

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

Институт Энергетический

Направление подготовки 13.04.02 Электроэнергетика и электротехника

Кафедра Электротехнических комплексов и материалов (ЭКМ)

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Тема работы
Магнитоэлектрический двигатель для привода турбомеханизма

УДК 621.313.33:62-83:62-135

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5ГМ4Г	Сафонов Виктор Валерьевич		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент кафедры ЭКМ	Бейерлейн Е.В.	к.т.н. доцент		

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент кафедры менеджмента	Фигурко А.А.	к.э.н. доцент		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент кафедры ЭБЖ	Амелькович Ю.А.	к.т.н. доцент		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Зав. кафедрой	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
ЭКМ	Гарганеев А.Г.	д.т.н.		

Томск – 2016 г.

ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ПО ООП
13.04.02 «Электроэнергетика и электротехника»

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

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования

**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Институт - Энергетический

Направление подготовки - Электроэнергетика и электротехника

Кафедра – Электротехнических комплексов и материалов

УТВЕРЖДАЮ:

Зав. кафедрой

_____ Гарганеев А.Г.

(Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

ЗАДАНИЕ

на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

Магистерской диссертации

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

Студенту:

Группа	ФИО
5ГМ4Г	Сафонов В.В.

Тема работы:

Магнитоэлектрический двигатель для привода турбомеханизма

Утверждена приказом директора (дата, номер)	22.01.2016 №273/с
---	-------------------

Срок сдачи студентом выполненной работы:	1.06.2016
--	-----------

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе <i>(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или</i>	Объектом исследования является магнитоэлектрический двигатель Рабочая модель комплекса устройств диагностики электротехнических элементов активно применяется в лабораториях, цехах, в деятельность которых входит процесс монтажных, реставрационных,
---	---

изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).	сборочных, наладочных и диагностирующих работ. Напряжение питающей сети: напряжение 220 В. Частота сети: 50 Гц В рабочую модель входят: Частота вращения $n_{ном}=1500$ об/мин
Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов (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).	Проектирование базовой модели асинхронного двигателя; Проектирование модели магнитоэлектрического двигателя; Расчет энергетических характеристик и составление выводов. Исследования ресурсоэффективности и ресурсосбережения разработки. Решение задач социальной ответственности
Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы	
Раздел	Консультант
«Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»	Фигурко Аркадий Альбертович
«Социальная ответственность»	Амелькович Юлия Александровна

Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:	
Введение; обзор литературы; анализ конструкции и описание работы математических моделей; заключение.	
Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	9.09.2014 г.

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Бейерлейн Евгений Викторович	Кандидат технических наук		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5ГМ4Г	Сафонов Виктор Валерьевич		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
5ГМ4Г	Сафонов Виктор Валерьевич

Институт	ЭНИН	Кафедра	ЭКМ
Уровень образования	Магистратура	Направление/специальность	Электроэнергетика и электротехника

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Производственная безопасность

1.1. Анализ выявленных вредных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения в следующей последовательности:

- физико-химическая природа вредности, её связь с разрабатываемой темой;
- действие фактора на организм человека;
- приведение допустимых норм с необходимой размерностью (со ссылкой на соответствующий нормативно-технический документ);
- предлагаемые средства защиты;
- (сначала коллективной защиты, затем – индивидуальные защитные средства).

1.2. Анализ выявленных опасных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения в следующей последовательности:

- механические опасности (источники, средства защиты);
- термические опасности (источники, средства защиты);
- электробезопасность (в т.ч. статическое электричество, молниезащита – источники, средства защиты).

2. Экологическая безопасность:

- защита селитебной зоны
- анализ воздействия объекта на атмосферу (выбросы);
- анализ воздействия объекта на гидросферу (сбросы);
- анализ воздействия объекта на литосферу (отходы);
- разработать решения по обеспечению экологической безопасности со ссылками на НТД по охране окружающей среды.

3. Безопасность в чрезвычайных ситуациях: – перечень возможных ЧС при разработке и эксплуатации проектируемого решения; – выбор наиболее типичной ЧС; – разработка превентивных мер по предупреждению ЧС; – разработка действий в результате возникшей ЧС и мер по ликвидации её последствий.	
4. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности: – специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства; – организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.	

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

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент кафедры ЭБЖ	Амелькович Ю.А.	К.Т.Н. доцент		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5ГМ4Г	Сафонов Виктор Валерьевич		

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

Студенту:

Группа	ФИО
5ГМ4Г	Сафонов Виктор Валерьевич

Институт	ЭНИН	Кафедра	ЭКМ
Уровень образования	Магистратура	Направление/специальность	Электроэнергетика и электротехника

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

1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих	Научный руководитель: 23500 р. Инженер: 17500 р. Лаборант: 13000 р.
2. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования	Общий режим налогообложения

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Оценка коммерческого и инновационного потенциала НТИ	
2. Планирование процесса управления НТИ: структура и график проведения, бюджет, риски и организация закупок	
3. Определение ресурсной, финансовой, экономической эффективности	

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

1. «Портрет» потребителя результатов НТИ
2. Оценка конкурентоспособности технических решений
3. График проведения и бюджет НТИ

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

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент кафедры менеджмента	Фигурко А.А.	К.Э.Н. доцент		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5ГМ4Г	Сафонов Виктор Валерьевич		

Реферат

Выпускная квалификационная работа содержит страниц 115, рисунков 25, 21 таблицу, 34 источника, 1 приложение.

Ключевые слова: Магнитоэлектрический, асинхронный, двигатель, турбомеханизм. ротор, статор, обмотка.

Объект исследования: является модель магнитоэлектрического двигателя.

Предмет исследования:

Предметом исследования являются конструкции роторов.

Цель работы заключается в проектировании магнитоэлектрического двигателя путем изменения конструкции ротора асинхронного двигателя, применяемого в приводах турбомеханизмов, для повышения энергетических характеристик.

Задачи исследования:

- 1) Проектирование базовой модели асинхронного двигателя;
- 2) Проектирование модели магнитоэлектрического двигателя;
- 3) Расчет энергетических характеристик и составление выводов.

Методы исследования:

Основан на математическом моделировании комплексных устройств диагностики в программной среде Ansys Maxwell, с последующей обработке полученных результатов.

Достоинства результатов:

Моделирование двигателя проводится с учётом физических и энергетических характеристик двигателей.

Научная новизна:

Благодаря разработке и промышленному освоению новых магнитотвердых материалов, обладающих высокими удельными энергетическими показателями и относительно умеренной ценой, магнитоэлектрические двигатели с постоянными магнитами получают всё более широкое применение. Научная новизна заключается в оценке возможностей повышения энергетических характеристик за счет изменения конструкции ротора асинхронного двигателя.

Выпускная квалификационная работа выполнена в текстовом редакторе Microsoft Office Word на листах белой бумаги формата А4 с помощью программных сред Microsoft Word, Ansys Maxwell.

Оглавление

Введение.....	11
1. Обзор литературы	14
2. Методы расчета магнитных полей в магнитоэлектрических машинах.....	15
3. Сравнение магнитов	18
4. Конструкции роторов	22
5. Модель асинхронного двигателя	26
6. Модель магнитоэлектрического двигателя	34
7. Социальная ответственность	41
7.1 Производственная безопасность	41
7.2 Анализ опасных факторов производственной среды	48
7.3 Расчет искусственного освещения	54
7.4 Экологическая безопасность	59
7.5 Безопасность в чрезвычайных ситуациях	60
7.6 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности	63
8. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	64
Заключение	91
Приложение А	

Введение

Благодаря своим высоким эксплуатационным характеристикам, магнитоэлектрические двигатели являются наиболее перспективными электрическими машинами в диапазоне малых и средних мощностей.

К основным развитиям электромеханики выделяют:

- Переход с коллекторных машин к электромеханическим преобразователям бесколлекторным или полностью бесконтактными;
- интегрированию с электронными компонентами, управляющими системами, накопительными комплексами;
- Применение высококоэрцитивных постоянных магнитов;
- внедрение малоотходных технологических процессов.

Множеству из этих разработок относится магнитоэлектрический двигатель с постоянными магнитами.

Такие двигатели надежны, конструктивно просты, не требуют затрат энергии на возбуждение и имеют абсолютно жесткие механические характеристики. Перечисленные качества электрических машин обуславливают использование в производственных системах автоматизации, манипуляторах и роботах, приводах подачи и главного движения металлорежущих станков, космической и авиационной технике, нефтяной и газовой отрасли, автомобильном машиностроении, биомедицинской аппаратуре, бытовой технике.

Применение высокоэнергетических магнитов, типа NdFeB создает предпосылки для снижения массы и габаритов двигателей за счет новых рациональных технических решений, повышенных значений магнитной индукции в рабочей зоне, меньших размеров индуктора; способствует снижению потерь и росту КПД, которые даже для машин средней мощности достигают уровня 96 - 97%; приводит к уменьшению электромагнитных шумов, благодаря большим величинам эквивалентных воздушных зазоров; снимает проблемы, связанные со щеточными контактами; обеспечивает

более высокую надежность энергоустановки; облегчает обслуживание оборудования.

Цель работы заключается в проектировании магнитоэлектрического двигателя путем изменения конструкции ротора асинхронного двигателя, применяемого в приводах турбомеханизмов, для повышения энергетических характеристик.

Турбомеханизмы являются машинами массового применения. Можно сказать, что примерно 28% всей электроэнергии, вырабатываемой в России, расходуется электроприводом турбомеханизмов. К ним относятся вентиляторы, насосы, компрессоры.

Современные турбокомпрессоры имеют мощность до 18 кВт, насосы до 100 кВт, вентиляторы до 5кВт. Скорость сверхбыстроходного турбокомпрессоров примерно 20 000 об/мин. тихоходных вентиляторов примерно 100 об/мин

Все турбомеханизмы разнообразны по назначению, основным параметрам и условиям работы, их характеристики с точки зрения условий работы и требований имеют много общего, что влечет к рассмотрению турбомеханизмов как отдельный класс.

В последнее время для турбомашин использовались почти исключительно нерегулируемые электропривода на базе асинхронных или синхронных двигателей.

Основные критерии, показывающие необходимость использования магнитоэлектрических двигателей для турбомеханизмов:

- стремление для увеличения КПД электроустановок;
- улучшение качества продукции за счет оптимизации технологического процесса и регулирования;
- также переход от комплексной или полной к частичной автоматизации производственных процессов;
- рост единичной мощности турбомеханизма.

Главное условие целесообразности использования магнитоэлектрического двигателя для турбомеханизмов обусловлено тем, что для многих турбомеханизмов режим работы (насосов промышленного водоснабжения и коммунального, компрессоров и т.д.) во многих случаях является принципиально неопределенным. Автоматическая экономичная оптимизация технологических параметров возможна только при наличии магнитоэлектрического двигателя. Это стало особенно актуальным в связи с выпуском в настоящее время компактных и надежных преобразователей частоты [8].

Вопрос о выборе типа двигателей для турбомеханизмов должен быть принципиально рассмотрен таким образом, чтобы при проектировании электроустановок обосновывался отказ от применения асинхронных и синхронных машин.

Актуальность работы

В результате анализа различных конструкций электрических машин, объектом работы был выбран магнитоэлектрический двигатель.

Благодаря разработке и промышленному освоению новых магнитотвердых материалов, обладающих высокими удельными энергетическими показателями и относительно умеренной ценой, магнитоэлектрические двигатели с постоянными магнитами получают всё более широкое применение. Использование высокооборотных магнитоэлектрических машин совместно с частотным преобразователем обеспечивает рост единичной мощности агрегата, высокую надёжность за счёт бесконтактного исполнения, стабильность частоты вращения и качество энергетических характеристик за счёт незначительного потребления реактивной мощности. Исследование данного двигателя осуществлялось на основании программного обеспечения ANSYS Maxwell.

1. Обзор литературы

Магнитоэлектрические двигатели [МД] с постоянными магнитами являются одними из самых перспективных. Это объясняется следующим:

1. Высокие энергетические показатели (КПД и $\cos\varphi$). КПД магнитоэлектрических двигателей могут превышать 90%, $\cos\varphi$ – более 0.95.

Высокий КПД определен таким образом, что основные магнитные и электрические потери в роторе МД с возбуждением от высококоэрцитивных магнитов отсутствуют. Ток холостого хода в таких машинах очень низок.

Большое значение $\cos\varphi$ обуславливается выбором угла включения фазы. Это достигается путем определенной настройкой датчика положения ротора или при векторном управлении.

2. Коэффициент полезного действия магнитоэлектрического двигателя при колебаниях напряжения питающей сети и изменении нагрузки изменяется не значительно.

3. МД имеет меньший перегрев в сравнении с АД при одинаковых размерах и одинаковой мощности.

Перегрев в данной ситуации зависит от потерь, который при увеличении КПД и $\cos\varphi$ становится меньше. Это приводит к увеличению ресурсов изоляционных материалов, следовательно, и сроку службы электропривода в целом. Также, позволяет электроприводу работать в нестандартных режимах с возможными перегрузками.

4. Меньшие габаритные размеры и масса.

Более высокий КПД и $\cos\varphi$, где низкие потери, позволяют для установившейся мощности спроектировать двигатель меньших размеров по сравнению с АД. Это обеспечивается реализацией наиболее высоких значений линейной нагрузки и тех же значений индукций в воздушном зазоре (около 0,5-0,7 Тл).

5. Высокое быстродействие и точность позиционирования.

6. Минимальное значение токов холостого хода.

7. Линейность характеристик.

8. Большим сроком службы и высокой надёжностью [5].

Недостатки:

1. Присутствие обратной связи и необходимое наличие датчика положения ротора.

2. наиболее усложненная система управления электродвигателем.

2. Методы расчета магнитных полей в магнитоэлектрических машинах с помощью современных программных продуктов

С увеличением требований к качеству разработки и производства электрических машин и аппаратов, а также к снижению затрат производства, широкое распространение получают программные комплексы, позволяющие оптимизировать процессы методов расчета электромагнитных полей. Одним из вариантов методик расчета магнитных систем, входящих в состав электрических машин и аппаратов, является применение метода конечных элементов (МКЭ) для моделирования электромагнитного поля. В качестве инструмента для расчета математической модели магнитоэлектрического двигателя выбран программный комплекс ANSYS Maxwell, использующий современные конечно – элементные технологии для выполнения электромагнитных расчетов. Выбор данного продукта обусловлен его популярностью и широкими возможностями. Программное обеспечение ANSYS предоставляет заказчикам быстро развиваться на рынке товаров и услуг, производить продукцию высокого уровня. В настоящее время компания ANSYS, непрерывно совершенствуя технологические процессы, создает удобные и гибкие системы моделирования для многочисленных направлений производства, что позволяет различным предприятиям выполнять общий анализ своих проектируемых работ и тем самым

добиваться максимальной эффективности затрат на программные средства и вычислительную технику.

Компания ANSYS, имеет подход к производству и проектированию изделий, который ссылаются на расчет привязанный к анализу и помогает избежать дорогих и длительных по времени разработок. В многостороннем и длительном процессе проектного анализа, применяется на всех уровнях проекта.

С помощью программы ANSYS проектируется компьютерная модель изделия, конструкции или его составной части; прикладываются действующие усилия или другие проектные воздействия; исследуются различные физические условия на примере распределений температур и напряжений, электромагнитных полей. Программа применяется для оптимизации проектных разработок на первичных стадиях, что позволяет снизить стоимость продукции. Это все помогает исследовательским организациям сократить время разработки, состоящий в изготовлении образцов прототипов, повторном изготовлении образцов и их испытаниях, и исключить дорогостоящий процесс доработки изделия [10].

Этот программный комплекс применяется в соединяющих отраслях: в оборонной, автомобильной, космической и в других промышленных электроустановках:

- В электромеханике: генераторы и двигатели, поступательные и вращающиеся электромагниты, реле.
- В электромагнетизме: постоянные магниты, катушки, датчики.
- В силовой электронике: преобразователи, трансформаторы, токопроводящие шины, и другие виды устройств.
- Рассмотрение изменений электромагнитных полей: электростатический разряд, изучение экранирования, электромагнитная совместимость, полупроводники.

В ANSYS Maxwell можно рассчитывать несколько видов задач:

- Электрические трехмерные поля
- Комбинация электрических трехмерных полей с решениями по полю в проводниках, используемые граничные условия для электростатической задачи.
- Магнитоэлектрические линейные и нелинейные трехмерные поля, вызванные определенным распространением плотности постоянного тока, постоянными магнитами, напряжением или внешне приложенными магнитными полями. Также есть возможность определить следующие величины к ним относятся: сила, вращающий момент и индуктивность.
- Гармонические трехмерные магнитные поля с индуцированными вихревыми токами в массивных проводниках, вызванные определенным пользователем распространением переменных токов или внешним образом приложенными магнитными полями. Решение задачи вихревых токов — это полное волновое решение, включающее эффекты электромагнитного волнового излучения.
- Переходный процесс в трехмерном магнитном поле, вызванный постоянными магнитами и обмотками, которые запитаны источником напряжения или тока с изменением во времени; обмотки подключаются к электрическим цепям. Эффекты поступательного или вращательного движения также рассматриваются в моделировании.

Совместное решение конечно элементной задачи под управлением симулятора. С помощью комбинаций ANSYS Maxwell и ANSYS Simplorer можно рассчитывать высокоуровневые электромеханические системы. Такие технологии дают возможность пользователям выполнять комплексный расчет систем, состоящих из аналоговых и цифровых цепей, электромагнитных устройств, датчиков, гидравлических, механических и

других нагрузок, следовательно, максимально приблизить полученную модель к реальным условиям эксплуатации.

3. Сравнение магнитов применяющиеся в магнитоэлектрических двигателях

Постоянные магниты SmCo

Самарий-кобальтовые магниты изготавливаются с помощью порошковой металлургии. Для начала изготавливается порошок путём размола сплава, затем порошок прессуется в изделие с одновременной ориентацией частиц в магнитном поле, после чего проводится спекание заготовок в изделие. Для получения точных размеров спечённые магниты шлифуют абразивным инструментом.

Достоинства магнитов SmCo:

- обладают высокими магнитными свойствами - в 5-7 раз мощнее ферритов.
- очень устойчивы при воздействиях, способных вызывать коррозию
- имеют стабильные магнитные свойства при высоких температурах (до 350°C).

Недостатками магнитов

SmCo имеют высокую стоимость и хрупкость. Самаривые магниты очень хрупкие по сравнению с магнитами на основе неодима. У них наблюдается пониженная механическая прочность. Они больше всего подвергаются трещинам и сколам, не поддаются обычным способам обработки.

Это самый дорогостоящий из всех перечисленных магнитных материалов. Завышенная стоимость магнитов определяется применением в сплаве дорогих редкоземельных металлов. Сам технологический процесс очистки самария достаточно дорогой, как и кобальта, который широко применяется в промышленности сталей высоких марок.

Магниты NdFeB

Магниты, изготавливаются из сплавов на основе редкоземельных металлов химического состава $Nd_2Fe_{14}B$, обладают наиболее высокими магнитными параметрами из всех выпускаемых промышленностью.

К магнитам на основе сплавов типа Nd-Fe-B можно отнести следующие преимущества:

- В составе сплава NdFeB отсутствует достаточно дорогой металл кобальт, который даёт преимущество магнитам этого состава перед магнитами из сплава SmCo по цене и масштабам производства.
- Наиболее высокие магнитные параметры по сравнению с ферритовыми магнитами и литыми (NdFeB в 9-10 раз мощнее ферритов)
- Магниты NdFeB имеют меньшую температурную стабильность, чем магниты SmCo, их температурный коэффициент магнитной индукции изменяется от 0.05 до 0.12 %. Поэтому при температурах выше 180 °C магниты SmCo могут создавать большие значения магнитного поля, чем неодимовые магниты.
- возможность при малых габаритах создание сильных магнитных полей.
- наиболее выгодное отношение энергетического производства к цене
- возможность использования в широком спектре электротехнических устройств.

Высокоэнергоемкие спеченные магниты неодимовые широко используются в магнитных системах различных технических устройств (например, в приводах жестких дисков компьютеров, компрессорах воздушных кондиционеров, фокусирующих системах, в мобильных телефонах, в моторах и генераторах для гибридных и электрических автомобилей и т.д.).

К недостаткам относится:

Магниты из материала Nd-Fe-B имеют низкую коррозионную стойкость, для устранения которой магниты покрывают защитным слоем цинка, меди, хрома, никеля. Nd в составе сплава NdFeB может частично заменяться на другие металлы.

Технологический процесс изготовления магнитов NdFeB достаточно сложный из-за повышенной окисляемости редкоземельных металлов, следовательно, процесс производства сплавов происходит в вакууме. Порошки сплава можно получить методом многоуровневого дробления. Для установления анизотропии свойств порошки сплавов прессуют в магнитном поле, после чего образцы спекают. Чтобы получить максимальное значение анизотропии образцы магнитов допрессовывают под нагревом. Эти добиваются не только дополнительное уплотнение, но также перекристаллизацию сплавов с большей кристаллической структурой.

Ферритовые магниты

Феррит - самый дешёвый магнитный материал. У этого материала умеренно высокие значения H_{cb} и H_{ci} (от 2,500 до 4,000 G). Его электрическое сопротивление также очень высоко.

Основное преимущество ферритов — низкая цена. Также можно отметить высокую химическую стабильности к окислению, которая позволяет магнитам сохранять внешний вид и свои свойства без всякого покрытия в течение долгого времени. Следовательно, ферриты используются там, где основным требованием при выборе магнита является низкая цена. Поэтому свойства ферритов постоянно совершенствуются.

Температурный коэффициент ферритовых материалов составляет 0.2 %. Материалы ферритов используются в промышленности электродвигателей, где необходим магнитный материал с высокой коэрцитивной силой. Ферриты с успехом применяются в тех случаях, когда необходимы высокие магнитные характеристики материала. Стоит отметить, что коэрцитивная сила этого

материала изменяется в пределах от 2,500 до 4,000 G, что для электроприводов вполне достаточно [9].

Недостатки ферритовых магнитов, к ним относят:

Низкие температурную стабильность и температуру Кюри – около 450 °С

Таблица -1 Физические характеристики магнитов.

Характеристики	NdFeB	SmCo	Ферриты
Температура кюри, °С	310÷380	800÷850	450
Максимальная рабочая температура, °С	80÷230	250÷350	300
Твердость по Виккерсу	620	500	400
Плотность, г/см ³	7,45÷7,	8,3÷8,5	4,9÷5,1
Температурный коэффициент изменения, %/°С	-0,11÷-0,12	0÷0,04	-0,2
Сила изгиба, МПа	295÷345	130	62

Вывод: В результате сравнения магнитов, широко используемых в промышленности, магнитом обладающем целым рядом преимуществ, относительно магнитов SmCo и ферритов, является магнит NdFeB.

4 Конструкции роторов

Роторы магнитоэлектрических машин бывают различных конструкций.

Цилиндрический ротор

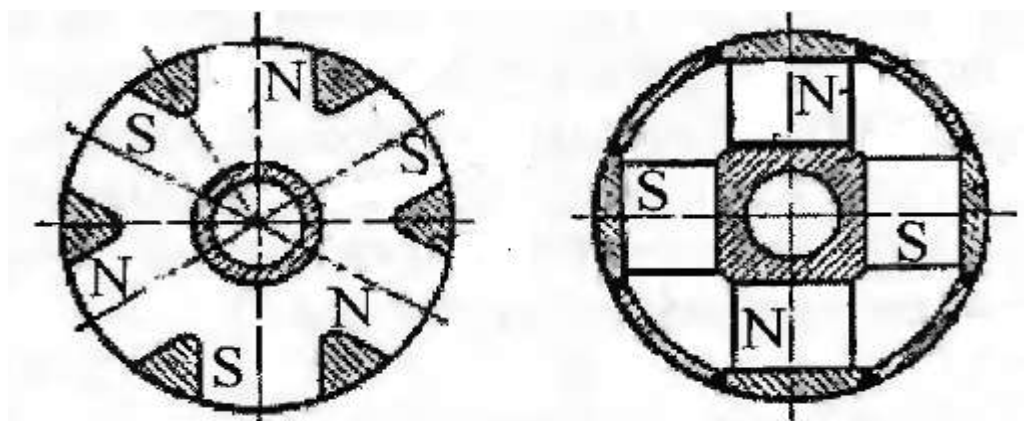
Цилиндрические магниты применяют для машин мощностью до 25 кВт. Магнит напрессовывают на немагнитный вал или втулку. Достоинство такой конструкции — это простота изготовления, к недостаткам относится плохое применение материала магнита.

Ротор звездочкой

Магниты звездообразного типа выполняются как без полюсными наконечниками, так и с полюсными наконечниками. Магниты звездочка непосредственно заливаются на валу или крепятся путем заливки немагнитных электропроводящих сплавов.

Ротор со таким магнитом достаточно прост в производстве и обеспечивает высокий коэффициент заполнения объема расточки якоря магнитом.

К минусам конструкции ротора относят низкую механическую прочность из-за хрупкости магнитных сплавов.



а

б



в

Рисунок –1 ротор звездообразного типа, а- без полюсов; б- с полюсами; в –со скосом пазов.

Применение полюсных наконечников на концах полюсов усложняют конструкцию, увеличивают объем ротора и уменьшают объем магнита, но создает ряд достоинств: магниты защищены наконечниками от несимметричного размагничивания; поле в воздушном зазоре меньше искажено; с помощью регулирования потока рассеяния можно добиться оптимального использования магнита.

Ротор с радиальным намагничиванием

Наиболее распространенной является конструкция ротора магнитоэлектрической машины в виде напрессованного на вал

магнитопровода, на внешней поверхности которого расположены высококоэрцитивные магниты, намагниченные в радиальном направлении.

Преимущество такой конструкции является простота ее изготовления и малые сопротивления по осям ротора, определяющие жесткость механических характеристик.

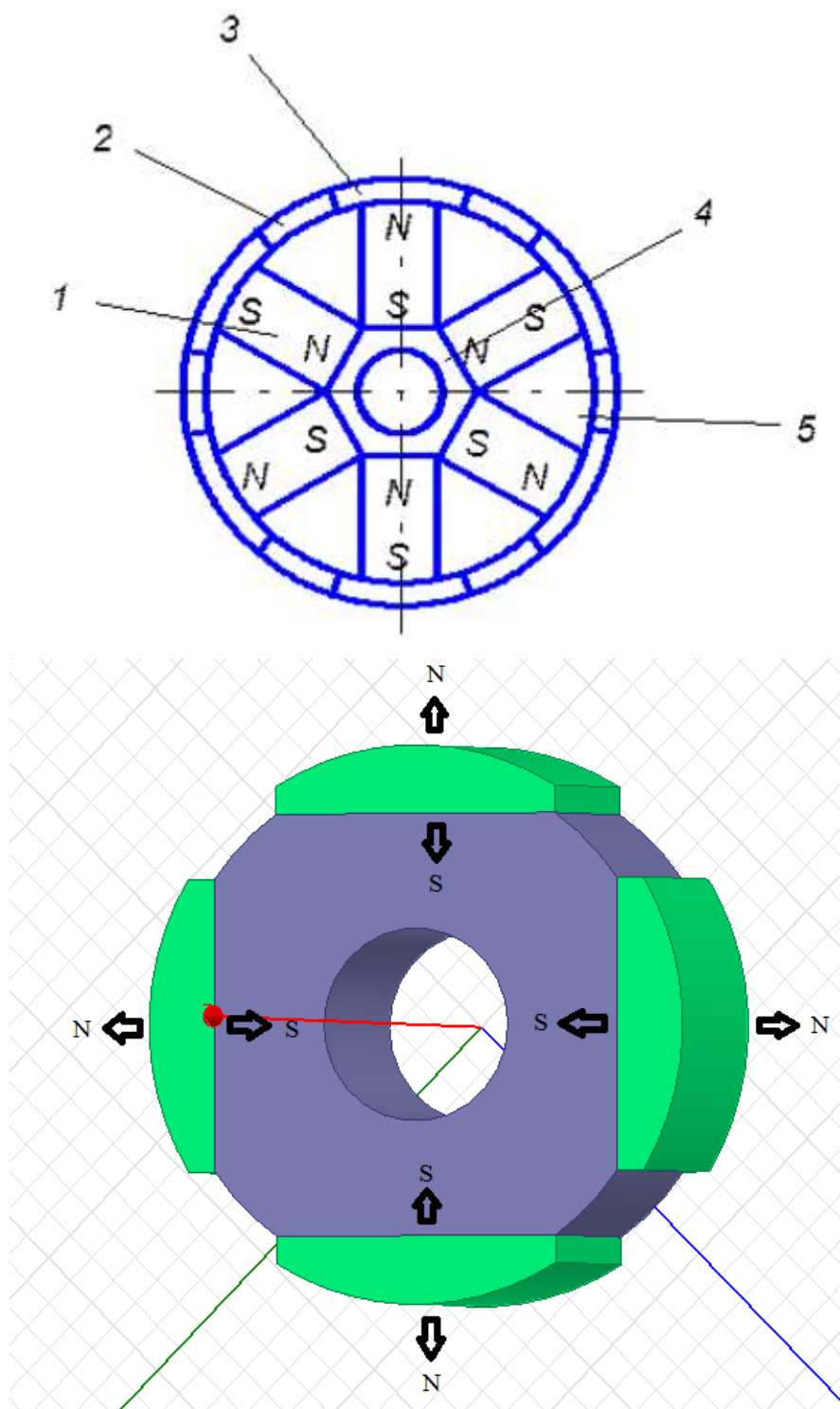


Рисунок -2 Ротор с радиальным намагничением

Данная конструкция содержит расположенные радиально магниты призматической формы, которые намагничены по радиусу и примыкают внутренними торцами магнитопровода.

Ротор с тангенциально намагниченными магнитами

Такая конструкция особенно рациональна при использовании высококоэрцитивных магнитов на основе редкоземельных материалов, которые могут быть слобочувствительны к величине немагнитного зазора в магнитной цепи (рис.2).

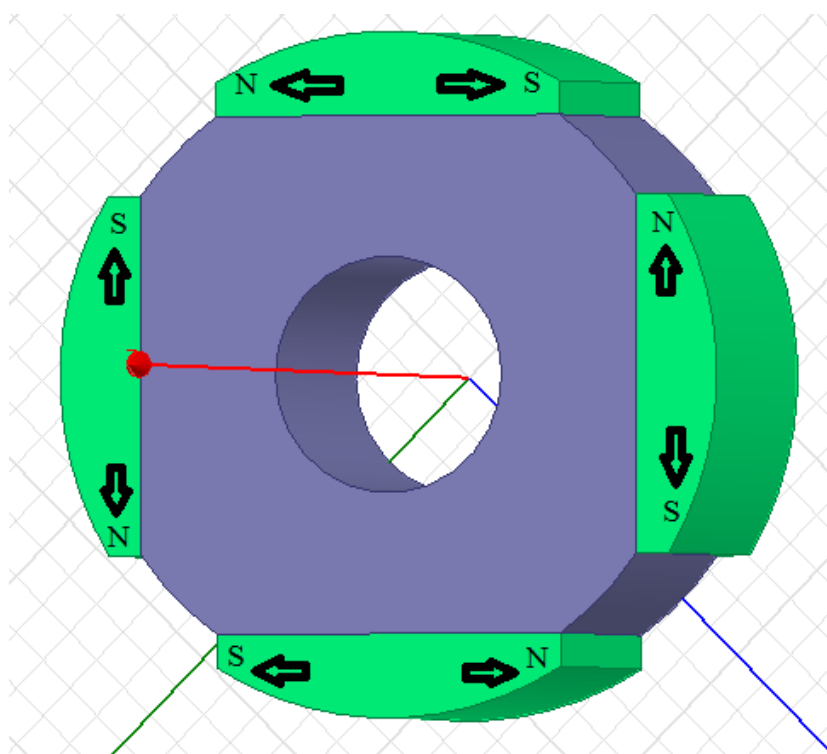


Рисунок -3 Ротор с тангенциальным намагничением

Тангенциально расположенные магниты (рисунок) – применяют, когда число пар полюсов $2p=2,4$, такому расположению магнитов характерна большая длина, а отсюда и площадь в направлении намагничивания.

При увеличении числа полюсов ротора $2p>4$ происходит снижением удельного объема постоянного магнита, в силу конструктивного исполнения и технологических требований [11].

5 Модель асинхронного двигателя

В качестве базовой модели был выбран асинхронный двигатель ДАТ-164, применяемый в приводе топливопрокачивающего агрегата тепловоза.

Для построения модели перечислим исходные данные двигателя, и перечислим геометрические размеры двигателя:

- Номинальная мощность двигателя: $P_{2\text{ном}} = 1000 \text{ Вт}$;
- Номинальное напряжение: $U_n = 220 \text{ В}$;
- Число полюсов: $2p = 4$.

Размеры паза статора:

- Число пазов статора -24;
- Размер паза статора $b_1 = 5,4 \text{ мм}$;
- Размер паза статора $b_2 = 10,8 \text{ мм}$;
- Наружный диаметр статора без учёта шлица - 12,5 мм;
- Ширина шлица паза статора - 2,5 мм;
- Высота шлица паза статора - 1 мм.

Основные геометрические размеры двигателя:

- Внешний диаметр статора -144 мм;
- Длина статора -70 мм;
- Внутренний диаметр статора - 87,7 мм;
- Диаметр вала - 28 мм.
- Внешний диаметр ротора - 87,6 мм;

Размеры паза ротора:

- Число пазов ротора -14;
- Большой диаметр паза ротора - 10 мм;
- Высота паза ротора - 11,5 мм;
- Меньший диаметр паза ротора - 5 мм;
- Высота шлица паза ротора - 1,5 мм.
- Ширина шлица паза ротора - 2,5 мм;

Параметры обмотки статора:

- Число параллельных ветвей обмотки фазы - 1;
- Число эффективных проводников в пазу - 45;
- Тип обмотки – однослойная концентрическая.

Расчет производился в графическом редакторе ANSYS Maxwell.

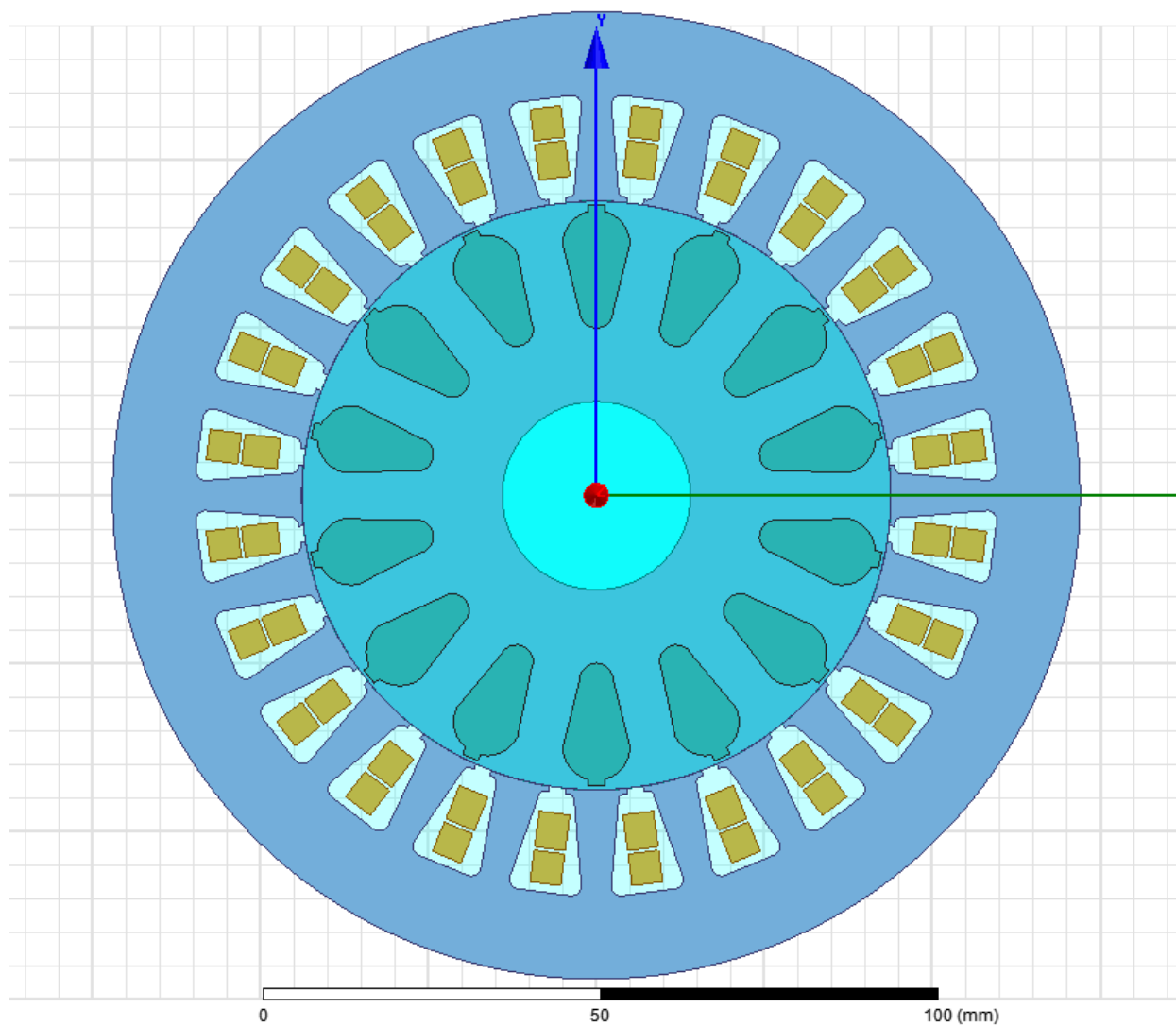


Рисунок -4 Общий вид асинхронного двигателя

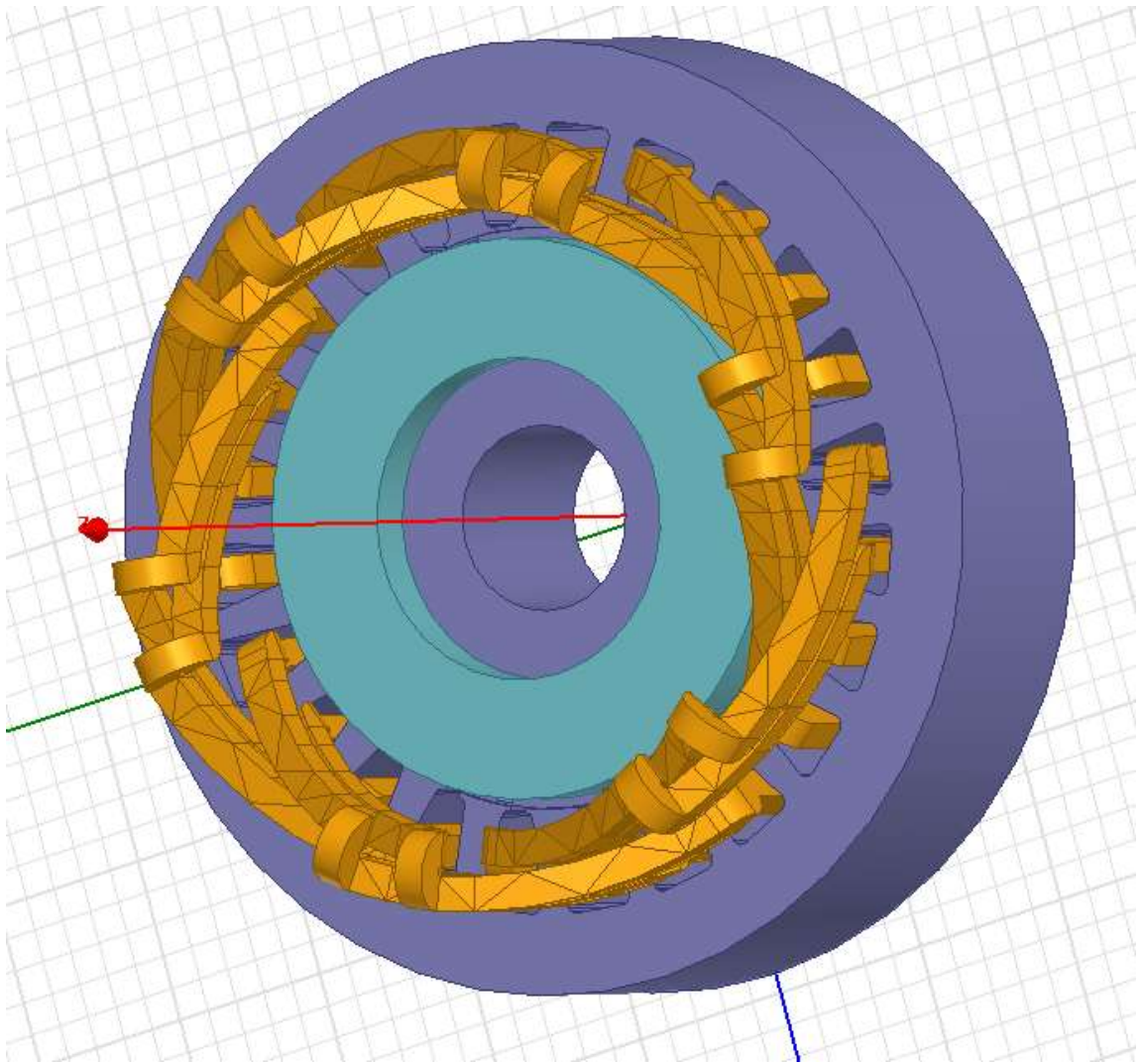


Рисунок – 5 3D модель асинхронного двигателя

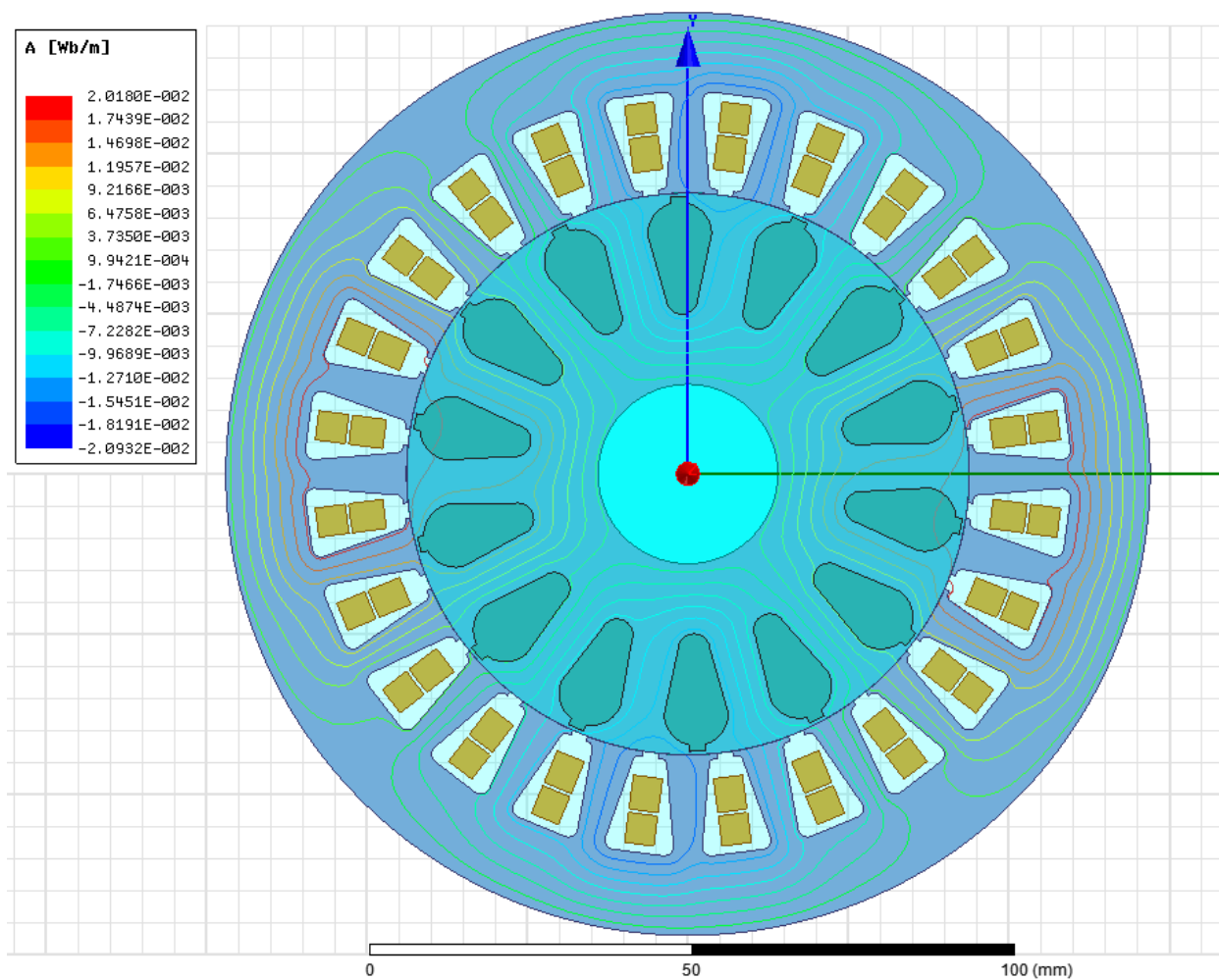


Рисунок -6 Магнитные силовые линии асинхронного двигателя

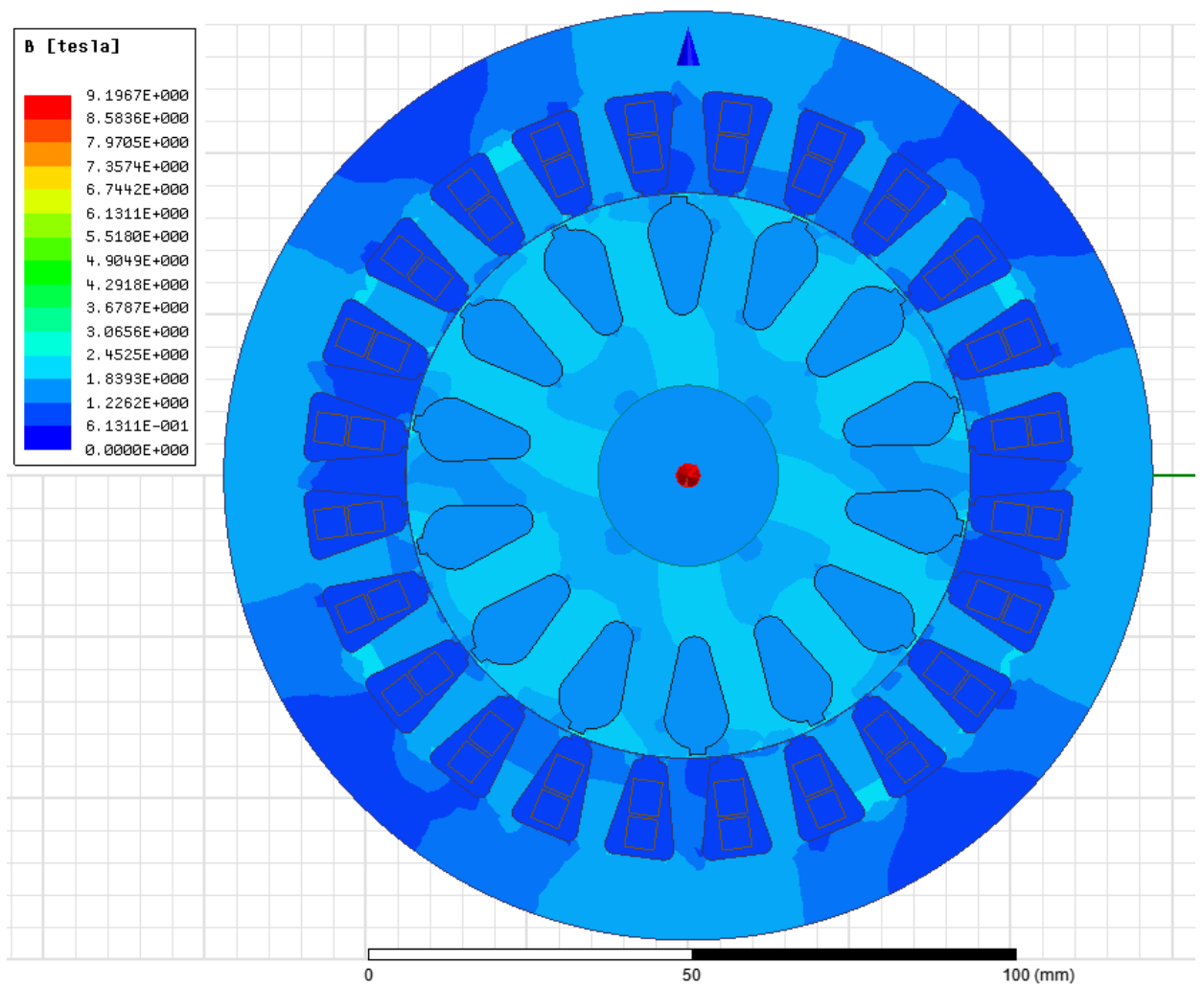


Рисунок -7 Индукция магнитного поля

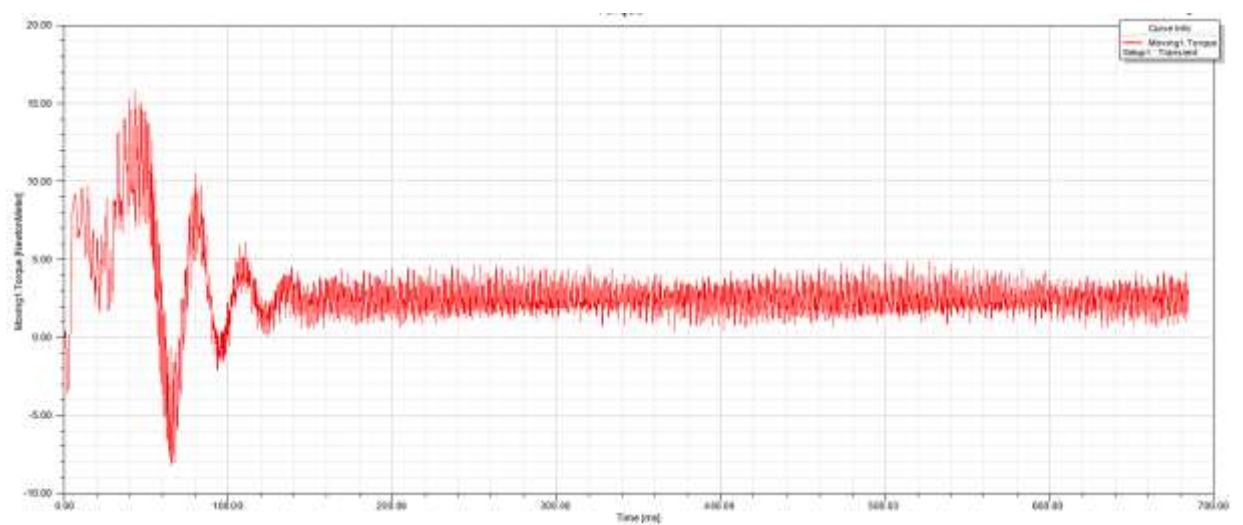


Рисунок -8 График момента асинхронного двигателя

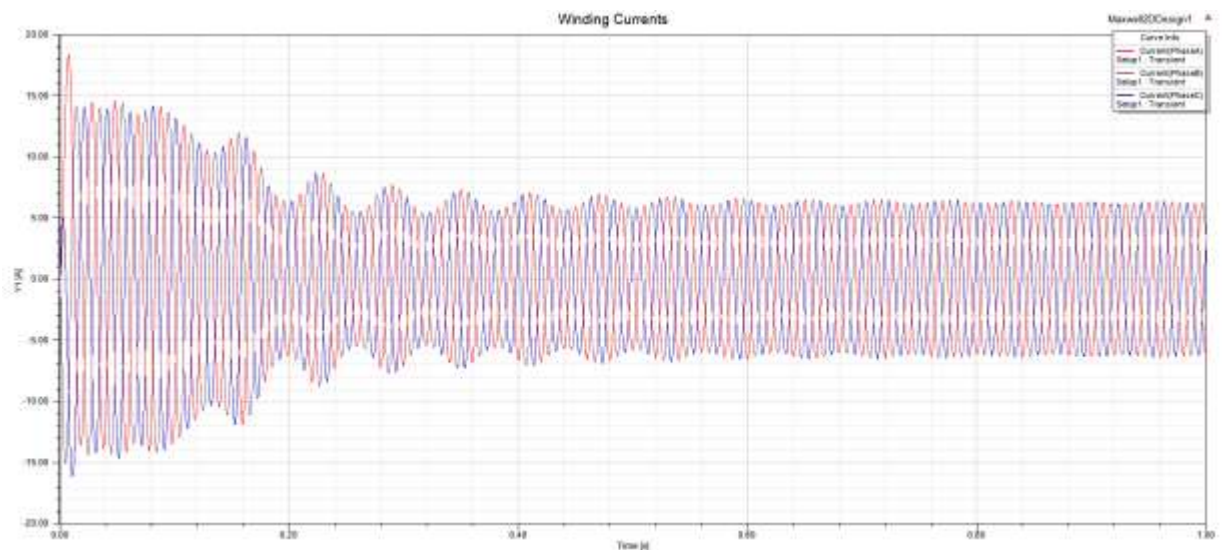


Рисунок -9 График амплитуды тока в обмотке статора

По данному графику можно сказать, что ток в установившемся режиме колеблется от 5 до 5,5 А, результатом колебаний является погрешность программы ANSYS Maxwell. Токи относительно друг от друга смещены на 120 электрических градусов.

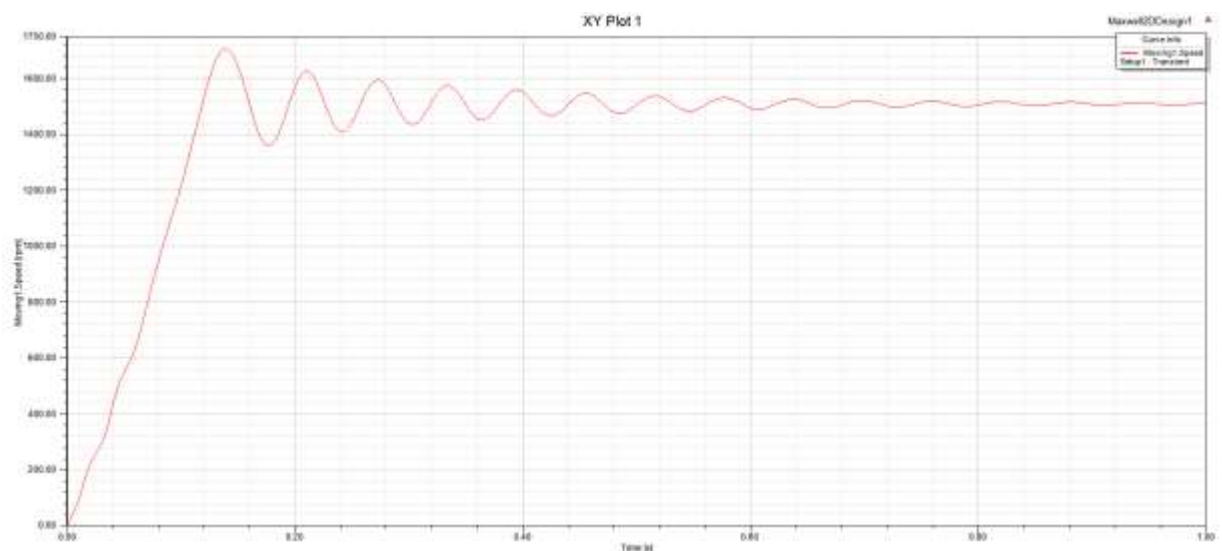


Рисунок – 10 График частоты вращения ротора

Как видно из графика асинхронный двигатель, за 1 секунду вышел на постоянную частоту 1500 об/мин, следовательно, данного времени достаточно для проведения исследования.

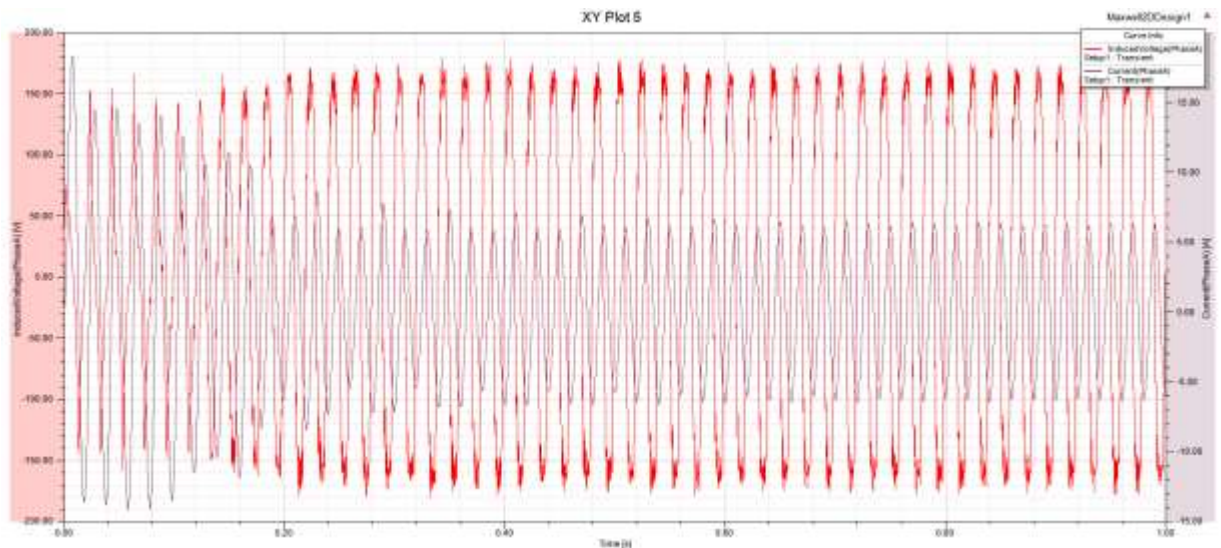


Рисунок - 11 График напряжения и тока обмотки статора

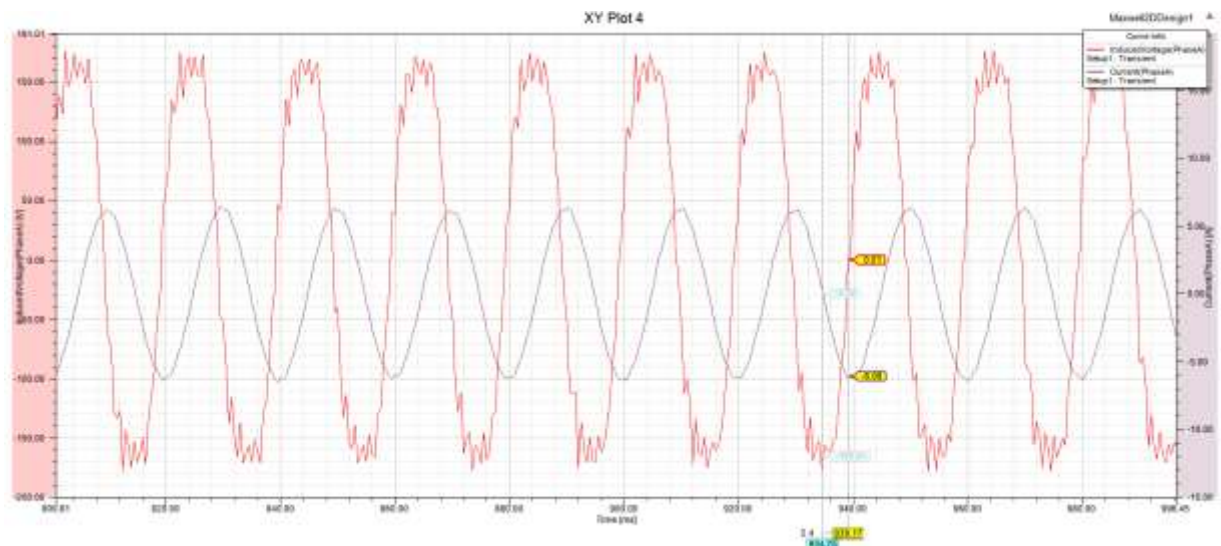


Рисунок – 12 График изменения напряжения и тока в обмотке статора

Исходя из графика напряжение опережает ток на 2,4 мс. Период T в машине, при частоте 50 Гц, равен 0.02 с.

Угол ϕ =

$$\varphi = \frac{\Delta t}{T} * 360 = \frac{2,4 * 10^{-3}}{0.02} * 360^\circ = 43.2^\circ$$

$$\cos(\varphi) = \cos(43.2^\circ) = 0.728$$

КПД двигателя находим из графика потерь машины в рабочем режиме.

Для нахождения среднего значения потерь, использовались графики.

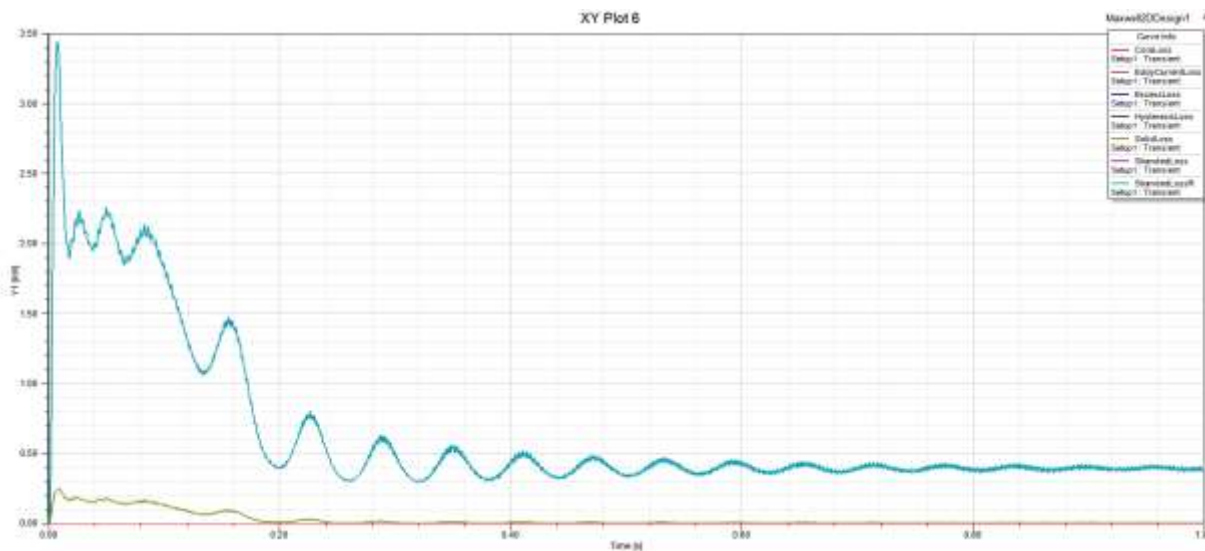


Рисунок – 13 График потерь асинхронного двигателя в рабочем режиме.

$$\eta = \frac{P_2}{P_1 + \sum P}$$

где P_1 - потребляемая активная мощность;

P_2 – полезная мощность

$$\eta = \frac{P_2}{P_1 + \sum P} = \frac{1}{1 + 0,25} = 0.8$$

6. Модель магнитоэлектрического двигателя

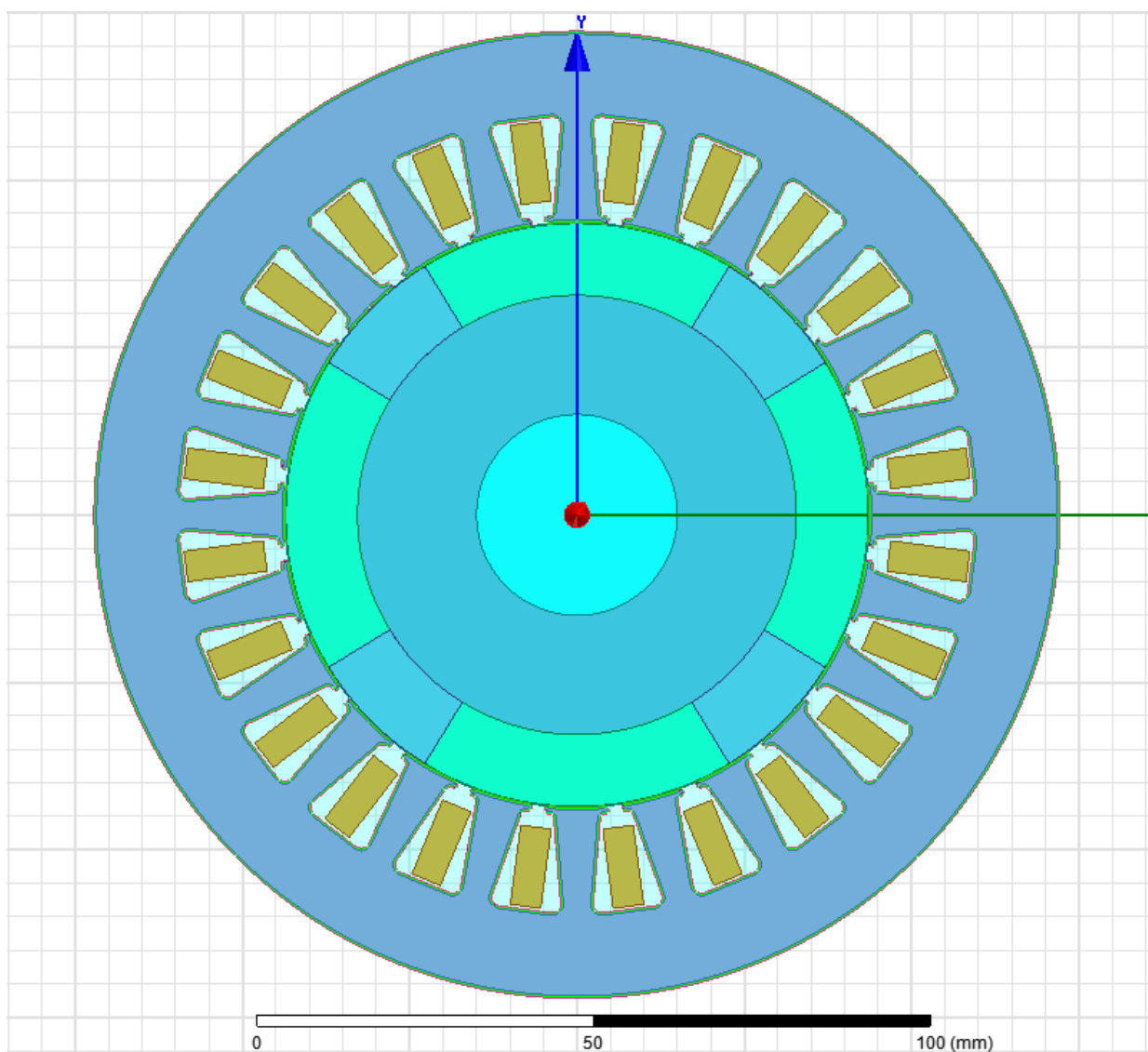


Рисунок -14 Общий вид магнитоэлектрического двигателя

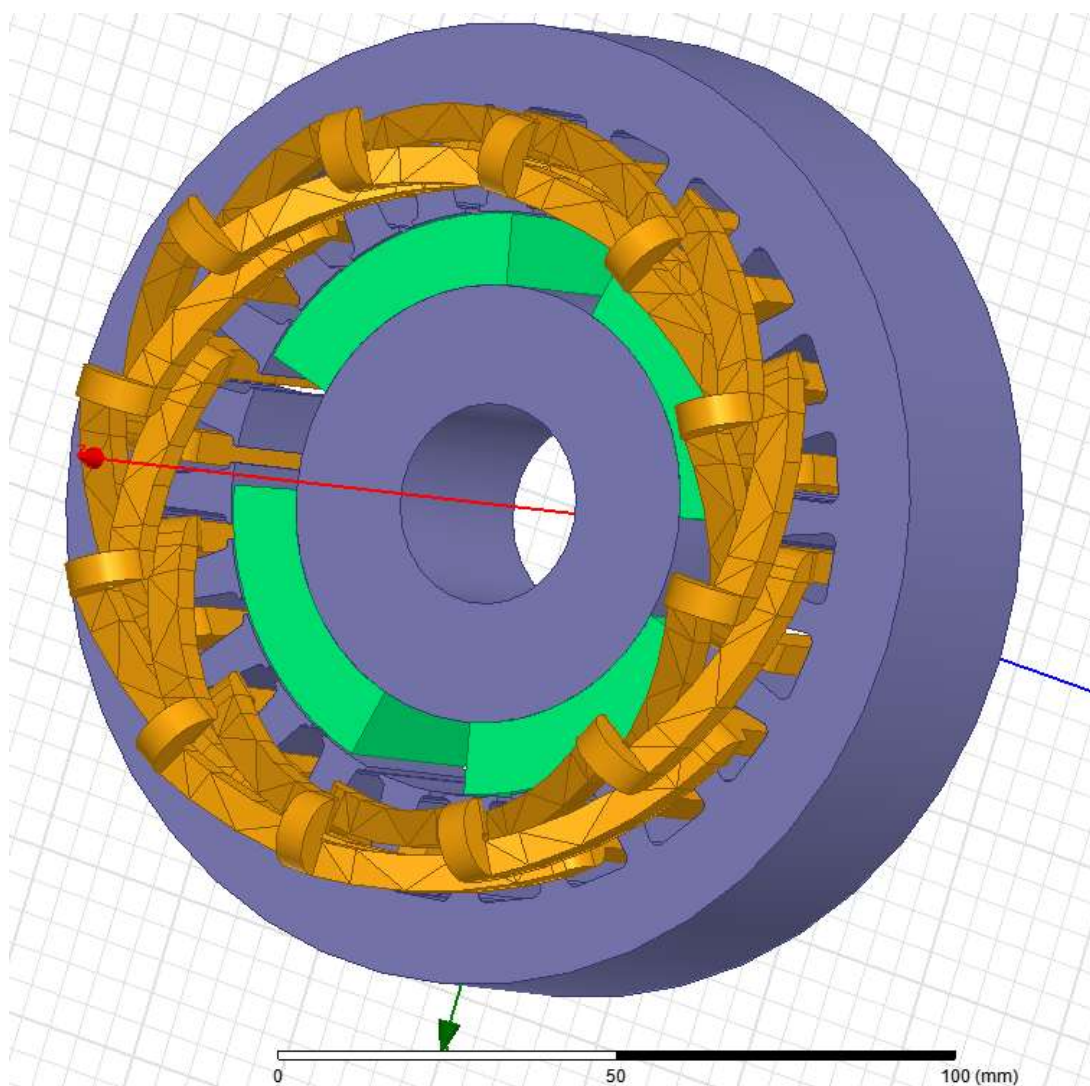


Рисунок – 15 3D модель магнитоэлектрического двигателя

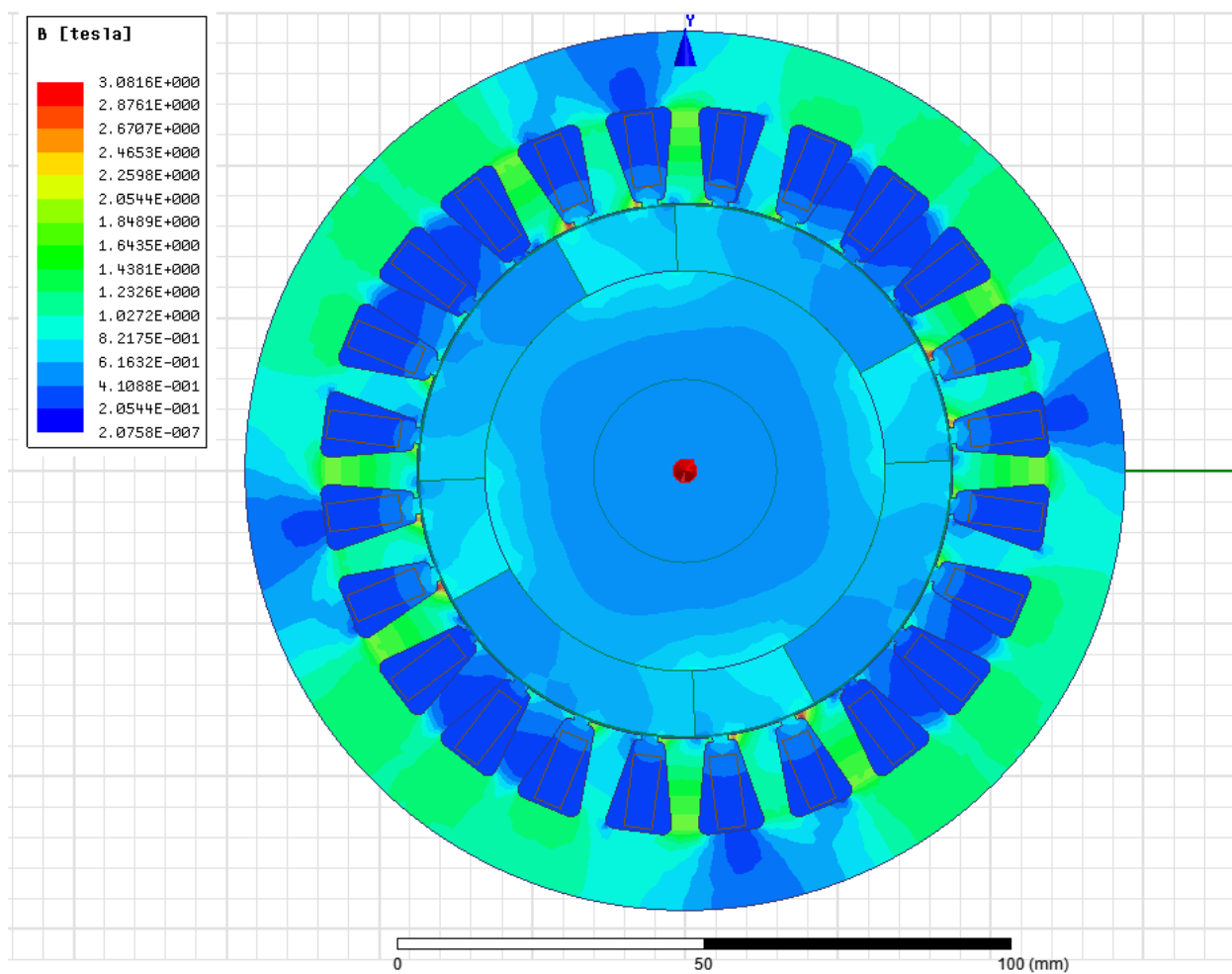


Рисунок -16 Индукция магнитного поля

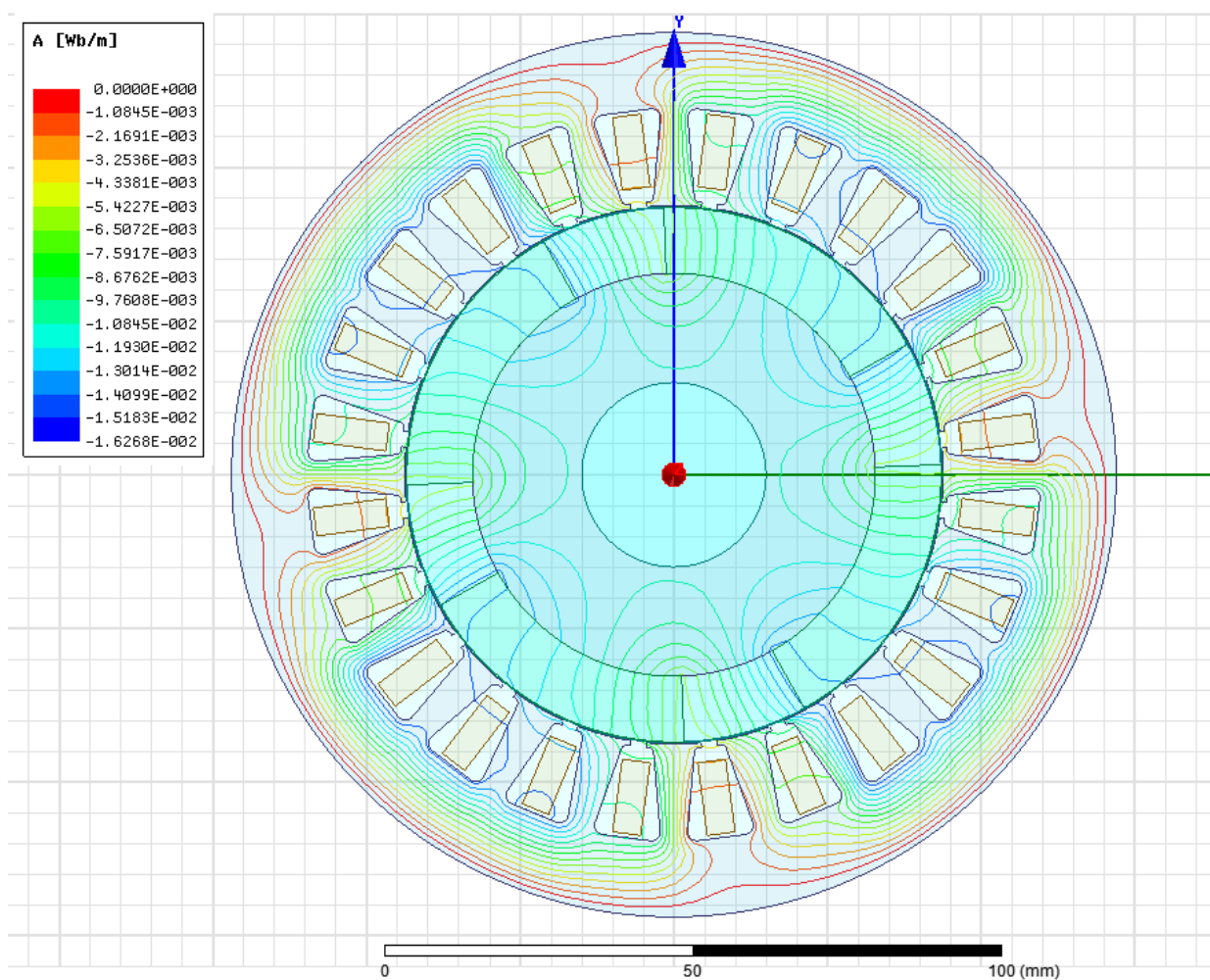


Рисунок -17 Построение магнитных силовых линий

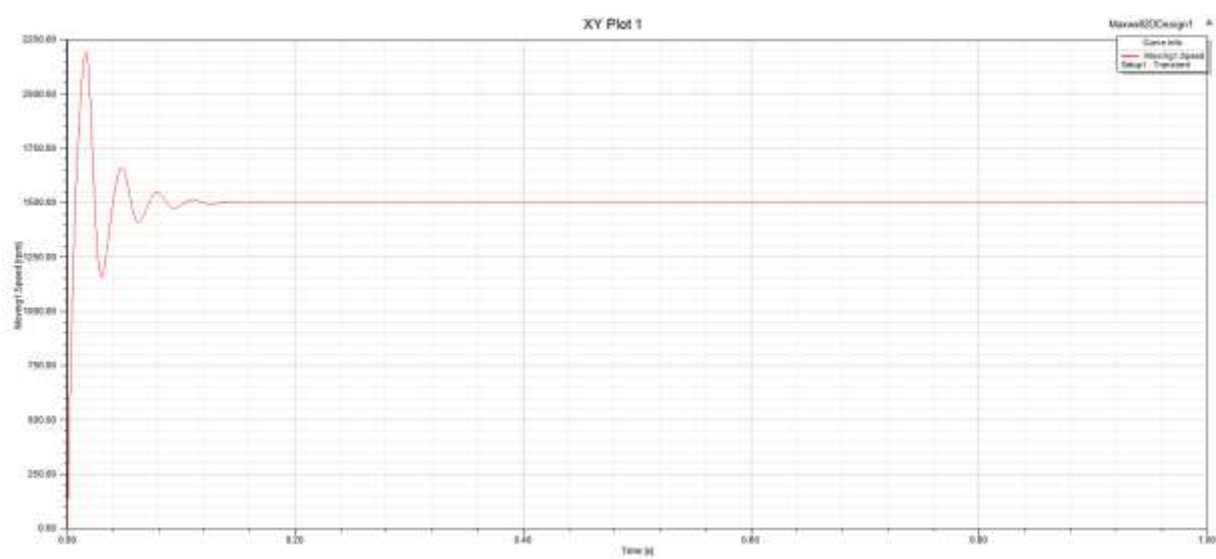


Рисунок -18 График частоты вращения ротора

Как видно из графика магнитоэлектрический двигатель, за 1 секунду вышел на постоянную частоту 1500 об/мин, следовательно, данного времени достаточно для проведения исследования. Данный двигатель выходит в установившийся режим быстрее асинхронного двигателя.

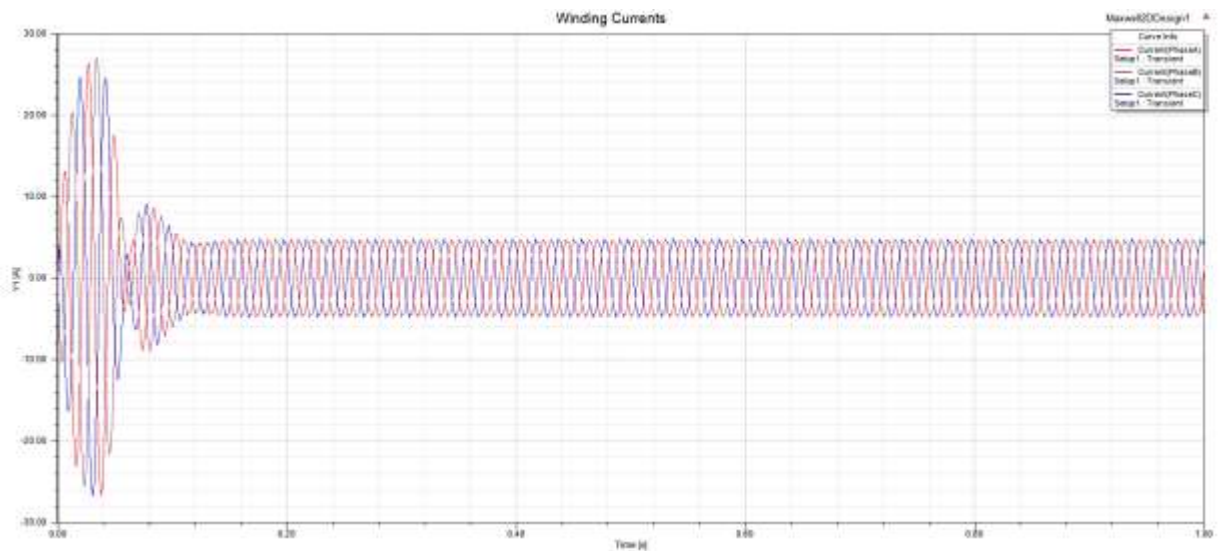


Рисунок -19 График амплитуды тока в обмотке статора

По данному графику можно сказать, что ток в установившемся режиме колеблется от 4 до 5,5 А, результатом колебаний является погрешность программы ANSYS Maxwell. Токи относительно друг от друга смещены на 120 электрических градусов.

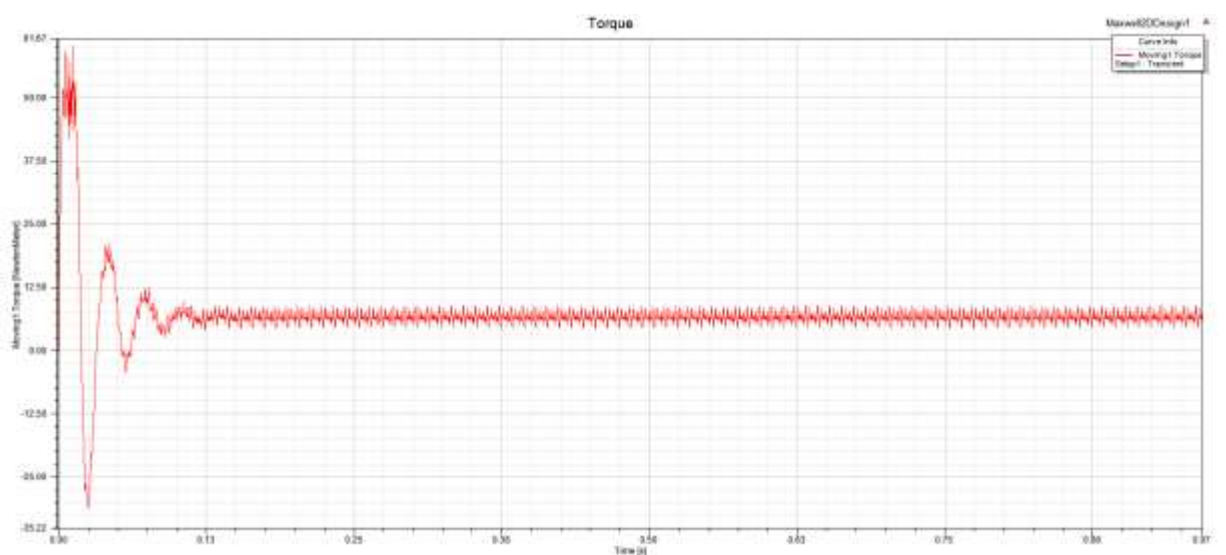


Рисунок -20 График момента магнитоэлектрического двигателя

По графику момента можно увидеть колебания, которые отрицательно сказываются на характеристиках двигателя. По сравнению с моментом асинхронного двигателя, пульсации момента магнитоэлектрической машины гораздо меньше, что улучшает работу самой машины.

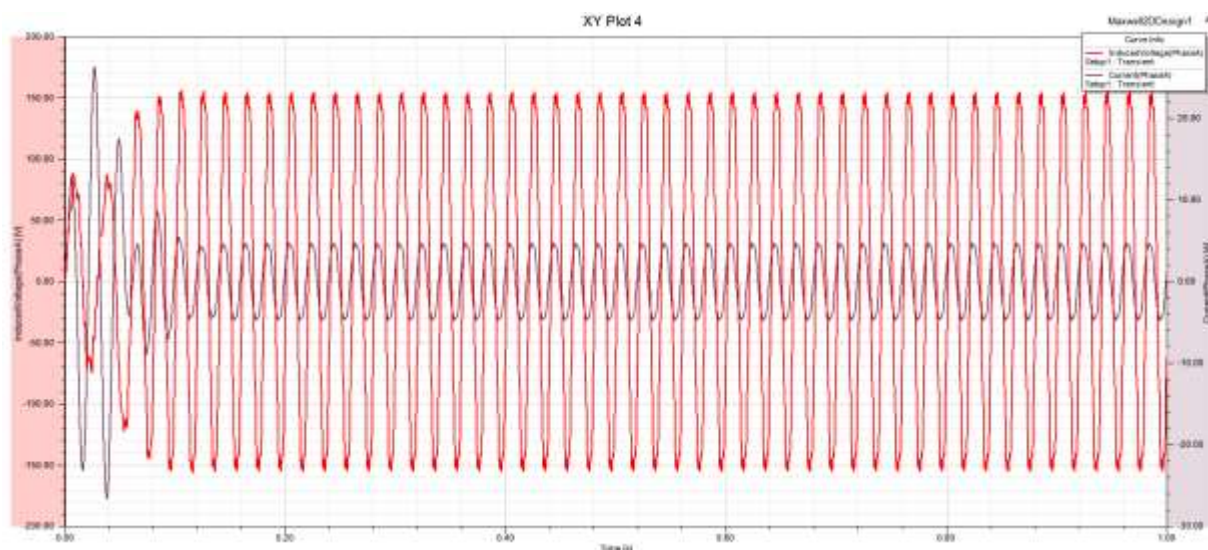


Рисунок -21 График напряжения и тока обмотки статора

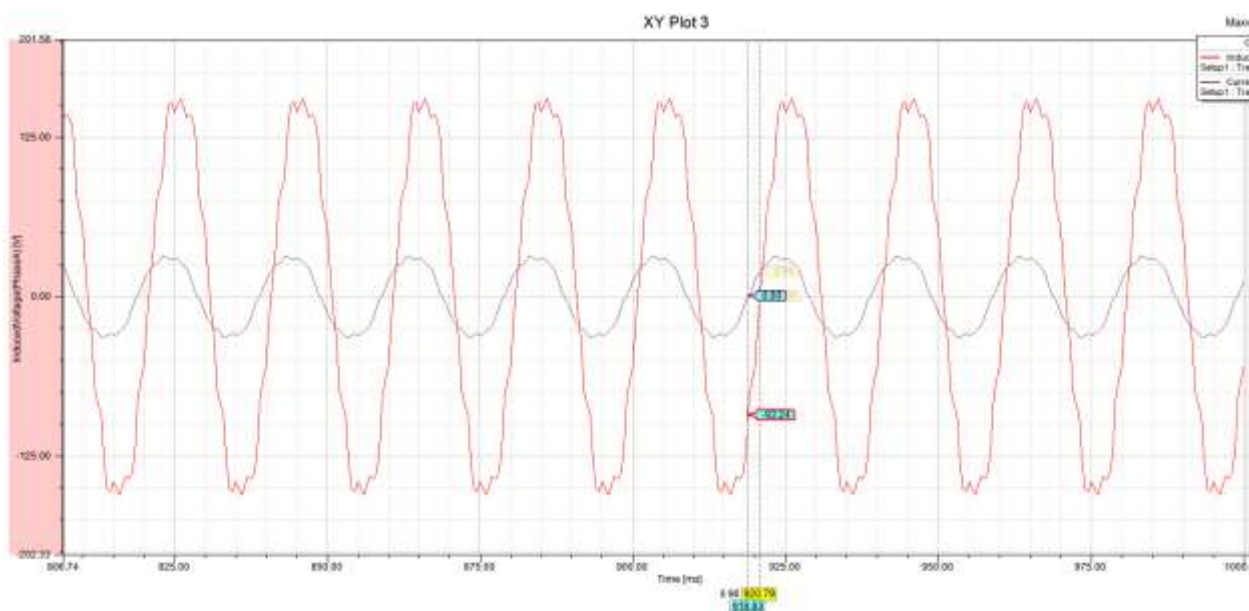
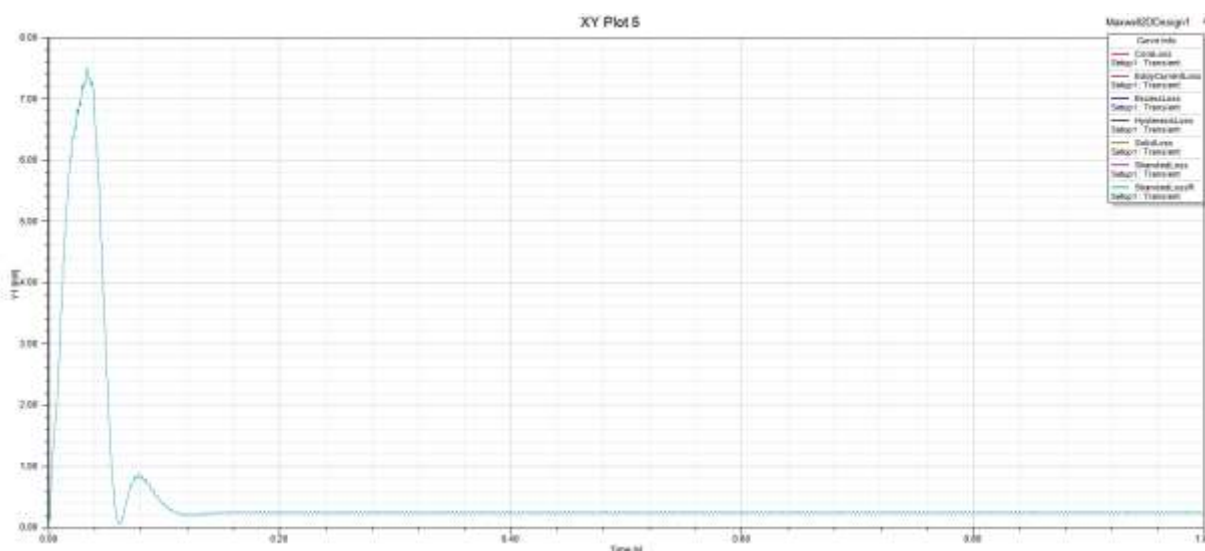


Рисунок – 22 График изменения тока и напряжения в обмотке статора

Угол $\phi_{\text{и}} =$

КПД двигателя находим из графика потерь машины в рабочем режиме.
Для нахождения среднего значения потерь, использовались графики.


$$\eta = \frac{P_2}{P_1 + \sum P}$$

Р2 – полезная мощность

В результате проведенного исследования можно увидеть, что КПД и $\cos\varphi$ магнитоэлектрического двигателя выросли, относительно асинхронного

двигателя. Магнитоэлектрический двигатель гораздо быстрее разгоняется, достигая установившегося значения 1500 об/мин. Также из графиков момента двух двигателей видно, что пульсации момента в магнитоэлектрическом двигателе снизились.

7 СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ

Целью данного раздела является оценка условий труда, анализ вредных и опасных факторов, воздействующих на работника, разработка мер защиты от них, также рассмотрение вопросов техники безопасности, пожарной профилактики и правовые и организационные вопросы технологического процесса общей сборки магнитоэлектрического двигателя для привода турбомеханизмов.

Для осуществления этого технологического процесса применяется следующее оборудование, инструменты и приспособления: фрезерный станок, нагреватель SKF ТН90m, пресс винтовой механический AP-2, Пневматическая резьбозавертывающая машина (гайковерт), молоток 7805-0103 ГОСТ 2310-77. Технологический процесс сборки включает в себя работу со сварочным оборудованием, с механизированным ручным инструментом с устройством продувки деталей и транспортными приспособлениями.

7.1 Производственная безопасность

Анализ вредных факторов производственной среды

Вредным производственным фактором (ВПФ) называется такой производственный фактор, воздействие которого на работающего в определенных условиях приводит к заболеванию или снижению трудоспособности.

Рассмотрены следующие вредные факторы:

- повышенный уровень шума;
- повышенный уровень вибрации;
- недостаточность освещенности;
- электромагнитное поле;
- неблагоприятные условия микроклимата;

Неблагоприятные условия микроклимата

Большое значение для охраны здоровья и труда человека имеет качество воздуха в производственных помещениях.

Очищение воздуха предлагается осуществлять при помощи пылеуловителей, воздухоочистителей, фильтров, пылесадительных камер, центробежных пылеотделителей - циклонов.

По степени физической тяжести работа относится к категории средней тяжести IIa (СанПиН 2.2.4.548-96).

Значения оптимальных и допустимых норм микроклимата в рабочей зоне производственных помещений представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Оптимальные и допустимые нормы микроклимата в рабочей зоне производственных помещений [18].

Сезон года	Категория работ	Температура, °С		Относительная влажность, %		Скорость движения воздуха, м/с	
		Оптимальное	Допустимое	Оптимальное	Допустимое	Оптимальное	Допустимое
Холодный	Средней тяжести, Па	17 – 19	15 – 22	40 – 60	15 – 75	0,1	0,1 – 0,3
Тёплый	Средней тяжести, Па	18 – 19	16 – 27	40 – 60	15 – 75	0,2	0,2 – 0,4

Параметры микроклимата в зимнее время поддерживаются системой отопления, летом – общеобменной вентиляцией.

Таблица 3 – Допустимые величины интенсивности теплового облучения поверхности тела, работающих от производственных источников.

Облучаемая поверхность тела, %	Интенсивность теплового облучения, Вт/м ² , не более
50 и более	35
25-50	70
Не более 25	100

Допустимые величины интенсивности теплового облучения работающих от источников излучения, нагретых до белого и красного свечения (раскалённый или расплавленный металл, стекло, пламя и др.) не должны превышать 140 Вт/м². При этом облучение не должно подвергаться более 25% поверхности тела и обязательным является использование средств индивидуальной защиты, в том числе средств защиты лица и глаз.

Повышенный уровень шума

Так же к вредным факторам на производстве относиться шум. Шумовое загрязнение среды на рабочем месте неблагоприятно воздействует на работающих: снижается внимание, увеличивается расход энергии при одинаковой физической нагрузке, замедляется скорость психических реакций и т.п. В результате снижается производительность труда и качество выполняемой работы; для измерения громкости (в децибелах Дб) используется двухшкальный шумомер. В цехах допускается громкость около 80 дБА.

На производстве преобладает механический шум, основными источниками которого являются зубчатые передачи, механизмы ударного типа, цепные передачи, подшипники качения и т.п. Шум оказывает негативное влияние на весь организм человека. Шумы средних уровней (менее 80 дБА) не вызывают потери слуха, но тем не менее оказывают утомляющее неблагоприятное влияние, которое складывается с аналогичными влияниями других вредных факторов и зависит от вида и характера трудовой нагрузки на организм.

Существует доказанное вредное воздействие инфра- и ультразвука на человеческий организм (ниже 20 Гц и выше 20 кГц частоты соответственно). Хотя колебания не вызывают болевых ощущений, они производят специфическое физиологическое воздействие на организм человека [23].

В качестве защиты от шума и звука следует применять нормирование; некоторые технические тонкости, звукоизоляцию, звукопоглощение, специальные глушители аэродинамического шума, средства индивидуальной защиты (наушники, беруши, противошумные каски, специальная противошумная одежда).

Всё оборудование, применяемое на участке, для снижения вибрации устанавливать на виброопорах.

Электромагнитные излучения

В горячих цехах промышленных предприятий нагретые поверхности излучают в пространство потоки лучистой энергии. При температуре до 500 °С, с нагретой поверхности излучаются тепловые (инфракрасные) лучи с длиной волны 740...0,75мкм. Источником инфракрасного излучения является любое нагретое тело. Инфракрасные лучи, проходя через воздух, его не нагревают, но, поглотившись твердыми телами, лучистая энергия переходит в тепловую, вызывая их нагревание.

По характеру воздействия на организм человека инфракрасные лучи делятся на коротковолновые лучи с длиной волны 0,76.... 1,5 мкм и длинноволновые с длиной волны более 1,5 мкм.

Для характеристики теплового излучения принята величина, называемая интенсивностью теплового облучения - это мощность лучистого потока, приходящаяся на единицу облучаемой поверхности (Вт/м²).

Колебания интенсивности теплового облучения человека на рабочих местах зависят от многих причин: характера технологического процесса, температуры источника излучения, расстояния рабочего места от источника излучения, степени теплоизоляции, наличия индивидуальных и коллективных средств защиты.

В производственных помещениях с большими тепловыделениями (горячие цехи) на долю инфракрасного излучения может приходиться до 2/3 выделяемого тепла. К горячим цехам относятся цехи, в которых тепловыделения превышают 23 Дж/м³, на данном производстве таким цехом является цех с доменными печами.

Согласно ГОСТ 12.1.002-84 облучение электрическим полем регламентируется как по величине напряженности, так и по продолжительности воздействия.

Таблица 4–Допустимые уровни напряженности электрического поля и

продолжительности пребывания, работающих без средств защиты.

Напряженность электрического поля, кВ/м	Допустимая продолжительность пребывания человека в течении суток в электрическом поле, мин.
Менее 5	Без ограничений
5....10	Не более 180
10....15	Не более 90
15....20	Не более 10
20...25	Не более 5

Ослабление мощности электромагнитного поля на рабочем месте достигается путем увеличения расстояния между источником излучения и рабочим местом, установки отражающих или поглощающих экранов между источником и рабочим местом, размещение токоведущих элементов аппаратов и устройств в ферромагнитные оболочки кожухи. Наиболее эффективна установка экранов, экранируют либо источник излучения, либо рабочее место.

Недостаточность освещенности

От степени освещенности напрямую зависит не только здоровье глаз и работоспособность человека, но еще и его физическое и психоэмоциональное состояние. Причем в помещениях различного назначения требования по освещенности должны различаться.

Таблица 5 – Нормы освещенности производственных помещений [19].

	Характер истика зрительн	Наимень ший размер	Разряд зрительн ой	Под- разряд зрительн	Контраст объекта с фоном	Характер истика фона	Освещен ность, лк
--	--------------------------------	--------------------------	--------------------------	----------------------------	--------------------------------	----------------------------	----------------------

	ой работы	или объект различен ия	работы	ой работы			
Рабочее место в цеху	Средней точности	Свыше 0.5 до 1.0	<u>IV</u>	г	Средний, большой	Светлый, средний	200

Освещенность рабочего места от искусственного освещения соответствует характеристики зрительной работе, наименьшему размеру объекта различия, разряду зрительной работы, контрасту объектов с фоном, а также характеристики фона как мы видим в таблице 5.

Повышенный уровень вибрации

Во время работы оборудования в цеху образовывается вибрация и каждый работник в различной степени подвергается ей. При изучении вибраций, воздействующих на тело человека, принято выделять общую вибрацию (передается через опорные поверхности) и локальную (передается на руки при работе с ручными машинами). Общую вибрацию по источнику возникновения подразделяют на три категории: транспортную, транспортно-технологическую, технологическую.

Вибрация обусловлена магнитострикционными и электромагнитными силами в магнитной системе и динамическими силами в обмотках.

Проявление магнитных сил наиболее выражено в стыковых соединениях. В шихтованных магнитных системах магнитный поток вынужден перетекать из листа в лист в воздушном зазоре, образующемся за счет неплотной стыковки листов стали. При этом возникают поперечные силы, приводящие к изгибным колебаниям листов. Поскольку листы стали на участках, соседствующих с зазорами, перенасыщаются, здесь увеличиваются также и магнитострикционные силы.

Уровни вибрации и звука зависят от характера распределения магнитных потоков по сечению сердечника. Индукция во внутренних углах шихтованных рамных магнитных систем может достигать удвоенного

значения от номинального, что является предпосылкой повышения вибраций и шума [20].

Таблица 6 – Допустимые величины вибрации в производственных помещениях предприятий.

Амплитуда колебаний вибрации, мм	Частота вибрации, Гц	Скорость колебательных движений, см/с	Ускорение колебательных движений, см/с ²
0,6-0,4	До 3	1,12-0,76	22-14
0,4-0,15	3-5	0,76-0,46	14-15
0,15-0,05	5-8	0,46-0,25	15-13
0,05-0,03	8-15	0,25-0,28	13-27
0,03-0,009	15-30	0,28-0,17	27-32
0,009-0,007	30-50	0,17-0,22	32-70
0,007-0,005	50-75	0,22-0,23	70-112
0,005-0,003	75-100	0,23-0,19	112-120
* 1,5-2	45-55	1,5-2,5	25-40

* При таких параметрах вибрации даже сверхпрочные клепочные конструкции до полного своего разрушения выдерживают не более 30 минут

Воздействие производственной вибрации на человека вызывает изменения как физиологического, так и функционального состояния организма человека. Изменения в функциональном состоянии организма проявляются в повышении утомляемости, увеличении времени двигательной и зрительной реакции, нарушении вестибулярных реакций и координации движений. Все это ведет к снижению производительности труда. Изменения в физиологическом состоянии организма – в развитии нервных заболеваний, нарушении функций сердечно-сосудистой системы, нарушении функций опорно-двигательного аппарата, поражении мышечных тканей и суставов, нарушении функций органов внутренней секреции. Все это приводит к возникновению вибрационной болезни.

7.2 Анализ опасных факторов производственной среды

Опасным производственным фактором (ОПФ) называется такой

производственный фактор, воздействие которого на работающего в определенных условиях приводит к травме или к другому внезапному резкому ухудшению здоровья. Травма - это повреждение тканей организма и нарушение его функций внешним воздействием. Травма является результатом несчастного случая на производстве, под которым понимают случай воздействия опасного производственного фактора на работающего при выполнении им трудовых обязанностей или заданий руководителя работ.

К опасным на данном производстве относятся следующие факторы:

- Возможность поражение человека вращающимися частями электрооборудования (работа с фрезерным станком, использование пневмопресса, электрического инструмента);
- Возможность термическое поражение при контакте с частями электроустановок (работа с использованием нагревателя);
- Возможность поражения электричеством (работа со сварочным аппаратом).

Для защиты от опасных факторов используются коллективные и индивидуальные средства защиты.

К коллективным средствам защиты относятся установка оградительных устройств, использование знаков безопасности и предупреждающих плакатов, защитное отключение, защитное заземление.

К индивидуальным средствам защиты относятся изолирующие электрозащитные средства, способные длительно выдерживать рабочее напряжение электроустановок, поэтому ими разрешается касаться токоведущих частей под напряжением. В установках до 1000 В – это диэлектрические перчатки, инструмент с изолированными рукоятками.

Индивидуальные дополнительные электрозащитные средства обладают недостаточной электрической прочностью и не могут самостоятельно защитить человека от поражения током. Их назначение – усилить защитное действие основных изолирующих средств, с которыми они должны

применяться. В установках до 1000 В – диэлектрические боты, диэлектрические резиновые коврики, изолирующие подставки. Данные индивидуальные средства защиты используются для предотвращения поражения электрическим током.

Проходя через организм, электрический ток оказывает следующие воздействия: 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).

Характерными причинами несчастных случаев, вызванных поражением электрическим током, являются:

- случайные прикосновения людей к оголенным проводам и оборванным концам воздушной сети, находящейся под напряжением;
- появление напряжения там, где его в нормальных условиях не должно быть;
- выполнение работ на распределительных устройствах и транспортных подстанциях без отключения напряжения и без соблюдения необходимых мер безопасности;
- неудовлетворительное ограждение токоведущих частей установок от случайного прикосновения;
- устройство электропроводки и осуществление ремонтных работ на воздушных сетях, находящихся под напряжением;
- неудовлетворительное заземление электропроводок при их эксплуатации;
- производство электросварочных работ без соблюдения правил безопасности;

- несогласование и ошибочное действие обслуживающего персонала, например, подача напряжения, где работают люди;
- оставление электроустановок без надзора;
- несоблюдение элементарных требований безопасности;
- шаговое напряжение;
- освобождение человека, находящегося под напряжением;
- действие электрической дуги;
- воздействие атмосферного электричества во время грозových разрядов.

В соответствии с ГОСТ 12.1.009—76 ССБТ «Электробезопасность. Термины и определения» в качестве средств и методов защиты от поражения электрическим током применяют:

- изоляцию токоведущих частей (нанесение на них диэлектрического материала — пластмасс, резины, лаков, красок, эмалей и т.п.);
- двойную изоляцию — на случай повреждения рабочей;
- воздушные линии, кабели в земле и т.п.;
- ограждение электроустановок;
- блокировочные устройства, автоматически отключающие напряжение электроустановок, при снятии с них защитных кожухов и ограждений;
- малое напряжение (не более 42 В) для освещения в условиях повышенной опасности;
- изоляцию рабочего места (пола, настила);
- заземление или зануление корпусов электроустановок, которые могут оказаться под напряжением при повреждении изоляций;

- выравнивание электрических потенциалов;
- автоматическое отключение электроустановок;
- предупреждающую сигнализацию (звуковую, световую) при появлении напряжения на корпусе установки, надписи, плакаты, знаки;
- средства индивидуальной защиты и другие.

По поражению электрическим током цех относится к помещениям без повышенной опасности [ПУЭ (6-е изд.) раздел 1.1.13]. В таблице 5.6 приведены граничные значения напряжений, при превышении которых требуется выполнение защиты от косвенного прикосновения в зависимости от категории помещения [14].

Таблица 7 – Граничные значения напряжений

Категория помещения	ПУЭ (6-издание) п. 1.7.33	Проект новой редакции ПУЭ
Без повышенной опасности	≥ 380 В перем. тока ≥ 440 В пост. тока	> 50 В перем. тока > 120 В пост. тока
С повышенной опасностью, особо опасные и наружные электроустановки	> 42 В перем. тока > 110 В пост. тока	> 25 В перем. тока > 60 В пост. тока

Из таблицы следует, что в новой редакции ПУЭ предъявляют гораздо более высокие требования по обеспечению условий электробезопасности.

К работе с электрооборудованием допускаются люди прошедшие теоретический курс. Осуществлять работу необходимо в спецодежде. Токоведущие части оборудования должны быть закрыты от общего доступа защитными кожухами, независимыми корпусами от токоведущей части. При ремонтных и монтажных работах устанавливаются защитные ограждения и вывешиваются предупреждающие плакаты. Все электроустановки должны быть заземлены.

Во время работы не допускается загромождать рабочее место деталями.

Поражение человека вращающимися частями электрооборудования

Наиболее типичным источником механических негативных факторов являются вращающиеся детали, движущиеся механизмы, незащищённые подвижные элементы производственного оборудования, подъёмно-транспортное оборудование, неправильно-выбранные методы обработки, неправильно выбранное техническое обслуживание, непредвиденные нагрузки на оборудование. К перечисленным источникам можно добавить непрочность конструкции, связанной с коррозией металла, падение на скользком полу, падение с высоты, технологический транспорт, промышленные роботы.

Различные типы механического движения и действий присущи почти всем машинам, и понимание этого – первый шаг к защите от опасностей, которую они могут представлять. Существует дополнительная опасность, когда на вращающихся частях машин имеются прорези, выступающие болты, шпонки, установочные винты.

Источниками механических травм может быть ручной (отвёртки, зубила, молотки и т.д.) и механизированный (дрели, рубанки, пилы и т.д.) слесарный, столярный и монтажный инструменты. Как правило, этими видами инструментов повреждаются пальцы и руки при попадании их в зону обработки материала, а также глаза отлетающими из зоны обработки осколками, стружкой, пылью.

Другим причинами получения механических травм могут являться: падение на скользком полу, падение с высоты, технологический транспорт (электрокары, погрузчики) передвигающиеся в рабочей зоне, цеху, на территории предприятия и т.д.

Наиболее типичными источниками получения механических травм является подъёмно-транспортное оборудование. При эксплуатации подъёмно-транспортных машин и устройств возникают следующие опасности: падение груза с высоты, разрушение металлоконструкции, потеря

устойчивости и падение стреловых самоходных кранов, самопроизвольное опускание груза, срыв домкрата, если они установлены на непрочном основании.

Меры безопасности:

Во избежание попадания одежды или рук во вращающиеся части (шкив генератора, лопасти вентилятора и т. п.) перед началом работы застегнуть обшлага рукавов и проверить, чтобы не было свисающих концов одежды, заправить волосы под головной убор.

При проверках электрооборудования на контрольно испытательных стендах необходимо правильно центрировать и надежно закреплять агрегаты в зажимных устройствах во избежание травм работающих и поломки механизмов [22].

Рабочие места слесарей должны быть оборудованы специальными верстками, надежно закрепленными на полу.

Выпрессовка втулок, подшипников и других деталей должна производиться с помощью съемника и прессов [22].

7.3 Расчет искусственного освещения

Производственное освещение. Оценка освещенности рабочей зоны необходима для обеспечения нормативных условий работы в помещениях и проводится в соответствии с СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278-03.

Правильно спроектированное и выполненное освещение на предприятиях машиностроительной промышленности, обеспечивает возможность нормальной производственной деятельности.

Задачей расчета искусственного освещения является определение числа светильников, их типа, мощности источников света.

К числу источников света массового применения относятся лампы накаливания, лампы ДРЛ, люминесцентные лампы.

Применение на рабочих местах одного местного освещения не допускается. Общее равномерное освещение применяется для тех помещений, где работа производится по всей площади, и нет необходимости в лучшем освещении отдельных участков.

Система общего локализованного освещения применяется тогда, когда в производственном помещении есть участки, на которых проводятся работы с высоким зрительным напряжением [17].

Осветительные приборы:

- Люминесцентные лампы - для нормальных помещений с хорошим отражением стен и потолка; их применение допускается при умеренной влажности и запыленности
- Светильники ПВЛ - являются пылевлагозащищёнными, пригодны для некоторых пожароопасных помещений. Мощность лампы 2×40 Вт.
- Плафоны потолочные - для общего освещения закрытых, сухих помещений:
 1. Л71ВОЗ - мощность лампы 10×30 Вт;
 2. Л71В84 - мощность лампы 8×40 Вт.

Полученная из СНиП 23-05-95 [19] величина освещённости корректируется с учетом коэффициента запаса, так как со временем за счет загрязнения светильников и уменьшения светового потока ламп освещённость снижается.

Таблица 8– Значения коэффициентов запаса

Характеристика объекта	Люминесцентные лампы	Лампы накаливания
Помещения с большим выделением пыли	2,0	1,7
Помещения со средним выделением пыли	1,8	1,5
Помещения с малым выделением пыли	1,5	1,3

При выборе расположения светильников необходимо руководствоваться двумя критериями:

1. обеспечение высокого качества освещения, ограничение ослеплённости и необходимой направленности света на рабочие места;
2. наиболее экономичное создание нормированной освещенности.

Расчет искусственного освещения:

Система освещения производственных помещений:

- Общее равномерное освещение лампами накаливания;

Тип светильника:

- Универсальный без затемнителя;

Выполняемые работы имеют высокую точность и относятся к 1 категории.

$$E_n = 200 \text{ Лк}$$

Размеры производственного помещения:

- высота $h = 6$ м;
- длина $l = 40$ м;
- ширина $b = 15$ м.

Площадь помещения:

$$S = l \cdot b = 40 \cdot 15 = 600 \text{ м}^2$$

По условию слепящего действия высота подвеса светильника над полом: 5 м.

Свес светильника: $h_e = 1$ м.

Тогда высота подвеса светильника над рабочей поверхностью:

$$h_p = h - h_c - h_e,$$

где h_c – высота свеса светильника;

h_b – высота рабочей поверхности;

$$h_b = 0,8 \text{ м.}$$

$$h_p = 6 - 1 - 0,8 = 4,2 \text{ м.}$$

Произведем предварительную разметку светильников.

Расстояние между светильниками L определяется, как выгоднейшее:

$$\frac{L}{h} = 1,1$$

$$L = 1,1 \cdot 4,2 = 4,64 \text{ м}$$

Устанавливаем светильники:

- по длине (отступив от стен 2 м) на расстоянии 4 м.
- по ширине (отступив от стен 2 м) на расстоянии 5,5 м.

В результате разметки принимаем 20 светильников.

Для определения коэффициента использования находим индекс помещения:

$$i = \frac{S}{h_p \cdot (l + b)} = \frac{600}{4,2 \cdot (40 + 15)} = 2,6.$$

Коэффициент использования: $\eta = 0,43$.

Расчетный световой поток:

$$F = \frac{E_n \cdot k \cdot S \cdot Z}{n \cdot \eta}$$

где k - коэффициент запаса, $k = 1,3$;

Z - коэффициент учитывающий отклонение от средней величины,

$Z = 1,1$.

$$F = \frac{200 \cdot 1,3 \cdot 600 \cdot 1,1}{20 \cdot 0,43} = 19800 \text{ Лм}.$$

По полученному потоку подбираем мощность лампы для работы на напряжение 220В. Наиболее подходящей лампой является лампа мощностью 1000 Вт со световым потоком 18900 Лм.

Чтобы сохранить световой поток неизменным, применяем коэффициент постоянства освещенности:

$$\kappa_n = \frac{F_p}{F_m} = \frac{19800}{18900} = 1,04.$$

Уточняем количество светильников с учетом коэффициента:

$$C = 20 \cdot 1,04 = 20,8 \text{ шт.}$$

Окончательно принимаем 20 светильников. Проводим окончательную разметку светильников с учетом уточнения:

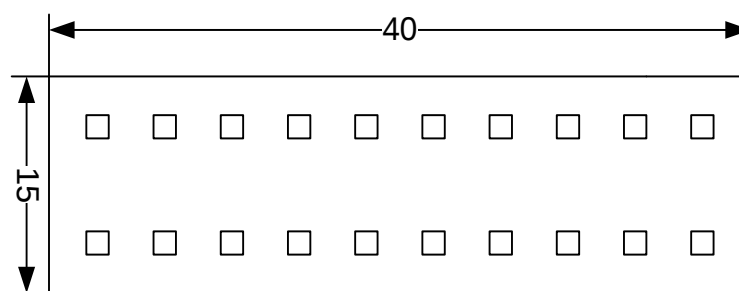


Рисунок 24 – План помещения в масштабе.

Рассчитав искусственное освещение можно с уверенностью сказать, что оно обеспечивает возможность нормальной производственной деятельности и высокого качества освещения, ограничивает ослеплённость и необходимую направленность света на рабочие места.

7.4 Экологическая безопасность

Производство магнитоэлектрических двигателей в значительной степени влияет на экологическую безопасность.

Вследствие чего в качестве защиты применяют аппараты и системы для очистки газовых выбросов, сточных вод от примесей, глушителей шума, виброизоляторы технологического оборудования. Важную роль в защите окружающей среды отводится мероприятиям по рациональному размещению источников загрязнения: оптимальное расположение промышленных предприятий с учетом местности; установление санитарно-защитных норм вокруг промышленных предприятий.

Производственные сточные воды после соответствующей очистки могут быть повторно использованы в технологическом процессе, для чего создаются системы оборотного водоснабжения либо замкнутые (бессточные) системы водоснабжения и канализации, при которых исключается сброс каких-либо вод в водоёмы.

Вследствие использования работниками душевых и туалетов образуются жидкие отходы для удаления, которых применяют канализационную систему.

Вентиляция цехов, прежде всего, организовывается с учетом повышенной загазованности, запыленности и загрязнения воздуха. Вентиляция цехов сочетает в себе системы подачи и отвода воздуха по воздуховодам с крышными вентиляторами и точечными – автономными – системами вентиляции. Такие автономные системы применяются для вентиляции цехов на участках повышенной загрязненности воздуха: гальванических участках, печах, в покрасочных камерах.

7.5 Безопасность в чрезвычайных ситуациях

Анализ вероятных ЧС, которые может инициировать объект исследований

Наиболее распространенными источниками возникновения чрезвычайных ситуаций техногенного характера являются пожары и взрывы, которые происходят:

- на промышленных объектах;
- на объектах добычи, хранения и переработки легковоспламеняющихся, горючих и взрывчатых веществ;
- на транспорте;
- в шахтах, горных выработках, метрополитенах;
- в зданиях и сооружениях жилого, социально-бытового и культурного назначения.

Пожар – это вышедший из-под контроля процесс горения, уничтожающий материальные ценности и создающий угрозу жизни и здоровью людей. В России каждые 4-5 минут вспыхивает пожар и ежегодно погибает от пожаров около 12 тысяч человек.

Основными причинами пожара являются: неисправности в электрических сетях, нарушение технологического режима и мер пожарной

безопасности (курение, разведение открытого огня, применение неисправного оборудования и т.п.).

Основными опасными факторами пожара являются тепловое излучение, высокая температура, отравляющее действие дыма (продуктов сгорания: окиси углерода и др.) и снижение видимости при задымлении. Критическими значениями параметров для человека, при длительном воздействии указанных значений опасных факторов пожара, являются:

- температура – 70°C;
- плотность теплового излучения – 1,26 кВт/м²;
- концентрация окиси углерода – 0,1% объема;
- видимость в зоне задымления – 6-12 м.

Взрыв – это горение, сопровождающееся освобождением большого количества энергии в ограниченном объеме за короткий промежуток времени. Взрыв приводит к образованию и распространению со сверхзвуковой скоростью взрывной ударной волны (с избыточным давлением более 5 кПа), оказывающей ударное механическое воздействие на окружающие предметы.

Основными поражающими факторами взрыва являются воздушная ударная волна и осколочные поля, образуемые летящими обломками различного рода объектов, технологического оборудования, взрывных устройств.

Пожар может произойти вследствие перегрева электродов или проблем с изоляцией. Взрыв может произойти вследствие разрушения емкости, содержащей взрывоопасные вещества. В цехе по производству кабельно-проводниковой продукции используется азотная станция. Имеется инструкция по технике безопасности для работников, использующих при работе со сжатыми и сжиженными газами.

Обоснование мероприятий по предотвращению ЧС и разработка порядка действия в случае возникновения ЧС

В число предупредительных мероприятий могут быть включены мероприятия, направленные на устранение причин, которые могут вызвать пожар (взрыв), на ограничение (локализацию) распространения пожаров, создание условий для эвакуации людей и имущества при пожаре, своевременное обнаружение пожара и оповещение о нем, тушение пожара, поддержание сил ликвидации пожаров в постоянной готовности.

Соблюдение технологических режимов производства, содержание оборудования, особенно энергетических сетей, в исправном состоянии позволяет, в большинстве случаев, исключить причину возгорания.

Своевременное обнаружение пожара может достигаться оснащением производственных и бытовых помещений системами автоматической пожарной сигнализации или, в отдельных случаях, с помощью организационных мер.

На рабочем месте баллоны должны находиться в металлических шкафах или в специально оборудованных местах, обеспечивающих их защиту от воздействия солнечных лучей, осадков, нагревания, механического воздействия и падения. В свою очередь баллоны должны быть надежно укреплены с помощью хомутов, цепочки или троса. Расстояние от ближайшего радиатора или отопительного прибора до баллона должно быть не менее 1 м, от газовых горелок – не менее 1,5 м, от печей и других источников тепла с открытым пламенем – не менее 5 м. Работа с газами, находящимися в баллонах опасна и требует большой осторожности, внимания и соблюдения установленных правил и инструкций. Для предотвращения возникновения пожара применяются следующие шаги: проверка персонала на предмет знаний пожарной безопасности, выполнение работ в соответствии с правилами, плановый осмотр установок.

Помещение цеха имеет категорию Г(умеренная пожароопасность) [НПБ 105-03Определение категорий помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности]. Помещение цеха имеет «Знак зоны-1» и «Зона класса В-І» класса зоны по ПУЭ [11]

Если все же возникнет пожар, персонал будет действовать в следующем порядке:

- Сообщить о пожаре по телефону 01 в пожарную охрану;
- Отключить все электроустановки;
- Закрыть окна и двери, чтобы убрать сквозняк и доступ кислорода для горения;
- Организовать эвакуацию и параллельно приступить к ликвидации очага пожара первичными средствами пожаротушения (огнетушитель ОУ-5-ВСЕ, пожарный рукав). При невозможности – покинуть опасную зону [НПБ 105-03Определение категорий помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности].

7.6 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

Специальные правовые нормы трудового законодательства

К работе допускаются лица не моложе 18 лет, прошедшие медицинское освидетельствование, имеющие профессиональную подготовку, соответствующую характеру работы, прошедшие обучение, инструктаж на рабочем месте и проверку знаний требований безопасности в комиссии на допуск работы[10]:

- по электробезопасности;
- работа с электрооборудованием.

Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны

При производстве работ в электроустановках выполняются технические и организационные мероприятия (меры) предосторожности для того, чтобы исключить случайную подачу напряжения к месту работы и случайное приближение или прикосновение к токоведущим частям, оставшимся под напряжением.

Технические мероприятия, обеспечивающие безопасность работ в электроустановках, выполняют в следующем порядке:

1. Отключают напряжение и принимают меры, исключаяющие его ошибочную подачу к месту работы,

2. Вывешивают предупредительные плакаты на коммутационной аппаратуре, на постоянных и временных ограждениях,

3. Проверяют, есть ли напряжение на отключенной для работы части установки и накладывают на токоведущие части установки переносное заземление.

Чтобы подготовить рабочее место к работе, следует произвести необходимые отключения и принять меры, препятствующие подаче напряжения к месту работы из-за самопроизвольного или ошибочного включения коммутационной аппаратуры, вывесить запрещающие плакаты и, при необходимости, установить ограждения, проверить отсутствие напряжения, наложить переносные заземления, вывесить предупредительные и разрешающие плакаты (при работах с полным снятием напряжения данное требование не обязательно).

Оставшиеся под напряжением токоведущие части ограждают. Если оперативное обслуживание установки осуществляется двумя лицами в смену, подготовка рабочего места выполняется вдвоем. При единоличном обслуживании – одним лицом.

8 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

8.1 Планирование научно-исследовательских работ

Планирование комплекса предполагаемых работ осуществляется в следующем порядке:

- определение структуры работ в рамках научного исследования;
- определение участников каждой работы;
- установление продолжительности работ;
- построение графика проведения научных исследований.

Для выполнения научных исследований формируется рабочая группа, в состав которой могут входить научные сотрудники и преподаватели, инженеры, техники и лаборанты, численность групп может варьироваться. По каждому виду запланированных работ устанавливается соответствующая должность исполнителей.

В данном разделе необходимо составить перечень этапов и работ в рамках проведения научного исследования, провести распределение исполнителей по видам работ. Примерный порядок составления этапов и работ, распределение исполнителей по данным видам работ приведен в табл.

Таблица 9 - Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

Основные этапы	№ раб	Содержание работ	Должность Исполнителя
Разработка технического задания	1	Составление и утверждение технического задания	научный руководитель
Выбор направления исследований	2	Подбор и изучение материалов по теме	Инженер
	3	Выбор направления исследований	Руководитель, инженер
	4	Календарное планирование работ по теме	Научный руководитель
Теоретические и экспериментальные исследования	5	Проведение теоретических расчетов и обоснований	Инженер
	6	Построение макетов (моделей)	Инженер
	7	Сопоставление результатов экспериментов с теоретическими исследованиями	Инженер
	8	Оценка эффективности полученных	Инженер

Обобщение и оценка результатов		результатов	совместно с научным руководителем
Оформление отчета по НИР (комплекта документации по ОКР)	9	Составление пояснительной записки (эксплуатационно-технической документации)	Инженер
	10	Предоставление выполненной работы в виде презентации и отчета	Инженер

8.2 Применение магнитоэлектрических двигателей

Благодаря разработке и промышленному освоению новых магнитотвердых материалов, обладающих высокими удельными энергетическими показателями и относительно умеренной ценой, магнитоэлектрические двигатели с постоянными магнитами получают всё более широкое применение. Использование высокооборотных магнитоэлектрических машин совместно с частотным преобразователем обеспечивает рост единичной мощности агрегата, высокую надёжность за счёт бесконтактного исполнения, стабильность частоты вращения и качество энергетических характеристик за счёт незначительного потребления реактивной мощности. Широкое применение ВД нашли в промышленности, особенно в системах регулирования скорости с большим диапазоном и высоким темпом пусков, остановок и реверса; космической и авиационной технике, нефтяной и газовой отрасли, автомобильном машиностроении, биомедицинской аппаратуре, бытовой технике и проч.

8.3 Сравнительный анализ магнитоэлектрического двигателя с асинхронным

1 Бесконтактность и отсутствие узлов, требующих обслуживания

1.1 Существенно повышается ресурс и надёжность электропривода. Нарботка на отказ составляет 10000 ч и более.

1.2 Упрощается эксплуатация двигателя.

1.3 Появляется возможность использования ВД во взрывоопасной и агрессивной среде.

2 Вентильная коммутация тока в обмотках допускает значительное напряжение между выводами — до нескольких тысяч вольт.

3 Широкие возможности по регулированию выходных показателей электропривода при относительной простоте реализации системы управления.

3.1 Обеспечивается широкий диапазон регулирования частоты вращения

3.2 Имеется возможность оптимизации режимов работы при изменении скорости и нагрузки. Это также способствует повышению ресурса электродвигателя и всего агрегата.

4 Большая перегрузочная способность по моменту (кратковременно кратность максимального момента равна 5 и более).

5 Высокие энергетические показатели (КПД и $\cos\varphi$).

5.1 КПД вентильных двигателей могут превышать 90%, $\cos\varphi$ ВД – более 0,95.

Высокий КПД обусловлен тем, что основные электрические и магнитные потери в роторе ВД с возбуждением от постоянных магнитов отсутствуют. Также мал ток холостого хода.

Высокий $\cos\varphi$ обеспечивается рациональным выбором угла включения фазы. А это может быть достигнуто путем соответствующей настройки датчика положения ротора или при векторном управлении.

5.2 КПД вентильного двигателя мало меняется при изменении нагрузки и при колебаниях напряжения питающей сети.

6.1 Более низкий перегрев ВД по сравнению с АД при одинаковой мощности и одинаковых размерах.

Перегрев в этом случае зависит от потерь, величина которых тем меньше, чем выше КПД и $\cos\varphi$.

6.1.1 Это увеличивает ресурс изоляционных материалов, а значит и срок службы электропривода в целом.

6.1.2 Это позволяет электроприводу работать в нестандартных режимах с возможными перегрузками.

6.2 Меньшие масса и габаритные размеры.

Более высокий КПД и $\cos\phi$, то есть меньшие потери, позволяют для фиксированной мощности спроектировать двигатель меньших размеров по сравнению с АД. Это обеспечивается возможностью реализации более высоких значений линейной нагрузки и тех же значений индукций в воздушном зазоре

7 Высокое быстродействие; точность позиционирования.

Обусловлено малой массой, а значит малым моментом инерции ротора и большим пусковым моментом.

8 Минимальное значение токов холостого хода.

9 Линейность характеристик.

10 Постоянное удешевление магнитных материалов

8.4 Диаграмма Исикава

Диаграмма причины-следствия Исикавы (Cause-and-Effect-Diagram) - это графический метод анализа и формирования причинно-следственных связей, инструментальное средство для систематического определения причин проблемы и последующего графического представления. Диаграмма Исикава представлена на рисунке 1.



Рис.25 Причинно-следственная диаграмма

8.5 Разработка графика проведения научного исследования

При выполнении дипломных работ студенты в основном становятся участниками сравнительно небольших по объему научных тем. Поэтому 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:

$$T_{ki} = T_{pi} \cdot k_{\text{кал}},$$

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:

$$k_{\text{кал}} = \frac{T_{\text{кал}}}{T_{\text{кал}} - T_{\text{вых}} - T_{\text{пр}}} = \frac{365}{365 - 96 - 16} = 1,44,$$

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.

Рассчитанные значения в календарных днях по каждой работе T_{ki} необходимо округлить до целого числа.

Все рассчитанные значения необходимо свести в таблицу (табл. 10).

Таблица 10- Временные показатели проведения научного исследования

Название работы	Трудоёмкость работ									Исполните ли	Длительност ь работ в рабочих днях T_{pi}			Длительность работ в календарных днях T_{ki}				
	t_{min} , чел-дни			t_{max} , чел- дни			$t_{ож\bar{c}i}$, чел-дни											
	Исп.1	Исп.2	Исп.3	Исп.1	Исп.2	Исп.3	Исп.1	Исп.2	Исп.3		Исп.1	Исп.2	Исп.3	Исп.1	Исп.2	Исп.3		
Составление и утверждение техническог о задания	1	5	2	2	8	4	1,4	6,2	2, 8	1	2	1	1,4	3,1	2, 8	1,7	3,8	3,4
Подбор и изучение материалов по теме	1	5	3	2	8	4	1,4	6,2	3, 4	1	2	1	1,4	3,1	3, 4	1,7	3,8	4,1
Выбор направления исследовани й	1	4	1	3	8	3	1,8	5,6	1, 8	1	2	1	1,8	2,8	1, 8	2,2	3,4	2,2

Календарное планирование работ по теме	1	1	2	2	2	5	1,4	1,4	3,2	1	1	1	1,4	1,4	3,2	1,7	1,7	3,9
Проведение теоретических расчетов и обоснований	4	10	4	8	14	8	5,6	11,6	5,6	1	2	1	5,6	5,8	5,6	6,8	7,1	6,8

Продолжение таблицы 9

Построение макетов (моделей) и проведение экспериментов	28	28	7	40	40	8	32,8	32,8	7,4	2	2	2	16,4	16,4	3,7	20	20	4,5
Сопоставление результатов экспериментов с теоретическими данными	5	10	5	7	20	7	5,8	14	5,8	1	2	1	5,8	7	5,8	7,1	8,5	7,1
Оценка эффективности полученных результатов	2	8	2	3	11	3	2,4	9,2	2,4	1	2	1	2,4	4,6	2,4	2,9	5,6	2,9
Составление пояснительной записки	4	7	4	7	14	7	5,2	9,8	5,2	1	1	1	5,2	9,8	5,2	6,3	11,9	6,3

Публикация полученных результатов	1	1	1	7	7	7	3,4	3,4	3, 4	1	1	1	3,4	3,4	3, 4	4,1	4,1	4,1
---	---	---	---	---	---	---	-----	-----	---------	---	---	---	-----	-----	---------	-----	-----	-----

Итого длительность работ в календарных днях при использовании

- Первого варианта- 54,5 календарных дней.
- Второго варианта- 69,9 календарных дней.
- Третьего варианта- 45,3 календарных дней.

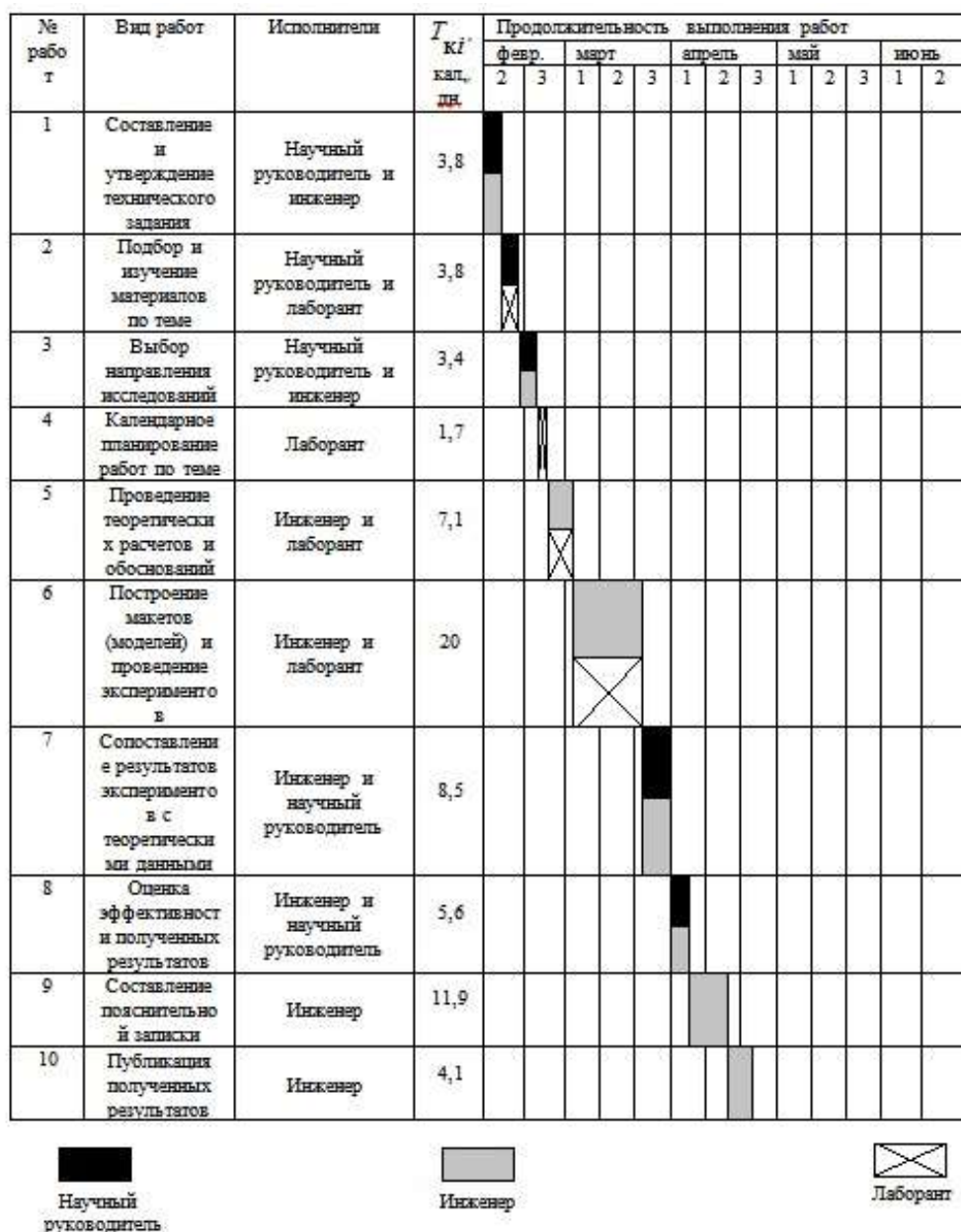
Примечание: Варианты исполнения выбраны из раздела 2.

Итого длительность работ в календарных днях при использовании

- Первого варианта- 54,5 календарных дней.
- Второго варианта- 69,9 календарных дней.
- Третьего варианта- 45,3 календарных дней.

На основе табл. 9 строится календарный план-график. График строится для максимального по длительности исполнения работ в рамках научно-исследовательского проекта на основе табл. 9 с разбивкой по месяцам и декадам (10 дней) за период времени дипломирования. При этом работы на графике следует выделить различной штриховкой в зависимости от исполнителей, ответственных за ту или иную работу.

Таблица 11 - Календарный план-график проведения НИОКР по теме



8.6 Бюджет научно-технического исследования (НТИ)

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

- материальные затраты НТИ;
- затраты на специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ;

- основная заработная плата исполнителей темы;
- дополнительная заработная плата исполнителей темы;
- отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления);
- затраты научные и производственные командировки;
- контрагентные расходы;
- накладные расходы.

8.6.1 Расчет материальных затрат НТИ

Данная статья включает стоимость всех материалов, используемых при разработке проекта:

- приобретаемые со стороны сырье и материалы, необходимые для создания научно-технической продукции;

- покупные материалы, используемые в процессе создания научно-технической продукции для обеспечения нормального технологического процесса и для упаковки продукции или расходуемых на другие производственные и хозяйственные нужды (проведение испытаний, контроль, содержание, ремонт и эксплуатация оборудования, зданий, сооружений, других основных средств и прочее), а также запасные части для ремонта оборудования, износа инструментов, приспособлений, инвентаря, приборов, лабораторного оборудования и других средств труда, не относимых к основным средствам, износ спецодежды и других малоценных и быстроизнашивающихся предметов;

- покупные комплектующие изделия и полуфабрикаты, подвергающиеся в дальнейшем монтажу или дополнительной обработке;

- сырье и материалы, покупные комплектующие изделия и полуфабрикаты, используемые в качестве объектов исследований (испытаний) и для эксплуатации, технического обслуживания и ремонта изделий – объектов испытаний (исследований);

В материальные затраты, помимо вышеуказанных, включаются дополнительно затраты на канцелярские принадлежности, диски, картриджи

и т.п. Однако их учет ведется в данной статье только в том случае, если в научной организации их не включают в расходы на использование оборудования или накладные расходы. В первом случае на них определяются соответствующие нормы расхода от установленной базы. Во втором случае их величина учитывается как некая доля в коэффициенте накладных расходов.

Расчет материальных затрат осуществляется по следующей формуле:

$$З_{\text{м}} = (1 + k_T) \cdot \sum_{i=1}^m \Pi_i \cdot N_{\text{расх}i} ,$$

где m – количество видов материальных ресурсов, потребляемых при выполнении научного исследования;

$N_{\text{расх}i}$ – количество материальных ресурсов i -го вида, планируемых к использованию при выполнении научного исследования (шт., кг, м, м² и т.д.);

Π_i – цена приобретения единицы i -го вида потребляемых материальных ресурсов (руб./шт., руб./кг, руб./м, руб./м² и т.д.);

k_T – коэффициент, учитывающий транспортно-заготовительные расходы.

Значения цен на материальные ресурсы могут быть установлены по данным, размещенным на соответствующих сайтах в Интернете предприятиями-изготовителями (либо организациями-поставщиками).

Величина коэффициента (k_T), отражающего соотношение затрат по доставке материальных ресурсов и цен на их приобретение, зависит от условий договоров поставки, видов материальных ресурсов, территориальной удаленности поставщиков и т.д. Транспортные расходы принимаются в пределах 15-25% от стоимости материалов. Материальные затраты, необходимые для данной разработки, заносятся в таблицу 9.

Таблица 12-Материальные затраты

Наименование	Единица измерения	Количество			Цена за ед., руб.			Затраты на материалы, (З _м), руб.		
		Исп. .1	Исп. .2	Исп. .3	Исп. .1	Исп. .2	Исп. .3	Исп. 1	Исп. 2	Исп. 3
Перчатки	Пара	2	2	2	15	15	15	15	15	15
Отвертка	Штука	1	1	1	30	30	-	30	30	30
Смазка DICOLU BE CT 20KG	Кг	1	1	1	412	412	412	480	480	480
Набор гаечных ключей	Штук	1	1	1	347	347	347	347	347	347
Итого								872	872	872

Из затрат на материальные ресурсы, включаемых в себестоимость продукции, исключается стоимость возвратных отходов.

8.6.2. Основная заработная плата исполнителей темы

В настоящую статью включается основная заработная плата научных и инженерно-технических работников, рабочих макетных мастерских и опытных производств, непосредственно участвующих в выполнении работ по данной теме. Величина расходов по заработной плате определяется исходя из трудоемкости выполняемых работ и действующей системы окладов и тарифных ставок. В состав основной заработной платы включается премия, выплачиваемая ежемесячно из фонда заработной платы в размере 20 –30 % от тарифа или оклада. Расчет основной заработной платы сводится в табл. 10.

Таблица 13 - Расчет основной заработной платы

№ п / п	Наименование этапов			Исполнители по категориям			Трудо-емкость, чел.-дн.			Заработная плата, приходящаяся на один чел.-дн., тыс. руб.			Всего заработная плата по тарифу (окладам), тыс. руб		
	Исп.1	Исп.2	Исп.3	Исп.1	Исп.2	Исп.3	Исп.1	Исп.2	Исп.3	Исп.1	Исп.2	Исп.3	Исп.1	Исп.2	Исп.3
1	Составление и утверждение технического задания			Научный руководитель	Научный руководитель	Научный руководитель	1,4	6,2	2,8	2118	2118	2118	2965,2	13131,6	5930,4
				Инженер	Инженер	Инженер					1852			11482,4	
2	Подбор и изучение материалов по теме			Научный руководитель	Научный руководитель	Научный руководитель	1,4	6,2	3,4	2118	2118	2118	2965,2	13131,6	3812,4
				Лаборант	Лаборант	Лаборант					1344			8332,8	
3	Выбор направления исследований			Научный руководитель	Научный руководитель	Научный руководитель	1,8	5,6	1,8	2118	2118	2118	3812,4	11860,8	3812,4
				Инженер	Инженер	Инженер					1852			10371,2	
4	Календарное планирование работ по теме			Лаборант	Лаборант	Лаборант	1,4	1,4	3,2	1344	1344	1344	1689,18	1881,6	4300,8
5	Проведение теоретических расчетов и обоснований			Инженер	Инженер	Инженер	5,6	11,6	5,6	1852	1852	1852	10371,2	21483,2	10371,2
				Лаборант	Лаборант	Лаборант					1344			15590,4	

Продолжение таблицы 12

6	Построение макетов (моделей) и проведение экспериментов	Инженер	Инженер	Инженер	32,8	32,8	7,4	1852	1852	1852	60745,6	60745,6	13704,8
		Лаборант	Лаборант	Лаборант				1344	1344	1344	44083,2	44083,2	9945,6
7	Сопоставление результатов экспериментов с теоретическими данными	Инженер	Научный руководитель	Инженер	5,8	14	5,8	1852	2118	1852	10741,6	29652	10741,6
			Инженер						1852			25928	
8	Оценка эффективности полученных результатов	Инженер	Научный руководитель	Инженер	2,4	9,2	2,4	1852	2118	1852	4444,8	19485,6	4444,8
			Инженер						1852			17038,4	
9	Составление пояснительной записки	Инженер	Инженер	Инженер	5,2	9,8	5,2	1852	1852	1852	9630,4	18149,6	9630,4
10	Публикация полученных результатов	Инженер	Инженер	Инженер	3,4	3,4	3,4	1852	1852	1852	6296,8	6296,8	6296,8
Итого:											15774,58	328644,8	82991,2

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

$$Z_{\text{зп}} = Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}},$$

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

$Z_{\text{доп}}$ – дополнительная заработная плата (12-20 % от $Z_{\text{осн}}$).

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

$$Z_{\text{осн}} = Z_{\text{дн}} \cdot T_p,$$

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

T_p – продолжительность работ, выполняемых научно-техническим работником, раб. дн. (табл. 8);

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

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$Z_{\text{дн}} = \frac{Z_m \cdot M}{F_d},$$

где Z_m – месячный должностной оклад работника, 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. (табл. 13).

Таблица 14- Баланс рабочего времени

Показатели рабочего времени	Руководитель	Инженер	Лаборант
Календарное число дней	365	365	365
Количество нерабочих дней			
- выходные дни	48	48	48
- праздничные дни	16	16	16
Потери рабочего времени			
- отпуск	62	62	62
- невыходы по болезни	14	17	20
Действительный годовой фонд рабочего времени	225	222	219

Месячный должностной оклад работника:

$$З_{\text{м}} = З_{\text{тс}} \cdot (1 + k_{\text{пр}} + k_{\text{д}}) \cdot k_{\text{р}},$$

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

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

$k_{\text{д}}$ – коэффициент доплат и надбавок составляет примерно 0,2 – 0,5 (в НИИ и на промышленных предприятиях – за расширение сфер обслуживания, за профессиональное мастерство, за вредные условия: 15-20 % от $З_{\text{тс}}$);

$k_{\text{р}}$ – районный коэффициент, равный 1,3 (для Томска).

Тарифная заработная плата $З_{\text{тс}}$ находится из произведения тарифной ставки работника 1-го разряда $T_{\text{с1}} = 600$ руб. на тарифный коэффициент $k_{\text{т}}$ и учитывается по единой для бюджетных организации тарифной сетке. Для предприятий, не относящихся к бюджетной сфере, тарифная заработная плата (оклад) рассчитывается по тарифной сетке, принятой на данном предприятии. Расчёт основной заработной платы приведён в табл. 7.

Таблица 15- Расчёт основной заработной платы

Исполнители	$Z_{тс}$, руб.	$k_{пр}$	k_d	k_p	Z_m , руб	$Z_{дн}$, руб.	T_p , раб. дн.	$Z_{осн}$, руб.
Научный руководитель	23500	0,3	0,15	1,3	51838	2308,91921	225	519506,82
Инженер	17500	0,3	0,5	1,3	40950	1848,18584	222	410362,56
Лаборант	13000	0,3	0,3	1,3	27040	1206,56574	219	264237,89
Итого								1194107,2

Основная заработная плата руководителя (от ТПУ) 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, ст. преподаватель, доцент, профессор (см. «Положение об оплате труда», приведенное на интернет-странице Планово-финансового отдела ТПУ).

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

3) иные выплаты; районный коэффициент.

8.6.3. Дополнительная заработная плата исполнителей темы

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 (при исполнении государственных и общественных обязанностей, при совмещении работы с обучением, при предоставлении ежегодного оплачиваемого отпуска и т.д.).

Расчет дополнительной заработной платы ведется по следующей формуле:

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

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

8.6.4. Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)

В данной статье расходов отражаются обязательные отчисления по установленным законодательством Российской Федерации нормам органам государственного социального страхования (ФСС), пенсионного фонда (ПФ) и медицинского страхования (ФФОМС) от затрат на оплату труда работников.

Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется исходя из следующей формулы:

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

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

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

Отчисления во внебюджетные фонды рекомендуется представлять в табличной форме (табл. 15).

Таблица 16-Отчисления во внебюджетные фонды

Исполнитель	Основная заработная плата, руб.			Дополнительная заработная плата, руб.		
	Исп.1	Исп.2	Исп.3	Исп.1	Исп.2	Исп.3
Научный руководитель	9742,8	87261,6	13555,2	1169,136	10471,39	1626,624
Инженер	102230	171495	14246,4	12267,6	20579,4	1709,568
Лаборант	41264,34	62741,1	55075,75	4951,7208	7528,932	6609,09
Коэффициент отчислений во внебюджетные фонды	0,271					
Итого						
Исполнение 1	46510,53673					
Исполнение 2	97580,9819					
Исполнение 3	25154,93327					

8.6.5. Накладные расходы

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:

$$З_{\text{накл}} = (\text{сумма статей } 1 \div 3) \cdot k_{\text{нр}},$$

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

Величину коэффициента накладных расходов можно взять в размере 16%.

Расчет величины накладных расходов приведен в таблице 16.

Таблица 17- Расчет величины накладных расходов

	з _{накл} , руб.
Исполнение 1	32820,49868
Исполнение 2	68335,645
Исполнение 3	17442,9013

8.6.6. Контрагентные расходы

Контрагентные расходы включают затраты, связанные с выполнением каких-либо работ по теме сторонними организациями (контрагентами, субподрядчиками), т.е.:

1) Работы и услуги производственного характера, выполняемые сторонними предприятиями и организациями. К работам и услугам производственного характера относятся:

- выполнение отдельных операций по изготовлению продукции, обработке сырья и материалов;
- проведение испытаний для определения качества сырья и материалов;
- контроль за соблюдением установленных регламентов технологических и производственных процессов;
- ремонт основных производственных средств;
- поверка и аттестация измерительных приборов и оборудования, другие работы (услуги) в области метрологии и прочее.
- транспортные услуги сторонних организаций по перевозкам грузов внутри организации (перемещение сырья, материалов, инструментов, деталей, заготовок, других видов грузов с базисного (центрального) склада в

цехи (отделения) и доставка готовой продукции на склады хранения, до станции (порта, пристани) отправления).

2) Работы, выполняемые другими учреждениями, предприятиями и организациями (в т.ч. находящимися на самостоятельном балансе опытными (экспериментальными) предприятиями по контрагентским (соисполнительским) договорам на создание научно-технической продукции, головным (генеральным) исполнителем которых является данная научная организация).

Расчет величины этой группы расходов зависит от планируемого объема работ и определяется из условий договоров с контрагентами или субподрядчиками.

8.6.7. Накладные расходы

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:

$$З_{\text{накл}} = (\text{сумма статей } 1 \div 3) \cdot k_{\text{нр}},$$

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

Величину коэффициента накладных расходов можно взять в размере 16%.

8.6.8. Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта

Рассчитанная величина затрат научно-исследовательской работы (темы) является основой для формирования бюджета затрат проекта, который при формировании договора с заказчиком защищается научной организацией в

качестве нижнего предела затрат на разработку научно-технической продукции.

Определение бюджета затрат на научно-исследовательский проект по каждому варианту исполнения приведен в табл. 17.

Таблица 18 -Расчет бюджета затрат НТИ

Наименование статьи	Сумма, руб.			Примечание
	Исп.1	Исп.2	Исп.3	
1. Материальные затраты НТИ	872	872	872	Пункт 3.4.1
2. Затраты по основной заработной плате исполнителей темы	157745,58	328645	82991,2	Пункт 3.4.2
3. Отчисления во внебюджетные фонды	46510,53673	97581	25154,93327	Пункт 3.4.4
4. Накладные расходы	32820,49868	68335,645	17442,9013	16 % от суммы ст. 1-3
5. Бюджет затрат НТИ	205128,1167	427097,78	109018,133	Сумма ст. 1- 4

8.7. Оценка сравнительной эффективности исследования

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

Интегральный показатель финансовой эффективности научного исследования получают в ходе оценки бюджета затрат трех (или более) вариантов исполнения научного исследования (см. табл. 16). Для этого наибольший интегральный показатель реализации технической задачи

принимается за базу расчета (как знаменатель), с которым соотносятся финансовые значения по всем вариантам исполнения.

Интегральный финансовый показатель разработки определяется как:

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

где $I_{\text{финр}}^{\text{исп.}i}$ – интегральный финансовый показатель разработки;

Φ_{pi} – стоимость i -го варианта исполнения;

Φ_{max} – максимальная стоимость исполнения научно-исследовательского проекта (в т.ч. аналоги).

Полученная величина интегрального финансового показателя разработки отражает соответствующее численное увеличение бюджета затрат разработки в размах (значение больше единицы), либо соответствующее численное удешевление стоимости разработки в размах (значение меньше единицы, но больше нуля).

Расчёт интегрального финансового показателя приведен в таблице 19.

Таблица 19- Интегральный финансовый показатель

	$I_{\text{финр}}^{\text{исп.}i}$
Исполнение 1	0,480283732
Исполнение 2	1
Исполнение 3	0,255253335

Интегральный показатель ресурсоэффективности вариантов исполнения объекта исследования можно определить следующим образом:

$$I_{pi} = \sum a_i \cdot b_i,$$

где I_{pi} – интегральный показатель ресурсоэффективности для i -го варианта исполнения разработки;

a_i – весовой коэффициент i -го варианта исполнения разработки;

b_i^a, b_i^p – бальная оценка i -го варианта исполнения разработки, устанавливается экспертным путем по выбранной шкале оценивания;

n – число параметров сравнения.

Расчет интегрального показателя ресурсоэффективности рекомендуется проводить в форме таблицы (табл. 19).

Таблица 20- Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта

Объект исследования Критерии	Весовой коэффициент параметра	Исп.1	Исп.2	Исп.3
1. Способствует росту производительности труда пользователя	0,05	2	3	2
2. Удобство в эксплуатации (соответствует требованиям потребителей)	0,1	4	4	3
3.Надежность	0,1	4	4	3
4.Безопасность	0,05	3	4	3
5.Простота эксплуатации	0,1	1	1	1
6.Конкурентоспособность продукта	0,1	5	4	3
7.Уровень проникновения на рынок	0,2	5	4	2
8.Финансирование научной разработки	0,1	5	4	3
9.Наличие сертификации разработки	0,2	4	4	3
ИТОГО	1	33	32	23

$$I_{p-ucn1} = 2*0,05+4*0,1+4*0,1+3*0,05+1*0,1+5*0,1+5*0,2+5*0,1+4*0,2=3,95;$$

$$I_{p-исп2} = 3*0,05+4*0,1+4*0,1+4*0,05+1*0,1+4*0,1+4*0,1+4*0,2+4*0,1+4*0,2=4,05;$$

$$I_{p-исп3} = 2*0,05+3*0,1+3*0,1+3*0,05+1*0,1+3*0,1+2*0,2+3*0,1+3*0,2=2,55.$$

Интегральный показатель эффективности вариантов исполнения разработки ($I_{исп.i.}$) определяется на основании интегрального показателя ресурсоэффективности и интегрального финансового показателя по формуле:

$$I_{исп.1} = \frac{I_{p-исп1}}{I_{финр.1}}, \quad I_{исп.2} = \frac{I_{p-исп2}}{I_{финр.2}} \text{ и т.д.}$$

Сравнение интегрального показателя эффективности вариантов исполнения разработки позволит определить сравнительную эффективность проекта (см.табл.13) и выбрать наиболее целесообразный вариант из предложенных. Сравнительная эффективность проекта ($\mathcal{E}_{cp}$):

$$\mathcal{E}_{cp} = \frac{I_{исп.1}}{I_{исп.2}}$$

Таблица 21. Сравнительная эффективность разработки.

№ п/п	Показатели	Исп.1		Исп.2		Исп.3	
1	Интегральный финансовый показатель разработки	0,480283732		1		0,255253335	
2	Интегральный показатель ресурсоэффективности и разработки	3,95		4,05		2,55	
3	Интегральный показатель эффективности	8,224		4,05		9,992	
4	Сравнительная эффективность вариантов исполнения	По отношению к исп.2	По отношению к исп.3	По отношению к исп.1	По отношению к исп.3	По отношению к исп.1	По отношению к исп.2
		2,03	0,82	0,49	0,4	1,21	2,46

Сравнение значений интегральных показателей эффективности позволяет понять и выбрать более эффективный вариант решения поставленной в магистерской работе технической задачи с позиции финансовой и ресурсной эффективности.

Заключение

В процессе выполнения выпускной квалификационной работы проведен анализ магнитоэлектрических машин различных конструкций. На основе данного анализа была предложена магнитоэлектрическая машина. В качестве базовой модели был выбран асинхронный двигатель ДАТ-164 применяемый в топливопрокачивающем агрегате тепловоза. При проектировании магнитоэлектрической машины поперечная геометрия статора осталась без изменений.

В качестве ротора был выбран ротор конструкции звездочка так как она обладает простотой ее изготовления и малыми сопротивлениями по осям ротора, обуславливающие жесткость механических характеристик.

В качестве магнитных материалов был использован NdFeB, который широко используемые в настоящее время на производстве, обладающие наиболее высокими магнитными параметрами из всех выпускаемых. Магниты NdFeB имеют меньшую температурную стабильность, высокую силу изгиба, высокую твердость, возможность создания сильных магнитных полей при малых габаритах, отсутствие в составе сплава NdFeB достаточно дорогого металла - кобальта.

Моделирование производилось в программном комплексе ANSYS Maxwell. В ходе моделирования были получены данные, на основании которых можно провести сравнения энергетических характеристик базового асинхронного двигателя и магнитоэлектрической машины полученной на его основе. В магнитоэлектрической машине увеличился КПД на 4,7 %, коэффициент полезного действия $\cos\phi$ на 9 %, по сравнению с асинхронным двигателем.

В части финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение проведено планирование научно – исследовательских работ. Произведен расчет ресурсной, финансовой, бюджетной, социальной и

экономической эффективности исследования. Суммарный бюджет затрат НТИ составил 109018 тыс. руб.

В разделе «Социальная ответственность» проведен анализ опасных и вредных факторов, рассмотрены вопросы экологической безопасности, безопасность в чрезвычайных ситуациях и правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности. Проведен расчет освещения рабочей зоны.

Список использованной литературы

1. Овчинников И.Е. Вентильные электрические двигатели и привод на их основе Курс лекций. - СПб., КОРОНА-Век, 2006.
2. Дубенский, А. А. Бесконтактные двигатели постоянного тока. М.: Энергия, 1967.
3. Юферов Ф.М. Электрические машины автоматических устройств. – М.: Высшая школа, 1976.
4. Овчинников И. Е. Энергетические характеристики бесконтактных двигателей и их оптимизация// Двигатели постоянного тока с полупроводниковыми коммутаторами. Л.: Наука, 1972. С. 19-38.
5. Волокитина Е.В., Новые моментные вентильные электродвигатели для прецизионных электроприводов технологических роботов и металлообрабатывающего оборудования// Мехатронные системы, исполнительные устройства.- 2011.-№4.
6. Сонных М., Основные технические особенности вентильных двигателей// Инновации, технологии, модернизации.- 2010.
7. Панкратов В.В., вентильный электропривод: от стиральной машины до металлорежущего станка и электровоза// Электронные компоненты.- 2007.-№2.
8. Характеристики турбомеханизмов [Электронный ресурс]. - http://studopedia.su/17_44603_harakteristika-turbomehanizmov.html.
9. Магнитные системы [Электронный ресурс]. - <http://magnet-prof.ru/index.php/harakteristiki-neodimovogo-materiala.html>
- 10.ANSYS, Inc.: современные методы моделирования электромагнитного поля [электронный ресурс]. Режим доступа: http://www.cae-expert.ru/sites/default/files/sovremennye_metody_modelirovaniya_elektromagnitnogo_polya.pdf
- 11.Киселев А.В. Магнитоэлектрический синхронный генератор для питания скважинно аппаратуры телеметрической системы

- [Текст]: автореф. дис. на соиск. учен. степ. канд. тех. наук / Киселев Александр викторович; НИТПУ. – Томск, 2014.
- 12.ПУЭ (6-е изд.) в разд.1.1.13. Классификация помещений по степени опасности поражений людей электрическим током. Госэнергонадзор Москва, 2000.
- 13.НПБ 105-03 Определение категорий помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности, -М, 2003.
- 14.Беляков, Геннадий Иванович. Охрана труда и техника безопасности [Электронный ресурс] : учебник для прикладного бакалавриата / Г. И. Беляков. — 3-е изд., перераб. и доп. — Мультимедиа ресурсы (10 директорий; 100 файлов; 740MB). — Москва: Юрайт, 2016. — 1 Мультимедиа CD-ROM. — Бакалавр. Прикладной курс. — Электронные учебники издательства "Юрайт". — Электронная копия печатного издания. — Системные требования: Pentium 100 MHz, 16 Mb RAM, Windows 95/98/NT/2000, CDROM, SVGA, звуковая карта, InternetExplorer 5.0
- 15.Техника безопасности в электроэнергетических установках : справочное пособие / под ред. П. А. Долина. — Москва: Энергоатомиздат, 1987. — 400 с.: ил.
- 16.Жуков, Виктор Ильич. Защита и безопасность в чрезвычайных ситуациях : учебное пособие / В. И. Жуков, Л. Н. Горбунова; Сибирский федеральный университет (СФУ). — Москва; Красноярск: Инфра-М Изд-во СФУ, 2014. — 392 с.: ил. — Высшее образование. Бакалавриат. — Библиогр.: с. 384-387.
- 17.Назаренко О.Б., Дашковский А.Г. Расчет искусственного освещения. Методические указания к выполнению индивидуальных заданий для студентов дневного и заочного обучения всех специальностей. — Томск: Изд. ТПУ, 2008.

- 18.СанПиН 2.2.4.548–96. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений, - М, 1997
- 19.СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278–03. Гигиенические требования к естественному, искусственному и совмещённому освещению жилых и общественных зданий.
- 20.СН 2.2.4/2.1.8.566. Производственная вибрация, вибрация в помещениях жилых и общественных зданий. – М.: Минздрав России, 1997.
- 21.СанПиН 2.2.4.1191–03. Электромагнитные поля в производственных условиях, - М, 2003
- 22.ГОСТ 12.3.002–75 ССБТ. Процессы производственные. Общие требования безопасности, 1975.
- 23.СН 2.2.4/2.1.8.562–96. Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории застройки, Госкомсанэпиднадзора РФ от 31.10.1996 N 36
- 24.Henderschot, J. – Miller, T. Design of brushless Permanent-Magnet Motors Magna Physics Publishing and Clarendon Press, Oxford, 1994.
- 25.Müller, G. Theorie elektrischer Maschinen VCH Verlagsgesellschaft mbH, Weinheim, 1995.
- 26.Nasar, S – Boldea, I – Unnewehr, L. Permanent magnet, reluctance, and self-synchronous motors CRC Press, 1993.
- 27.Nürnberg, W. – Hanitsch R. Die Prüfung elektrischer Maschinen Springer Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, 2001.
- 28.Oesingmann, D. Dauermagneterregte Motoren kleiner Leistung Vorlesungsmanuskript TU Ilmenau, 2002
- 29.Yeadon, W.H. – Yeadon, A.W. Handbook of small electric motors McGraw-Hill, 2001.
- 30.Großmann, R. Theoretische und experimentelle Untersuchungen an Elektronikmotoren Dissertation Technische Universität Ilmenau, 1997.

- 31.Hemead, E. Theoretische und experimentelle Untersuchungen an einer permanenterregten Synchronmaschine mit Luftspaltwicklung Dissertation Technische Universität Berlin, 1995.
- 32.Rattei, F. Modulare Dauermagnetmaschine mit optimierten Feldführung Dissertation. Universität der Bundeswehr München, 2001.
- 33.Friedrich, J. Bauformen und Betriebsverhalten Modularer Dauermagnetmaschinen Dissertation. Universität der Bundeswehr München, 1991.
- 34.Weschta, A. Entwurf und Eigenschaften permanenterregter Synchron-Servomotoren Dissertation. Technische Universität Erlangen-Nürnberg, 1983.
- 35.Demel, W. Baugroße und Verluste von permanenterregten Synchronmaschinen bei unterschiedlichen Verlauf des Stromes Dissertation. Technische Hochschule Aachen, 1987.

Приложение А

Раздел 1

Студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5ГМ4Г	Сафонов Виктор Валерьевич		

Консультант кафедры _____ (аббревиатура кафедры) :

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент кафедры ЭКМ	Бейерлейн Е.В.	к.т.н. доцен		

Консультант – лингвист кафедры _____ (аббревиатура кафедры) _____ :

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент кафедры ИЯЭИ	Галанова О. А.	к.п.н, доцент		

1 Elektromaschinenbranche in Deutschland

Die Elektromaschinenbranche in Deutschland besteht aus ca. 130 Firmen mit etwa 45.000 Beschäftigten. Nach einer Statistik des Verbandes Elektrotechnik- und Elektronikindustrie (ZVEI) erreichte sie im Jahr 2003 einen Jahresumsatz von rund 7,5 Milliarden Euro. Dies sind nahezu 50% des europäischen Marktes. Die Produktgruppe Kleinmotoren ist mit 30% als größte Einzelsparte ausgewiesen. Sie umfasst alle Elektromotoren im Leistungsbereich bis etwa 1 kW. Für 2003 prognostizierte eine von Frost & Sullivan im Jahr 2000 durchgeführte Studie den Umsatz der in Deutschland hergestellten Kleinmaschinen auf 2.340 Mio. €. Das entspricht nahezu den vom ZVEI für 2003 angegebenen Zahlen. Diese Studie sah außerdem für 2006 einen Umsatz von 2.540 Mio. € voraus, was eine Steigerung um mehr als 8,5% innerhalb von drei Jahren bedeuten würde.

Die Einsatzgebiete der Kleinmotoren reichen von Geräten des täglichen Bedarfs, von Spielzeugen und Haushaltsgeräten, bis zu industriellen Servoantrieben. Handgeführte Elektrowerkzeuge und Hilfsantriebe in Kraftfahrzeugen stellen einen erheblichen Anteil dar.

Die mit Permanentmagneten ausgestatteten Gleichstrommotoren, ausgeführt als Kommutatormotoren oder als Elektronikmotoren, machen 50% des Gesamtumsatzes der Kleinmaschinen aus. Überwiegend durch deren zunehmenden Einsatz in der Automobilindustrie wird eine Umsatzsteigerung erwartet.

1.1 Aktuelle und zukünftige Einsatzgebiete des Elektronikmotors

Oft ist die geforderte Lebensdauer ausschlaggebend für den Einsatz der Elektronikmotoren. Immer häufiger werden sie auch eingesetzt, wo eine große Leistungsdichte gefordert wird und gleichzeitig hohe Anforderungen bezüglich Gleichlauf, Geräusch, Dynamik, Wirkungsgrad und Drehzahlstellbereich vorliegen.

Die derzeit wichtigsten Einsatzgebiete kleiner Elektronikmotoren sind:

- Industrielle Automation (Servomotoren)
- Computerindustrie
- Kfz-Industrie
- Medizintechnik.

In der Computertechnik hat sich der Elektronikmotor (in Außenläuferausführung) als Antrieb für Festplatten und Lüfter durchgesetzt. An diesen Motoren werden hohe Anforderungen bezüglich Gleichlauf und Geräusche gestellt.

Dank der hohen erreichbaren Dynamik, vor allem mit Innenläufer, findet der Elektronikmotor als Servomotor immer häufiger Anwendung in der Industrie.

In den Handwerkzeugen und Haushaltgeräten wird die geforderte Lebensdauer meist durch den Einsatz der billiger zu fertigenden Kommutatormotoren erreicht. Unter der Voraussetzung dass die Preise vor allem der hochenergetischen Permanentmagnetwerkstoffe und der Elektronik deutlich sinken, werden auch hier Elektronikmotoren zukünftige Einsatzgebiete finden.

Mit dem Ziel, den Kraftstoffverbrauch und gleichzeitig die Schadstoffemissionen zu reduzieren, werden die Automobilhersteller dazu herausgefordert, die bisher direkt durch den Verbrennungsmotor und Hydraulikanlage übernommenen Funktionen im Fahrzeug durch Elektromotoren zu ersetzen. Beim Konzept des Hybrid-Antriebs arbeiten zwei elektronisch kommutierte Maschinen (eine als Motor und die andere als Generator) mit dem

Verbrennungsmotor zusammen, der dann permanent im optimalen Arbeitsbereich betrieben werden kann. Aber Elektronikmotoren werden auch in der Zukunft andere Aufgaben im Fahrzeug übernehmen. Wasserpumpen z.B. werden vom Ottomotor getrennt und nur nach Bedarf von Elektronikmotoren angetrieben. Elektromotorische Aktuatoren werden die Lenkung unterstützen und für das Bremsen zuständig sein. Für diese Anwendungsfälle müssen aber die Motoren eine Reihe Anforderungen erfüllen, wie z.B.:

- Geringes Nutrastrmoment
- Geringe Drehmomentwelligkeit
- Hohe Dynamik
- Hoher Wirkungsgrad
- Kleines Bauvolumen
- Hohe Leistungsdichte
- Hohe Einsatztemperaturen
- Hohe Zuverlässigkeit
- Lange Lebensdauer.

Diese Anforderungen können nur mit dem Einsatz von Elektronikmotoren erreicht werden.

1.2 Gegenüberstellung hartmagnetischer Werkstoffe

Beim Entwurf eines Elektronikmotors stellt sich in erster Linie die Frage, welches Dauer-magnetmaterial eingesetzt werden soll. Die Auswahl des für die jeweilige Anwendung günstigsten Magnetwerkstoffes erfordert einen gründlichen Vergleich der technischen und ökonomischen Faktoren.

Die Einsatztemperatur oder die voraussichtliche maximale Umgebungstemperatur des Motors ist eine wichtige Randbedingung für die Magnetmaterialauswahl. Die von den Herstellern empfohlenen maximalen Einsatztemperaturen stellen dafür einen Richtwert dar. Sie reichen von ca. 120 °C bei den kunststoffgebundenen Magneten bis zu 550 °C bei AlNiCo.

Wenn keine speziellen Anforderungen bezüglich der Arbeitstemperatur vorliegen, der Motor aber mit möglichst großer Leistungsdichte ausgeführt werden soll, ist die maximale Energie-dichte der Magnete für die Materialauswahl entscheidend. Diese reicht von 17 kJ/m³ bei den kunststoffgebundenen Ferriten bis zum über 20-fachen bei NdFeB.

Häufig sind die Kosten der Magnete ein wesentlicher Teil der Gesamtkosten des Antriebes. Zwischen den in Frage kommenden Materialien bestehen auch in dieser Hinsicht große Unterschiede. Im Vergleich zu den teuersten, den SmCo-Magneten, betragen die Kosten für kunststoffgebundene Ferrite nur wenige Prozent. Die relativ geringen Preise der Ferrite, etwa 1/10 der von NdFeB-Magneten, kann in manchen Fällen leicht zu der falschen Schlussfolgerung verleiten, dass mit dem Einsatz der Ferrite zwangsläufig ein preisgünstiger Motor zu bauen ist. Die vergleichsweise geringe Energiedichte der Ferrite erfordert ein größeres Bauvolumen und Gewicht und beeinflusst so die Gesamtkosten des Antriebs in die entgegengesetzte Richtung. Nur nach einem Vergleich aller beteiligten Komponenten ist zu entscheiden, mit welchem Magnetmaterial der kostengünstigste Motor gefertigt werden kann.

Im Bild sind drei wesentliche Kenngrößen, der zulässige Temperaturbereich, die maximale Energiedichte und die relativen Kosten (bezogen auf die Preise von SmCo), für die derzeit zur Verfügung stehenden magnetischen Werkstoffe zusammengestellt.

Bild 2.2 enthält die wichtigsten Eigenschaften der Magnetwerkstoffe, es sind

	$(BH)_{max}$	B_r	T_{kBr}	H_{cB}	T_{kHcJ}	Dichte
	kJ/m^3	T	$°/K$	A/mm	$°/K$	g/cm^3
kunststoffgeb. Hartferrite	4...20	0,15...0,3	-0,2	-100...-200	+0,3	3,3...3,7
Hartferrite	10...40	0,2...0,45	-0,2	-140...-250	+0,3	4,8...5
kunststoffgeb. NdFeB	30...80	0,5...0,65	-0,1...-0,15	-300...-450	-0,1...-0,4	4,8...6
NdFeB	200...400	0,9...1,3	-0,08...-0,1	-700...-1000	-0,5...-0,6	7,5...7,6
SmCo	150...300	0,8...1,2	-0,03...-0,04	-500...-900	-0,2...-0,25	8,2...8,3
AlNiCo	10...60	0,7...1,3	-0,02	-50...-150	-0,02	7,0...7,3

die verfügbaren Wertebereichen aufgenommen.

Bild 2.2: Werkstoffdaten der zur Verfügung stehenden Magnetmaterialien

Die maximal auftretende Ankerdurchflutung ist für die endgültige Auswahl des Magnetmaterials entscheidend, weil eine irreversible Entmagnetisierung der Magnete aufgrund der Anker-rückwirkung verhindert werden muss. Dies bedeutet, der Arbeitspunkt auf der Entmagnetisierungskennlinie darf nicht über den Kniepunkt verschoben werden. Da die magnetischen Eigenschaften der hartmagnetischen Werkstoffe sich mit der Temperatur ändern, muss diese Überprüfung für den jeweils ungünstigsten Fall hinsichtlich der Temperatur durchgeführt werden.

1.3 Ausführungsformen

Eine Systematik der Ausführungsformen von Elektronikmotoren kann unter Berücksichtigung der Luftspaltorientierung relativ zur Motorachse und der Wicklungsausführung vorgenommen werden. Der Luftspalt ist senkrecht oder parallel zur Achse angeordnet, woraus sich die Bezeichnungen Axial- und Radialfeldmaschinen ableiten. Hinsichtlich der Wicklungsausführung sind Wicklungen in Nuten und nutenlose (freitragende) Wicklungen zu unterscheiden. Die Axialfeldmotoren besitzen in der Regel nutenlose Wicklungen und haben Scheibenläufer. Die Radialfeldtypen werden in zylindrischer Bauweise mit Innen- oder Außenläufern, mit genutzten oder ungenutzten Ständern, ausgeführt (siehe Bild 1).

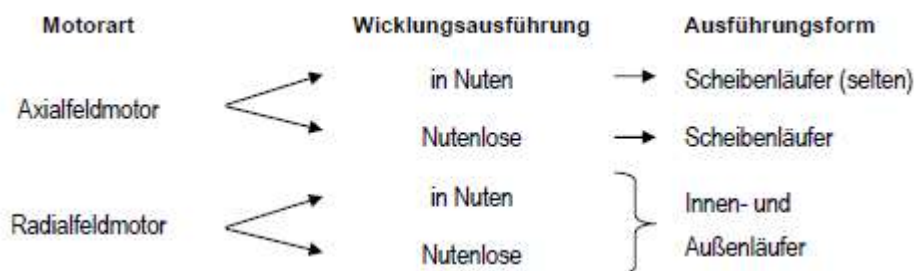


Bild 1: Unterscheidungskriterien der bürstenlosen dauermagneterregten Motoren

1.4 Scheibenläufermotor

Scheibenläufermotoren werden vor allem dort eingesetzt, wo ein kleines Längen-Durchmesser-Verhältnis erforderlich ist. Ein nutenloser Ständer (siehe Bild 2.a) besteht aus einer Leiterplatte, die gleichzeitig als Spulen- und Elektronikträger dient, und einem magnetischen Rückschluss. Dieser kann entweder mitrotieren oder er ist, um die Ummagnetisierungsverluste klein zu halten, aus Sintermaterial bzw. geblecht auszuführen. Nur für niedrige Drehzahlen und kleine Induktionen wird der Rückschluss aus massiven Eisen gefertigt.

Der Läufer setzt sich aus einer in axialer Richtung aufmagnetisierten Magnetscheibe (meist aus Ferrit oder kunststoffgebundenem NdFeB) und dem dazu gehörigen magnetischen Rückschluss zusammen. Da diese Motoren keine Nuten besitzen, treten keine Nutrastmomente auf. Darüber hinaus haben sie ein großes Trägheitsmoment. Deshalb sind Scheibenläufermotoren für Anwendungsfälle mit hohen Anforderungen an den Gleichlauf sehr geeignet (z.B. Audio- und Videogeräte). Nachteilig ist der große magnetisch wirksame Luftspalt, der zwangsläufig zu kleinen Leistungsdichten führt.

Für größere Leistungsdichte kommt ein genuteter (oder auch ungenuteter) Scheibenläufer zum Einsatz, der in der Regel mit Seltenerden-Magnetsegmenten versehen und als Doppel-scheibenläufer mit Zwischenständer ausgeführt wird (siehe Bild 2.b). Dies hat den zusätzlichen Vorteil, dass die bei Einscheibenläuferausführung auftretenden axialen Zugkräfte entfallen. Die ungenutete Variante ist mit einer freitragenden Wicklung versehen, sodass sie auch für hohe Drehzahlen geeignet ist. Diesen Vorteilen stehen sowohl ein komplizierter Fertigungsprozess als auch eine schlechtere Wärmeableitung (da der Ständer zwischen zwei rotierenden Teilen sitzt) nachteilig gegenüber.

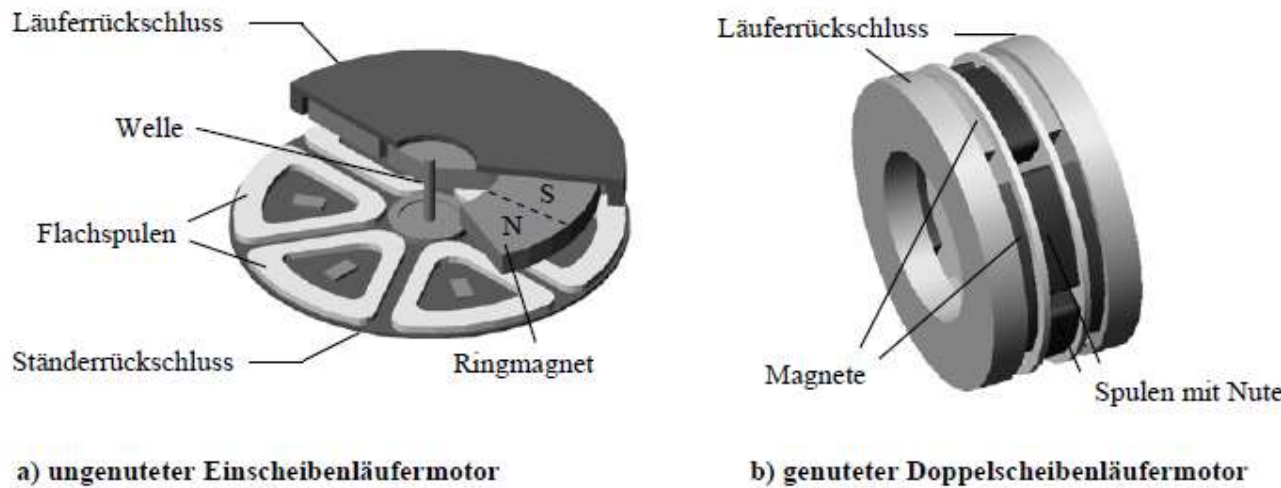


Bild 2: Elektronikmotoren in Scheibenläuferausführung

1.5 Innenläufermotor

Der Ständer eines Elektronikmotors in Innenläuferausführung ist mit einer m-strängigen Wicklung ausgestattet. Der Läufer trägt die zur Erregung der Maschine erforderlichen Perma-nentmagnete. Je nach Anwendungsfall können die Magnete unter anderem segment- oder ringförmig sein [1, 2]. Die Magnete werden entweder auf den Läuferrückschluss geklebt oder in Aussparungen eingeschoben (siehe Bild 3). Rotoren mit eingebetteten Magneten haben gegenüber solchen mit oberflächenmontierten Magneten folgende technologische Vorteile:

Einfache Magnetformen, rechteckige Querschnitte

Keine zusätzlichen Arbeitsschritte für die Befestigung der Magnete notwendig.

Bezüglich der Motoreigenschaften wirken sich die eingebetteten Magnete in höhere Leistungsdichte und

höhere erreichbare Leerlaufdrehzahl beim Feldschwächungsbetrieb

als bei oberflächemontierten Magneten aus.

Aufgrund der Läuferaussparungen treten bei Motoren mit eingebetteten Magneten Reluktanzdrehmomente auf, die in der Regel eine größere Welligkeit des Drehmomentes zur Folge haben.

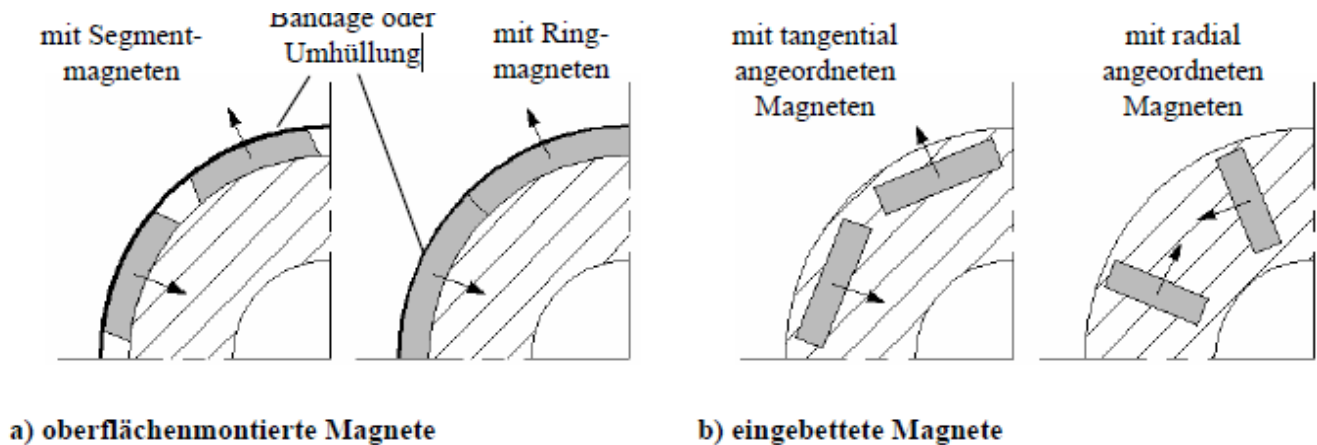


Bild 3: Möglichkeiten zur Läuferfertigung

Mit dem Einsatz von Hochenergiemagneten (NdFeB, SmCo) erreichen Motoren in Innenläuferausführung hohe Energiedichten. Darüber hinaus können Innenläufermotoren mit einer schlanken Bauform (kleines Durchmesser-Längen-Verhältnis) gefertigt werden. Das ist vor allen dann erwünscht, wenn besonderer Wert auf die Dynamik des Antriebssystems gelegt wird.

Die Gestaltung der zu schneidenden Ständerbleche erfolgt unter Berücksichtigung der möglichst rationellen Wicklungsausführung mit der Forderung nach einem hohen Kupferfüllfaktor. Damit stehen die Blechschnittauführung, die Wickeltechnik und die Verschaltung der Wicklung in engem Zusammenhang. Im Bild 4 sind einige Beispiele gegenwärtiger Techniken zur Massenfertigung des Ständerblechpakets und der dazugehörigen Wicklung dargestellt. Sie sind wie folgt zu charakterisieren:

- Schnitt kompletter Ständerbleche in der endgültigen Form (siehe Bild 4.a)
 - Bewicklung mit Nadelwicklern
 - Große Nutschlitz erforderlich

- Schnitt ganzer Ständerbleche in abgewickelter Form, die nach der Bewicklung zum kompletten Ständer umgeformt werden (siehe Bild 4.b)
- Bewicklung mit Nadelwicklern oder Flyern
- Kleine Nutschlitzte möglich
- Schnitt von Teilen der Ständerbleche und einzelner Zähne, die nach der Bewicklung zusammengefügt werden (siehe Bild 4.c und d)
- Direktbewicklung einzelner Zähne mit Spulenwickelmaschinen
- Direktbewicklung mit Flyern
- Einsatz vorgefertigter Spulen
- Kleine Nutschlitzte oder geschlossene Nuten möglich

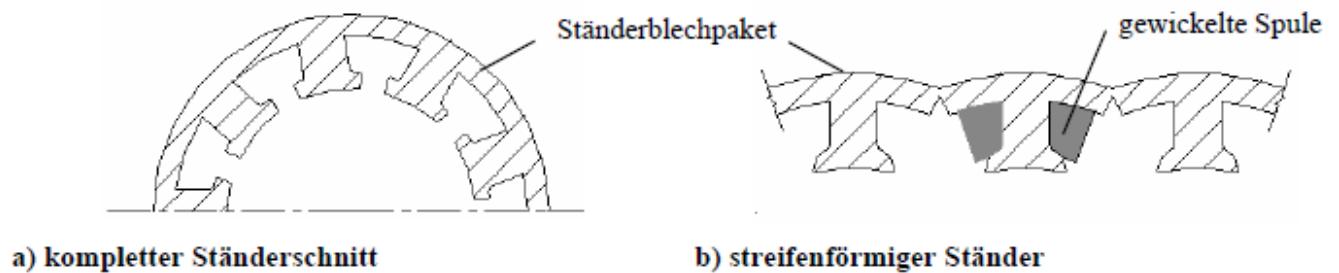
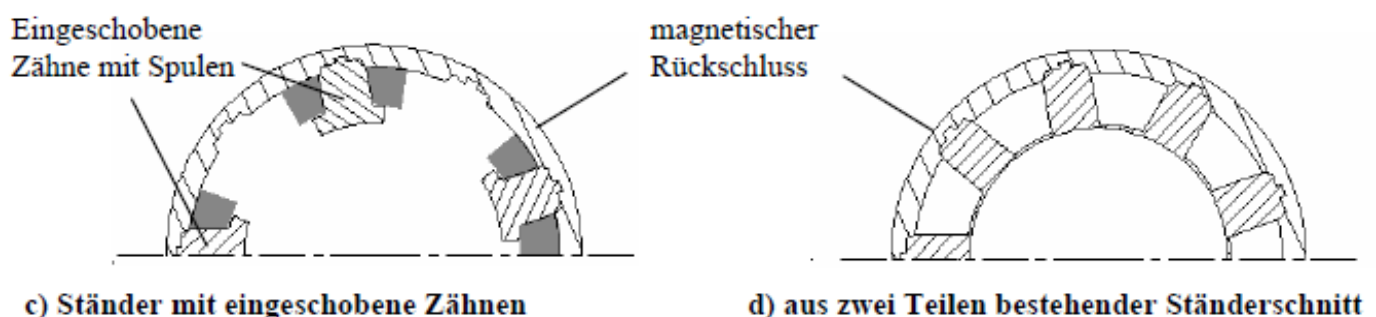


Bild 4: Möglichkeiten zur Vereinfachung der Ständerbewicklung

1.6 Außenläufermotor



Elektronikmotoren in Außenläuferausführung (siehe Bild 5) sind vor allem in der Compu-tertechnik zu finden. Festplatten- und CD-Antriebe, Lüfter, usw.

werden von Außenläufermotoren angetrieben. Sie besitzen wie die Elektronikmotoren mit Scheibenläufer ein großes Trägheitsmoment, das dazu beiträgt, Drehmoment- bzw. Drehzahlschwankungen zu unterdrücken. Im Vergleich mit diesen treten in Außenläufermotoren Nutraströmungen auf, die aber wegen der höheren erreichbaren Leistungsdichte in Kauf genommen werden.

Vergleicht man Elektronikmotoren in Außen- und Innenläuferausführung, ergeben sich folgende Vorteile zugunsten des Außenläufers:

Einfache Bewicklung des Ständers (mit Flyermaschinen)

Kürzere Wicklungsköpfe

Größere zur Verfügung stehende Fläche für Dauermagnete

Keine Bandage für Magnete.

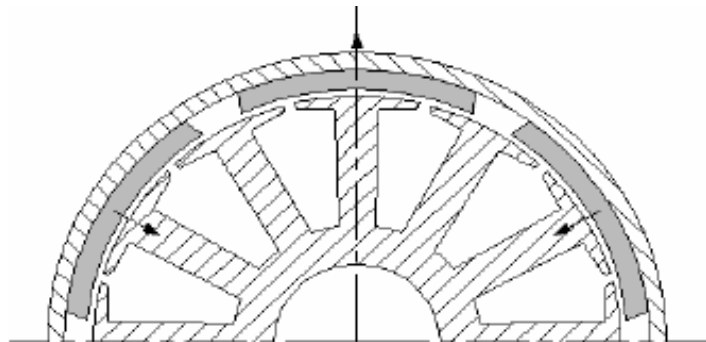


Bild 5: Schnitt eines Außenläufermotors

In Elektronikmotoren tritt bei kleinen Drehzahlen der größte Teil der Verluste in der Ständerwicklung auf. Aufgrund der schlechten Wärmeableitung von innen nach außen ist bei vergleichbaren Temperaturbedingungen die zulässige Stromdichte in Außenläufermotoren geringer als in Motoren mit Innenläufern. Außerdem gestaltet sich das Auswuchten des rotierenden Teils komplizierter.

1.7 Nutzenlose Elektronikmotoren in Innen- und Außenläuferausführung

Eine schematische Darstellung von nutzenlosen Elektronikmotoren sowohl mit Innen- als auch mit Außenläufer ist im Bild 6 zu sehen. Der rotierende Teil besteht aus einem massiven (bei Außenläufer) bzw. geblechten (bei Innenläufer)

Rückschluss und den darauf aufgeklebten Magneten. Die freitragende Wicklung ist zwischen der Magnetoberfläche und einem magnetischen Rückschluss angebracht. In Abhängigkeit von der Drehzahl und vom Anwendungsfall kann der Rückschluss mit dem Läufer rotieren oder feststehend sein. Im letzteren Falle kann die Wicklung daran abgestützt werden.

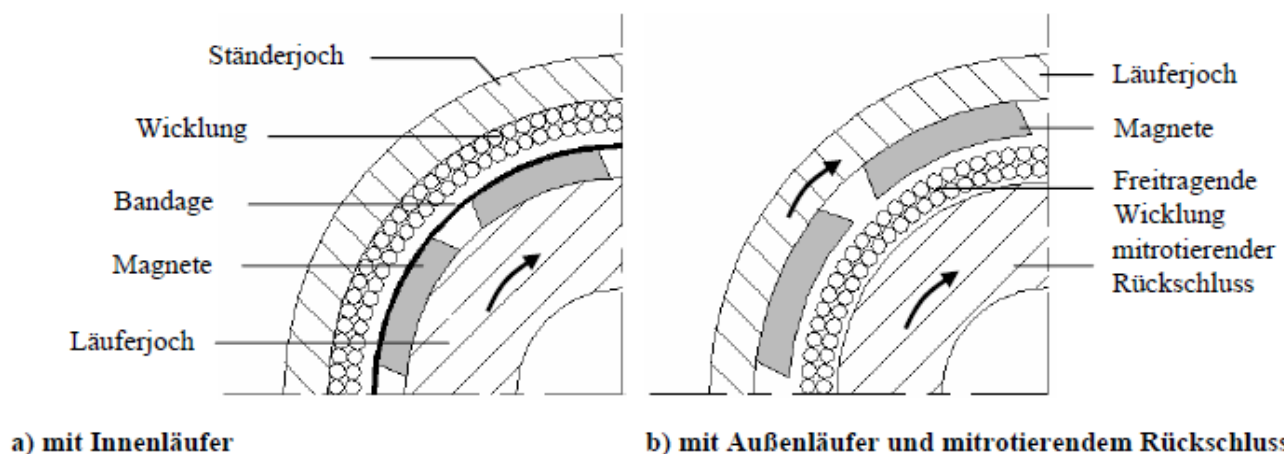


Bild 6: Nutenlose Ausführungen

Nutenlose Elektronenmotoren in Innen- oder Außenläuferausführung kommen wegen ihrer Vorteile

- keine Nutrastmomente,
- keine Reluktanzmomente,
- praktisch gar keine Wirbelstromverluste im Magnetmaterial,
- keine Ummagnetisierungsverluste in den Rückschlüssen bei der Variante mit mitrotierendem Rückschluss und
- kleine Wicklungsinduktivität

Für Anwendungen zum Einsatz, bei denen hohe Anforderungen an einen glatten Drehmomentverlauf, vor allen bei sehr hohen Drehzahlen, erfüllt werden müssen. Sie können jedoch aufgrund des großen magnetisch wirksamen Luftspaltes und der nicht vorhandenen Zähne, die einen wichtigen Weg zur Ableitung der in der Wicklung entstehenden Wärme darstellen, nur eine sehr geringe Leistungsdichte erreichen.

1.8 Gegenüberstellung der Ausführungsformen

Im Bild 7 sind die Eigenschaften der unterschiedlichen Ausführungsformen zusammengefasst. In Abhängigkeit von den vorliegenden Anforderungen kann dieses Bild zu einer ersten Orientierung bei der Motorauswahl dienen.

Ausführungsform	Drehzahl		Leistungsdichte		M/J – Verhältnis ⁽¹⁾		Nutrastrmoment	
	Niedrig	Hoch	Niedrig	Hoch	Niedrig	Hoch	Ja	Nein
Scheibenläufer	x		x		x			x
Innenläufer	x			x		x	x	
Außenläufer	x			x	x		x	
Nutenlose Innen- und Außenläufer		x	x		bauartabhängig			x

Bild 7: Eigenschaften der unterschiedlichen Ausführungsformen

Wird z.B. für einen Antrieb eine niedrige Drehzahl und insbesondere ein konstantes Drehmoment gefordert, dann kommt ein Scheibenläufermotor in Frage. Wenn ein hohes Drehmoment bei geringem Bauvolumen und eine hohe Dynamik gefordert wird, dann ist aufgrund seines hohen Drehmoment-Trägheitsmoment-Verhältnisses und hoher Leistungsdichte ein Innenläufermotor geeignet. Für geringe Anforderungen an die Systemdynamik und ein relativ hohes Drehmoment sollte ein Außenläufermotor in Betracht gezogen werden. Wird eine sehr hohe Drehzahl bei gleichmäßigem Drehmoment gefordert, dann kann ein bürstenloser Permanentmagnetmotor mit nutenloser Wicklungsausführung eingesetzt werden.

1.9 Kommutierungs- und Ansteuerungsverfahren

Elektronikmotoren kleiner Leistung werden in der Praxis fast ausschließlich über einen geregelten Umrichter eingespeist, der block- oder sinusförmige Ströme bzw. Spannungen erzeugt. In der Regel wird der Wechselrichter entweder mit MOSFETs oder IGBTs ausgestattet, wobei die Wahl der eingesetzten Leistungshalbleiter vom Anwendungsfall abhängig ist. Im Vergleich zu IGBTs erlauben MOSFETs kürzere Schaltzeiten mit geringeren Schaltverlusten. Sie haben jedoch eine kleinere Sperrspannung. Deshalb werden MOSFETs im Niederspannungsbereich eingesetzt. Ab einigen hundert Volt und bei größeren Leistungen werden die Wechselrichter überwiegend mit IGBTs ausgestattet.

1.10 Allgemeines zu den in Elektronikmotoren auftretenden Verlusten

Die gesamten in der Maschine auftretenden Verluste können in mechanisch bedingte (Reibungs- und Lüftungsverluste) und in vom Anker- bzw. Erregerfeld herrührende Verluste unterteilt werden.

Die vom Erregerfeld herrührenden Verluste werden von den Amplituden und Ordnungszahlen der Harmonischen des Polradfeldes bestimmt. Sie setzen sich aus den Hysteres- und Wirbelstromverlusten im Ständerblechpaket zusammen. Außerdem können die durch die Nutung bedingten Harmonischen des Luftspaltfeldes schon in Leerlauf Ummagnetisierungsverluste im Läuferückschluss und in den Magneten hervorrufen.

Die vom Ankerfeld herrührenden Verluste können in zwei Teile unterteilt werden:

- Verluste herrührend von sinusförmigen Strangströmen und
- Verluste herrührend von Oberwellen der Strangströme.

Die sinusförmigen Strangströme verursachen die konventionellen Wicklungs- und Ummagnetisierungsverluste und darüber hinaus aufgrund der

nicht rein sinusförmigen Luftspaltinduktionsverteilung auch Wirbelstromverluste im Magnetmaterial.

Die durch die Elektronik bedingten Harmonischen der Strangströme rufen zusätzliche Wicklungs- und Ummagnetisierungsverluste und zusätzliche Wirbelstromverluste im Magnetmaterial hervor.

1.11 Verluste herrührend vom Erregerfeld

Die im Eisen vom Polradfeld herrührenden Ummagnetisierungsverluste setzen sich aus Hysterese- und Wirbelstromverlusten zusammen.

Diese Gleichung wird für Zahn- und Ständerjochbereiche abschnittsweise verwendet. Die gesamten Ummagnetisierungsverluste des Blechpakets ergeben sich als die Summe der so erhaltenen Verlustanteile.

Im Läuferjoch können nur die Harmonischen des Luftspaltflusses, die nicht der Polpaarzahl der Maschine entsprechen, Ummagnetisierungsverluste verursachen. Die Amplitude dieser Harmonischen sind in der Regel klein. Infolgedessen können die Ummagnetisierungsverluste im Läuferjoch, zumindest bei Motoren mit oberflächemontierten Magneten, vernachlässigt werden.

In den Magneten werden die durch die Nutung bedingten Hystereseverluste mit der Annahme konstanter reversibler Permeabilität der Magneten vernachlässigt. Die Wirbelstromverluste sind, unter anderem, eine Funktion des ausgewählten Magnetmaterials und können bei Hart-ferritmagneten aufgrund des hohen spezifischen elektrischen Widerstandes vom ca. $10^4 \Omega\text{m}$ [55] von vornherein vernachlässigt werden. Sie können aber eine größere Rolle spielen, wenn NdFeB-Magnete, deren spezifischer elektrischer Widerstand ca. $1,6 \times 10^{-6} \Omega\text{m}$ [55] beträgt, in Anwendungsfällen für hohe Drehzahlen eingesetzt werden.

Bei oberflächenmontierten Magneten erfordern hohe Drehzahlen eine dickere Bandage, die zum Schutz der Magneten gegen Fliehkräfte notwendig ist, was wiederum eine größere Luftspaltlänge bedeutet. Da eine größere Luftspaltlänge

eine Verkleinerung der durch die Nutung herrührenden Einbrüche in der Luftspaltinduktion zur Folge hat und diese Einbrüche die Ursache für die Wirbelstrombildung in den Magneten ist, werden durch eine Vergrößerung der Luftspaltlänge die Wirbelstromverluste abgesenkt. Die analytische Berechnung der Wirbelstromverluste im Magnetmaterial ist im Anhang A4 enthalten.

1.12 Anzahl der Nuten und Pole

Im Bild 8 sind mögliche Pol-Nutzahlkombinationen für 3-strängige Motoren mit Einzelzahnwicklung dargestellt. Für jede Kombination ist auch der größte gemeinsame Teiler und die Periodenanzahl des Nutrastmomentes pro Läuferumdrehung eingetragen.

Polzahl	2	4	6	8		10	
Nutzahl	3	6	9	9	12	12	15
$\text{ggT}[N, 2p]$	1	2	3	1	4	2	5
n_p	6	12	18	72	24	60	30

Bild 8: Mögliche Pol-Nutzahl-Kombinationen für 3-strängige Motoren mit Einzelzahnwicklung

Die Auswirkung der Auswahl der Pol-Nutzahlkombination auf das Nutrastmoment wird am Beispiel eines 8-poligen Motors mit $N = 12$ und mit $N = 9$ gezeigt. Beim 12-nutigen Motor beträgt $\text{ggT}[N, 2p] = 4$, am gesamten Umfang wiederholt sich die relative Lage zwischen Magnet und Nut 4 mal (siehe Bild 9.a). Dadurch werden entsprechend hohe Rastmomente verursacht. In der zweiten Konstruktionsvariante beträgt $\text{ggT}[N, 2p] = 1$, es gibt also am Läuferumfang keine Wiederholung der relativen Position Magnet / Nut (siehe Bild 9.b).

Der größte gemeinsame Teiler von Nut- und Polzahl gibt Auskunft darüber, wie oft sich eine relative Position zwischen Permanentmagnet und Nut im Motor wiederholt. Daraus ist die generelle Aussage abzuleiten: Je kleiner der größte gemeinsame Teiler ist, desto kleiner wird das Nutrastmoment.

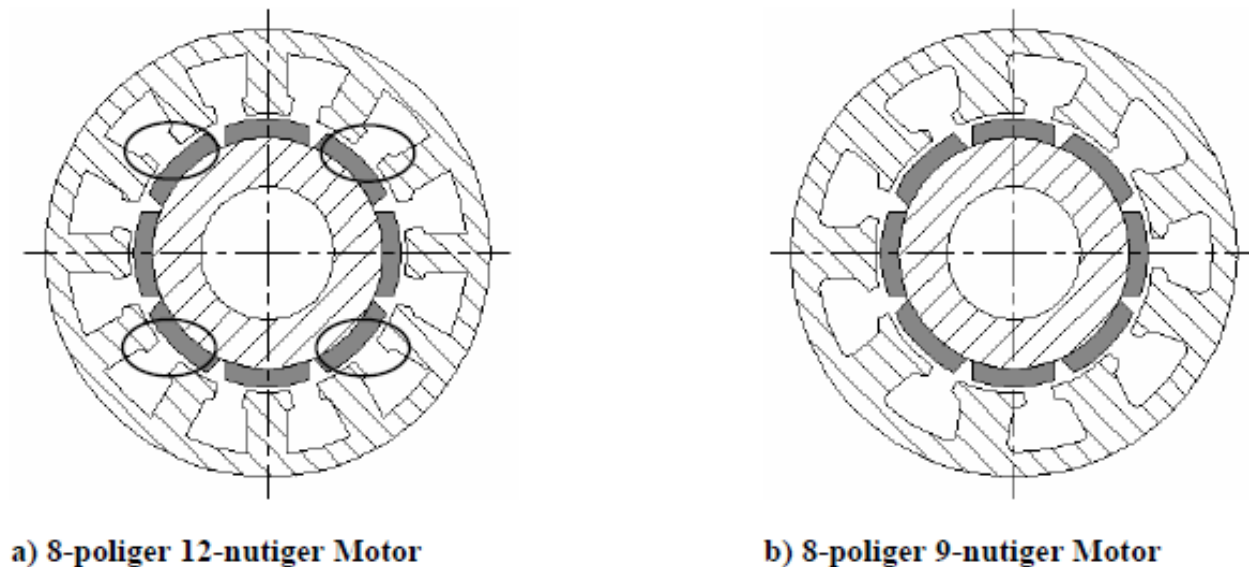


Bild 9: Querschnitte der betrachteten Motoren

Durch FEM-Berechnungen wird diese Aussage auch bestätigt. Im Bild 8 sind die berechneten Nutrastmomentskurve für einen 12- und einen 9-nutigen Anker dargestellt. Alle andere Geometrieparameter sind für beide Varianten identisch.

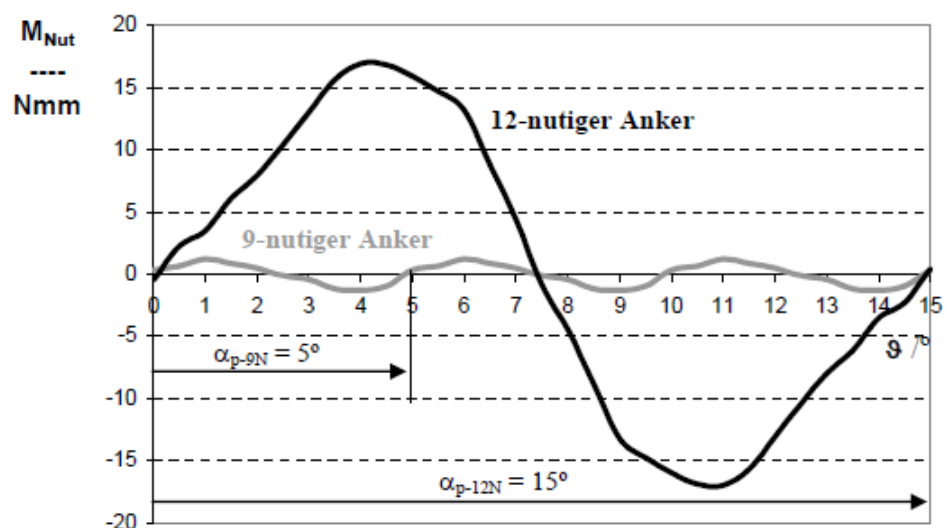


Bild 10: Nutrastmomentskurve für einen 12- und einen 9-nutigen Motor

Die mit dem 9-nutigen Ständer gegenüber dem 12-nutigen erreichte Reduzierung der Amplituden des Nutrastmomentes ist jedoch mit einer Zunahme der Abhängigkeit von Fertigungstoleranzen verbunden. Fertigungstoleranzen, die das Nutrastmoment beeinflussen, resultieren in erster Linie aus der Magnetgeometrie, der Magnetisierung und der Positionierung der Magnete. Die mit der Fertigung des Ständerblechpaketes verbundenen Toleranzen sind dagegen klein. Die Berücksichtigung dieser Faktoren und deren Zusammenspiel in einer Berechnungsreihe ist mit einem großen Aufwand verbunden. Die Empfindlichkeit des Nutrastmomentes hinsichtlich der Fertigungstoleranzen kann jedoch durch die Gegenüberstellung zwischen einer symmetrischen und einer unsymmetrischen Magnetanordnung nachvollzogen werden.

Deshalb wird als Beispiel in Anlehnung an die vorliegenden Mustermotoren dargestellt, welche Auswirkung eine bestimmte unsymmetrische Anordnung der Magnete auf das Nutrastmoment zeigen die durch ein FEM-Programm berechneten Nutrastmomentverläufe und ihre entsprechenden Harmonischen für eine symmetrische bzw. unsymmetrische Verteilung der Magnete an der Läuferoberfläche. Die angenommene Unsymmetrie besteht in einer Verschiebung nur eines Magnetes um 1° aus seiner idealen Lage. Die geometrischen Daten der Mustermotoren sind dem Anhang A2 zu entnehmen.

Da die beiden untersuchten Motoren mit $N = 9$ und mit $N = 12$ sowohl unterschiedliche Luftspalte als auch Ständer- und Läuferdurchmesser besitzen und darüber hinaus auch unterschiedlich lang sind, können die auftretenden Nutrastmomente nicht gut direkt miteinander verglichen werden. Trotzdem ist in den Bildern zu erkennen:

Bei dem 9-nutigen Anker mit unsymmetrischer Magnetanordnung entspricht die Periode der Grundschiwingung des Nutrastmoments einer Nutteilung. Die für die ideal symmetrische Anordnung abgeleitete Gleichung hat hier keine Gültigkeit.

Während sich bei dem 12-nutigen Anker die Magnetunsymmetrie praktisch nicht auf den Spitze-Spitze Wert des Nutrastmomentes auswirkt, wird er bei dem 9-nutigen ca. 30 mal größer.

Die Ordnungszahlen der auftretenden Harmonischen sind in beiden Fällen die Nutzahl bzw. deren Vielfache.

Diese Aussagen werden auch durch die an den Mustern gemessenen Nutrastmomentwerte bestätigt. Die Messung des Nutrastmoments erfolgt bei kontinuierlicher, gleichmäßiger Drehung mit sehr niedriger Drehzahl (ca. 0,8 min⁻¹). Wegen der sehr kleinen Drehmomente ist der gleichmäßige Lauf von entscheidender Bedeutung. Deshalb werden mehrere Messungen durchgeführt und daraus den Mittelwert gebildet.

Dem Vergleich zwischen den gemessenen und den berechneten Werten ist zu entnehmen, dass der maximale Wert des Nutrastmoments in den berechneten Beispielen recht gut mit den Messungen übereinstimmen. In den Ordnungszahlen der auftretenden Harmonischen sind dagegen deutliche Unterschiede zwischen gemessenen und berechneten Werten zu sehen. Eine komplette Übereinstimmung der Verläufe ist aber nicht zu erwarten, denn die in den Mustermotoren vorhandenen Abweichungen vom idealen symmetrischen Fall konnten in den Berechnungen nicht berücksichtigt werden.