На правах рукописи

AA

Красковский Михаил Владимирович

Электротехнический комплекс для бесконтактной передачи электроэнергии на автономный подводный объект

Специальность 05.09.03 – Электротехнические комплексы и системы (технические науки)

Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук

Владивосток - 2019

Работа выполнена в Федеральном государственном автономном образовательном учреждении высшего образования (ФГАОУ ВО) «Дальневосточный федеральный университет» (ДВФУ) на кафедре «Судовая энергетика и автоматика»

Научный руководитель:	доктор технических наук, профессор Кувшинов Геннадий Евграфович доктор технических наук, доцент Бурков Алексей Фёдорович, профессор Инженерной школы ФГАОУ ВО ДВФУ
Официальные оппоненты:	Саушев Александр Васильевич, доктор технических наук, доцент, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования (ФГБОУ ВО) «Государственный университет морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова», заведующий кафедрой
	Кузьмин Роман Вячеславович, кандидат технических наук, ФГБОУ ВО «Комсомольский-на-Амуре государственный университет», доцент
Ведущая организация:	ФГБОУ ВО «Морской государственный университет имени адмирала Г. И. Невельского»

Защита состоится «26» сентября 2019 года в 13:00 часов на заседании объединённого диссертационного совета Д999.086.03 при ФГБОУ ВО «Комсомольский-на-Амуре государственный университет», ФГБОУ ВО «Дальневосточный государственный университет путей сообщения», ФГБОУ ВО «Амурский государственный университет» по адресу: 681013, Хабаровский край, г. Комсомольск-на Амуре, пр. Ленина, д. 27, корпус 3, ауд. 201/3.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке и на сайте ФГБОУ ВО «Комсомольский-на-Амуре государственный университет» https://sovet.knastu.ru/diss_defense/show/116

Автореферат разослан «__» ____ 2019 г.

Учёный секретарь диссертационного совета Д999.086.03, к.т.н., доцент

_____ А.С.Гудим

Актуальность темы исследования. Подводные аппараты (ПА) представляют собой устройства, позволяющие проводит многофункциональные исследования морского рельефа, флоры и фауны, обнаруживать и определять различные объекты (затонувшие плавающие средства, мины) и решать другие научно-технические задачи.

Вопросами разработки, управления и эксплуатации ПА занимается ряд научно-производственных учреждений России. К основоположникам подводной робототехники в Дальневосточном регионе относится «Институт проблем морских технологий» Дальневосточного отделения Российской академии наук (ИПМТ ДВО РАН), созданный на базе Института автоматики и процессов управления (ИАПУ) ДВО РАН.

ПА в общем случае можно условно разделить на привязные (или буксируемые) подводные объекты (ППО) и автономные подводные объекты (АПО).

ППО связаны с суднами-носителями гибкой связью посредством кабельтросов. К основным преимуществам применения таких аппаратов относится отсутствие необходимости установки аккумуляторных батарей (АБ) для их функционирования (электродвижения и др.), а к недостаткам – отсутствие возможности автономного перемещения аппаратов относительно судов-носителей.

АПО, в свою очередь лишены отмеченного недостатка. Однако на таких аппаратах для их функционирования (движения и др.) необходимо наличие автономных источников электрической энергии – АБ.

Структуры ППО и АПО во многом схожи. Общими и неотъемлемыми элементами этих объектов являются суда-носители и кабель-тросы. Отличия заключаются в том, что на одном конце кабель-троса в случае с ПНПО подключён сам аппарат, а в случае с АПО – донное причальное устройство (ДПУ) или «гараж», где расположено устройство для зарядки его АБ поскольку применение контактной электрической зарядки под водой (преимущественно морской) не представляется возможным или очень затруднено из-за агрессивности окружающей среды и сопутствующих факторов.

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

В общем случае исследуемый электротехнический комплекс (ЭТК) для бесконтактной зарядки АБ ПА состоит из управляемого выпрямителя напряжения (УВН), расположенного на судне-носителе, кабель-троса, передающего устройства ДПУ, включающего в себя в качестве основных составляющих автономный инвертор напряжения (АИН) и первичную составную часть специального высокочастотного трансформатора (ВчТ), а также зарядное устройство для зарядки АБ, содержащее-вторичную часть ВчТ и расположенное в ПА.

В научно-технической литературе описаны различные подходы к зарядке аккумуляторов АПО, но все они не представляются пригодными в случае бесконтактного варианта зарядки, так как намагничивающая составляющая тока специального ВчТ из-за наличия немагнитного зазора при стыковке составных частей трансформаторов обусловленного контактными стенками этих частей, имеет недопустимо высокое значение. Особенностью такой структуры является то, что намагничивающая составляющая тока трансформатора является так же и током инвертора. При этом происходит увеличение массогабаритных показателей последнего. Так как элементы инвертора должны располагаться по условиям эксплуатации в в герметичных корпусах, размеры которых ограничены, снижение тока инвертора при неизменном сохранении тока трансформатора и неизменном значении передаваемой мощности, и как следствие уменьшение его габаритов, представляется актуальной задачей.

Одним из вариантов уменьшения тока инвертора может быть поиск решений, основанных на использовании резонансных явлений.

К основным задачам, требующим решения, относится определение параметров специального ВчТ, являющегося одним из ключевых звеньев в структуре системы ЭТК для бесконтактной передачи электрической энергии (ЭЭ) на ПА.

Одна из составных частей ВчТ располагается на ПА и имеет ограничения, которые определены конструктивными особенностями аппаратов. В частности, если аппарат в сечении имеет цилиндрическую форму, то размеры ферритового сердечника вторичной обмотки ВчТ должны быть таких определённых размеров, чтобы не нарушить обтекаемость аппарата, так как сердечник располагается непосредственно по его обводам на поверхности корпуса.

Кроме того, к к задачам, требующим решения, относится определение устройства для заряда выходного конденсатора УВН, который входит в систему бесконтактной передачи ЭЭ.

На первом этапе, при подключении ЭТК к судовой электростанции возникает «бросок» пускового тока, который превышает его номинальное значение в несколько раз. Для ограничения этого пускового тока можно предложить вариант токоограничивающего изделия, подключённого на входе УВН. В результате, в процессе запуска ЭТК бесконтактной зарядки, при определённых рассчитанных и выбранных параметрах пусковой ток, поступающий на УВН, будет иметь допустимые значения, например, равное его номинальной величине. Уменьшение величин пусковых токов позволяет использовать входящие в структуру УВН силовые полупроводниковые приборы (транзисторы, диоды и др.) с меньшими массоразмерными показателями.

Степень разработанности темы исследований. Решение задач применения бесконтактной зарядки АБ ПА в современном мире представляется актуальным.

Вопросы, связанные с проектированием, настройками и эксплуатацией ЭТК ПА отражены в работах Г. Е. Кувшинова, Л. В. Киселёва, В. А. Герасимова, М. Д. Агеева, А. В. Инзарцева, Г. Ю. Илларионова, В. В. Костенко и др.

Различные способы зарядки АБ ПА описаны как в русскоязычных, так и в зарубежных литературных источниках.

Целью исследования в диссертационной работе является разработка и оптимизация электротехнического комплекса для бесконтактной передачи электроэнергии на автономный ПА.

Достижение поставленной цели требует решения следующих научнотехнических задач:

– создание, исследование и анализ математической модели способа для подключения УВН;

– разработку математической модели и проведение натурных экспериментов с ВчТ на разработанном макетном стенде системы бесконтактной зарядки АБ;

– разработку методики расчёта специального ВчТ;

– аналитические исследования режимов работы АИН, входящего в состав электротехнического комплекса для бесконтактной зарядки автономных ПА, при помощи компьютерного моделирования;

– проведение натурных экспериментов с АИН на макетном стенде системы бесконтактной зарядки АБ;

– сопоставление результатов теоретических исследований и натурных испытаний.

Объект исследования – электротехнический комплекс для бесконтактной передачи ЭЭ на автономный подводный объект (аппарат).

К предметам исследования относятся способ подключения для УВН; специальный ВчТ, относящийся к основным звеньям системы бесконтактной передачи ЭЭ на автономный ПА; АИН.

Методология исследований при решении поставленных задач обусловлена использованием описаний схемных реализаций устройств электротехнических комплексов для зарядки АБ ПА, положений теоретических основ электротехники, теории электроники, имитационных (математических) моделей электротехнических систем, численных методов решения аналитических задач.

Научная новизна 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.

Практическая ценность:

 предложенный электротехнический комплекс подключения УВН с использованием дополнительного токоограничивающего элемента;

 – результаты определения основных конструктивных параметров ВчТ по предложенной методике;

 – созданная схема 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; – результаты натурных экспериментов, позволяющие оценить адекватность предложенных решений, направленных на повышение эффективности зарядки АБ необитаемого автономного ПА.

Положения, выносимые на защиту:

 концепция повышения эффективности систем бесконтактной зарядки
 АБ подводных объектов (аппаратов) за счёт снижения на основе резонансных явлений тока АИН при сохранении неизменной передаваемой мощности;

- математическая модель и методика расчёта специального ВчТ;

– способ, защищённые авторскими свидетельствами, технически реализованные и внедрённые изделия для ограничения пусковых токов УВН.

Степень достоверности и апробация результатов научных исследований подтверждена результатами математического моделирования и натурных экспериментов, наличием патентов на изобретения и актом внедрения полученных результатов.

Основные результаты работы отражены: в материалах международной научно-практической конференции «Проблемы транспорта Дальнего востока» (г. Владивосток, МГУ, 2015 г.), материалах международной научной конференции «Современные технологии и развитие политехнического образования» (г. Владивосток, ДВФУ, 2016 г.), в материалах всероссийской научно-технической конференции «Перспективные системы и задачи управления» (г. Таганрог, ЮФУ, 2016 г.), материалах всероссийской научно-технической конференции «Технические проблемы освоения мирового океана» (г. Владивосток, ИПМТ ДВО РАН, 2017 г.), в материалах всероссийской научно-технической конференции «Перспективные системы и задачи управления» (г. Владивосток, ИДВО РАН, 2017 г.), в материалах всероссийской научно-технической конференции «Перспективные системы и задачи управления» (г. Владивосток, ДВФУ, 2018 г.).

Результаты работы, направленные на уменьшение токов автономного инвертора, внедрены и используются в лаборатории «Энергетика подводных робототехнических комплексов» ИПМТ ДВО РАН.

Основное содержание работы представлено в 30 научных публикациях (научных статьях, патентах на изобретения, докладах на конференциях), в том числе 8 работ опубликованы в журналах, включённых в перечень высшей аттестационной комиссии (ВАК). В работах [5, 8, 15, 13, 20, 23, 24, 29] списка публикаций соискателю принадлежит постановка задачи и теоретическая часть. Обработка результатов и написание работ выполнена совместно с соавторами. В работах [2, 6, 12, 19, 21, 22, 25, 27] списка публикаций соискателю принадлежит теоретическая часть. Постановка задачи и обработка результатов выполнены совместно с соавторами. В работах [1, 3, 4, 7, 9-11, 14, 16, 17, 18, 26, 28, 30] постановка задачи, теоретическая часть и обработка результатов выполнены совместно с соавторами.

Структура и объём работы. Диссертационная работа на соискание учёной степени кандидата технических наук состоит из введения, 5 глав, заключения, списка сокращений и условных обозначений, списка использованных литературных источников, включающего 95 наименований, и приложений. Работа изложена на 140 страницах, содержит 44 рисунка, 2 приложения.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении рассмотрены типы подводных аппаратов, которые в общем случае подразделяется на ППО и АПО. Определена структура системы бесконтактной передачи ЭЭ на подводный объект. Обоснована актуальность темы диссертации. Поставлены основные задачи – создание, исследование и анализ математической модели способа для подключения УВН; разработка математической модели и проведение натурных экспериментов с ВчТ на разработанном макетном стенде системы бесконтактной зарядки АБ; разработка методики расчёта специального ВчТ; аналитические исследования режимов работы АИН, входящего в состав электротехнического комплекса для бесконтактной зарядки автономных ПА, при помощи компьютерного моделирования; проведение натурных экспериментов с САИН на макетном стенде системы бесконтактной зарядки АБ; сопоставление результатов теоретических исследований и натурных испытаний. Приведены основные положения, выносимые на защиту, степень достоверности и апробация результатов.

Первая глава посвящена обзору существующих систем энергоснабжения подводных объектов привязного типа и энергообеспечения автономных ПА, их анализу, в зависимости от типа питающего напряжения судовой электрической станции (СЭС).

Структуру ЭТК бесконтактной передачи ЭЭ для зарядки АБ АПО в общем случае можно представить в виде нескольких конструктивных блоков, как показано на рисунке 1.



Рисунок 1 – Структура ЭТК для бесконтактной зарядки АБ ПА

Как видно из рисунка 1 в конструктивный блок 1 входит выпрямитель напряжения B_1 , питание на который поступает от СЭС. Второй конструктивный блок представлен АИН с входным фильтрующим конденсатором C_1 . Помимо этих элементов в этот блок также входит блок управления (БУ) инвертором, на который поступают сигналы обратных связей с преобразователей температуры ΠT_1 и ΠT_2 . Кроме того, конструктивный блок 2 (рисунок 1) содержит первичную обмотку ВчТ, расположенную в специальной герметичной оболочке.

Вторичная обмотка трансформатора расположена в третьем конструктивном блоке – рисунок 1. Так же в этом блоке расположены выпрямитель напряжения B_2 , фильтрующий конденсатор C_2 , регулятор тока *PT*, сглаживающий реактор и нагрузка (АБ). До начала процесса зарядки АБ ПА первичная и вторичная обмотки трансформатора должны располагаться максимально близко друг к другу. Помимо этого оси обмоток должны находиться на одной линии. В дальнейшем, при включении устройства для бесконтактной передачи ЭЭ, через выпрямитель происходит заряд входного конденсатора C_1 инвертора. Переменное напряжение с выхода АИН поступает на первичную обмотку трансформатора, и затем, посредством электромагнитной индукции, трансформируется во вторичную обмотку. Напряжение вторичной обмотки ВчТ выпрямляется и через фильтрующий конденсатор поступает на регулятор тока (РТ) и на нагрузку (АБ). Регулирование тока в РТ происходит за счёт широтно-импульсной модуляции выходного напряжения с использованием сигналов обратных-связей по току зарядки АБ и по выходному напряжению ЭТК (для упрощения обратные связи на рисунке 1 не показаны)

РТ работает по алгоритму, соответствующему технической документации на определённый тип АБ. В частности, процесс зарядки литий-ионных АБ осуществляется в два этапа. На первом этапе необходимо поддерживать зарядный ток неизменным. Далее по мере зарядки АБ их увеличивающееся напряжение достигает номинального значения, и процесс зарядки переходит на второй этап. На этом этапе РТ при уменьшающемся зарядном токе поддерживает неизменным заданное значение напряжения АБ.

Во второй главе исследованы вопросы функционирования УВН. Показаны возможные варианты подключения УВН с целью заряда его выходного конденсатора, который одновременно является входным для АИН. Описаны преимущества и недостатки этих вариантов. В качестве рассматриваемого токоограничивающего устройства для подключения к УВН в диссертации выбран реактор, который необходим для заряда его выходного конденсатора в начальный момент времени во избежание выхода из строя полупроводниковых элементов выпрямителя – рисунок 2.



Рисунок 2 – Принципиальная электрическая схема, включающая УВН-и устройство подключения

На первом этапе процесса зарядки УВН работает в неуправляемом режиме. Входная цепь УВН содержит рабочую индуктивность L_3 , а также дополнительный токоограничивающий реактор L_1 , который включен в схему и необходим для ограничения входного тока УВН. Реактор L_1 работает только на первом этапе зарядки, после чего шунтируется ключом K_2 – рисунок 2. При этом выпрямитель переходит в управляемый режим работы.

Основная задача, которую выполняет УВН, заключается в поддержании значения коэффициента мощности, близкого к единице, т. е. УВН с реактором по своей сути являются пассивным корректором коэффициента мощности.

Задача расчёта дополнительного токоограничивающего реактора заключается в определении такой его индуктивности, при которой ток полупроводниковых элементов выпрямителя будет равен номинальным значениям, во избежание их перегрева.

Для удобства настройки и анализа процесса заряда выходного конденсатора C_{out} УВН разработана система управления УВН, структурная схема которой представлена на рисунке 3.



Рисунок 3 – Комбинированная схема, включающая принципиальную схему УВН и структурную схему системы управления УВН

В систему управления УВН входит устройство подключения (УП), которое электрически связано с источником переменного тока, напряжение которого равно U_{in} . Также в систему входят управляющее устройство (УУ), блок управления (БУ), вычислительный блок (ВБ) и блок отображения информации (БОИ) с осциллографом. УВН состоит из четырёх транзисторов VT_1 - VT_4 и включённых встречнопараллельно пар диодов (VD_1 - VD_4).

К выходу УВН подключён внешний конденсатор C_{out} . Измерительный преобразователь входного тока (ИПВТ1), необходимый для измерения пускового тока, включён между пусковым L_1 и входным L_2 реакторами. Также между нулевым проводом и выходным зажимом пускового реактора L_1 включён измерительный преобразователь входного напряжения (ИПВН1), предназначенный для измерения входного напряжения УВН. Выходы ИПВТ1 и ИПВН1 подключены к входам УУ.

Кроме того, на выходе УВН параллельно его выходным клеммам подключен измерительный преобразователь напряжения (ИПН), а последовательно между выходной клеммой УВН и одной из клемм нагрузки – измерительный преобразователь тока (ИПТ). Выходы ИПТ и ИПН подключены к входам УУ. На выходе УУ отрабатывается рассогласование входных и выходных сигналов УВН, на основании которого формируется алгоритм управления транзисторами выпрямителя.

В содержании диссертации выполнены исследования режимов функционирования УВН, включающих десять основных этапов. На этапах с первого по седьмой происходит настройка индуктивности пускового (токоограничивающего) реактора L_1 и ёмкости выходного конденсатора C_{out} ;, а с восьмого по десятый – настройка угла между входным напряжением и входным током УВН.

Третья глава посвящена исследованиям специальных. В главе выполнен обзор и анализ схем-замещения трансформаторов, к основным из которых отнесены Т-образные схемы замещения, треугольная схема замещения и схема замещения, обеспечивающая гальваническую и магнитную развязки.

Области применения этих схем замещения для аналитических исследований представляются различными. Например Т-образная схема замещения ВчТ (рисунок 3.1.1 в тексте диссертации) практически отображает классический вариант схемы замещения трансформатора. Отличительной особенностью является отсутствие необходимости приводить параметры первичной обмотки ко вторичной или наоборот. Характерной особенностью такой схемы является подключение одного из концов обеих обмоток к общему узлу, в результате чего цепи становятся электрически связанными. При таком включении одна из индуктивностей имеет отрицательное значение (у понижающих трансформаторов ($n_{21} < 1,0$) отрицательна индуктивность L_2 –M, а у повышающих ($n_{21} > 1,0$) отрицательна индуктивность L_1 –M.

Для определения параметров трансформаторов выполнены необходимые аналитические исследования. Модель трансформатора реализована в программе Solidworks и импортирована в программу для проектирования и исследования двумерных и трёхмерных полей ANSYS Maxwell, с помощью которой 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.

Наглядная взаимосвязь между параметрами трансформатора и зазором между сердечниками, а также межосевым смещением представлена на рисунке 4, где массивы коэффициентов связи и значений удельной индуктивности витка для ВчТ с сердечниками типа PCH150x30 отображены в виде трехмерных поверхностей. Для сердечников меньшего размера, например типа PS68x14,5, картина зависимости относительного коэффициента связи k_M и удельной индуктивности индуктивности лаговараниента связи связи совпадать с поверхностью, показанной для первого сердечника.



1 – зависимость коэффициента связи k_M от относительного зазора δ и смещения σ ; 2 – зависимость удельной индуктивности витка Λ от относительного зазора δ и смещения σ Рисунок 4 – Взаимозависимости между параметрами k_M и Λ ВчТ с сердечниками

РСН150х30, относительными зазорами δ и смещениями σ

В этом случае

$$k_{M} = \sum_{i=0}^{n} \sum_{j=0}^{m} a_{ij} \left(\delta\right)^{i} \left(\sigma\right)^{j}; \quad \Lambda = \sum_{i=0}^{n} \sum_{j=0}^{m} b_{ij} \left(\delta\right)^{i} \left(\sigma\right)^{j}, \tag{1}$$

где $\delta = h/D_{MAX}$; $\delta = s/D_{MAX}$; a_{ij} , b_{ij} – коэффициенты аппроксимирующих полиномов для коэффициента связи и удельной индуктивности витка обмотки ВчТ, соответственно; n, m – степени полиномов.

Для трансформаторов с сочетанием сердечников типов PCH150x30 и PS68x14,5 (рисунок 4) последовательность исследований остается неизменной, а изменяются лишь численные значения коэффициентов a_{ij} , и b_{ij} полиномов (1). При этом за базу относительных единиц следует принимать диаметр меньшего сердечника. Необходимо отметить, что последнее сочетание может найти применение в системах бесконтактной передачи ЭЭ, где возможны повышенные значения ошибок стыковки первичной и вторичной составных частей ВчТ.

Проведенные исследования дают основания предложить методику расчета конструктивных параметров трансформатора, удовлетворяющего условиям в пределах поставленных задач.

Характерной особенностью расчетов является необходимость учета ряда специфических ограничений, связанных с размещением приемной части ВчТ на

ПА, располагаемой номенклатурой ферритовых сердечников и типоразмеров обмоточного провода (литцендрата), с условиями охлаждения обмоток трансформатора (допустимой плотности тока в обмотках), с максимально возможной ошибкой совмещения контактных поверхностей при причаливании. При этом требуемый результат, достигаемый несколькими итерациями, может быть получен при различных конструктивных исполнениях ВчТ. Необходимо отметить, что приведенная методика справедлива для случаев использования в качестве магнитопроводов ферритовых сердечников чашечного типа.

Основная задача расчетов сформулирована в следующем виде: по имеющимся исходным данным с учетом заданных ограничений определить наиболее приемлемый конструктивный вариант ВчТ, обеспечивающий передачу на ПА заданную активную мощность.

Анализ выполненных исследований дает основание сделать вывод о том, что в общем случае расчет трансформатора может быть выполнен в двух основных вариантах.

К первому варианту относятся расчеты на основании исходных данных, которыми являются номинальный ток заряда I_{AE} и номинальное напряжение U_{AE} полностью заряженной АБ, т. е. значение номинальной передаваемой мощности. Целью расчетов в этом случае является определение приемлемого вида и параметров конструктивного облика ВчТ, обеспечивающего решение поставленных задач. Под конструктивным обликом в данном случае подразумевается диаметр и количество сердечников, входящих в состав ВчТ, параметры обмоточных проводов и числа витков обмоток.

При втором варианте расчетов к исходным данным относятся параметры сердечника трансформатора (максимальный диаметр сердечника D_{\max} и др.). Такой вариант принимается за основу, когда необходимо производить расчёты для определенных сердечников. В этом случае рассчитывается значение максимальной передаваемой мощности. Постановка задачи объясняется тем, что максимальный диаметр сердечника (чашечного типа) и наружный диаметр аппарата связаны определенным соотношением, выполнение которого сохраняет условия обтекаемости корпуса ПА, допустимой шумности при движении аппарата и не усложняет процесс совмещения контактных поверхностей трансформатора при посадке аппарата на ДПУ. Так, например, для АПА средних размеров с круглым поперечным сечением, диаметр которого составляет 400...600 мм, D_{\max} сердечника трансформатора не должен превышать 15 % диаметра аппарата в месте установки приемной части ВчТ.

Обобщенный алгоритм расчетов, объединяющий рассмотренные два варианта можно представить в виде обобщенной блок-схемы, показанной на рисунке 5, причем отличия в расчетах по этим вариантам обусловлены различным наборам исходных данных.

В случае первого варианта расчета и выбора ВчТ, обеспечивающего решение поставленных задач, к исходным данным (рисунок 5, блок 2) относятся: плотность тока *J*; номинальное напряжение U_{AE} полностью заряженной АБ; ток I_{AE} зарядки АБ; максимальная частота коммутации автономного инвертора f_{max} ; коэффициент k_{DC} , учитывающий необходимый запас по входному напряжению

зарядного устройства; толщина контактной стенки h_{CT} оболочки трансформатора; напряжение U_1 питания инвертора.



Рисунок 5 – Блок-схема алгоритма расчёта трансформатора

Предварительно принимается, что ВчТ состоит из одного трансформатора с сердечником чашечного типа наружным диаметром.

Диаметр D_{max} принимается из соотношения

$$D_{\max} = (0, 1...0, 15) D_A, \tag{2}$$

где *D*_A – диаметр корпуса ПА в месте установки приемной части ВчТ ЭТК.

Коэффициент связи k_M и удельная индуктивность витка Λ для заданного зазора δ и смещения σ (блок 3) определяются из полиномов (1), полученных предварительно для принятого в расчетах типа сердечника.

Параметры вторичной обмотки трансформатора (число витков W_2 и площадь сечения S_2 обмоточного провода из меди) (блок 4) определяются по формулам:

$$W_{2} = \sqrt{\frac{k_{DC}U_{AE}}{4\sqrt{3}I_{AE}f\Lambda D_{T}(1-k_{M}^{2})}}; \quad S_{2} = \frac{I_{2}}{J}.$$
(3)

В (3): k_{DC} – коэффициент преобразователя, равный отношению напряжения U_2 на вторичной стороне трансформатора к напряжению АБ U_{AE} ; I_2 – ток вторичной обмотки трансформатора (на первом шаге принимается $I_2 = I_{AE}$.

По полученному значению S₂ выбирается провод (литцендрат). Поскольку рабочая частота инвертора составляет десятки килогерц, то для токопроводящих жил литцендрата достаточен диаметр порядка 0,1 мм.

С учетом выбранного провода в блоке 5 выполняется проверка заполнения окна сердечника вторичной обмотки.

Если обмотка размещается в окне (коэффициент заполнения $K_{3-2} < 1$), то дальнейшее выполнение алгоритма переходит в блок 6 (рисунок 5), где выполняются расчеты числа витков W_1 и сечения S_1 медного провода первичной обмотки трансформатора по-следующим формулам:

$$W_{1} = \frac{k_{M} U_{1} W_{2}}{\sqrt{3} k_{DC} U_{AB}}; \quad S_{1} = \frac{k_{DC} U_{AB}}{4 f W_{1} W_{2} k_{M} \Lambda D_{T} J (1-k^{2})}.$$
 (4)

По рассчитанному значению S_1 выбирается провод (литцендрат).

В блоке 7 (рисунок 5) проверяется заполнение окна сердечника первичной обмотки. Если обмотка размещается в окне и использование данного сердечника является достаточно полным (коэффициент заполнения $0,5 < K_{3-1} < 1,0$), то выполняемые расчеты можно считать завершенными (рисунок 5, блок 8).

В результате выполненных расчетов по представленному на рисунке 5 алгоритму определяется тип обмоточного провода и числа витков первичной и вторичной обмоток ВчТ. При этом типоразмер сердечника трансформатора совпадает с первым приближением, принятым на этапе задания начальных условий.

В случае если коэффициент заполнения окна вторичной (блок 5) или первичной (блок 7) обмоток окажется больше единицы, то дальнейшие расчеты выполняются с использованием блока 10, в котором выполняется оценка возможности изменения исходных данных, например, увеличение диаметра $D_{\rm max}$ сердечника трансформатора. Если такие изменения возможны, то после принятия корректного решения (блок 11) происходит переход к началу расчетов (блок 3) и процесс вычислений повторяется путем последовательного выполнения операций в блоках 4...8.

Если выполнение условий в блоке 10 не осуществимо, то, как вариант, увеличивается число трансформаторов (блок 12), на которых будет происходить деление передаваемой мощности после чего выполняется повторение расчетов для одного трансформатора из принятой группы.

Алгоритм расчета по второму варианту практически идентичен, только в этих случаях диаметр сердечника $D_{\rm max}$ должен оставаться неизменным. Результатом расчетов при этом является значение максимальной передаваемой мощности для указанных исходных данных и конкретного типоразмера ферритового чашечного сердечника.

Четвёртая глава посвящена аналитическим и экспериментальным исследованиям функционирования АИН в системе ЭТК бесконтактной передачи ЭЭ. Так как намагничивающая составляющая тока трансформатора является одновременно током инвертора, имеет повышенное значение, обусловленное конструктивными особенностями ВчТ (наличием немагнитного зазора между его составными частями), вынужденной необходимостью является разработка и проведение научно-технических мероприятий, направленных на разгрузку по току транзисторных ключей инвертора при сохранении неизменного тока трансформатора.

Одним из возможных вариантов разгрузки по току ключей АИН представляется использование такой структуры инвертора, при которой выполняется компенсация определённой доли намагничивающей составляющей входного тока трансформатора. Поскольку эта составляющая имеет индуктивный характер, то компенсацию следует выполнять элементом, имеющим ёмкостный характер. Применение одних конденсаторов в этих случаях ограничено, т. к. на выходе инвертора формируется напряжение прямоугольной формы.

На основании выполненных исследований предложено решение, при котором на выходе АИН параллельно первичной обмотке трансформатора включается последовательная резонансная *LC*-цепь, представленная на рисунке 6.



Рисунок 6 – Схема ЭТК бесконтактной передачи ЭЭ, включающая резонансную LC-цепь

Анализ функционирования инвертора с подключённой последовательной резонансной цепью, образующей совместно с первичной обмоткой трансформатора параллельный резонансный контур, целесообразно выполнять аналитически, на основании математического моделирования. Для решения поставленных задач проведено схемотехническое моделирование в графической среде имитационного моделирования Simulink, интегрированной в MATLAB. Модель ЭТК бесконтактной передачи ЭЭ соответствовала схеме, приведенной на рисунке 6.

На рисунке 7.а представлена полученная временная диаграмма выходного тока АИН при отсутствии резонансной LC-цепи, когда к выходу АИН подключена только первичная обмотка трансформатора с собственной индуктивностью L_1 .

В этом случае ток в нагрузке изменяется линейно и протекает поочередно через диагональные ключи или через диоды. На рисунке 7.*а* показаны интервалы проводимости ключей (двойные линии) и диодов (пунктирные горизонтальные линии) для одного периода коммутации. Управляющий сигнал u_1 воздействует на входы ключей K_1 и K_4 в интервале времени $t_1...t_2$, затем следует пропуск («deadtime») в интервале $t_2...t_3$ и далее сигнал управления u_2 поступает на ключи K_2 и K_3 второй диагонали моста инвертора в интервале времени $t_3...t_4$. Интервалы проводимости ключей и диодов в процессе работы чередуются. Ключи каждой диагонали проводят ток при воздействии соответствующего управляющего сигнала u_1 или u_2 после завершения интервала проводимости диодов. При этом ток инвертора имеет повышенное значение, которое обусловлено увеличенным током намагничивания трансформатора. Кроме того, как видно из рисунка 7.*a*, в момент закрытия ключей ток, протекающий через них, имеет максимальное значение, увеличивая потери и нагрев элементов инвертора в режиме коммутаций ключей, что приводит к необходимости отвода тепла.



a) — резонансная *LC*-цепь отсутствует; b) — параметры резонансной цепи соответствуют относительной частоте $n_I = 1,0; b$) — параметры резонансной цепи соответствуют нулевым потерям переключения при $n_I > 1,0$



На рисунке 7.6 приведена полученная временная диаграмма тока при параллельном подключении к первичной обмотке трансформатора последовательной резонансной *LC*-цепи. Для первой гармоники выходного напряжения АИН выполняется условие $n_I = f / f_I = 1,0$, соответствующее резонансу токов в его нагрузке. При этом действующее значение выходного тока инвертора имеет меньшее значение, определяемое активными потерями в цепях протекания тока. Для реального выходного сигнала инвертора в виде меандра минимальное действующее значение тока инвертора достигается также при $n_I = f / f_I > 1,0$.

Анализ полученных результатов моделирования показал, что при таком включении действующее значение тока снижается не менее чем в 2,5 раза. При этом соответствующего уменьшения потерь мощности не происходит. Это объясняется, прежде всего, тем, что форма тока инвертора хотя и изменилась, но в моменты времени t_2 и t_4 выключения ключей он имеет максимальное значение. Значение этого тока меньше, чем в случае отсутствия резонансной цепи (рисунок 7.*a*), и составляет примерно 0,6, но этого оказывается недостаточно для снижения суммарных потерь мощности в инверторе до приемлемого уровня.

В ходе исследований было определено, что существенное снижение потерь мощности в инверторе можно получить при переходе к «мягкой коммутации», которая будет выполняться при определенном значении относительной частоты $n_I > 1,0$. В этом случае выключение транзисторов инвертора будет происходить при нулевом токе и сопровождаться минимальными потерями.

Таким образом возникает задача определения значения относительной частоты n_i , удовлетворяющего поставленной задаче во всем диапазоне нагрузок (от режима холостого хода трансформатора до предельно допустимой), с учетом последствий от погрешностей стыковок передающей T_1 и приемной T_2 частей трансформатора при причаливании ПА к базе. При этом должны быть минимизированы потери в открытом состоянии ключей и потери переключения, образуемые включением и выключением транзисторов инвертора. Временная диаграмма результатов полученных исследований, согласно которой в момент включения и выключения напряжение и ток стремятся к нулю, приведена на рисунке 6.*в*.

По результатам проведенных исследований построены частотные характеристики АИН в режиме холостого хода трансформатора, представленные на рисунке 8.



 I_{OFF}^{*} – ток ключей к моменту выключения; P_{H}^{*} – мощность потерь в АИН; I_{H}^{*} – действующее значение выходного тока АИН

Рисунок 8 – Частотные характеристики АИН в режиме холостого хода

Для определения параметров передаваемой ЭЭ при подключении нагрузки к выводам вторичной обмотки трансформатора построены внешние характеристики $U_2(I_H)$ – рисунок 9. В этом случае нагрузку можно представить в виде сочетания выпрямителя, емкостного фильтра C_{ϕ} , импульсного преобразователя с системой автоматического регулирования (САР) и АБ. Полная зарядка батареи будет осуществляться в случае, если напряжение, подводимое к входу САР, превышает напряжение полностью заряженной АБ. Внешняя характеристика $U_2(I_H)$ ЭТК бесконтактной передачи ЭЭ должен иметь вид одной из характеристик, показанных на рисунке 9, где U_2^* – напряжение на входе САР зарядки, а I_H^* – ток заряда АБ в относительных единицах. Семейство характеристик, представленных на рисунке 9, получено при изменении величины емкости резонансного конденсатора C_p , включенного на вторичной стороне трансформатора последовательно с нагрузкой.



Рисунок 9 – Внешние характеристики ЭТК передачи ЭЭ при различных значениях емкости резонансного конденсатора в цепи нагрузки: $C_P = C_1 > C_2 > C_3 > C_4 > C_5$

Характеристика C_1 (рисунок 9) соответствует отсутствию резонансного конденсатора ($C_p = \infty$). При этом за единичные базовые значения приняты напряжение холостого хода и ток короткого замыкания. Включение во вторичную цепь резонансного конденсатора емкостью C_p приводит к изменению внешних характеристик ЭТК. Из семейства представленных на рисунке 9 характеристик обоснованное практическое применение имеют характеристики в диапазоне изменения ёмкости резонансного конденсатора $C_5 < C_p < C_4$. Выбор конкретного значения ёмкости C_p определяется требованиями к параметрам и процессу заряда АБ.

Таким образом выполненные исследования по использованию резонансных явлений как на первичной, так и на вторичной сторонах трансформатора, сопровождаются суммированием следующих положительных свойств: введение резонансной *LC*-цепи параллельно первичной обмотке трансформатора позволяет уменьшить потери в инверторе, снизить температуру силовых ключей и повышая надежность ЭТК в целом без влияния на внешние характеристики; применение последовательного резонансного конденсатора на вторичной стороне трансформатора приводит к независимому формированию требуемой внешней характеристики, определяющей передаваемую мощность при наличии ограничений, связанных с допустимыми нагрузками на резонансный конденсатор *C*_P.

Достоверность полученных выводов подтверждена результатами выполненных экспериментальных исследований на лабораторном стенде, соответствующем схеме ЭТК, приведенной на рисунке 6. Параметры резонансных элементов и трансформатора имели следующие значения: L = 40 мкГн; C = 0,4 мкФ; $L_1 = L_2 = 120$ мкГн.

На рисунке 9 приведены результаты аналитических и экспериментальных исследований (пунктирная линия) внешних характеристик ЭТК при ёмкости *С*_{*P*},

равной ёмкости конденсатора C_5 ($C_5 = 0,35 \text{ мк}\Phi$). Удовлетворительное совпадение результатов расчетов и экспериментов подтверждает адекватность используемых в исследованиях математических моделей.

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

Экспериментальная установка для выполнения исследований представлена на рисунке 10.



1 – АИН; 2 – выпрямитель напряжения; 3 – специальный ВчТ; 4 –электронный блок нагрузки; 5 – преобразователь напряжения

В качестве источника ЭЭ использован регулируемый трансформатор, питающий преобразователь постоянного напряжения (ППН), напряжение с которого поступает на инвертор из двух полумостовых модулей IGBT-транзисторов фирмы Электрум AB 1. На выходе инвертора параллельно первичной обмотке трансформатора 3 включена последовательная резонансная *LC*-цепь, которая совместно с первичной обмоткой трансформатора образовывает параллельный резонансный контур. Кроме того, в состав экспериментальной установки (рисунок 10) входит выпрямитель 2, собранный на элементах той же компании, что и инвертор, с фильтрующим конденсатором. Электронный блок нагрузки 4, позволяет посредством сопротивления изменять её величину в достаточно широком диапазоне, что способствует обеспечению допустимой точности при экспериментальных исследованиях необходимых характеристик.

Вместо блока УВН, входящего в структуру ЭТК бесконтактной передачи электроэнергии на ПА, в экспериментальной установке использован блок ППН. Функционально ППН, как и УВН, решает ту же основную задачу – стабилизирует-входное напряжение.

На рисунке 11 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 для двух вариантов: 1 – без резонансной цепи; 2 – с резонансной цепью, подключённой параллельно первичной обмотке трансформатора.

Рисунок 10 – Экспериментальная установка ЭТК энергообеспечения ПА



Рисунок 11 —Зависимости тока инвертора *I*_{IHB} от тока нагрузки *I*_H(*a*) и внешние характеристики (б) ЭТК бесконтактной передачи ЭЭ (сплошные линии – математическое моделирование, маркеры –физическое моделирование)

Анализ полученных результатов дает основание сделать вывод об удовлетворительной сходимости результатов аналитических и экспериментальных исследований, а при введении последовательной резонансной цепи практически не изменят внешнюю характеристику ЭТК бесконтактной передачи ЭЭ.

При функционировании ЭТК бесконтактной передачи ЭЭ важное значение имеют его энергетические показатели, в частности коэффициент полезного действия (КПД, η).

В ходе исследований было определено изменение КПД ЭТК бесконтактной передачи ЭЭ в функции от тока нагрузки. Результаты исследований представлены на рисунке 12.

При выполнении исследований необходимо решение вопроса определения необходимой ёмкости для создания резонансной цепи и выбора конденсаторов.



Рисунок 12 – Зависимость КПД (η) от тока нагрузки I_H ЭТК бесконтактной передачи ЭЭ (сплошные линии – математическое моделирование, маркеры –физическое моделирование): 1 – без резонансной цепи; 2 – с резонансной цепью

Представляется целесообразным производить выбор конденсаторов, входящих в последовательную резонансную цепь, из определения их допустимого напряжения и реактивной мощности учитывая, что допустимое напряжение на конденсаторах зависит от частоты, на которой они будут использоваться. При увеличении частоты значение максимально допустимого напряжения на конденсаторах, исходя из условия его безопасной эксплуатации, уменьшается. Необходимо отметить, что для типоразмеров с меньшими значениями ёмкостей это уменьшение происходит в меньшей степени. Снижение массогабаритных показателей ёмкостной составляющей резонансной цепи можно оптимизировать за счёт применения нескольких конденсаторов. В ходе исследований был проведён анализ конденсаторов, который дает основание сделать вывод о том, что наиболее приемлемыми показателями в отношении удельной ёмкости и максимально допустимых параметров (тока и напряжения) обладают конденсаторы фирмы EPCOS. В частности, если максимально допустимое напряжение конденсатора с номиналом 1,00 мкФ на рабочей частоте меньше требуемого значения, то для его увеличения возможно параллельное включение двух конденсаторов с номиналами 0,47 мкФ (два конденсатора фирмы EPCOS с номиналами 1,00 мкФ и 0,47 мкФ имеют одинаковый допустимый уровень напряжения $U_{don} = 1250$ В на частоте до 1,0 кГц).

Для определения основных параметров ЭТК бесконтактной передачи ЭЭ с резонансной цепью, близких к оптимальным, исследованы зависимости реактивных мощностей конденсаторов, реакторов и выходной мощности АИН от параметра m (отношения собственной частоты резонансной цепи f_0 к рабочей частоте f коммутации АИН), определяемого как

$$m = \sqrt{1 + \frac{L_1}{L}},\tag{5}$$

где L_1 – индуктивность резонансной цепи, L – индуктивность первичной обмотки трансформатора.

В результате выполненных исследований определены зависимости полных относительных мощностей этих компонентов и мощности потерь в функции *m* на холостом ходу АИН ЭТК бесконтактной передачи ЭЭ без резонансной цепи – рисунок 13.



Рисунок 13 – Зависимости полных относительных мощностей и мощности потерь от параметра *m* исследуемых компонентов ЭТК в режиме холостого хода:

 S_{II}^* – выходная мощность АИН; P_{II}^* – мощность потерь в АИН; S_C^* , S_L^* – мощности конденсаторов и реакторов, соответственно

Анализ результатов позволяет сделать вывод о том, что наиболее приемлемыми значениями параметра *m*, при которых обеспечивается допустимый компромисс между потерями в транзисторных ключах инвертора, значениями мощностей реактивных элементов резонансной цепи и резонансных конденсаторов на вторичной стороне трансформатора, является диапазон от 1,8 до 2,2.

Заключение содержит основные результаты теоретических, а также компьютерных и экспериментальных исследований.

1. Предложен вариант решения задачи ограничения пусковых токов УВН на основе дополнительных токоограничивающих элементов (реакторов) при их подключении к источнику напряжения переменного тока на входе УВН для плавного заряда его выходного конденсатора (входного конденсатора АИН). Решение задачи ограничения токов защищено патентом на изобретение.

2. Предложена система управления УВН, позволяющая производить настройку пусковых токоограничивающих элементов и ёмкостей выходных конденсаторов, и защищенная патентом на изобретение.

3. Разработана для аналитических исследований математическая модель специального ВчТ, удовлетворяющая основным сформированным требованиям и обеспечивающая достаточную универсальность. По результатам аппроксимации разработанной модели получены полиномы, позволяющие определять удельные индуктивности обмоток витков и коэффициенты связи трансформаторов.

4. Предложена методика расчёта специального ВчТ с разделенными обмотками, на основании которой выполнены аналитические исследования в соответствии с поставленными задачами.

5. Создана с целью проверки адекватности математической модели реальному объекту физическая модель ЭТК бесконтактной передачи ЭЭ, на которой выполнено моделирование необходимых режимов работы компонентов и ЭТК в целом.

6. Выполнен сравнительный анализ результатов аналитических и экспериментальных исследований, который показал удовлетворительную сходимость результатов.

7. Предложен вариант ограничения тока АИН на основе резонансного явления, получаемого при включении на выходе АИН параллельно первичной обмотке трансформатора последовательной цепи, состоящей и реактора и конденсатора позволяющий снизить значение тока инвертора не менее чем в 2,5 раза при сохранении передаваемой мощности. Данное решение защищено патентом на изобретение.

8. Разработана математическая модель для аналитических исследований выходных токов АИН при отсутствии и различных значениях параметров резонансной *LC*-цепи АИН, выполнены необходимые исследования в графической среде имитационного моделирования Simulink, интегрированной в МАТLAB, направленные на определение возможностей ограничения выходных токов АИН.

9. Проведены экспериментальные исследования с целью определения возможностей ограничения токов инвертора.

10. Выполнен сравнительный анализ, дающий основание сделать вывод об удовлетворительной сходимости результатов аналитических и экспериментальных исследований.

Таким образом, внедрение научно разработанных и технически реализованных на основе выполненных исследований решений позволяет улучшить технико-экономические показатели систем зарядки АБ ПА, комплексно повысить эффективность технической эксплуатации ПА.

Публикации по теме диссертации. Список основных работ по теме диссертации включает 30 публикаций.

Рецензируемые научные журналы и издания перечня ВАК:

1. Кувшинов, Г. Е. Расчёт ёмкости входного конденсатора автономного инвертора напряжения / Г. Е. Кувшинов, М. В. Красковский // ЭЛЕКТРО. Электротехника, электроэнергетика, электротехническая промышленность, 2014. – № 6. – С. 47-50.

2. Кувшинов, Г. Е. Усовершенствование устройства для подключения управляемого выпрямителя напряжения к источнику переменного тока / М. В. Красковский, Г. Е. Кувшинов, Ю. Г. Себто // Приборы, 2015. – № 9. – С. 27-30.

3. Герасимов, В. А. Разгрузка транзисторов инвертора в системе бесконтактной передачи электроэнергии на автономный подводный аппарат / В. А. Герасимов, М. В. Красковский, Г. Е. Кувшинов // Известия ЮФУ. Технические науки, 2016. – № 4 (177). – С. 133-147.

4. Герасимов, В. А. Автономный инвертор напряжения с последовательным резонансным контуром / В. А. Герасимов, М. В. Красковский, Г. Е. Кувшинов, А. Ю. Филоженко // Известия ЮФУ. Технические науки, 2016. – № 4 (177). – С. 147-158.

5. Герасимов, В. А. Повышение эффективности бесконтактной передачи электроэнергии на автономный подводный аппарат / В. А. Герасимов, М. В. Красковский, Г. Е. Кувшинов, А. Ю. Филоженко // Подводные исследования и робототехника, 2016. – № 1 (21). – С. 24-30.

6. Герасимов, В. А. Использование резонанса для токовой разгрузки транзисторных ключей инвертора / В. А. Герасимов, М. В. Красковский, Г. Е. Кувшинов, А. Ю. Филоженко // Двойные технологии, 2016. – № 4 (77). – С. 55-60.

7. Герасимов, В. А. Повышение эффективности системы бесконтактного заряда аккумуляторных батарей автономного необитаемого подводного аппарата / В. А. Герасимов, М. В. Красковский, А. Ю. Филоженко // Известия ЮФУ. Технические науки, 2017. – № 1 (186). – С. 108-120.

8. Герасимов, В. А. Обеспечение передачи заданной мощности в системе бесконтактного заряда аккумуляторных батарей подводного аппарата / В. А. Герасимов, М. В. Красковский, А. Ю. Филоженко, П. И. Чепурин // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Энергетика, 2017. – Т. 17, № 4. – С. 48-58. DOI: 10.14529/power170406.

9. Герасимов, В. А. Определение конструктивных параметров трансформатора системы бесконтактной передачи электроэнергии на подводный аппарат / В. А. Герасимов, А. В. Комлев, М. В. Красковский, А. Ю. Филоженко, И. А. Чемезов // Известия ЮФУ. Технические науки, 2018. – № 1 (195). – С. 208-219.

10. Герасимов, В. А. Токовая разгрузка системы бесконтактной передачи электроэнергии на подводный аппарат / В. А. Герасимов, А. В. Комлев, М. В. Красковский, А. Ю. Филоженко // Морские интеллектуальные технологии, 2018. – Т. 2, № 2/40. – С. 67-72.

11. Герасимов, В. А. Методика расчета конструктивных параметров трансформатора бесконтактной системы заряда аккумуляторных батарей подводного аппарата / В. А. Герасимов, А. В. Комлев, М. В. Красковский, А. Ю. Филоженко // Подводные исследования и робототехника, 2018. – № 1 (25). – С. 21-29.

Рецензируемые международные научные журналы:

12. Kraskovskiy, M. V. The Use of Resonance for Current Downloading of the Transistor Keys of the Inverter / M. V. Kraskovskiy, V. A. Gerasimov, G. E. Kuvshinov, A. Yu. Filozhenko // International Journal of Control Theory and Applications, 2016. – Vol. 9, Is. 30. – P. 305-311.

Монографии:

13. Красковский, М. В. Прибор для испытания высокочастотных воздушных трансформаторов. Анализ структуры прибора / М. В. Красковский, Г. Е. Кувшинов // LAMBERT Academic Publishing, 2013. – 84 с. ISBN 978-3-659-44625-2.

Авторские свидетельства и патенты:

14. Патент на изобретение № 2521613 Российская Федерация, МПК Н 02 М 1/00, 1/36 (2007.01). Устройство для подключения управляемого выпрямителя напряжения к источнику напряжения переменного тока / Г. Е. Кувшинов, Ю. Г. Себто, М. В. Красковский, П. А. Кравцов, А. В. Кравцова; заявитель и патентообладатель ДВФУ – № 2013114883/07; заявл. 02.04.2013; опубл. 10.07.2014, Бюл. № 19.

15. Патент на изобретение № 2558681 Российская Федерация, МПК Н 02 М 7/797 (2006.01). Автономный инвертор напряжения для питания нагрузки через трансформатор с низким коэффициентом связи между его обмотками / Г. Е. Кувшинов, Л. А. Наумов, Ю. Г. Себто, В. А. Герасимов, А. Ю. Филоженко, П. И. Чепурин, М. В. Красковский; заявитель и патентообладатель ИПМТ ДВО РАН – № 2014111547/07; заявл. 25.03.2014; опубл. 10.08.2015, Бюл. № 22.

16. Патент на изобретение № 2593152 Российская Федерация, МПК Н 02 М 1/36 (2007.01). Устройство для подключения управляемого выпрямителя напряжения к источнику напряжения переменного тока / Г. Е. Кувшинов, Л. А. Наумов, Ю. Г. Себто, М. В. Красковский, Р. С. Федюк; заявитель и патентообладатель ИПМТ ДВО РАН – № 2015121180/07; заявл. 03.06.2015; опубл. 27.07.2016, Бюл. № 21.

17. Патент на изобретение № 2604883 Российская Федерация, МПК Н 02 Н 7/16 (2006.01), МПК Н 02 Н 9/02 (2006.01). Устройство для ограничения зарядного тока конденсатора нагрузки при подключении к сети переменного тока / В. А. Герасимов, А. В. Комлев, М. В. Красковский; заявитель и патенто-

обладатель ИПМТ ДВО РАН – № 2015151373/07; заявл. 30.11.2015; опубл. 20.12.2016, Бюл. № 35.

18. Патент на изобретение № 2610924 Российская Федерация, МПК Н 02 J 7/10 (2006.1). Устройство для ограничения зарядного тока конденсатора нагрузки при подключении к сети переменного тока / В. А. Герасимов, А. В. Комлев, М. В. Красковский; заявитель и патентообладатель ИПМТ ДВО РАН – № 2016106066; заявл. 20.02.2016; опубл. 17.02.2017, Бюл. № 5.

19. Патент на изобретение № 2620255 Российская федерация, МПК Н 02 J 7/04 (2006.01). Устройство для зарядки аккумуляторных батарей / В. А. Герасимов, А. В. Комлев, М. В. Красковский; заявитель и патентообладатель ИПМТ ДВО РАН – № 2016123917; заявл. 15.06.2016; опубл. 24.05.2017, Бюл. № 15.

20. Патент на изобретение № 2622043 Российская Федерация, МПК Н 02 М 1/36 (2007.01). Система управления управляемого выпрямителя напряжения / Г. Е. Кувшинов, Л. А. Наумов, Ю. Г. Себто, М. В. Красковский; заявитель и патентообладатель ИПМТ ДВО РАН – № 2015147939; заявл. 06.11.2015; опубл. 11.06.2017, Бюл. № 16.

Другие наиболее значимые публикации:

21. Герасимов, В. А. Схемы замещения трансформатора / В. А. Герасимов, П. А. Кравцов, А. В. Кравцова, М. В. Красковский, Ю. Г. Себто // Вологдинские чтения. Научная конференция; ДВФУ: сб. докладов. – Владивосток: ДВФУ, 2013. – С. 164-166.

22. Кувшинов, Г. Е. Устройство для подключения управляемого выпрямителя напряжения к источнику напряжения переменного тока / Г. Е. Кувшинов, А. В. Дрюкова, П. А. Кравцов, М. В. Красковский, Ю. Г. Себто // Электрика, 2013. – № 4. – С. 31-40.

23. Кувшинов, Г. Е. Устройство для подключения управляемого выпрямителя напряжения к источнику напряжения переменного тока / Г. Е. Кувшинов, М. В. Красковский, Ю. Г. Себто // Энергетика: Управление, качество и эффективность использования энергоресурсов; АМГУ: сб. докл. VIII междунар. науч.-практич. конф. – Комсомольск-на Амуре: АМГУ, 2015. – С. 413-416.

24. Кувшинов, Г. Е. Устройство для подключения к источнику переменного тока и контроля за работой управляемого выпрямителя напряжения / Г. Е. Кувшинов, М. В. Красковский, Ю. Г. Себто // Проблемы транспорта Дальнего востока; МГУ: сб. докд. Одиннадцатой междунар. науч.-практич. конф. – Владивосток: МГУ, 2015. – С. 182-184.

25. Красковский, М. В. Способ разгрузки силовых ключей автономного инвертора напряжения / М. В. Красковский // Транспорт Азиатско-Тихоокеанского региона, 2016. – № 1. – С. 35-38.

26. Красковский, М. В. Схемы замещения трансформатора / М. В. Красковский, Г. Е. Кувшинов // Вопросы современных технических наук: свежий взгляд и новые решения: сб. докл. Ш междунар. науч.-практич. конф. – Екатеринбург, 2016. – С. 115-118.

27. Герасимов, В. А. Разгрузка транзисторов инвертора в системе бесконтактной передачи электроэнергии на автономный подводный аппарат / В. А.

Герасимов, М. В. Красковский, Г. Е. Кувшинов // Перспективные системы и задачи управления: сб. докл. Одиннадцатой науч.-практич. конф. – Таганрог: ЮФУ, 2016. – Том II, С. 30-42.

28. Герасимов, В. А. Разгрузка транзисторов автономного инвертора напряжения / В. А. Герасимов, М. В. Красковский, Г. Е. Кувшинов, А. Ю. Филоженко // Современные технологии и развитие политехнического образования; ДВФУ: сб. докл. междунар. науч. конф. – Владивосток: ДВФУ, 2016. – С. 340-343.

29. Красковский, М. В. Схема замещения высокочастотного трансформатора для гальванической и магнитной развязки его обмоток / М. В. Красковский, Г. Е. Кувшинов // Приоритетные задачи и стратегии развития технических наук: сб. докл. II междунар. науч.-практич. конф. – Тольятти, 2017. – С. 37-39.

30. Герасимов, В. А. Организация мягких переключений инвертора в системе бесконтактной зарядки аккумуляторных батарей подводного робота / В. А. Герасимов, М. В. Красковский, А. Ю. Филоженко // Технические проблемы освоения мирового океана: ИПМТ: сб. докл. Седьмой Всероссийской науч.-техн. конф. – Владивосток: Дальнаука, 2017. – С. 129-134.

Красковский Михаил Владимирович

ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ БЕСКОНТАКТНОЙ ПЕРЕДАЧИ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ НА АВТОНОМНЫЙ ПОДВОДНЫЙ ОБЪЕКТ

Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук

Печать 15.07.2019. Формат 60х84/16 Усл. печ. л. 1,38 Уч.-изд. л. 1,23 Тираж 100 ИПМТ ДВО РАН, 690091, г. Владивосток, ул. Суханова, д. 5а