

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА ГУ 212.224.14
ПО ДИССЕРТАЦИИ
НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ КАНДИДАТА НАУК

аттестационное дело № _____
решение диссертационного совета от 23.12.2020 г. № 16

О присуждении **Лутонину Александру Сергеевичу**, гражданину РФ, ученой степени кандидата технических наук.

Диссертация «Структура и алгоритмы энергоэффективного управления электротехническим комплексом транспортного средства с использованием мотор-колес с синхронными двигателями» по специальности 05.09.03 – Электротехнические комплексы и системы принята к защите 20.10.2020 г., протокол заседания №11, диссертационным советом ГУ 212.224.14 федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский горный университет» Минобрнауки России; 199106, Санкт-Петербург, 21 линия, д. 2; приказ № 1232 адм от 23.09.2019 г.

Соискатель, **Лутонин Александр Сергеевич**, 1993 года рождения, в 2015 году окончил федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Национальный минерально-сырьевой университет «Горный» по специальности 14.06.04 Электропривод и автоматика промышленных установок и технологических комплексов. В 2020 году окончил очную аспирантуру федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский горный университет» по направлению подготовки 13.06.01 Электро- и теплотехника. Диплом об окончании аспирантуры получен 15.06.2020 г.

Диссертация выполнена на кафедре общей электротехники в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Санкт-Петербургский горный университет» Минобрнауки России.

Научный руководитель – доктор технических наук, доцент **Шклярский Ярослав Элиевич**, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский горный университет», кафедра общей электротехники, заведующий кафедрой.

Официальные оппоненты:

Кузнецов Владимир Евгеньевич – доктор технических наук, доцент, федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В. И. Ульянова (Ленина)», кафедра систем автоматического управления, профессор кафедры;

Синюкова Татьяна Викторовна – кандидат технических наук, доцент, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Липецкий государственный технический университет», кафедра электропривода, доцент кафедры дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация – **федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого»**, г. Санкт-Петербург, в своем положительном отзыве, подписанном **Зверевым Сергеем Геннадьевичем**, кандидатом технических наук, доцентом, и.о. директора института энергетики, директором Высшей школы электроэнергетических систем, председателем заседания, **Фроловым Владимиром Яковлевичем**, доктором технических наук, профессором, профессором Высшей школы электроэнергетических систем и **Люлиной Марией Александровной**, старшим преподавателем Высшей школы электроэнергетических систем, секретарем заседания и утвержденном **Сергеевым Виталием Владимировичем**, доктором технических наук, профессором, проректором по научной работе, указала, что диссертация представляет собой законченное научно-квалификационное исследование, в котором содержится решение научной задачи повышения эффективности работы синхронного двигателя с постоянными магнитами в составе мотор-колес, что имеет существенное значение для развития систем электропривода в составе электротехнических комплексов транспортных средств. Автореферат соответствует основному содержанию работы.

Соискатель имеет 9 опубликованных работ по теме диссертационного исследования, в том числе 2 опубликованы в изданиях, рекомендованных ВАК Министерства науки и высшего образования Российской Федерации, 3 опубликованы в изданиях, индексируемых международной базой цитирования Scopus, получено 1 свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ. Общий объем 3 печатных листа, в том числе 2 печатных листа соискателя.

Научные работы по теме диссертации:

Публикации в изданиях, рекомендованных ВАК Минобрнауки РФ:

1. **Лутонин, А. С.** Система управления синхронным двигателем с постоянными магнитами с разомкнутой обмоткой статора и буферным конденсатором / А. С. Лутонин, Я. Э. Шклярский – Текст: непосредственный // Известия ТулГУ. Технические науки. – 2020. – № 5. – С. 407 – 414.

Личный вклад соискателя: разработка структуры системы управления синхронным двигателем с постоянными магнитами в режиме ослабленного поля, которая состоит из синхронного двигателя с разомкнутой обмоткой статора, подключенного к преобразователю частоты с источником постоянного напряжения со стороны начала обмоток статора и к вспомогательному преобразователю частоты с буферным конденсатором со стороны их конца.

2. **Лутонин, А. С.** Определение минимальной ёмкости буферного конденсатора для системы электропривода с использованием двух преобразователей частоты / А. С. Лутонин – Текст: непосредственный // Известия ТулГУ. Технические науки. – 2020. – № 6. – С. 263 – 270.

Личный вклад соискателя: рассмотрение способа определения минимальной ёмкости буферного конденсатора в составе электропривода с использованием двух преобразователей частоты и буферным конденсатором на основании выбранного алгоритма формирования управляющих импульсов для полупроводниковых ключей. Определение максимального значения колебаний уровня напряжения буферного конденсатора. Составление уравнения для нахождения минимально необходимого значения ёмкости конденсаторной батареи.

Публикации в изданиях, входящих в базу цитирования Scopus:

3. **Lutonin, A. S.** Control Strategy of Dual Fed Open-End Winding PMSM Drive for Traction Applications / A. S. Lutonin, A. Y. Shklyarskiy, Y. E. Shklyarskiy. – DOI: 10.1109/EIConRus49466.2020.9039424. – Текст: электронный // IEEE Conference of Russian Young Researches in Electrical and Electronic Engineering (EIConRus). Saint-Petersburg. – 2020. – P. 746-749. (*Лутонин, А. С. Стратегии управления СДПМ с разомкнутой обмоткой статора в составе тягового электропривода / А. С. Лутонин, А. Я. Шклярский, Я. Э. Шклярский. – DOI: 10.1109/EIConRus49466.2020.9039424. – Текст: электронный // Сборник трудов конференции Молодых исследователей России по электротехнике и электронике IEEE (EIConRus). Санкт-Петербург. – 2020. – С. 746-749).*

Личный вклад соискателя: анализ существующих схем управления, модернизация существующего метода управления двойным двухуровневым

преобразователем частоты в составе транспортного средства. Разработка имитационной модели синхронного двигателя с постоянными магнитами в составе системы электропривода с двумя преобразователем частоты и двумя независимыми источниками энергии.

4. **Lutonin, A. S.** Operation modes and control algorithms of anisotropic permanent magnet synchronous motor (IPMSM)/ A. S. Lutonin, A. Y. Shklyarskiy, Y. E. Shklyarskiy. – DOI: doi.org/10.1051/e3sconf/201914010006. – Текст: электронный // International Scientific Conference on Energy, Environmental and Construction Engineering (EECE-2019). – EDP Sciences. 2019. – Vol. 140, no. 10006. – P. 1 – 5. (*Лутонин, А. С. Режимы работы и алгоритмы управления анизотропным синхронным двигателем с постоянными магнитами (СДПМ) / А. С. Лутонин, А. Я. Шклярский, Я. Э. Шклярский. – DOI: doi.org/10.1051/e3sconf/201914010006. – Текст: электронный // Сборник докладов международной научной конференции по энергетике, экологии и строительству (EECE – 2019). – EDP Науки. 2019. – т. 140, №10006 – С. 1 – 5.*)

Личный вклад соискателя: проведение анализа особенностей работы синхронного двигателя с постоянными магнитами. Определение основных режимов работы синхронного двигателя с постоянными магнитами в зависимости от его параметров, а также заданных значений скорости и момента на валу ротора.

5. **Lutonin, A. S.** PMSM control system with open-end winding and floating bridge capacitor / A. S. Lutonin, Y. E. Shklyarskiy, P. S. Palyanicin. – DOI: 10.1088/1757-899X/643/1/012084. – Текст: электронный // International Scientific Electric Power Conference ISEPC-2019. – 2019. – P. 323 – 329. (*Лутонин, А. С. Система управления СДПМ с разомкнутой обмоткой статора и буферным конденсатором / А. С. Лутонин, Я. Э. Шклярский, П. С. Паляницин. – DOI: 10.1088/1757-899X/643/1/012084. – Текст: электронный // Сборник докладов международной научной Электроэнергетической конференции ISEPC-2019. – 2019. – С. 323 – 329.*)

Личный вклад соискателя: анализ особенностей работы синхронного двигателя с постоянными магнитами в составе системы электропривода с использованием двух преобразователей частоты и буферного конденсатора в качестве компенсатора реактивной мощности. Разработка имитационной модели предложенной топологии.

Прочие публикации:

6. **Lutonin, A. S.** Control strategy of dual fed open-end winding PMSM drive with floating bridge capacitor / A. Lutonin, A. Shklyarskiy, Y. Shklyarskiy // International Journal of Mechanical Engineering and Technology (IJMET). – 2018.

– Vol. 10, no. 03. – P. 1475 – 1482. (*Лутонин, А. С. Стратегия управления СДПМ с разомкнутой обмоткой статора и буферным конденсатором / А. С. Лутонин, Я. Э. Шклярский, А. Я. Шклярский. – Текст: электронный // Международный журнал машиностроения и технологии (IJMET). – 2018. – Vol. 10, no. 03. – P. 1475 – 1482.*)

Личный вклад соискателя: исследование работы топологии синхронного двигателя с постоянными магнитами с разомкнутой обмоткой статора для работы в широком диапазоне скоростей.

7. Соловьев, С. В. Система управления синхронным двигателем с постоянными магнитам на базе микроконтроллеров STM32 / С. В. Соловьев, А. С. Лутонин – Текст: электронный // III Всероссийская научно-практическая конференция «Энергетика и энергосбережение: теория и практика». – 2018. – № 331. – С. 1 – 4.

Личный вклад соискателя: рассмотрение особенностей разработки системы управления электроприводом на базе микроконтроллера STM32F407VGT6, для синхронного электродвигателя с постоянными магнитами.

8. Лутонин, А. С. Повышение энергоэффективности электротранспорта с децентрализованной трансмиссией за счет введения системы компенсации проскальзывания колес/ А. С. Лутонин, Д. И. Иванченко, Ю. В. Олейников, П. А. Дмитриев – Текст: электронный // III Всероссийская научно-практическая конференция «Энергетика и энергосбережение: теория и практика». – 2017. – № 413. – С. 1 – 6.

Личный вклад соискателя: рассмотрение способов компенсации проскальзывания мотор-колес для топологии транспортного средства с децентрализованной трансмиссией. Разработка алгоритма регулирования задания по моменту на валу ротора электродвигателя, позволяющего достичь отсутствия проскальзывания колес относительно дорожного полотна.

Патенты:

9. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2020615693. Программа расчета управляющих токов во вращающейся системе координат d-q в зависимости от заданных параметров скорости и крутящего момента для синхронного двигателя с постоянными магнитами / А. С. Лутонин, Я. Э. Шклярский, А. Я. Шклярский; заявитель и патентообладатель федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский горный университет. – № 2020614440; заявл. 18.05.2020, зарегистр. 29.05.2020; опубл. 29.05.2020 – 1 с.

Личный вклад соискателя: написание программного кода на языке MATLAB, предназначенного для расчета оптимальных значений управляющих токов во вращающейся системе координат $d-q$ для синхронных двигателей с постоянными магнитами.

Апробация работы. Основные положения обсуждались на заседаниях кафедры общей электротехники Горного университета, докладывались и получили положительную оценку на конференциях: международная конференция «Наука, образование, общество», Тамбов, Россия, 2017; III всероссийская научно-практическая конференция «Энергетика и энергосбережение: теория и практика», Кузбасс, Россия, 2017; IV международная научно-практическая конференция «Экспериментальные и теоретические исследования в современной науке», Новосибирск, Россия, 2017; IV всероссийская научно-практическая конференция «Энергетика и энергосбережение: теория и практика», Кузбасс, Россия, 2018; международная конференция «13ый Коллоквиум молодых студентов Фрайберг-Санкт-Петербург», Фрайберг, Германия, 2018; международная конференция «International Scientific Electric Power Conference ISEPC-2019», Санкт-Петербург, Россия, 2019; международная конференция «International Scientific Conference on Energy, Environmental and Construction Engineering EECE-2019», Санкт-Петербург, Россия, 2019; международная конференция «2020 IEEE Conference of Russian Young Researchers in Electrical and Electronic Engineering (2020 ElConRus)», Санкт-Петербург, Россия, 2020.

В диссертации А.С. Лутонина отсутствуют недостоверные сведения об недостоверные сведения об опубликованных соискателем работах, в которых содержится основные научные результаты диссертации.

На диссертацию и автореферат поступили отзывы от: профессора отделения электроэнергетики и электротехники федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский Томский политехнический университет», д.т.н. **Г.И. Однокопылова**; профессора кафедры информационных систем федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский государственный университет», д.ф.-м.н. **С.И. Перегудина**; доцента факультета систем управления и робототехники федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский университет ИТМО», д.ф.-м.н. доцента **С.Е. Холодовой**; профессора кафедры электротехники и электрооборудования судов федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский

государственный морской технический университет», д.т.н., профессора **Б.Ф. Дмитриева**; руководителя группы – отдела крупного электропривода, управления комплексными решениями ООО «Сименс», к.т.н. **А.А. Брагина**.

В отзывах дана положительная оценка проведенных исследований, отмечена актуальность выбранной темы, высокая степень проработки вопроса и профессиональный подход к решению поставленных задач, однако имеется ряд замечаний:

1. В материалах автореферата отсутствуют: допущения, принятые при разработке модели, математическая и имитационная модели системы электропривода электромобиля и проверка адекватности, что требует дополнительных пояснений? (д.т.н. **Г.И. Однокопылов**).

2. В заключении не приведены обязательные рекомендации и перспективы дальнейшей разработки выполненного исследования (требование пункта 5.3.3 ГОСТ 7.0.11-2011 «Диссертация и автореферат диссертации, структура и правила оформления»)? (д.т.н. **Г.И. Однокопылов**).

3. Не рассмотрены вопросы отказоустойчивости системы, а также её работа в аварийных режимах (при выходе из строя одного из источников питания, силовых ключей, входящих в состав преобразователей частоты) (д.ф.-м.н. **С.И. Перегудин**).

4. Подписи на графиках выходных характеристик скорости, крутящего момента на валу и уровня напряжения конденсатора в зависимости от значения ёмкости буферного конденсатора, представленных на рисунке 4, являются плохо читаемыми. (д.ф.-м.н. **С.Е. Холодова**).

5. Не указаны возможные ограничения по применению полученных результатов (д.ф.-м.н. **С.Е. Холодова**).

6. Требуется пояснения термин «энергоэффективное управление» (д.т.н. **Б.Ф. Дмитриев**).

7. Не ясно, что автор понимает под оптимальными параметрами? (д.т.н. **Б.Ф. Дмитриев**).

8. Повышение эффективности электропривода в сравнении с топологией по схеме «Звезда» проводилось только с использованием параметров электромобиля Nissan Leaf. При этом отсутствуют данные или зависимости для сравнения эффективности разработанной топологии в других условиях эксплуатации (к.т.н. **А.А. Брагин**).

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается наличием исследований и публикаций по теме диссертационной работы и их компетентностью в области диссертационного исследования.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

разработана топология системы электропривода для мотор-колес с использованием синхронного двигателя с постоянными магнитами, позволяющая расширить диапазон рабочих скоростей транспортного средства;

предложен способ формирования управляющих токов для системы электропривода с использованием синхронного двигателя с постоянными магнитами, двух преобразователей частоты, аккумуляторной батареи и буферного конденсатора на основании заданных и текущих параметров скорости, момента на валу ротора, а также уровней напряжения каждого из источников энергии;

доказана возможность расширения скоростного диапазона синхронного двигателя с постоянными магнитами в составе разработанной системы электропривода;

получено уравнение для определения минимальной ёмкости конденсаторной батареи в составе разработанной топологии системы электропривода.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:

изучено современное состояние алгоритмов управления электротехническими комплексами и способы обеспечения высокого уровня энергетической эффективности систем;

доказано положение о том, что обеспечение расширения механической характеристики синхронного двигателя с постоянными магнитами, входящего в состав электротехнического комплекса транспортного средства с использованием мотор-колёс достигается за счёт использования разработанного алгоритма управления для двух преобразователей частоты, подключаемых к началу и концу обмотки статора, который позволяет использовать буферный конденсатор, входящий в состав предложенной топологии системы электропривода, в качестве источника реактивной мощности;

использован, применительно к проблематике диссертации с получением обладающих новиной результатов, комплекс существующих методов математического и имитационного моделирования;

изложена идея расширения диапазона рабочих скоростей транспортного средства с использованием мотор-колес за счет применения разработанной системы электропривода.

раскрыты закономерности протекания динамических процессов предложенной системы электропривода при изменении ёмкости буферного конденсатора;

проведен сравнительный анализ предложенной топологии электропривода с топологией с одним преобразователем частоты и подключением конца обмоток статора по схеме «звезда», что позволяет оценить энергетическую эффективность предложенного технического решения.

Значение полученных соискателем результатов исследования для практики подтверждается тем, что:

разработан алгоритм управления для системы электропривода электротехнического комплекса в составе двух преобразователей частоты, аккумуляторной батареи и буферного конденсатора для работы в широком диапазоне скоростей с возможностью контроля уровня напряжения звена постоянного тока вспомогательного преобразователя частоты

разработан алгоритм определения необходимой мощности синхронного двигателя с постоянными магнитами в составе мотор-колес транспортного средства, позволяющий достичь заданных динамических характеристик.

определен выбор оптимального типа буферного конденсатора по критериям устойчивости к механическим воздействиям, стоимости, для системы электропривода с использованием двух преобразователей частоты

представлены рекомендации к использованию полученных теоретических и экспериментальных данных в учебных дисциплинах при подготовке студентов по направлению 13.03.02 – «Электроэнергетика и электротехника».

Оценка достоверности результатов выявила:

результаты экспериментальных исследований получены с использованием апробированных методов математического и имитационного моделирования в программном пакете MATLAB/Simulink для моделирования работы разработанной топологии электропривода в составе электротехнического комплекса транспортного средства;

теория построена на известных закономерностях и проверяемых данных и фактах и согласуется с опубликованными ранее теоретическими и экспериментальными данными других исследователей по теме диссертации;

идея базируется на результатах анализа и обобщения зарубежного и отечественного опыта по разработке и применению алгоритмов управления электромеханическими комплексами и способе обеспечения требуемого уровня энергетической эффективности;

установлена сходимость результатов имитационного моделирования работы разработанной топологии системы электропривода с результатами математического моделирования.

Личный вклад соискателя состоит в постановке цели и задач диссертационного исследования; анализе зарубежной и отечественной научной литературы по теме исследования; проведении математического и имитационного моделирования работы системы электропривода с использованием синхронного двигателя с постоянными магнитами в составе мотор-колёс, подключённых к тяговым батареям через главный преобразователь частоты со стороны начал обмоток статора и буферным конденсаторным батареям через вспомогательный преобразователь частоты к концам обмоток статора; обобщении и обработке экспериментальных данных; формулировке основных научных положений и выводов, а также в подготовке текстов научных публикаций и диссертации.

На заседании 23 декабря 2020 года диссертационный совет принял решение присудить **Лутонину Александру Сергеевичу** ученую степень кандидата технических наук за решение важной научно-практической задачи повышения эффективности работы синхронного двигателя с постоянными магнитами в составе мотор-колес транспортного средства.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 13 человек, из них 6 докторов наук по специальности рассматриваемой диссертации, участвовавших в заседании из 18 человек, входящих в состав совета, проголосовали: за – 13, против – нет, недействительных бюллетеней – нет.

Председатель
диссертационного совета



Ученый секретарь
диссертационного совета

 Шпенст Вадим Анатольевич

 Коптева Александра Владимировна

23.12.2020 г.