

Отзыв научного руководителя

о работе аспиранта Е.А. Дунича над диссертацией на тему «Определение динамических возможностей привода на основе двухфазного вентильного двигателя с двухсекционными фазными обмотками» на соискание учёной степени кандидата технических наук по специальности 05.09.03 – «Электротехнические комплексы и системы»

Евгений Алексеевич Дунич в период с 2011 по 2017 годы проходил обучение в Московском авиационном институте (национальном исследовательском университете) на кафедре 702 «Системы приводов авиационно-космической техники» на очно-заочном отделении по специализации «Системы приводов летательных аппаратов» специальности «Интегрированные системы летательных аппаратов». Защитил в 2017 году дипломный проект на отлично по теме «Разработка цифровой системы управления электрическим следящим приводом». По окончании МАИ ему был вручён диплом и присвоена квалификация «инженер». Ещё студентом Евгений Алексеевич проявлял склонность к научной и педагогической работе.

В 2017 году поступил в аспиранту МАИ на очное отделение по специальности 05.02.02 «Машиноведение, системы приводов и детали машин». Обучаясь в аспирантуре, Е.А. Дунич добросовестно выполнял все виды учебной нагрузки, принимал участие в проведении лабораторных работ по дисциплине «Аналоговые, дискретные и микропроцессорные устройства систем приводов». Разработал лабораторный макет мехатронного модуля на основе двигателя постоянного тока, который активно используется в учебном процессе при проведении лабораторных работ, курсовом и дипломном проектировании для исследования особенностей работы системы «Цифровое устройство управления – усилитель мощности – исполнительный двигатель» при реализации методов импульсного управления. В 2021 году Е.А. Дунич закончил аспирантуру и получил квалификацию «Исследователь. Преподаватель-исследователь».

Повышение эффективности использования имеющихся природных ресурсов является одной из первоочередных задач развития общества. Создание высокоэффективных электроприводов, используемых в современных транспортных пилотируемых и беспилотных системах, медицинском оборудовании, бытовой технике и т.д., связано с выбором электродвигателя, динамические возможности которого должны удовлетворять предъявляемым к проектируемой системе требованиям. На данный момент отечественные разработчики электрических машин выпускают двухфазные и трёхфазные вентильные двигатели с двухсекционными фазными обмотками встраиваемого исполнения. Данные по одной секции, присутствующие в паспортах изделий, являются недостаточными для выбора конкретного двигателя, так как не учитывают схемы соединения и варианты задействования имеющихся секций. Отсутствует какой-либо подход, позволяющий по имеющимся значениям секционных параметров многофазного и многосекционного электродвигателя, получить необходимые данные по механическим, регулировочным, энергетическим и динамическим характеристикам, на основе которых и принимается решение о целесообразности применения данного двигателя в разрабатываемом электроприводе. Научно обоснованный автоматизированный подход, который был разработан Е.А. Дуничем, позволяет

получить необходимую информацию и на её основе принять наиболее верное решение по использованию рассматриваемого электродвигателя в приводе.

В работе предложено развитие теоретического аппарата, который используется при проектировании электропривода на основе многофазных вентильных двигателей с многосекционными фазными обмотками. Получены аналитические зависимости цифровых сигналов, которые поступают на усилитель мощности и с датчика положения ротора на основе цифровых датчиков Холла. Выведены математические выражения для всех возможных базовых векторов магнитной индукции якоря, которые используются для реализации процессов коммутации и создания электромагнитного момента. Получены описания комбинированных методов с использованием четырёхключевых усилителей мощности и впервые численно определены амплитуды пульсации момента и максимальные значения к.п.д. для этих случаев.

На основе существующих моделей двигателей постоянного тока и трёхфазного вентильного двигателя в среде Simulink Е.А. Дуничем была разработана универсальная секционная модель двухфазного вентильного двигателя с двухсекционными фазными обмотками, позволяющая исследовать физические процессы и рассчитывать статические и динамические характеристики при различных методах управления. На базе созданной модели с помощью языка Matlab были разработаны два программных комплекса, которые позволили автоматизировать построение эпюр цифровых и аналоговых сигналов, а также расчёт механических характеристик и отображение графиков к.п.д. Созданные программные комплексы являются востребованными разработчиками приводных систем, так как позволяют на этапе проектирования определить эффективность реализуемых решений на основе двухфазного вентильного двигателя. Создание таких многофункциональных программных комплексов с задействованием параллельных вычислений невозможно без глубоких знаний языка Matlab и среды моделирования Simulink.

Е.А. Дунич изучил язык SystemVerilog и самостоятельно разработал на этом языке параметрическое описание цифрового устройства управления системой «усилитель – двухфазный двигатель». С помощью параметров имеется возможность гибкой настройки устройства управления для обеспечения работы системы заданным требованиям. Полученное описание было им протестировано с использованием среды ModelSim и реализовано в программируемой логической интегральной схеме (ПЛИС) семейства Cyclone IV фирмы IntelFPGA с помощью среды Quartus Prime Lite.

С целью подтверждения достоверности разработанных теоретических положений и адекватности созданной компьютерной модели двухфазного вентильного двигателя с двухсекционными фазными обмотками в среде Simulink им лично был создан лабораторный макет, включающий разработанный пульт задания управляющего сигнала, приобретённую демонстрационную плату с ПЛИС, разработанные платы с гальванической развязкой, датчика положения ротора на основе датчиков Холла и усилителя мощности, а также корпус оригинальной конструкции.

В качестве электрического двигателя в лабораторном макете был использован отечественный двухфазный вентильный двигатель встраиваемой конструкции ДВМ50-0,04-3-2. Для него Е.А. Дунич разработал в среде SolidWorks 3D-модель корпуса, который позволяет исследовать произвольные методы управления, включая комбинированные. На основе созданной модели с применением аддитивных технологий был изготовлен образец корпуса.

Полученные в лаборатории кафедры 702 «Системы приводов авиационно-космической техники» результаты экспериментальных исследований работы лабораторного макета при различных вариантах соединения секций и их задействования качественно совпали с результатами расчётов на базе компьютерной модели.

Основные результаты по работе были доложены им лично на международных конференциях «Авиация и космонавтика» и «Проблемы совершенствования робототехнических и интеллектуальных систем летательных аппаратов», проводимых с 2017 по 2021 годы, опубликованы в соавторстве с научным руководителем в журнале «Электричество» в №10 и №11 за 2021 год, входящем в перечень рекомендованных журналов ВАК.

За время обучения в аспирантуре Е.А. Дунич проделал большую черновую работу, развил способности к анализу объёмной информации и её обобщению, существенно продвинулся в эффективном использовании современных компьютерных и аддитивных технологий, а также усовершенствовал навыки публичных выступлений. Полученные им результаты позволили улучшить содержание курсов лекций и лабораторных работ, заданий по курсовым работам и курсовому проектированию по дисциплинам «Аналоговые, дискретные и микропроцессорные устройства систем приводов» и «Применение САПР в проектировании электронных устройств».

С учётом изложенного выше диссертационная работа Е.А. Дунича является законченной диссертационной работой, которая удовлетворяет требованиям, предъявляемым Высшей аттестационной комиссией к работам по специальности 05.09.03 «Электротехнические комплексы и системы», а сам соискатель заслуживает присуждения ему учёной степени кандидата технических наук.

д.т.н., профессор РАН,
директор дирекции Института №7
«Робототехнические и интеллектуальные системы»



А.В. Кривилев

А.В. Кривилев

19.05.2022