ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО МОРСКОГО И РЕЧНОГО ТРАНСПОРТА
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
МОРСКОЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
имени адмирала Г.И. Невельского
(МГУ им. адм. Г.И. Невельского)
ул. Верхнепортовая, д. 50а, г. Владивосток, 690003
тел.: (423) 230-12-51, факс: (423) 251-76-39
e-mail: office@msun.ru, http://www.msun.ru

_____ № _____
На № _____ от _____
[ ]

УТВЕРЖДАЮ

Ректор _____ Д.В. Буров

«19» июля 2019 г.

ОТЗЫВ

ведущей организации на диссертацию
Красковского Михаила Владимировича
«Электротехнический комплекс для бесконтактной передачи электроэнергии на автономный подводный объект»,
представленную на соискание учёной степени кандидата технических наук
по специальности 05.09.03 – Электротехнические комплексы и системы
(технические науки)

1. Актуальность темы исследования

Необитаемые и обитаемые подводные аппараты (ПА), представляющие собой устройства для проведения разнообразных исследований и обнаружений различных объектов, находящихся под водой, в общем случае можно условно разделить на привязные (буксируемые) подводные объекты (ППО) и автономные подводные объекты (АПО).

В настоящее время вопросам разработки новой подводной техники и решению научно-технических задач, направленных на ее совершенствование уделяется повышенное внимание.

Современные структуры необитаемых и обитаемых ПА во многом схожи. Общими и неотъемлемыми составными частями этих объектов являются суда-носители и кабель-тросы. К основным отличительным особенностям относится для ППО подключение к подводному концу кабель-троса самого ПА, а для АПО – донного причального устройства (ДПУ) где расположено устройство для зарядки его аккумуляторных батарей (АБ), поскольку применение

непосредственной подводной контактной электрической зарядки достаточно затруднительно, в первую очередь из-за повышенной агрессивности морской воды.

Таким образом, тема диссертационной работы, направленная на научно-обоснованные технические решения задачи бесконтактной зарядки АБ ПА является актуальной.

2. Структура и содержание диссертационной работы

Представленная диссертация общим объемом 140 страниц состоит из введения, пяти глав с выводами, заключения, списка сокращений и условных обозначений, списка литературных источников, включающего 95 наименований. Диссертация содержит 44 рисунка и 2 приложения.

Во **введении** отражено современное состояние научных исследований и обоснована актуальность темы диссертационной работы, сформулированы цель и задачи, представлены сведения о значимости исследований. Описана методология исследования, приведены основные положения, выносимые на защиту, степень достоверности и апробация результатов.

В **первой главе** выполнен обзор и анализ используемых в настоящее время систем энергоснабжения ППО и энергообеспечения АПО (ПА).

Представлена в общем случае структура электротехнического комплекса (ЭТК) бесконтактной передачи электрической энергии (ЭЭ) для зарядки АБ, включающая два выпрямителя напряжения, автономный инвертор напряжения (АИН), два фильтрующих конденсатора, блок управления (БУ), два преобразователя температуры, высокочастотный трансформатор (ВчТ) с конструктивно разделенными первичной и вторичной обмотками и регулятор тока.

Рассмотрен принцип функционирования отдельных компонентов и алгоритм работы ЭТК бесконтактной передачи ЭЭ на ПА в целом, позволяющие выделить специфические особенности таких систем.

Вторая глава посвящена исследованиям вопросов функционирования управляемых выпрямителей напряжения (УВН), выделено десять основных этапов при их работе. Показаны варианты подключения УВН с целью заряда их выходных конденсаторов, которые одновременно являются входными для АИН, преимущества и недостатки этих вариантов.

В главе представлено решение задачи заряда конденсаторов УВН, основанное на использовании дополнительных токоограничивающих реакторов, которые участвует в работе схем только в неуправляемых режимах

работы выпрямителей, и параметры которых определяются исходя из необходимости обеспечения номинальных значений токов и напряжений выпрямителей при их включении. На данные решения получен патент на изобретение № 2593152.

Развитие научно-технических решений для подключения управляемых выпрямителей напряжения представлено в виде систем управления УВН, позволяющих отслеживать процессы, протекающие при заряде выходных конденсаторов выпрямителей, и осуществлять их настройки, защищенных патентом на изобретение № 2622043.

В **третьей главе** выполнен обзор и анализ схем замещения трансформаторов, к основным из которых отнесены Т-образные схемы замещения, треугольные схемы замещения и схемы замещения, обеспечивающие гальванические и магнитные развязки. Определены границы и условия применения каждой из этих схем для ВчТ.

Для определения параметров ВчТ выполнены аналитические исследования. Модель трансформатора реализована в программе Solidworks и импортирована в программу для проектирования и исследования двумерных и трёхмерных полей ANSYS Maxwell. С помощью этой программы аппроксимированы и определены двумерные массивы коэффициента связи и удельной индуктивности витка для различных значений величины относительного зазора δ и относительного смещения σ с помощью непрерывных функций в виде сумм полиномов.

Предложена методика и алгоритм расчётов основных конструктивных параметров специальных ВчТ, позволяющие определять параметры трансформаторов в зависимости от имеющихся исходных данных. Методика, основанная на применении относительных величин, позволяет относительно несложно масштабировать расчёты для подобных обликов сердечников ВчТ.

Четвёртая глава посвящена аналитическим и экспериментальным исследованиям функционирования АИН в системе ЭТК бесконтактной передачи ЭЭ, направленным на решение задачи снижения до возможно допустимых токов инверторов, повышенные значения которых обусловлены наличием немагнитных зазоров между составными частями ВчТ.

Для решения поставленной задачи проведено схемотехническое моделирование в графической среде имитационного моделирования Simulink, интегрированной в MATLAB.

На основании выполненных исследований предложено решение, при котором на выходе АИН параллельно первичной обмотке трансформатора

включается последовательная резонансная *LC*-цепь, защищенное патентом на изобретение № 2558681.

Рассмотрены вопросы функционирования АИН при различных относительных частотах и определения значений относительных частот, удовлетворяющих решению поставленной задачи во всем диапазоне нагрузок ВчТ (от режима холостого хода до режима предельно допустимой нагрузки).

Использование резонансной цепи позволило уменьшить величину тока АИН в 2,5 и более раза при сохранении передаваемой мощности на ПА, что подтверждено экспериментально.

Результаты работы, направленные на уменьшение токов АИН, внедрены и используются в лаборатории «Энергетика подводных робототехнических комплексов» федерального государственного бюджетного учреждения науки (ФГБУН) «Институт проблем морских технологий» Дальневосточного отделения Российской академии наук (ИПМТ ДВО РАН).

В **пятой главе** представлены основные сведения об экспериментальных исследованиях в рамках поставленных задач.

Приведено описание экспериментальной установки, показаны результаты натурных экспериментов и компьютерного моделирования, приведённого к числовым значениям экспериментов, в виде зависимостей тока инвертора от тока нагрузки ЭТК бесконтактной передачи ЭЭ, а также его внешние характеристики без резонансной цепи и с резонансной цепью, подключённой параллельно первичной обмотке трансформатора.

Выполненный анализ совокупности полученных данных даёт основание сделать вывод об удовлетворительной сходимости результатов аналитических и экспериментальных исследований,

В **заключении** содержатся основные результаты теоретических и экспериментальных исследований, выполненных на основании обобщенного мониторинга, системного анализа, синтеза и сравнительных оценок, направленных на решение задачи бесконтактной передачи ЭЭ для зарядки АБ ПА.

В **приложениях** представлены копии материалов, подтверждающих новизну и внедрение.

3. Основные научные результаты и их новизна

Научная новизна выполненной работы заключается в следующем:

– разработана математическая модель электротехнического комплекса для зарядки АБ, который содержит дополнительный токоограничивающий

элемент, снижающий «броски» тока на этапе включения, и алгоритм его расчёта;

– разработана на основании обобщённых теоретических исследований математическая модель ВчТ;

– разработана и апробирована методика расчёта специального ВчТ;

– предложена методика повышения эффективности зарядки АБ подводного объекта на основе ограничения тока АИН с помощью последовательной резонансной цепи.

4. Практическая ценность

Заключается в:

– предложенном электротехническом комплексе подключения УВН с использованием дополнительного токоограничивающего элемента;

– полученных результатах определения основных конструктивных параметров ВчТ по предложенной методике;

– созданной схеме модели АИН с подключенной на его выходе резонансной цепью параллельной первичной обмотки ВчТ, позволяющей при сохранении неизменной передаваемой мощности уменьшать величину тока до необходимых значений;

– полученных результатах натурных экспериментов, позволяющих оценить адекватность предложенных решений, направленных на повышение эффективности зарядки АБ необитаемого автономного ПА.

5. Апробация и публикации

Подтверждена полученными результатами математического моделирования и натурных экспериментов, сравнительным анализом, наличием патентов на изобретения и актом внедрения.

Основные результаты диссертационного исследования были представлены и обсуждались на международных, всероссийских и региональных научно-технических конференциях.

Содержание работы отражено в 30 основных публикациях, включая 11 статей в рецензируемых научных журналах перечня высшей аттестационной комиссии (ВАК), 1 – в рецензируемом международном научном журнале, 1 монографию и 7 патентов на изобретения.

Работа в полном объеме докладывалась на кафедре «Судовая энергетика и автоматика» Инженерной школы Дальневосточного федерального университета (ДВФУ).

6. Соответствие содержания автореферата основным положениям диссертации

Представленный автореферат отражает основные положения диссертационной работы и не превышает рекомендованный для кандидатских диссертаций объем.

Рукопись автореферата соответствует требованиям государственного стандарта ГОСТ 7.0.11-2011 и пунктам Положения о присуждении учёных степеней, утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. № 842.

7. Замечания по содержанию диссертационной работы

Необходимо обратить внимание на следующие основные замечания по рассматриваемой диссертационной работе:

– из содержания диссертации не представляется возможным определить, исследовалось ли применение УВН в ЭТК бесконтактной передачи ЭЭ на ПА;

– третья глава работы содержит, как представляется, избыточное описание различных трансформаторов, применение которых в составе ЭТК бесконтактной передачи ЭЭ не всегда однозначно;

– в соответствии с ГОСТ 2.105-95 нельзя использовать перенос слов в названиях глав и параграфов, что не соблюдено в названии п. 4.2 текста диссертации (стр. 79);

– в работе для определения основных параметров ЭТК бесконтактной передачи ЭЭ с резонансной цепью, близких к оптимальным, использован параметр m, применение которого недостаточно обосновано.

Приведённые замечания не оказывают определяющего влияния на общую положительную оценку представленной диссертационной работы, ее научную и практическую ценность, и носят уточняющий, рекомендательный характер.

8. Заключение

Диссертация «Электротехнический комплекс для бесконтактной передачи электроэнергии на автономный подводный объект» представляет собой законченную научно-квалификационную работу, выполненную на актуальную тему. Полученные на основе проведенных исследований научные результаты имеют существенное теоретическое и практическое значение для судовой энергетики подводной техники.

Актуальность диссертационной работы, научная новизна, практическая значимость, структура, содержание и публикации, включая автореферат, соответствуют требованиям, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук, изложенным в Положении о присуждении учёных степеней, утверждённом постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. № 842, пунктам 1...5 паспорта научной специальности 05.09.03 – Электротехнические комплексы и системы (технические науки).

Автор диссертации Красковский Михаил Владимирович заслуживает присуждения ему учёной степени кандидата технических наук по специальности 05.09.03 – Электротехнические комплексы и системы (технические науки).

Отзыв составлен на основании заключения кафедры «Теоретические основы электротехники» ФГБОУ ВО «Морской государственный университет имени адмирала Г. И. Невельского» по результатам рассмотрения и обсуждения диссертации на заседании кафедры «17 » июля 2019 г., протокол № 11-2018/19.

Заведующий кафедрой
«Теоретические основы электротехники»
ФГБОУ ВО «МГУ
им. адм. Г. И. Невельского»,
к. ф.-м.н., доцент

Седов Виктор
Александрович