

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертационную работу
Балкового Николая Николаевича по теме «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 тематики диссертации для теории и практики

Рассматриваемый в диссертационной работе электропривод управляющего двигателя-маховика (УДМ) нашел широкое применение в современных системах ориентации и стабилизации (СОиС) космических аппаратов (КА) благодаря своим эксплуатационным, массогабаритным и энергетическим показателям. Особое внимание уделяется линеаризации регулировочной и моментно-скоростных характеристик и получению актуальной телеметрической информации о текущем состоянии работы прибора и отдельных его функциональных узлов.

Проведенный автором анализ позволил выявить основные недостатки косвенных методов управления, связанные с неудовлетворительными динамическими свойствами известных систем: при регулировании электромагнитного момента путем модуляции фазных токов двигателя; при введении в обратную связь информации о скорости от «грубого» датчика угла; при отсутствии информации о нелинейных свойствах моментов сопротивления и трогания в условиях космического пространства.

При этом наиболее востребованным является синтез новых структур и создание программных средств управления УДМ, позволяющих разрешить многоплановую проблемную ситуацию. С этой точки зрения комплекс задач, решаемых в представленной диссертационной работе, является современным и актуальным.

2. Анализ содержания диссертации

Диссертация состоит из введения, четырех глав и заключения, списка использованных источников, включающих 141 наименование, и 4 приложений. Текст диссертации имеет общий объем 228 страниц с 4 приложениями на 55 страницах, содержит 112 рисунков, 5 таблиц.

Во введении обоснована актуальность проведенной работы, сформулированы цель и задачи, объект и предмет исследований, перечислены методы исследований, достоверность и обоснованность полученных результатов, научная новизна, основные защищаемые положения, практическая значимость работы, внедрение результатов, показан личный вклад автора, указан объем публичной апробации работы и публикаций.

В первой главе рассмотрены основные физические принципы работы СОиС КА для двигателей-маховиков, приведены результаты исследований патентной и научно-технической литературы, предложена классификация УДМ по способу управления, описаны основные выходные характеристики данных приборов. Значительное внимание уделено автором рассмотрению характера нагрузки УДМ, выявлены нелинейные свойства момента сопротивления, как в области нулевых частот вращения, так и на участках однонаправленного вращения ротора. Проведенные исследования позволили автору определить комплекс из 9 задач для проработки в последующих главах.

Во второй главе представлены принципы построения системы управления динамическим моментом УДМ на основе эталонной цифровой модели (ЭЦМ) и широко применяемого в инженерной практике метода фазовой автоподстройки частоты. Подробно рассмотрены структурные и функциональные схемы соответствующего электропривода УДМ, описаны контуры регулирования, условия их переключения и совместной работы. Приведена функциональная схема созданной ЭЦМ, основные расчетные соотношения и алгоритмы работы ее узлов. Обосновано применение принципа «сложения частот пилообразных сигналов», который позволяет существенно упростить структуру электропривода; доказана его справедливость для дискретных и аналоговых пилообразных функций. Также во второй главе отражены результаты оценочного моделирования работы СОиС КА с приборами нового типа и показаны их преимущества в плане повышения динамических и точностных свойств предложенного подхода, по сравнению с традиционным.

В третьей главе рассматриваются имитационные математические модели составных блоков электропривода УДМ: двухфазного СДПМ, силовой цепи с двумя регуляторами синусоидальных токов, блока формирования момента сопротивления, блока формирования эталонной траектории движения ротора-маховика с ускорением, корректирующих устройств, устройства коммутации контуров. Работа модели трехконтурного электропривода УДМ достаточно подробно исследована по тексту диссертации и представлена во временных диаграммах. Описаны ключевые режимы работы УДМ: начальная синхронизация, разгоны и торможения, разгрузка и насыщение. Упрощенный частотный анализ рассматриваемой системы подтвердил ее устойчивость и удовлетворил предъявляемым требованиям по частотным характеристикам.

В четвертой главе приведены результаты практической реализации устройства управления динамическим моментом УДМ. Также приводится сравнение осциллограмм, зафиксированных в реальном приборе и соответствующие диаграммы, полученные при построении имитационной модели (разгон, торможение, остановка, реверс). Экспериментальные исследования

показали хорошую сходимость с результатами моделирования с точностью не хуже 5 %.

В заключении представлены основные результаты и выводы по диссертационной работе.

В приложениях представлены экспериментальные зависимости, результаты моделирования приборов при различных режимах работы, акты о внедрении результатов диссертационной работы, а также копии патентов на изобретения.

3. Степень обоснованности и достоверности научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации

Научные положения, выносимые на защиту, выводы и рекомендации сформулированы корректно, не вызывают вопросов.

По моему мнению, предложенные математические модели не противоречат известным положениям теории электротехники и электропривода, выбранные средства моделирования соответствуют решаемым задачам, полученные теоретические и экспериментальные результаты согласованы в достаточной мере, что зафиксировано в протоколах испытаний АО «НПЦ «Полус».

4. Научная новизна полученных результатов

- 1) Предложен способ управления динамическим моментом двигателя-маховика, основанный на прецизионной частотно-фазовой системе регулирования скорости, отличающийся тем, что применяют эталонную цифровую модель в контуре фазовой синхронизации, которая позволяет обеспечить линейную моментно-скоростную и регулировочную характеристики и тем самым повысить точность ориентации и стабилизации космического аппарата.
- 2) Разработаны новые алгоритмы управления динамическим моментом двигателя – маховика на основе принципа фазовой синхронизации с помощью эталонной цифровой модели, отличающиеся тем, что позволяют реализовать астатическую систему второго порядка, что ведет к повышению точности управления выходным динамическим моментом.
- 3) Предложен способ регулирования частоты вращения электродвигателя, позволяющий упростить структуру системы управления, отличающийся тем, что сигнал управления за счет сложения частот пилообразных цифровых сигналов заданной частоты вращения и опорной частоты преобразуют в пилообразный сигнал повышенной частоты и используется для формирования необходимого тока в фазах электродвигателя.
- 4) Разработана трехконтурная имитационная модель электропривода управляющего двигателя – маховика, построенная на принципах фазовой синхронизации, отличающаяся тем, что она учитывает обработку задающих и возмущающих воздействий, переходные процессы, частотные характеристики, режимы начальной синхронизации, насыщения, разгрузки,

трогания, выхода электродвигателя на рабочую характеристику, позволяющая более точно представлять работу двигателя – маховика при проектировании и анализе работы системы ориентации и стабилизации космического аппарата в целом.

5. Теоретическая и практическая значимость результатов, полученных автором

Синтезированная система управления УДМ, позволяющая повысить точность реализации динамического момента при заданных динамических характеристиках в широком диапазоне изменения частоты вращения маховика, применяемая для исключения влияния момента сопротивления на процесс ориентации и стабилизации КА, имеет и теоретическую и практическую значимость.

С практической точки зрения важны разработанные автором методики испытаний и измерений параметров приборов с новой системой управления, которые заложены в алгоритмы автоматических проверок в составе контрольно-проверочной аппаратуры приборов.

Следует отметить, что полученные результаты отработаны не только на макетах, но и изготовлены опытные образцы приборов, прошедшие весь комплекс наземных испытаний и допущенные к летным испытаниям.

Практическую значимость работы подтверждает факт использования выработанной интеллектуальной собственности в 6 договорах и государственных контрактах.

6. Замечания по содержанию и оформлению диссертационной работы и автореферата, влияние отмеченных недостатков на качество исследования

1. Цель работы формулируется некорректно.

Целью не может быть разработка и исследование, т.к. это средства, с помощью которых достигается цель.

2. Предмет исследования « анализ способа управления...» предметом не является.

3. Формулировки научной новизны требуют уточнения, так как затрудняют ее однозначную идентификацию.

Надо записывать одной фразой, в которой:

- Четко заявляется - на что претендует соискатель (т.е. модель, алгоритм, метод и проч.), область применения;

- Указываются составные части заявляемого положения;

- Указывается эффективность (т.е. она должна быть лучше известных аналогов):

- Указываются отличия от известных аналогов.

4. В автореферате нет описания приложений.
5. Не рассмотрено влияние ошибок квантования операции сложения частот пилообразных сигналов в блоке выявления фазного рассогласования на работу замкнутой системы управления.

Приведенные замечания в целом не снижают ценность полученных результатов и общего положительного впечатления о выполненной диссертационной работе.

6. Заключение

Диссертационная работа Балкового Николая Николаевича «Разработка и исследование системы управления динамическим моментом двигателя-маховика системы ориентации и стабилизации космического аппарата» является завершённой научно-квалификационной работой, выполненной на актуальную тему, в которой решена научно-техническая задача, заключающаяся в повышении точности управления динамическим моментом двигателя-маховика системы ориентации и стабилизации космического аппарата, имеющая существенное значение для развития теории электротехнических комплексов и систем.

Работа обладает актуальностью, результаты работы обладают научной новизной и практической значимостью, результаты и выводы обоснованы и достоверны. Содержание автореферата соответствует основным положениям диссертационной работы. Основные результаты диссертации в достаточной степени представлены в научных трудах автора и апробированы на международных и всероссийских конференциях с участием ведущих специалистов отрасли. Результаты диссертации соответствуют паспорту специальности 05.09.03. Диссертационная работа отвечает требованиям п. 9 положения о порядке присуждения ученых степеней ВАК, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор Балковой Николай Николаевич заслуживает присуждения учёной степени кандидата технических наук по специальности 05.09.03 – Электротехнические комплексы и системы.

Официальный оппонент,
заведующий кафедрой Информационно-
управляющих систем ФГБОУ ВО «Сибирский
государственный университет науки и технологий
имени академика М.Ф. Решетнева», д.т.н., профессор
проспект им. газеты Красноярский
рабочий, 31, г. Красноярск, 660037,
тел.: +7 (391) 2919-240
e-mail: avm514@mail.ru

*Отзыв получен 25.02.2019
Мур / Дыбко М.А.
С отзывом ознакомлен
26.02.2019 Мур (Балковой И.И.)*

Подпись *А.В. Мур*
Ученый секретарь
СибГУ им. М.Ф. Решетнева
г. Красноярск

А.В. Мурогин