200,0	15200,0
Итого, руб.:				81190,0

Расчет основной заработной платы.

В настоящую статью включается основная заработная плата научных и инженерно-технических работников, рабочих макетных мастерских и опытных производств, непосредственно участвующих в выполнении работ по данной теме. Величина расходов по заработной плате определяется исходя из трудоемкости выполняемых работ и действующей системы оплаты труда. Расчет основной заработной платы сводится в таблице 17.

$$C_{зп} = Z_{осн} + Z_{доп}$$

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

$Z_{доп}$ – дополнительная заработная плата

Основная заработная плата ($Z_{осн}$) руководителя (лаборанта, инженера) от предприятия (при наличии руководителя от предприятия) рассчитывается по следующей формуле:

$$Z_{осн} = Z_{дн} \cdot T_{раб}$$

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

$T_{раб}$ – продолжительность работ, выполняемых научно-техническим работником, раб. дн.;

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

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$Z_{дн} = \frac{Z_{м} \cdot M}{F_{д}}$$

где: $Z_{м}$ – месячный должностной оклад работника, руб.;

М – количество месяцев работы без отпуска в течение года:

при отпуске в 24 раб. дня М =11,2 месяца, 5-дневная неделя;

при отпуске в 48 раб. дней М=10,4 месяца, 6-дневная неделя;

F_d – действительный годовой фонд рабочего времени научно-технического персонала, раб. дн.

Расчет заработной платы научно – производственного и прочего персонала проекта проводили с учетом работы 2-х человек – научного руководителя и исполнителя. Баланс рабочего времени исполнителей представлен в Таблице 17.

Таблица 17 – Баланс рабочего времени

Показатели рабочего времени	Руководитель	Магистрант
Календарное число дней	365	365
Количество нерабочих дней	99	99
- выходные дни	14	14
- праздничные дни		
Потери рабочего времени	24	24
- отпуск	14	14
- невыходы по болезни		
Действительный годовой фонд рабочего времени	212	212

Месячный должностной оклад работника:

$$Z_m = Z_b * (k_{пр} + k_d) * k_p, \text{ где}$$

Z_b – базовый оклад, руб.;

$k_{пр}$ – премиальный коэффициент (определяется Положением об оплате труда);

k_d – коэффициент доплат и надбавок;

k_p – районный коэффициент, равный 1,3 (для Томска).

При расчете заработной платы научно-производственного и прочего персонала проекта учитывались месячные должностные оклады работников, которые рассчитывались по формуле:

$$Z_m = Z_b * K_p, \text{ где}$$

Z_b – базовый оклад, руб.;

K_p – районный коэффициент, равный 1,3 (для Томска).

Согласно информации сайта Томского политехнического университета, должностной оклад профессора в 2020 году без учета РК составил 38354 руб., Расчет основной заработной платы приведен в таблице 18.

Таблица 18 – Расчет основной заработной платы

Исполнители	Z_6 , руб.	$k_{пр}$	k_d	k_p	Z_m , руб.	$Z_{дн}$, руб.	T_p , раб. дн.	$Z_{осн}$, руб.
Руководитель	38354	1	0,02	1,3	49860,2	2445,9	212	518546
Магистрант	3100	-	-	1,3	4030	197,7	212	41912

Дополнительная заработная плата научно-производственного персонала. В данную статью включается сумма выплат, предусмотренных законодательством о труде, например, оплата очередных и дополнительных отпусков; оплата времени, связанного с выполнением государственных и общественных обязанностей; выплата вознаграждения за выслугу лет и т.п. (в среднем – 12 % от суммы основной заработной платы).

Дополнительная заработная плата рассчитывается исходя из 10-15% от основной заработной платы, работников, непосредственно участвующих в выполнении темы:

$$Z_{доп} = Z_{осн} * k_{доп}, \text{ где}$$

$Z_{доп}$ – дополнительная заработная плата, руб.;

$k_{доп}$ – коэффициент дополнительной зарплаты;

$Z_{осн}$ – основная заработная плата, руб.

В таблице 19 приведена форма расчёта основной и дополнительной заработной платы.

Таблица 19 – Заработная плата исполнителей НТИ

Заработная плата	Руководитель	Магистрант
Основная зарплата	518546	41912
Дополнительная зарплата	51854,6	4191,2
Итого по статье $C_{зп}$	570400,6	46103,2

Отчисления на социальные нужды. Статья включает в себя отчисления во внебюджетные фонды.

$$C_{\text{внеб}} = k_{\text{внеб}} \cdot (Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}), \text{ где}$$

$k_{\text{внеб}}$ – коэффициент отчисления на уплату во внебюджетные фонды.

На 2014 г. в соответствии с Федеральным законом от 24.07.2009 №212-ФЗ установлен размер страховых взносов равный 30%. На основании пункта 1 ст.58 закона №212-ФЗ для учреждений, осуществляющих образовательную и научную деятельность в 2014 году водится пониженная ставка – 27,1%. Стипендиальные выплаты студентам, магистрам и аспирантам не облагаются налогом.

Отчисления на социальные нужды составляют:

$$C_{\text{внеб}} = 0,3 \cdot (518546 + 51854,6) = 171120,18 \text{ рублей}$$

Научные и производственные командировки. В эту статью включаются расходы по командировкам научного и производственного персонала, связанного с непосредственным выполнением конкретного проекта, величина которых принимается в размере 10% от основной и дополнительной заработной платы всего персонала, занятого на выполнении данной темы.

Затраты на научные и производственные командировки составляют 61650,38 руб.

Накладные расходы. Расчет накладных расходов провели по следующей формуле:

$$C_{\text{накл}} = k_{\text{накл}} \cdot (Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}) = 0,8 \cdot (560458 + 56045,8) = 493203,04 \text{ рублей}$$

где $k_{\text{накл}}$ – коэффициент накладных расходов принят 0,8.

Таким образом, затраты проекта составляют 1427866,3 руб, которые приведены в таблице 20.

Таблица 20 – Затраты научно-технической работы

Вид исследования	Затраты по статьям									
	Сырье, материалы (за вычетом возвратных отходов), покупные изделия и полуфабрикаты	Специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ	Основная заработная плата	Доп-ая заработная плата	Отчисления на социальные нужды	Научные и производственные командировки	Оплата работ, выполняемых сторонними организациями и предприятиями	Прочие прямые расходы	Накладные расходы	Итого плановая себестоимость
Данное исследование	4198,9	81190,0	560458,0	56045,8	171120,18	61650,38	-	-	493203,04	<u>1427866,3</u>
Аналог	9000	115900	780750	78075,0	234255	85882,5	-	-	687060	1990022,5

Операционные затраты определяются следующим образом:

$$C_{\text{опер}} = 35\% \cdot S_{\text{бюджет}} = 499753,2 \text{ рублей}$$

7.5 Организационная структура проекта

Данный проект представлен в виде проектной организационной структуры. Проектная организационная структура проекта представлена на рисунке 35.

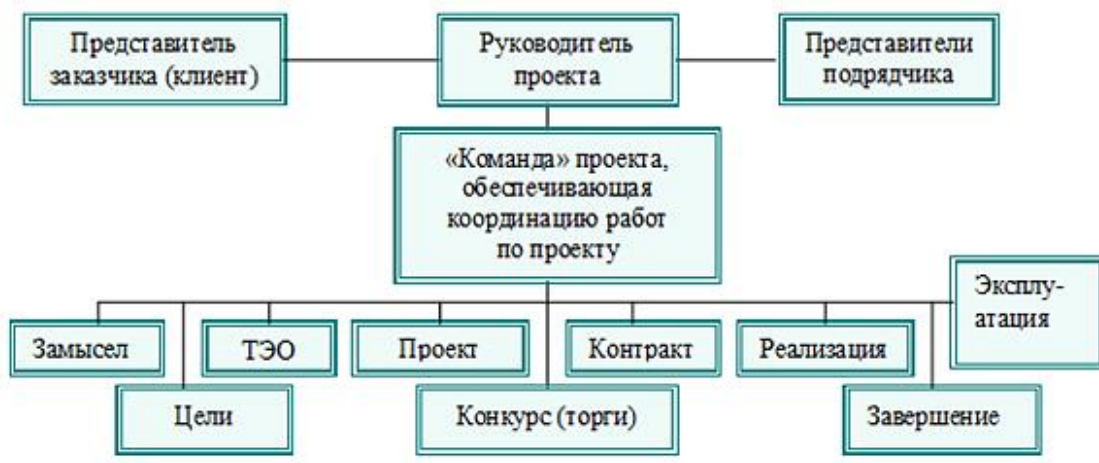


Рисунок 35 – Проектная структура проекта

7.6 План управления коммуникациями проекта

План управления коммуникациями отражает требования к коммуникациям со стороны участников проекта (таблица 21).

Таблица 21 – План управления коммуникациями

№ п/п	Какая информация передается	Кто передает информацию	Кому передается информация	Когда передает информацию
1.	Статус проекта	Исполнитель	Руководителю	Еженедельно (понедельник)
2.	Обмен информацией о текущем состоянии проекта	Исполнитель	Руководителю	Ежемесячно (конец месяца)
3.	Документы и информация по проекту	Исполнитель	Руководителю	Не позже сроков графиков и к. точек
4.	О выполнении контрольной точки	Исполнитель	Руководителю	Не позже дня контрольного события по плану управления

7.7 Реестр рисков проекта

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

Информация по возможным рискам сведена в таблицу 22.

Таблица 22 – Реестр рисков

№	Риск	Вероятность наступления	Влияние риска	Уровень риска	Способы смягчения риска	Условия наступления
1	Неточность результатов ввиду допущений при моделировании	2	5	Низкий	Внесение корректировок в модель	Идеализация модели
2	Погрешность расчетов	2	5	Средний	Пересчет, проверка	Невнимательность
3	Отсутствие интереса к результатам исследования	2	5	Низкий	Привлечение предприятий, публикация результатов	Отсутствие результатов исследования

7.8 Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности

7.8.1 Оценка абсолютной эффективности исследования

В основе проектного подхода к инвестиционной деятельности предприятия лежит принцип денежных потоков. Особенностью является его прогнозный и долгосрочный характер, поэтому в применяемом подходе к анализу учитываются фактор времени и фактор риска. Для оценки общей экономической эффективности используются следующие основные показатели:

- чистая текущая стоимость (NPV);
- индекс доходности (PI);
- внутренняя ставка доходности (IRR);
- срок окупаемости (DPP).

Чистая текущая стоимость (NPV) – это показатель экономической эффективности инвестиционного проекта, который рассчитывается путём дисконтирования (приведения к текущей стоимости, т.е. на момент инвестирования) ожидаемых денежных потоков (как доходов, так и расходов).

Расчёт NPV осуществляется по следующей формуле:

$$NPV = \sum_{t=1}^n \frac{ЧДП_{опt}}{(1+i)^t} - I_0$$

где: ЧДП_{опt} – чистые денежные поступления от операционной деятельности;

I_0 – разовые инвестиции, осуществляемые в нулевом году;

t – номер шага расчета ($t= 0, 1, 2 \dots n$)

n – горизонт расчета;

i – ставка дисконтирования (желаемый уровень доходности инвестируемых средств).

Расчёт NPV позволяет судить о целесообразности инвестирования денежных средств. Если $NPV > 0$, то проект оказывается эффективным.

Расчет чистой текущей стоимости представлен в Таблице 23. При расчете рентабельность проекта составляла 25 %, норма амортизации - 10 %.

Таблица 23- Расчет чистой текущей себестоимости по проекту в целом

№	Наименование показателей	Шаг расчета				
		0	1	2	3	4
1	Выручка от реализации, руб.	0	1784832,8	1784832,8	1784832,8	1784832,8
2	Итого приток, руб.	0	1784832,8	1784832,8	1784832,8	1784832,8
3	Инвестиционные издержки, руб.	-1427866,3	0	0	0	0
4	Операционные затраты, руб.	0	499753,2	499753,2	499753,2	499753,2
5	Налогооблагаемая прибыль (1-4)	0	1285079,6	1285079,6	1285079,6	1285079,6
6	Налоги 20 %, руб.	0	257015,9	257015,9	257015,9	257015,9
8	Чистая прибыль, руб. (5-6)	0	1028063,7	1028063,7	1028063,7	1028063,7
9	Чистый денежный поток (ЧДП), руб.(чистая прибыль+амортизация)	-1427866,3	1170850,3	1170850,3	1170850,3	1170850,3
10	Коэффициент дисконтирования при $i=20\%$	1	<u>0,833</u>	<u>0,694</u>	<u>0,578</u>	<u>0,482</u>
11	Чистый дисконтированный денежный поток (ЧДД), руб.	-1427866,3	975708,6	813090,5	677575,4	564646,2
12	\sum ЧДД	3031020,8 руб.				
12	Итого NPV	1603154,5 руб.				

Коэффициент дисконтирования рассчитан по формуле:

$$КД = \frac{1}{(1 + i)^t}$$

где: i – ставка дисконтирования, 20 %; (10%)

t – шаг расчета.

Таким образом, чистая текущая стоимость по проекту в целом составляет 1603154,5 рублей, что позволяет судить об его эффективности.

Индекс доходности (PI) – показатель эффективности инвестиции, представляющий собой отношение дисконтированных доходов к размеру инвестиционного капитала. Данный показатель позволяет определить инвестиционную эффективность вложений в данный проект. Индекс доходности рассчитывается по формуле:

$$PI = \sum_{t=1}^n \frac{ЧДП_t}{(1+i)^t} / I_0 > 1$$

где: ЧДД - чистый денежный поток, руб.;

I_0 – начальный инвестиционный капитал, руб.

Таким образом PI для данного проекта составляет:

$$PI = \frac{3031020,8}{1427866,3} = 2,12$$

Так как $PI > 1$, то проект является эффективным.

Внутренняя ставка доходности (IRR). Значение ставки, при которой обращается в нуль, носит название «внутренней ставки доходности» или IRR. Формальное определение «внутренней ставки доходности» заключается в том, что это та ставка дисконтирования, при которой суммы дисконтированных притоков денежных средств равны сумме дисконтированных оттоков или =0. По разности между IRR и ставкой дисконтирования i можно судить о запасе экономической прочности инвестиционного проекта. Чем ближе IRR к ставке дисконтирования i , тем больше риск от инвестирования в данный проект.

Между чистой текущей стоимостью (NPV) и ставкой дисконтирования (i) существует обратная зависимость. Эта зависимость представлена в таблице 24 и на рисунке 36.

Таблица 24 - Зависимость NPV от ставки дисконтирования

№	Наименование показателя	0	1	2	3	4	NPV, руб.
1	Чистые денежные потоки, руб.	-1427866,3	1170850,3	1170850,3	1170850,3	1170850,3	
2	Коэффициент дисконтирования						
	0,1	1	0,909	0,826	0,751	0,683	
	0,2	1	0,833	0,694	0,578	0,482	
	0,3	1	0,769	0,592	0,455	0,350	
	0,4	1	0,714	0,510	0,364	0,260	
	0,5	1	0,667	0,444	0,295	0,198	
	0,6	1	0,625	0,390	0,244	0,153	
	0,7	1	0,588	0,335	0,203	0,112	
	0,8	1	0,556	0,309	0,171	0,095	

	0,9	1	0,526	0,277	0,146	0,077	
	1	1	0,500	0,250	0,125	0,062	
3	Дисконтированный денежный поток, руб.						
	0,1	-1427866	1064303,0	967122,3	879308,6	799690,8	2282558,0
	0,2	-1427866	975318,3	812570,1	676751,5	564349,8	1601123,0
	0,3	-1427866	900383,9	693143,4	532736,9	409797,6	1108195,0
	0,4	-1427866	835987,1	597133,7	426189,5	304421,1	735865,1
	0,5	-1427866	780957,2	519857,5	345400,8	231828,4	450177,6
	0,6	-1427866	731781,4	456631,6	285687,5	179140,1	225374,3
	0,7	-1427866	688460,0	392234,9	237682,6	131135,2	21646,3
	0,8	-1427866	650992,8	361792,7	200215,4	111230,8	-103635,0
	0,9	-1427866	615867,3	324325,5	170944,1	90155,4	-226574,0
	1,0	-1427866	585425,2	292712,6	146356,3	72592,7	-330780,0

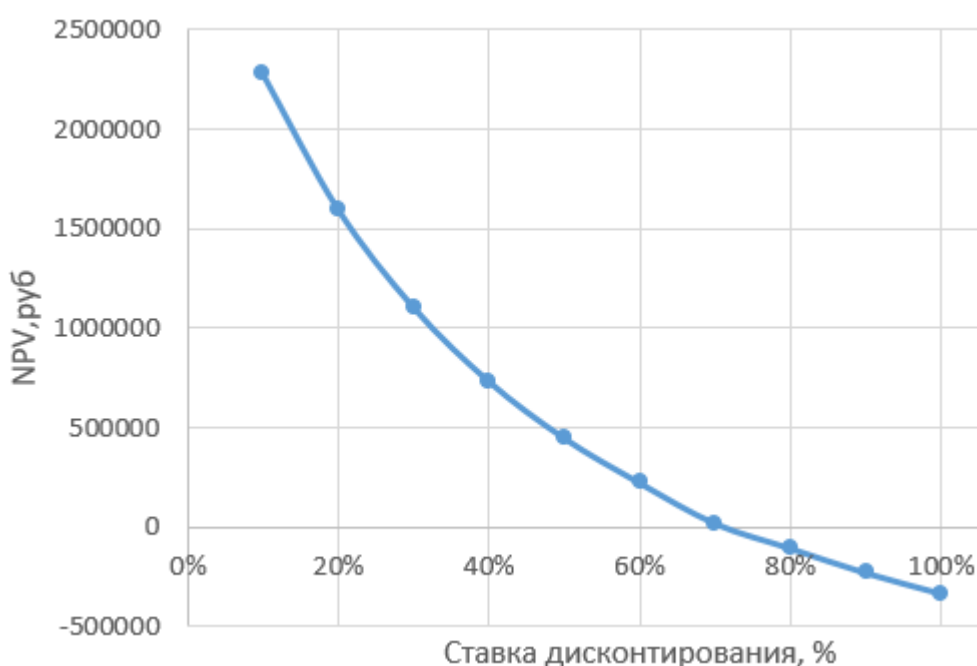


Рисунок 36 – Зависимость NPV от ставки дисконтирования

Из таблицы и графика следует, что по мере роста ставки дисконтирования чистая текущая стоимость уменьшается, становясь отрицательной. Значение ставки, при которой NPV обращается в нуль, носит название «внутренней ставки доходности» или «внутренней нормы прибыли». Из графика получаем, что IRR составляет 0,73.

$IRR > i$, проект эффективен.

Запас экономической прочности проекта: $73\% - 20\% = 53\%$

Дисконтированный срок окупаемости. Как отмечалось ранее, одним из недостатков показателя простого срока окупаемости является игнорирование в процессе его расчета разной ценности денег во времени.

Этот недостаток устраняется путем определения дисконтированного срока окупаемости. То есть это время, за которое денежные средства должны совершить оборот.

Наиболее приемлемым методом установления дисконтированного срока окупаемости является расчет кумулятивного (нарастающим итогом) денежного потока (таблица 25).

Таблица 25 – Дисконтированный срок окупаемости

№	Наименование показателя	Шаг расчета				
		0	1	2	3	4
1	Дисконтированный чистый денежный поток ($i=0,20$), руб.	-1427866,3	975708,6	813090,5	677575,4	564646,2
2	То же нарастающим итогом, руб.	-1427866,3	-452158	360932,5	1038507,9	1603154,1
3	Дисконтированный срок окупаемости	$DP_{диск} = 1 + (452158/813090,5) = 1,55$ года				

Социальная эффективность научного проекта учитывает социально-экономические последствия осуществления научного проекта для общества в целом или отдельных категорий населения или групп лиц, в том числе как непосредственные результаты проекта, так и «внешние» результаты в смежных секторах экономики: социальные, экологические и иные внеэкономические эффекты (таблица 26).

Таблица 26 – Критерии социальной эффективности

ДО	ПОСЛЕ
Отсутствие опытных данных о способах стабилизации напряжения системы электроснабжения на основе трансформатора Скотта	Получены данные о наиболее эффективном методе стабилизации напряжения системы питания с требуемыми значениями качества
Использование морально устаревших технологий в системах электроснабжения летательных аппаратов	Потенциально можно внедрить спроектированную вторичную систему питания на современные летательные аппараты различного назначения

7.8.2 Оценка сравнительной эффективности исследования

Определение эффективности происходит на основе расчета интегрального показателя эффективности научного исследования. Его нахождение связано с определением двух средневзвешенных величин: финансовой эффективности и ресурсоэффективности.

Интегральный показатель финансовой эффективности научного исследования получают в ходе оценки бюджета затрат трех (или более) вариантов исполнения научного исследования. Для этого наибольший интегральный показатель реализации технической задачи принимается за базу расчета (как знаменатель), с которым соотносятся финансовые значения по всем вариантам исполнения.

Интегральный финансовый показатель определяется как:

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп}} = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{\text{max}}}$$

где $I_{\text{финр}}^{\text{исп}}$ - интегральный финансовый показатель разработки;

Φ_i - стоимость i -го варианта исполнения;

Φ_{max} - максимальная стоимость исполнения (в т.ч. аналоги)

Интегральный показатель ресурсоэффективности определяется как:

$$I_p = \sum a_i \cdot b_i$$

где a_i - весовой коэффициент параметра разработки;

b_i - бальная оценка параметра.

Расчет интегрального показателя ресурсоэффективности проведем с помощью таблицы 27.

Таблица 27 – Сравнительная оценка характеристик

Критерии	Весовой коэффициент	Разработка	Аналог
1.Помехоустойчивость	0,15	3	5
2.Энергосбережение	0,2	4	2
3.Надежность	0,3	5	2
4.Удобство эксплуатации	0,2	5	3
5.Материалоемкость	0,15	4	3
ИТОГ	1	21	15

$$I_m^p = \sum a_i \cdot b_i = 0,15 \cdot 3 + 0,2 \cdot 4 + 0,3 \cdot 5 + 0,2 \cdot 5 + 0,15 \cdot 4 = 4,35$$

$$I_m^a = \sum a_i \cdot b_i = 0,15 \cdot 5 + 0,2 \cdot 2 + 0,3 \cdot 2 + 0,2 \cdot 3 + 0,15 \cdot 3 = 2,8$$

Интегральный показатель эффективности разработки $I_{финр}^p$ и аналога $I_{финр}^a$ определяется на основании интегрального показателя ресурсоэффективности и интегрального финансового показателя по формуле:

$$I_{финр}^p = \frac{I_m^p}{I_{ф}^p}; I_{финр}^a = \frac{I_m^a}{I_{ф}^a}$$

Сравнение интегрального показателя эффективности текущего проекта и аналогов позволит определить сравнительную эффективность проекта. Сравнительная эффективность проекта определяется по формуле:

$$\mathcal{E}_{ср} = \frac{I_{финр}^p}{I_{финр}^a}$$

где: $\mathcal{E}_{ср}$ – сравнительная эффективность проекта;

$I_{финр}^p$ – интегральный показатель разработки;

$I_{финр}^a$ – интегральный технико-экономический показатель аналога.

Сравнительная эффективность разработки по сравнению с аналогами представлена в таблице 28.

Таблица 28 – Сравнительная эффективность разработки

№ п/п	Показатели	Разработка	Аналог 1
1	Интегральный финансовый показатель разработки	0,24	0,20
2	Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки	4,35	2,80
3	Интегральный показатель эффективности	18,13	14,00
4	Сравнительная эффективность вариантов исполнения	1,3	1,01

7.9 Вывод по разделу

В данном разделе ВКР была проведена оценка эффективности научного исследования, определение перспективности, выявлены основные сильные и слабые стороны проекта, продуман план действий при возникновении кризисной ситуации.

Определена текущая чистая стоимость (NPV), равная 1603154,5 руб.; индекс доходности PI=2,12, внутренняя ставка доходности IRR=73%, Срок окупаемости PP_{дск}=1,55 года.

Сравнение значений интегральных показателей эффективности позволяет понять, что разработанный вариант проведения проекта является наиболее эффективным при решении поставленной в магистерской диссертации технической задачи с позиции финансовой и ресурсной эффективности.

Таким образом мы имеем ресурсоэффективный проект с высоким запасом финансовой прочности и коротким сроком окупаемости.