

Отзыв

официального оппонента на диссертационную работу
Ульянова Александра Владимировича
«Разработка и исследование электротехнического комплекса газоманнитных
опор высокоскоростного электрооборудования»,
представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук
по специальности 05.09.03 «Электротехнические комплексы и системы».

Актуальность темы

Диссертационная работа Ульянова А.В. посвящена проблеме совершенствования комплекса бесконтактных газоманнитных опор (ГМО) сочетающих в себе достоинства активных электромагнитных подшипников (АЭМП) и газостатических опор. Использование ГМО, сочетающих в себе газовый и магнитный подвес, позволяет повысить несущую способность подшипниковых узлов, существенно увеличить жесткость и точность позиционирования ротора, что особенно важно в высокоскоростном электрооборудовании, защитить магнитный подвес страховочным газовым подвесом в случае аварийных ситуаций.

Применяемые в высокоскоростном электрооборудовании подшипники на основе комплекса ГМО, выгодно отличаются от традиционных гидродинамических подшипников скольжения меньшими потерями энергии на «трение», отсутствием сложной, пожаро- и экологически опасной маслосистемы, повышенным ресурсом работы и снижением эксплуатационных расходов.

Совершенствование теории и методики проектирования таких электротехнических комплексов с учетом технических требований, особенностей конструкции, технологии изготовления и условий работы представляет важную научно-техническую задачу.

В анализируемой литературе не разработано удовлетворительно точных методов анализа процессов, происходящих в силовой части ГМО, учитывающих совместное действие газовой и магнитной опор, сложную геометрию под-

шипников, нелинейность магнитных свойств материалов, смещение ротора в зазоре, и других факторов, существенно влияющих на устойчивость подвеса и его энергетические и массогабаритные параметры. То есть, сугубо практической задаче повышения технико-эксплуатационных характеристик ГМО соответствует нерешенная научная проблема развития и совершенствования теории анализа и разработки методов и алгоритмов совместного использования процедур математического моделирования электромагнитного поля и газостатических процессов.

Актуальность работы подтверждается тем, что она выполнялась в рамках научно – технических исследований при поддержке гранта № 14.В37.21.0449 «Совершенствование металлорежущих станков путем внедрения в их конструкцию сверхпрецизионных высокоскоростных шпиндельных узлов на бесконтактных опорах для обработки ответственных деталей силовых и вспомогательных установок кораблей и объектов океанотехники».

В связи с изложенным, тема диссертации Ульянова А.В., посвященная разработке и исследованию электротехнического комплекса газоманитных опор высокоскоростного электрооборудования, безусловно, актуальна и соответствует специальности 05.09.03- «Электротехнические комплексы и системы».

Новизна исследований и полученных результатов

Научная новизна определяется тем, что в работе расширяются и углубляются представления о принципах построения электротехнического комплекса ГМО, обеспечивающего повышенную несущую способность и точность позиционирования ротора; предложена СУ электромагнитной составляющей ГМО и впервые рассчитаны параметры регулятора с учетом газовой составляющей; получены результаты экспериментальных исследований, подтверждающие эффективность работы предложенного электротехнического комплекса ГМО.

Во введении обоснована актуальность темы диссертации, определены объект и предмет исследования. Сформулирована цель и изложены задачи исследования, приведены основные положения, выносимые на защиту, их научная

новизна, приведены основные результаты работы, их теоретическая и практическая значимость.

В первой главе проведен обзор современного состояния в области бесконтактных опор высокоскоростного электрооборудования, проанализированы преимущества и недостатки электромагнитных, газовых и газоманитных опор. Достаточно убедительно обоснованы конкретные задачи проводимого научного исследования, направленного на повышение конкурентоспособности ГМО за счет улучшения массогабаритных, силовых, энергетических характеристик подвеса при обеспечении заданной динамической и статической точности.

Во второй главе проанализировано действие газовых и магнитных сил на ротор, установленный на ГМО, разработана методика расчета тягового усилия ГМО с учетом совместного действия газовых и магнитных сил. С учетом сохранения оптимальной структуры газовой части опоры предложены варианты компоновочных схем ГМО и произведен обоснованный выбор схемы для использования в высокоскоростном электрооборудовании, проведено моделирование магнитной части опоры.

Аналитическое описание ГМО как объекта управления, предложенная автором, отличается научной новизной и служит основой для синтеза системы управления комбинированным подшипником.

В третьей главе впервые проведен синтез СУ электротехнического комплекса, отличающийся учетом газостатической и электромагнитной составляющих ГМО, проведено ее исследование, предложен алгоритм проектирования СУ. Определены выражения для нахождения коэффициентов регулятора. СУ исследована на устойчивость и точность. Предложенный автором алгоритм устранения ошибки измерения зазора в ГМО отличается научной новизной. Исследования СУ на компьютерной модели подтвердили выдвинутые теоретические положения по точности и устойчивости системы.

В четвертой главе приведено описание опытного образца электромеханической части ГМО и усовершенствованного автором экспериментального стен-

да, рассмотрена техническая реализация СУ, а также обобщены результаты испытаний электротехнического комплекса ГМО.

Усовершенствования стенда заключались в возможности реализации полноценной замкнутой системы регулирования электромагнитным подшипником.

Испытания комплекса показали, что ГМО с активным магнитным управлением имеет заметное преимущество по несущей способности по сравнению с ГМО без магнитной тяги. Так, например, при относительном эксцентриситете 0,6 и силе тока в опоре 0,034 А грузоподъемность ГМО с активным магнитным управлением на 22 % выше, чем у газостатической опоры. Этот результат получен без изменения геометрии активной части газовой опоры.

Новизна полученных технических решений защищена тремя патентами РФ на изобретения.

Таким образом, цель, поставленная в работе, (создание электротехнического комплекса ГМО для высокоскоростного электрооборудования), автором достигнута.

К наиболее существенным и принципиально новым научным результатам, полученным в работе, следует отнести следующее:

1. Конструкции ГМО с низким магнитным «трением» (патенты № 135747, № 134260), позволяющие использовать их в высокоскоростном электрооборудовании с повышенной точностью позиционирования ротора.
2. Математическую модель магнитной цепи ГМО и полученные на ее основе в среде имитационного моделирования электромагнитных процессов ANSYS Maxwell картину магнитного поля, позволяющую оценить насыщение стальных участков и рассчитать сосредоточенные и интегральные параметры магнитов.
3. Алгоритм проектирования СУ, позволивший синтезировать цифровую СУ на базе ПЛИС, реализация которой на основе жесткой логики существенно повышает надежность работы ГМО. Использование ГМО с активным управлением позволяет в номинальном режиме повысить точность позиционирования ротора в 9,6 раз и увеличить несущую способность на 22 %.

4. Алгоритм устранения ошибки измерения зазора из-за неидеальной округлости поверхности вала путём нахождения среднеарифметического значения измеренного зазора за определенное число целых периодов вращения ротора, позволяющий исключить влияние профиля поверхности вала на процесс управления.

Степень обоснованности и достоверности научных положений, выводов и заключений.

Достоверность полученных результатов обеспечивается применением строгих математических методов исследования, экспериментальной проверкой, сравнением с теоретическими и экспериментальными результатами других авторов. Результаты теоретических исследований в виде статических и динамических характеристик проверены на экспериментальном стенде.

Значимость для науки и практики выводов и рекомендаций.

Результаты работы вносят вклад в развитие теории и практики электротехнических комплексов активных бесконтактных подшипников. Разработанные методика проектирования, математические и компьютерные модели используются в производстве на ПАО "Амурский судостроительный завод" в виде проектно - конструкторской документации. Выполненные исследования послужили основой разработки системы управления для опытно-промышленного образца высокоскоростного электрошпинделя с передней управляемой ГМО для внутришлифовального станка 3К227А, а также в учебных программах ФГБОУ ВПО «Комсомольский-на-Амуре государственный технический университет», ведущего подготовку бакалавров и магистров, что подтверждено соответствующими актами использования результатов работы.

Диссертация имеет внутреннее единство, написана ясным языком с использованием правильных технических терминов. Рисунки выполнены с соблюдением стандартов. Основные результаты диссертации опубликованы в 15 печатных работах, включая 4 статьи в изданиях по списку ВАК, 3 патента РФ на изобретения и 2 свидетельства о государственной регистрации программ для ЭВМ. Анализ публикаций автора позволяет утверждать, что содержание диссертации

отражено в них с требуемой Положением ВАК полнотой. Основные результаты работы отражены в изданиях, соответствующих рекомендуемому ВАК перечню изданий для опубликования результатов кандидатских диссертаций. Содержание автореферата соответствует диссертации.

По работе имеются следующие замечания:

1. В выражениях для индуктивности, магнитной энергии и следующего из них уравнения 1 (стр.8 автореферата) не учитывается падение магнитного напряжения на стальных участках и то, что магнитная система ЭМП в общем случае нелинейна из-за некоторого, хотя и небольшого, но имеющегося насыщения (см. рис.3 автореферата). Кроме того, значение индуктивности обмотки существенно зависит от эксцентриситета. Автору следовало указать и обосновать принятые допущения.
2. Стр. 10 автореферата. Коэффициенты k_i и k_l линеаризованы и приняты за постоянные. Более точные значения этих коэффициентов можно было получить, используя результаты математического моделирования поля, которое автором было проделано в Ansoft Maxwell.
3. Пункт 3 научной новизны работы, заключающийся в определении закона распределения магнитной индукции, обеспечивающего минимум магнитных потерь на «трение» отражен в диссертации в недостаточном объеме.
4. На рис.3.5 диссертации в схеме механического аналога ротора в ГМО кроме упругих элементов следовало бы добавить элемент в виде механического демпфера.
5. Структурная схема системы управления, приведенная на рис. 6 автореферата, не учитывает инерционность (постоянную времени) электромагнита.

Заключение

Указанные замечания не снижают ценности выполненной автором работы. В целом диссертация Ульянова А.В. представляет законченную научно-

квалификационную работу, в которой на основании выполненных автором исследований содержится решение научной задачи, имеющей значение для электротехники, и соответствует требованиям п.9 Положения о присуждении ученых степеней, предъявляемым к кандидатской диссертации в области технических наук, а Ульянов Александр Владимирович заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.09.03 «Электротехнические комплексы и системы».

Официальный оппонент, заведующий кафедрой " Электромеханика и автомобильное электрооборудование" ФГБОУ ВО «Самарский государственный технический университет», д.т.н., доцент

Макаричев Юрий Александрович

Подпись Макаричева Ю.А. заверяю:

Ученый секретарь Самарского государственного технического университета

Ю.А. Малиновская

Ф.И.О., представившего отзыв: Макаричев Юрий Александрович

Почтовый адрес организации: 443100, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 244,

Главный корпус СамГТУ.

Адрес электронной почты: makarichev2801@mail.ru

Наименование организации: ФГБОУ ВО «Самарский государственный технический университет», кафедра "Электромеханика и автомобильное электрооборудование"

Тел.(846)242-37-90

Дата составления отзыва: 11.10.16