

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РФ
Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

SIBERIAN
FEDERAL
UNIVERSITY



СИБИРСКИЙ
ФЕДЕРАЛЬНЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ

660041, РОССИЯ, Красноярск, проспект Свободный, 79
телефон (391)2-44-82-13, тел./факс (391)2-44-86-25
http://www.sfu-kras.ru, e-mail: office@sfu-kras.ru

14.02.2019 № 107
на № _____ от _____

УТВЕРЖДАЮ

И.о. ректора ФГАО
федеральный у
д-р биол. наук

Владимир Иннокентьевич Колмаков

«14» февр

ОТЗЫВ

ведущей организации на диссертационную работу **Балкового Николая Николаевича** на тему **«Разработка и исследование системы управления динамическим моментом двигателя-маховика системы ориентации и стабилизации космического аппарата»**, представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности **05.09.03 – «Электротехнические комплексы и системы»**

1 Актуальность темы диссертационной работы

Эффективность функционирования космического аппарата на орбите во многом обуславливается качеством работы электромеханических исполнительных органов системы ориентации и стабилизации. Для малых космических аппаратов эту роль исполняют управляющие двигатели-маховики (УДМ), которые создают моменты, прикладываемые к корпусу КА в процессе управления его движением относительно центра инерции.

Современная тенденция к постоянному улучшению массогабаритных показателей космических аппаратов и увеличению их срока службы на орбите диктует требования к повышению точностных и эксплуатационных характеристик, в том числе к УДМ. Проблемными здесь являются: отсутствие современной элементной базы отечественного производства с достаточной стойкостью к специальным воздействующим факторам космического пространства; наличие нелинейной формы момента сопротивления (скачки возмущения, момент трогания); нелинейности электрической машины, блоков преобразования электрической энергии и т.д.

Несмотря на известность непосредственного метода управления динамическим моментом в электромеханических системах, его применение в УДМ невозможно из-за отсутствия прецизионного датчика момента, а также ввиду прочностных и конструктивных ограничений механической связи вала двигателя с датчиком момента и с маховиком.

Многолетняя предыстория исследований показывает, что реализовать потенциальные возможности УДМ, получить линейные регулировочные и скоростные характеристики момента при использовании косвенных методов управления динамическим моментом, основанных на регулировании фазного

тока двигателя вследствие нелинейностей момента сопротивления, особенно в зоне околонулевых частот вращения, до сих пор не удавалось.

Диссертационная работа соискателя посвящена синтезу и практической реализации трехконтурной системы управления УДМ, построению математической модели, анализа статических и динамических свойств замкнутой системы, теоретические и экспериментальные исследования направлены на разработку рекомендаций по проектированию, изготовлению и настройке УДМ с управлением по динамическому моменту, что уменьшает затраты на проектирование новых приборов данного типа и является актуальной задачей.

2 Соответствие диссертации и автореферата паспорту специальности 05.09.03 – «Электротехнические комплексы и системы»

Диссертационная работа и автореферат являются исследованием по развитию и совершенствованию теоретической и технической базы электротехнических комплексов и систем, по своему содержанию полностью соответствуют формуле и профилю специальности в связи с тем, что рассматриваются вопросы преобразования электрической энергии и электротехнической информации, а также принципы и средства управления электромеханическими исполнительными устройствами.

Содержание работы соответствует следующим пунктам паспорта специальности: п. 1 – «развитие общей теории электротехнических комплексов и систем, изучение системных свойств и связей, физическое, математическое, имитационное и компьютерное моделирование компонентов электротехнических комплексов и систем»; п. 3 – «разработка, структурный и параметрический синтез электротехнических комплексов и систем, их оптимизация, а также разработка алгоритмов эффективного управления»; п. 4 – «исследование работоспособности и качества функционирования электротехнических комплексов и систем в различных режимах, при разнообразных внешних воздействиях».

3 Соответствие содержания автореферата основным положениям диссертации

Автореферат соответствует основному содержанию диссертации. В достаточной степени изложены ключевые аспекты работы по главам, приведен и описан иллюстративный материал, необходимый для понимания проблематики этой области, структуры электропривода и его основных узлов, моделирования и экспериментальных исследований.

4 Основные результаты и их научная и практическая значимость

1. Впервые предложен способ управления динамическим моментом двигателя-маховика на основе системы с созданной эталонной цифровой моделью в контуре фазовой синхронизации, позволяющий повысить точность реализации динамического момента при заданных динамических характеристиках в широком диапазоне изменения частоты вращения маховика для исключения влияния момента сопротивления на процесс ориентации и стабилизации КА.

2. Разработанные алгоритмы работы эталонной цифровой модели УДМ и алгоритмы синхронизации ее параметров с текущими выходными координатами двигателя позволили уменьшить шаг задания динамического момента с $0,1 \text{ мН*м}$ до $0,025 \text{ мН*м}$ (и менее) и уменьшить погрешность с 10-20 % до 0,5 %, а

также погрешность измерения кинетического момента с 3 % до 0,2 % при увеличении разрядности и уменьшении интервала измерения.

3. Впервые предложен способ сложения частот пилообразных цифровых сигналов, реализуемый путем отбрасывания старшего бита результата суммирования, который позволяет упростить структуру электропривода.

4. Разработана трехконтурная имитационная модель электропривода УДМ на основе ЭЦМ и принципа фазовой синхронизации.

5. Созданный комплекс математических и научно-технических инструментов позволяет проектировать надежные системы управления динамическим, кинетическим моментами синхронного двигателя с постоянными магнитами (СДПМ) с возможностью угловой стабилизации и является гибким средством анализа вновь разрабатываемых приборов и отладки уже существующих.

6. Изготовлены экспериментальные и опытные образцы приборов. Проведены лабораторно-отрабочные испытания, предварительные испытания, испытания на ЭМС.

5 Степень обоснованности и достоверности полученных теоретических и практических результатов

Достоверность полученных результатов подтверждается корректной постановкой задач, адекватностью разработанных моделей, а также результатами, полученными в ходе экспериментальных исследований на физической модели устройства, результатами различных видов испытаний экспериментальных и опытных образцов приборов с новой системой управления, положительными результатами патентных экспертиз.

6 Опубликованность основных результатов диссертации в научной печати

Содержание диссертации достаточно полно опубликовано в 16 печатных работах, включая 4 статьи в журналах из Перечня изданий, рекомендованных ВАК, 12 статей в сборниках докладов на международных и всероссийских научно-технических конференциях, кроме того получены 2 патента на изобретения.

7 Рекомендации по использованию результатов исследования

Результаты диссертационного исследования рекомендуется использовать в организациях, занимающихся проектированием и производством устройств силовой гироскопии и систем ориентации и стабилизации КА (АО «Научно-производственный центр «Полюс», АО «Информационные спутниковые системы» имени академика М.Ф. Решетнева», ФГУП «Научно-исследовательский институт командных приборов», ФГУП «НПО им. Лавочкина», ФГУП МОКБ «Марс», АО «Корпорация ВНИИЭМ», ФГУП «ЦНИИХМ» и др.), а также в учебном процессе при подготовке бакалавров и магистров по направлению «Электроэнергетика и электротехника», «Электроника и нанoeлектроника» в вузах страны, осуществляющих подготовку специалистов в области электромеханики и космической техники.

8 Замечания по диссертации

1. В разделе «актуальность» утверждается, что использование в обратной связи частоты вращения не решает проблему точностных и динамических ха-

рактических, т.к. требует качественного сигнала частоты. Между тем, появившаяся в последнее время отечественная микросхема АЦПУ позволяет использовать 16-ти разрядный код частоты вращения в требуемом диапазоне для системы регулирования динамического момента.

2. В разделе «практическая значимость работы» не отмечено, что при моделировании проведен (или не проведен) анализ возмущающих моментов, создаваемых УДМ при выбранном способе регулирования динамического момента с учетом погрешностей изготовления ДПР и индуктора.

3. На рисунках В.6-В.8 представлены результаты моделирования работы прибора при начальной синхронизации только контуром фазовой синхронизации, но нет пояснения, что в реальном приборе такого режима нет – всегда подключены основной контур и контур компенсации (фазовой синхронизации). При этом динамика УДМ при $M_{эм} > M_c$ в основном зависит от основного контура, имеющего значительно большее быстродействие.

Отмеченные замечания не снижают общей положительной оценки представленной диссертационной работы.

9 Заключение

Диссертационная работа Балкового Н.Н. является законченным научным исследованием, выполненным самостоятельно с получением новых научных результатов, имеющих существенное значение для развития методов разработки, структурного и параметрического синтеза электроприводов УДМ, а также разработки алгоритмов эффективного управления для цифровых систем.

Диссертация соответствует критериям, установленным п.9 «Положения о порядке присуждения ученых степеней» для ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.09.03 – «Электротехнические комплексы и системы», а ее автор, Балковой Николай Николаевич заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук.

Отзыв на диссертацию и автореферат обсужден и одобрен на расширенном научно-техническом семинаре кафедры «Электротехнические комплексы и системы» 22 января 2019 г., протокол №6(109).

Отзыв составил директор Политехнического института ФГАОУ ВО «Сибирский федеральный университет», зав. кафедрой «Электротехнические комплексы и системы», д-р техн. наук, профессор

Василий Иванович Пантелеев

Отзыв получен 26.02.2019
С отзывом ознакомлен 26.02.2019

Адрес: 660074, г. Красноярск, ул. акад. Киренского, д. 26 А.
Телефон: 8 (391) 2912-908,
e-mail: vpanteleev@sfu-kras.ru