

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

**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Институт _____ ЭНИН _____

Направление подготовки _13.04.02 Электроэнергетика и электротехника_____

Кафедра _____ ЭКМ _____

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Тема работы
Влияние типа обмотки ротора на энергетические свойства асинхронных электродвигателей

УДК 621.313.333.045-251

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5ГМ4Г	Виноградов Дмитрий Сергеевич		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Цукублин А.Б.	К.Т.Н.		

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

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

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель	Амелькович Ю.А..	\		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

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

Томск – 2016г.

ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ПО ООП
13.04.02 «Электроэнергетика и электротехника»

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)
Универсальные компетенции	
Р1	<i>Совершенствовать и развивать свой интеллектуальный и общекультурный уровень, добиваться нравственного и физического совершенствования своей личности, обучению новым методам исследования, к изменению научного и научно-производственного профиля своей профессиональной деятельности.</i>
Р2	<i>Свободно пользоваться русским и иностранным языками как средством делового общения, способностью к активной социальной мобильности.</i>
Р3	<i>Использовать на практике навыки и умения в организации научно-исследовательских и производственных работ, в управлении коллективом, использовать знания правовых и этических норм при оценке последствий своей профессиональной деятельности.</i>
Р4	<i>Использовать представление о методологических основах научного познания и творчества, роли научной информации в развитии науки, готовностью вести работу с привлечением современных информационных технологий, синтезировать и критически резюмировать информацию.</i>
Профессиональные компетенции	
Р5	<i>Применять углубленные естественнонаучные, математические, социально-экономические и профессиональные знания в междисциплинарном контексте в инновационной инженерной деятельности в области электроэнергетики и электротехники.</i>
Р6	<i>Ставить и решать инновационные задачи инженерного анализа в области электроэнергетики и электротехники с использованием глубоких фундаментальных и специальных знаний, аналитических методов и сложных моделей в условиях неопределенности.</i>
Р7	<i>Выполнять инженерные проекты с применением оригинальных методов проектирования для достижения новых результатов, обеспечивающих конкурентные преимущества электроэнергетического и электротехнического производства в условиях жестких экономических и экологических ограничений.</i>
Р8	<i>Проводить инновационные инженерные исследования в области электроэнергетики и электротехники, включая критический анализ данных из мировых информационных ресурсов.</i>
Р9	<i>Проводить технико-экономическое обоснование проектных решений; выполнять организационно-плановые расчеты по созданию или реорганизации производственных участков, планировать работу персонала и фондов оплаты труда; определять и обеспечивать эффективные режимы технологического процесса.</i>
Р10	<i>Проводить монтажные, регулировочные, испытательные, наладочные работы электроэнергетического и электротехнического оборудования.</i>
Р11	<i>Осваивать новое электроэнергетическое и электротехническое оборудование; проверять техническое состояние и остаточный ресурс оборудования и организовывать профилактический осмотр и текущий ремонт.</i>
Р12	<i>Разрабатывать рабочую проектную и научно-техническую документацию в соответствии со стандартами, техническими условиями и другими нормативными документами; организовывать метрологическое обеспечение электроэнергетического и электротехнического оборудования; составлять оперативную документацию, предусмотренную правилами технической эксплуатации оборудования и организации работы.</i>

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

Студенту:

Группа	ФИО
5ГМ4Г	Виноградову Д.С.

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

Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:	
1. Потенциальные потребители	
2. Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения	
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
1. Анализ конкурентных технических решений	
2. FAST-анализ	
3. SWOT-анализ	
4. Оценка готовности проекта к коммерциализации	
5. Методы коммерциализации результатов научно-технического исследования	
Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):	
1. Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений (разработок)	
2. Классификация функций, выполняемых объектом исследования	
3. Матрица смежности	
4. Определение стоимости функций, выполняемых объектом исследования	
5. Построение функционально-стоимостной диаграммы объекта и ее анализ	
6. Бланк оценки степени готовности научного проекта к коммерциализации	
7. Мера готовности научной разработки и ее разработчика к коммерциализации	

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

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Фигурко А. А.	К.Э.Н		19.04.2016

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5ГМ4Г	Виноградов Д.С.		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА

«СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
5ГМ4Г	Виноградов Д.С.

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

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:	
2. Описание рабочего места (рабочей зоны, технологического процесса, механического оборудования) на предмет возникновения: – вредных проявлений факторов производственной среды (метеоусловия, вредные вещества, освещение, шумы, вибрации, электромагнитные поля, ионизирующие излучения) – опасных проявлений факторов производственной среды (механической природы, термического характера, электрической, пожарной и взрывной природы) – негативного воздействия на окружающую природную среду (атмосферу, гидросферу, литосферу) – чрезвычайных ситуаций (техногенного, стихийного, экологического и социального характера)	Рабочее место представляет собой рабочую модель комплекса диагностических устройств в лаборатории/цеху. При выполнении работ на модели проявляются вредные факторы такие как: вибрация, шумы, электромагнитные поля,. А также присутствуют опасные проявления факторов производственной среды, а именно, электрический, механический и термический факторы. Проведен анализ над проявлениями вредных факторов, таких как метеоусловия и освещение в микроклимате цеха.
3. Знакомство и отбор законодательных и нормативных документов по теме	СНиП,ПУЭ,ППБ.
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
2. Анализ выявленных вредных факторов проектируемой производственной среды в следующей последовательности: – физико-химическая природа вредности, её связь с разрабатываемой темой; – действие фактора на организм человека; – приведение допустимых норм с необходимой размерностью (со ссылкой на соответствующий нормативно-технический документ); – предлагаемые средства защиты (сначала коллективной защиты, затем – индивидуальные защитные средства)	Анализ выявления вредных факторов предусматривает физико-химическую природу вредности, действие фактора на организм человека, предлагаемые средства коллективной и индивидуальной защиты.
3. Анализ выявленных опасных факторов проектируемой производственной среды в следующей последовательности – механические опасности (источники, средства защиты); – термические опасности (источники, средства защиты); – электробезопасность (в т.ч. статическое электричество, молниезащита – источники, средства защиты);	Анализ выявления факторов механической, термической опасности, а также, анализ электробезопасности и пожаровзрывобезопасности, а именно, причины, профилактические мероприятия, первичные средства тушения)

– пожаровзрывобезопасность (причины, профилактические мероприятия, первичные средства пожаротушения)	
4. Охрана окружающей среды: – защита селитебной зоны – анализ воздействия объекта на атмосферу (выбросы); – анализ воздействия объекта на гидросферу (сбросы); – анализ воздействия объекта на литосферу (отходы); – разработать решения по обеспечению экологической безопасности со ссылками на НТД по охране окружающей среды.	Отсутствует
5. Защита в чрезвычайных ситуациях: – перечень возможных ЧС на объекте; – выбор наиболее типичной ЧС; – разработка превентивных мер по предупреждению ЧС; – разработка мер по повышению устойчивости объекта к данной ЧС; – разработка действий в результате возникшей ЧС и мер по ликвидации её последствий	Защита в чрезвычайных ситуациях предусматривает перечень возможных ЧС и разработку мер по повышению устойчивости объекта к данным ЧС.
6. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности: – специальные (характерные для проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства; – организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны	Специальные (характерные для проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства.
Перечень графического материала:	
При необходимости представить эскизные графические материалы к расчётному заданию (обязательно для специалистов и магистров)	Отсутствует

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

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Амелькович Ю.А.			

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5ГМ4Г	Виноградов Д.С.		

Реферат

Выпускная квалификационная работа содержит 112 страниц, 65 рисунков, 14 таблиц, 22 источников, одно приложение.

Ключевые слова: Асинхронный, двигатель, ротор, статор, обмотка, алюминий, медь, короткозамкнутая.

Объект исследования:

Объектом исследования является модель асинхронного двигателя.

Предмет исследования:

Предметом исследования являются различные типы короткозамкнутых обмоток асинхронного двигателя.

Цель работы состоит в моделировании асинхронного двигателя с различными короткозамкнутыми обмотками ротора в среде Ansys Maxwell. Исследования полученных характеристик.

Задачи исследования:

Для реализации цели работы необходимо решение следующих задач:

- 1) разработка базовой модели асинхронного двигателя;
- 2) разработка моделей асинхронных двигателей с нестандартными обмотками;
- 3) Расчет характеристик и формирование выводов.

Методы исследования:

Методы исследования основаны на математическом моделировании комплекса устройств диагностики в программной среде Ansys Maxwell последующей обработке полученных результатов.

Достоинства результатов:

Моделирование двигателя проводится с учётом физических и энергетических характеристик двигателей.

Научная новизна:

Актуальность настоящей работы обусловлена всё более увеличивающимися требованиями к повышению энергетических характеристик у электрических машин. Так как во многих электроприводах требуется изменение частоты вращения, то использование асинхронных двигателей с частотным преобразователем является приоритетным из-за большего КПД таких двигателей.

Научная новизна заключается в оценке возможностей повышения энергетических характеристик за счет изменения конструкции и материала ротора асинхронного двигателя

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

Оглавление

Введение	11
1. Обзор литературы	12
2. Средство моделирования	14
3. Программа моделирования	19
4. Моделирование	20
4.1. Базовая модель с короткозамкнутой обмоткой ротора, выполненной из алюминиевого сплава	20
4.2. Базовая модель с литой короткозамкнутой обмоткой ротора, выполненной из медного сплава	29
4.3. Асинхронный двигатель с изолированной обмоткой ротора, с короткозамкнутыми витками на полное полюсное деление, выполненной из алюминиевого сплава	36
4.4. Асинхронный двигатель с изолированной обмоткой ротора, с короткозамкнутыми витками на полное полюсное деление, выполненной из медного сплава	45
4.5. Асинхронный двигатель с изолированной обмоткой ротора с короткозамкнутыми витками, на половину полюсного деления, выполненной из алюминиевого сплава	54
4.6. Асинхронный двигатель с изолированной обмоткой ротора с короткозамкнутыми витками на половину полюсного деления выполненной из медного сплава	62
5. Анализ результатов исследования	69
6. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	71
7. Социальная ответственность	84
Заключение:	107
Список литературы:	108
Приложение А	110

Введение

В настоящее время наибольшее распространение получили асинхронные двигатели. Их широкое применение в первую очередь обуславливается простотой в обслуживании, эксплуатации, простотой конструкции, низкой стоимостью и высокой надежностью.

В 1888 году Тесла представил миру свой первый опытный образец асинхронного двигателя. Однако широкое применение он не получил из-за низких технических показателей в момент запуска двигателя. Современная конструкция вращающего трансформатора, в том виде, в котором мы знаем его сегодня, была разработана французским инженером П. Бушери, разработавшем аналог современного асинхронного двигателя.

Доливо-Добровольский выяснил, что у таких двигателей есть очень серьёзный недостаток – ограниченный пусковой момент. Он также назвал причину этого недостатка – сильно закороченный ротор. Им же была предложена конструкция электродвигателя с фазным ротором.

Актуальность настоящей работы обусловлена всё более увеличивающимися требованиями к повышению энергетических характеристик у электрических машин. Так как во многих электроприводах требуется изменение частоты вращения, то использование асинхронных двигателей с частотным преобразователем является приоритетным из-за большего КПД таких двигателей.

Для увеличения энергетических характеристик асинхронного двигателя, работы ведутся в нескольких направлениях, таких как замена материала обмотки ротора или изменение её вида и конфигурации. Поэтому в данной работе было принято провести моделирование нестандартных обмоток ротора с целью сравнения их с базовой моделью, которая представляет из себя стандартный асинхронный двигатель.

1. Обзор литературы

Для выполнения данной работы требуется подобрать нестандартные короткозамкнутые обмотки ротора, применение которых улучшало бы характеристики асинхронных двигателей.

Известно, что АД в момент пуска имеет проблему: большой пусковой ток, который может превышать номинальное значение тока в 5–8 раз. Также известно, что уменьшение активного сопротивления обмотки ротора в момент пуска ухудшает пусковые характеристики. Если не учитывать эти особенности и не вносить особые решения в конструкцию ротора (глубокий паз для реализации скин-эффекта), то плохие энергетические характеристики могут значительно усложнить возможность использования АД в электроприводах.

Вследствие патентного поиска было найдено множество предложенных решений улучшения энергетических характеристик асинхронного двигателя. Подобные работы проводятся во всех развитых странах мира, так как асинхронные двигатели являются наиболее распространенными потребителями энергии в мире. Попытки использовать медь вместо алюминия для литья обмоток короткозамкнутых роторов АД в отечественной практике были предприняты ещё в 1937 году (ХЭМЗ, г. Харьков). Технология была весьма трудоёмкой и сложной и, кроме того, был высокий процент брака. В 1967 году Л. Шетке (США) сообщил как о новейшем достижении в области литья из медных сплавов о том, что фирмой T.T. Castelli (Италия) отлиты из меди под давлением короткозамкнутые обмотки роторов для АД мощностью 1 кВт. Двигатель с таким ротором имел меньшие размеры по длине (в 2 раза) при той же мощности по сравнению с АД с алюминиевой обмоткой ротора. Следует отметить, что способ литья не описан, данных о серийном выпуске нет.

Попытки модернизировать асинхронный двигатель предпринимается во многих странах мира: В США работа по внедрению ЛМОР начата в 1997 году Ассоциацией по развитию медных технологий. Для достижения цели Ассоциация объединила усилия экспертов и разработчиков 17 стран мира. Долгое время оставалась нерешенной проблема обеспечения устойчивости литейных форм к эрозии от расплава меди. Промышленное производство рентабельных литейных форм в

США для изготовления ЛМОР для АД позволило уже с 2002 года серийно изготавливать АД мощностью от 3 до 200 кВт с повышенным КПД на 1,2–3,2 %. Германская фирма SEW-Eurodrive с 2003 года поставляет на мировой рынок АД мощностью от 1,1 до 37 кВт, в которых обмотка ротора выполнена из меди литьем под давлением. Такие двигатели имеют КПД 94–96 %, что значительно выше норм США («Эраст») и стран ЕС (Premium Efficiency). Аналогичные исследования велись и в других странах, и, начиная с 2004 г., начат серийный выпуск АД с ЛМОР в Италии и Франции, в Бразилии (фирма WEG), в Индии (фирма Coimbatore Tamil Nadu) и в других странах. [1]

Известен "METHOD OF MAKING HIGH EFFICIENCY INDUCTION MOTOR WITH MULTI-CAGE CIRCUIT ROTOR", содержащий статор и ротор, включающий множество токопроводящих стержней, расположенных в пазах симметрично по периметру на его поверхности, и замыкающих колец, соединяющих указанные стержни в нечетное количество отдельных тождественных контуров, и работающий по тому же способу. Применение данного технического решения позволяет уменьшить действие высших гармоник напряжения питания статора как электромагнитного тормоза машины, однако его недостатком является малый пусковой момент, что ограничивает его использование только приводами с так называемой "вентиляторной" характеристикой, имеющей малый нагрузочный момент на пуске. [2]

Существует "ИНДУКЦИОННЫЙ АСИНХРОННЫЙ МОТОР", содержащий статор и ротор, включающий в себя токопроводящие стержни, расположенные в пазах симметрично по периметру и параллельно оси вращения мотора, причем на каждой торцевой стороне ротора конец каждого стержня соединен со всеми теми концами стержней, которые сдвинуты относительно упомянутого стержня по периметру ротора на величину угла полюсного деления. Указанное техническое решение осуществляет способ, при котором "n" векторов магнитных полей статора и ротора образуют результирующий электромагнитный момент. К недостаткам данного способа относится то, что увеличение момента в данном техническом решении имеет место только при некоторых положениях ротора относительно статора, что приводит

к неравномерности вращающего момента по развороту ротора без достаточного увеличения пускового момента. Это ограничивает его применимость приводами с так называемой "вентиляторной" характеристикой, имеющей малый нагрузочный момент на пуске, увеличивающийся по квадратичной зависимости по мере разгона. Неравномерность же вращающего момента вызывает стуки, шумы и вибрации при работе машины и ограничивает ее применимость маховиковыми приводами, а также влияет на повышенный износ. [3]

Известен метод повышения асинхронного двигателя, который заключается в воздействии вращающегося электромагнитного поля статора на короткозамкнутые витки обмотки ротора, проходящие через зоны, прилегающие к границам полюсного деления статора, отличающийся тем, что дополнительное воздействие вращающегося электромагнитного поля статора осуществляют на участки короткозамкнутых витков обмотки ротора, проходящие через зоны, прилегающие к границам половины полюсного деления статора. [4]

2. Средство моделирования

С развитием средств моделирования, а также увеличенными требованиями к точности моделирования и разработки электрических машин, было принято использовать современное средство моделирования, позволяющее производить расчет электромагнитных полей двигателя без её создания в реальной жизни. 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 средства моделирования для расчета математической модели асинхронного короткозамкнутого двигателя выбрана программа ANSYS Maxwell, использующая метод конечных элементов для выполнения электромагнитных расчетов. Выбор данного продукта обусловлен его распространённостью и широкими возможностями. Использование данного продукта было обусловлено невозможностью провести исследования на физических моделях без значительного финансирования.

ANSYS Maxwell — это современное, высокопроизводительное

программное обеспечение для моделирования двумерных и трехмерных электромагнитных полей, используемое для анализа моделей двигателей, датчиков, трансформаторов и многих других электрических и электромеханических устройств различного применения. Математическая основа ANSYS Maxwell - метод конечных элементов (Finite Element Method FEM), суть которого заключается в нахождении единственно возможного распределения электромагнитного поля в заданной расчётной области при указанных граничных условиях и возбуждениях. Программное обеспечение с приемлемой точностью рассчитывает статические, гармонические электромагнитные и электрические поля, а также переходные процессы в полевых задачах. ANSYS Maxwell применяется в автомобильной, оборонной, авиакосмической отрасли и во многих промышленных устройствах:

Электромеханика: моторы и генераторы, поступательные и вращающиеся электромагниты, реле, МЭМС.

Электромагнетизм: катушки, постоянные магниты, датчики.

Силовая электроника: трансформаторы, преобразователи, токопроводящие шины, IGBT транзисторы и другие устройства.

Поведение электромагнитных полей: изучение экранирования, электростатический разряд, электромагнитная совместимость, полупроводники.

ANSYS Maxwell поддерживает следующие типы задач:

- * Электрические трехмерные поля, которые могут относиться к одной из трех категорий:

- * Электростатические трехмерные поля в диэлектриках, вызванные распространением напряжений и зарядов, заданным пользователем.

Дополнительные вычисляемые величины, которые Вы можете определить, — вращающий момент, силу и емкости.

- * Электрические трехмерные поля в проводниках, описываемые пространственным распространением напряжения, электрического поля и

плотности постоянного тока. Главная дополнительная величина в этом случае — мощность потерь.

* Комбинация предыдущих двух вариантов с решениями по полю в проводниках, используемыми как граничные условия для электростатической задачи.

* Магнитостатические линейные и нелинейные трехмерные поля, вызванные определенным пользователем распространением плотности постоянного тока, напряжения, постоянными магнитами или внешне приложенными магнитными полями. Дополнительные величины, которые Вы можете определить, — вращающий момент, сила, и индуктивность (само и взаимоиנדуктивность).

* Гармонические (Eddy current) (синусоидально изменяющиеся во времени) установившиеся трехмерные магнитные поля с индуцированными вихревыми токами в массивных (твердотельных) проводниках, вызванные определенным пользователем распространением переменных токов (одинаковой частоты, но, возможно, разных по фазам) или внешним образом приложенными магнитными полями. Решение задачи вихревых токов — это полное волновое решение, включающее эффекты электромагнитного волнового излучения.

* Переходной процесс (во временной области) в трехмерных магнитных полях, вызванных постоянными магнитами и обмотками, запитанными источниками напряжения и/или тока с произвольным изменением во времени; обмотки подключаются к электрическим цепям. Эффекты вращательного или поступательного движения также могут быть включены в моделирование.

ANSYS Maxwell реализованы параллельные и распределенные расчёты:

* Возможность использования для вычислений всех доступных ядер с единой физической памятью.

* Запуск расчета на удалённой машине.

* Запуск параметрических и оптимизационных расчетов на

множестве узловых станций.

ANSYS Maxwell оснащён встроенным графическим редактором, функционал которого в полной мере обеспечивает потребности пользователя на этапе подготовки модели для расчёта:

- * Импорт CAD-модели из всех современных пакетов трехмерного моделирования.

- * IGES

- * Parasolid

- * CATIA

- * NX

- * База 2D, 3D примитивов: прямоугольник, окружность, параллелепипед, цилиндр, конус, сфера, тор.

- * Возможность создания геометрических моделей сверху-вниз (операции с геометрическими примитивами) и снизу-вверх (точки, линии, поверхности, объемы).

- * Операции над геометрическими объектами (сложение, вычитание, пересечение и т.д.).

- * Возможность слияния нескольких геометрических объектов в один.

- * Параметрическое задание геометрии.

- * Проверка на наличие малых геометрических объектов, сингулярностей, несовместностей с возможностью визуального контроля .

- * Сервис измерения геометрических объектов: запрос объема, площади поверхности, длины линии и др. данных

- * Возможность работы только с выбранными группами примитивов.

Есть множество опций по настройке сетки конечных элементов:

- * Адаптивные сетки.

- * Полностью автоматизированная процедура разбиения на тетраэдры твердых тел произвольной геометрии.

40

- * Сгущение сетки (двух и трехмерное) на уже имеющемся

разбиении.

- * Построение нерегулярных сеток с разбиением приграничных областей “регулярными слоями”
- * Перестройка сетки в соответствии с полученными в результате расчета узловыми перемещениями
- * Импорт сеточной модели из других проектов.
- * Наличие вспомогательных сеточных операций для контроля дискретизации модели.

Расчётные модули ANSYS интегрированы в расчётную платформу ANSYS Workbench для более простого обмена данными для решения связанных и совместных задач:

- * ANSYS Maxwell – ANSYS Mechanical для решения связанной электромагнитной – тепловой, прочностной задачи.
- * ANSYS Maxwell – ANSYS Fluent для решения связанной электромагнитной – тепловой задачи.
- * ANSYS Maxwell – ANSYS IcePack для решения связанной электромагнитной – тепловой, задачи.
- * ANSYS Maxwell – ANSYS Simplorer.

Совместное решение конечноэлементной задачи под управлением симулятора. Комбинация ANSYS Maxwell с симулятором ANSYS Simplorer позволяет рассчитывать высокоуровневые электромеханические системы. Подобные технологии позволяют пользователям выполнять комплексный расчет систем, состоящих из цифровых и аналоговых цепей, датчиков, электромагнитных устройств, механических, гидравлических и других типов нагрузок, таким образом, максимально приблизить анализируемую модель к реальным условиям эксплуатации.

Утилиты расширяющие возможности ANSYS Maxwell:

RMxpert - программа, которая ускоряет процесс проектирования и оптимизации вращающихся электрических машин. RMxpert использует классическую аналитическую теорию электрических машин и метод эквивалентной

магнитной цепи для вычисления рабочих характеристик машины. RМхрt актуален в случае, когда нужно смоделировать электрическую машину стандартного типа, для которой методики расчета известны. Эти методики "защиты" в программу, пользователю требуется только ввести исходные данные: геометрические параметры и свойства материалов статора и ротора, тип обмоток и схему подключения, данные по питанию, по нагрузке, по вентилятору и т.п.

Optimetrics — универсальная дополнительная программа, которая добавляет к проекту параметрический, оптимизационный, статистический анализ и анализ чувствительности. Optimetrics доступен в интерфейсе ANSYS Maxwell, как дополнительная опция в дереве проекта. Используя возможности Optimetrics, например, возможно создать параметрический расчет с перебором любых входных данных для построения зависимостей.

ANSYS Maxwell Circuit Editor — программа для создания внешней электрической схемы, которая используется в задачах переходных процессов в ANSYS Maxwell. В самой программе предусмотрен большой функционал задания возбуждения произвольной формы, это могут быть функциональные зависимости, кусочно-линейные функции, использование условий и т.д. Однако в случае, когда известна электронная схема питания обмоток, значительно удобнее может быть использование программы ANSYS Maxwell Circuit Editor, в которой проектируется схема подключения обмоток к источникам. В программе предусмотрен набор стандартных элементов схем: пассивных компонентов, различных типов источников возбуждения, измерительного оборудования и т.д.

3. Программа моделирования

Для моделирования магнитного поля в ANSYS Maxwell 2D с последующим анализом энергетических характеристик двигателя, первоначальным этапом создание геометрической модели, выполненной в CAD ANSYS Maxwell 2D

Далее задаются граничные условия периодичности, определяются вращающиеся объекты, задаются свойства материалам объектов. Выполняется конфигурация обмоток, выбираются схема питания. Последним этапом является настройка решателя – определяется время и шаг расчета.

Расчет электромагнитного момента в среде ANSYS Maxwell осуществляется путем дифференцирования величины энергии магнитного поля в воздушном зазоре машины по углу поворота ротора. Модель в среде Maxwell является динамической и представлена системой интегро-дифференциальных уравнений, которые, в свою очередь показывают изменение состояния электромеханического объекта во времени при наличии управляющих воздействий.

Расчет проводился в Transient режиме, в котором рассматривается полный электромеханический переходный процесс, учитывающий механическую и электрическую составляющую модели, на рассматриваемом промежутке времени. Результаты расчета выводиться в виде характеристик и графическом изображении полей. Моделирование в Ansys Maxwell в данном режиме не имеет возможности выводить определенные значения энергетические характеристики, такие как $\cos \varphi$ и КПД, следовательно, для их нахождения была использована определенная методика. Для нахождения Коэффициента мощность будут использованные графики тока и напряжения в обмотке статора. Для нахождения КПД будут использованы графики потерь.

4. Моделирование

4.1. Базовая модель с короткозамкнутой обмоткой ротора, выполненной из алюминиевого сплава

В качестве базовой модели был выбран двигатель АИР112М4У3, в связи с наиболее распространённой конструкцией, а, следовательно, с наименее затратной модификацией для использования нестандартной короткозамкнутой обмотки.

Для построения модели понадобятся паспортные данные двигателя, а также геометрические размеры его активных частей:

номинальная мощность двигателя: $P_{2\text{ном}} = 7,5 \text{ кВт}$;

номинальное напряжение: $U_{\text{л}} = 220 \text{ В}$;

число полюсов: $2p = 4$.

Основные геометрические размеры двигателя:

внешний диаметр сердечника статора: $D_{\text{в}} = 225 \text{ мм}$;

внутренний диаметр сердечника статора: $D = 145 \text{ мм}$;

длина сердечника статора: $l_1 = 115 \text{ мм}$;

внешний диаметр сердечника ротора: $D_{\text{а}} = 144,3 \text{ мм}$;

диаметр вала: $D_{\text{в}} = 50 \text{ мм}$.

Размеры паза статора:

форма паза – полуоткрытый трапецеидальный;

число пазов статора: $Z_1 = 36$;

меньшая ширина паза статора: $b_1 = 6,2 \text{ мм}$;

большая ширина паза статора: $b_2 = 9,1 \text{ мм}$;

высота паза статора без учёта шлица: $h = 17,7 \text{ мм}$;

ширина шлица паза статора: $m = 3,5 \text{ мм}$;

высота шлица паза статора: $e = 1 \text{ мм}$.

Размеры паза ротора:

форма паза – полуоткрытый грушевидный;

число пазов ротора: $Z_2 = 34$;

большой диаметр паза ротора: $b_1 = 6,0 \text{ мм}$;

меньший диаметр паза ротора: $b_2 = 2,4 \text{ мм}$;

высота паза ротора: $h_{\text{п}} = 24,8 \text{ мм}$;

ширина шлица паза ротора: $m = 1,5 \text{ мм}$;

высота шлица паза ротора: $e = 0,75 \text{ мм}$.

Параметры обмотки статора:

число эффективных проводников в пазу: $S_{\text{п}} = 22$;

число параллельных ветвей обмотки фазы: $n = 2$;

номинальный диаметр голого провода: $d = 1,26 \text{ мм}$;

тип обмотки – однослойная концентрическая.

Построение модели проводилось с помощью графических средств ANSYS MAXWELL

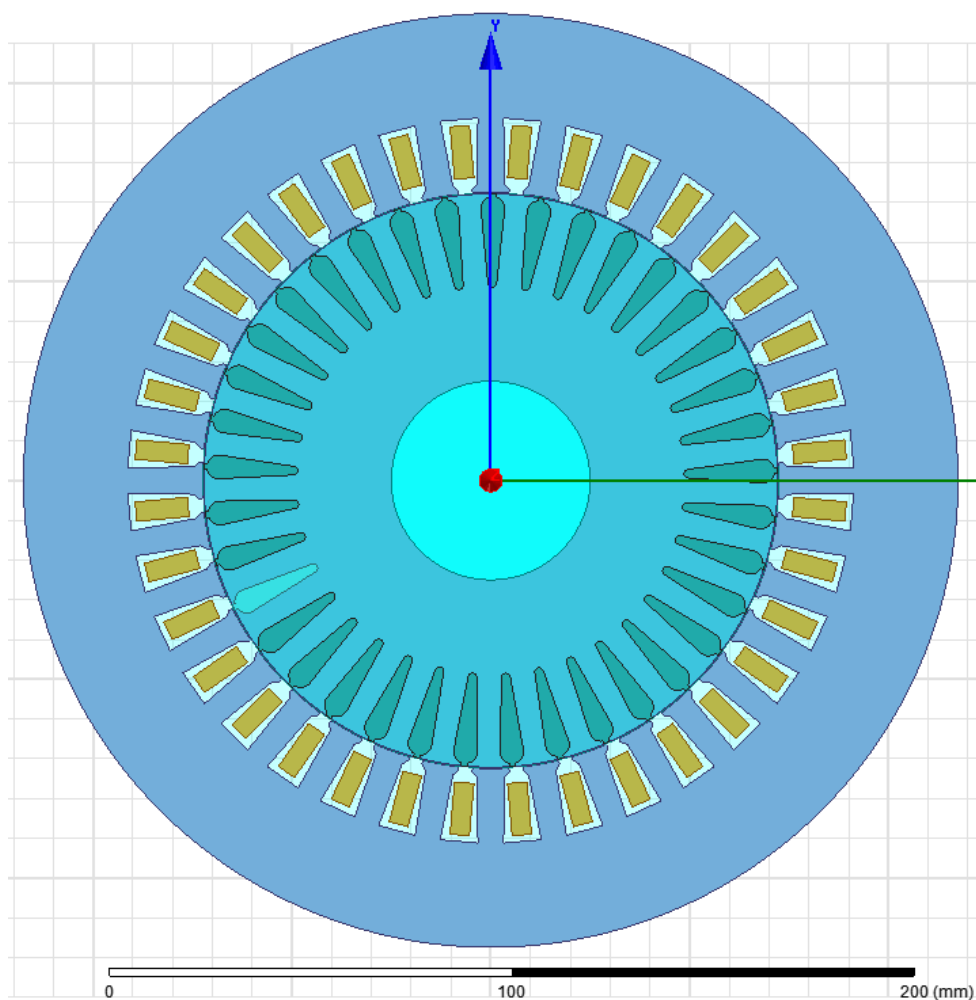


Рисунок 1 - Общий вид магнитной системы АИР132

Расчет проводился в Transient режиме.

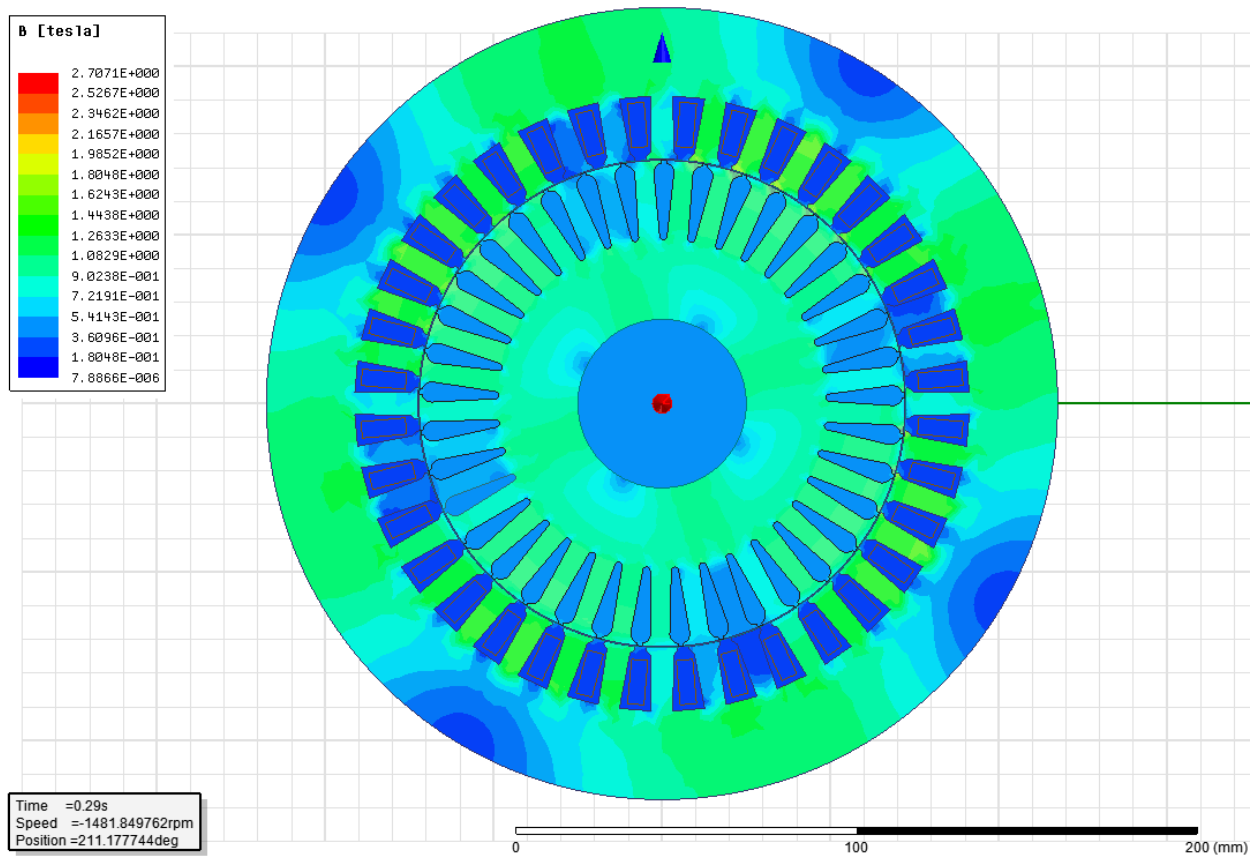


Рисунок 2 - Распределение индукции магнитного поля

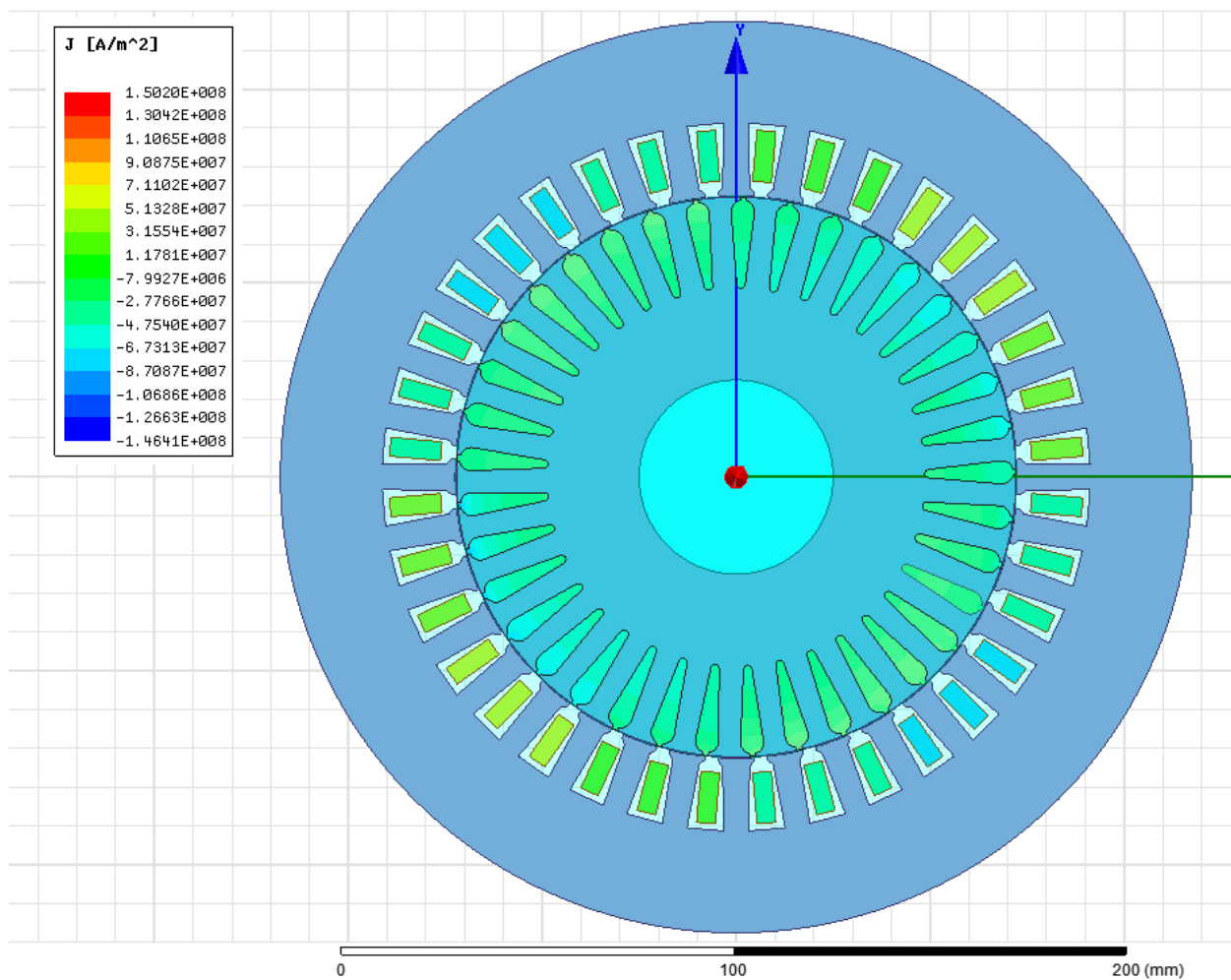


Рисунок 3 - Распределение плотности тока в проводниках

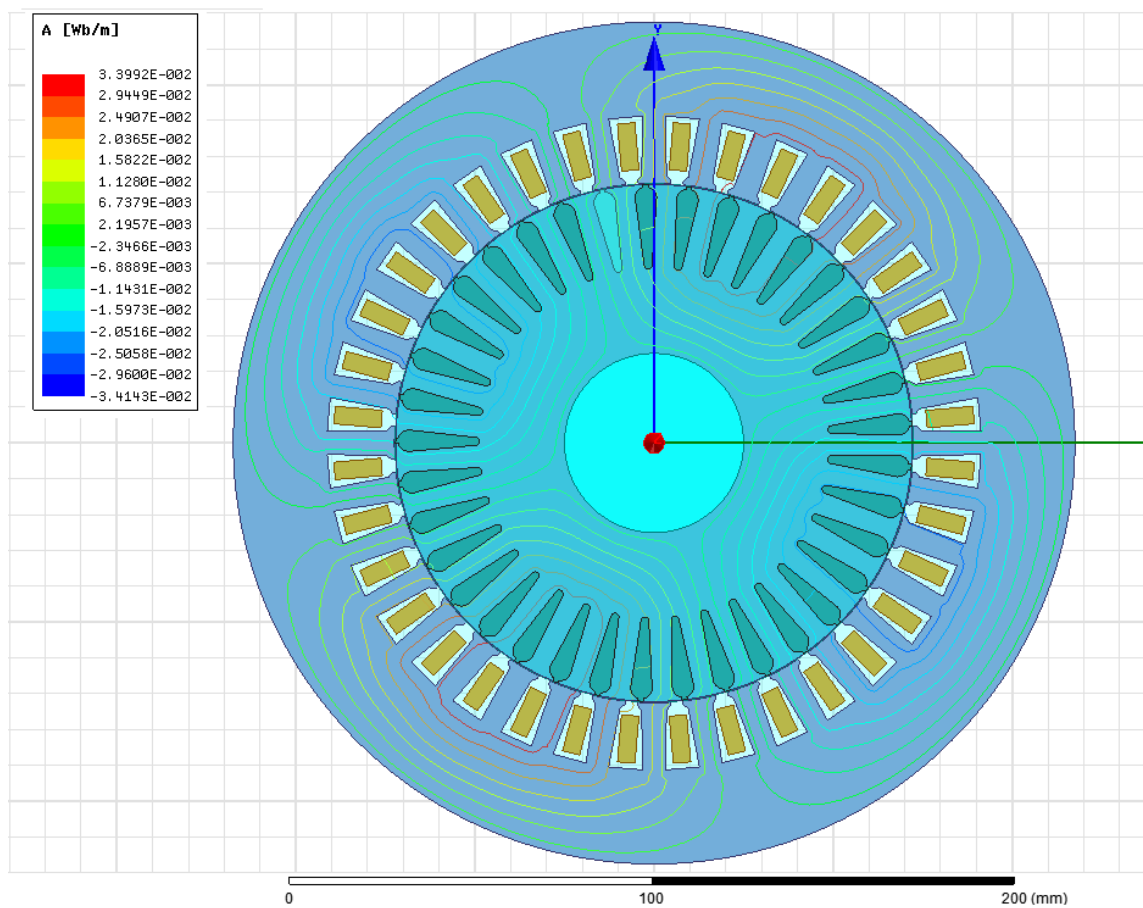


Рисунок 4 - Магнитные силовые линии

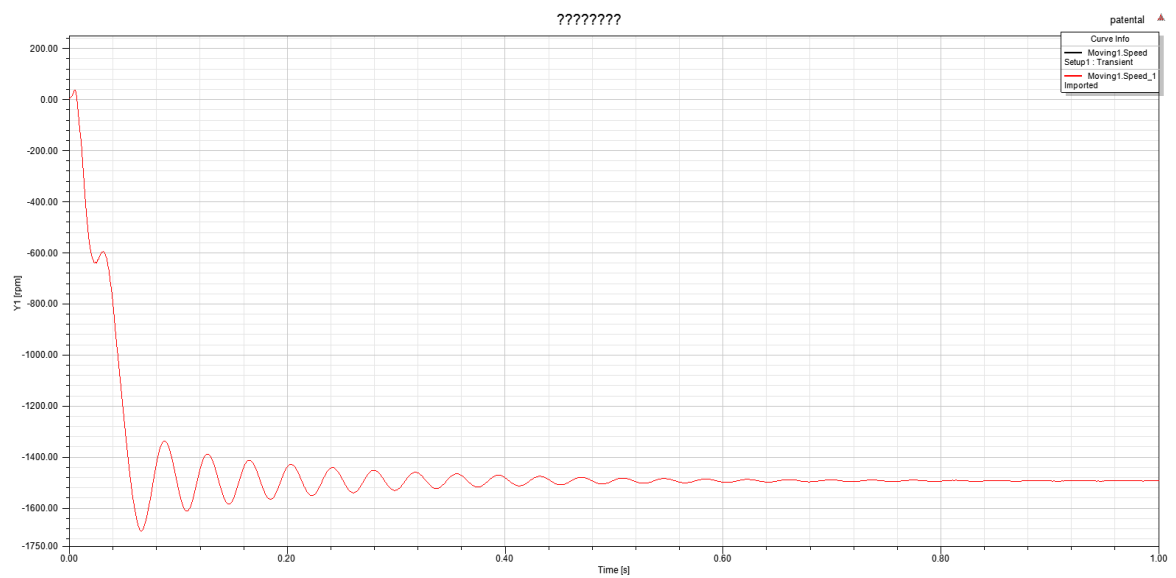


Рисунок 5 – График частоты вращения ротора

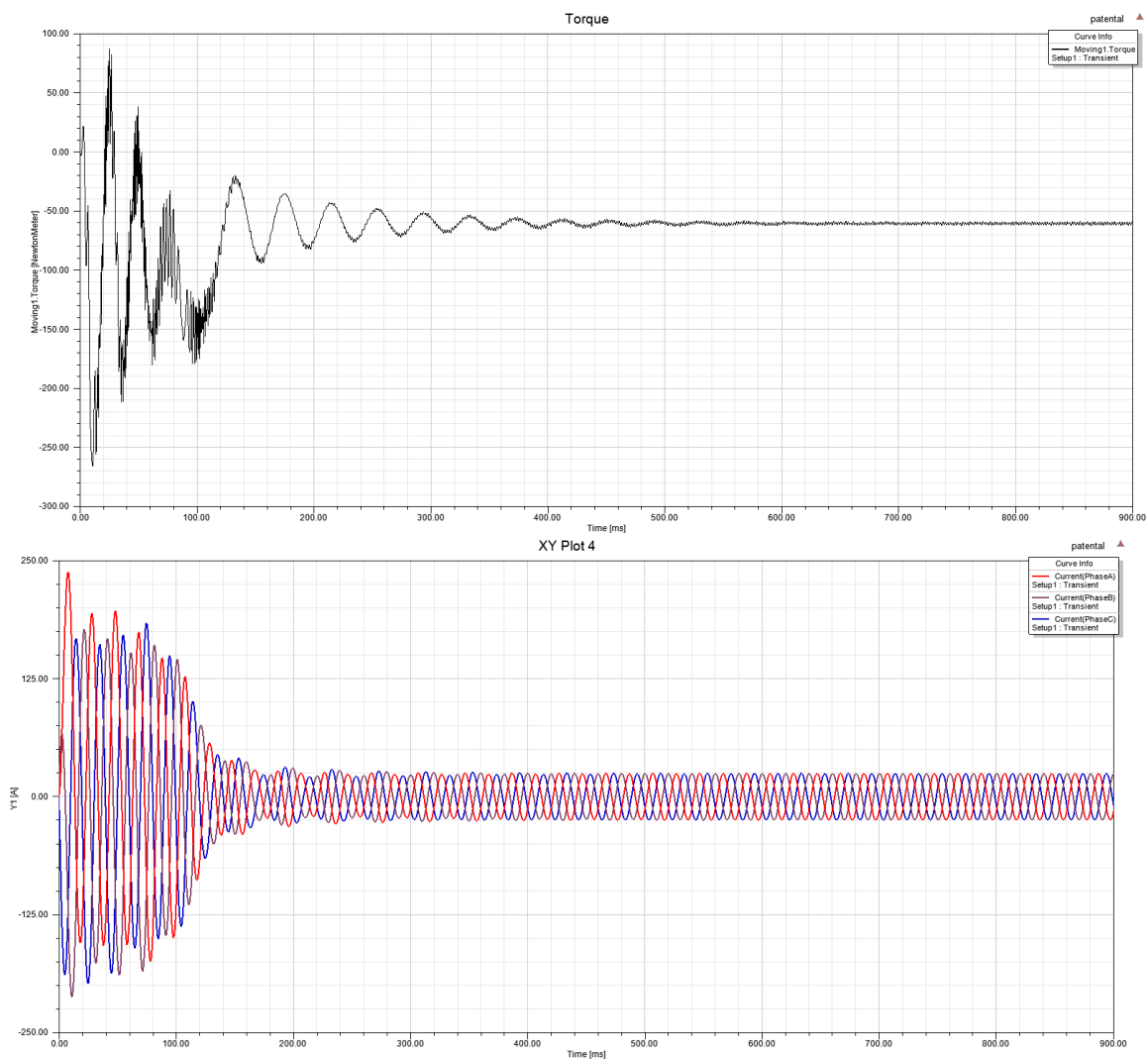


Рисунок 6 – График момента на валу двигателя

Рисунок 7 - График тока в обмотке статора

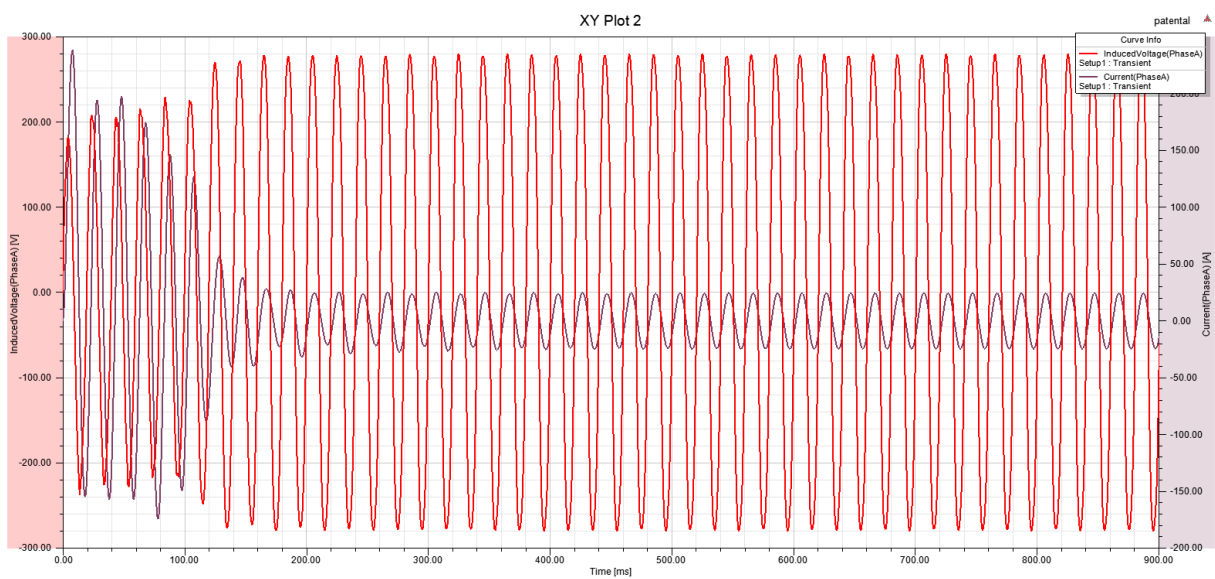
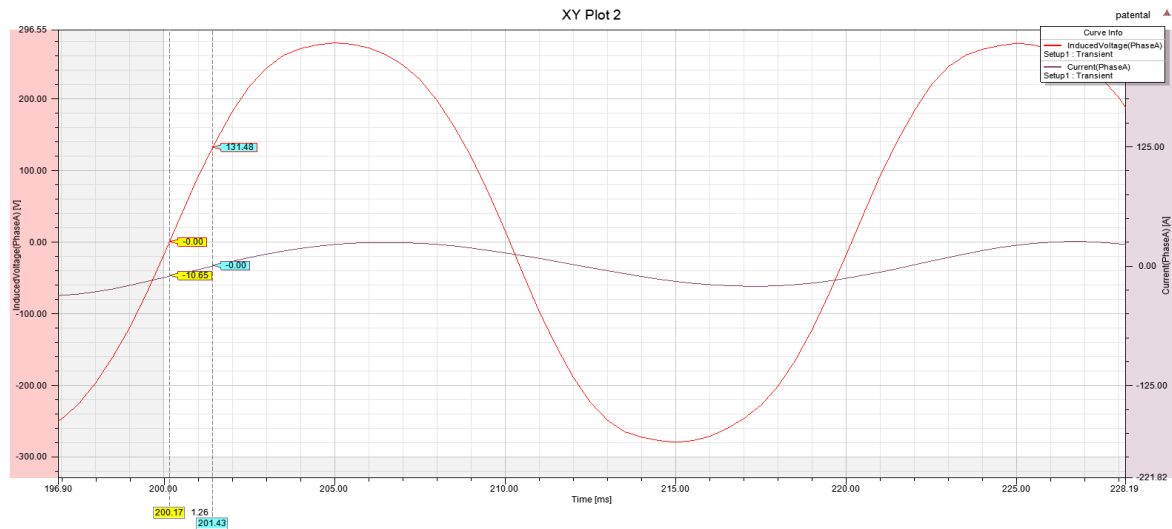


Рисунок 8 - График тока и напряжения в обмотке статора

Для нахождения угла ϕ была использован график изменения напряжения и тока в обмотке статора

Рисунок 9 - График напряжения и тока в обмотке статора



Исходя из графика напряжение опережает ток на 1.26 мс. Период T в машине, при частоте 50 Гц, равен 0.02 с.

$$\varphi = \frac{\Delta t}{T} * 360 = \frac{1.26 * 10^{-3}}{0.02} * 360^\circ = 22.68^\circ$$
$$\cos(\varphi) = \cos(22.68^\circ) = 0.923$$

КПД машины был найден исходя из потерь машины в рабочем режиме.

Для нахождения среднего значения потерь, была использована формула Лагранжа

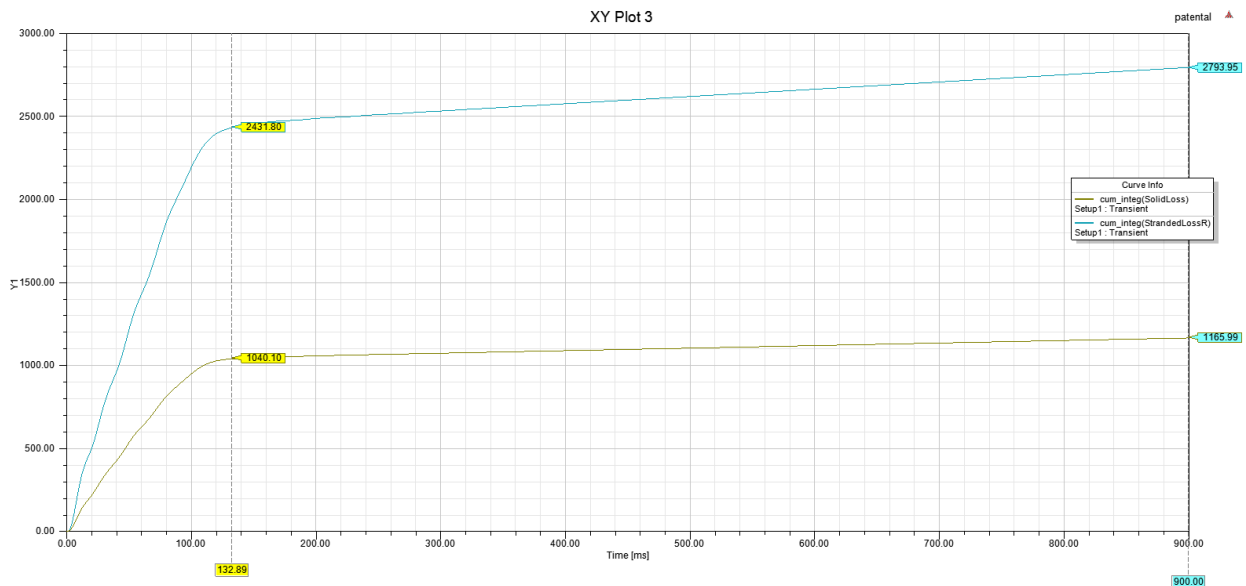


Рисунок 10 - Интеграл от функции потерь

$$\overline{f(x)} = \frac{\int_{x_1}^{x_2} f(x) dx}{x_2 - x_1}, \text{ где}$$

$\overline{f(x)}$ среднее значение функции на заданном участке

$\int_{x_1}^{x_2} f(x) dx$ интеграл от функции потерь

$x_2 - x_1$ время рабочего режима на данном участке

$$\overline{f(x)} = \frac{\int_{x_1}^{x_2} f(x) dx}{x_2 - x_1} = \frac{3958 - 3498}{900 - 132} = 0.613$$

$$\eta = P_2 / P_1;$$

где P_1 - мощность, подводимая к статору двигателя из сети

P_2 – мощность на валу

$$\eta = P_2 / P_1 = 7.5 / (7.5 + 0.613) = 0.924$$

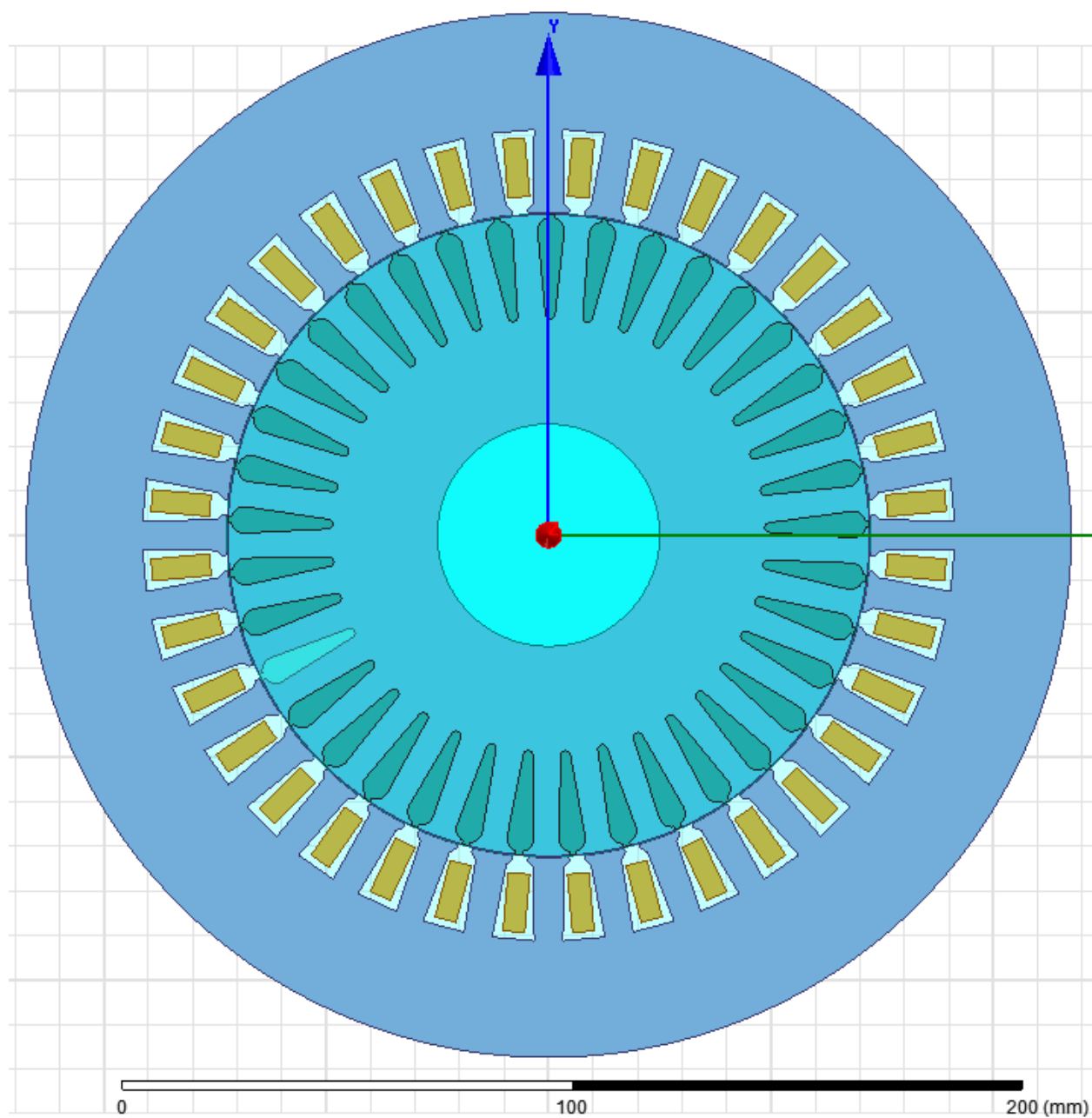
4.2. Базовая модель с литой короткозамкнутой обмоткой ротора, выполненной из медного сплава.

Отличие от базовой модели является использование в качестве материала обмотки ротора меди, заливаемой под давлением.

Использование меди в короткозамкнутой обмотке ротора, обусловлено необходимостью снижения активных потерь, а следовательно увеличением КПД. Побочным положительным фактором является температурное воздействия на зубцы ротора при заливке меди под высоким давлением. Так как температура плавления меди более 1000 градусов, что является больше температуры точки Кюри для большинства электротехнических сталей, магнитное сопротивление в зубьях, где имеется наибольшее магнитное насыщение, уменьшается, что ведет к снижению потерь в сталях.

Построение модели проводилось с помощью графических средств ANSYS MAXWELL

Рисунок 11 - Общий вид магнитной системы двигателя



Расчет проводился в Transient режиме.

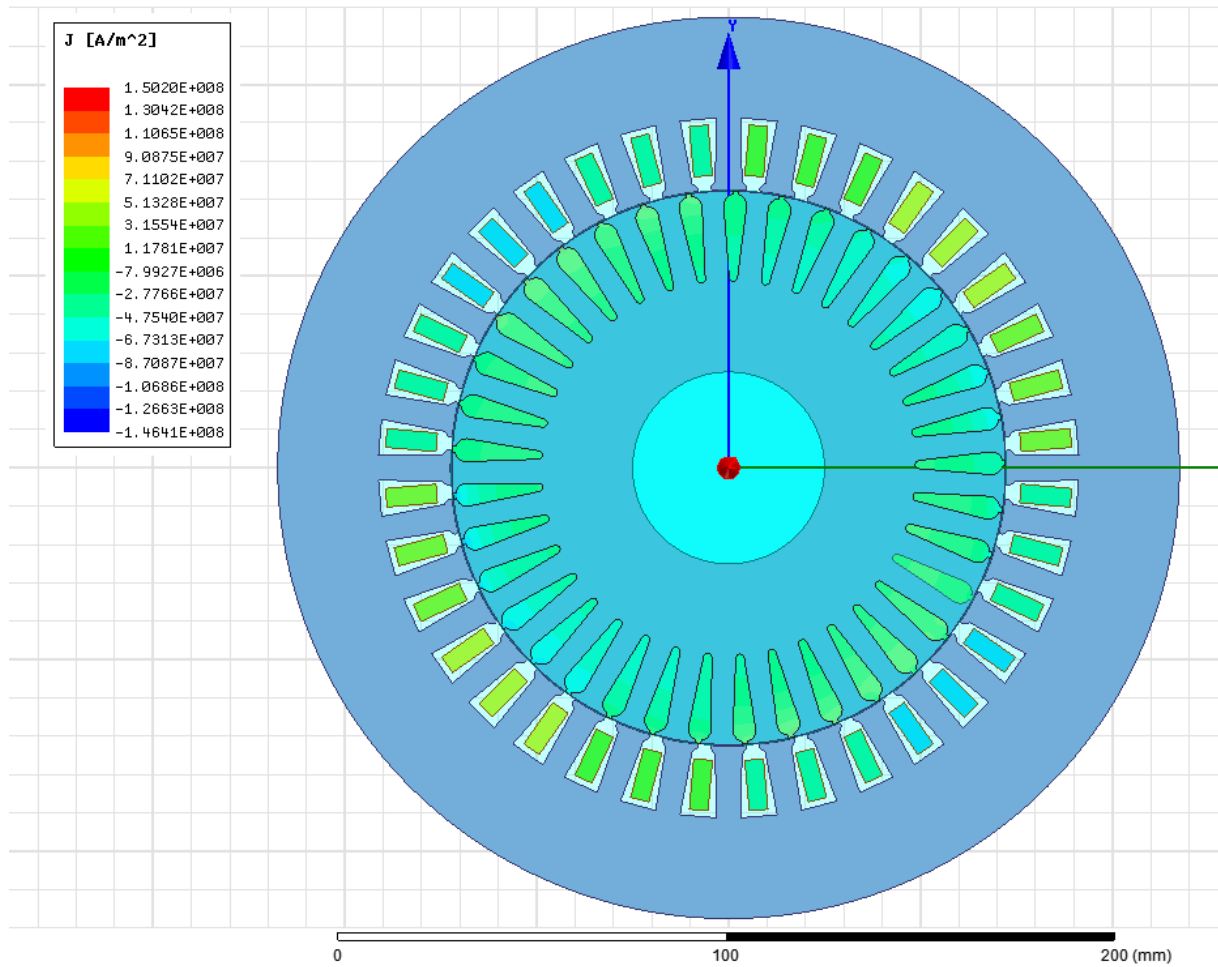
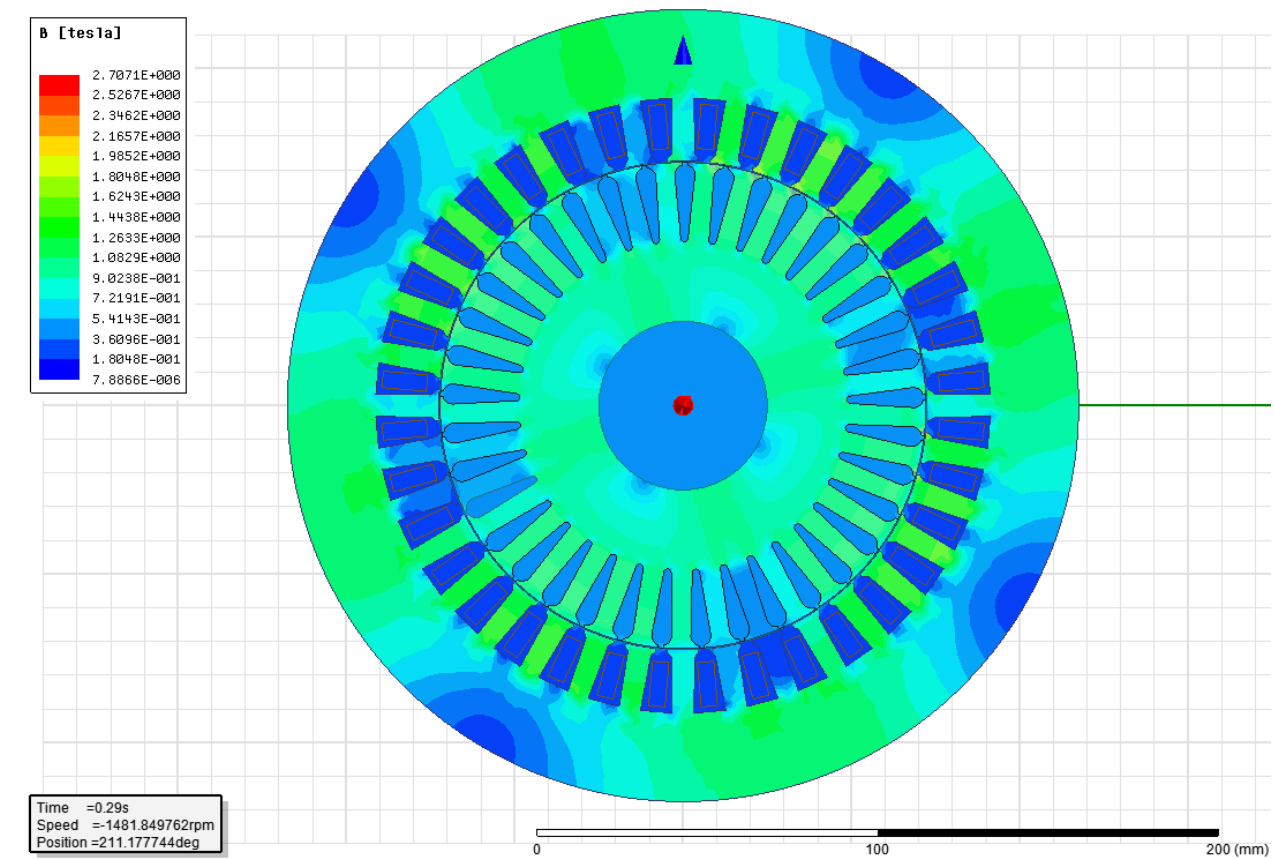


Рисунок 12 - Распределение индукции магнитного поля

Рисунок 13 - Распределение плотности тока в проводниках

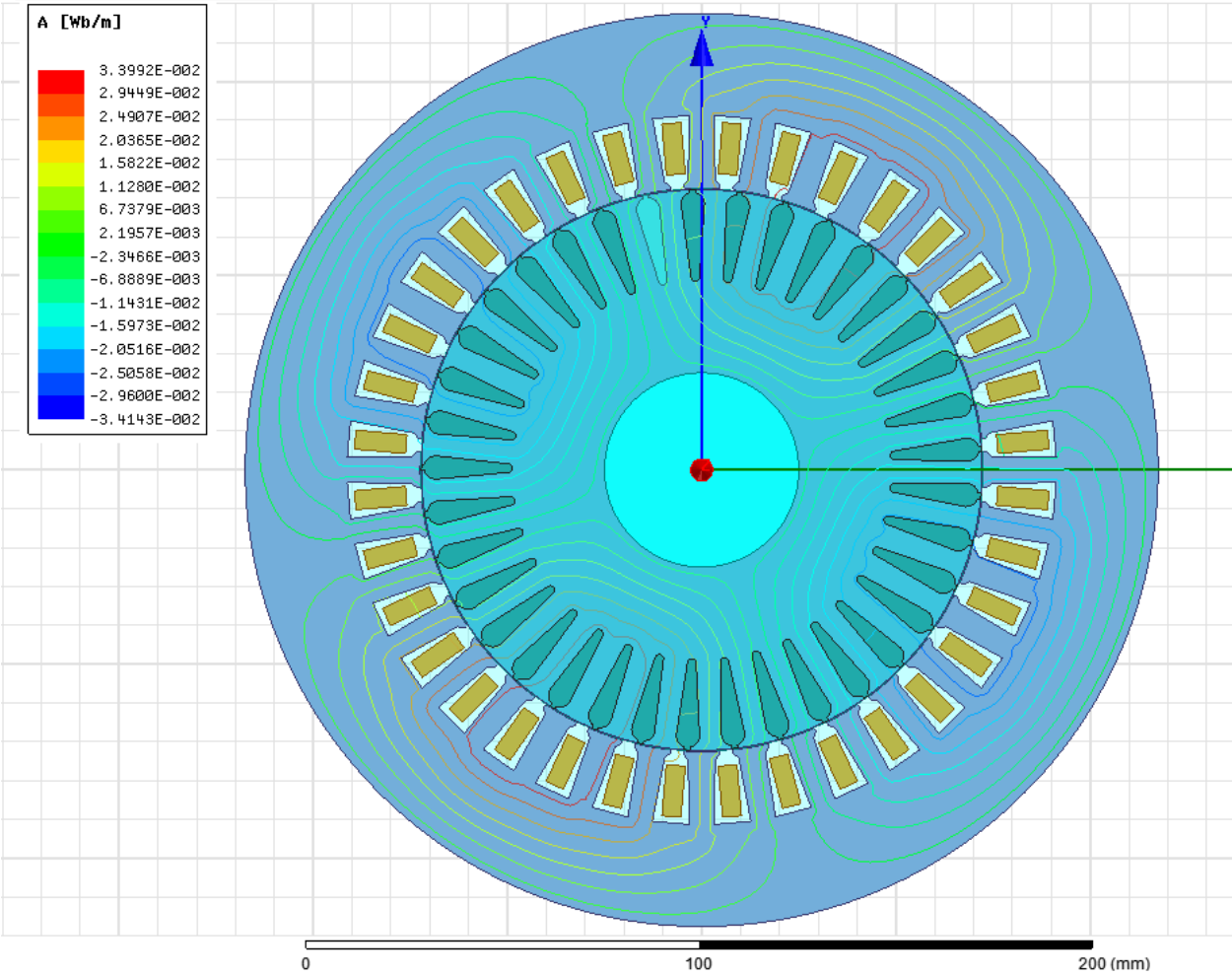


Рисунок 14 - Магнитные силовые линии

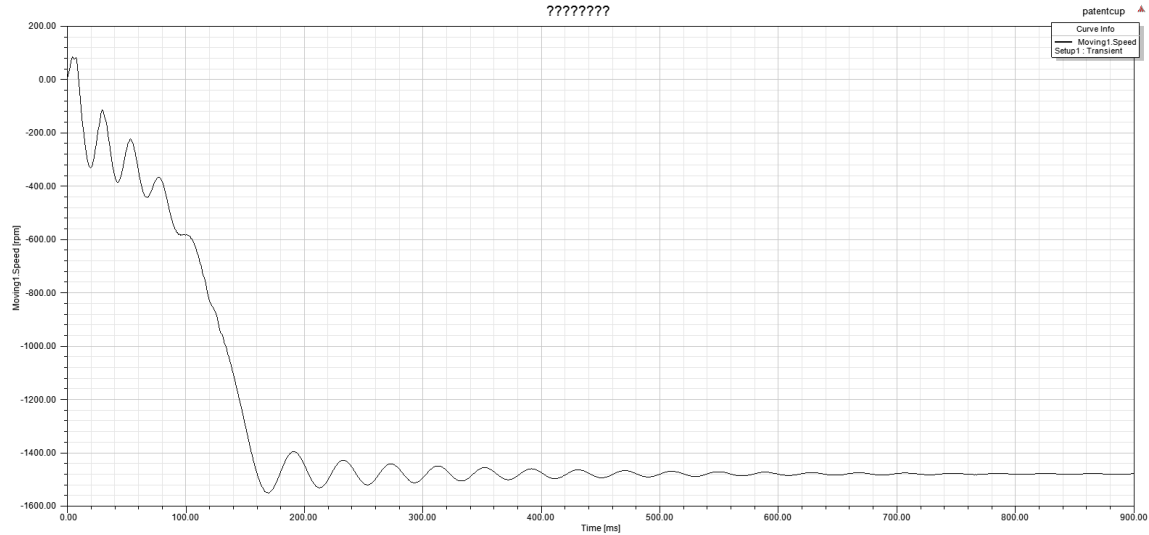


Рисунок 15 - График частоты вращения

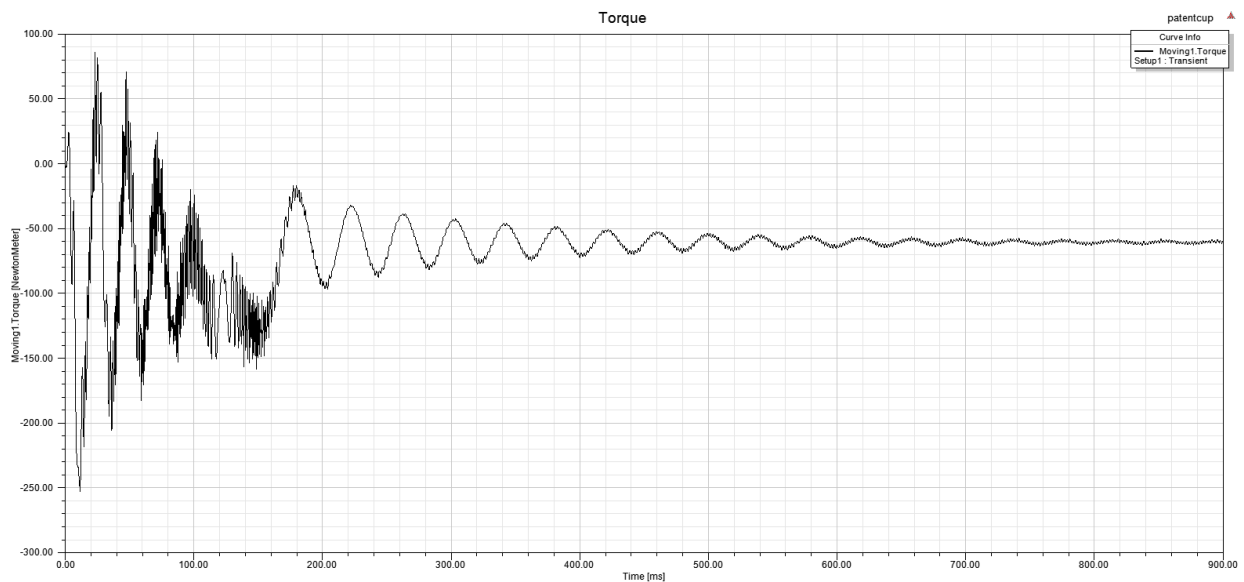


Рисунок 16 - График момента на валу двигателя

Время пуска было увеличено в связи с уменьшением активного сопротивления ротора, а, следовательно, с уменьшением пускового момента.

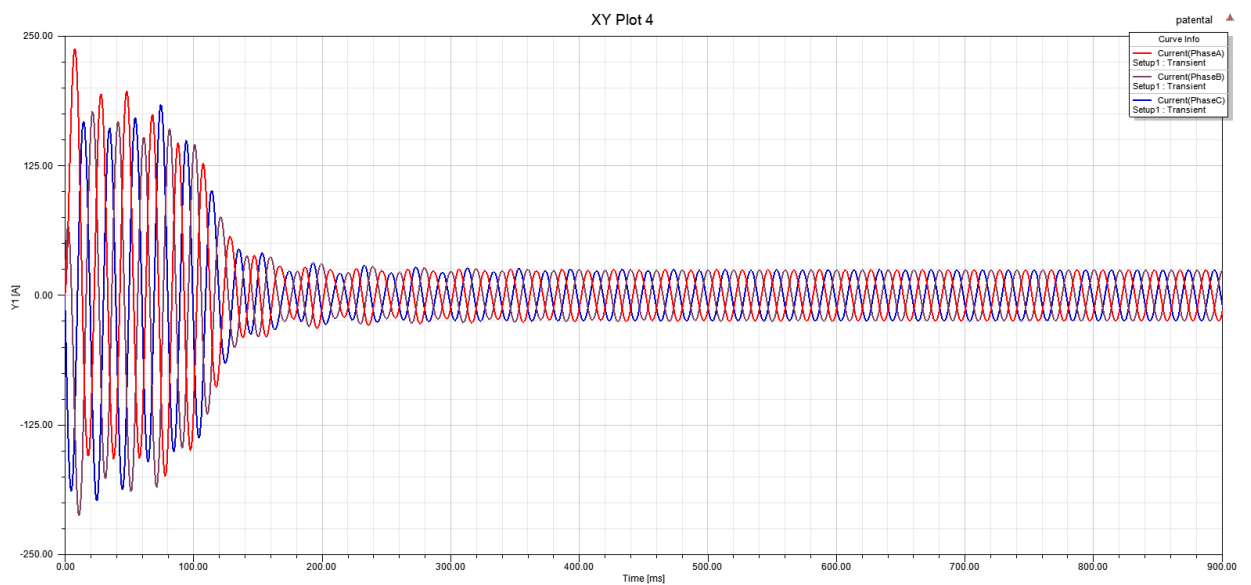


Рисунок 17 - Амплитуда тока в обмотке статора

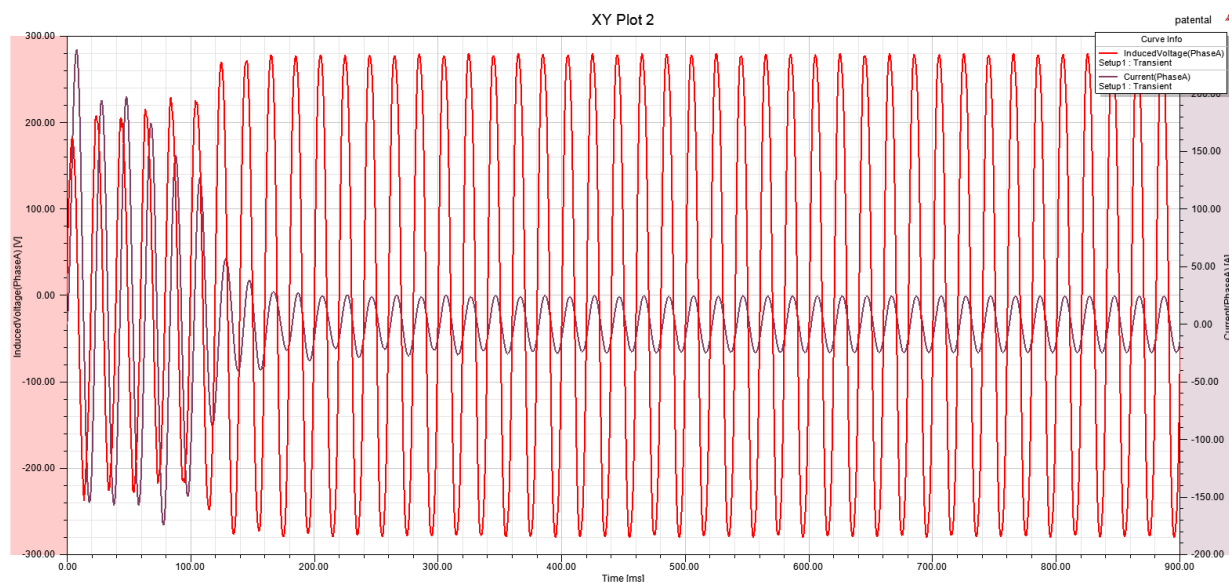


Рис 18 - График тока и напряжения обмотки статора

Для нахождения угла ϕ была использована амплитуда напряжения и тока в обмотке статора

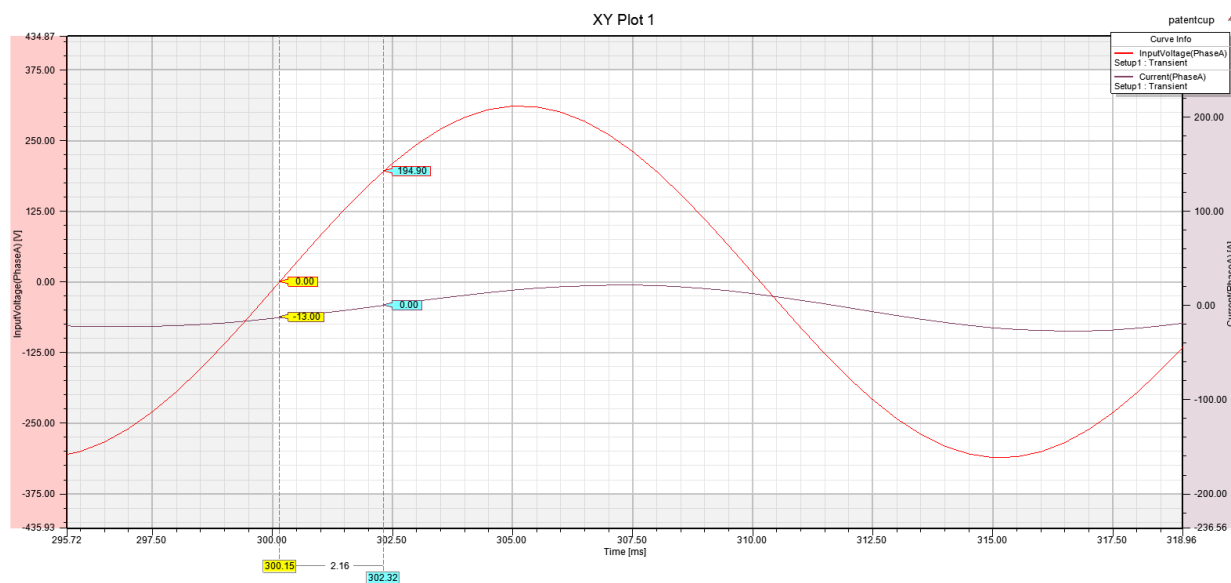


Рисунок 19 - График тока и напряжения в обмотке статора

Амплитуда напряжения опережает амплитуду тока на 2.16 мс. Период T в машине, при частоте 50 Гц, равен 0.02 с.

$$\varphi = \frac{\Delta t}{T} * 360 = \frac{2.16 * 10^{-3}}{0.02} * 360^\circ = 38.88^\circ$$

$$\cos(\varphi) = \cos(38.88^\circ) = 0.778$$

Низкий коэффициент мощности в данном случае указывает на недостаточную нагрузку на валу двигателя, вследствие падения активной составляющей тока.

КПД машины был найден исходя из потерь машины в рабочем режиме.

Для нахождения среднего значения потерь, была использована формула Лагранжа

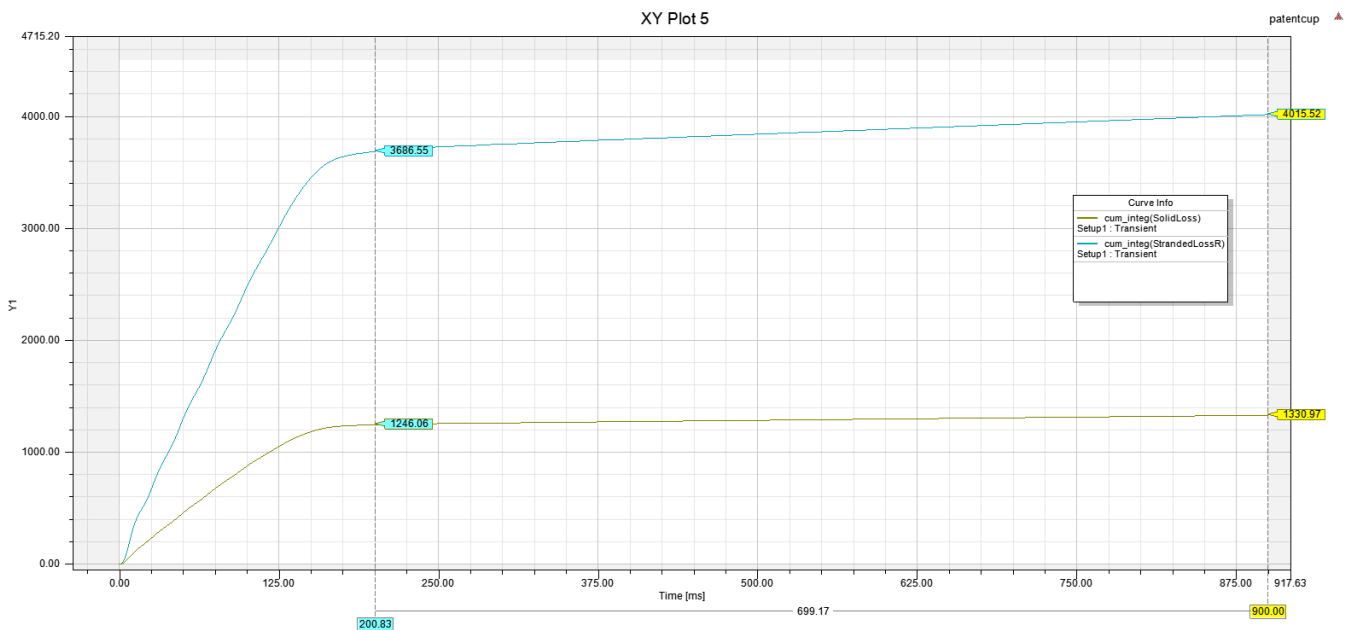


Рисунок 20 - Интеграл функции потерь

$\overline{f(x)} = \frac{\int_{x1}^{x2} f(x)dx}{x2-x1}$, где $\overline{f(x)}$ среднее значение функции на заданном участке

$\int_{x1}^{x2} f(x)dx$ интеграл функции потерь

$x2 - x1$ время рабочего режима на данном участке

$$\overline{f(x)} = \frac{\int_{x1}^{x2} f(x)dx}{x2-x1} = \frac{5345-4932}{700} = 0.59$$

$$\eta = P2/P1;$$

где $P1$ - мощность, подводимая к статору двигателя из сети

$P2$ – мощность на валу

$$\eta = P2/P1 = 7.5/(7.5+0.59) = 0.927$$

4.3. Асинхронный двигатель с изолированной обмоткой ротора, с короткозамкнутыми витками на полное полюсное деление, выполненной из алюминиевого сплава.

Отличие от базовой модели заключается в использовании нестандартной короткозамкнутой обмотки ротора, основанной на патенте RU 2 393 613 С1. Обмотка ротора имеет изолированные короткозамкнутые витки с шагом равным полюсному делению. Так же было увеличено число пазов до 37, чтобы обмотка занимала все пазы. [4]

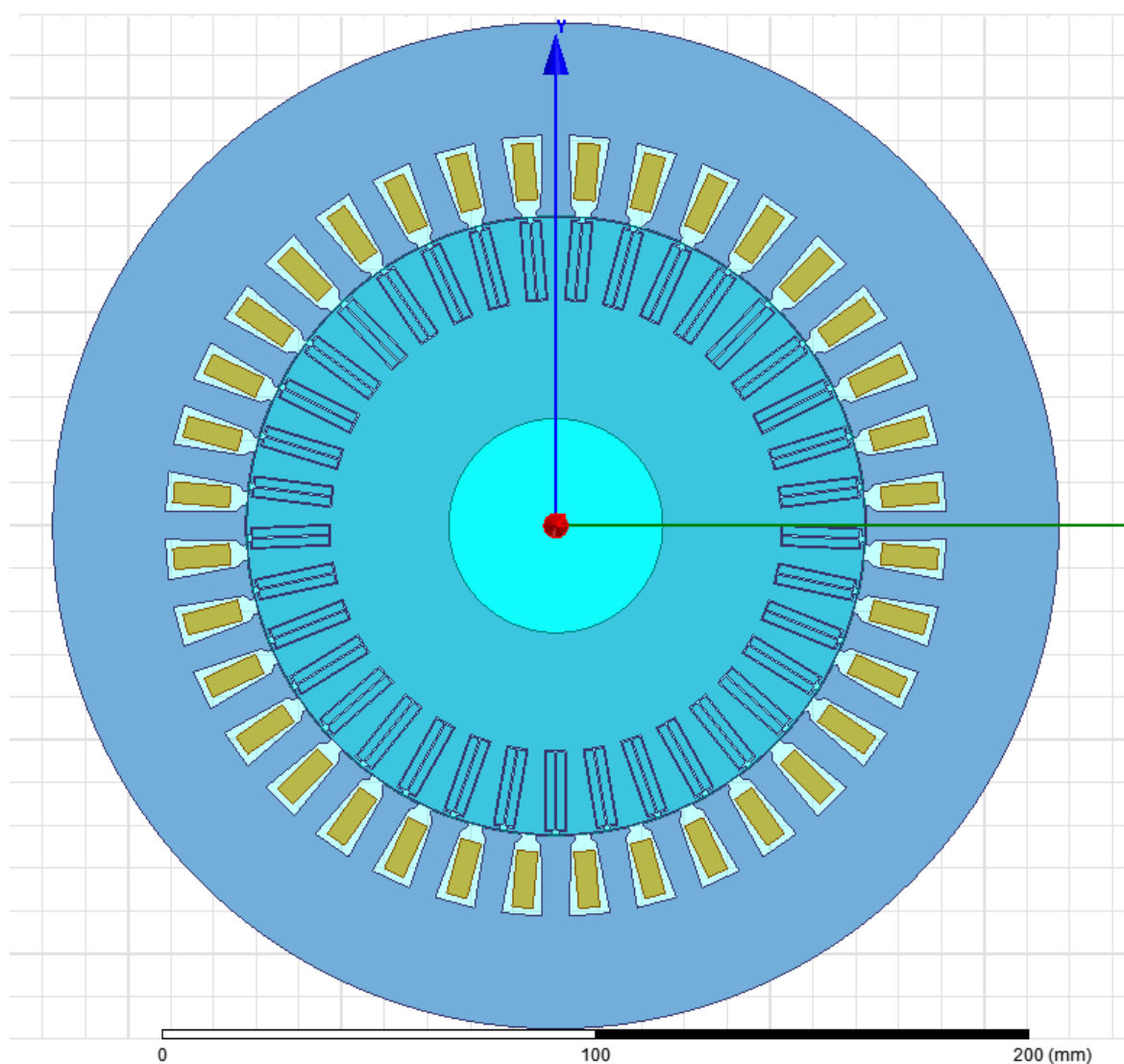


Рисунок 21 - Общий вид магнитной системы двигателя

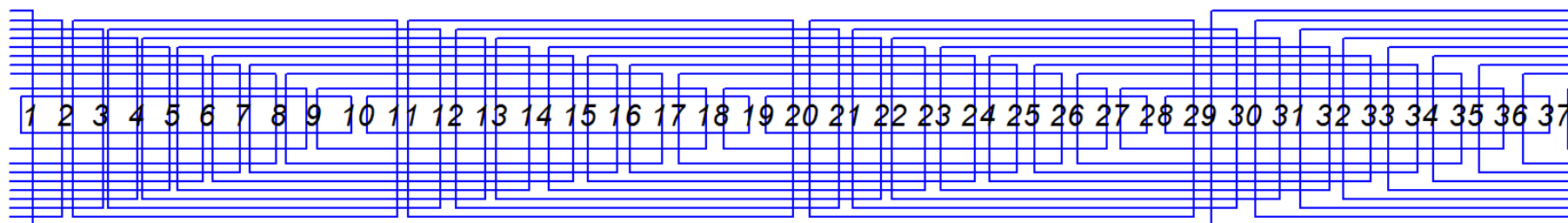


Рисунок 22 - Развертка обмотки ротора

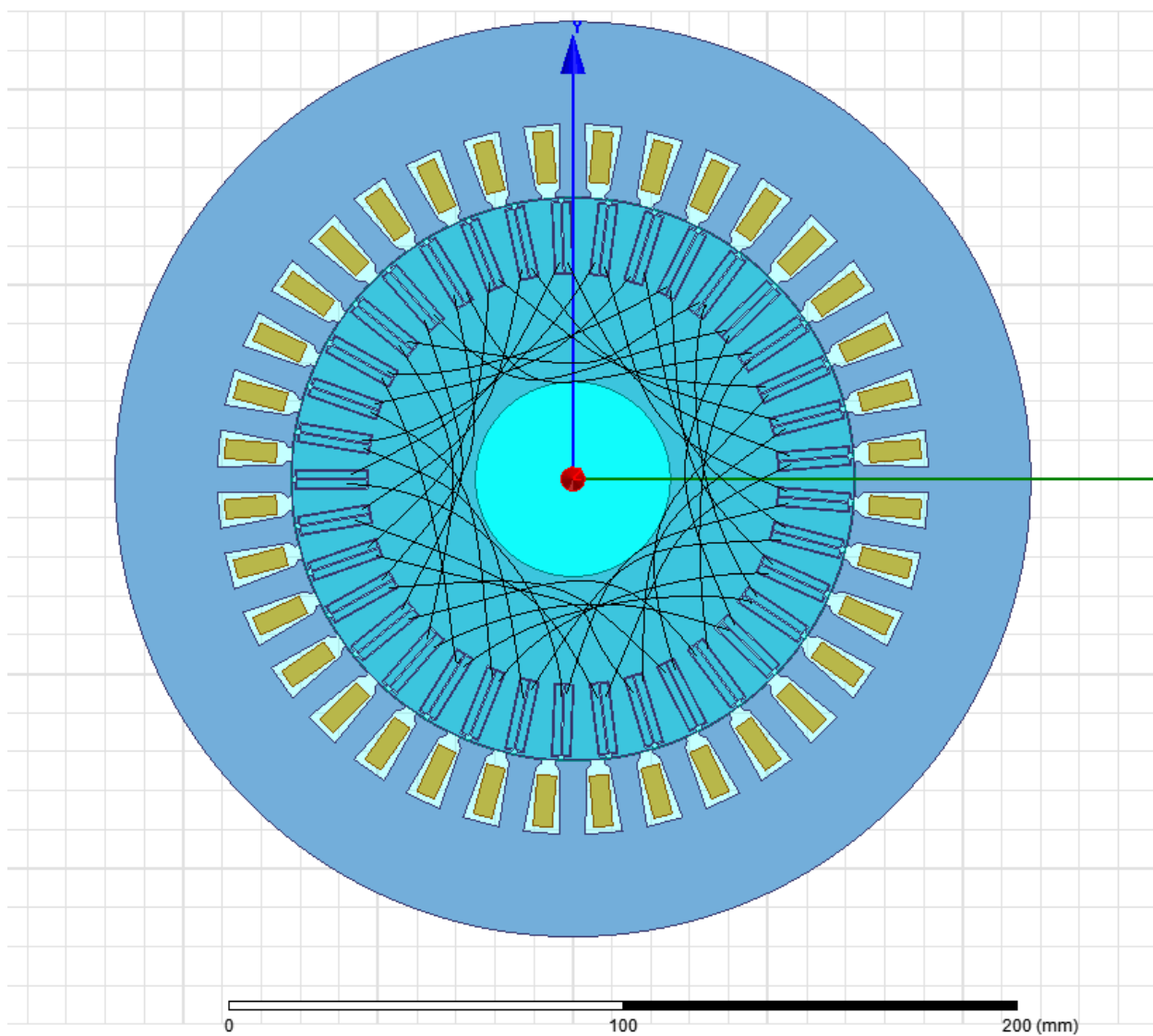


Рисунок 23 - Схема соединения обмотки ротора

Расчет проводился в Transient режиме.

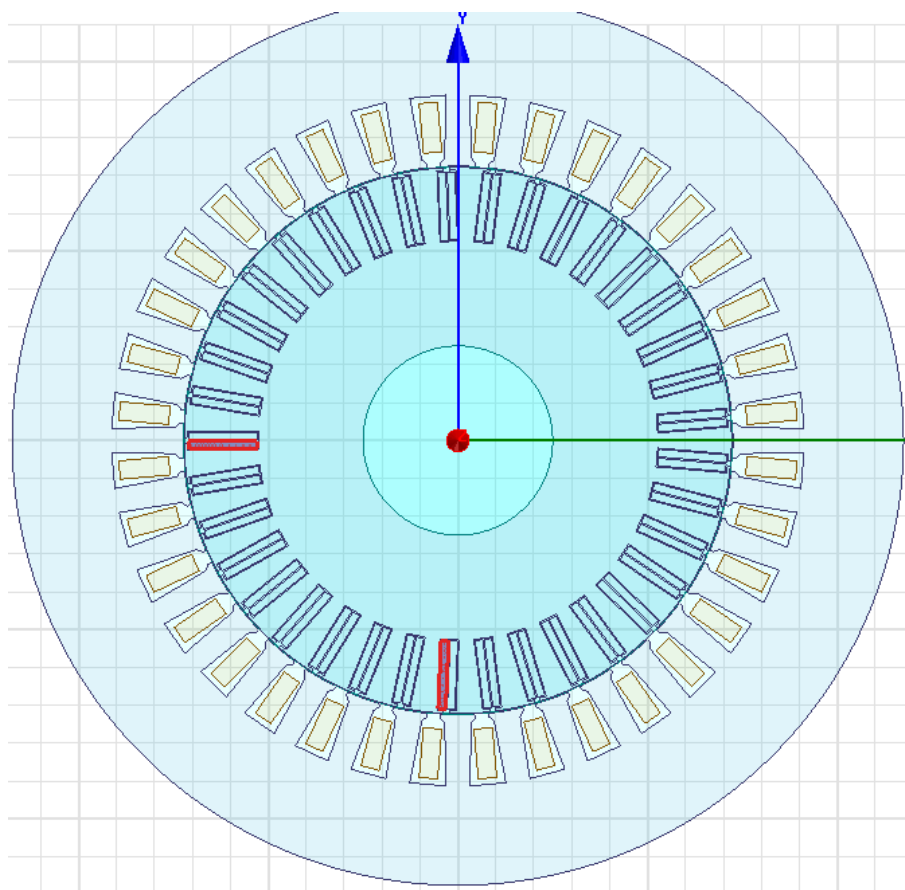


Рисунок 24 - Расположение одного изолированного витка обмотки ротора

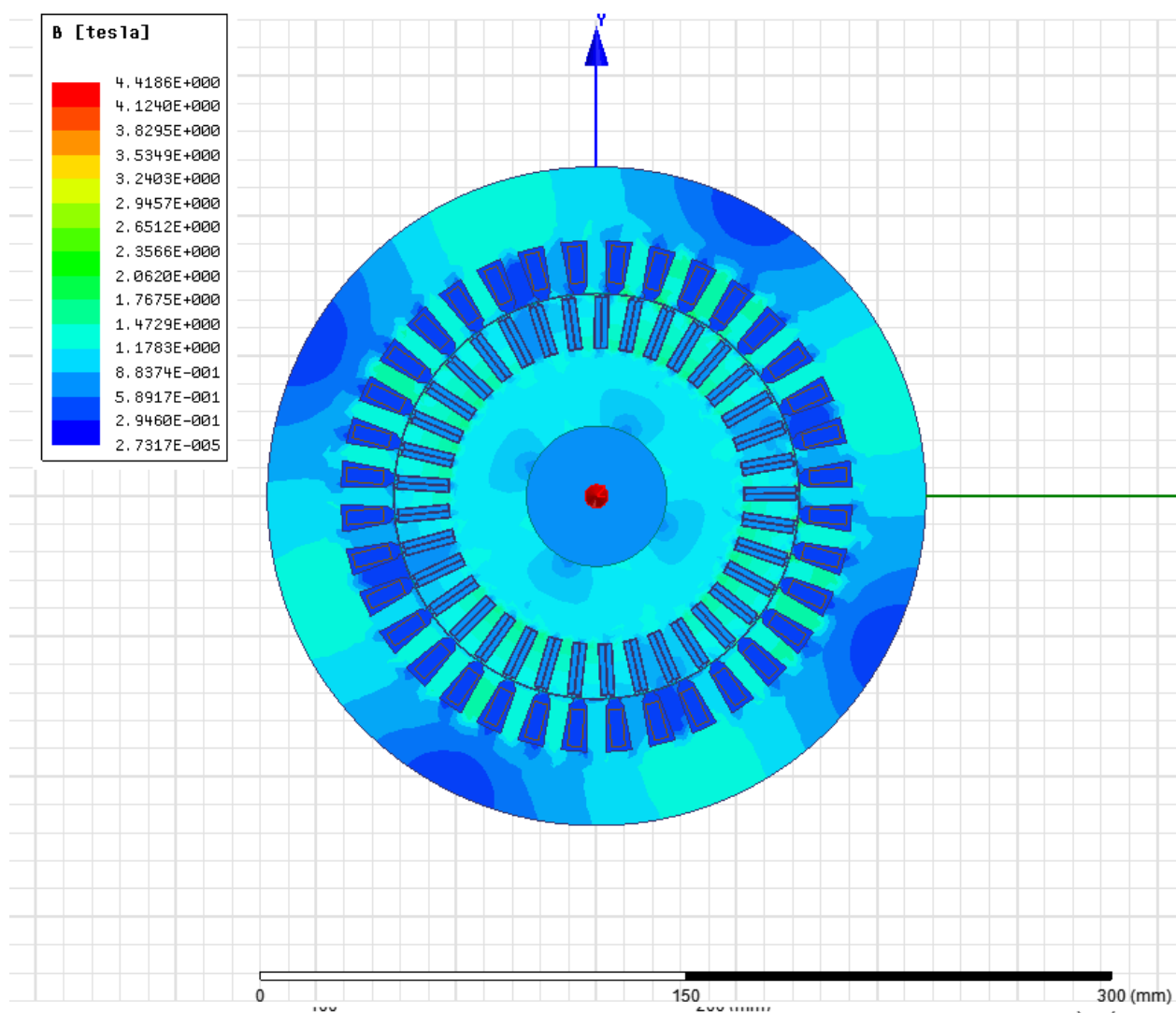


Рисунок 25 - Распределение индукции магнитного поля

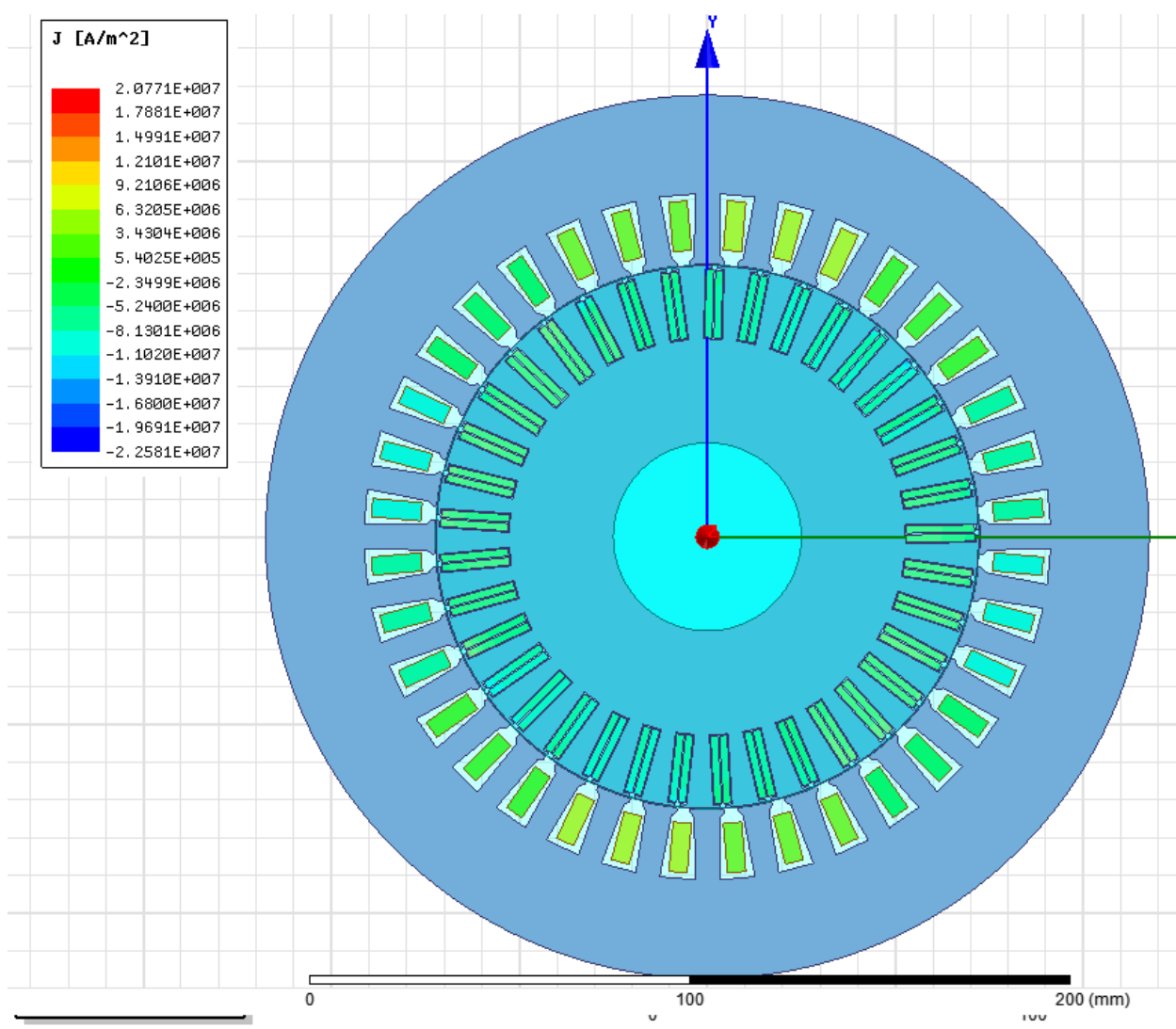


Рисунок 26 - Распределение плотности тока в проводниках

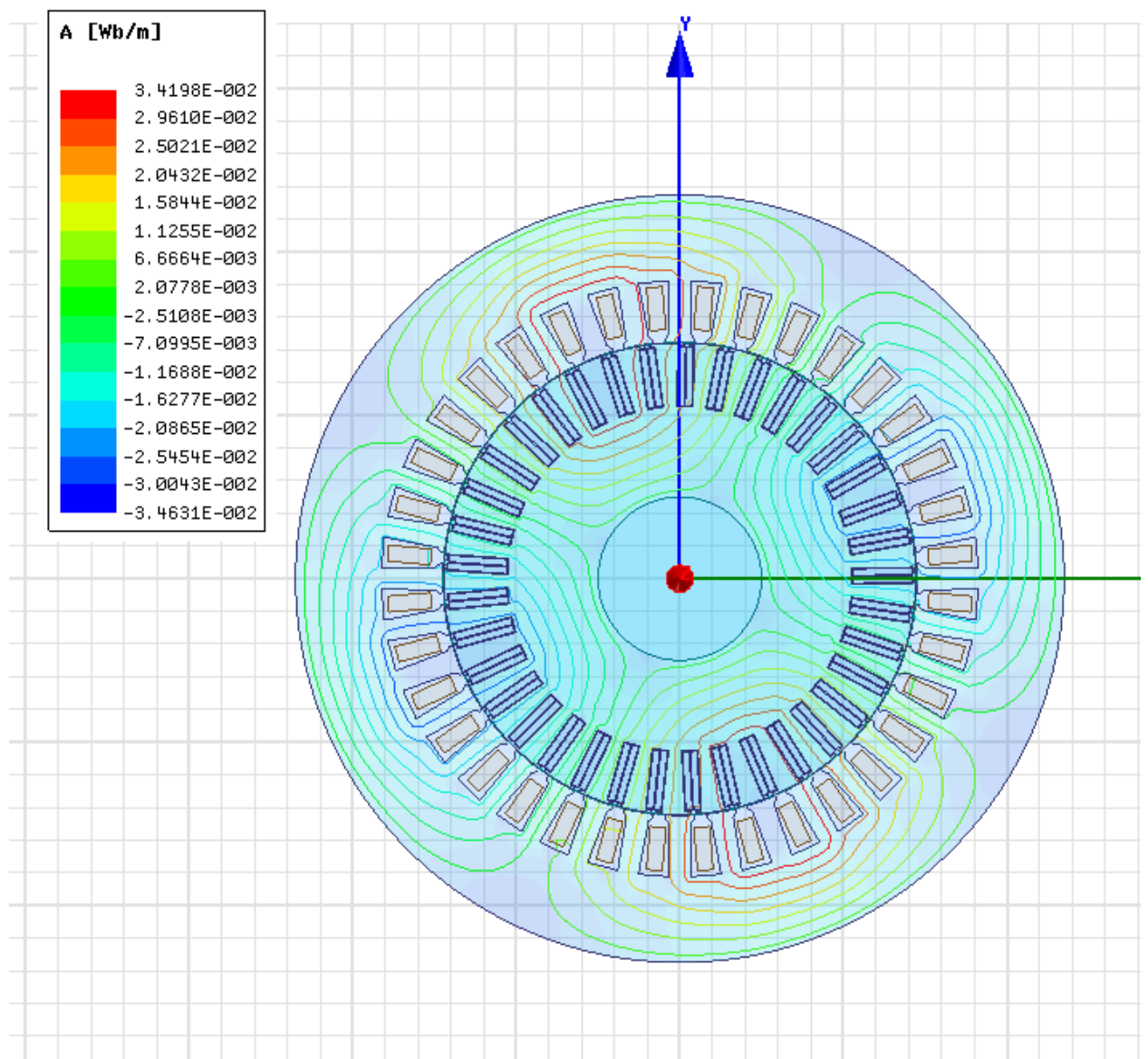


Рисунок 27 - Магнитные силовые линии

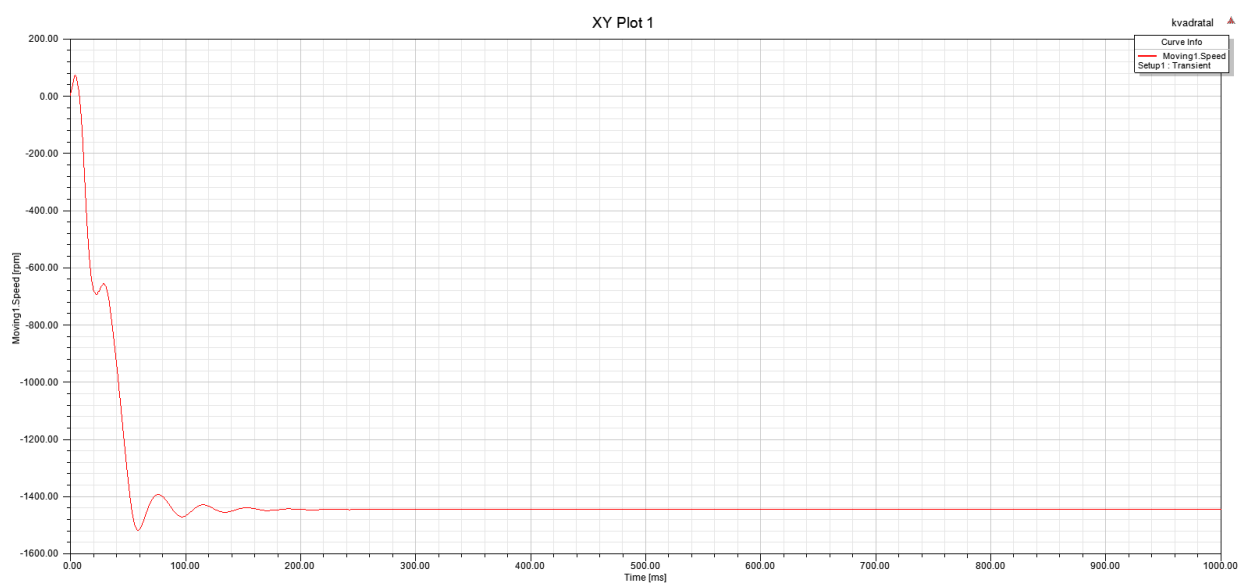


Рисунок 28 - График частоты вращения

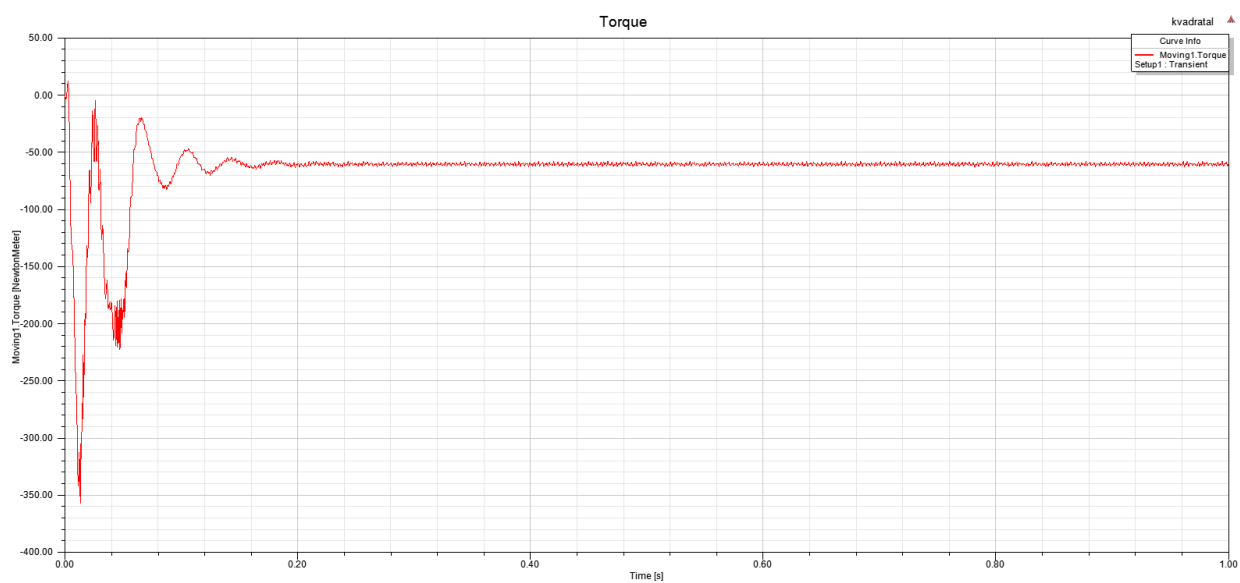


Рисунок - 29 Момент на валу двигателя

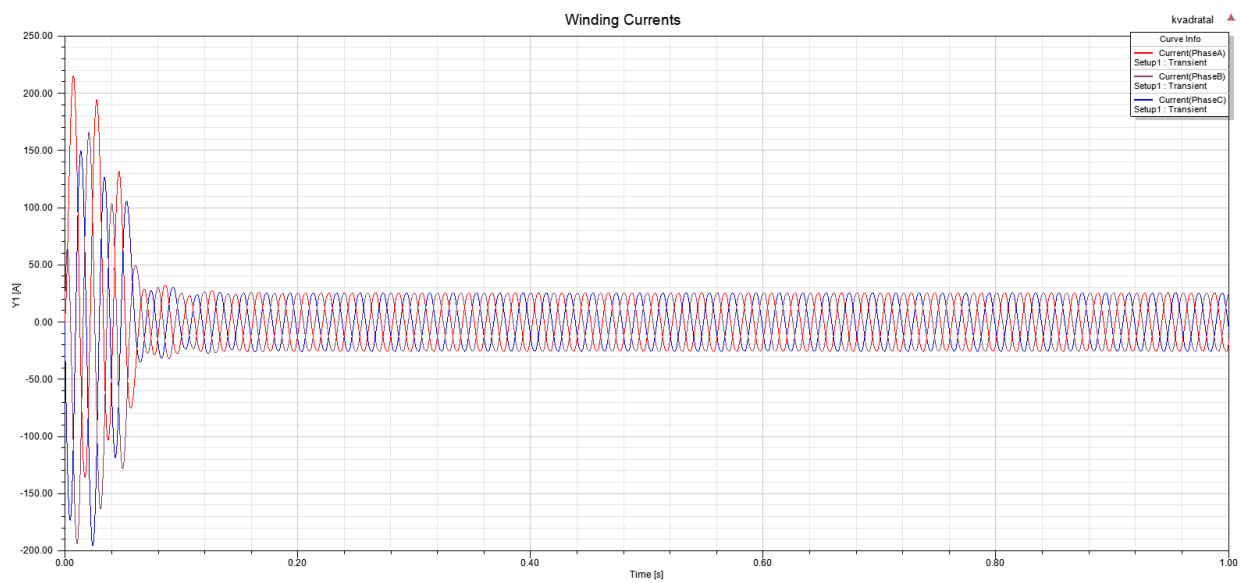


Рисунок 30 - График тока в обмотке статора

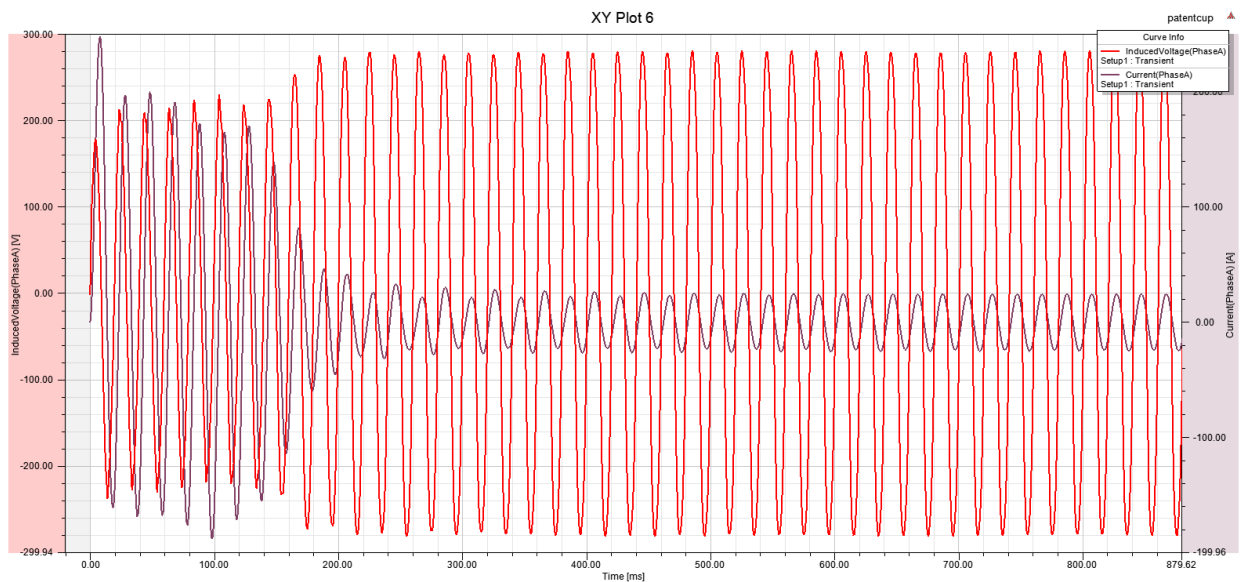


Рисунок 31 - График тока и напряжения в обмотке статора

Для нахождения угла ϕ использован график напряжения и тока в обмотке статора

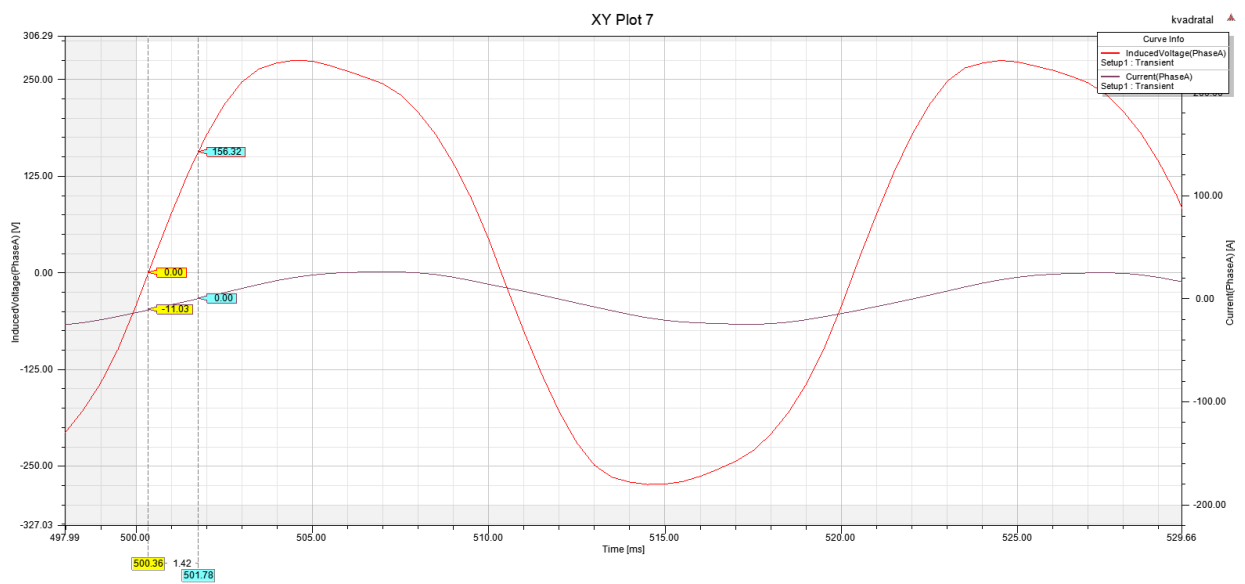


Рисунок 32 - График тока и напряжения в обмотке статора

Амплитуда напряжения опережает амплитуду тока на 1.42 мс. Период T в машине, при частоте 50 Гц, равен 0.02 с.

$$\varphi = \frac{\Delta t}{T} * 360 = \frac{1.42 * 10^{-3}}{0.02} * 360^\circ = 25.56^\circ$$

$$\cos(\varphi) = \cos(22.68^\circ) = 0.902$$

КПД машины был найден исходя из потерь машины в рабочем режиме.

Для нахождения среднего значения потерь, была использована формула Лагранжа

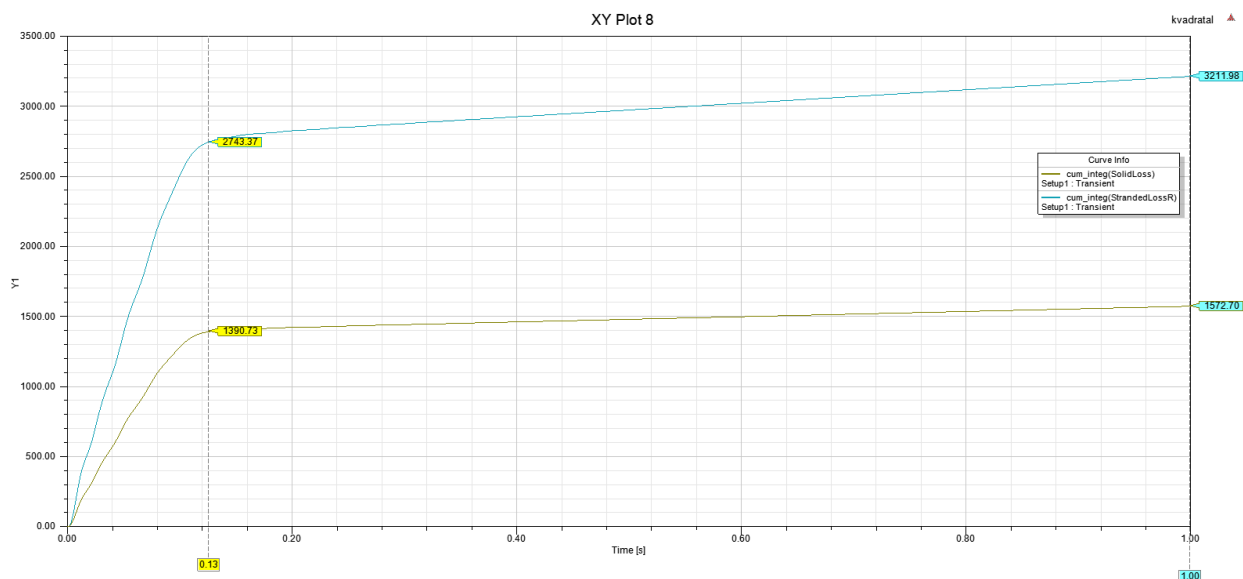


Рисунок 33 - Интеграл функции потерь

$$\overline{f(x)} = \frac{\int_{x1}^{x2} f(x) dx}{x2-x1}, \text{ где}$$

$\overline{f(x)}$ среднее значение функции на заданном участке

$\int_{x1}^{x2} f(x) dx$ интеграл функции потерь

$x2 - x1$ время рабочего режима на данном участке

$$\overline{f(x)} = \frac{\int_{x1}^{x2} f(x) dx}{x2-x1} = \frac{4784-4133}{1000-130} = 0.757$$

$$\eta = P2/P1;$$

где $P1$ - мощность, подводимая к статору двигателя из сети

$P2$ – мощность на валу

$$\eta = P2/P1 = 7.5/(7.5+0.757) = 0.908$$

4.4. Асинхронный двигатель с изолированной обмоткой ротора, с короткозамкнутыми витками на полное полюсное деление, выполненной из медного сплава.

Для анализа влияния изменения материала обмотки ротора, на энергетические характеристики, было принято решение использовать медь вместо алюминия.

Построение модели проводилось с помощью графических средств ANSYS MAXWELL

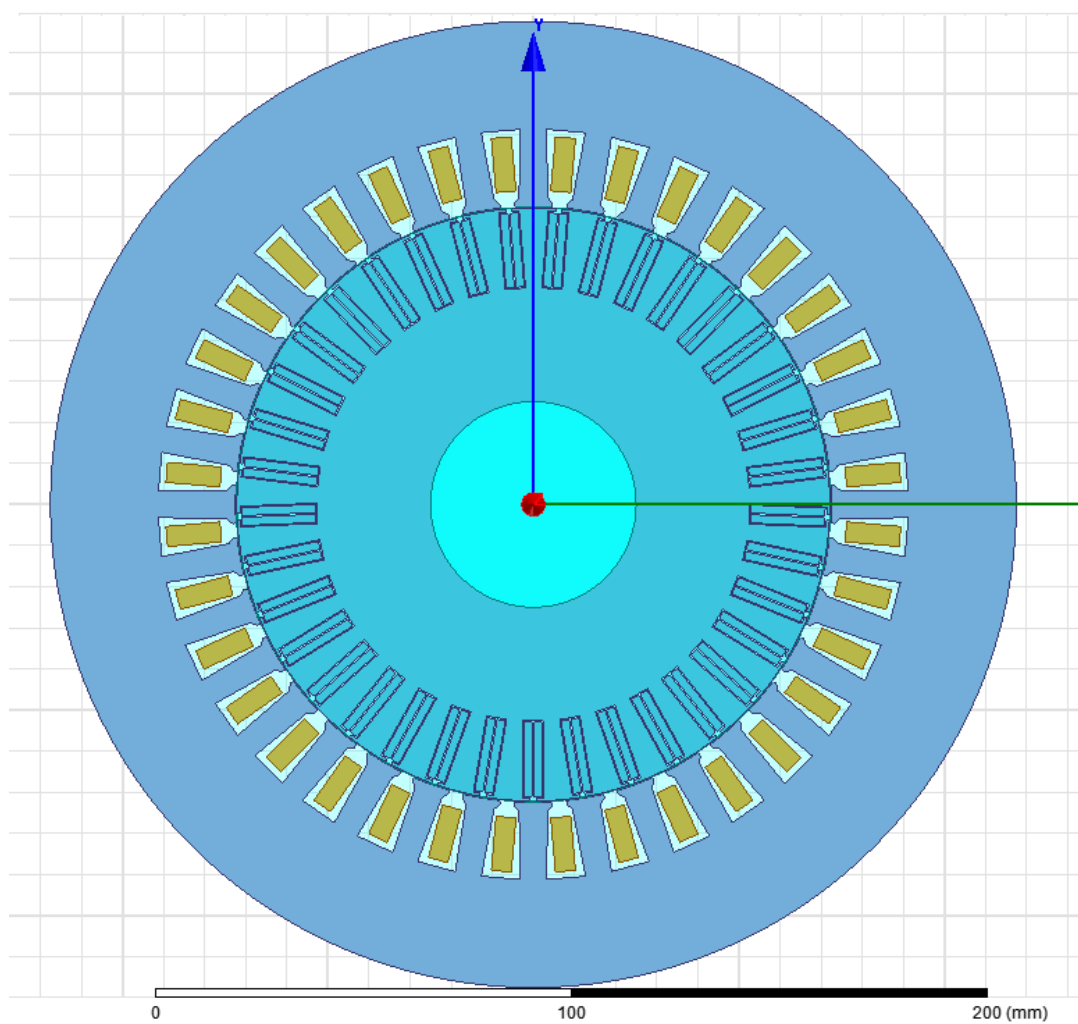


Рисунок 34 - Общий вид магнитной системы двигателя

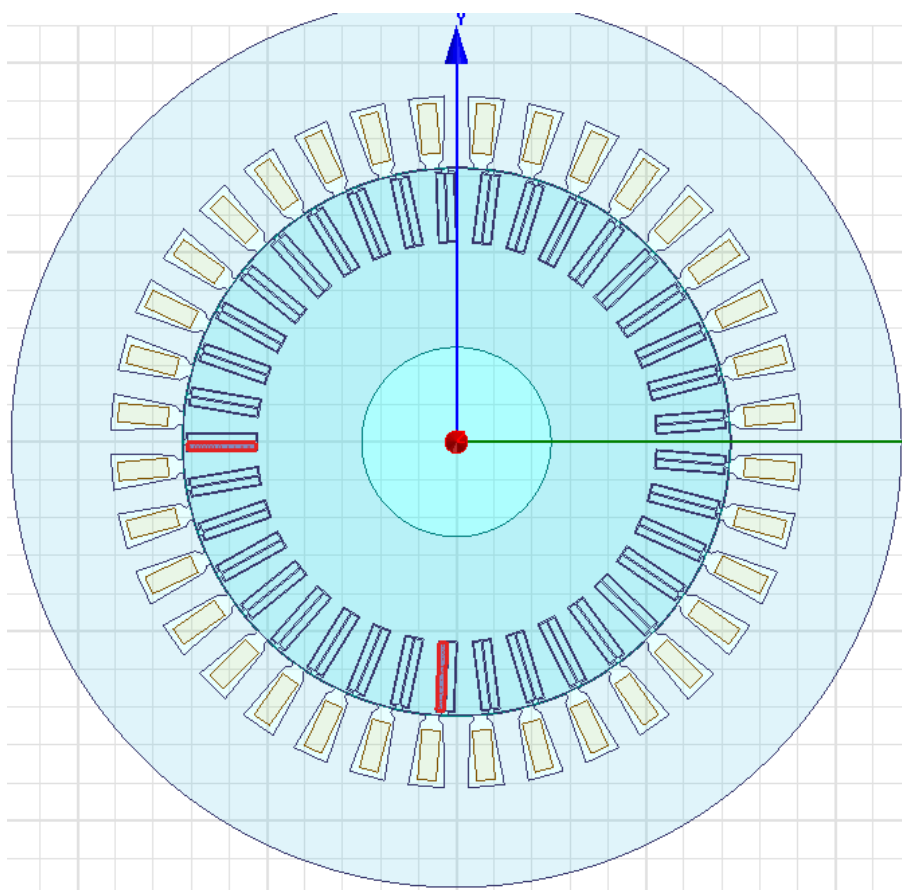


Рисунок 35 - Расположение одного изолированного витка обмотки ротора

Расположение обмоток в роторе аналогично машине с алюминиевыми обмотками.

Расчет проводился в Transient режиме.

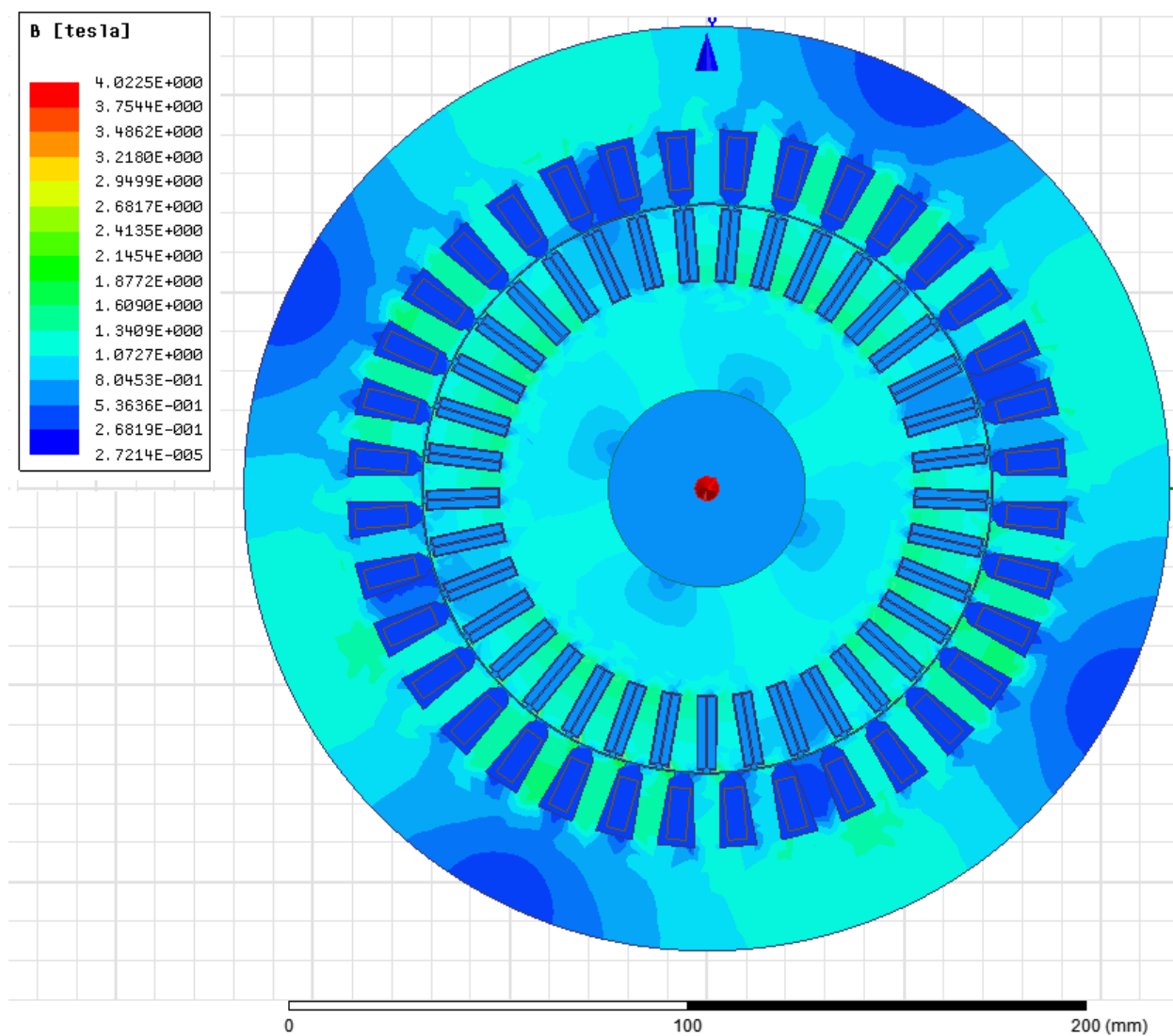


Рисунок 36 - Распределение индукции магнитного поля

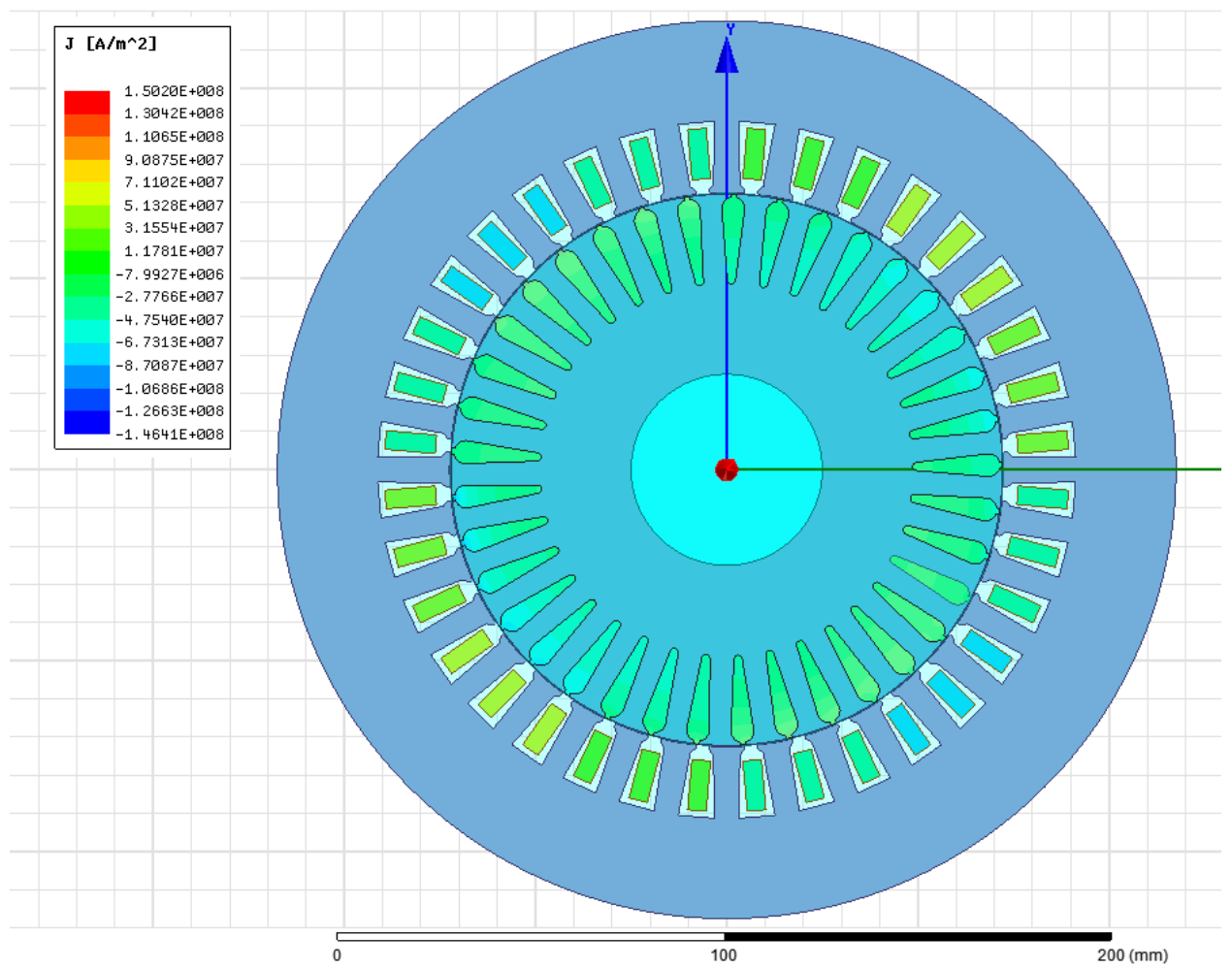


Рисунок 37 - Распределение плотности тока в проводниках

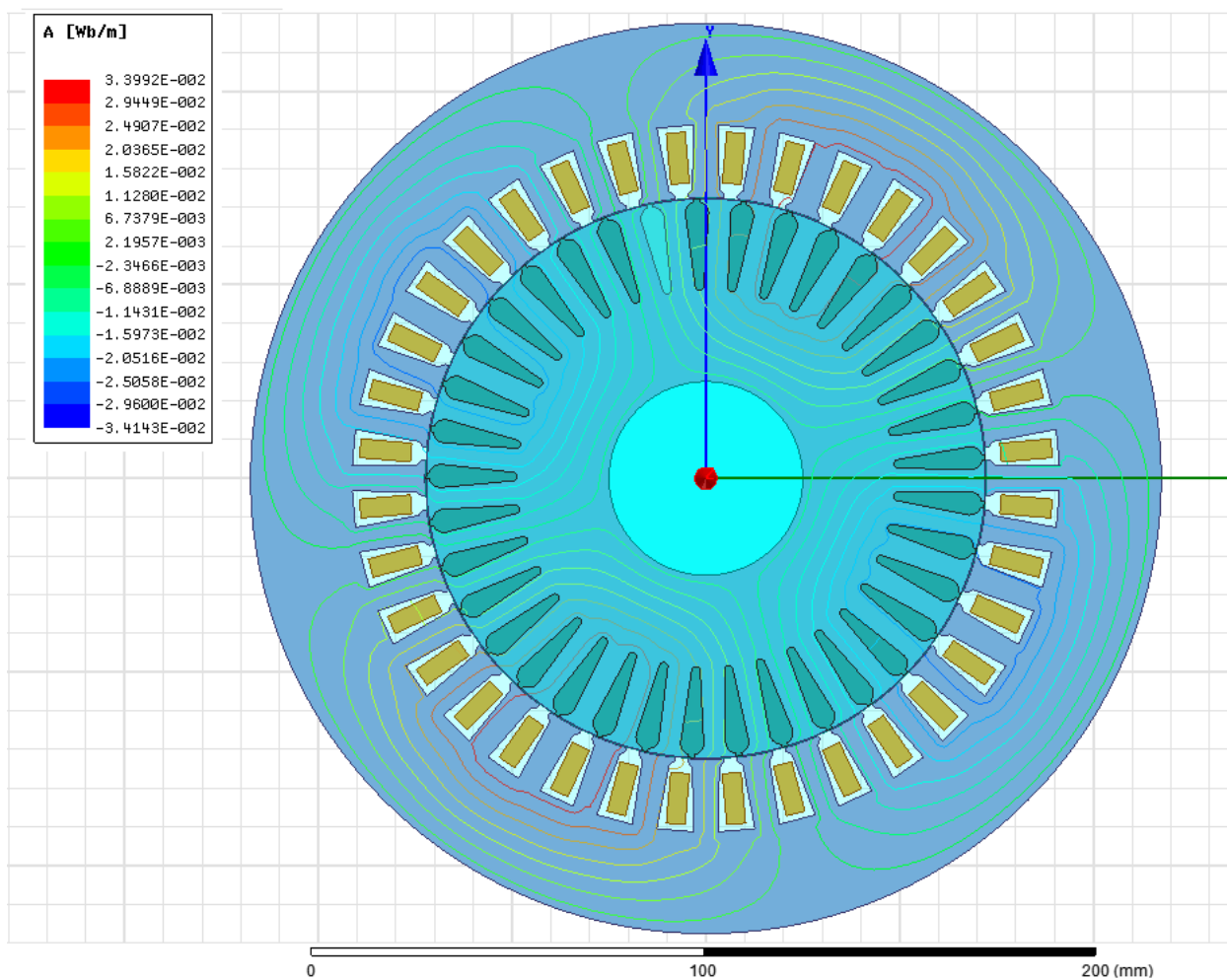


Рисунок 38 - Магнитные силовые линии

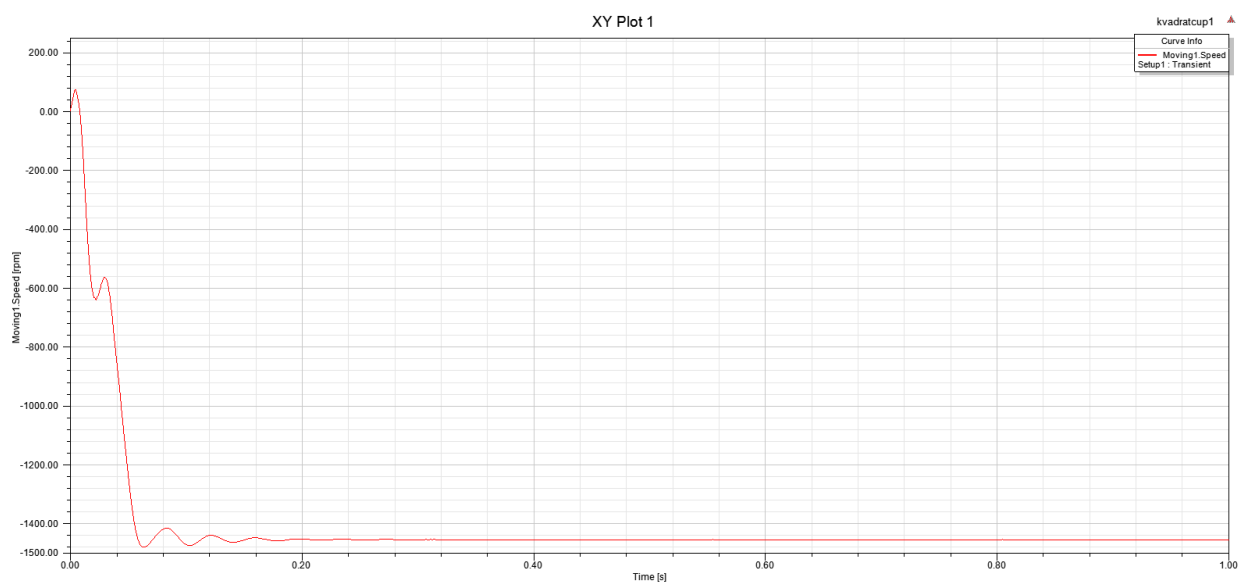


Рисунок 39 - График частоты вращения

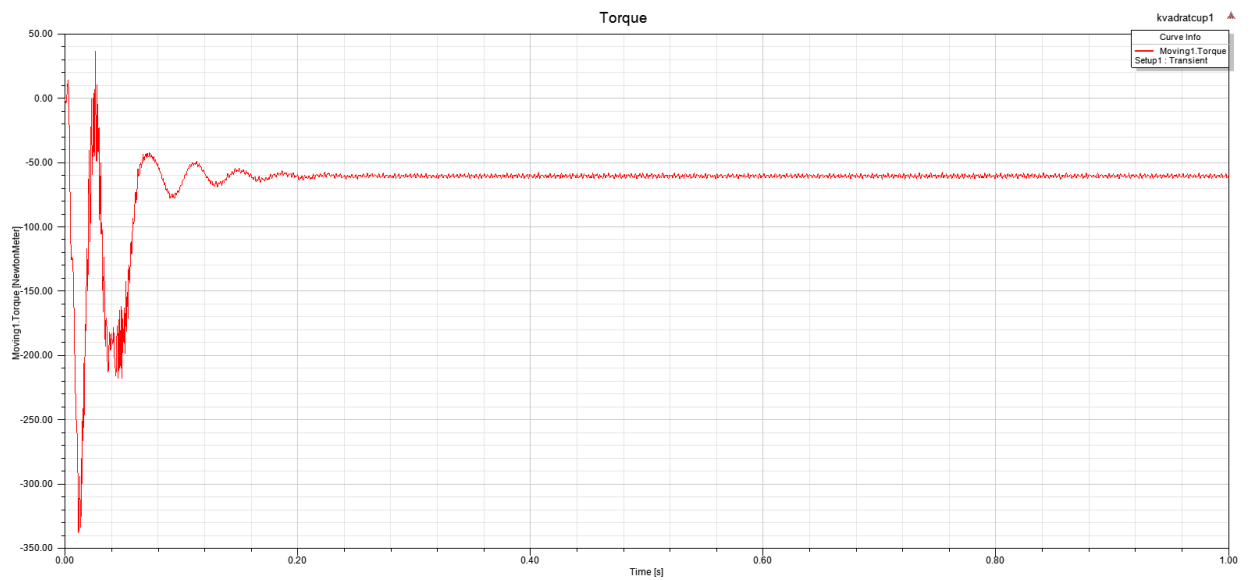


Рисунок 40 – График момента на валу двигателя

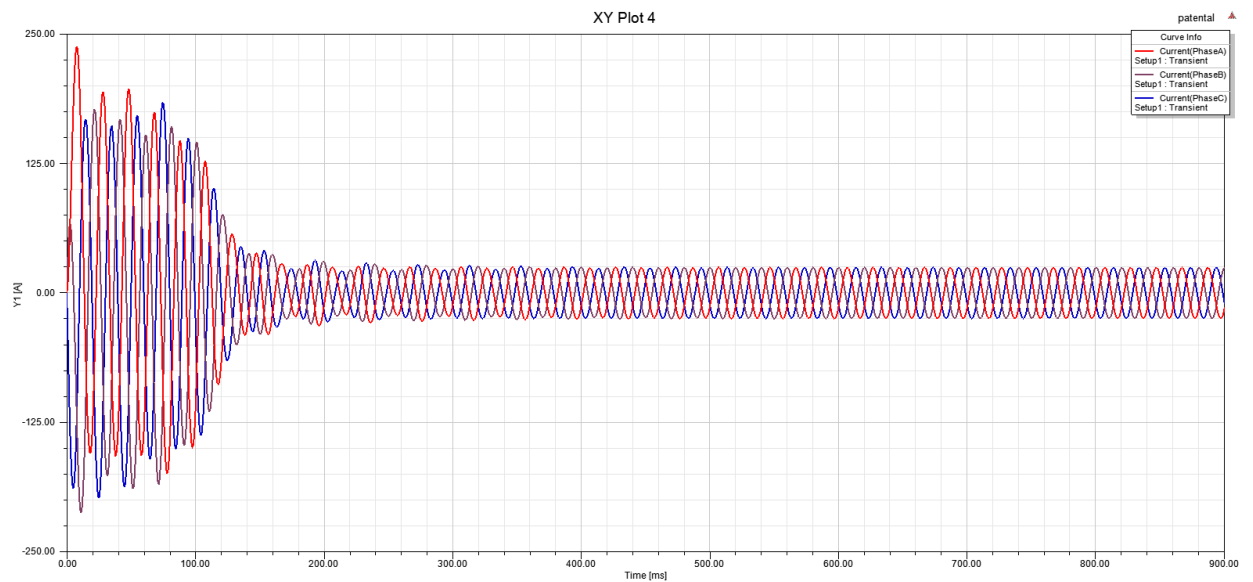


Рисунок 41 - График тока в обмотке статора



Рисунок 42 - График тока и напряжения обмотке статора

Для нахождения угла ϕ использован график напряжения и тока в обмотке статора

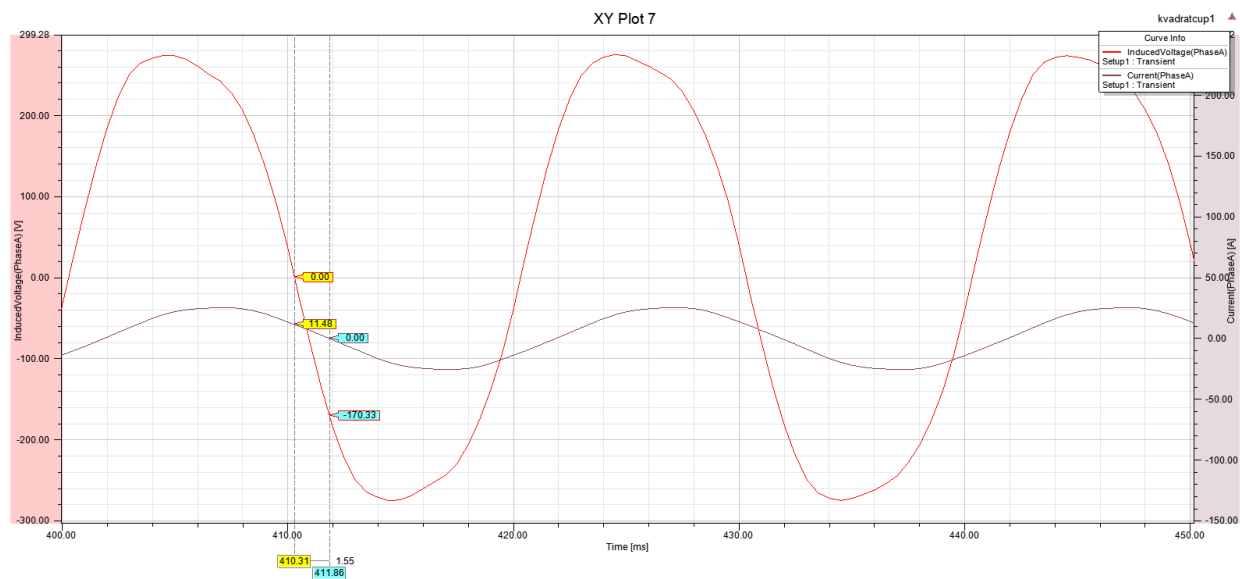


Рисунок 43 - График тока и напряжения в обмотке статора

Амплитуда напряжения опережает амплитуду тока на 1.55 мс. Период T в машине, при частоте 50 Гц, равен 0.02 с.

$$\varphi = \frac{\Delta t}{T} * 360 = \frac{1.55 * 10^{-3}}{0.02} * 360^\circ = 27.9^\circ$$

$$\cos(\varphi) = \cos(27.9^\circ) = 0.884$$

КПД машины был найден исходя из потерь машины в рабочем режиме.

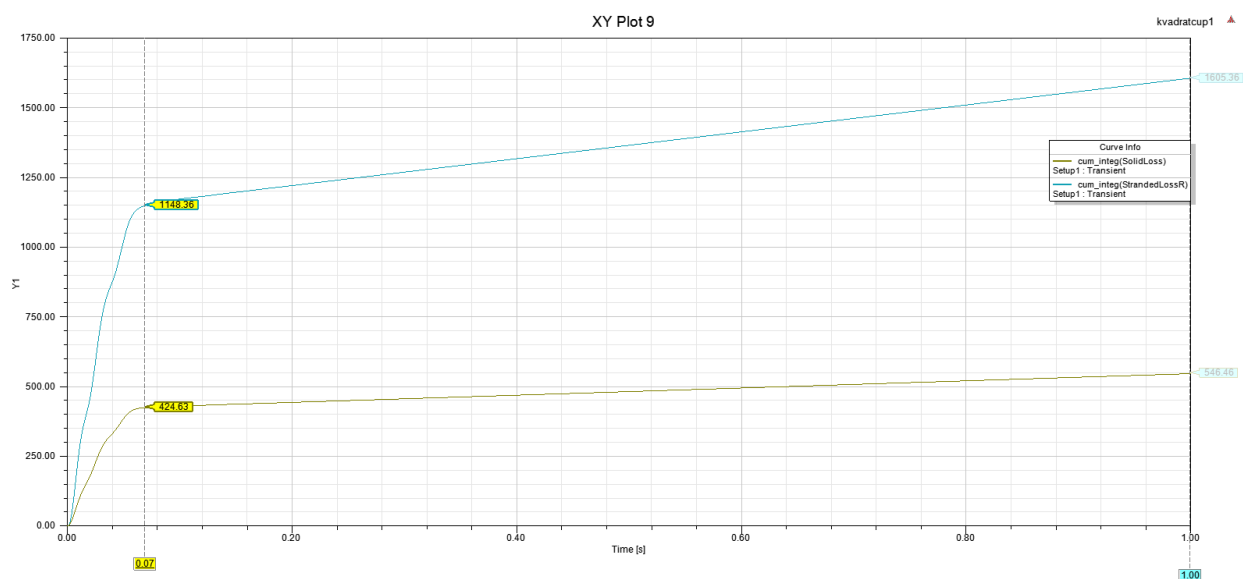


Рисунок – 44 Интеграл функции потерь

Для нахождения среднего значения потерь, была использована формула Лагранжа

$$\overline{f(x)} = \frac{\int_{x_1}^{x_2} f(x) dx}{x_2 - x_1},$$

где

$\overline{f(x)}$ среднее значение функции на заданном участке

$\int_{x_1}^{x_2} f(x) dx$ интеграл функции потерь

$x_2 - x_1$ время рабочего режима на данном участке

$$\overline{f(x)} = \frac{\int_{x_1}^{x_2} f(x) dx}{x_2 - x_1} = \frac{2151 - 1572}{1000 - 70} = 0.623$$

$$\eta = P_2 / P_1;$$

где P_1 - мощность, подводимая к статору двигателя из сети

P_2 - мощность на валу

$$\eta = P_2 / P_1 = 7.5 / (7.5 + 0.623) = 0.923$$

4.5. Асинхронный двигатель с изолированной обмоткой ротора с короткозамкнутыми витками, на половину полюсного деления , выполненной из алюминиевого сплава.

Сущность предложенного способа заключается в том, что к воздействию вращающегося электромагнитного поля статора на короткозамкнутые витки обмотки ротора, проходящие через зоны, прилегающие к границам полюсного деления статора, добавляется дополнительное воздействие вращающегося электромагнитного поля статора, осуществляющееся на участки короткозамкнутых витков обмотки ротора, проходящих через зоны, прилегающие к границам половины полюсного деления статора [4]

Построение модели проводилось с помощью графических средств ANSYS MAXWELL

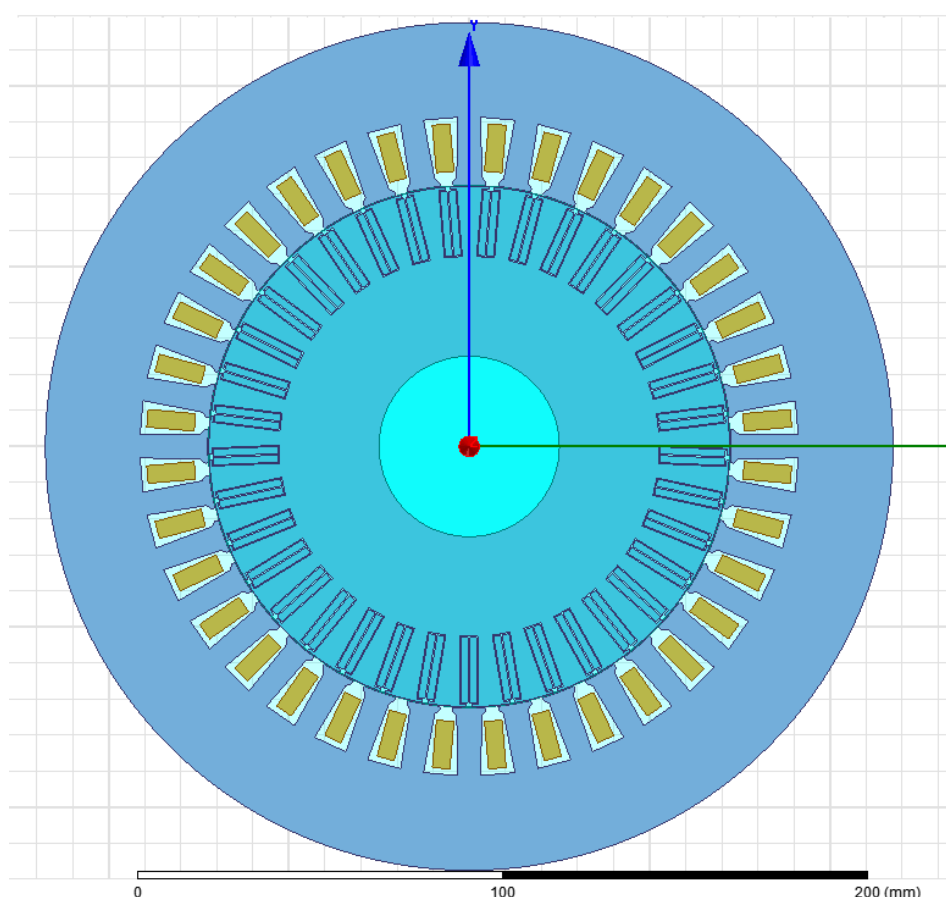


Рисунок 45 - Общий вид магнитной системы двигателя

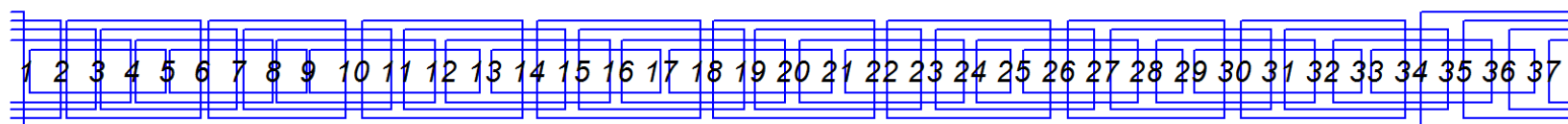


Рисунок 46 - Развертка обмотки ротора

Расчет проводился в Transient режиме.

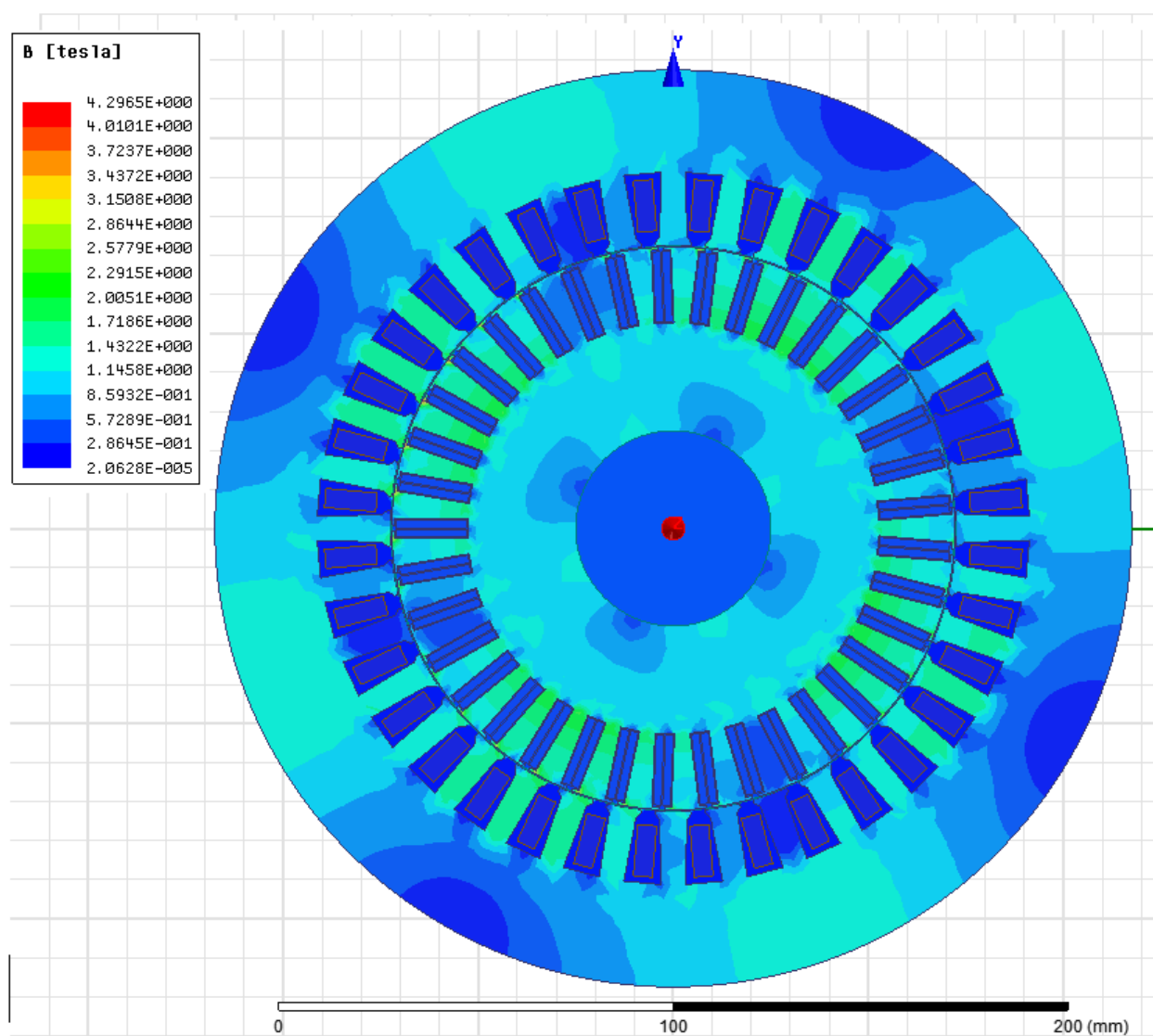


Рисунок 46 - Распределение индукции магнитного поля

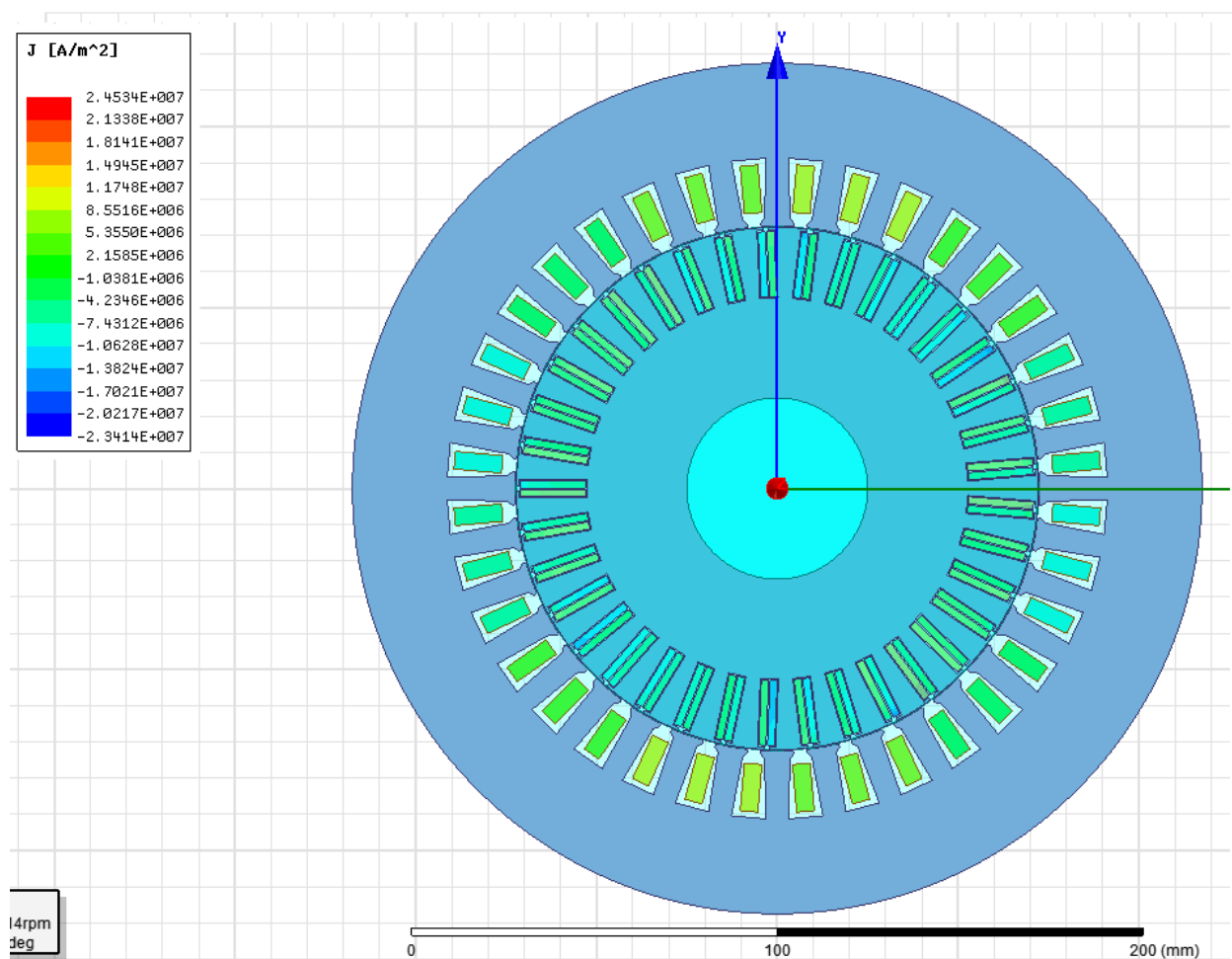
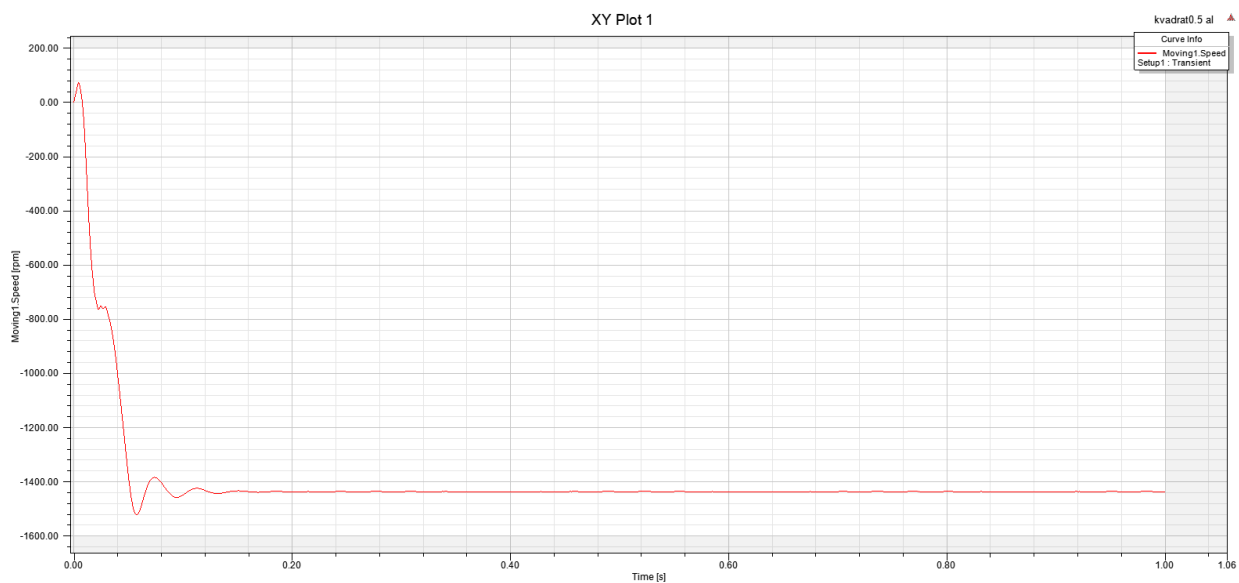
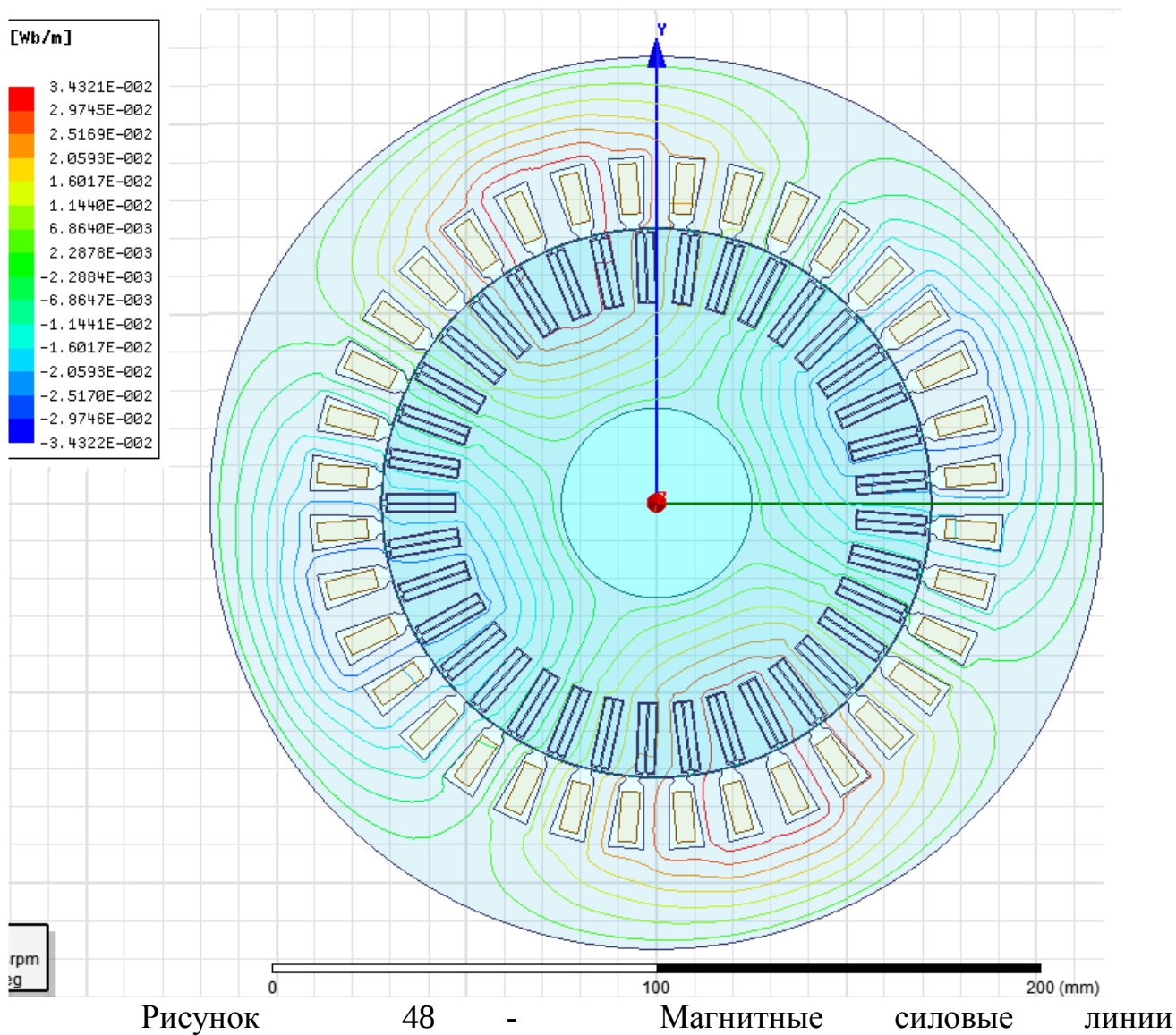


Рисунок 47 - Распределение плотности тока в проводниках



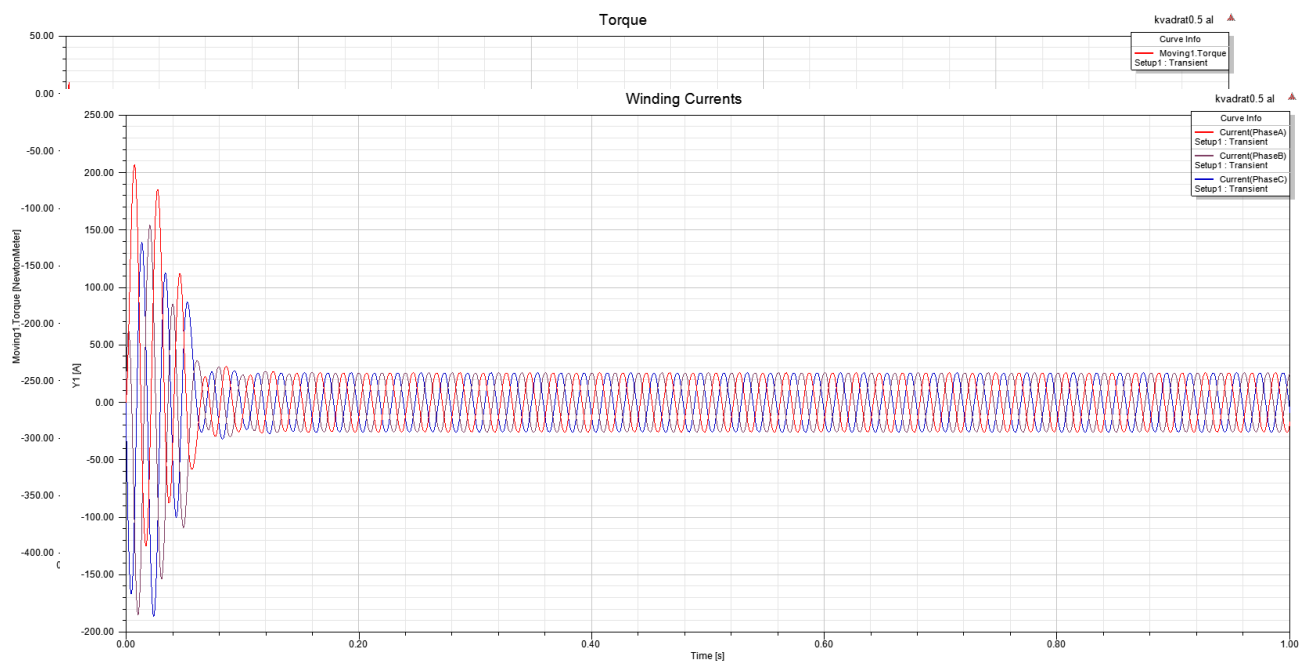


Рисунок 50 - График момента на валу двигателя

Рисунок 51 - График тока в обмотке статора

Для нахождения угла ϕ использован график напряжения и тока в обмотке статора

Рисунок 52 - График тока и напряжения в обмотке статора

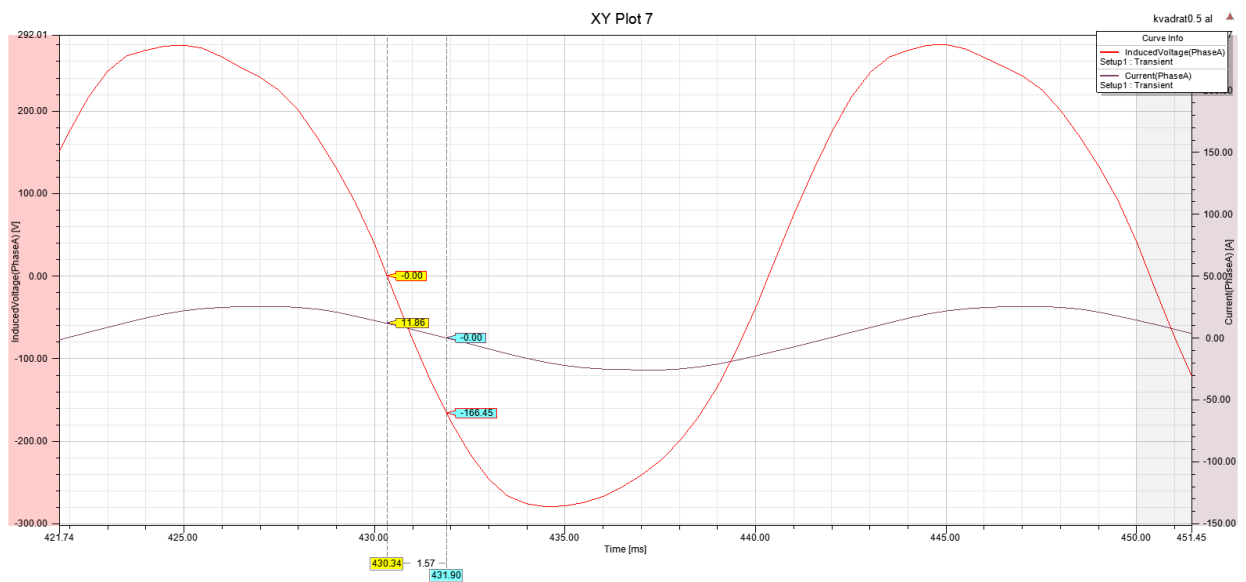
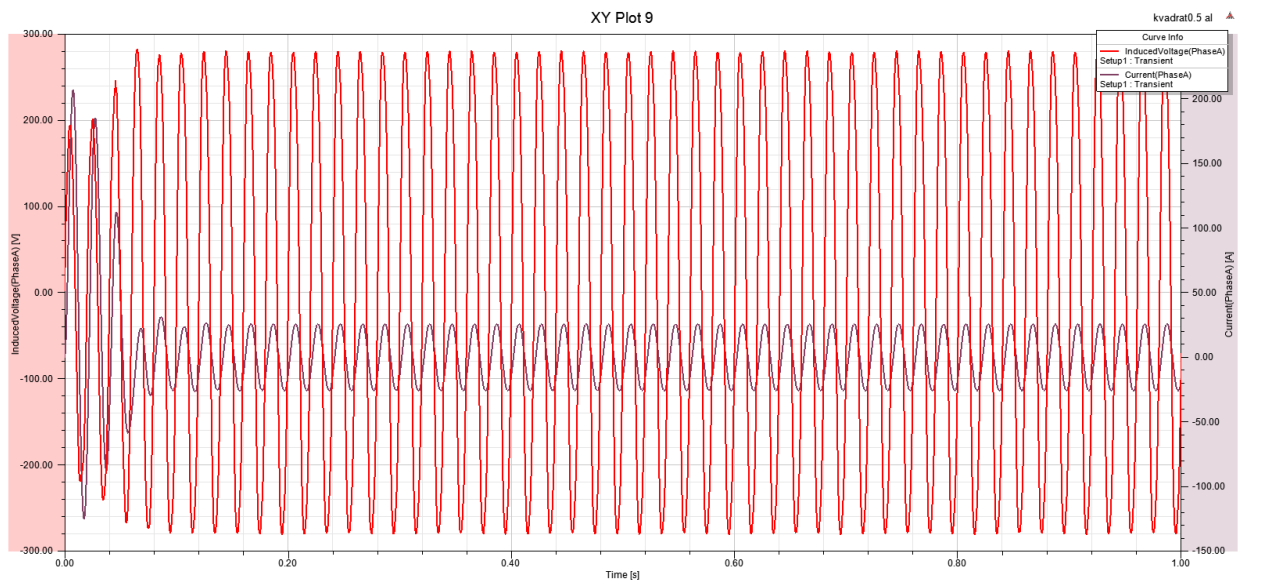


Рисунок 53 - График тока и напряжения в обмотке статора

Амплитуда напряжения опережает амплитуду тока на 1.57 мс. Период T в машине, при частоте 50 Гц, равен 0.02 с.

$$\varphi = \frac{\Delta t}{T} * 360 = \frac{1.57 * 10^{-3}}{0.02} * 360^\circ = 28.26^\circ$$

$$\cos(\varphi) = \cos(28.26^\circ) = 0.881$$

КПД машины был найден исходя из потерь машины в рабочем режиме.

Для нахождения среднего значения потерь, была использована формула Лагранжа

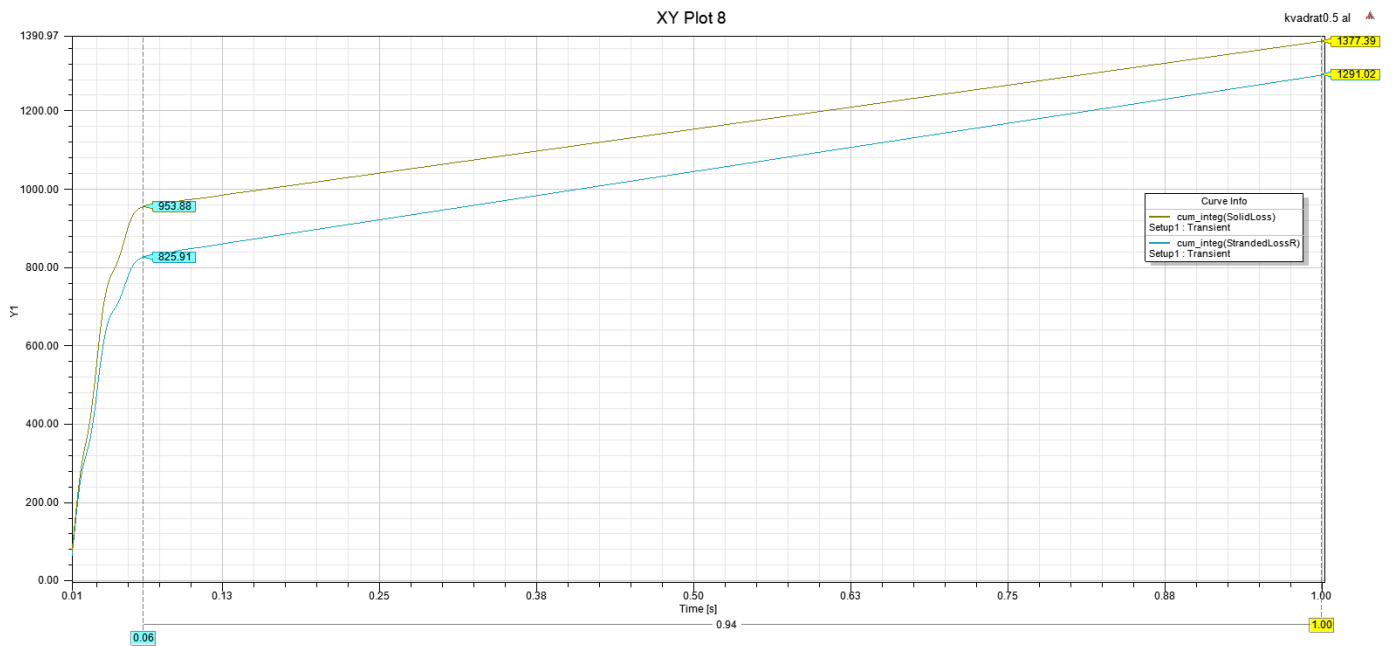


Рисунок - 54 Интеграл функции потерь

$$\overline{f(x)} = \frac{\int_{x1}^{x2} f(x) dx}{x2 - x1},$$

где

$\overline{f(x)}$ среднее значение функции на заданном участке

$\int_{x1}^{x2} f(x) dx$ интеграл функции потерь

$x2 - x1$ время рабочего режима на данном участке

$$\overline{f(x)} = \frac{\int_{x1}^{x2} f(x) dx}{x2 - x1} = \frac{2668 - 1778}{1000 - 60} = 0.947$$

$$\eta = P2/P1;$$

где $P1$ - мощность, подводимая к статору двигателя из сети

$P2$ – мощность на валу

$$\eta = P2/P1 = 7.5/(7.5 + 0.947) = 0.888$$

4.6. Асинхронный двигатель с изолированной обмоткой ротора с короткозамкнутыми витками на половину полюсного деления выполненной из медного сплава.

Для анализа влияния изменения материала обмотки ротора, на энергетические характеристики, было принято решение использовать медь вместо алюминия.

Построение модели проводилось с помощью графических средств ANSYS MAXWELL

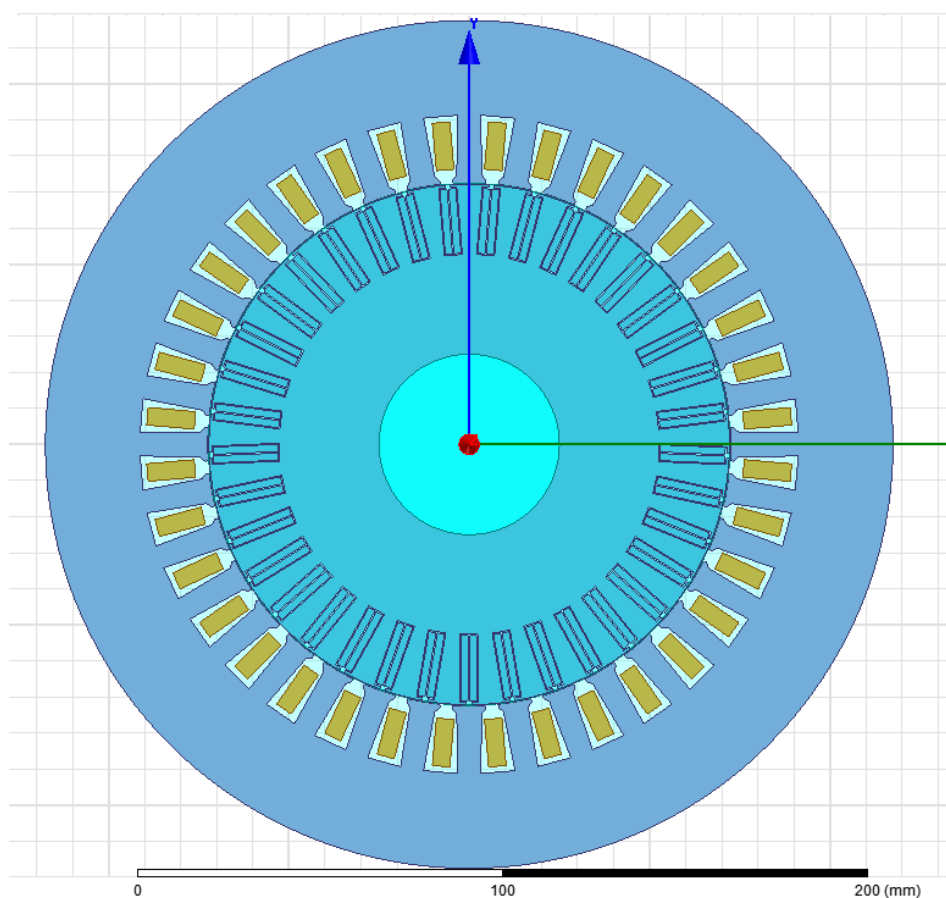


Рисунок 55 - Общий вид магнитной системы двигателя с литой обмоткой ротора

Развертка обмотки аналогично предыдущей модели с алюминиевой обмоткой. Расчет проводился в Transient режиме.

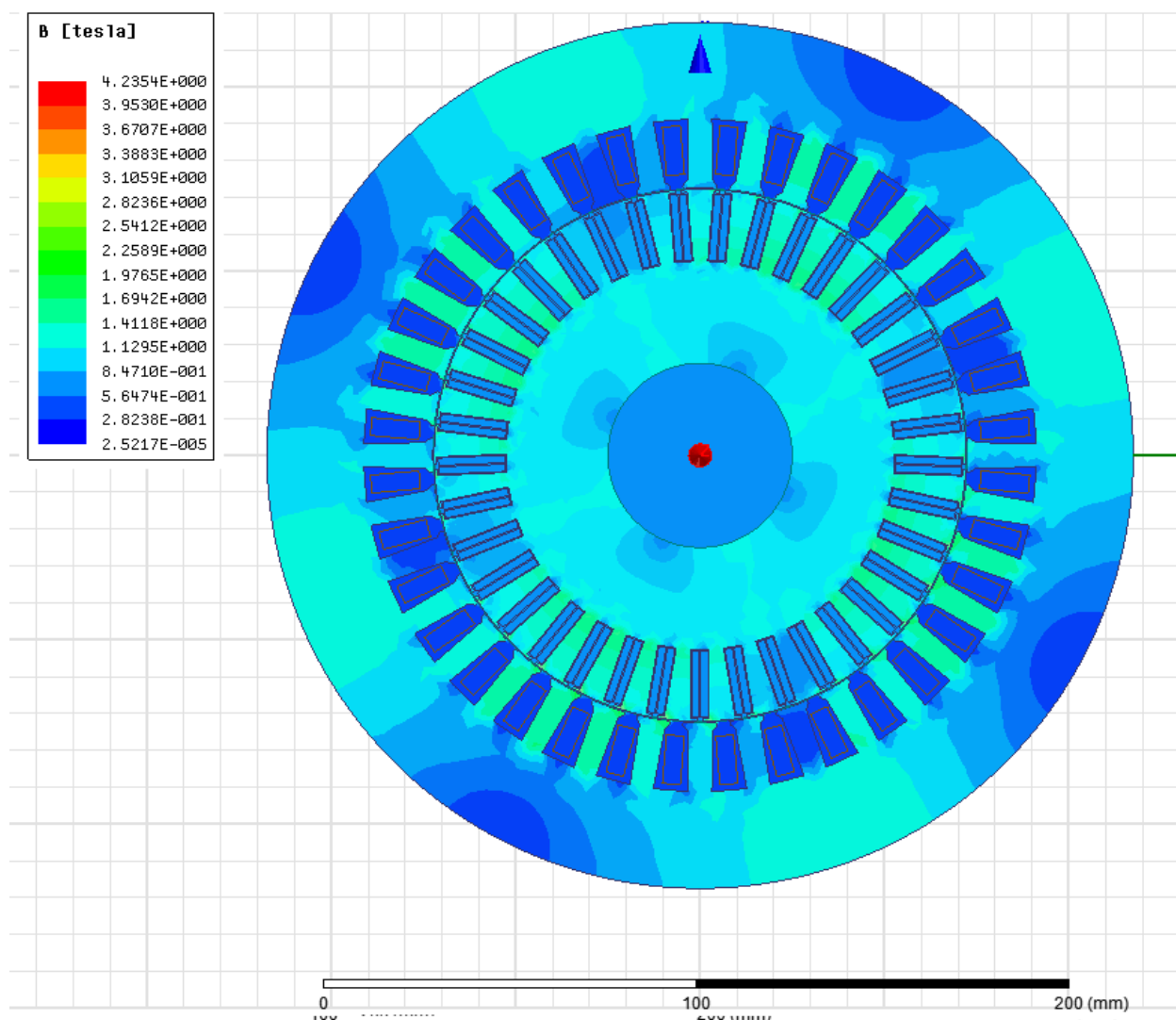


Рисунок 56 - Распределение индукции магнитного поля

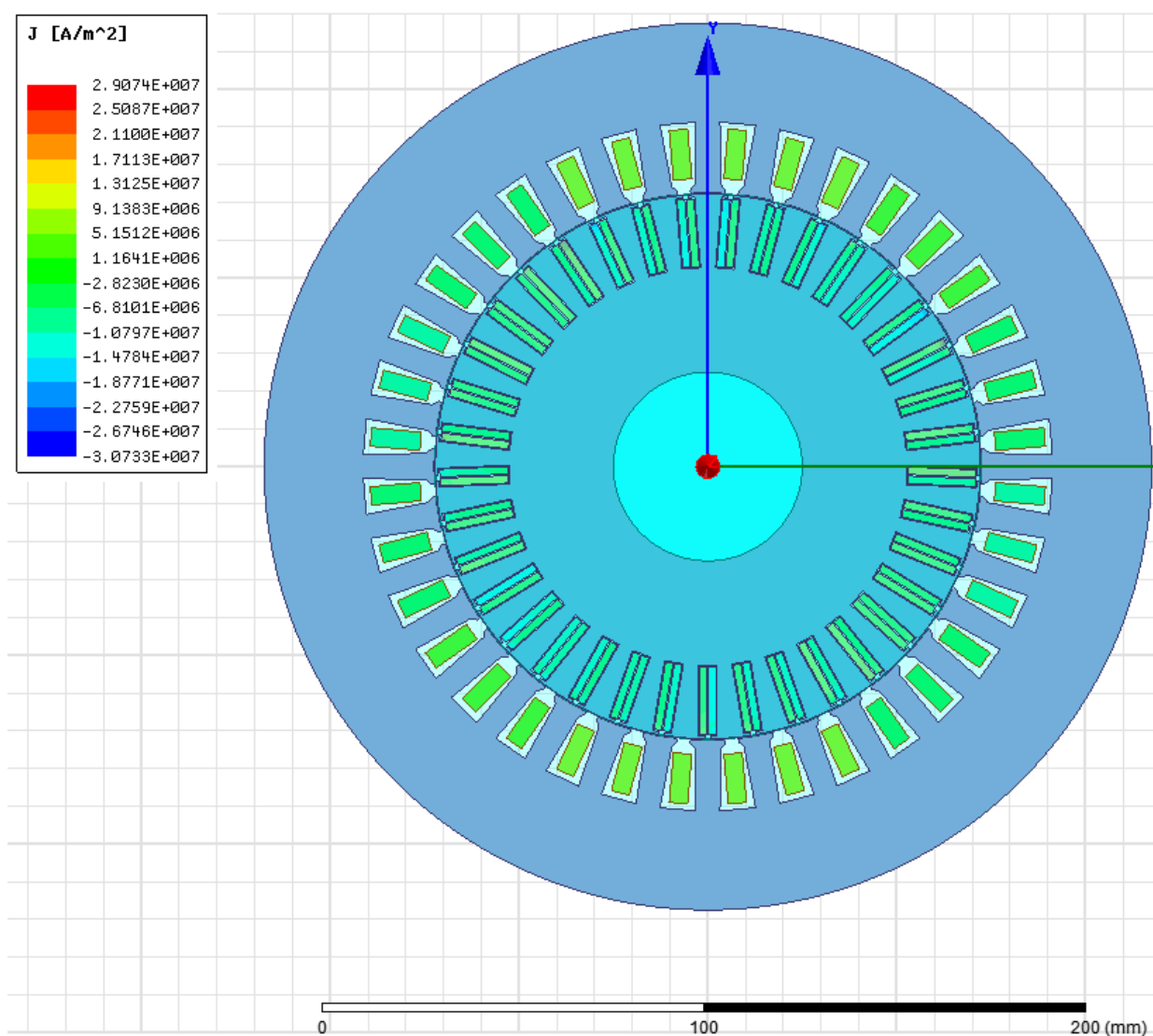


Рисунок 57 – Распределение плотности тока в проводниках

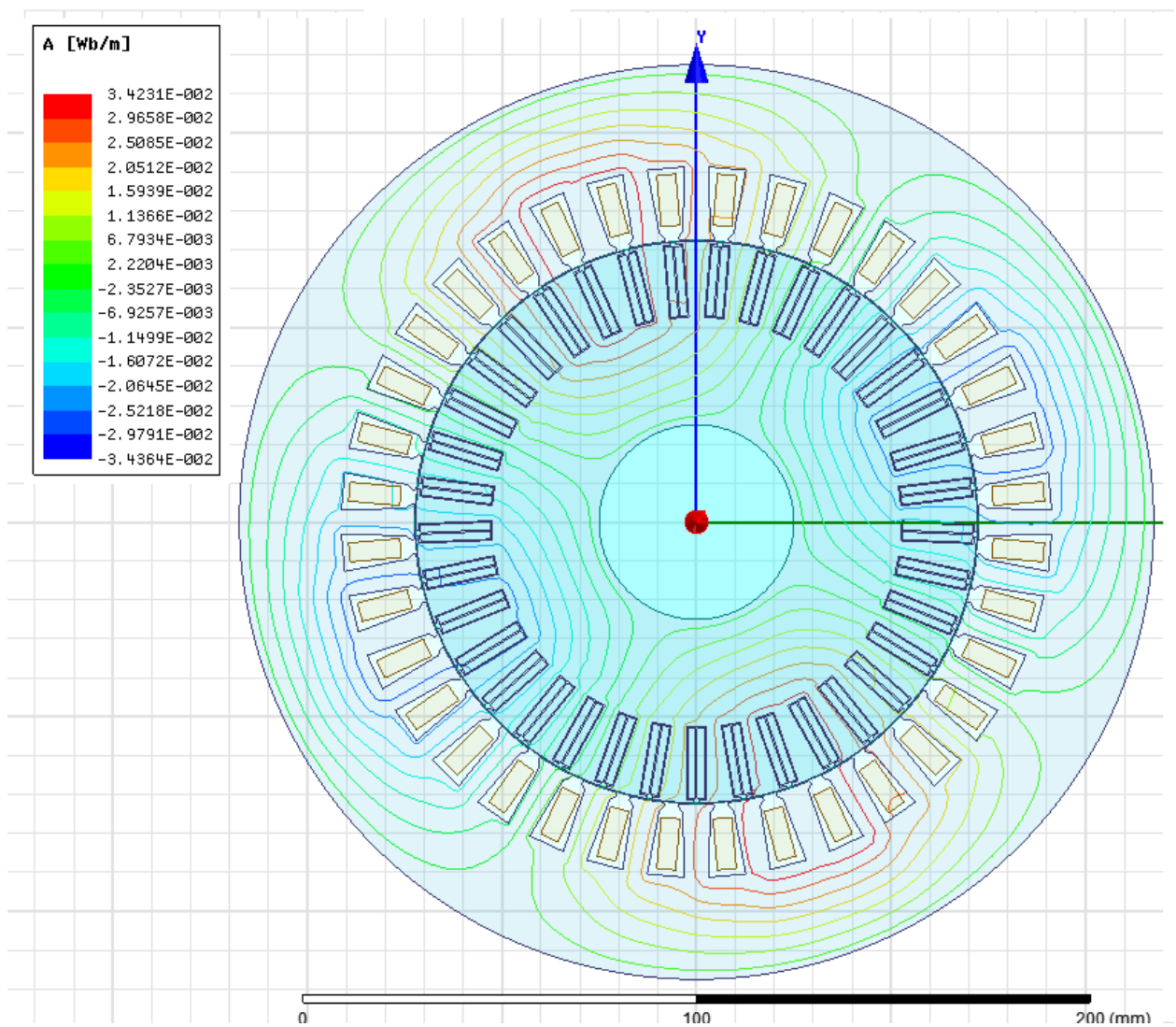


Рисунок – 58 Магнитные силовые линии

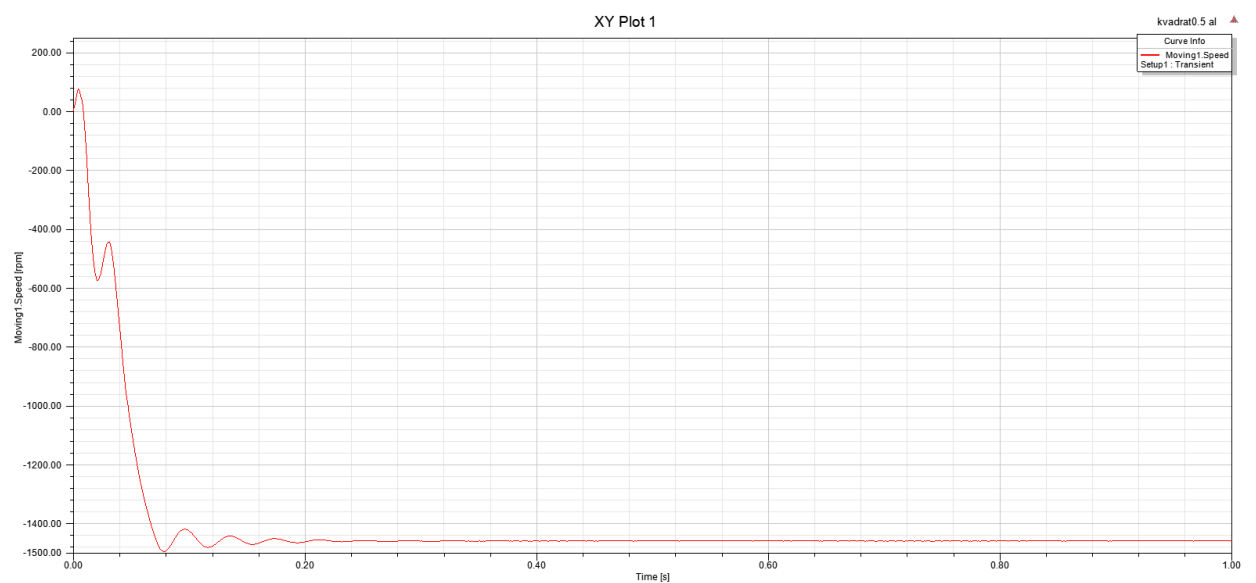


Рисунок 59 -График частоты вращения

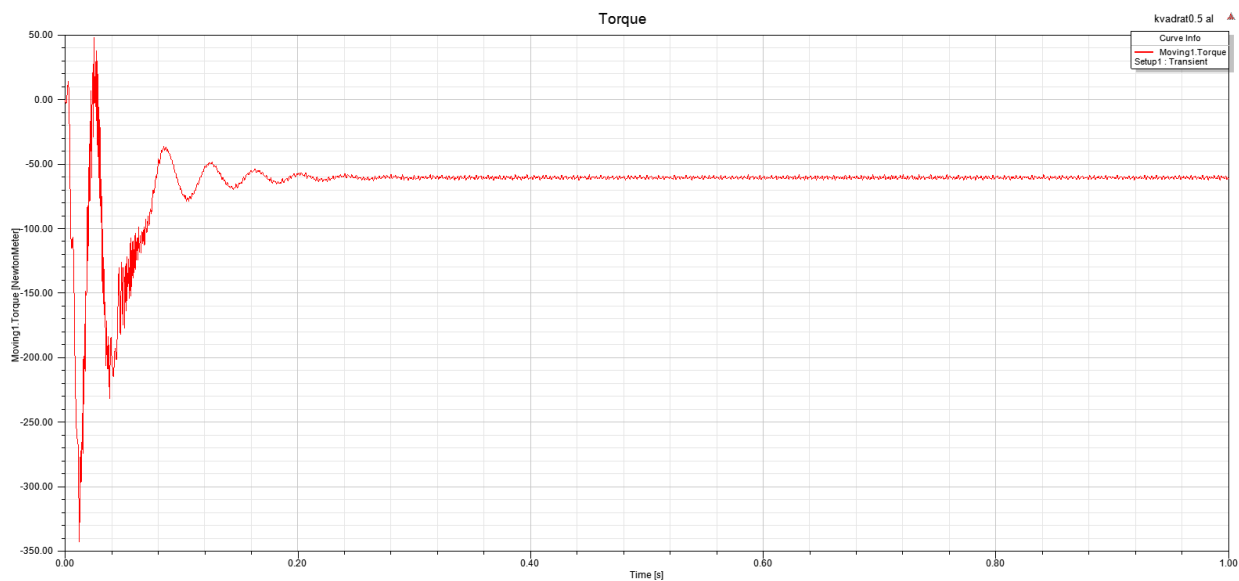


Рисунок 60 - График момента на валу двигателя

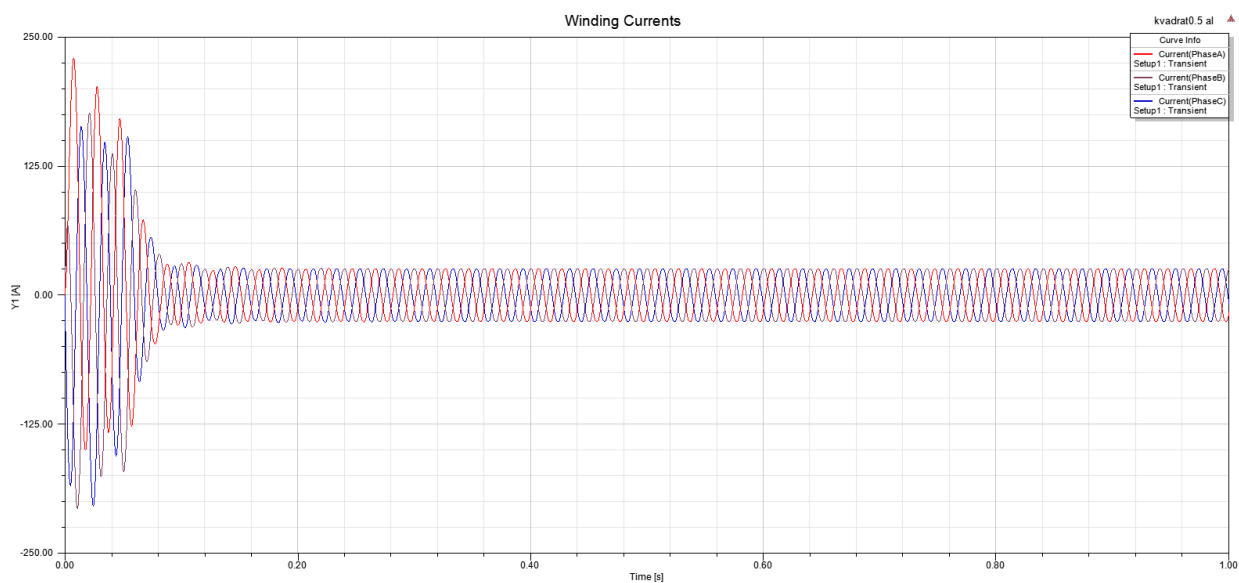


Рисунок 61 - График тока в обмотке статора

Для нахождения угла ϕ использован график напряжения и тока в обмотке статора

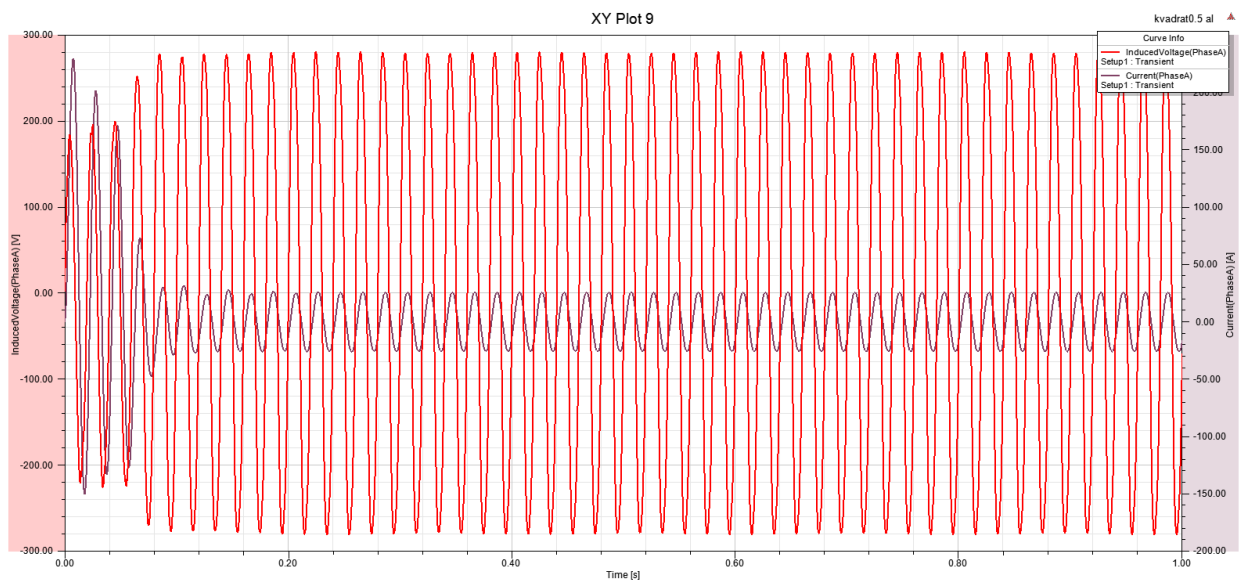


Рисунок 62 - График тока и напряжения в обмотке статора

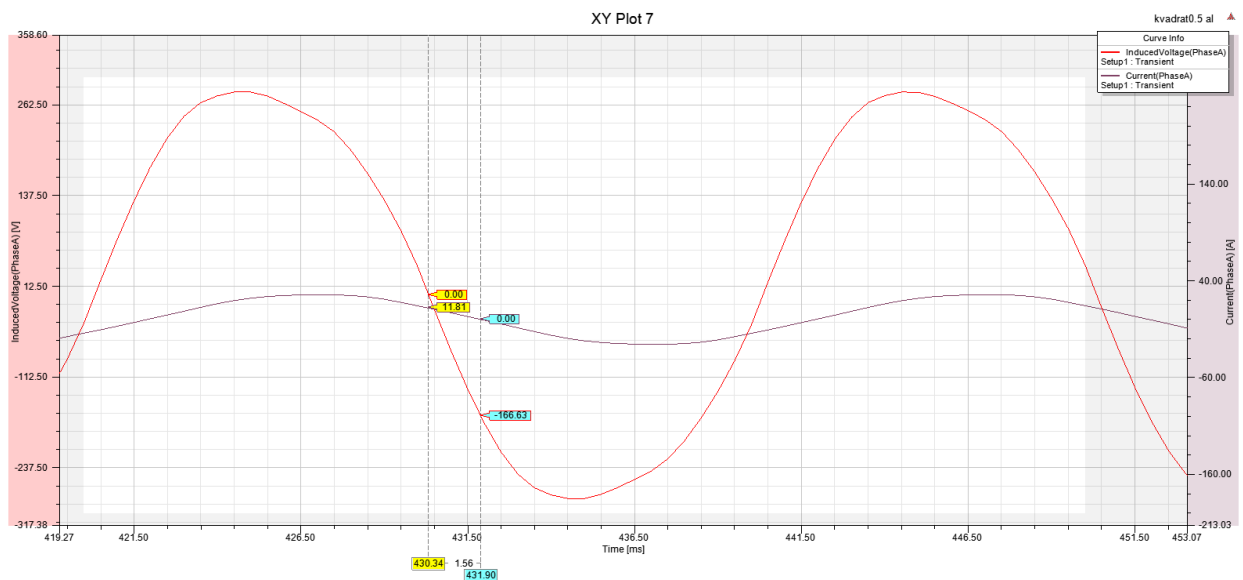


Рисунок 63 - График тока и напряжения в обмотке статора

Амплитуда напряжения опережает амплитуду тока на 1.56 мс. Период T в машине, при частоте 50 Гц, равен 0.02 с.

$$\varphi = \frac{\Delta t}{T} * 360 = \frac{1.57 * 10^{-3}}{0.02} * 360 = 28.08^\circ$$

$$\cos(\varphi) = \cos(28.08^\circ) = 0.882$$

КПД машины был найден исходя из потерь машины в рабочем режиме.

Для нахождения среднего значения потерь, была использована формула Лагранжа

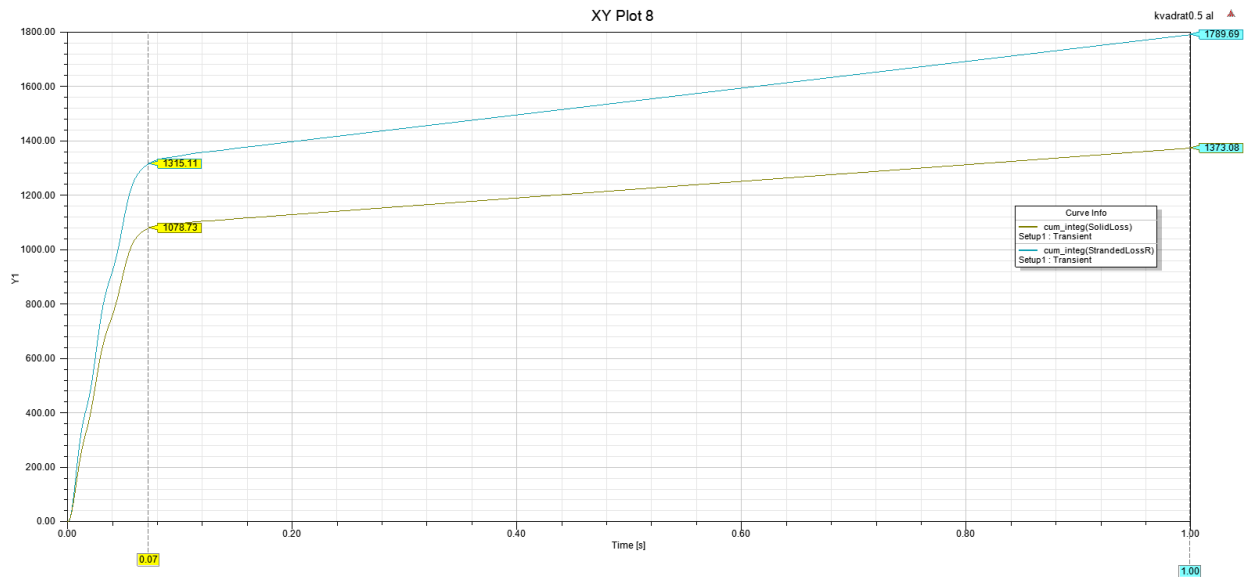


Рисунок 64 - Интеграл функции потерь

$$\overline{f(x)} = \frac{\int_{x_1}^{x_2} f(x) dx}{x_2 - x_1},$$

где

$\overline{f(x)}$ среднее значение функции на заданном участке

$\int_{x_1}^{x_2} f(x) dx$ интеграл функции потерь

$x_2 - x_1$ время рабочего режима на данном участке

$$\overline{f(x)} = \frac{\int_{x_1}^{x_2} f(x) dx}{x_2 - x_1} = \frac{3163 - 2393}{1000 - 60} = 0.828$$

$$\eta = P_2 / P_1;$$

где P_1 - мощность, подводимая к статору двигателя из сети

P_2 – мощность на валу

$$\eta = P_2 / P_1 = 7.5 / (7.5 + 0.828) = 0.901$$

5. Анализ результатов исследования.

В результате моделирования и расчетов были получены энергетические характеристики представленных моделей.

Таблица 1

Энергетические характеристики

Тип обмотки ротора	КПД	Коэффициент мощности
Стандартная алюминиевая обмотка ротора	92.4	0.923
Литая медная обмотка ротора	92.7	0.778
Обмотка с алюминиевыми кз витками на полное полюсное деление	90.8	0.902
Обмотка с медными кз витками на полное полюсное деление	92.3	0.884
Обмотка с алюминиевыми кз витками на половину полюсного деление	88.8	0.881
Обмотка с медными кз витками на половину полюсного деление	90.1	0.882

Моделирование показало, что двигатель с литой обмоткой ротора имеет наибольший КПД и возможность развивать больший номинальный момент чем у остальных представленных машин, что доказывает целесообразность использования подобной обмотки.

Полученные результаты остальных моделей показывают, что преимуществ у нестандартных обмоток ротора в плане энергетических характеристик нет. Производства двигателей с подобными нестандартными конфигурациями ротора считаю нецелесообразно.

6. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

Целью данного раздела является комплексный анализ технического проекта, выполняемого в рамках выпускной квалификационной работы, при этом детально рассматриваются планово-временные и материальные показатели процесса проектирования.

Достижение цели обеспечивается решением следующих задач:

- Планирование технико-конструкторских работ
- Определение ресурсной (ресурсосберегающей) эффективности проекта.

6.1. Планирование технического проекта

Планирование комплекса предполагаемых работ осуществляется в следующем порядке:

- определение структуры работ в рамках технического проектирования;
- определение участников каждой работы;
- установление продолжительности работ;
- построение графика проведения моделирования асинхронного двигателя с различными короткозамкнутыми обмотками ротора.

6.1.1. Структура работ в рамках технического проектирования

Для выполнения проектирования формируется рабочая группа, в состав которой входят научный руководитель и инженер. На каждый вид запланированных работ установлена соответствующая должность исполнителей.

Составлен перечень этапов и работ в рамках проведения проектирования и произведено распределение исполнителей по видам работ. Перечень этапов, работ и распределение исполнителей по данным видам работ приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Перечень этапов работ и распределение исполнителей

Основные этапы	№ работ	Содержание работ	Должность исполнителя
Разработка технического задания	1	Составление и утверждение технического задания	Научный руководитель
Выбор направления технического проектирования	2	Подбор и изучение материалов по теме	Инженер
Расчеты и моделирование асинхронного двигателя в среде ansys maxwell	3	Моделирование базовой модели	Инженер совместно с научным руководителем
	4	Моделирование модели с изолированным ротором	Инженер совместно с научным руководителем
	5	Моделирование модели с витками ротора на пол полюсного деления	Инженер совместно с научным руководителем
Обобщение и оценка результатов	6	Оценка эффективности полученных результатов	Инженер совместно с научным руководителем
Оформление отчета по техническому проектированию	7	Составление пояснительной записки	Инженер
	8	Проверка выпускной квалификационной работы руководителем	Научный руководитель
Защита выпускной квалификационной работы	9	Подготовка доклада и иллюстративного материала	Инженер совместно с научным руководителем

6.1.2. Определение трудоемкости выполнения работ

Трудоемкость выполнения технического проектирования оценивается экспертным путем в человеко-днях и носит вероятностный характер, т.к. зависит от множества трудно учитываемых факторов. Для определения ожидаемого (среднего) значения трудоемкости $t_{ожi}$ используется следующая формула [5]:

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

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

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

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

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

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

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

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

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

В таблице 3 приведены ожидаемая трудоемкость и время выполнения работ.

Таблица 3 – Определение трудоемкости и длительности выполнения работ

Название работы	Трудоёмкость работ						Длительность работ в рабочих днях T_{pi}	
	t_{min} , чел-дни		t_{max} , чел-дни		$t_{ож\ i}$, чел-дни			
	Науч. рук-ль	Инженер	Науч. рук-ль	Инженер	Науч. рук-ль	Инженер	Науч. рук-ль	Инженер
Составление и утверждение технического задания	1	-	3	-	1,4	-	2	-
Подбор и изучение материалов по теме	-	3	-	5	-	3,8	-	4
Моделирование базовой модели	1	22	3	30	1,4	17	2	26
Моделирование модели с изолированным ротором	1	20	3	26	1,4	17	2	23
Моделирование модели с витками ротора на пол полюсного деления	1	22	3	28	1,4	17	2	25
Оценка эффективности полученных результатов	1	4	3	6	1,4	4,8	2	5
Составление пояснительной записки	-	5	-	12	-	7,8	-	8
Проверка выпускной квалификационной работы руководителем	2	-	4	-	2,8	-	3	-
Исправление найденных ошибок	-	3	-	6	-	4,2	-	5
Подготовка к защите ВКР	2	4	4	8	2,8	5,6	3	6

В приведенной выше таблице номерам этапов соответствуют следующие виды выполняемых работ:

№ 1 – составление и утверждение технического задания – включает в себя изучение первичной информации об объекте, формулировку требований к техническому проекту, составление задания и плана на работу;

№ 2 –Подбор и изучение материалов по теме – ознакомление с предметом работы, изучение различных источников, касающихся различных сторон технического проекта;

№ 3 – Моделирование базовой модели в среде ansys maxwell .

№ 4 – Моделирование модели с изолированным ротором.

№ 5 – Моделирование модели с витками ротора на пол полюсного деления.

№ 6 – Составление пояснительной записки – оформление результатов проектной деятельности.

№ 7 – Проверка проекта – включает в себя ознакомление руководителя с выполненными работами, возможные корректировки и исправления, заказ оборудования.

№ 8 – Исправление найденных ошибок.

№ 9 – Подготовка к защите ВКР – подготовка доклада иллюстративного материала, проработка возможных вопросов по ВКР.

По результатам расчетов строится диаграмма Ганта, приведенная в таблице 4.

6.1.3. Разработка графика проведения технического исследования

Наиболее удобным и наглядным в данном случае 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.

На основе таблицы 3 строим план-график. График строится для максимального по длительности исполнения работ в рамках технического проекта, с разбивкой по месяцам и декадам (10 дней) за период времени написания ВКР. При этом работы на графике выделяются различной штриховкой в зависимости от исполнителей, ответственных за ту или иную работ

Таблица 4

№	Вид работ	Исполнитель работ	T _{pi} , раб. дн.	Продолжительность выполнения работ													
				Февр.		Март			Апрель			Май			Июнь		
				1	2	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	
1	Составление и утверждение технического задания	Научный руководитель	2														
2	Подбор и изучение материалов по теме	Инженер	4														
3	Моделирование базовой модели	Инженер	26														
		Научный руководитель	2														
4	Моделирование модели с изолированным ротором	Инженер	23														
		Научный руководитель	2														
5	Моделирование модели с витками ротора на пол полюсного деления	Инженер	25														
		Научный руководитель	2														
6	Оценка эффективности полученных результатов	Инженер	5														
		Научный руководитель	2														
7	Составление пояснительной записки	Инженер	8														
8	Проверка выпускной квалификационной работы руководителем	Научный руководитель	3														
9	Исправление найденных Ошибок	Инженер	5														
10	Подготовка к защите ВКР	Инженер	6														
		Научный руководитель	3														

Исходя из составленной диаграммы, можно сделать вывод, что продолжительность работ занимает 12 декад, начиная со второй декады февраля, заканчивая третьей декадой мая. Учитывая вероятностный характер оценки трудоемкости, реальная продолжительность работ может быть как меньше (при благоприятном стечении обстоятельств), так и несколько превысить указанную продолжительность (при неблагоприятном стечении обстоятельств).

Далее, по диаграмме Ганта можно предварительно оценить показатели рабочего времени для каждого исполнителя.

Продолжительность выполнения проекта в рабочих днях составит 107 дней. Из них:

- 98 дня – продолжительность выполнения работ студентом;
- 16 дней – продолжительность выполнения работ руководителем.

6.2. Определение сметы затрат на технический проект

Смета затрат включает в себя следующие статьи:

- Материальные затраты
- Заработную плату исполнителей технического проекта
- Отчисления во внебюджетные фонды
- Накладные расходы

В настоящую смету включается основная заработная плата научных и инженерно-технических работников, отчисления во внебюджетные фонды. Накладные расходы, а также материальные расходы связанные с закупкой канцелярской продукции.

6.2.1. Заработная плата исполнителей проекта

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

$$З_{зп} = З_{осн} + З_{доп}, \quad (3)$$

где, $З_{осн}$ – основная заработная плата;

$З_{доп}$ – дополнительная заработная плата (12-15 % от $З_{осн}$).

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

$$З_{осн} = З_{дн} \cdot T_p \quad (4)$$

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$З_{дн} = \frac{З_{т} + З_{д} + З_{рк}}{F_{д}}, \quad (5)$$

где $З_{т}$ – месячный должностной оклад работника, руб.;

$З_{д}$ – доплата за руководство расчетного проектирования;

$З_{рк}$ – доплата с учетом районного коэффициента, $K_{рк}$ равный 1,3 (для Томска).

$F_{д}$ – фонд рабочего времени персонала, раб.дн.

Расчет основной заработной платы приведен в таблице 4.2

Таблица 5.

Исполнители	$З_{т}$, руб	$З_{доп}$, руб	$З_{рк}$, руб	$З_{м}$, руб	$З_{дн}$, руб	T_p , дн	$З_{осн}$, руб
Руководитель	19052,0	2200,0	6375,6	27626,6	1062,6	16	17002
Инженер	8000,0	-	2400,0	10400,0	400	98	39200
ИТОГО							56202

6.2.2. 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:

$$З_{внеб} = k_{внеб} \cdot (З_{осн} + З_{доп}), \quad (7)$$

где $k_{внеб}$ – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды (пенсионный фонд, фонд обязательного медицинского страхования и пр.), для Томского Политехнического Университета равный 30,2%.

$$З_{внеб} = 0,302 \cdot 63500 = 19200 \text{ руб.}$$

6.2.3. 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 и т.д. Их величина определяется по следующей формуле:

$$З_{накл} = k_{нр} \cdot З_{бюджет \text{ техн. проекта}}, \quad (8)$$

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

Величина коэффициента накладных расходов принимается в размере 16%.

Расчет накладных расходов приведен в таблице 6.

Таблица 6

Наименование статьи	Сумма, руб.	Структура затрат, %
1. Материальные расходы	1000	1,0
2. Затраты по заработной плате исполнителей проекта	63500	63,8

3. Отчисления во внебюджетные фонды	19200	19,2
4. Накладные расходы	15900	16,0
5. Бюджет затрат на технический проект	99600	100,0

Исходя из представленной выше таблицы, можно сделать вывод, что общие затраты на реализацию технического проекта составят 99600 рублей, из которых более половины (63,8%) составят затраты по заработной плате исполнителей проекта, 19,2% – затраты на отчисления во внебюджетные фонды.

6.3. Определение ресурсоэффективности проекта

Определение ресурсоэффективности технического проекта можно оценить с помощью интегрального критерия ресурсоэффективности [5]:

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

где I_{pi} – интегральный показатель ресурсоэффективности;

a_i – весовой коэффициент разработки;

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

Для оценки ресурсоэффективности проекта были подобраны критерии эффективности такие как: экономичность, гибкость, безопасность, обеспечение надлежащего качества электроэнергии, надежность.

- Под экономичностью понимают что система электроснабжения должна быть выполнена таким образом чтобы затраты на ее создание, эксплуатацию и развитие должны быть минимальными и иметь минимальный срок окупаемости.
- Гибкость – возможность наращивания производственной мощности предприятия, при вводе более мощного оборудования.

- Надежность – бесперебойное снабжение потребителей электроэнергией в необходимом количестве и установленного качества.
- Безопасность – это свойство системы электроснабжения сохранять с некоторой вероятностью безопасное состояние при выполнении заданных функций в условиях, установленных нормативно-технической документацией (монтаж, эксплуатация и проведение ремонтных работ).
- Под обеспечением надлежащего качества электроэнергии понимается поставка потребителю электроэнергии соответствующей по характеристикам определенным в ГОСТ 32144-2013.

Критерии ресурсоэффективности и их весовой коэффициент приведены в таблице 7.

Таблица 7 – Сравнительная оценка характеристик проекта

Критерии	Весовой коэффициент	Балльная оценка разработки
1. Экономичность	0,15	5
2. Гибкость	0,10	4
3. Безопасность	0,25	5
4. Обеспечение надлежащего качества электроэнергии	0,25	5
5. Надежность	0,25	5
Итого:	1,00	

Расчет интегрального показателя ресурсоэффективности приведен ниже:

Интегральный показатель ресурсоэффективности:

$$I_{pi} = 0,15 \cdot 5 + 0,1 \cdot 4 + 0,25 \cdot 5 + 0,25 \cdot 5 + 0,25 \cdot 5 = 4,9$$

Показатель ресурсоэффективности проекта имеет достаточно высокое значение (по 5-бальной шкале), что говорит об эффективности использования технического проекта.

6.4. Выводы по разделу финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

- при планировании исследовательских работ был разработан график занятости для трех исполнителей, составлена ленточная диаграмма Ганта, позволяющая оценить и лучше спланировать рабочее время исполнителей;
- составление сметы исследовательского проекта позволило оценить первоначальный бюджет затрат на реализацию технического проекта, а также дать рекомендации по оптимизации этих затрат;
- оценка ресурсоэффективности проекта, проведенная по интегральному показателю, дала высокий результат (4,9 по 5-бальной шкале), что говорит об эффективности реализации исследовательского проекта.

С учетом вышеотмеченного, можно заключить, что внедрение, анализируемой в диссертации, технологии сопряжено со значительными изменениями технологии и масштабным внедрением нового оборудования. В связи с этим, экономическая оценка экономической эффективности внедрения исследуемых в работе двигателей в производство требует дополнительного изучения, выходящего за рамки данной работы.

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 охраны окружающей среды во время технологического процесса общей сборки асинхронного двигателя.

Для осуществления этого технологического процесса применяется следующее оборудование, инструменты и приспособления Шкаф сушильный ШСП-0.25-500, Балансировочный станок ДБ10, Станок токарный 16Б16Т1, Гидропресс ДЕ2428

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;

7.1.1. 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 Па (СанПиН 2.2.4.548-96).

Значения оптимальных и допустимых норм микроклимата в рабочей зоне производственных помещений представлены в таблице 8.

Таблица 8 – Оптимальные и допустимые нормы микроклимата в рабочей зоне производственных помещений [18].

Сезон года	Категория работ	Температура, °С		Относительная влажность, %		Скорость движения воздуха, м/с	
		Оптим альное	Допус тимое	Оптим альное	Допус тимое	Оптим альное	Допусти мое
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 9 – 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.

7.1.2. 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 [9].

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.

7.1.3. 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 $\frac{2}{3}$ выделяемого тепла. К горячим цехам относятся цехи, в которых тепловыделения превышают 23 Дж/м^3 , 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 10–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.

7.1.4. 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 11 – Нормы освещенности производственных помещений [19].

	Характеристика зрительной работы	Наименьший размер или объект различения	Разряд зрительной работы	Под-разряд зрительной работы	Контраст объекта с фоном	Характеристика фона	Освещенность, лк
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 характеристике зрительной работе, наименьшему размеру объекта различия, разряду зрительной работы, контрасту объектов с фоном, а также характеристики фона как мы видим в таблице 11.

7.1.5. 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 12 – 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 13 приведены граничные значения напряжений, при превышении которых требуется выполнение защиты от косвенного прикосновения в зависимости от категории помещения [9].

Таблица 13 – 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.

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 [15] величина освещенности корректируется с учетом коэффициента запаса, так как со временем за счет загрязнения светильников и уменьшения светового потока ламп освещённость снижается.

Таблица 14 – 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 $h = 6 \text{ м}$;
- длина $l = 40 \text{ м}$;
- ширина $b = 15 \text{ м}$.

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: $h_e = 1 \text{ м}$.

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:

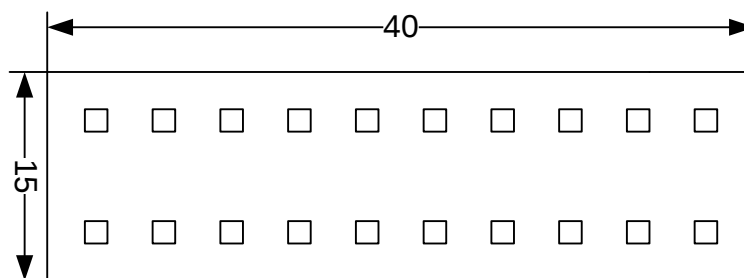


Рисунок 65 – План помещения в масштабе.

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 асинхронных 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.

В процессе производства образуются твердые отходы, такие как металлическая стружка, упаковочный картон, упаковочное дерево, которые утилизируются как обычный мусор.

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.

7.5.2. 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 - производства, связанные с обработкой негорючих веществ и материалов в горячем, раскаленном или

расплавленном состоянии, сопровождающиеся выделением лучистого тепла, систематическим выделением искр и пламени, а также производства, связанные со сжиганием твердого, жидкого и газообразного топлива.

Источник: <http://www.znaytovar.ru/s/Klassifikaciya-proizvodstv-i-po.html> (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-I» класса зоны по ПУЭ [10]

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[14]:

- 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, исключающие 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.

Заключение:

В результате моделирования и расчетов были получены энергетические характеристики представленных моделей. Моделирование всех моделей производилось в программе Ansys Maxwell в transient режиме, так как эта программа учитывает материалы и их свойства, позволяет задавать вращение ротора и позволяет графически выводить данные такие как магнитные поля,

плотности тока, а также частоту вращения. Во время расчета нестандартных обмоток ротора были произведены доработки базовой модели до нестандартных моделей, путём изменения ротора двигателя. Во время выполнения данной работы были получены определенные параметры машины, такие как потери, графики тока и напряжения, частота вращения и момент, основываясь на которых мы рассчитали энергетические характеристики двигателей.

Результаты показывают, что целесообразно использовать лишь медную литую обмотку ротора, так как она имеет больший КПД чем у всех исследуемых машин, и способна развивать больший номинальный момент в тех же габаритах. Использование же нестандартных короткозамкнутых обмоток ротора не даёт существенных преимуществ в плане энергетических характеристик.

Во время экономического анализа исследования был проведен анализ ресурсоэффективности проекта, проведенная по интегральному показателю, который дал высокий результат (4,9 по 5-бальной шкале), что говорит об эффективности реализации исследовательского проекта.

Раздел социальной ответственности описывает рабочее место персонала лаборатории/цеха, деятельность которых подразумевает активное использование комплекса устройств диагностики. Проанализированы опасные и вредные факторы производственных работ. Рассмотрены меры по предотвращении чрезвычайных ситуаций.

Список литературы:

1. Чувашев В. А., Папазов Ю. Н., Чуванков В. Ю., Паршиков А. М., Велков А. А. Энергоэффективные асинхронные двигатели для угольной промышленности Украины. Украинский НИИ взрывозащищенного и рудничного электрооборудования (УкрНИИВЭ) Украина, 83052, Донецк,

2 Method of making high efficiency induction motor with multi-cage circuit rotor патент №4,095,332, кл. H02K 17/12, 1978 г., Соединенные Штаты Америки

3. Патент №2208892 - Индукционный асинхронный мотор Варпетян Вардгес Саргисович Июль, 2003. Г. Ереван

4. Способ повышения эффективности работы асинхронной короткозамкнутой электрической машины и асинхронная короткозамкнутая электрическая машина (варианты). Байдасов Николай Иванович. Патент № RU2 393 613C1 Закрытое акционерное общество "Технология СМП".

5. ГОСТ 12.0.003-74. ССБТ. Опасные и вредные производственные факторы. Классификация

6. ГОСТ 12.4.011–89 ССБТ. Средства защиты работающих. Общие требования и классификация.

7. ГН 2.2.5.1313–03. Предельно допустимые концентрации (ПДК) вредных веществ в воздухе рабочей зоны. Гигиенические нормативы.

8. ГОСТ Р 22.0.01-94. Безопасность в ЧС. Основные положения.

9. СН 2.2.4/2.1.8.562–96. Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории застройки.

10. СанПиН 2.1.6.1032-01. Гигиенические требования к обеспечению качества атмосферного воздуха населенных мест.

11. ГОСТ 12.4.051-87. Средства индивидуальной защиты органа слуха. Общие технические требования и методы испытаний.

12. ПУЭ (6-е изд.) в разд.1.1.13. Классификация помещений по степени опасности поражений людей электрическим током. Госэнергонадзор Москва, 2000.

13. НПБ 105-03Определение категорий помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности

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; 740МВ). — 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.

Приложение А

The influence of the winding type of rotor on the energy properties of asynchronous electric motors

Студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5ГМ4Г	Виноградов Д.С.		

Консультант кафедры электротехнических комплексов и материалов:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Цукублин А.Б.	к.т.н.		

Консультант – лингвист кафедры иностранных языков ЭНИН:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель	Федоринова З.В.	к.п.н.		

Introduction

Nowadays induction motors are widely used throughout the *world* in industry. Their widespread use depends on simplicity of the operation, construction and *maintenance* procedures, low cost and high reliability.

Thus, in 1888 Tesla introduced his first prototype of the induction motor. However, it has not received widespread use due to low technical indicators at the time of starting the engine. The modern construction of the rotating transformer, as we know it today, was designed by P. Bouchereau, French engineer, who has developed a modern analogue of the induction motor.

Dolivo-Dobrovolsky found a very serious disadvantage of these engines such as - limited starting torque. He called the cause of this deficiency - strongly shorted rotor and proposed motor design with slip-ring motors.

The relevance of this work is due to more and more increasing requirements to improve the energy performance in electrical machines. As many motor applications require the change of speed, the use of asynchronous motors with frequency converter is a priority because of the greater efficiency of these engines. To increase the power characteristics of the asynchronous motor, works are being done in several directions, such as replacing a rotor winding material or change its type and configuration. That is way, in our work we decided to simulate non-standard rotor windings in order to compare them with the basic model, which is a standard induction motor.

The aim of the present work is to simulate an induction motor with a variety of squirrel-cage rotor windings in *Ansys Maxwell environment*.

The objectives of the work are:

- to develop the base model of the induction motor;
- to develop models of asynchronous motors with non-standard windings;
- to calculate the characteristics and draw conclusions.

The research object is the model of the induction motor.

The research methods are based on mathematical modeling of complex diagnostic devices in the Ansys Maxwell software environment with subsequent processing of the obtained results.

The scientific novelty of the work:

The relevance of this work is due to more and more increasing requirements to improve the energy performance in electrical machines. Since many motor

applications require that you change the speed, the use of asynchronous motors with frequency converter is a priority because of the greater efficiency of these engines.

Scientific novelty of the present work in evaluation opportunities for improving energy performance by changing the design and material of the induction motor rotor.

Structure and volume of the work

Our work has of 112 pages (excluding appendix and consists of introduction, basic units, conclusion, references and appendices. Each unit consists of several logically interconnected chapters followed by a conclusion where we enumerate the results of our work concerning that very unit. The total outcome of the research is summarized in a separate conclusion. Our references consist of 16 sources represented by books of Russian and foreign authors.

1. Advantages of asynchronous motor with squirrel-cage rotor.

Asynchronous motor with squirrel-cage rotor are widely used in industries. Almost 70% of the industrial motors and drives comes under this category. In Squirrel cage induction motors, rotor windings wound in squirrel cage. These motors are very robust in construction and very cheap. These motors can operate at any working conditions. Some of the advantages are the following:

- approximately constant speed under different loads;
- the possibility of short-term mechanical overload;
- simplicity of design;
- ease of start-up and ease of automation;
- reliable and practical design to.
- do not fastidious operation.

Disadvantages of asynchronous motor with squirrel-cage rotor:

- the difficulty in regulating the speed of rotation;
- a large inrush current;
- low $\cos \varphi$ at underload.
- not possible without wasting power control rate.

It is known that the induction motor in the start-up time has a problem: large inrush current, which can exceed the rated current value of 5-8 times. It is also known that increasing the active rotor winding resistance at the time of start-up can improve starting characteristics. If you do not take into account these features and does not make specific decisions in the rotor structure (deep groove for implementing the skin effect), then bad starting characteristics can significantly complicate the use of asynchronous motors in electric drives.

As a result of a patent search are many proposed solutions to improve the energy characteristics of the induction motor was found. Similar work is carried out in all developed countries of the world, as asynchronous motors are the most common energy consumers in the world.

Attempts to use copper instead of aluminum casting squirrel cage winding BP in domestic practice were made more in 1937 (KhEMZ, Kharkov). The

technology has been very time consuming and complex and, moreover, was a high percentage of brake. V 1967 lattice L. (United States) said as the latest achievement in the field of casting of copper alloys that by TT Castelli (Italy) are cast from copper under pressure squirrel cage winding for asynchronous power of 1 kW. The engine has a rotor with a smaller size in length (2 times) for the same power, compared with the blood pressure with an aluminum rotor winding. It should be noted that the molding method is not described, the serial output data is not.

Attempts to modernize the asynchronous motor is undertaken in many countries around the world: In the USA, work on implementation LMOR started in 1997 by the Association for the development of copper technology. To achieve the goal of the Association joined forces experts and developers in 17 countries. For a long time remained unsolved problem of sustainability of molds for the erosion of the copper melt. Industrial production of viable molds in the US for manufacturing LMOR for BP has allowed since 2002 to make standard blood pressure ranging from 3 to 200 kW with high efficiency by 1.2-3.2%. The German company SEW-Eurodrive 2003 supplies to the world market of blood pressure ranging from 1.1 to 37 kW, in which the rotor winding is made of copper under pressure lithium. These motors have an efficiency of 94-96%, which is significantly higher than US standards ("Erast") and the EU (Premium Efficiency). Similar studies were conducted in other countries, and, since 2004, the serial production of blood pressure with LMOR in Italy and France, in Brazil (manufactured by WEG), in India (the firm Coimbatore Tamil Nadu) and in other countries. [1]

Known "METHOD OF MAKING HIGH EFFICIENCY INDUCTION MOTOR WITH MULTI-CAGE CIRCUIT ROTOR", comprising a stator and a rotor comprising a plurality of conductive rods arranged in slots symmetrically around the perimeter of its surface and end rings connecting said rods in an odd number of separate identical circuits and operates in the same manner. The use of technical solutions to reduce the effect of the higher harmonics of the stator voltage as the electromagnetic brake of the machine, but its drawback is the small starting torque,

which limits its use only drives with the so-called "fan" feature of having a small load torque at start-up. [2]

There is a "INDUKTSIONNYYASINHRONNY MOTOR", comprising a stator and a rotor including a conductive rods arranged in grooves symmetrically on the perimeter and parallel to the motor axis of rotation, and at each end of the rotor end of each rod is connected with all the ends of the rods, which are shifted with respect to said rod on the perimeter of the rotor on the value of the pole pitch angle. Said technical solution provides a process in which "n" of the magnetic fields of the stator and rotor form a resultant electromagnetic torque. The disadvantages of this method include the fact that the increase in torque in this technical decision takes place only in certain positions of the rotor relative to the stator, resulting in uneven torque reversal on the rotor without sufficient increase in the starting torque. This limits its applicability drives the so-called "fan" feature of having a small load torque at start-up, increasing by a quadratic dependence on the extent of dispersal. The unevenness of the torque causes knocking noises and vibrations of the machine and restricts its applicability flywheel drives, and also affects the increased wear. [3]

Known method for improving an induction motor, which is the impact of the rotating electromagnetic field of the stator for shorted turns of the rotor winding, passing through the zone adjacent to the boundaries of the pole pitch of the stator, characterized in that the additional impact of the rotating electromagnetic field of the stator is carried out on plots shorted turns of the rotor winding extending through areas adjacent to the borders of half the pole pitch of the stator. [4]

2 Modelling tools

With the development of modeling tools, as well as increased demands on the accuracy of the modeling and development of electric cars, it was decided to use modern means of simulation, allows the calculation of electromagnetic fields without the engine of its creation in real life. One alternative methods of calculation of magnetic systems that make up the electrical machinery and apparatus, is the use of the finite element method (FEM) for the simulation of electromagnetic fields. As

a modeling tool for calculating the mathematical model of the asynchronous squirrel-cage motor is selected

ANSYS Maxwell program using the finite element method to perform electromagnetic calculations. The choice of this product due to its prevalence and features. Use of this product was due to the inability to bring these products to life without substantial funding.

ANSYS Maxwell - is a modern, high-performance software for modeling of two-dimensional and three-dimensional electromagnetic fields used for the analysis of models of engines, sensors, transformers and many other electrical and electromechanical devices for various applications. Mathematical basis of ANSYS Maxwell - finite element method (Finite Element Method FEM), the essence of which is to find the only possible distribution of the electromagnetic field in a given region at the estimated these boundary conditions and excitations. Software to acceptable accuracy calculates the static, harmonic electromagnetic and electric fields and transients field problems. ANSYS Maxwell used in the automotive, defense, the aerospace industry and in many industrial applications: Electromechanics: motors and generators, and translational rotary solenoids, relays, MEMS. Electromagnetism: coils, permanent magnets, sensors. Power Electronics: transformers, converters, bus bars, IGBT transistors and other devices.

The behavior of electromagnetic fields: study of the screening, electrostatic discharge, electromagnetic compatibility, semiconductors. ANSYS Maxwell supports the following types of tasks:

- Three-dimensional electrical field, which may relate to one of three categories;
- Three-dimensional electrostatic field in dielectrics due proliferation voltages and charges given by the user. Additional calculated values, you can determine - torque, power and capacity.

- Electric field in the three-dimensional conductors described the spatial distribution of voltage, electric field and a constant current density. Main additional value in the case - the power loss.
- The combination of the previous two options with the decisions in the field in
conductors used as the boundary conditions for electrostatic problem.
- Magnetostatic linear and non-linear three-dimensional field, caused by a certain
user density spread DC voltage, a permanent magnet or externally applied magnetic fields. Additional values, you can determine - torque, power, and inductance (self and Vzaimoinduktivnye).
- Harmonic (Eddy current) (sinusoidally varying time) established three-dimensional magnetic field induced eddy currents in massive (solid) conductors,
induced user-defined spread of alternating currents (Of the same frequency but
may have different phases on) or external applied magnetic fields. Solution of the
problem of eddy currents – this full wave solution, including electromagnetic
effects wave radiation.
- Transition process (time-domain) in three-dimensional magnetic fields caused by the permanent magnets and windings, energized source voltage and / or current with an arbitrary the change in time; winding is connected to electrical circuits. Effects of rotational or translational motion can also be included in the simulation. ANSYS Maxwell realized parallel and distributed computing:
- Can be used for the calculation of all available cores with a single physical memory.
- Run is based on the remote machine.

- Starting parametric and optimization calculations set of gateways. ANSYS Maxwell is equipped with a built-in graphic editor, functionality which fully satisfies user needs during the preparation of the model for the calculation of;
 - Import of CAD-model of all modern three-dimensional packages modeling.
 - IGES
 - Parasolid
 - CATIA
 - NX
 - Base 2D, 3D primitives: rectangle, circle, box, cylinder, cone, sphere, torus.
 - Ability to create geometric models from top-down (Operations with geometric primitives) and bottom-up (point, line, surface volumes).
 - Operations on geometric objects (addition, subtraction, intersection, etc.).
 - The ability to merge multiple geometric objects in one.
 - The parametric geometry.
 - Check for small geometry, singularities, are incompatible with the possibility of visual inspection.
 - Service measurement geometry: the scope of the request, surface area, line length and others. Data
 - Ability to work only with selected groups of primitives.
- There are a variety of options for setting up a grid of final elements:
- Adaptive grid.
 - Fully automated procedure partitioning into tetrahedral solids of arbitrary geometry.
 - Thickening of the grid (two or three-dimensional) on the existing partition.
 - Unstructured meshes with the partition border areas "regular layers"
 - Restructuring screen in accordance with the resultant calculate nodal displacements

Import grid model from other projects.

- The presence of the auxiliary grid operations to control sampling pattern.

Calculated ANSYS modules integrated to the clearing platform ANSYS

Workbench for more simple solutions for data exchange associated and

joint

problems:

- ANSYS Maxwell - ANSYS Mechanical solutions for the related

Electromagnetic

- thermal, strength problems.

- ANSYS Maxwell - ANSYS Fluent to solve related Electromagnetic -

thermal

problem.

- ANSYS Maxwell - ANSYS IcePack to solve related Electromagnetic -

thermal,

tasks.

- ANSYS Maxwell - ANSYS Simplorer.

The joint solution of the finite tasks running simulator. The combination of ANSYS Maxwell ANSYS Simplorer with simulator. It allows the calculation of high-electromechanical systems. These technologies allow users to perform complex payment systems composed of digital and analog circuits, sensor, electromagnetic devices, mechanical, hydraulic or other types loads, thereby to approximate the model to be analyzed the actual operating conditions. Utilities extend the capabilities ANSYS Maxwell:

RMxpert - a program that accelerates the process of designing and optimization rotating electrical machines.

RMxpert uses classic analytical theory of electric machines and method equivalent a magnetic circuit for computing operating characteristics of the machine.

RMxpert relevant in the case when it is necessary to simulate the electrical machine standard type, for which the method of calculation known. these techniques "Sewn" into the program, the user only needs to enter the initial data: the geometrical

parameters and material properties of the stator and rotor, On the type of winding and wiring diagram, data on diet, load fan, etc.

Optimetrics - universal additional program that It adds to the draft parametric optimization, statistical analysis and sensitivity analysis. Optimetrics available in ANSYS Maxwell interface as an option in the project tree. Using Optimetrics possible, for example, possible to create a parametric calculation with over all input data to build relationships.

ANSYS Maxwell Circuit Editor - Program to create an external circuitry, which is used in problems of transients in ANSYS Maxwell. In the program provided great functionality field reference arbitrary shape, it can be functional. Depending on piecewise-linear functions, the use of conditions, etc. However, when the known power electronic circuit windings much more convenient would be to use the program ANSYS Maxwell Circuit Editor, which is designed to connect to the circuit winding sources. The program has a set of standard circuit elements: passive components, various types of excitation sources, measuring equipment, etc.

3 Simulation method

To simulate the magnetic field in ANSYS Maxwell 2D, followed by an analysis of the energy characteristics of the engine, the initial phase of creating a geometric model constructed in CAD ANSYS Maxwell 2D

Next set periodicity boundary conditions are determined by rotating objects, set properties of material objects. Running configuration of windings selected power scheme. The last step is to configure the solver - determined time and the calculation step.

Calculation of the electromagnetic torque at medium ANSYS Maxwell performed by differentiating values of the magnetic field energy in the air gap of the machine over the angle of rotation of the rotor. Model Maxwell environment is dynamic and represented by a system of integral-differential equations, which, in turn, show a change in the state of an electromechanical object over time in the presence of the control actions.

The calculation was performed in Transient mode, which addresses the complete electromechanical transient process, taking into account the mechanical and electrical component of the model, in the considered period of time. The calculation results displayed in the form of characteristics and diagram fields. Modeling in Ansys Maxwell in this mode is unable to display certain values of energy characteristics, such as the $\cos \varphi$ and efficiency, therefore, to find them a specific methodology was used. To find the power factor will be used by current and voltage in the stator winding. loss charts are used to finding efficiencies.

4 Simulation

4.1 Basic model with aluminum cage rotor winding

The base model engine AIR112M4U3 was chosen due to the most common design, and therefore the least expensive modification to use non-standard short-circuited winding.

To build a model of the engine need the passport data, as well as the geometric dimensions of its active components:

Rated motor power: $P_{2nom} = 7.5 \text{ kW}$;

Rated voltage: $U_1 = 220$;

number of poles: $2p = 4$.

Basic geometric engine sizes:

the outer diameter of the stator core: $D_v = 225 \text{ mm}$;

a stator core inner diameter: $D = 145 \text{ mm}$;

stator core length: $l_1 = 115 \text{ mm}$;

the outer diameter of the rotor core: $D_a = 144,3 \text{ mm}$;

Shaft diameter: $D_v = 50 \text{ mm}$.

The dimensions of the stator slot:

the shape of the groove - half open trapezoid;

number of stator slots: $Z_1 = 36$;

lower stator groove width: $b_1 = 6,2 \text{ mm}$;

large width of the stator slot: $b_2 = 9,1 \text{ mm}$;

the height of the stator slot excluding Slot: $h = 17,7 \text{ mm}$;

the groove width of the stator slot: $m = 3,5 \text{ mm}$;

height slot stator slot: $e = 1 \text{ mm}$.

The dimensions of the rotor slot:

the shape of the groove - half open pear-shaped;

the number of rotor slots: $Z_2 = 34$;

larger diameter rotor slot: $b_1 = 6,0 \text{ mm}$;

smaller diameter rotor slot: $b_2 = 2,4 \text{ mm}$;

the height of the rotor slot: $H_{th} = 24.8 \text{ mm}$;

the groove width of the rotor slot: $m = 1,5 \text{ mm}$;

Slot rotor slot height: $e = 0,75 \text{ mm}$.

Stator winding parameters:

the number of effective conductors in the slot: $S_n = 22$;

the number of phase windings of parallel branches: $n = 2$;

nominal diameter bare wire: $d = 1,26 \text{ mm}$;

winding type - single-layer concentric.

Model building was carried out with the help of graphical tools ANSYS
MAXWELL

Figure - 1 General view of the magnet system AIR132

The calculation was performed in Transient mode

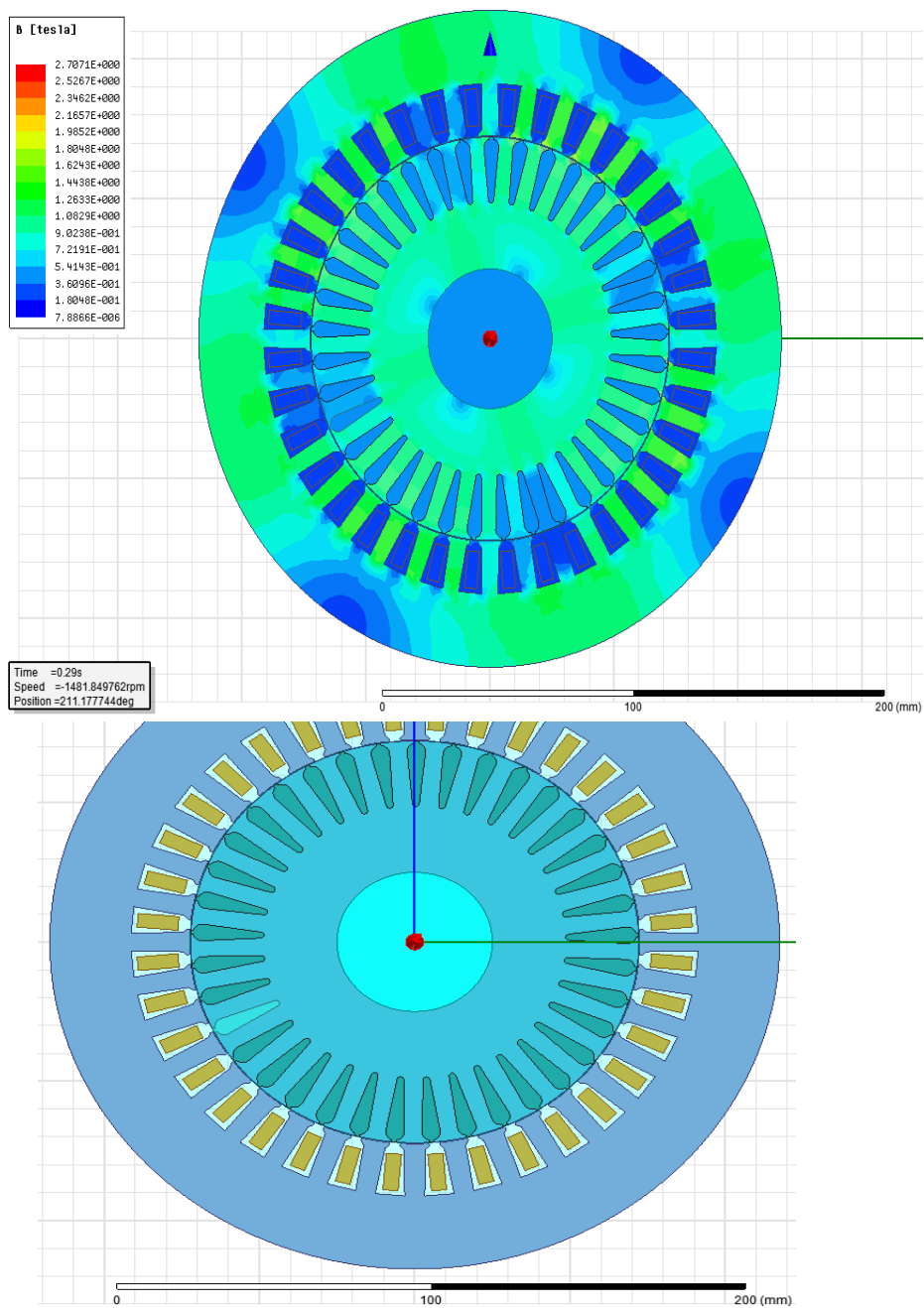


Figure - 2 magnetic induction

Figure - 3 Current density in the conductors

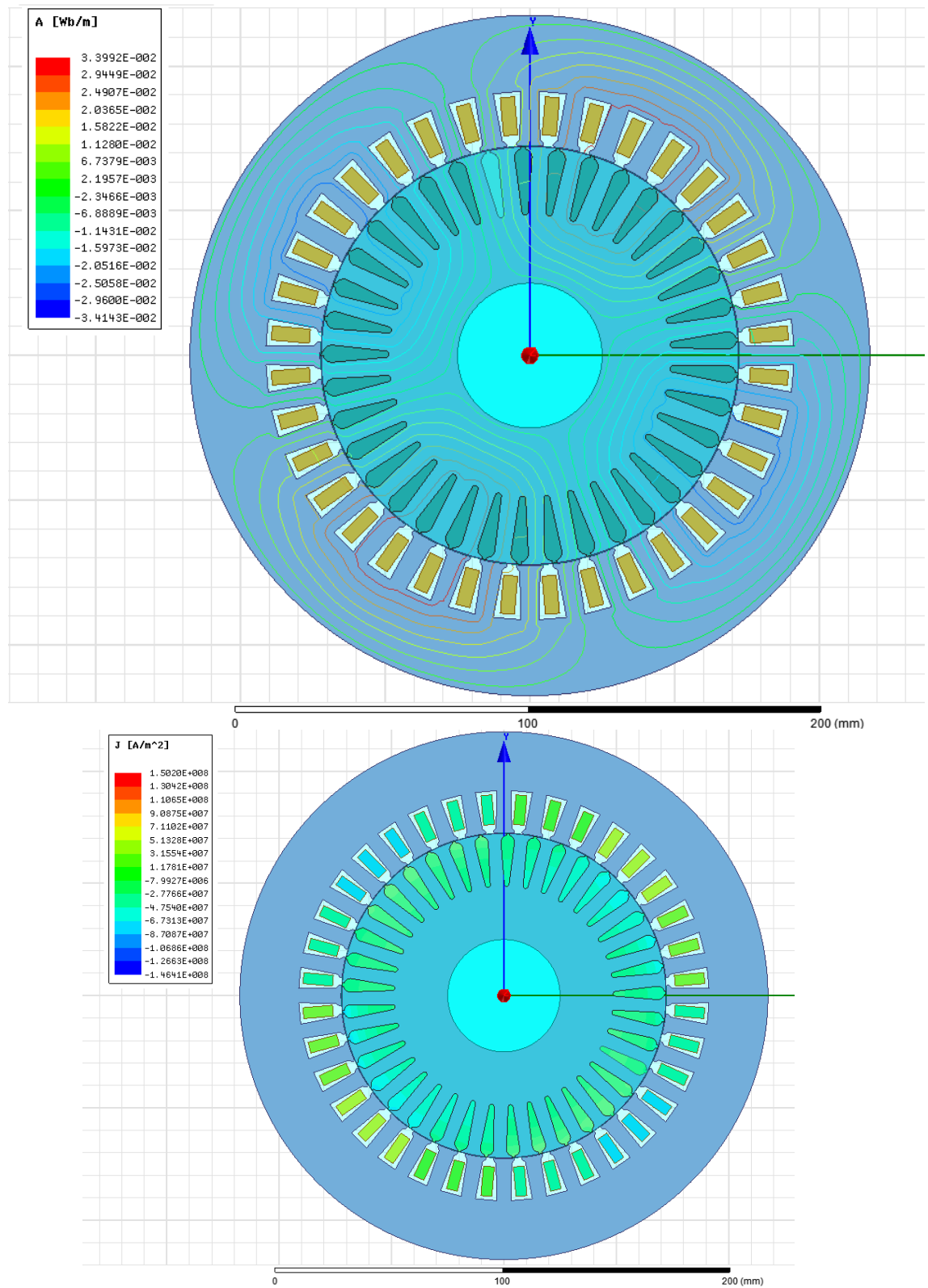


Figure - 4 lines of magnetic force

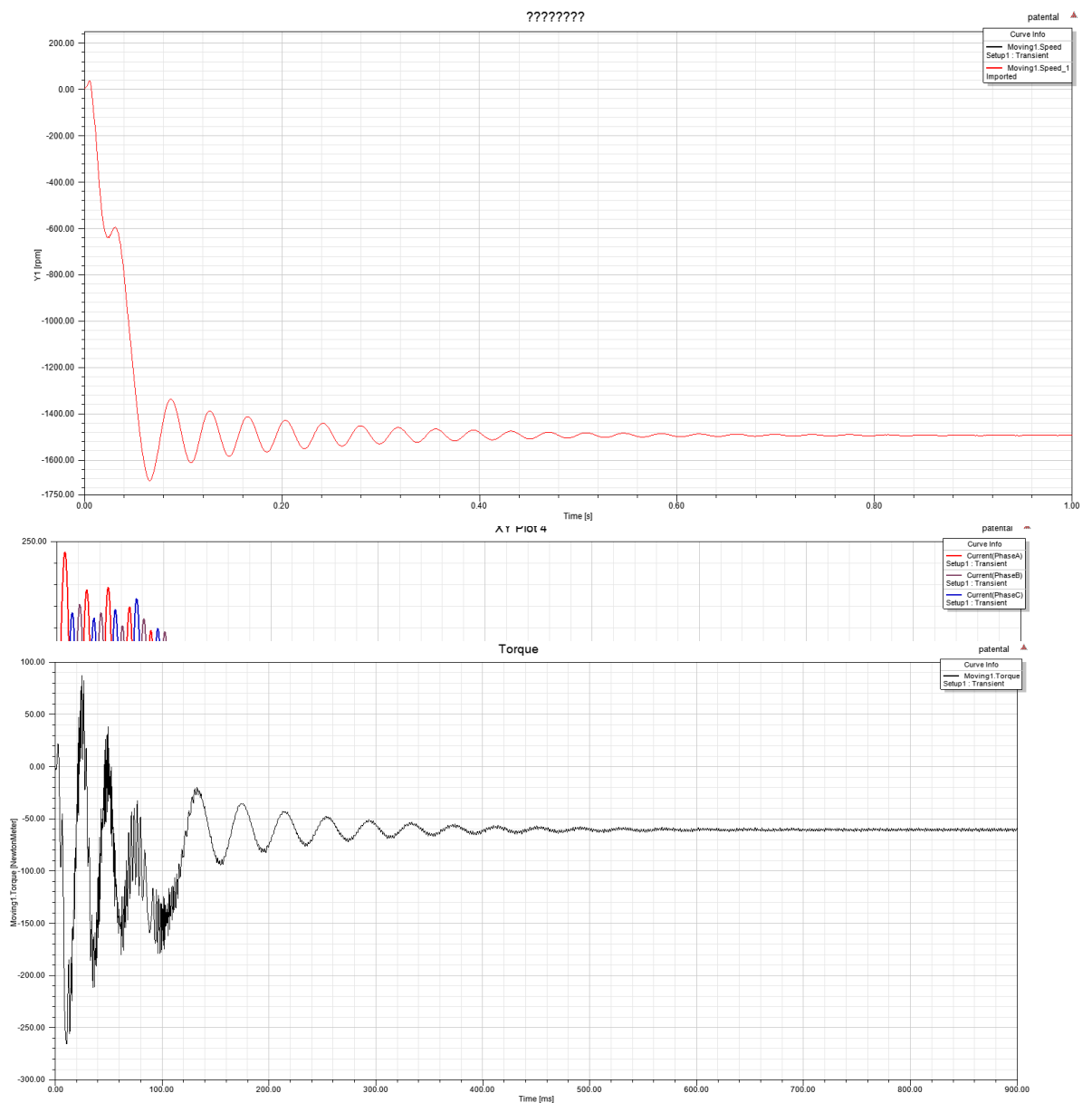


Figure - 5 rotor speed

Figure - 6 Torque

Figure - 7 amplitude of the current in the stator windings

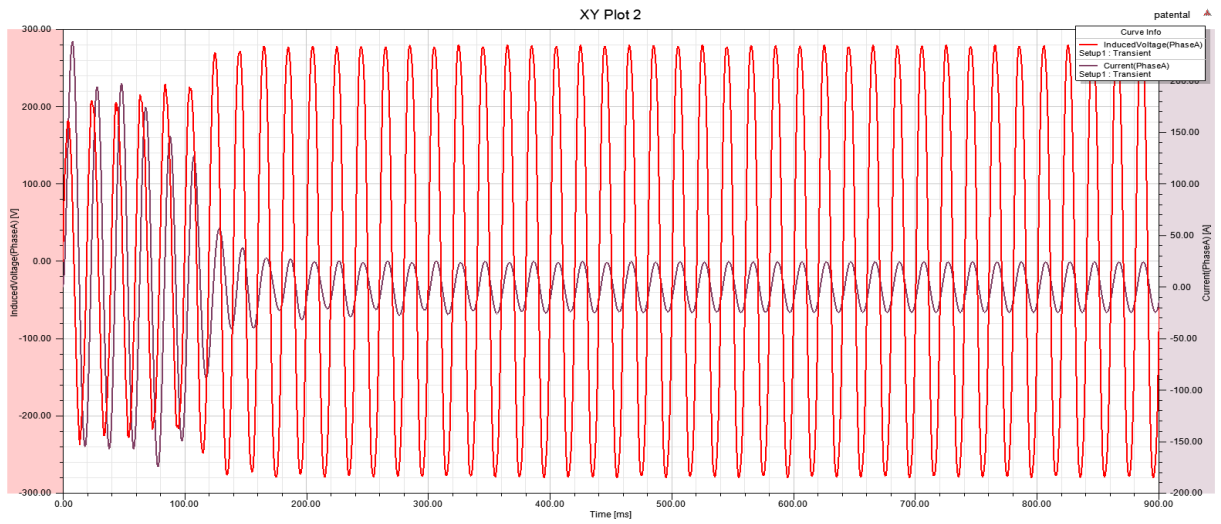


Figure - 8 Schedule of current and stator voltage

To find the angle ϕ was used graph of change of voltage and current in the stator winding

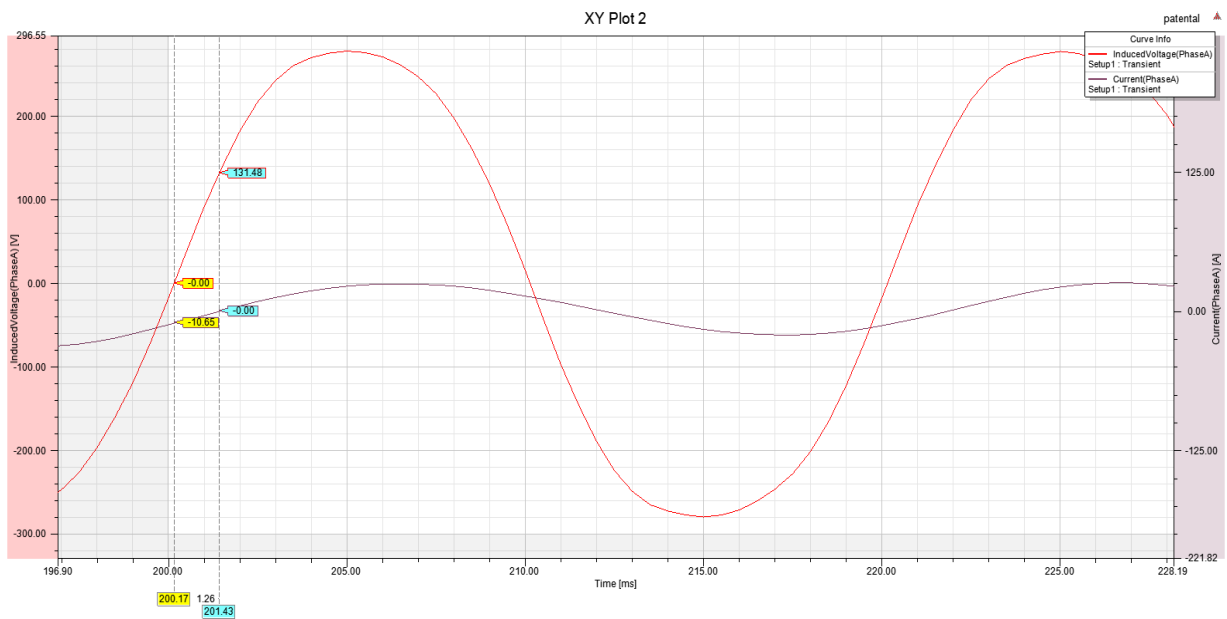
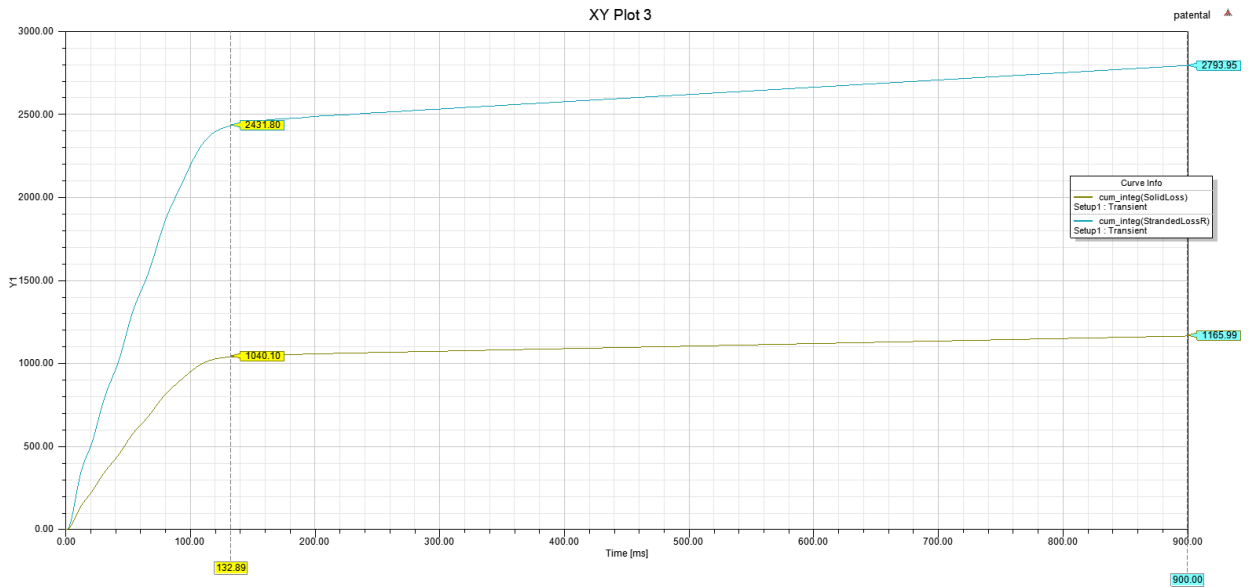


Figure - 9 Schedule of voltage change and the current in the stator winding

Based on the voltage leading the current schedule to 1.26 cm. T period in the car, at a frequency of 50 Hz is equal to 0.02.



$$\varphi = \frac{\Delta t}{T} * 360 = \frac{1.26 * 10^{-3}}{0.02} * 360^{\circ} = 22.68^{\circ}$$

$$\cos(\varphi) = \cos(22.68^{\circ}) = 0.923$$

Efficiency of the machine was found on the basis of the loss of the machine in operation.

To find the average value of losses, Lagrange's formula was used

Figure - 10 integral of the loss function

$$\overline{f(x)} = \frac{\int_{x1}^{x2} f(x)dx}{x2-x1}, \text{ where}$$

$\overline{f(x)}$ the average value of the function at a given site

$\int_{x1}^{x2} f(x)dx$ the integral of the loss function

$x2 - x1$ time operating mode in this sector

$$\overline{f(x)} = \frac{\int_{x1}^{x2} f(x)dx}{x2-x1} = \frac{3958-3498}{900-132} = 0.613$$

$$\eta = P2/P1;$$

where $P1$ - the power delivered to the motor stator from the network

$P2$ – power

$$\eta = P2/P1 = 7.5/(7.5+0.613) = 0.924$$

Conclusion

Summing up the results, it can be concluded that it is appropriate to use a cast copper rotor winding. Using the same non-standard short-circuited rotor windings does not give substantial advantages. As a result of the simulation, the energy characteristics of the given models were obtained. Simulation of all models were made in Ansys Maxwell program in transient mode, as this program takes into account the materials and their properties allowing the rotor to give rotation and graphically display data such as magnetic field, the current density and speed. During the calculation of non-standard rotor, windings have been made to refine the base model custom models by changing the motor rotor. In the course of this work, certain characteristics were obtained based on which the energy characteristics of the engines were calculated.

References

1. Чувашев В. А., Папазов Ю. Н., Чуванков В. Ю., Паршиков А. М., Велков А. А. Энергоэффективные асинхронные двигатели для угольной промышленности Украины
2. Method of making high efficiency induction motor with multi-cage circuit rotor патент №4,095,332, кл. H02K 17/12, 1978 г., США
3. Патент №2208892 - Индукционный асинхронный мотор Варпетян Вардгес Саргисович Июль, 2003. Г. Ереван
4. Патент № RU2 393 613C1 Способность повышения эффективности работы асинхронной короткозамкнутой электрической машины и асинхронная короткозамкнутая машина электрическая машина (варианты). Байдасов Николай Иванович. Закрытое акционерное общество "Технология СМП".