

Школа – Инженерная школа энергетики
 Направление подготовки – 13.03.02 Электроэнергетика и электротехника
 Отделение Электроэнергетики и электротехники

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы
Анализ устойчивости авиационного асинхронного генератора

УДК 629.73.064.53

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5А6Н	Щербакова Елизавета Петровна		

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор	Гарганеев А.Г.	Д.Т.Н.		

КОНСУЛЬТАНТЫ ПО РАЗДЕЛАМ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Спицына Л.Ю.	К.Э.Н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент ООД	Мезенцева И.Л.			

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
13.03.02 Электроэнергетика и электротехника	Тютева П.В.	К.Т.Н.		

Результаты обучения по направлению
13.03.02 Электроэнергетика и электротехника

Код результата	Результат обучения
<i>Профессиональные</i>	
Р 1	Применять соответствующие гуманитарные, социально-экономические, математические, естественно-научные и инженерные знания, компьютерные технологии для решения задач расчета и анализа <i>электрических устройств, объектов и систем</i> .
Р 2	Уметь формулировать задачи в области <i>электроэнергетики и электротехники</i> , анализировать и решать их с использованием всех требуемых и доступных ресурсов.
Р 3	Уметь проектировать <i>электроэнергетические и электротехнические системы и их компоненты</i> .
Р 4	Уметь планировать и проводить необходимые экспериментальные исследования, связанные с определением параметров, характеристик и состояния <i>электрооборудования, объектов и систем электроэнергетики и электротехники</i> , интерпретировать данные и делать выводы.
Р 5	Применять современные методы и инструменты практической инженерной деятельности при решении задач в области <i>электроэнергетики и электротехники</i> .
Р 6	Иметь практические знания принципов и технологий <i>электроэнергетической и электротехнической</i> отраслей, связанных с особенностью проблем, объектов и видов профессиональной деятельности профиля подготовки на предприятиях и в организациях – потенциальных работодателях.
<i>Универсальные</i>	
Р 7	Использовать знания в области менеджмента для управления комплексной инженерной деятельностью в области <i>электроэнергетики и электротехники</i>
Р 8	Использовать навыки устной, письменной речи, в том числе на иностранном языке, компьютерные технологии для коммуникации, презентации, составления отчетов и обмена технической информацией в областях <i>электроэнергетики и электротехники</i> .
Р 9	Эффективно работать индивидуально и в качестве члена или лидера команды, в том числе междисциплинарной, в области <i>электроэнергетики и электротехники</i> .
Р 10	Проявлять личную ответственность и приверженность нормам профессиональной этики и нормам ведения комплексной инженерной деятельности.
Р 11	Осуществлять комплексную инженерную деятельность в области <i>электроэнергетики и электротехники</i> с учетом правовых и культурных аспектов, вопросов охраны здоровья и безопасности жизнедеятельности.
Р 12	Быть заинтересованным в непрерывном обучении и совершенствовании своих знаний и качеств в области <i>электроэнергетики и электротехники</i> .

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
 федеральное государственное автономное
 образовательное учреждение высшего образования
 «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (ТПУ)

Школа – Инженерная школа энергетики
 Направление подготовки (специальность) – 13.03.02 Электроэнергетика и электротехника
 Отделение Электроэнергетики и электротехники

УТВЕРЖДАЮ:
 Руководитель ООП
 _____ Тютеева П.В.
 (Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

ЗАДАНИЕ на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

Бакалаврской работы

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

Студенту:

Группа	ФИО
5А6Н	Щербаковой Елизавете Петровне

Тема работы:

Анализ устойчивости авиационного асинхронного генератора	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	приказ № 45-39/с от 14.02.2020

Срок сдачи студентом выполненной работы:

--	--

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

<p>Исходные данные к работе</p> <p><i>(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).</i></p>	<p>Объект исследования: асинхронный генератор</p> <ul style="list-style-type: none"> • Мощность $P_n = 15$ кВт ; • Выходное напряжение $U = 115$ В ; • Частота выходного напряжения $f = 400$ Гц .
---	---

<p>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов <i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</i></p>	<ul style="list-style-type: none"> • Обзор применяемых автономных генераторов с самовозбуждением • Изучение способов и трактовок самовозбуждения АГ • Построение структурной схемы АГ • Определение условий самовозбуждения АГ • Исследование устойчивости АГ • Социальная ответственность • Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение
<p>Перечень графического материала <i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i></p>	<ul style="list-style-type: none"> • Структурная схема асинхронного генератора с самовозбуждением; • Частотные характеристики передаточной функции асинхронного генератора; • Переходные характеристики напряжения асинхронного генератора; • Технико-экономические показатели.
<p>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы <i>(с указанием разделов)</i></p>	
<p>Раздел</p>	<p>Консультант</p>
<p>Социальная ответственность</p>	<p>Мезенцева Ирина Леонидовна</p>
<p>Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсоснабжение</p>	<p>Спицына Любовь Юрьевна</p>
<p>Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:</p>	
<p>Все разделы выпускной квалификационной работы написаны на русском языке</p>	

<p>Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику</p>	
--	--

Задание выдал руководитель

<p>Должность</p>	<p>ФИО</p>	<p>Ученая степень, звание</p>	<p>Подпись</p>	<p>Дата</p>
<p>Профессор</p>	<p>Гарганеев А.Г.</p>	<p>Д.Т.Н.</p>		

Задание принял к исполнению студент:

<p>Группа</p>	<p>ФИО</p>	<p>Подпись</p>	<p>Дата</p>
<p>5А6Н</p>	<p>Щербакова Елизавета Петровна</p>		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА
«ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И
РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»

Студенту:

Группа	ФИО
5А6Н	Щербаковой Елизавете Петровне

Школа	ИШЭ	Отделение школы (НОЦ)	ЭЭ
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	13.03.02 Электроэнергетика и электротехника/ЭОЛА

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

<i>1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих</i>	Бюджет проекта не более 235000 рублей, в том числе затраты на оплату труда не более 150000 рублей.
<i>2. Нормы и нормативы расходования ресурсов</i>	Накладные расходы – 16%; Районный коэффициент – 30%. Премияльный коэффициент – 30%; Коэффициент дополнительной заработной платы – 20%.
<i>3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования</i>	Премияльный коэффициент, районный коэффициент, коэффициент доплат и надбавок, заработная плата по тарифной ставке.

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

<i>1. Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения</i>	Асинхронный генератор с самовозбуждением как элемент автономных систем электроснабжения имеет ряд высоких показателей не только с точки зрения ресурсоэффективности, но и с точки зрения надежности, безопасности, энергоэкономичности и т.д.
<i>2. Планирование и формирование бюджета научных исследований</i>	Расчет основной заработной платы, баланс рабочего времени, общая стоимость оборудования и материалов, отчисления во внебюджетные фонды
<i>3. Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования</i>	Определение эффективности происходит на основе расчета интегрального показателя эффективности технического проекта. Его нахождение связано с определением двух средневзвешенных величин: финансовой эффективности и ресурсоэффективности.

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

<ol style="list-style-type: none"> 1. График Ганта 2. Оценочная карта QuaD анализа для модели АГ 3. Оценка конкурентоспособности технических решений 4. Оценка ресурсной, финансовой и экономической эффективности НИ

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

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН	Спицына Л.Ю.	К.Э.Н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5А6Н	Щербакова Елизавета Петровна		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
5А6Н	Щербаковой Елизавете Петровне

Школа	ИШЭ	Отделение (НОЦ)	ЭЭ
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	13.03.02 Электроэнергетика и электротехника/ЭОЛА

Тема ВКР:

Анализ устойчивости авиационного асинхронного генератора	
Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:	
1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения	Объект исследования: асинхронный генератор с самовозбуждением; Методика исследования: моделирование в программной среде MatLAB; Область применения: автономные системы электроснабжения; Рабочая зона: электротехническая лаборатория.
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности: <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. 	<ul style="list-style-type: none"> – СанПиН 2.2.4.548-96 – ГОСТ 12.1.006-84 ССБТ – ГОСТ 12.1.038-82 ССБТ
2. Производственная безопасность: 2.1. Анализ выявленных вредных и опасных факторов 2.2. Обоснование мероприятий по снижению воздействия	Вредные факторы: отклонение показателей микроклимата, повышенный уровень электромагнитных излучений, недостаточное освещение рабочего места Опасные факторы: повышенное значение напряжения.
3. Экологическая безопасность:	Не несет опасных и вредных воздействий на атмосферу, гидросфера и литосфера. Влияние на селитебную зону отсутствует, т.к. объект исследования не производит выбросов и сбросов в окружающую среду.
4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:	Возможная ЧС: пожар по причине короткого замыкания.

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

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент ООД	Мезенцева И.Л.			

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5А6Н	Щербакова Елизавета Петровна		

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
 федеральное государственное автономное
 образовательное учреждение высшего образования
 «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (ТПУ)

Школа – Инженерная школа энергетики
 Направление подготовки (специальность) – 13.03.02 Электроэнергетика и электротехника
 Отделение Электроэнергетики и электротехники
 Период выполнения _____ (осенний / весенний семестр 2019 /2020 учебного года) _____

Форма представления работы:

Бакалаврская работа

(бакалаврская работа, дипломный проект/работа, магистерская диссертация)

КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ-ПЛАН выполнения выпускной квалификационной работы

Срок сдачи студентом выполненной работы:	
--	--

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
06.03.2020	Введение	5
19.03.2020	Обзор применяемых автономных генераторов с самовозбуждением	10
17.04.2020	Определение условий самовозбуждения и устойчивости работы асинхронного генератора	20
30.04.2020	Анализ устойчивости асинхронного генератора	25
04.05.2020	Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	15
15.05.2020	Социальная ответственность	15
25.05.2020	Заключение	5
06.06.2020	Оформление	5

Составил руководитель ВКР:

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

СОГЛАСОВАНО:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
13.03.02 Электроэнергетика и электротехника	Тютева П.В.	к.т.н.		

Реферат

Выпускная квалификационная работа содержит: 77 с., 21 рисунок, 19 таблиц, 26 источников.

Ключевые слова: асинхронный генератор, самовозбуждение, емкостное возбуждение, трактовки самовозбуждения, теория автоматического управления, устойчивость, система генерации.

Объектом исследования является асинхронный генератор с самовозбуждением.

Целью данной выпускной квалификационной работы является исследование устойчивости авиационного асинхронного генератора с самовозбуждением.

В результате работы получены математические выражения и условия самовозбуждения АГ с позиции теории автоматического управления. Доказано, что самовозбуждение АГ связано с явлением параметрического резонанса. Также было показано, что неустойчивость системы, то есть нарастание колебаний, является необходимым условием для процесса генерирования. При этом существуют критические значения емкости и сопротивления нагрузки, при которых будет происходить срыв генерирования электроэнергии.

Выпускная квалификационная работа выполнена в текстовом редакторе Microsoft Word 2013 на белой бумаге формата А4 с использованием программ MathCAD, MATLAB/Simulink, Mathtype.

Определения, обозначения, сокращения, нормативные ссылки

АГ – асинхронный генератор

АМ – асинхронная машина

АИН – автономный инвертор напряжения

БМПТ – бесконтактная машина постоянного тока

ГПТ – генератор постоянного тока

КПД – коэффициент полезного действия

ЛА – летательный аппарат

СГПМ – синхронный генератор с постоянными магнитами

СГЭЭ – система генерирования электроэнергии

ТАУ – теория автоматического управления

ЭДС – электродвижущая сила

Оглавление

Введение	13
1. Обзор применяемых автономных генераторов с самовозбуждением.....	15
1.1 Сравнение систем генерирования электроэнергии автономных объектов	15
1.2 Принцип работы асинхронного генератора	17
1.3 Способы возбуждения асинхронных генераторов.....	19
1.4 Трактовки явления самовозбуждения асинхронных генераторов	21
2. Определение условий самовозбуждения и устойчивости работы асинхронного генератора.....	27
2.1 Описание электромеханических систем с позиций теории автоматического управления	27
2.2 Определение условий самовозбуждения АГ	27
2.3 Определение условий самовозбуждения ГПТ	32
2.4 Оценка методов ТАУ применительно к электромеханическим системам.....	35
2.5 Представление явления самовозбуждения АГ через понятия устойчивости ..	36
3. Анализ устойчивости асинхронного генератора.....	37
3.1 Определение условий самовозбуждения частотными методами.....	37
3.2 Моделирование асинхронного генератора с самовозбуждением	40
3.3 Исследование устойчивости асинхронного генератора путем изменения параметров	42
4. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	45
4.1 Потенциальные потребители результатов НИТ	45
4.2 Анализ конкурентных технических решений	46
4.3 Технология QuaD	47
4.4 Структура работы в рамках научного исследования.....	48
4.5 Определение трудоемкости выполнения работ	50
4.6 Разработка графика проведения научного исследования	51
4.7 Расчет материальных затрат НИР	53
4.8 Основная и дополнительная заработная плата	54
4.9 Формирование бюджета затрат НИР	57
4.10 Определение ресурсоэффективности проекта	58
Выводы по разделу	60
5. Социальная ответственность.....	61
Введение.....	61

5.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности.....	62
5.1.1. Специальные (характерные для рабочей зоны исследователя) правовые нормы трудового законодательства.....	62
5.1.2. Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны	63
5.2 Профессиональная социальная безопасность	64
5.2.1 Вредные и опасные производственные факторы	64
5.2.2 Анализ вредных факторов	64
5.2.3 Анализ опасных факторов	68
5.3 Экологическая безопасность.....	69
5.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях.....	71
Вывод по разделу	72
Заключение.....	73
Список литературы.....	75

Введение

Одной из наиболее приоритетных задач в современной энергетике является проектирование и дальнейшее создание надежных и эффективных систем генерирования электроэнергии (СГЭЭ). Особенно важно это направление для автономных объектов, в авиационной промышленности. Новые источники электроэнергии должны обладать улучшенными энергетическими, массогабаритными и стоимостными показателями. Решающую роль в этом вопросе играет тип электромеханических преобразователей, используемых в качестве генераторов. На сегодняшний день системы генерирования сконструированы с использованием синхронных машин и машин постоянного тока. Несмотря на все достоинства, данные типы машин обладают множеством недостатков, которые ограничивают область их применения. Асинхронный генератор предлагает преимущества с точки зрения его низкой стоимости, простой и прочной конструкции, защиты от коротких замыканий, обеспечения стабильного уровня выходного напряжения при изменении нагрузки и простоты обслуживания на автономных объектах. Однако отсутствие малогабаритных источников емкостной реактивной энергии для возбуждения и сложность регулирующих и стабилизационных схем ограничивает применение асинхронной машины в качестве автономного генератора.

Перспективы совершенствования асинхронный генераторов и их более широкого внедрения связаны с проводимой в настоящее время разработкой высокоэффективных лёгких конденсаторов.

Развитие электронной и полупроводниковой техники позволяет иначе решить данный вопрос. Источником реактивной мощности также может служить автономный инвертор напряжения.

Таким образом, использование автономного АГ с самовозбуждением является перспективным направлением в авиационной промышленности,

поэтому обеспечение динамической устойчивости асинхронных генераторов является одной из наиболее актуальных задач.

Целью данной выпускной квалификационной работы является исследование устойчивости авиационного асинхронного генераторов с самовозбуждением. Объектом исследования является асинхронный генератор с самовозбуждением.

1. Обзор применяемых автономных генераторов с самовозбуждением

1.1 Сравнение систем генерирования электроэнергии автономных объектов

К системам генерирования электроэнергии (СГЭЭ) всегда предъявлялись высокие требования в части надежности и эффективности. Для автономных систем, в частности для летательных аппаратов, данные требования особенно высоки, поскольку при эксплуатации летных устройств любая неисправность может иметь фатальный характер. Специфика таких устройств заключается в тяжелых условиях работы, которые характеризуются следующими факторами: широким диапазоном температур, разреженностью атмосферы, большими механическими или электрическими перегрузками.

Источники электроэнергии автономных систем должны удовлетворять таким требованиям, как простота конструкции, удобство обслуживания, высокая удельная мощность (кВА/кг), иначе говоря, отношение мощности к массе, стабильность выходных электрических параметров.

Массу и габаритные размеры источников электроэнергии уменьшают за счет увеличения рабочей частоты напряжения. При этом срок службы авиационных генераторов значительно снижается, по сравнению общепромышленными генераторами, вследствие чего необходимо применять высококачественные электротехнические материалы с высокой степенью их использования, использовать эффективные системы охлаждения, так как полезная мощность, которую можно получить от генератора, в основном определяется количеством тепловых потерь, отводимых от него, то есть степенью его охлаждения. [1, 2]

На летательных аппаратах используются генераторы постоянного и переменного тока.

Говоря о генераторах постоянного тока, основным фактором, ограничивающим их использование борту ЛА, является наличие щеточно-коллекторного узла, который увеличивает массу, стоимость, понижает КПД и надежность в условиях разреженности атмосферы. Недостатки коллекторных ГПТ устраняются в бесконтактных машинах постоянного тока (БМПТ). При сравнении технико-экономических показателей БМПТ и обычного коллекторного ГПТ, можно сделать вывод, что БМПТ имеют более высокий КПД, но большую суммарную массу машины за счет полупроводниковых элементов [2].

В настоящее время системы генерирования в основном построены на базе синхронных машины с постоянными магнитами с использованием преобразовательно-регулирующих устройств – статических преобразователей (автономных инверторов и выпрямителей). Такими генераторами легко управлять, они имеют жесткую внешнюю характеристику, обладают неплохими массогабаритными показателями [3]. Но, несмотря на все достоинства, у таких систем есть и недостатки, связанные с использованием постоянных магнитов, основными из которых являются их высокая стоимость, возможность размагничивания при высоких температурах, низкая механическая прочность некоторых магнитотвердых оксидных магнитов [4].

В настоящее время перспективным является использование систем генерирования электроэнергии на основе асинхронных генераторов с самовозбуждением.

Асинхронные генераторы отличаются высокой надежностью и простотой обслуживания, обладают невысокой стоимостью. Они легко включаются на параллельную работу даже при сравнительно больших рассогласованиях угловых скоростей. Форма кривой напряжения АГ ближе к синусоидальной, чем у синхронных генераторов при работе на одну и ту же нагрузку [5]. Несмотря на необходимость использования дополнительных

источников реактивной энергии, асинхронные генераторы обладают наименьшими массогабаритными показателями.

1.2 Принцип работы асинхронного генератора

Для осуществления генераторного режима работы асинхронной машины, ее нужно включить в сеть переменного тока и с помощью какого-либо первичного двигателя вращать в сторону вращения магнитного поля со скоростью n , превышающей синхронную скорость. Скольжение машины при этом отрицательно. В соответствии с принципом обратимости электрических машин асинхронный двигатель перейдет в генераторный режим.

Рассмотрим активные и реактивные относительно ЭДС E_2 составляющие токи I_2 (рисунок 1.1).

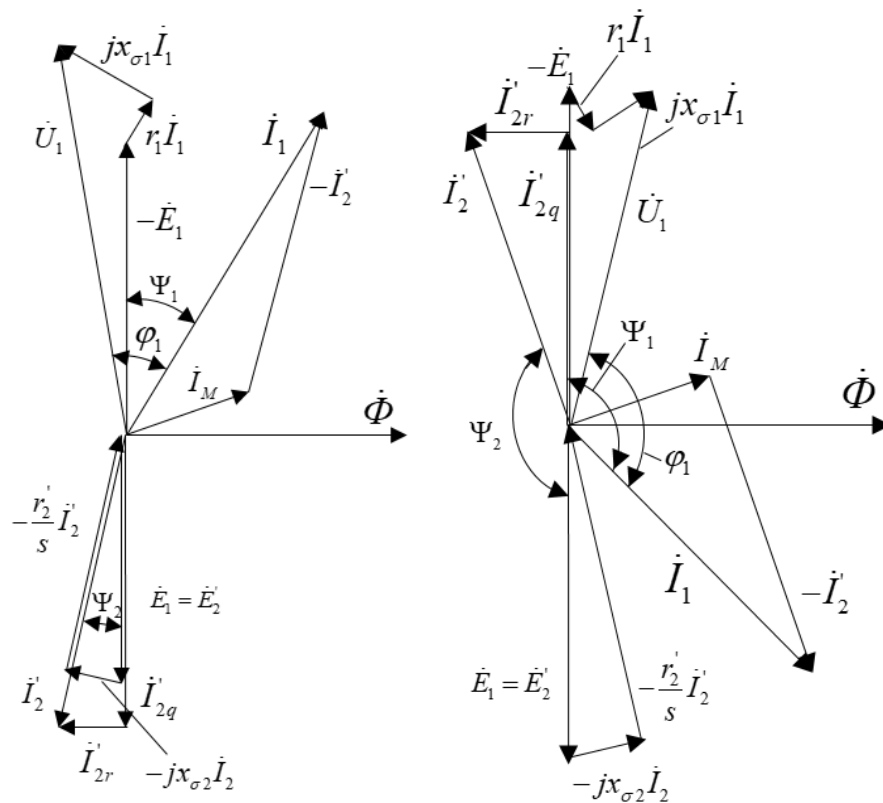


Рисунок 1.1 – Векторные диаграммы асинхронной машины при работе в режиме а) двигателя, б) генератора

В генераторном режиме $s < 0$ и $I_{2r}' > 0$, а величина I_{2a} изменит знак на противоположный. Физически это можно объяснить тем, что поле

вращается относительно ротора по сравнению с двигательным режимом в обратную сторону, вследствие чего изменяются знаки ЭДС E_{2s} и активной составляющей тока I_2 . В результате этого вращающий момент также изменит свой знак, т. е. он будет действовать против направления вращения и становится тормозящим.

Вектор первичного тока $\dot{I}_1 = \dot{I}_m + (-\dot{I}_2')$ вследствие поворота $-\dot{I}_2'$ почти на 180° также поворачивается в сторону вращения часовой стрелки. При этом $\varphi_1 > 90^\circ$ и $I_{1a} = I_1 \cos \varphi_1 < 0$; $P_1 = m_1 U_1 I_1 \cos \varphi_1 < 0$, т. е. активные составляющие первичного тока и первичной мощности изменяют свой знак. Из чего следует, что машина будет не потреблять активную мощность, как при работе в режиме двигателя, а будет отдавать ее в сеть, т. е. будет работать в режиме генератора и преобразовывать механическую энергию в электрическую.

Направление вектора падения напряжения $-\frac{r_2'}{s} \dot{I}_2'$ будет совпадать с направлением \dot{I}_2' , так как значение s отрицательно и поэтому величина $-\frac{r_2'}{s}$ положительна.

Реактивные составляющие первичного тока $I_{1r} = I_1 \sin \varphi_1$ и первичной мощности $Q_1 = m_1 U_1 I_1 \sin \varphi_1$ при переходе машины из двигательного режима в генераторный сохраняют свои знаки. Это означает, что асинхронный генератор также потребляет из сети реактивную мощность и индуктивный ток [6].

Следовательно, при работе в генераторном режиме асинхронная машина может быть подключена к трехфазной сети, из которой она будет потреблять реактивную мощность и отдавать в сеть активную. Наряду с этим асинхронный генератор может работать также в режиме самовозбуждения на отдельную сеть, получая реактивный ток возбуждения от батареи

конденсаторов или синхронного компенсатора, подключенных к обмотке статора.

1.3 Способы возбуждения асинхронных генераторов

При работе в генераторном режиме асинхронная машина потребляет намагничивающий ток для создания магнитного потока, вследствие чего ей требуется источник реактивной мощности. В качестве такого источника можно использовать конденсаторную батарею, которая подключается к обмоткам статора (рисунок 1.2), либо полупроводниковые преобразователи энергии, которые можно подключать как к статору, так и к ротору.

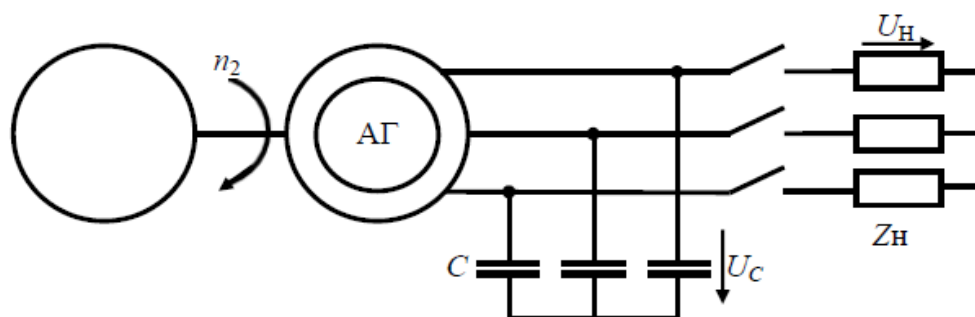


Рисунок 1.2 – Принципиальная схема АГ с конденсаторным возбуждением

Необходимость использования конденсаторной батареи в качестве источника реактивной энергии долгое время было фактором, сдерживающим применение асинхронных генераторов на летательных аппаратах, поскольку они не только увеличивают массогабаритные и стоимостные показатели, но и не дают возможности регулировать амплитуду и частоту генерируемого напряжения.

Напряжение асинхронного генератора сильно меняется в зависимости от изменений нагрузки, особенно в случае индуктивной нагрузки напряжение падает очень быстро. Это происходит потому, что конденсаторы должны обеспечивать всю реактивную мощность, необходимую как для нагрузки, так и для генератора, а любая реактивная мощность, отводимая на нагрузку, перемещает генератор обратно вдоль его кривой намагничивания, вызывая значительное падение напряжения генератора. В случае работы на активно-

емкостную нагрузку, требуется меньшая величина емкости конденсаторной батареи. И соответственно при работе на активно-индуктивную нагрузку необходимо увеличение емкости фазных конденсаторов для самовозбуждения АГ [7,8].

Более того, в процессе самовозбуждения емкость конденсатора должна находиться в определенном диапазоне, имеющем нижнюю и верхнюю границы, выход из которого может привести к срыву процесса самовозбуждения генератора и генерации электроэнергии. Поэтому необходимо использовать специальные методы для увеличения эффективной емкости во время запуска, а затем для ее уменьшения во время нормальной работы. Однако при таких способах возможно лишь ступенчато изменять емкость конденсатора.

Исходя из вышеизложенного, можно сделать вывод, что конденсаторное возбуждение АГ сопровождается некоторыми трудностями регулирования электрических параметров выходного напряжения.

Источником реактивной мощности также может служить автономный инвертор напряжения (рисунок 1.3) [9]. На входе которого ставят конденсатор большой емкости, за счет чего возможно получить емкостной ток, требуемый для возбуждения АГ.

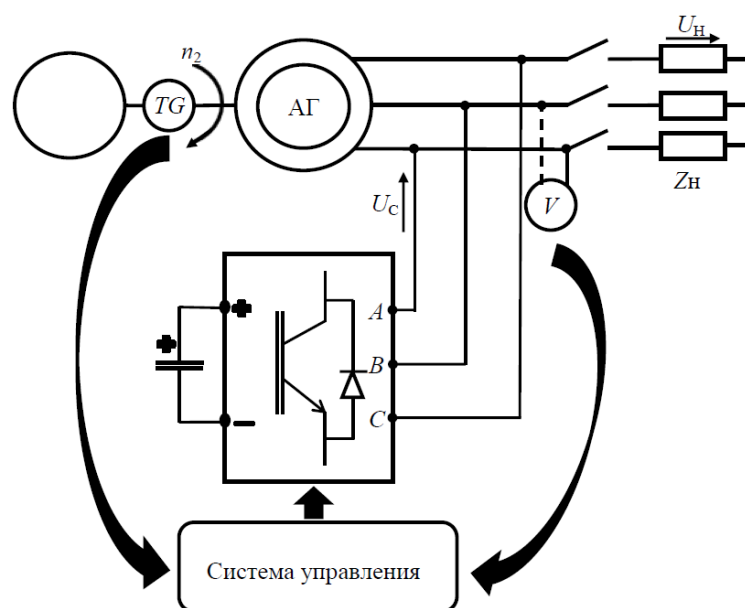


Рисунок 1.3 – Принципиальная схема АГ с инверторным возбуждением

В инверторе, по сравнению с конденсаторной батареей, есть возможность плавно регулировать величину емкостного тока, необходимую для возбуждения, а затем для работы генератора.

Помимо описанных способов возбуждения, в качестве источника реактивной энергии также может выступать и электрическая сеть с подключенными синхронно-реактивными машинами или синхронными компенсаторами. Однако такие системы не имеют отношения к автономным объектам, потому в данной работе о них речь не пойдет.

1.4 Трактовки явления самовозбуждения асинхронных генераторов

В литературе можно найти несколько основных трактовок, объясняющих явление самовозбуждения асинхронного генератора: энергетическая трактовка, классическая – основанная на явлении остаточной намагниченности, классического резонанса, параметрического резонанса [8,10].

Согласно энергетической трактовке процесс самовозбуждения асинхронного генератора возможен лишь при условии, что величина поступающей в контур энергии не должна быть меньше теряемой. Если данное условие не выполняется, то колебания в контуре будут затухать [8].

Классическая трактовка объясняет самовозбуждение АГ наличием остаточной намагниченности ротора. В данном случае предполагается, что процесс самовозбуждения асинхронного генератора аналогичен процессу самовозбуждения генератора постоянного тока параллельного возбуждения.

Согласно выражению $E = 4,44 \cdot f \cdot \Phi \cdot C$ для создания ЭДС в обмотках статора, помимо частоты вращения необходимо наличие остаточного магнитного потока. Итак, если ротор асинхронной машины привести во вращение внешним крутящим моментом согласно с направлением остаточного магнитного потока, с частотой выше синхронной, этот остаточный магнитный поток в роторе машины будет наводить ЭДС в

обмотках статора, пропорциональную величине магнитного потока $E = d\Phi / dt$. В статоре под действием ЭДС будет возникать ток, имеющий емкостную составляющую благодаря конденсаторам, подключенным к зажимам статора, который будет подмагничивать ротор и создавать магнитный поток, сонаправленный с остаточным магнитным потоком, что в свою очередь приведет к увеличению ЭДС и тока и еще большему увеличению потока и так далее. Напряжение будет увеличиваться до тех пор, пока не пересечется с вольтамперной характеристикой конденсаторной батареи (рисунок 1.4). Конечное значение напряжения статора ограничено магнитным насыщением машины.

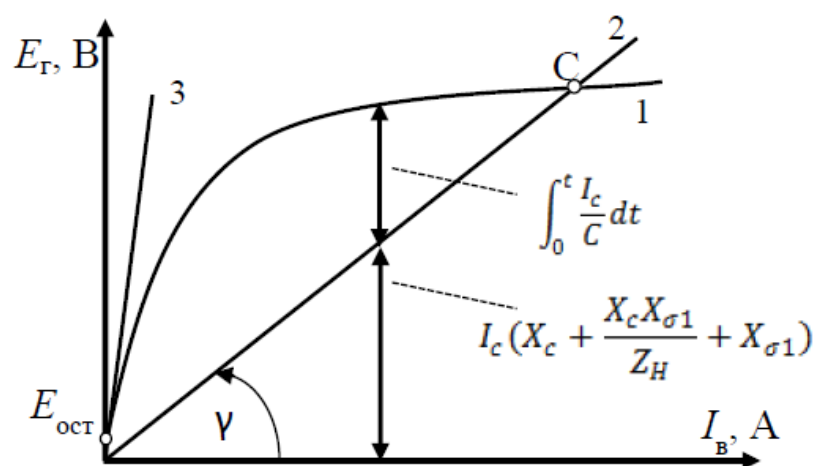


Рисунок 1.4 – Характеристика асинхронного генератора: 1 – характеристика холостого хода, 2 – вольтамперная характеристика конденсаторной батареи, 3 – критическое значение сопротивления

Опроверяет теорию остаточной намагниченности А.В. Нетушил в [10]. Результаты экспериментов показали, что АГ возбуждался при гладком немагнитном роторе и не возбуждался при значительном остаточном намагничивании. Кроме того, были получены одинаковые показатели самовозбуждения по частоте полученных колебаний и скорости вращения асинхронного генератора, ротор которого был сначала специально намагничен и затем размагничен. Следовательно, остаточный магнитный поток не является обязательным условием для самовозбуждения АГ, однако

наличие небольшого количества первичной энергии, представленной в виде остаточного магнитного потока машины позволяет существенно уменьшить время самовозбуждения.

Таким образом, можно сделать вывод, что наличие остаточного магнитного потока не является обязательным условием для самовозбуждения АГ. Однако наличие небольшого количества первичной энергии, представленной в виде остаточного магнитного потока машины позволяет существенно уменьшить время самовозбуждения.

Затем было выдвинуто предположение, что самовозбуждение генератора может быть связано с процессом классического резонанса в индуктивно-емкостном контуре линейной цепи. Под резонансом понимается избирательный отклик колебательного контура на периодическое внешнее воздействие с частотой, близкой к частоте собственных колебаний. Резонанс характеризуется резким возрастанием амплитуды вынужденных колебаний тока и напряжения [11].

Для возникновения данного вида резонанса необходимо, чтобы на зажимах статора была независимая возбуждающая ЭДС с частотой собственных колебаний резонансного контура:

$$f_{\text{соб}} = \frac{1}{2\pi\sqrt{L \cdot C}}, \quad (1.1)$$

Где L – индуктивность АГ, C – фазная емкость конденсатора.

Несмотря на это, процесс самовозбуждения АГ можно наблюдать и при отсутствии вынуждающей ЭДС, что указывает на ошибочность данного суждения [12].

Лучше всего явление самовозбуждения АГ объясняет трактовка параметрического резонанса. Суть явления параметрического резонанса состоит в том, что в электрическом колебательном контуре с периодически изменяющимися реактивностями колебательный процесс беспредельно возрастает (контур неустойчивости по Ляпунову) [13].

Наиболее сильные проявления резонанса можно наблюдать при резком, скачкообразном изменении реактивных элементов. Емкость и индуктивность могут изменяться по отдельности или совместно. Глубина модуляции реактивного параметра, или другими словами величина изменения реактивного параметра, влияет на эффективность вложенной энергии.

В электрической машине периодически изменяющимся параметром являются индуктивные сопротивления, зависящие от взаимного положения пазов статора и короткозамкнутых стержней ротора.

В отличие от классического резонанса, при котором к зажимам статора должен подключаться источник возбуждающей ЭДС, здесь источник не требуется. Необходимо лишь, чтобы в машине присутствовало небольшое количество первичной энергии, которая может быть представлена в виде остаточного магнитного потока, напряжения на конденсаторе и т.д.

Рассмотрим явление параметрического резонанса на примере последовательного резонансного контура (рисунок 1.5) [13].

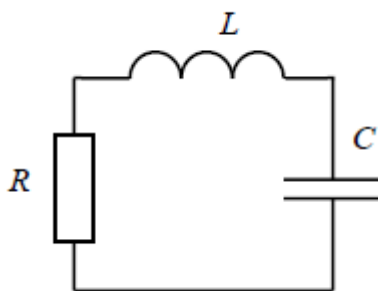


Рисунок 1.5 – Последовательный резонансный контур

Колебательный процесс заключается в периодическом непрерывном обмене энергии между емкостью и индуктивностью, часть электромагнитной энергии преобразуется в теплоту на активном сопротивлении.

Чтобы избежать затухания колебаний, должно быть выполнено следующее условие: количество вносимой в контур энергии должно превышать расходуемое значение, а поступление энергии должно происходить одновременно с ее расходом. Таким образом формируется

условие амплитудного баланса. Энергия, запасенная в цепи, может быть увеличена резким изменением индуктивности или емкости.

Емкость конденсатора можно изменять, меняя расстояние между пластинами. Пусть емкость резко изменится, когда накопленная в ней энергия будет максимальной, в этот момент энергия будет вкладываться в контур. Спустя четверть периода конденсатор полностью разрядится и накопленная в нем энергия будет равна нулю, в этот момент расстояние между пластинами конденсатора уменьшается и емкость увеличивается до прежнего значения, но при этом расхода энергии не происходит. Следовательно, энергия будет вноситься в контур через емкость, но не будет выкачиваться из него.

Таким же образом можно увеличивать энергию в контуре за счет изменения индуктивности. Индуктивность можно менять следующим образом: если вдвигать в соленоид сердечник, индуктивность будет уменьшаться и, соответственно, если его выдвигать, индуктивность увеличится. Итак, когда энергия, накопленная в индуктивности будет максимальна, индуктивность уменьшается (вдвигаем сердечник). Через четверть периода, когда энергия, запасенная в индуктивности будет равна нулю, увеличиваем индуктивность. Энергия в контуре не изменяется.

Мгновенные значения запасенной энергии в емкости и индуктивности рассчитываются следующим образом:

$$W_C = \frac{q^2}{2C} = \frac{CU^2}{2}, \quad (1.2)$$

$$W_L = \frac{\Phi}{2L} = \frac{LI^2}{2}, \quad (1.3)$$

где C – емкость контура;

L – индуктивность контура;

I – величина силы тока;

U – напряжение;

Φ – магнитный поток;

q – заряд между пластинами.

Энергия, рассеиваемая на активном сопротивлении за период будет равна:

$$W_R = \frac{I_m^2 R}{2} T = \frac{I_m^2 R}{2} \frac{2\pi}{\omega_0} = \pi I_m^2 R \sqrt{LC}. \quad (1.4)$$

Как уже говорилось, параметрический резонанс будет иметь место, при условии, что энергия, вкладываемая в контур, превосходит энергию, расходуемую на потери. Это условие будет выполняться при следующих неравенствах:

$$\frac{\Delta C}{C} > \frac{\pi}{Q}, \quad (1.5)$$

$$\frac{\Delta L}{L} > \frac{\pi}{Q}, \quad (1.6)$$

где Q – добротность контура;

ΔC , ΔL – изменение реактивного параметра емкости и индуктивности.

Из представленного выражения следует, что относительное изменение реактивного параметра должно быть больше обратной добротности контура.

Как было отмечено раньше, при работе АГ в машине происходит периодическое изменение индуктивности, за счет выраженных пазов и зубцов, а величина емкости конденсаторной батареи не изменяется. Стоит полагать, что самовозбуждение АГ происходит как раз за счет этого эффекта.

Система должна быть устойчивой по Ляпунову, это является гарантией того, что свободный процесс в контуре не увеличивается до бесконечности. В обычном контуре такой проблемы не возникает, поскольку свободный процесс в ней экспоненциально затухает, а при отсутствии тепловых потерь он изменяется в конечных пределах. Произвести оценку устойчивости можно любым из возможных критериев устойчивости.

2. Определение условий самовозбуждения и устойчивости работы асинхронного генератора

2.1 Описание электромеханических систем с позиций теории автоматического управления

Наиболее простым методом изучения электромеханических систем с точки зрения моделирования являются методы теории автоматического управления (ТАУ). Данный метод дает наиболее обобщенное описание работы системы с минимальным количеством учитываемых факторов. Он используется для изучения динамических свойств систем, или другими словами позволяет рассмотреть поведение объекта во времени.

Для исследования характеристик объекта требуется составить структурную схему системы через типовые звенья ТАУ: безынерционное звено, апериодические звенья первого и второго порядка, дифференцирующее звено и т.д. Схема составляется из отдельных элементов, имитирующих конкретные явления, и представляет собой логическую структуру. Таким образом, можно получить информацию о состоянии системы или процесса в определенный момент времени.

Процессы самовозбуждения в электрических машинах различной конструкции с позиций ТАУ основываются на одних и тех же принципах устойчивости (баланс фаз и амплитуд, наличие положительной обратной связи, и т.п.). Эти процессы могут быть проанализированы на основе структурных схем, которые являются операторной формой системы дифференциальных уравнений электрической машины [14].

2.2 Определение условий самовозбуждения АГ

Схема классического АГ включает батарею конденсаторов, выступающую источником реактивной энергии. Для построения структурной схемы АГ используются уравнения токов и напряжений в операторной форме

[14]. При составлении системы уравнений (2.1) принимают следующие допущения:

- приводной двигатель имеет “бесконечно большую” мощность и постоянную частоту вращения;
- на процесс возбуждения оказывают влияние реактивные элементы схемы;
- нагрузка генератора не должна превышать критическое значение, которое может привести к срыву процесса самовозбуждения и генерации электроэнергии.

$$\begin{aligned} i_C &= C \frac{dU_C}{dt}, \\ i_{ст} &= i_C + i_n, \\ u_n &= u_C = \frac{d\Psi_{ст}}{dt} - i_{ст} R_{ст} - L_{\sigma 1} \frac{di_{ст}}{dt}, \end{aligned} \quad (2.1)$$

где u_C, u_n (i_C, i_n) – напряжения (токи) на конденсаторе и нагрузке;

$R_{ст}, L_{\sigma 1}$ – активное сопротивление и индуктивность обмотки статора.

Наличие небольшого количества первичной энергии в системе, которая может быть представлена в виде остаточного магнитного потока $\Phi_{ост}$, приведет к тому, что при вращении ротора со скоростью выше синхронной на выходе генератора будет наводиться ЭДС E_r , пропорциональная скорости изменения магнитного потока:

$$E_r = - \frac{d\Phi_{ост}}{dt} = C_{АГ} \omega_{рот} \Phi_{ост}, \quad (2.2)$$

где $C_{АГ}$ – конструктивный коэффициент, характеризующий АГ.

Под действием ЭДС в цепи статора будет течь ток, который за счет емкости будет иметь емкостную составляющую. Этот ток возбуждения, протекая по обмотке статора с числом витков $\omega_{ст}$, будет создавать магнитодвижущую силу F и соответствующий магнитный поток Φ . Конечное значение напряжения статора будет ограничиваться магнитным насыщением машины. Таким образом, наличие конденсаторной батареи

способствует созданию контура положительной обратной связи по магнитному потоку. В итоге, получаем структурную схему АГ (рисунок 2.1).

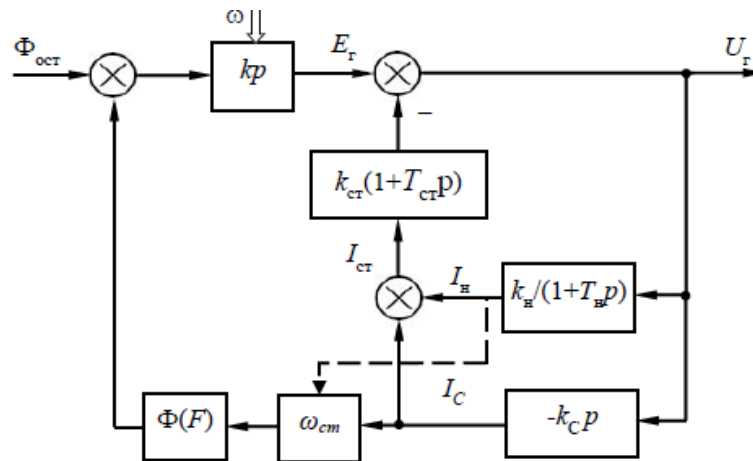


Рисунок 2.1 – Структурная схема АГ с позиции ТАУ

Для упрощения дальнейших преобразований звенья представленной структурной схемы АГ заменим условными обозначениями. В таблице 2.1 приведены обозначения и назначение элементов, используемых в структурной схеме и математических выражениях.

Таблица 2.1 – Условные обозначения звеньев структурной схемы АГ

Исходное звено	kp	$k_{ст}(1 + T_{ст}p)$	$k_n / (1 + T_n p)$	$-k_c p$	$\Phi(F) \cdot \omega_{ст}$
Условное обозначение	W_1	W_2	W_3	W_4	W_5
Физическое значение	$C_{АГ} \cdot \omega$	$R_{ст} + L_{ст} \cdot p$	$R_n + L_n \cdot p$	$C \cdot p$	$L_{тн}$
Выполняемое преобразование или назначение	ЭДС вращения от $\Phi_{ост}$	Падение напряжения на сопротивлении статора	Падение напряжения на активно-индуктивной нагрузке	Фазный конденсатор возбуждения	Функция намагничивания

На рисунке 2.2 изображена схема АГ с позиции ТАУ в условных обозначениях.

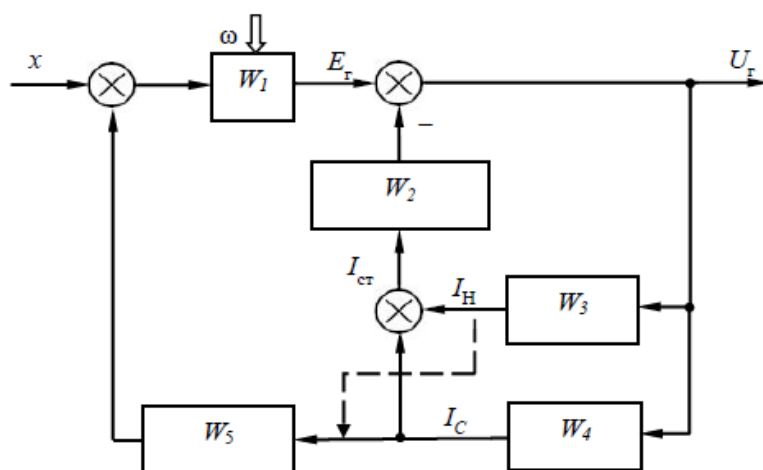


Рисунок 2.2 – Структурная схема АГ с позиции ТАУ

После преобразований, схема примет вид, представленный на рисунке 2.3.

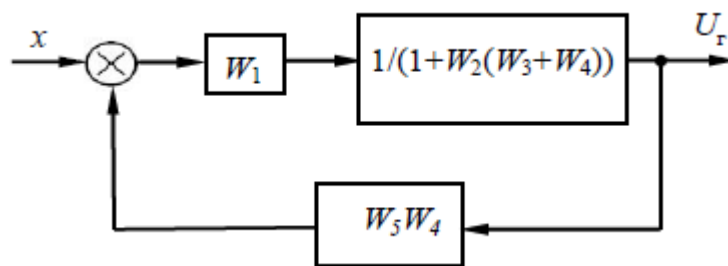


Рисунок 2.3 – Преобразованная структурная схема АГ с позиции ТАУ

Общая передаточная функция будет иметь следующий вид:

$$W_{\text{общ}} = \frac{\frac{W_1}{1 + W_2(W_3 + W_4)}}{1 - \frac{W_1 W_4 W_5}{1 + W_2(W_3 + W_4)}} = \frac{W_1}{1 + W_2(W_3 + W_4) - W_1 W_4 W_5} \quad (2.3)$$

Колебательный процесс системы будет иметь возрастающий характер, если знаменатель данной функции будет меньше единицы или отрицательный. Наибольшее значение передаточная функция будет иметь при знаменателе стремящимся к нулю. Следовательно, условие самовозбуждения будет следующее:

$$W_1 W_4 W_5 \geq 1 + W_2(W_3 + W_4) \quad (2.4)$$

Следовательно, на процесс самовозбуждения в большей степени будут влиять частота вращения ротора (W1), величина емкости фазного конденсатора (W4), а также вид кривой намагничивания (W5).

Делая обратный переход от условных значений к исходным, получим:

$$w_{\text{рот}} \cdot C_{\text{АГ}} \cdot C_p \cdot \frac{\omega_{\text{ст}}}{R_m} \geq 1 + R_{\text{ст}} \left(1 + \frac{L_{\text{ст}}}{R_{\text{ст}}} p \right) \left(\frac{1}{R_{\text{н}} \left(1 + \frac{L_{\text{н}}}{r_{\text{н}}} p \right)} - Cp \right), \quad (2.5)$$

где $R_{\text{ст}}, L_{\text{ст}}$ – активное и индуктивное сопротивление обмоток статора;

$R_{\text{н}}, L_{\text{н}}$ – активное и индуктивное сопротивление нагрузки;

$C_{\text{АГ}}$ – постоянный коэффициент, характеризующий данный генератор;

C – емкость фазного конденсатора.

На холостом ходу при $R_{\text{н}} \rightarrow \infty, r_{\text{ст}} \rightarrow 0$ правая часть неравенства (2.5) примет следующий вид:

$$1 + R_{\text{ст}} \left(1 + \frac{L_{\text{ст}}}{R_{\text{ст}}} p \right) \left(\frac{1}{R_{\text{н}} \left(1 + \frac{L_{\text{н}}}{r_{\text{н}}} p \right)} - Cp \right) = 1 - L_{\text{ст}} p \cdot Cp. \quad (2.6)$$

Левая часть неравенства (2.5):

$$w_{\text{рот}} \cdot C_{\text{АГ}} \cdot Cp \cdot \frac{\omega_{\text{ст}}}{R_m} = X_{\text{АГ}} \cdot Cp, \quad (2.7)$$

где $X_{\text{АГ}} = w_{\text{рот}} \cdot C_{\text{АГ}} \cdot \frac{\omega_{\text{ст}}}{R_m}$ – индуктивное сопротивление АГ,

отражающее характеристику холостого хода генератора $E_r = f(i_c)$.

$w_{\text{рот}}$ – частота вращения ротора;

$\omega_{\text{ст}}$ – число витков статорной обмотки;

R_m – магнитное сопротивление.

Таким образом, получим условие, при котором возможно самовозбуждение АГ:

$$X_{AG} \cdot Cp \geq 1 - L_{ct} \cdot Cp \quad (2.8)$$

Разделив обе части неравенства на Cp , получим:

$$X_{AG} + X_{\sigma} \geq X_C \quad (2.9)$$

Аналогично выводится неравенство при наличии активно-индуктивной нагрузки:

$$\frac{X_{AG} + X_{\sigma}}{X_C} \geq 1 + \frac{X_{\sigma}}{Z_n}, \quad (2.10)$$

где Z_n – полное сопротивление нагрузки.

При увеличении насыщения сопротивление X_{AG} будет уменьшаться. При достижении X_{AG} определенного значения, левая и правая части неравенства станут равны, следовательно, процесс самовозбуждения становится невозможным. Этим подтверждается необходимость поддерживать емкость в определенном диапазоне.

Из выражения (2.10), учитывающего нагрузку, можно получить выражение критического сопротивления, при котором будет происходить срыв генерации:

$$Z_n \geq \frac{X_C \cdot X_{\sigma}}{X_{AG} + X_{\sigma} - X_C}. \quad (2.11)$$

2.3 Определение условий самовозбуждения ГПТ

Подобный алгоритм можно применять и к другим СГЭЭ. Рассмотрим генератор постоянного тока (ГПТ) параллельного возбуждения [14].

Электромагнитные процессы описываются следующей системой уравнений:

$$\begin{aligned}
 u_B &= R_B i_B + L_B \frac{di_B}{dt}, \\
 u_{\text{я}} &= C_e \Phi \omega_{\text{я}} - R_{\text{я}} i_{\text{я}} - L_{\text{я}} \frac{di_{\text{я}}}{dt}, \\
 \Phi &= \frac{i_B W_B}{R_m},
 \end{aligned}
 \tag{2.12}$$

Где $R_{\text{я}}$ – активное сопротивление якоря электрической машины;

C_e – постоянный конструктивный коэффициент, который характеризует данный генератор постоянного тока;

R_B, L_B – активное и индуктивное сопротивление ветви возбуждения.

Напряжение на обмотке возбуждения и на якоря будут равны $u_{\text{я}} = u_B = i_{\text{я}} R_{\text{я}}$. ЭДС будет пропорциональна частоте вращения: $E_{\text{Г}} = C_e \Phi \omega_{\text{вр}}$.

Структурная схема для ГПТ с позиции ТАУ представлена на рисунке 2.4.

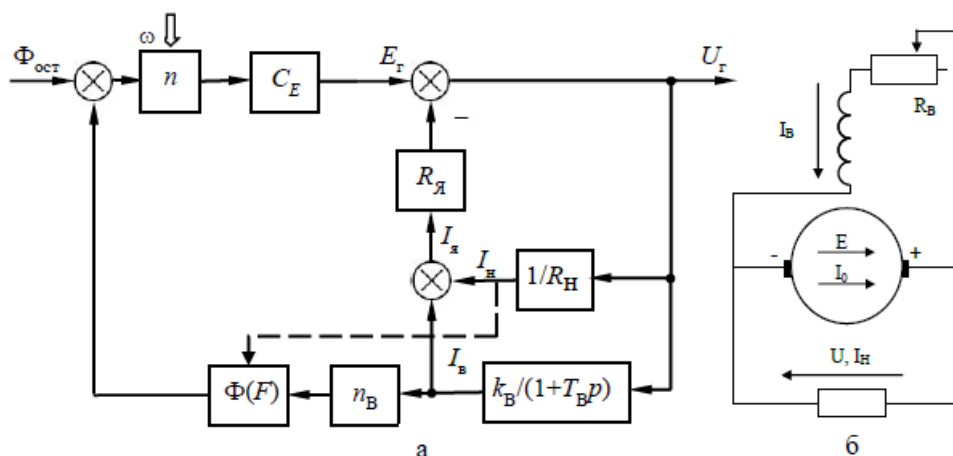


Рисунок 2.4 – ГПТ: а – структурная схема ГПТ параллельного возбуждения с позиции ТАУ; б – принципиальная схема ГПТ параллельного возбуждения

При вращении якоря за счет присутствия остаточного магнитного потока на выходе будет возникать ЭДС $E_{\text{Г}}$, которая будет пропорциональна величине магнитного потока. За счет ЭДС в обмотке возбуждения с числом витков $n_{\text{в}}$ будет возникать ток возбуждения, который в свою очередь будет создавать магнитодвижущую силу F и соответствующий магнитный поток, сонаправленный с остаточным магнитным потоком, который приведет к

увеличению ЭДС и тока и еще большему увеличению потока и так далее. Таким образом, образуется контур положительной обратной связи по магнитному потоку, способствующий процессу самовозбуждения. Конечное значение ЭДС статора ограничено магнитным насыщением машины (рисунок 2.5).

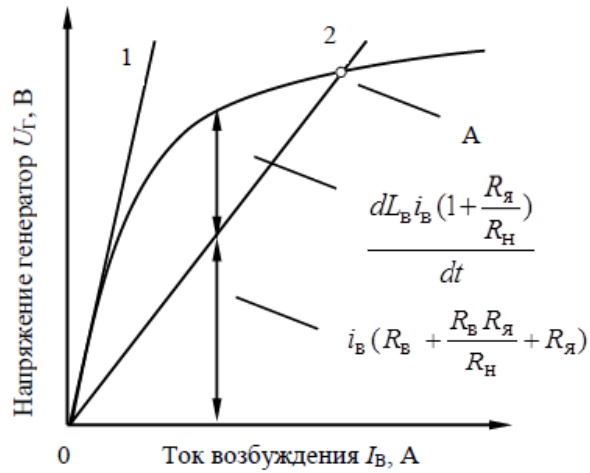


Рисунок 2.5. Самовозбуждение ГПТ: 1 – критическое значение сопротивления; 2 – вольтамперная характеристика обмотки возбуждения; А – рабочая точка ГПТ

Используя результирующую передаточную функцию (2.3) и условие (2.4), а также аналогичные обозначения W_i в структурных схемах (рисунок 2.2), после преобразований получим условие самовозбуждения ГПТ в параметрах:

$$w_{вр} \cdot C_e \cdot L_{ген} \cdot n_e \geq (R_B + L_B p) \left(1 + \frac{R_я}{R_H}\right) + R_я. \quad (2.13)$$

Оценим данное выражение в установившемся режиме работы при следующем значении параметра оператора дифференцирования $p \rightarrow 0 (t \rightarrow \infty)$. При таких значениях правая часть неравенства (2.13) преобразится в следующее выражение:

$$(R_B + L_B p) \left(1 + \frac{R_я}{R_H}\right) + R_я = R_B \cdot \left(1 + \frac{R_я}{R_H}\right) + R_я. \quad (2.14)$$

Левая часть неравенства (2.13):

$$X_{\text{ГПТ}} = w_{\text{вр}} \cdot C_e \cdot L_{\text{ген}} \cdot n_{\text{оя}}. \quad (2.15)$$

где $X_{\text{ГПТ}}$ – полное индуктивное сопротивление ГПТ, отражающее характеристику холостого хода.

В итоге неравенство (2.12) примет следующий вид:

$$\frac{|X_{\text{ГПТ}}| - R_{\text{я}}}{R_{\text{в}}} \geq 1 + \frac{R_{\text{я}}}{R_{\text{н}}}. \quad (2.16)$$

При анализе полученного неравенства можно сделать вывод, что существует некоторое критическое значение сопротивления обмотки возбуждения, при котором процесс самовозбуждения ГПТ становится невозможным. Также процесс самовозбуждения становится невозможным при достижении определенного критического значения сопротивления нагрузки:

$$R_{\text{н}} \geq \frac{R_{\text{в}} \cdot R_{\text{я}}}{|X_{\text{ГПТ}}| - R_{\text{в}} - R_{\text{я}}}. \quad (2.17)$$

2.4 Оценка методов ТАУ применительно к электромеханическим системам

Полученные условия самовозбуждения АГ и ГПТ повторяют выражения, которые можно найти в учебниках по электрическим машинам.

Схожие по форме выражения показывают, что для генератора постоянного и асинхронного генератора существуют критические значения сопротивлений цепи возбуждения и нагрузки, при достижении которых перестают выполняться условия самовозбуждения, вследствие чего может произойти срыв генерации электроэнергии.

Анализ процесса самовозбуждения электрических машин с точки зрения теории автоматического управления и с точки зрения классической теории электромеханических систем приводит к одинаковым формам

математических выражений, а также к сходным условиям самовозбуждения, что позволяет утверждать, что генерирование электроэнергии в различных типах электрических машин происходит по одним законам.

2.5 Представление явления самовозбуждения АГ через понятия устойчивости

Под устойчивостью понимается способность системы возвращаться в установившийся режим после прекращения действия внешних воздействий. Например, для асинхронного генератора внешним воздействием является изменение нагрузки или частоты вращения ротора электрической машины.

Устойчивость является важнейшей качественной характеристикой, обуславливающей надежную работу системы. Большинство методов исследования устойчивости основано на анализе характеристического уравнения. Понятие характеристического уравнения вводится через систему дифференциальных уравнений, в которой источник внешних сил обнулен.

Проверка на устойчивость может производиться как алгебраическими (критерий Гурвица), так и частотными методами (критерии Найквиста и Михайлова).

Увеличение амплитуды колебаний до момента насыщения асинхронной машины, говорит о том, что система неустойчива. Устойчивость системы в классическом понимании предполагает затухание колебательного процесса. Понятие неустойчивости вводится для дальнейшего оценивания самовозбуждения АГ. Неустойчивость системы, то есть нарастание колебаний, является необходимым условием для процесса генерирования.

3. Анализ устойчивости асинхронного генератора

3.1 Определение условий самовозбуждения частотными методами

Определение условий самовозбуждения можно получить из частотных характеристик АГ, рассматривая его как электрическую цепь. Схема замещения асинхронного генератора с конденсаторным возбуждением представлена на рисунке 3.1.

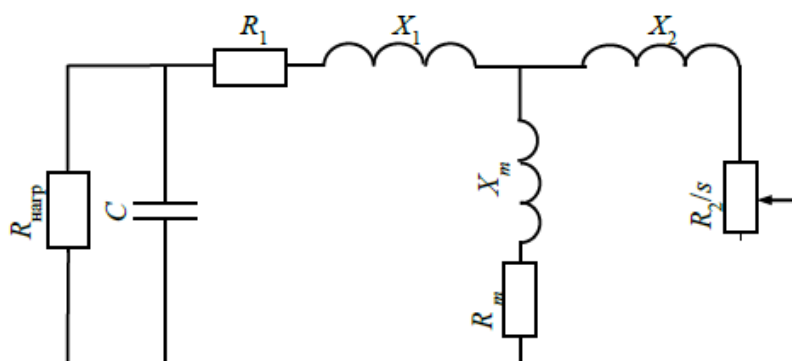


Рисунок 3.1 – Т-образная схема замещения АГ с емкостным возбуждением

Чтобы получить передаточную функцию эту схему надо упростить до вида, представленного на рисунке 3.2.

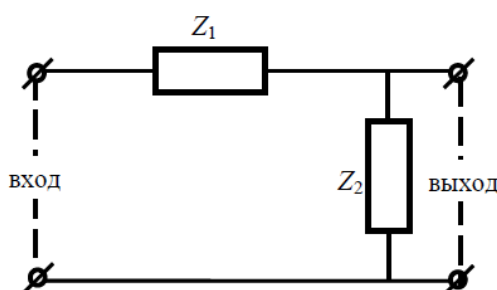


Рисунок 3.2 – Преобразованная схема замещения АГ с емкостным возбуждением

В данной схеме принято, что энергия, необходимая для самовозбуждения асинхронного генератора, присутствует в роторе. Первичная энергия может быть представлена в виде остаточного магнитного потока. Исходя из этого Z_1 – индуктивно-активное сопротивление ротора, Z_2 – приведенное сопротивление статора и нагрузки. Данные сопротивления определяются следующими выражениями:

$$Z_1 = X_2 i, \quad (3.1)$$

$$Z_2 = \frac{(R_m + X_m i)(X_1 i + R_1 - \frac{R_n X_C i}{R_n - X_C i})}{R_m + X_m i + X_1 i + R_1 - \frac{R_n X_C i}{R_n - X_C i}}. \quad (3.2)$$

Передаточная функция будет определяться, как отношение изображения по Лапласу выходной величины напряжения к изображению входной величины напряжения. Считая равным ток на входе и выходе представленной схемы (рисунок 3.2), передаточную функцию можно представить, как отношение выходного сопротивления к входному:

$$W_{пер} = \frac{U_{вых}}{U_{вх}} = \frac{Z_2}{Z_{вх}}, \quad (3.3)$$

где $Z_{вх} = Z_1 + Z_2$.

Выразив передаточную функцию через параметры схемы замещения, получим:

$$W_{пер} = \frac{L_m(L_1 \omega - R_n i + C R_1 R_n \omega - R_1 i + C L_1 R_n \omega^2 i)}{Z'}, \quad (3.4)$$

где $Z' = L_1 L_2 \omega - L_m R_n i - L_m R_1 i + L_1 L_m \omega + L_2 L_m \omega + C L_2 R_1 R_n \omega + C L_m R_1 R_n \omega - L_2 R_n i + C L_1 L_2 \omega^2 i - L_2 R_1 i + C L_2 L_m R_n \omega^2 i + C L_1 L_m R_n \omega^2 i$.

По полученной передаточной функции $W_{пер}$ в программе Mathcad строим амплитудно-фазовую частотную характеристику (АФЧХ), а также амплитудно-частотные характеристики мнимой и действительной частей $W_{пер}$ от частоты (рисунки 3.3 и 3.4).

Для построения характеристик использовались параметры (таблица 3.1) асинхронного генератора мощностью $P_n = 15$ кВт, частота выходного напряжения $f = 400$ Гц.

Таблица 3.1 – Параметры схемы замещения АГ

R_1 , Ом	R_2 , Ом	L_1 , Гн	L_2 , Гн	R_m , Ом	L_m , Гн	C , мкФ
0,026	0,032	0,00022	0,00014	0	0,00192	450

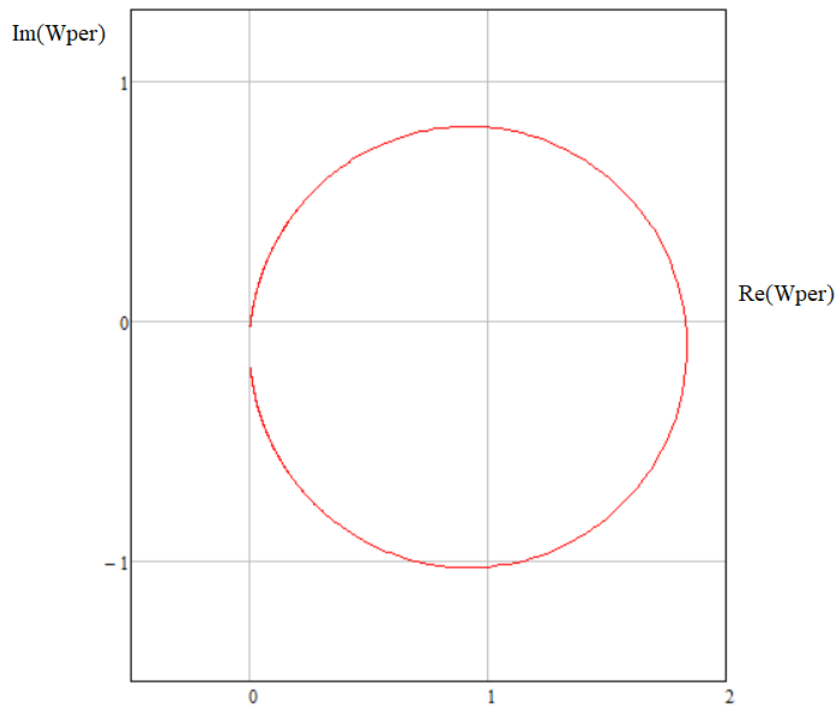


Рисунок 3.3 - годограф передаточной функции $W_{пер}$

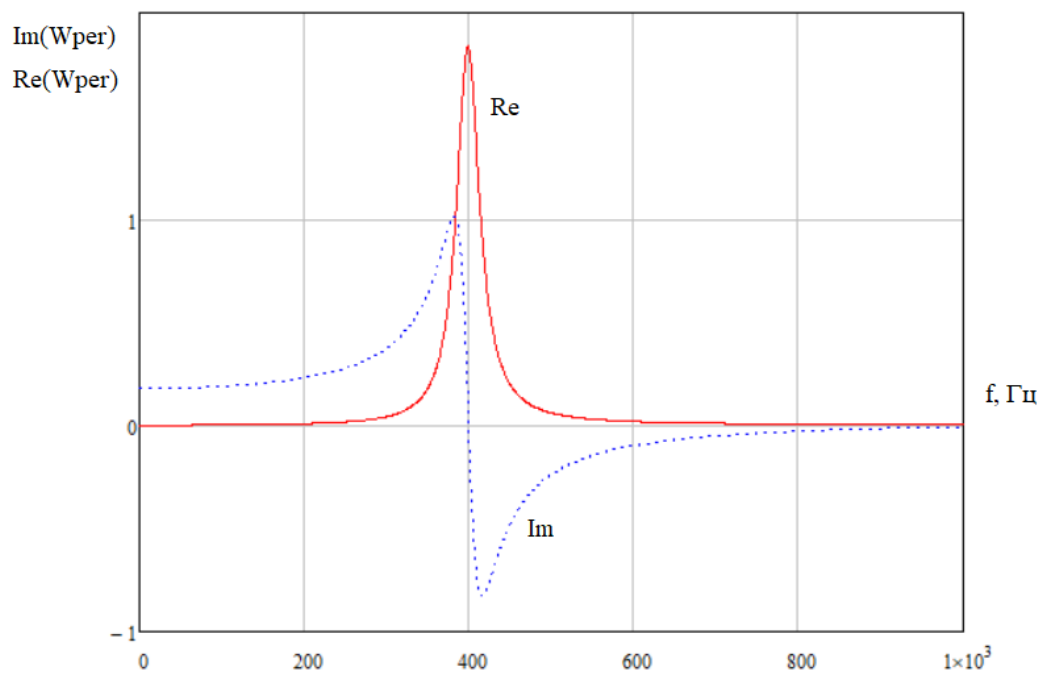


Рисунок 3.4 – Действительная и мнимая часть $W_{пер}$

Пересечение годографов с мнимой осью соответствует условию резонанса. В этих точках пересечения фазовый сдвиг $\varphi = \arctan\left(\frac{\text{Im}}{\text{Re}}\right) = 0$.

Возбуждение при этом будет происходить за счет резонанса в последовательном контуре $C - L_m$. Вторая точка будет соответствовать резонансу в параллельно-последовательном контуре $C - L_{\text{общ}}$, индуктивность которого определяется эквивалентной Т-образной схемой замещения.

Из полученных характеристик $W_{\text{пер}}$ следует, что резонанс будет выполняться при частоте 400 Гц.

Варьируя величины C и L_m , можно сделать вывод, что частота, при которой возможен резонанс, определяется емкостью конденсаторной батареи и взаимоиндуктивностью ротора и статора. При уменьшении емкости батареи происходит увеличение частот точек пересечения годографа с действительной осью.

3.2 Моделирование асинхронного генератора с самовозбуждением

Для подтверждения феномена самовозбуждения АГ в программе Matlab/Simulink была собрана структурная схема асинхронного генератора (рисунок 3.5).

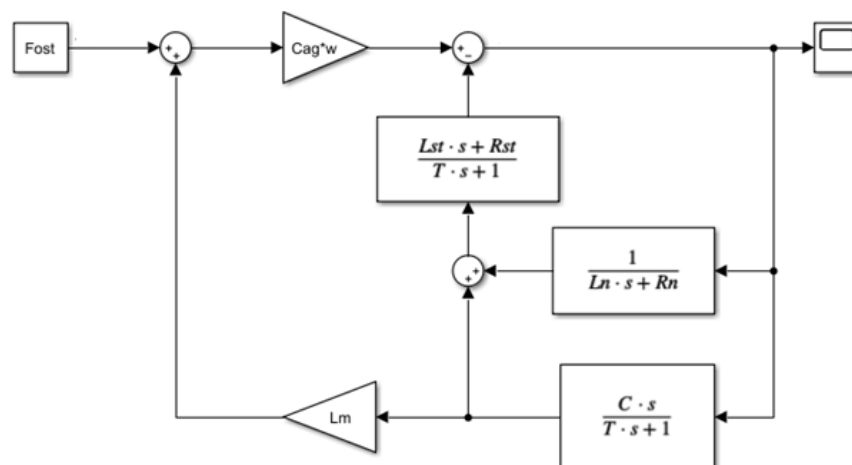


Рисунок 3.5 – Структурная схема асинхронного генератора в программе Matlab/Simulink

В данной схеме в звеньях, обозначающих падение напряжения на сопротивлении статора и емкость фазного конденсатора, T представляет собой малую некомпенсируемую постоянную времени. Она служит для обеспечения реализуемости математической модели в Matlab/Siulink, так как порядок числителя передаточной функции не может быть выше порядка знаменателя для структурно-устойчивого звена. В данном случае принято $T = 10^{-6}$ с. Остальная часть схемы соответствует приведенной выше структурной схеме асинхронного генератора (рисунок 2.1).

Для возбуждения АГ, как и прочих систем генерирования, необходимо наличие небольшого количества первичной энергии в каком-либо виде, например, напряжении на конденсаторе, остаточном магнитном потоке ротора и т.д. Здесь первоначальная магнитная энергия представлена в виде остаточного магнитного потока с помощью блока Constant.

Переходный процесс снимается с помощью блока Scope.

Переходный процесс представленный на рисунке 3.6, был получен при параметрах АГ, которые представлены в таблице 3.2.

Таблица 3.2 – Параметры асинхронного генератора

R_{st} , Ом	L_{st} , Гн	R_n , Ом	L_n , Гн	L_m , Гн	C , мкФ
0,026	0,00022	1,8	0,0005	0,00192	450

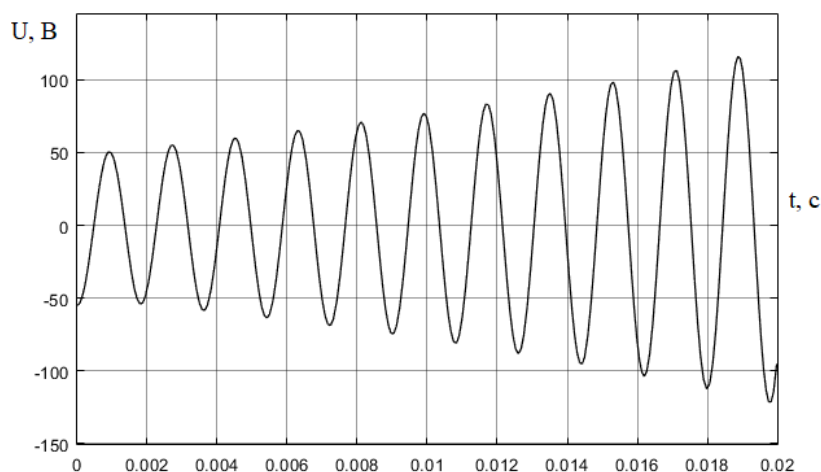


Рисунок 3.6 – График переходного процесса

На полученном графике наблюдается возрастание амплитуды колебаний, что свидетельствует о процессе самовозбуждения асинхронного генератора.

Отсутствие внешнего источника ЭДС, позволяет утверждать, что самовозбуждения АГ происходит за счет явления параметрического резонанса.

В данной схеме не учитывается насыщение магнитной цепи машины, поэтому амплитуда колебаний будет постоянно возрастать.

Для получения достоверных результатов моделирования необходимо учитывать насыщение магнитной цепи. Требуется располагать действительной кривой намагничивания, исключается принятие прямолинейной магнитной характеристики. Также необходимо учитывать характер нагрузки и изменение сопротивления взаимной индукции.

3.3 Исследование устойчивости асинхронного генератора путем изменения параметров

Теперь будем изменять параметры, а именно величину емкости C и сопротивления нагрузки R_n , чтобы найти критические значения, при которых будет происходить срыв генерации энергии.

На рисунке 3.6 был получен переходный процесс с нарастанием амплитуды колебаний, в данном случае происходит генерирование энергии, а система считается неустойчивой. При этом $R_n = 1,8$ Ом и $C = 450$ мкФ.

Уменьшим величину емкости конденсатора до значения, при котором система будет на границе устойчивости (рисунок 3.7). Здесь $C = 340$ мкФ.

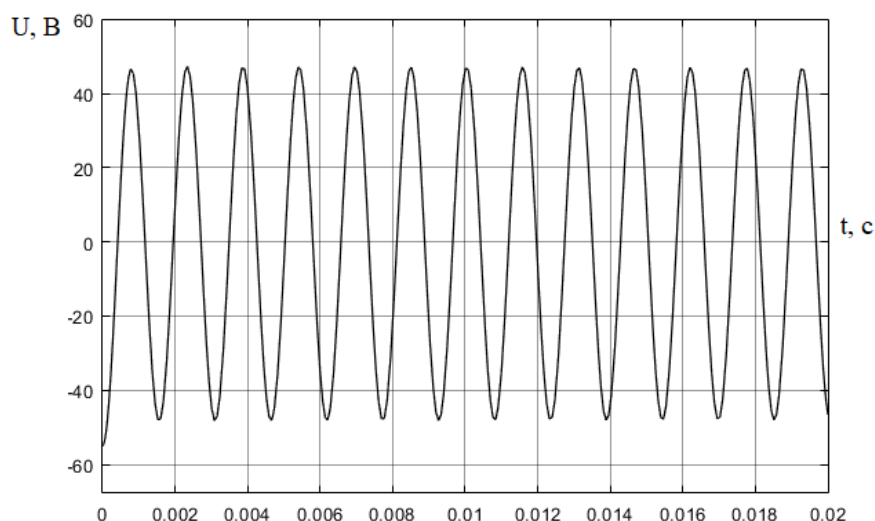


Рисунок 3.7 – Переходный процесс при $C = 340$ мкФ

При дальнейшем уменьшении емкости система будет устойчива, колебания будут затухать, в этом случае генерации энергии происходить не будет (рисунок 3.8).

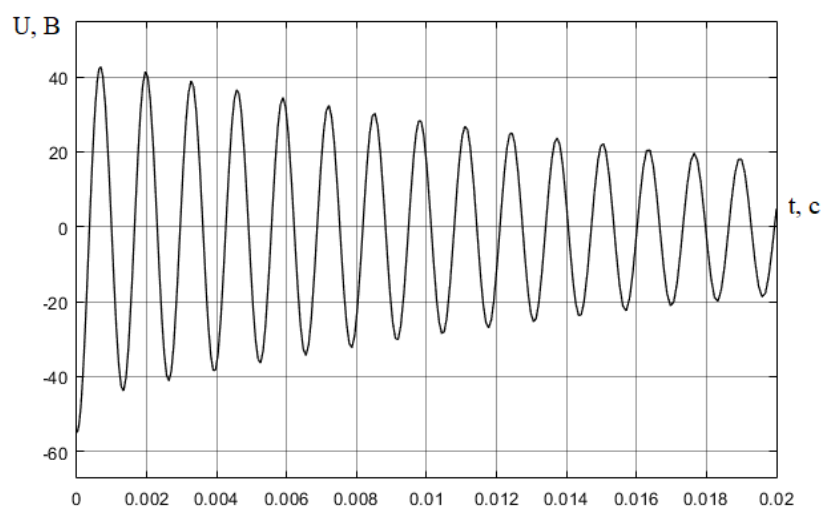


Рисунок 3.8 – Переходный процесс при $C = 250$ мкФ

Следовательно, изменяя величину емкости в ту или иную сторону, можно добиться, что колебательный процесс будет иметь нарастающий или затухающий характер, что подтверждает необходимость поддерживать емкость в определенном диапазоне.

Будем считать значения $R_n = 1,8$ Ом и $C = 340$ мкФ, при которых система находится на границе устойчивости, критическими. Теперь при

данной емкости будем изменять сопротивление нагрузки R_n . Согласно полученному условию (2.10) при значении сопротивления нагрузки больше критического, будет происходить срыв энергии. Увеличим сопротивление нагрузки (рисунок 3.9).

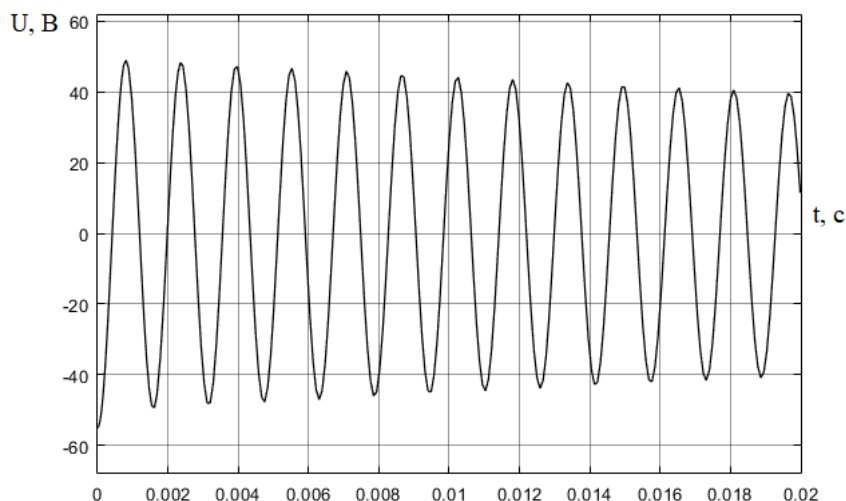


Рисунок 3.9 – Переходный процесс при $R_n = 2,2 \text{ Ом}$

По рисунку видно, что, действительно, колебания будут затухать и генерации энергии не происходит.

При сопротивлении нагрузки R_n ниже критического, колебательный процесс имеет нарастающий характер (рисунок 3.10).

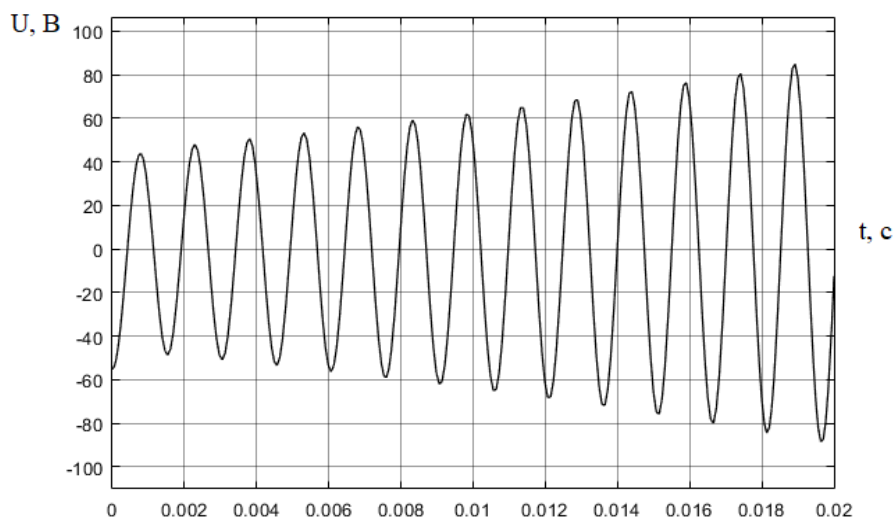


Рисунок 3.10 – Переходного процесс при $R_n = 1,4 \text{ Ом}$

4. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

Целью данного раздела является оценка разработки асинхронного генератора с самовозбуждения для использования в качестве автономного источника электроэнергии на летательных аппаратах с точки зрения эффективности затрачиваемых ресурсов.

4.1 Потенциальные потребители результатов НИИ

Ежегодное увеличение потребителей электроэнергии, рост производства и расширение парка автономных объектов приводят к необходимости рассмотрения вопросов увеличения мощности автономных систем генерирования электроэнергии (СГЭЭ) и оптимизации их энергетических, массогабаритных и стоимостных показателей.

Существует несколько типов генераторов, которые отличаются по конструкции и принципам действия:

- Генераторы постоянного тока;
- Синхронные генераторы;
- Асинхронные генераторы.

Проведем сегментацию данных генераторов по сфере применения (рисунок 4.1).

	Генераторы постоянного тока	Синхронные генераторы	Асинхронные генераторы
Малая авиация			
самолетостроение			

Рисунок 4.1 – Карта сегментирования рынка использования авиационных генераторов по отраслям

 Генератор постоянного тока  Синхронные генераторы

В результате анализа сегментирования можно сделать вывод, что основной сегмент использования асинхронного генератора являются малая авиация и самолетостроение.

Поэтому данное исследование направлено на разработку асинхронных генераторов с самовозбуждением как перспективного элемента автономных систем электроснабжения.

Потенциальными потребителями данного научно технического исследования, является большинство систем автономного энергоснабжения, которым требуются надежные СГЭЭ с улучшенными энергетическими, массогабаритными и стоимостными показателями.

4.2 Анализ конкурентных технических решений

Подробный анализ проведем по основным типам авиационных генераторов, которые приведены выше. Для этого заполним оценочную карту (таблица 4.1) конкурентных генераторов, где

B_{ϕ} – асинхронный генератор;

$B_{к1}$ – синхронный генератор;

$B_{к2}$ – генератор постоянного тока.

Таблица 4.1 – Оценочная карта для сравнения конкурентных авиационных генераторов

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы			Конкурентоспособность		
		Бф	Бк1	Бк2	Кф	Кк1	Кк2
1	2	3	4	5	6	7	8
Технические критерии оценки ресурсоэффективности							
1.Повышение производительности	0,09	5	4	3	0,45	0,36	0,27
2.Удобство в эксплуатации	0,06	4	3	3	0,24	0,18	0,18
3.Помехоустойчивость	0,05	4	4	4	0,2	0,2	0,2
4.Энергоэкономичность	0,1	4	3	4	0,4	0,3	0,4
5.Надежность	0,09	5	5	4	0,45	0,45	0,36
6.Уровень шума	0,07	4	3	4	0,28	0,21	0,28
7.Безопасность	0,09	5	3	4	0,45	0,27	0,36
8.Функциональная мощность	0,07	5	3	4	0,35	0,21	0,28
9.Простота эксплуатации	0,09	5	5	3	0,45	0,45	0,27

Экономические критерии оценки эффективности							
1.Конкурентоспособность продукта	0,08	5	4	3	0,45	0,32	0,24
2.Уровень проникновения на рынок	0,07	4	4	4	0,28	0,28	0,28
3.Цена	0,03	4	5	4	0,12	0,15	0,12
5.Послепродажное обслуживание	0,05	5	3	4	0,25	0,15	0,2
6.Наличие сертификата	0,06	5	5	5	0,3	0,3	0,3
Итого	1				4,67	3,83	3,74

Таким образом, у авиационного асинхронного генератора конкурентные преимущества выше, чем у двух других генераторов.

4.3 Технология QuaD

Технология *QuaD* (*Q*Uality *A*Dvisor) представляет собой гибкий инструмент измерения характеристик, описывающих качество новой разработки и ее перспективность на рынке и позволяющие принимать решение целесообразности вложения денежных средств в научно-исследовательский проект. В соответствии с технологией *QuaD* каждый показатель оценивается экспертным путем по стобалльной шкале, где 1 - наиболее слабая позиция, а 100 - наиболее сильная.

Оценка качества и перспективности по технологии QuaD определяется по формуле:

$$P_{cp} = \sum B_i \cdot B_i, \quad (4.1)$$

где P_{cp} - средневзвешенное значение показателя качества и перспективности научной разработки;

B_i - вес показателя (в долях единицы);

B_i - средневзвешенное значение i -го показателя.

Результаты проведенного расчета приведены в таблице 4.2.

Значение P_{cp} позволяет говорить о перспективах разработки и качестве проведенного исследования. Если значение показателя P_{cp} получилось от 100 до 80, то такая разработка считается перспективной. Если

от 79 до 60 - то перспективность выше среднего. Если от 69 до 40 - то перспективность средняя. Если от 39 до 20 - то перспективность ниже среднего. Если 19 и ниже - то перспективность крайне низкая.

Таблица 4.2 – Оценочная карта Quad анализа для модели АГ

Критерии оценки	Вес	Баллы	Отн. значение	Ср. взвешенное значение
1. Практическая применимость	0,10	90	0,90	9,00
2. Точность математического описания	0,15	60	0,60	9,00
3. Актуальность	0,15	80	0,80	12,00
4. Унифицированность	0,05	100	1,00	5,00
5. Потребность в ресурсах памяти	0,05	30	0,30	1,50
6. Устойчивость системы управления	0,30	70	0,70	21,00
7. Чувствительность к малым возмущениям частоты	0,05	97	0,97	4,85
8. Качество графического интерфейса	0,05	50	0,50	2,50
9. Простота эксплуатации	0,05	70	0,70	3,50
10. Ремонтопригодность	0,05	95	0,95	4,75
Итого	1,00	647	6,47	73,1

Таким образом, исходя из полученных данных, можно сделать вывод, что исследовательская работа по созданию модели асинхронного генератора с самовозбуждения обладает перспективностью выше среднего.

4.4 Структура работы в рамках научного исследования

Для правильной разработки, а также определения трудоемкости выполнения НИР необходимо разбить ее на этапы. Структура данной НИР:

1. Подготовительный этап. Выбор темы, изучение и анализ информации по выбранной теме. Определение рабочей группы, в состав которой могут входить научные сотрудники, преподаватели и лаборанты.
2. Формирование теоретической части.

3. Проведение экспериментальных работ по теоретическим разделам.
4. Обработка полученных результатов экспериментов.
5. Выводы и предложения по теме, обобщение результатов разработки. Составление технологического отчета.
6. Завершающий этап. Утверждение результатов работы. Подготовка отчетной документации.

Этапы данной НИР представлены в таблице 4.3.

Работу выполняли 2 человека: научный руководитель (НР) и ассистент (АС).

Таблица 4.3 - Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

№	Основные этапы	Содержание работ	Должность исполнителя
1	Выдача задания	Составление и утверждение технического задания	НР
2	Выбор направления исследований	Подбор и изучение материалов по теме	НР, АС
3		Выбор направления	НР
4	Теоретические и экспериментальные исследования	Теоретическое описание элементов модели АГ	АС
5		Создание виртуальной модели АГ	АС
6		Определение оптимальных параметров АГ, исследование устойчивости	АС
7	Обсуждение результатов	Обработка полученных	АС
8		Научное обоснование результатов и выводы	НР, АС
9	Составление отчета	Разработка плана по оформлению НИР	НР, АС
10		Оформление отчета НИР	АС
11	Защита отчета	Подготовка к защите	АС

4.5 Определение трудоемкости выполнения работ

Трудовые затраты в большинстве случаев образуют основную часть стоимости разработки, поэтому важным моментом является определение трудоемкости работ каждого из участников научного исследования.

Трудоемкость выполнения научного исследования оценивается экспертным путем в человеко-днях и носит вероятностный характер, так как зависит от множества трудно учитываемых факторов. Для определения, ожидаемого значения трудоемкости используется следующая формула:

$$t_{ожі} = \frac{3t_{\min i} + 2t_{\max i}}{5}, \quad (4.2)$$

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

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

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

Исходя из ожидаемой трудоемкости работ, определяется продолжительность каждой работы T_p , учитывающая параллельность выполнения работ несколькими исполнителями. Такое вычисление необходимо для расчета заработной платы, так как удельный вес зарплаты в общей сметной стоимости научных исследований составляет около 65 % [15].

Продолжительность одной работы:

$$T_{pi} = \frac{t_{ожі}}{Ч_i}, \quad (4.3)$$

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

$Ч_i$ - численность исполнителей, выполняющих одновременно одну и

ту же работу на данном этапе, чел.

4.6 Разработка графика проведения научного исследования

Наиболее удобным и наглядным является построение ленточного графика проведения научных работ в форме диаграммы Ганта.

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

Для удобства построения графика, длительность каждого из этапов работ из рабочих дней следует перевести в календарные дни. Для этого необходимо воспользоваться следующей формулой:

$$T_{ki} = T_{pi} \cdot k_{\text{кал}}, \quad (4.4)$$

где T_{ki} - продолжительность выполнения i -й работы в календарных днях;

T_{pi} - продолжительность выполнения i -й работы в рабочих днях;

$k_{\text{кал}}$ - коэффициент календарности.

Коэффициент календарности определяется по следующей формуле:

$$k_{\text{кал}} = \frac{T_{\text{кал}}}{T_{\text{кал}} - T_{\text{вых}} - T_{\text{пр}}} = \frac{365}{365 - 52 - 14} = 1,22, \quad (4.5)$$

где $T_{\text{кал}}$ - количество календарных дней в году;

$T_{\text{вых}}$ - количество выходных дней в году;

$T_{\text{пр}}$ - количество праздничных дней в году.

Временные показатели проведения данного научного исследования представлены в таблице 4.4.

Таблица 4.4 - Временные показатели проведения научного исследования

Название работы	Трудоёмкость работ						Исполн.		T_{pi} , дни		T_{ki} , дни	
	t_{mini} , чел-дни		t_{maxi} , чел-дни		$t_{ожи}$, чел-дни		НР	АС	НР	АС	НР	АС
	НР	АС	НР	АС	НР	АС						
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1. Составление и утверждение технического задания	1	-	3	-	2	-	+	-	2	-	3	-
2. Подбор и изучение материалов по теме	3	20	5	40	4	28	+	+	2	14	3	17
3. Выбор направления исследований	1	-	1	-	1	-	+	-	1	-	1	-
4. Теоретическое описание элементов модели АГ	-	10	-	15	-	12	-	+	-	12	-	15
5. Создание виртуальной модели АГ	-	10	-	17	-	13	-	-	-	13	-	16
6. Определение оптимальных параметров АГ, исследование устойчивости	-	17	-	23	-	20	-	+	-	20	-	25
7. Обработка полученных результатов	-	2	-	4	-	3	-	+	-	3	-	4
8. Научное обоснование результатов и выводы	2	2	5	5	3	3	+	+	1,5	1,5	2	2
9. Разработка плана по оформлению НИР	2	2	4	5	3	3	+	+	1,5	1,5	2	2
10. Оформление отчета НИР	-	10	-	15	-	12	-	+	-	12	-	15
11. Защита выпускной квалификационной работы	-	1	-	1	-	1	-	+	-	1	-	1

На основании таблицы 4.4 строится календарный план-график (таблица 4.5).

Таблица 4.5 - Календарный план-график проведения НИР (График Ганта)

№ раб.	Ис-п-ли	Т _{кп} , кал. дн.	Продолжительность выполнения работ																		
			дек.		январь		февр.			март			апрель			май			июнь		
			2	3	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1		
1	НР	3	■																		
2	НР АС	3 17		■																	
3	НР	1				■															
4	АС	15					■														
5	АС	13						■													
6	АС	25							■												
7	АС	4																			
8	НР АС	2 2																			
9	НР АС	2 2																			
10	АС	15																			
11	АС	1																			
	■ НР (Научный руководитель)							■ АС (Ассистент)													

4.7 Расчет материальных затрат НИР

Данная НИР проводилась без специального оборудования, но с использованием конкретных материалов, и при расчете бюджета НИР будет использоваться следующая группировка затрат по статьям:

1. амортизация;
2. основная заработная плата исполнителей темы;
3. дополнительная заработная плата исполнителей темы;
4. отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления);
5. накладные расходы.

То есть, не учитываются статьи на специальное оборудование, затраты научные и производственные командировки, контрагентные расходы. Для проведения научно-исследовательской работы требуются следующие виды оборудования: компьютер, программное обеспечение.

Таблица 4.6 – Затраты на программное обеспечение

ПО	Ед. изм.	Кол-во материала, ед.	Цена за ед., руб.	Затраты, руб.
<i>Matlab Simulink</i>	шт	1	222775,0	222775,0
Итого	222775,0			

Таблица 4.7 – Затраты на оборудование

Материалы и оборудование	Ед. изм.	Кол-во материала, ед.	Цена за ед., руб.	Затраты, руб. амортизация
Компьютер	шт.	1	40000	10000
Итого	10000			

Гарантийный срок компьютера составляет приблизительно 2 года, программного обеспечения - 5 лет. Работа, произведенная АС, в период выполнения НИР, составляет 0,5 года.

Тогда амортизационные отчисления составят:

$$A = \frac{40000}{2 \cdot 2} + \frac{222775}{5 \cdot 2} = 32277,5 \text{ руб/год} \quad (4.6)$$

4.8 Основная и дополнительная заработная плата

Основная заработная плата руководителя рассчитывается на основании отраслевой оплаты труда. Отраслевая система оплаты труда в ТПУ предполагает следующий состав заработной платы:

1) оклад - определяется предприятием. В ТПУ оклады распределены в соответствии с занимаемыми должностями, например, ассистент, старший преподаватель, доцент, профессор. Базовый оклад Z_6 определяется исходя из размеров окладов, определенных штатным расписанием предприятия.

2) стимулирующие выплаты - устанавливаются руководителем подразделений за эффективный труд, выполнение дополнительных обязанностей и т.д.

3) иные выплаты (районный коэффициент).

НИР проводили 2 человека: научный руководитель работы и студент-

ассистент. Величина расходов по заработной плате определяется исходя из трудоемкости выполняемых работ и действующей системы окладов и тарифных ставок.

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

$$Z_{\text{зп}} = Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}, \quad (4.7)$$

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

$Z_{\text{доп}}$ - дополнительная заработная плата.

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

$$Z_{\text{осн}} = Z_{\text{дн}} \cdot T_p \quad (4.8)$$

где $Z_{\text{осн}}$ - основная заработная плата одного работника;

T_p - продолжительность работ, выполняемых научно-техническим работником, раб. дн.;

$Z_{\text{дн}}$ - среднедневная заработная плата работника, руб.

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$Z_{\text{дн}} = \frac{Z_m \cdot M}{F_d} = \frac{47280 \cdot 10,4}{246} = 1998,8 \text{ руб.}; \quad (4.9)$$

$$Z_{\text{дн}} = \frac{Z_m \cdot M}{F_d} = \frac{30600 \cdot 10,4}{246} = 1293,7 \text{ руб.} \quad (4.10)$$

где Z_m - заработная плата работника за месячный, руб.;

M - количество месяцев работы без отпуска в течение года (при отпуске в 24 раб. дня $M = 11,2$ месяца, 5-дневная неделя; при отпуске в 48 раб. дней $M = 10,4$ месяца, 6-дневная неделя);

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

Таблица 4.8 – Подсчет рабочих дней в году

Показатели рабочего времени	Научный руководитель	Ассистент
Календарное число дней	365	365
Количество нерабочих дней	66	66
Потери рабочего времени	48+5	48+5
Действительный годовой фонд рабочего времени	246	246

Таблица 4.9 – расчет основной заработной платы

Исп-ль	Оклад, руб.	$k_{пр}$	k_o	k_p	Z_m , руб.	$Z_{дн}$, руб.	T_p , раб. дн.	$Z_{осн}$, раб. дн.
Научный руководитель	26300	0,3	0,2	1,3	51285	1999	8	15992
Ассистент	17000	0,3	0,2	1,3	33150	1294	78	100932
Итого $Z_{осн}$								116924

Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы учитывают величину предусмотренных Трудовым кодексом РФ доплат за отклонение от нормальных условий труда, а также выплат, связанных с обеспечением гарантий и компенсаций. Расчет дополнительной заработной платы ведется по следующей формуле:

$$Z_{доп} = k_{доп} \cdot Z_{осн} = 0,13 \cdot 15992 = 2078,9 \text{ руб.}; \quad (4.11)$$

$$Z_{доп} = k_{доп} \cdot Z_{осн} = 0,13 \cdot 122800 = 13121,2 \text{ руб.}, \quad (4.12)$$

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

В статье расходов «страховые отчисления» отражаются обязательные отчисления по установленным законодательством Российской Федерации нормам органам государственного социального страхования, пенсионного фонда и медицинского страхования от затрат на оплату труда работников.

Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется исходя из следующей формулы:

$$Z_{\text{внеб}} = k_{\text{внеб}} \cdot (Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}), \quad (4.13)$$

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

Таблица 4.10 – Отчисления во внебюджетные фонды

Исп-ль	Основная заработная плата,	Дополнительная заработная плата, руб.	Отчисления во внебюджетные фонды, руб.
Научный руководитель	15992	2079	5421,3
Ассистент	100932	13121	34215,9
Итого			39637,2

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

$$Z_{\text{накл}} = \sum_{n=1}^4 Z_n \cdot k_{\text{нр}} \quad (4.14)$$

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

Величину коэффициента накладных расходов можно взять в размере 16% [15].

4.9 Формирование бюджета затрат НИР

Определение бюджета затрат на научно-исследовательскую работу по каждому варианту исполнения приведено в таблице 4.11.

Таблица 4.11 – Бюджет затрат НИИ

Наименование статьи	Сумма, руб.	
	Научный руководитель	Ассистент
1. Затраты по основной заработной плате исполнителей темы	15992	100932
2. Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы	2079	13121
3. Отчисления во внебюджетные фонды	5421	34216
4. Амортизация	0	32277,5
5. Накладные расходы	3758,7	25323,2
6. Бюджет затрат НИИ	233120,4	

Таким образом, в данном разделе работы было описано экономическое обоснование проведенных исследований:

- составлена структура работы и на ее основе проведены расчеты трудоемкости НИИ и ее бюджет;
- рассчитан бюджет затрат НИИ, который составил 233120,4 руб;
- рассчитано время проведения НИИ - 173 дня

4.10 Определение ресурсоэффективности проекта

Определение ресурсоэффективности проекта можно оценить с помощью интегрального критерия ресурсоэффективности по формуле [15]:

$$I_{pi} = \sum a_i \cdot b_i, \quad (4.15)$$

где I_{pi} – интегральный показатель ресурсоэффективности;

a_i – весовой коэффициент разработки;

b_i – балльная оценка разработки, устанавливается экспертным путем по выбранной шкале оценивания.

Оценку характеристик проекта проведем на основе критериев, соответствующих требованиям к автономным системам электроснабжения:

- Удобство в эксплуатации: соответствие требованиям потребителей;

- Безопасность: обеспечение безопасности работ при эксплуатации и ремонте оборудования;
- Помехоустойчивость: максимальное значение электромагнитных помех, воздействующих на установку, при котором она может продолжать работу с требуемыми рабочими характеристиками;
- Энергосбережение – малое потребление электроэнергии оборудованием;
- Надежность – способность объекта сохранять во времени в установленных пределах значения всех параметров, характеризующих способность выполнять требуемые функции в заданных режимах;
- Материалоемкость – расход запасов, который приходится на денежную единицу готовой продукции.

Критерии ресурсоэффективности и их количественные характеристики приведены в таблице 4.12.

Таблица 4.12. Сравнительная оценка характеристик проекта

Критерии	Весовой коэффициент	Балльная оценка разработки
Удобство в эксплуатации	0,15	5,0
Безопасность	0,20	4,0
Помехоустойчивость	0,10	4,0
Энергосбережение	0,10	4,0
Надежность	0,30	5,0
Материалоемкость	0,15	4,0
Итого	1,00	

Интегральный показатель ресурсоэффективности:

$$I_{pi} = 0,15 \cdot 5 + 0,2 \cdot 4 + 0,1 \cdot 4 + 0,1 \cdot 4 + 0,3 \cdot 5 + 0,15 \cdot 4 = 4,45 \quad (4.16)$$

Показатель ресурсоэффективности проекта имеет достаточно высокое значение (по 5-балльной шкале), что говорит об эффективности использования технического проекта. Высокие баллы безопасности, надёжности и энергосбережения позволяют судить о надёжности системы.

Выводы по разделу

В итоге, в данном разделе были решены следующие задачи:

Составлен план научного исследования, в котором разработан календарный план. Общее содержание работ для проведения исследования составило 11 позиций. Для построения таблицы временных показателей проведения НИР был рассчитан коэффициент календарности. С помощью данных показателей был разработан календарный - план график проведения НИР по теме. Для иллюстрации календарного плана была использована диаграмма Ганта, что указывает на целесообразность проведения данного исследования. Общая продолжительность дней на проведение исследования – 112 дней.

Рассчитан бюджет научного исследования. Как видно из проведенного анализа общая стоимость настоящего научного исследования 233120,4 руб.

Показатель ресурсоэффективности проекта имеет достаточно высокое значение (по 5-балльной шкале), что говорит об эффективности использования технического проекта. Высокие баллы безопасности, надёжности и энергосбережения позволяют судить о надёжности системы.

Данное научное исследование имеет коммерческий потенциал, который заключается в снижении себестоимости продукта за счет введения инновационных методов.

5. Социальная ответственность

Введение

Целью данной выпускной квалификационной работы является анализ устойчивости авиационного асинхронного генераторов с самовозбуждением как перспективного элемента автономных систем электроснабжения.

Потенциальными потребителями данного научно технического исследования, является большинство систем автономного энергоснабжения, которым требуются надежные СГЭЭ с улучшенными энергетическими, массогабаритными и стоимостными показателями.

На людей при проектировании электрооборудования летательных аппаратов действует ряд неблагоприятных факторов: вибрации, ускорения, большие перепады температуры и давления, ударные нагрузки, агрессивные среды паров топлива, поэтому к конструктивным особенностям агрегатов электрооборудования летательных аппаратов предъявляются определенные требования: очень высокая механическая и электрическая прочность при минимальном весе и габаритах, пожаро- и взрывобезопасность.

В данном разделе выпускной квалификационной работы рассматриваются вопросы выявления и анализа вредных и опасных факторов труда при исследовании и разработке асинхронного генератора, разработки мер защиты от них в соответствии с требованиями производственной санитарии, техники безопасности и пожарной безопасности, а также даются рекомендации по созданию оптимальных условий труда, охране окружающей среды. Рабочим местом будет электротехническая лаборатория.

5.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

5.1.1. Специальные (характерные для рабочей зоны исследователя) правовые нормы трудового законодательства.

Законодательство РФ об охране труда основывается на Конституции РФ и состоит из федерального закона, других федеральных законов и иных нормативных правовых актов субъектов РФ. Для всех вновь поступающих на работу (а также переводимых на другую работу) работодатель обязан провести инструктаж по охране труда, организовать обучение безопасным методам и приемам выполнения работ, и оказанию первой помощи пострадавшим. Допуск к работе лиц, не прошедших в установленном порядке обучение, инструктаж по охране труда, запрещается [16]. Работники также немедленно должны извещать своего непосредственного или вышестоящего руководителя о любой ситуации, угрожающей жизни и здоровью людей, о каждом несчастном случае, произошедшем на производстве, или об ухудшении состояния своего здоровья.

Согласно ТК РФ, N 197 - ФЗ каждый работник обладает правом на:

- рабочее место, соответствующее требованиям охраны труда;
- обязательное социальное страхование от несчастных случаев на производстве;
- обеспечение средствами индивидуальной и коллективной защиты в соответствии с требованиями охраны труда за счет средств работодателя;
- внеочередной медицинский осмотр в соответствии с медицинскими рекомендациями с сохранением за ним места работы (должности) и среднего заработка во время прохождения указанного медицинского осмотра;
- гарантии и компенсации, установленные в соответствии с настоящим Кодексом, коллективным договором, соглашением, локальным нормативным актом, трудовым договором, если он занят на работах с вредными и (или) опасными условиями труда.

5.1.2. Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны

Основным объектом в производственных условиях является рабочее место, представляющее собой в общем случае пространство, в котором может находиться человек при выполнении производственного процесса. Рабочее место является основной подсистемой производственного процесса.

Выполняя планировку рабочего места необходимо учитывать следующее [17]:

1. Рекомендуемый проход слева, справа и спереди от стола 500 мм. Слева от стола допускается проход 300 мм;

2. Рабочие места с ПЭВМ при выполнении работы, требующей значительного умственного напряжения или высокой концентрации внимания, рекомендуется изолировать друг от друга перегородками высотой 1,5 - 2,0 м. Экран видеомонитора должен находиться от глаз пользователя на расстоянии 600 - 700 мм, но не ближе 500 мм с учетом размеров алфавитно - цифровых знаков и символов;

3. Конструкция рабочего стула (кресла) должна обеспечивать поддержание рациональной рабочей позы при работе на ПЭВМ позволять изменять позу с целью снижения статического напряжения мышц шейно-плечевой области и спины для предупреждения развития утомления;

4. Рабочий стул (кресло) должен быть подъемно-поворотным, регулируемым по высоте и углам наклона сиденья и спинки, а также расстоянию спинки от переднего края сиденья;

5. Стул не может располагаться непосредственно на границе площади рабочего места. Рекомендуемое расстояние от спинки стула до границы должно быть не менее 300 мм.

5.2 Профессиональная социальная безопасность

5.2.1 Вредные и опасные производственные факторы

Вредные и опасные производственные факторы представлены в таблице 5.1 согласно ГОСТ 12.0.003-2015 [18].

Таблица 5.1 – Опасные и вредные факторы

Наименование видов работ	Факторы (ГОСТ 12.0.003-2015)	Нормативные документы
	Вредные	
1	2	3
Работа с асинхронным генератором	Отклонение показателей микроклимата	СанПиН 2.2.4.548-96 «Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений»
	Недостаточное освещение рабочего места	СП 52.13330.2016 Естественное и искусственное освещение.
	повышенный уровень электромагнитного излучения	ГОСТ 12.1.006-84 ССБТ «Электромагнитные поля радиочастот. Допустимые уровни на рабочих местах и требования к проведению контроля»
Опасные		
Работа с асинхронным генератором	Повышенное значение напряжения	ГОСТ 12.1.038-82 ССБТ «Электробезопасность. Предельно допустимые уровни напряжений прикосновения и токов.»

5.2.2 Анализ вредных факторов

Отклонение показателей микроклимата от нормы могут возникнуть при неблагоприятных метеоусловиях. Высокая температура воздуха способствует быстрой утомляемости работающего, может привести к перегреву организма, тепловому удару. Низкая температура воздуха может вызвать местное или общее охлаждение организма, стать причиной простудного заболевания либо обморожения. Высокая относительная влажность при высокой температуре воздуха способствует перегреванию организма, при низкой же температуре увеличивается теплоотдача с поверхности кожи, что ведет к переохлаждению.

Оптимальные и допустимые метеорологические условия для рабочей зоны регламентированы ГОСТ 12.1.005 – 88 ССБТ «Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны» [19].

Таблица 5.2 – Оптимальные и допустимые показатели микроклимата в рабочей зоне производственных помещений

Период года	Категория работ	Оптимальная температура °С	Допустимая температура °С	Оптимальная влажность %	Допустимая влажность %	Скорость движения воздуха оптимальная м/с	Скорость движения воздуха допустимая м/с
Холодный	Средней тяжести Па	18-20	15-23	40-60	не более 75	0,2	не более 0,3
Теплый	Средней тяжести Па	21-23	17-27	40-60	не более 65	0,3	0,2-0,4

Для поддержания нормальных параметров микроклимата в рабочей зоне применяются следующие мероприятия: устройство систем вентиляции кондиционирование воздуха и отопление, компенсация неблагоприятного воздействия одного параметра микроклимата изменением другого, спецодежда и другие средства индивидуальной защиты, помещения для отдыха и обогрева, перерывы в работе и др.).

Недостаток освещенности рабочей зоны. Комфортные условия труда во многом зависят от освещения производственных помещений. Рациональное освещение повышает безопасность работ и производительность труда. Несоответствие нормативным показателям освещения или неправильная установка источников света могут быть причиной быстрой утомляемости работающих, а также несчастного случая.

Всеобщим межотраслевым документом, содержащим нормы естественного и искусственного освещения предприятий, является СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278-03 [20].

К системам освещения предъявляются следующие требования:

Соответствие освещенности на рабочих местах характеру зрительной

работы. До определенного уровня увеличение освещенности повышает производительность труда за счет улучшения условий видения объектов. Дальнейшее увеличение освещенности экономически нецелесообразно;

Достаточно равномерное распределение яркости на рабочей поверхности. При неравномерной яркости глаз вынужден в процессе работы переадаптироваться, что ведет к утомлению зрения;

Нормы рабочего освещения приведены в таблице 5.3.

Таблица 5.3 – Нормируемые показатели естественного, искусственного и совмещенного освещения производственных помещений

Помещения	Рабочая поверхность и плоскость нормирования КЕО и освещенности (Г - горизонтальная, В - вертикальная) и	Естественное освещение		Совмещенное освещение		Искусственное освещение				
		КЕО, e_n , %		КЕО e_n , %		освещенность, лк			показатель дискомфорта M , не более	Коэффициент пульсации освещенности, K_p , %, не более
		при верхнем или комбинированном освещении	при боковом освещении	при верхнем или комбинированном освещении	при боковом освещении	при комбинированном освещении		при общем освещении		
Кабинеты, рабочие комнаты, офисы	Г-0,8	3,0	1,0	1,8	0,6	400	200	300	40	15
Проектные залы и комнаты конструкторские, чертежные бюро	Г-0,8	4,0	1,5	2,4	0,9	600	400	500	40	10
Помещения для работы с дисплеями и видеотерминалами, залы ЭВМ	Г-0,8	3,5	1,2	2,1	0,7	500	300	400	15	10
	Экран монитора В-1,2	-	-	-	-	-	-	200	-	-

Повышенный уровень электромагнитных излучений. К источникам электромагнитного излучения относятся все системы производства, передачи и распределения электроэнергии (системы электропроводки, различные кабельные системы и пр.).

Электромагнитные излучения способны вызывать нарушение сна, нервные расстройства, значительное ухудшение зрительной активности, расстройства сердечно – сосудистой системы. Степень воздействия зависит от диапазона частот, интенсивности, продолжительности излучения. Интенсивные сверхчастотные излучения (выше 300 МГц) вызывают патологию различных органов.

Нормируемыми параметрами в диапазоне частот 60 кГц - 300 МГц являются напряженности Е и Н электромагнитного поля. В диапазоне низких частот интенсивность излучения не должна превышать 50 В/м по электрической составляющей и 5 А/м по магнитной составляющей напряженности поля.

Напряженность магнитного поля на расстоянии 10 см от экрана варьируется в диапазоне 0,4 - 1,8 А/м. С расстоянием эти показатели уменьшаются. Следовательно, напряженность магнитного поля аудитории соответствует норме. Естественным средством, защищающим пользователя от воздействия вредных излучений, являются фильтры для экранов мониторов. Временно допустимые уровни ЭМП, создаваемые ЭВМ приведены в таблице 5.4.

Таблица 5.4 – Временные допустимые уровни ЭМП, создаваемых ПЭВМ (СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03)

Наименование параметров		ВДУ ЭМП
Напряженность электрического поля	в диапазоне частот 5 Гц - 2 кГц	25 В/м
	в диапазоне частот 2 кГц - 400 кГц	2,5 В/м
Плотность магнитного потока	в диапазоне частот 5 Гц - 2 кГц	250 нТл
	в диапазоне частот 2 кГц - 400 кГц	25 нТл
Напряженность электростатического поля		15 кВ/м
Электростатический потенциал экрана видеомонитора		500 В

Защита может быть выполнена следующими путями:

- снижением мощности источника излучения;

- снижением параметров излучения;
- ослаблением ЭМП на рабочем месте.

При необходимости работы под действием электромагнитного излучения, превышающего допустимые значения (ремонт, профилактика и т. п.), используются средства индивидуальной защиты: защитные костюмы из металлизированной ткани, комплекты индивидуальной защитной экранирующей одежды, защитные очки из стекла с металлизированным слоем диоксида олова, шлем-маски из металлической сетки с ячейкой, соответствующей длине волны излучения.

5.2.3 Анализ опасных факторов

Повышенное значение напряжения. При повышенном значении напряжения в электрической цепи есть риск поражения электрическим током. Электрический ток может оказывать следующие действия на организм человека: термическое (нагревает ткани, кровеносные сосуды, нервные волокна и внутренние органы вплоть до ожогов отдельных участков тела); электролитическое (разлагает кровь, плазму); биологическое (раздражает и возбуждает живые ткани организма, нарушает внутренние биологические процессы).

Техника безопасности на рабочем месте включает в себя: проведение первичного и очередного инструктажей. Перед началом работы необходимо получить краткие теоретические знания по электробезопасности.

Для обеспечения электробезопасности предусматривается:

- заземление, зануление токоведущих частей оборудования по ГОСТ 12.1.030 – 81 и ПУЭ, сопротивление заземления не более 4 Ом;
- ограждение и изоляция оборудования и токопроводов;
- устройства автоматического контроля и сигнализации;
- устройства автоматического отключения;
- предохранительные устройства;
- знаки безопасности.

5.3 Экологическая безопасность

Негативное воздействие объекта на окружающую среду практически отсутствует кроме небольшого количества отходов в виде отработанных материалов для исследований. При обращении с твердыми отходами: бытовой мусор (отходы бумаги, отработанные специальные ткани для протирки офисного оборудования и экранов мониторов, пищевые отходы); отработанные люминесцентные лампы; офисная техника, комплектующие и запчасти, утратившие в результате износа потребительские свойства – надлежит руководствоваться Постановлением Администрации г. Томска от 11.11.2009 г. №1110 (с изменениями от 24.12.2014) [24]: бытовой мусор после предварительной сортировки складировать в специальные контейнеры для бытового мусора (затем специализированные службы вывозят мусор на городскую свалку); утратившее потребительские свойства офисное оборудование передают специальным службам (предприятиям) для сортировки, вторичного использования или складирования на городских мусорных полигонах. Отработанные люминесцентные лампы утилизируются в соответствии с Постановлением Правительства РФ от 03.09.2010 №681 [25]. Люминесцентные лампы, применяемые для искусственного освещения, являются ртутьсодержащими и относятся к 1 классу опасности. Ртуть люминесцентных ламп способна к активной воздушной и водной миграции. Интоксикация возможна только в случае разгерметизации колбы, поэтому основным требованием экологической безопасности является сохранность целостности отработанных ртутьсодержащих ламп. Отработанные газоразрядные лампы помещают в защитную упаковку, предотвращающую повреждение стеклянной колбы, и передают специализированной организации для обезвреживания и переработки. В случае боя ртутьсодержащих ламп осколки собирают щеткой или скребком в герметичный металлический контейнер с плотно закрывающейся крышкой, заполненный раствором марганцевокислого калия. Поверхности,

загрязненные боем лампы, необходимо обработать раствором марганцевокислого калия и смыть водой. Контейнер и его внутренняя поверхность должны быть изготовлены из не адсорбирующего ртуть материала (винипласта).

Вышедшие из строя двигатели не представляют опасности для здоровья человека и окружающей среды. В основном электродвигатели состоят из железа, алюминия и меди. Из железа состоят стальные сердечники, валы и корпус. Из меди состоят обмоточные провода. Из алюминия может быть изготовлен корпус, а также обмотка. Материалы поддаются внешней переработке.

Детали двигателя, изготовленные с применением пластмассы и изоляционных материалов, могут быть утилизированы с соблюдением экологических норм.

Известно, что пластик разлагается около двух сотен лет. Попадая в землю, пластмассы распадаются на мелкие частицы и начинают выбрасывать в окружающую среду химические вещества, добавленные в них при производстве. Это может быть хлор, различные химикаты, например, токсичные или канцерогенные антивоспламенители. Через грунтовые воды микрогранулы пластика и его химикаты просачиваются к ближайшим источникам воды, что нередко приводит к массовой гибели животных, рыб и т.д. Таким образом, пластик опасен для гидросферы, атмосферы и живых организмов.

Неправильная утилизация электродвигателей после окончания их срока службы может привести к серьезному урону для экологии. Утилизацией электродвигателей занимаются специальные предприятия, имеющие разрешения на данный вид деятельности, а также все необходимое для этого оборудование. Процесс переработки и утилизации электродвигателя основывается на принципе разделения на составные компоненты, а переработка является отдельным утилизационным процессом.

5.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях

Основными причинами пожаров от электрического тока является короткое замыкание, перегрузки электрических установок, переходные сопротивления и искрения.

Причинами короткого замыкания могут быть неправильный выбор сечения и марки кабелей приводов, износ и различные механические повреждения изоляции. Перегрузка электрических цепей вызывает нагрев электрических установок, снижение диэлектрических свойств изоляции и ее воспламенение. Искрение происходит в момент разъединения находящихся под напряжением проводов выключателей, предохранителей и т.п.

Надёжная и безопасная работа электрооборудования обеспечивается в результате правильного его выбора, качества изготовления и регулярного проведения осмотров, профилактических испытаний и ремонтов. Поэтому имеет особое значение выполнения требований ПУЭ при выборе электрооборудования.

Пожарная безопасность обеспечивается следующими мероприятиями пожарной профилактики:

- Организационные - противопожарный инструктаж, разработка планов эвакуации;
- Технические - соблюдение норм и правил при проектировании и строительстве зданий и т.д.;
- Режимные - запрещение курения в неустановленных местах;
- Эксплуатационные - своевременный ремонт оборудования.

Каждый, обнаруживший пожар или загорание, обязан немедленно вызвать пожарную охрану по телефону 01, а также при необходимости вызвать газоспасательную, медицинскую и другие службы. Информацию об очаге возгорания необходимо сообщить лицу ответственному за эвакуацию людей из здания. Если в помещении, где произошло загорание, находятся

предметы, потеря которых может привести к серьезным финансовым затруднениям предприятия или к потере ценной информации, то нужно приступить к тушению очага пожара.

Меры пожарной безопасности: наличие необходимого количества выходов; пожарная сигнализация; организационно-технические мероприятия.

Система пожарной защиты предусматривает следующие меры: предотвращение распространения пожара за пределы очага; применение средств пожаротушения; эвакуация людей в случае пожара; применение средств пожарной сигнализации и средств извещения; средства индивидуальной защиты органов дыхания (респираторы, тканевые повязки).

Вывод по разделу

В данном разделе ВКР были проанализированы опасные и вредные факторы при исследовании и разработке асинхронного генератора как элемента системы электроснабжения летательного аппарата, а также методы защиты от них. Были проанализированы вопросы производственной безопасности, выявленных опасных факторов при разработке и эксплуатации асинхронных генераторов, экологической безопасности, безопасности при чрезвычайных ситуациях, а также правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности. К каждому разделу прописаны нормативные документы, которыми нужно руководствоваться при эксплуатации проектируемого объекта.

Таким образом, необходимо обеспечить на рабочем месте при проведении технических работ свободный доступ для эксплуатации и ремонта оборудования. Оборудование не должно загромождать проход в случае ЧС и обеспечивать возможность использовать рычаг аварийного отключения электроэнергии. В цехах должны быть огнетушители, либо пожарный щит, и силовой щит, который позволит обесточить полностью помещение.

Заключение

Сравнение систем генерирования электроэнергии, построенных на различных типах электромеханических преобразователей, показало, что применение асинхронных генераторов имеет преимущества с точки зрения его низкой стоимости, простой и прочной конструкции, защиты от коротких замыканий, обеспечения стабильного уровня выходного напряжения при изменении нагрузки и простоты обслуживания на автономных объектах.

В качестве источника реактивной мощности можно использовать конденсаторную батарею, либо полупроводниковые преобразователи энергии (автономный инвертор напряжения).

При анализе процесса самовозбуждения электрических машин с помощью методов теории автоматического управления были получены идентичные формы математических выражений, а также к аналогичные физические условия самовозбуждения, что позволяет утверждать, что генерирование электроэнергии в различных типах электрических машин происходит по одним законам.

В результате исследований было доказано, что самовозбуждение АГ связано с явлением параметрического резонанса, причиной которого являются периодически изменяющимся индуктивные сопротивления, зависящие от взаимного положения пазов статора и короткозамкнутых стержней ротора. Также было показано, что неустойчивость системы, то есть нарастание колебаний, является необходимым условием для процесса генерирования. При этом существуют критические значения емкости и сопротивления нагрузки, при которых будет происходить срыв генерирования электроэнергии.

В разделе финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение составлен план научного исследования, рассчитан бюджет, определена ресурсоэффективность данного исследования.

В разделе социальной ответственности рассмотрены правовые и организационные вопросы обеспечения производственной и экологической безопасности, а так же обеспечение безопасности в возможных чрезвычайных ситуациях. Проведен анализ вредных и опасных производственных факторов, разобраны меры предосторожности. Определены меры по обеспечению экологической безопасности.

Список литературы

1. Беретинов, А.И. Проектирование авиационных электрических машин постоянного тока / А.И. Беретинов, Г.А. Ризник. – М.: Государственное издательство оборонной промышленности, 1958. – 423 с.
2. Решетов, С. А. Электрооборудование воздушных судов : учеб. для вузов гражд. авиации / С. А. Решетов, Н. Г. Попович, С. П. Кононов; под ред. С. А. Решетова. – М.: Транспорт, 1991. – 318 с.: ил.
3. Лукутин, Б.В. Режимы работы синхронного генератора инверторной дизельной электростанции / Б.В. Лукутин, Е.Б. Шандарова // Современные проблемы науки и образования. – 2013. – № 3. – С. 613–617.
4. Шевченко, В.В. Анализ возможности использования разных типов генераторов для ветроэнергетических установок с учетом диапазонов мощности / В.В. Шевченко, Я.Р. Кулиш // Вестник НТУ ХПИ. – 2013. – № 65.– С. 1–9.
5. Бертинов А.И. Специальные электрические машины: учеб. пособие для вузов / А. И. Бертинов, Д. А. Бут, С. Р. Мизюрин и др.; Под ред. А. И. Бертинова. —М., Энергоиздат, 1982.— 552 с.: ил.
6. Вольдек, А.И. Электрические машины: учебник для студентов высш. техн. учебн. заведений – 3-е изд., перераб. / А.И. Вольдек. – Л.: Энергия, 1978. – 832 с., ил.
7. Зубков, Ю. Д. Асинхронные генераторы с конденсаторным возбуждением / Ю.Д. Зубков. – Алма-Ата: ШД-ъо АН Каз. ССР. – 1949. – 112с.
8. Бояр-Созонович, С.П. Альтернативность асинхронных генераторов с конденсаторным самовозбуждением / С.П. Бояр-Созонович // Электричество. – 1993. – № 3. – С. 24–29.

9. Гентковски, З. Процессы и характеристики автономных асинхронных генераторов с полупроводниковыми регуляторами: диссертация док. тех. наук: 05.09.01 / Гентковски Здислав. – СПб., 2000. – 255 с.
10. Нетушил, А.В. Самовозбуждение асинхронного генератора / А.В. Нетушил, С.П. Бояр-Созонович, А.В. Китаев // Изв. вузов. Электромеханика. – 1981. – № 6. – С. 613–617.
11. Постников. И.М. Обобщенная теория и переходные процессы электрических машин: учебник для вузов / И.М. Постников. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Энергоатомиздат, 1975. – 319 с.: ил.
12. Кунцевич, П.А. Асинхронный резонансный генератор как автоперестраиваемая автоколебательная система: диссертация канд.тех. наук: 05.09.01 / Кунцевич Петр Антонович. – Куйбышев, 1988. – 188 с.
13. Физическое толкование параметрического резонанса / Н.Д. Бирюк, Ю.Б. Нечаев, В.Н. Финько // Вестник ВГУ. Сер. Физика. Математика. – 2005. – № 1. – С. 20–25.
14. Гарганеев, А.Г. О самовозбуждении электрических машин с позиций теории автоматического управления / А. Г. Гарганеев, Д.А. Падалко // Доклады Томского государственного университета систем управления и радиоэлектроники. – 2016. – № 2. – С. 94–98.
15. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение: учебно-методическое пособие / И.Г. Видяев, Г.Н. Серикова, Н.А. Гаврикова, Н.В. Шаповалова, Л.Р. Тухватулина З.В. Криницына; Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2014. – 36 с.
16. ТК РФ, N 197 – ФЗ Трудовой кодекс Российской Федерации от 30 декабря 2001 г. № 197-ФЗ (с изм. от 16 декабря 2019 г.) // Собрание законодательства РФ. 2019

17. Гриванов И.Ю., Гриванова О.В., Гриванова С.М. Безопасность жизнедеятельности: учебно - практическое пособие. – Владивосток: Издательство ВГУЭС, 2010 – 92 с.
18. ГОСТ 12.0.003-2015 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Опасные и вредные производственные факторы. Классификация
19. ГОСТ 12.1.005 – 88 ССБТ «Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны»
20. СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278-03 Гигиенические требования к естественному, искусственному и совмещенному освещению жилых и общественных зданий
21. ГОСТ 12.1.006-84 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Электромагнитные поля радиочастот. Допустимые уровни на рабочих местах и требования к проведению контроля
22. СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03. Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы
23. ГОСТ 12.1.038-82 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Электробезопасность. Предельно допустимые значения напряжений прикосновения и токов
24. Об организации сбора, вывоза, утилизации и переработки бытовых и промышленных отходов на территории муниципального образования "Город Томск" (с изменениями на 24 декабря 2014 года)
25. Об утверждении Правил обращения с отходами производства и потребления в части осветительных устройств, электрических ламп, ненадлежащие сбор, накопление, использование, обезвреживание, транспортирование и размещение которых может повлечь причинение вреда жизни, здоровью граждан, вреда животным, растениям и окружающей среде (с изменениями на 1 октября 2013 года)
26. Правила противопожарного режима РФ (Постановление Правительства РФ от 25.04.2012 N 390 "О противопожарном режиме" (с изменениями на 23 апреля 2020 года).