ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

на диссертацию Каурова Сергея Юрьевича «Интегрированный стартер-генератор автономных объектов на базе синхронной машины с постоянными магнитами», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.09.01. – Электромеханика и электрические аппараты

На отзыв представлены:

- Диссертация, содержащая введение, пять разделов, заключение, библиографический список из 125 ссылок, общим объемом 163 страницы.
- Автореферат диссертации.

Актуальность темы исследования:

Задаче улучшения энергетических, эксплуатационных и массогабаритных показателей стартер-генераторных установок подвижных автономных объектов на базе синхронных машин с магнитоэлектрическим возбуждением уделяется повышенное внимание как заинтересованными предприятиями, производящими и эксплуатирующими такие установки, так и представителями науки.

Электрические машины с улучшенной энергоэффективностью и малыми массой и габаритами широко применяются в автономных энергоустановках, где данные показатели имеют первостепенное значение. Это тяговые и исполнительные двигатели электромобилей и полностью электрифицированных самолетов. Совмещенные машины находят применение в качестве стартер-генераторов в гибридных автомобилях и вспомогательных силовых установках, причем наблюдается современная тенденция – интегрирование электромеханического преобразователя в силовую установку.

В значительном числе работ посвященных исследованию и применению синхронной машины с постоянными магнитами в качестве интегрированного стартер-генератора, многие вопросы в области проектирования и математического моделирования остались нерешенными:

- отсутствует математическая модель работы ИСГ в режиме стартера, которая позволяет выполнять инженерные расчеты, оценить величину пусковых токов, проходящих по фазам инвертора и обмоткам статора в процессе пуска, рассчитывать величину пускового момента ИСГ;

- недостаточно исследована работа ИСГ на базе СМПМ в установившихся и переходных режимах работы с учетом специфики интегрированного исполнения.

Важной составляющей представленной к защите диссертационной работы является анализ и оптимизация конструкции синхронной машины с магнитоэлектрическим возбуждением для использования в качестве интегрированного стартер-генератора подвижных автономных объектов специальной техники. При одновременном улучшении энергетических, эксплуатационных показателей стартер-генератора и его интеграции в силовую установку удалось уменьшить массу и габариты, что является важным для размещения вспомогательной силовой установки в ограниченном пространстве подвижного автономного объекта или специальной техники. В связи с изложенным, исследование особенностей работы стартер – генератора в совокупности с системами управления в двигательном и генераторном режимах работы является актуальной задачей.

Оценка структуры и содержания диссертационной работы

Во введении обоснована актуальность темы диссертации, выбраны цель и задачи работы, отражены научная новизна, практическая значимость полученных результатов и выносимые на защиту положения. Приведены данные об апробации результатов исследования, внедрению, научных публикациях по теме диссертации, отмечен личный вклад автора.

В первом разделе приведен обзор разработок и научных исследований по стартер-генераторным устройствам в Российской Федерации и за рубежом, дана классификация электромеханических преобразователей, возможных для использования в стартер-генераторных устройствах транспортных средств и

подвижных автономных объектов, отмечены их достоинства и недостатки, определен наиболее предпочтительный вариант – синхронная машина с возбуждением от постоянных магнитов.

Во втором разделе определены основные критерии качества, проектируемого интегрированного стартер-генератора.

Приведен критический анализ современного состояния материалов постоянных магнитов и конструктивного исполнения магнитных систем синхронной машины с постоянными магнитами. В результате анализа выбрана магнитная система с высококоэрцитивными постоянными магнитами (NdFeB, SmCo) в виде сегментов, закрепленных на призматическом магнитопроводе ротора, где магниты удерживаются на поверхности индуктора бандажом из немагнитного материала.

Исследованы схемы подключения якорных обмоток ИСГ к полупроводниковому преобразователю, на основании чего рекомендовано использовать разомкнутые обмотки с реверсивным питанием, как обладающие наилучшими энергетическими показателями и максимальным использованием обмоточного материала.

В третьем разделе приведены элементы методики проектирования интегрированного стартер-генератора на базе синхронной машины с магнитоэлектрическим возбуждением. Рассмотрены особенности проектирования генераторного режима ИСГ, которые решены посредством численного моделирования магнитного поля.

Поставлена и решена задача оптимизации параметров интегрированного стартер-генератора методам конечно-элементного моделирования. В качестве главного критерия оптимизации при работе интегрированного стартер-генератора в режиме пуска ДВС выбран максимум электромагнитного момента. По результатам решения оптимизационной задачи определены размеры индуктора, зубцово-пазовой зоны статора, величина зазора, обеспечивающие максимальное значение пускового момента интегрированного стартер-генератора в стартерном режиме.

В четвертом разделе приведено математическое описание и результаты имитационного моделирования работы интегрированного стартер-генератора в двух режимах: генераторном - без стабилизации и со стабилизацией выходного напряжения, стартерном - пуск двигателя внутреннего сгорания без ограничения и с ограничением величины тока.

Получены математические модели генераторного режима в осях d-q, и стартерного режима в фазных координатах, которые позволили исследовать установившиеся и переходные режимы работы ИСГ.

Разработана математическая модель ИСГ на основе уравнений эквивалентного БДПТ для расчета параметров системы управления и моделировании процесса запуска ДВС. Получены патенты РФ на технические решения, реализующие двухэтапный пуск.

Пятый раздел посвящен практической реализации образца интегрированного стартер-генератора и его экспериментальному исследованию. Приведены результаты испытаний в генераторном и стартерном режимах работы и установлено, что они хорошо согласуются с результатами математического и имитационного моделирования, что подтверждает адекватность теоретических моделей.

Проведено сравнение технических параметров разработанного ИСГ и известных аналогов. В результате совмещения функций генератора и стартера в одном электромеханическом преобразователе, его интеграции в силовую установку и оптимизации активной зоны стартер-генератора удалось уменьшить весовые и повысить энергетические показатели ИСГ по сравнению с аналогами.

Разделы диссертации структурированы четко, согласно тематике. Язык и стиль изложения, терминология соответствуют требованиям, предъявляемым к научной и научно-технической литературе.

Соответствие диссертации паспорту научной специальности

Диссертация соответствует паспорту научной специальности 05.09.01 –

«Электромеханика и электрические аппараты» согласно пунктам 1 - «Анализ и исследование явлений, лежащих в основе функционирования электрических, электромеханических преобразователей энергии и электрических аппаратов» и 3 - «Разработка методов анализа и синтеза преобразователей электрической и механической энергии».

Методы исследования

При решении поставленных задач исследования в работе использованы основные методы и положения теорий электрических цепей, электромагнитного поля, электромеханического преобразования энергии, электромагнитных переходных процессов в электрических машинах, автоматического управления, Моделирование процессов в электрической машине было проведено с помощью методов компьютерного и имитационного моделирования в программных комплексах Matlab Simulink, ELCUT.

Научная новизна результатов

1. Разработаны математические модели генераторного и стартерного режимов работы, которые позволяют осуществлять исследование установившихся и переходных процессов в разомкнутой и замкнутой системах управления, отличающиеся уточненным учетом влияния параметров регулятора напряжения и системы управления на характеристики интегрированного стартер-генератора.

2. Получена модель интегрированного стартер-генератора в режиме стартера, основанная на системе уравнений бесконтактного двигателя постоянного тока, которая обеспечивает возможность уточненного определения параметров системы регулирования частоты вращения и момента при пуске ДВС.

3. Разработана методика решения задачи параметрической оптимизации интегрированного стартер-генератора посредством конечно-элементного моделирования, которая позволяет определять размеры зубцово-пазовой зоны, ярма статора, объем постоянных магнитов, величину

немагнитного зазора.

4. Разработаны имитационные модели, позволяющие исследовать реакцию интегрированного стартер-генератора на различные виды воздействий при работе в генераторном и стартерном режимах.

Теоретическая и практическая значимость полученных автором результатов

1. Для проектирования машин с улучшенными энергетическими, массо-габаритными показателями разработаны элементы инженерной методики проектирования интегрированного стартер-генератора на базе синхронной машины с постоянными магнитами и даны рекомендации по выбору материала постоянных магнитов и конструктивного исполнения индуктора.

2. По результатам проведенной многоуровневой оптимизации параметров интегрированного стартер-генератора посредством конечно-элементного моделирования по критерию максимального электромагнитного момента определены оптимальные значения размеров зубцово-пазовой зоны, ярма статора, объема постоянных магнитов, величины немагнитного зазора.

3. Даны рекомендации по определению параметров фильтра в системе стабилизации напряжения в режиме генерации.

4. Предложенные и реализованные технические решения, защищенные патентами РФ, позволяют при регулируемом электрическом запуске ДВС ограничить величину тока во входной цепи инвертора и в обмотке стартер-генератора.

5. Результаты научной работы, практическая ценность исследований, представленных в диссертации, подтверждаются актами внедрения и использования результатов в промышленности и учебном процессе.

Степень обоснованности и достоверности научных положений и выводов

Достоверность полученных результатов обеспечивается применением строгих математических методов исследования, экспериментальной провер-

кой, сравнением с теоретическими и экспериментальными результатами других авторов. Результаты теоретических исследований в виде статических и динамических характеристик проверены на опытном образце интегрированного стартер-генератора.

Апробация работы и научные публикации

Результаты исследований опубликованы в 14 научных работах в журналах, входящих в перечень ведущих рецензируемых изданий, рекомендованных ВАК Минобрнауки РФ, 1 научной работе в издании, индексируемом наукометрической базой Scopus, в сумме опубликовано 27 работ. Результаты интеллектуальной деятельности защищены 2 патентами РФ на изобретения.

Результаты исследований и положения диссертационной работы докладывались и обсуждались на всероссийских и международных научно-технических конференциях: «Проблемы электротехники, электроэнергетики и электротехнологии», Тольятти, 2009; «Современные автомобильные материалы и технологии» САМИТ, Курск, 2009; «Инновации в сфере производства, разработки и диагностики электрического и электронного оборудования автомобилей», Москва, 2015; «Электротехнические комплексы и системы», Новосибирск, 2016; «Ашировские чтения», Самара, 2020; «Электротехнические комплексы и системы», Уфа, 2020 г.

Оценка автореферата

Автореферат отражает содержание диссертации. Диссертация и автореферат выполнены с соблюдением требований ВАК Министерства науки и высшего образования РФ. Ссылки на результаты работ третьих лиц оформлены корректно.

Замечания по диссертации

1. При анализе конструкций индукторов ИСГ с возбуждением от постоянных магнитов не определены количественные критерии, на основании

которых отдано предпочтение индуктору с магнитами на поверхности ротора.

2. При выборе схемы обмотки якоря автор рекомендует использовать разомкнутые обмотки с реверсивным питанием. Из диссертации не ясно, проводился ли количественный анализ сравнения типов обмоток по коэффициенту их использования с учетом числа необходимых силовых вентилей?

3. На рис.3.4…3.9 для генераторного режима показаны результаты моделирования холостого хода, поперечной и продольной реакции якоря. Нет результирующей картины поля и его анализа под нагрузкой. Проводился ли такой анализ?

4. В выводах по разделу 3 (п.4) утверждается, что машина оптимизирована для стартерного режима. А как это скажется на тепловом состоянии стартер-генератора в режиме генерации, который в отличие от стартерного является длительным?

5. Учитывались ли в уравнениях (4.17) и (4.18) высшие гармоники от зубцовых пульсаций индукции в зазоре, или моделировалась идеальная трапеция?

6. Сравнение абсолютных показателей стартеров и генераторов с различной номинальной мощностью не совсем корректно. Правильнее было бы сравнивать удельные показатели.

7. Работа изобилует наличием множества аббревиатур, что затрудняет ее прочтение и восприятие.

Заключение

Указанные недостатки не снижают научной ценности представленной диссертации в целом.

Диссертационная работа выполнена в полном объеме, представляет собой законченное исследование по актуальной теме. Содержание, объект и предмет исследований данной работы, а также научная новизна и выносимые на защиту положения соответствуют паспорту научной специальности 05.09.01 – «Электромеханика и электрические аппараты». Практическая значимость результатов работы не вызывает сомнений. Диссертационная работа удовлетворяет требованиям п.9 «Положения о порядке присуждения степеней»

ВАК. Автор Кауров Сергей Юрьевич заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.09.01 – Электромеханика и электрические аппараты.

Официальный оппонент

кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой «Электромеханика» федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Уфимский государственный авиационный технический университет»

Вавилов Вячеслав Евгеньевич

Кандидатская защищена по специальности 05.09.03 – Электротехнические комплексы и системы

Адрес: 450007, Республика Башкортостан, г. Уфа, ул. К.Маркса, д.12

Телефон: + 7-908-350-23-12; электронная почта: vavilovv@ugatu.su

Подпись Вавилова В.Е.
Достоверяю «30» 11 2021 г.
документационного обеспечения
Ражеева Ж.Р.