

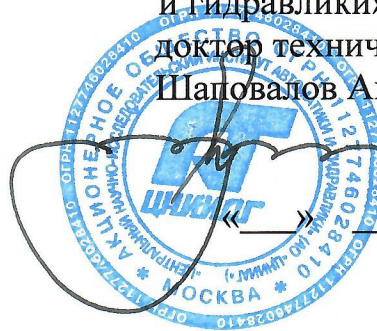


УТВЕРЖДАЮ

АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО
«ЦЕНТРАЛЬНЫЙ НАУЧНО-
ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ
АВТОМАТИКИ И ГИДРАВЛИКИ»
(АО «ЦНИИАГ»)

Советской Армии ул., д. 5, Москва, 127018
Телефон: 8 (495) 631-71-91, факс: 8 (495) 681-95-34
E-mail: cniiag@cniiag.ru
ОКПО 07523540, ОГРН 1127746028410
ИНН/КПП 7715900066/774550001

Генеральный директор Акционерного
общества «Центральный научно-
исследовательский институт автоматики
и гидравлики» (АО «ЦНИИАГ»)
доктор технических наук, доцент
Шаповалов Анатолий Борисович



2022 г.

ОТЗЫВ

ведущей организации акционерного общества «Центральный научно-исследовательский институт автоматики и гидравлики» на диссертационную работу Дунича Евгения Алексеевича, выполненную на тему: «Определение динамических возможностей привода на основе двухфазного вентильного двигателя с двухсекционными фазными обмотками», представленную на соискание учёной степени кандидата технических наук по специальности 05.09.03 — «Электротехнические комплексы и системы»

1. Актуальность темы исследования

В настоящее время идёт переход на отечественную элементную базу и внедрение новых цифровых методов управления на её основе. Повышение эффективности применения современных летательных аппаратов неразрывно связано с использованием электроприводных систем с синхронными двигателями (СД), управляемыми от цифрового формирователя сигналов и усилителя мощности с полупроводниковыми элементами.

При разработке электроприводных систем необходимо иметь данные о статических и динамических характеристиках синхронного двигателя, которые зависят от схемы соединения фазных обмоток и метода коммутации

Узел документационного
обеспечения МАИ

23.08.2022

фаз. Получение характеристик при различных схемах и методах коммутации является трудоёмким и требует существенных материальных затрат.

Вопросы эффективного использования электропривода на базе двухфазного синхронного двигателя (ДСД) для перспективного отечественного военного летательного аппарата остаются открытыми.

Таким образом, диссертационная работа Дунича Е.А., где рассматриваются вопросы автоматизации получения статических и динамических характеристик при различных схемах соединения секций фазных обмоток ДСД и цифровые методы коммутации фаз, является актуальной.

2. Структура и содержание диссертационной работы

Диссертация состоит из списка использованных сокращений, списка условных обозначений, введения, четырёх глав, заключения, списка использованных источников из 178 наименований и шести приложений. Общий объём 195 страниц. В конце каждой главы располагаются выводы по главе.

В первой главе изложен разработанный секционный подход, приведены математические описания базовых векторов и их графическое представление в комплексной плоскости, аналитические выражения для вариантов размещения и выходных сигналов датчика положения ротора, а также управляющих логических функций.

Во второй главе представлена разработанная компьютерная модель электромеханической части привода и основанные на ней программные комплексы в среде MATLAB-Simulink для исследования физических процессов и построения статических и динамических характеристик системы «усилитель мощности — ДСД с двухсекционными фазными обмотками» (УМ — ДСД с ДО).

В третьей главе приведены результаты исследования физических процессов, имеющих место в системе «УМ — ДСД с ДО», переходные

процессы по скорости, механические и энергетические характеристики при различных схемах соединения и методов цифрового управления.

В четвёртой главе размещена структурная схема лабораторного макета электромеханической части привода на основе ДСД с ДО, его внешний вид, описание конструкции двигателя и результаты экспериментальных исследований его работы.

В заключении расположена блок-схема алгоритма предлагаемой методики определения динамических возможностей привода, сформулированы основные результаты работы и даны рекомендации разработчикам приводов.

3. Научная новизна

В ходе проведенных исследований автором получены следующие новые научные результаты:

— Предложен новый подход к исследованию физических процессов в системе «УМ — СД» и формированию наборов базовых векторов (БВ) магнитной индукции якоря, который позволяет свести в единую систему способы формирования наборов БВ для произвольного количества фаз и секций фазных обмоток и может быть использован для определения количества возможных способов коммутации фаз при заданной схеме соединения секций, и выявления способов, пригодных для бездатчикового управления или организации скоростной обратной связи по ЭДС вращения.

— Получено математическое описание наборов БВ ДСД с ДО и трёхфазного СД, которое даёт возможность учитывать вклад каждой секции в создание электромагнитного момента и нахождения способов коммутации фаз, обеспечивающих заданные механические и динамические характеристики.

— Математическое описание элементов датчика положения ротора (в работе использованы датчики Холла) является обобщённым и обеспечивает

возможность расчёта их требуемого размещения для произвольного углового положения базовых векторов магнитной индукции якоря.

— Составлено математическое описание управляющих функций, делающее возможным имитационное моделирование и реализацию цифровых устройств на языках описания цифровой аппаратуры для рассмотренных схем соединения секций и способов коммутации фаз.

— Для замкнутой и лучевой схем соединения секций выявлены способы формирования наборов БВ, обеспечивающие снижение амплитуды пульсаций момента, однако, показывающие низкий к. п. д.

— Определены связи способов формирования наборов БВ с механическими, динамическими и энергетическими характеристиками ДСД с ДО.

— Получены нормализованные значения параметров передаточной функции двигателя постоянного тока, эквивалентного двухфазному СД с ДО и трёхфазному СД по динамическим свойствам, что даёт возможность определить качество регулирования привода при применении конкретного метода коммутации.

4. Обоснованность теоретических положений

Секционный подход, предложенный в работе Дунича Е. А. реализуется на основе фундаментальных соотношений теории множеств и электротехники, основных соотношений векторной алгебры и алгебры логики, методов численного решения систем дифференциально-алгебраических уравнений. Применение указанных соотношений и методов выполнено соискателем, Е. А. Дуничем, корректно.

5. Достоверность полученных результатов

Достоверность результатов, справедливость выводов и рекомендаций, данных в диссертационной работе Е. А. Дунича, подтверждается корректностью и уместным применением теоретических положений и методов

численного моделирования, а также адекватностью математической модели физическим процессам в приводе, что подтверждено совпадением форм напряжений на выводах двигателя относительно общего провода, полученных при моделировании и экспериментальных исследованиях.

6. Практическая значимость результатов диссертационной работы

Созданная в системе компьютерной математики MATLAB и её подсистеме имитационного моделирования Simulink компьютерная модель электромеханической части привода позволяет учитывать различные схемы соединения и способы подключения секций фазных обмоток и определять необходимое их количество для формирования требуемых характеристик двигателей, выпускаемых или планируемых к серийному производству.

Составленный в системе MATLAB программный комплекс позволяет автоматизировать исследование процессов, которые протекают в системе «УМ — СД», и с помощью параллельных вычислений автоматизировать получение статических и динамических характеристик, что может найти применение при проектировании приводов на основе СД с многосекционными фазными обмотками.

Разработанный вариант параметрического описания цифрового устройства управления на языке SystemVerilog может быть востребован при реализации различных способов коммутации фаз и законов регулирования в информационном канале электропривода на микросхемах программируемой логики (ПЛИС) и обеспечивает возможность быстрой смены способа коммутации при экспериментах, а также высокую переносимость созданного описания на ПЛИС разных семейств.

Построенный лабораторный макет электромеханической части привода, содержащий синхронную машину, ПЛИС, усилитель мощности и блок гальванической развязки, может быть использован в экспериментальных исследованиях работы приводов и поисках энергоэффективных цифровых алгоритмов управления.

7. Недостатки диссертационной работы

Диссертационная работа содержит следующие недостатки:

- В работе получены результаты для двухфазного и трёхфазного двигателей, однако подробно рассмотрен только двухфазный.
- В работе не приводятся временные диаграммы сигналов для случая трёхфазного двигателя.
- Не показано применение предлагаемого подхода и методики на примере конкретного разомкнутого или замкнутого привода.
- Не полностью раскрыто противоречие между амплитудой пульсаций и к. п. д. в случае четырёхключевого усилителя мощности.
- При аппаратной реализации лабораторного макета использована зарубежная элементная база, что плохо согласуется с принятым в настоящее время направлением на импортозамещение.
- В работе отсутствуют результаты исследований на вибрацию и механический резонанс, а также электромагнитную совместимость.
- На чертежах, показывающих разработанную конструкцию двигателя, не приводятся размеры её элементов.
- Не в полной мере обоснован выбор аппаратной реализации усилителя мощности и общей компоновки лабораторного макета.
- Отсутствуют данные о температурном режиме двигателя и допустимой продолжительности его работы.
- В третьей главе на эпюрах цифровых и аналоговых сигналов не поставлены точки, что приводит к затруднению определения конкретных моментов модельного времени, о которых говорится в тексте.

8. Соответствие содержания диссертации паспорту специальности и автореферату

Диссертация Дунича Евгения Алексеевича соответствует паспорту научной специальности 05.09.03 — «Электротехнические комплексы и системы» и охватывает следующие области исследования:

— «Развитие общей теории электротехнических комплексов и систем, изучение системных свойств и связей, физическое, математическое, имитационное и компьютерное моделирование компонентов электротехнических комплексов и систем»;

— «Исследование работоспособности и качества функционирования электротехнических комплексов и систем в различных режимах при разнообразных внешних воздействиях».

Автореферат в полной мере раскрывает основное содержание диссертационной работы, даёт полную информацию о полученных результатах работы и рекомендациях разработчикам приводов.

9. Заключение о соответствии работы требованиям Высшей аттестационной комиссией

Несмотря на обнаруженные недостатки, в целом, работа Е. А. Дунича выполнена на высоком научном уровне и представляет собой законченную научно-квалификационную работу, содержащую комплекс научных исследований и новых решений актуальных проблем в области электротехнических комплексов и систем.

Результаты могут быть использованы при разработке новых систем вооружения, повышающих обороноспособность страны.

По актуальности темы исследования, научной новизне, теоретической и практической значимости диссертационная работа Е. А. Дунича удовлетворяет всем требованиям, предъявляемым Высшей аттестационной комиссией к диссертациям, выполняемым на соискание учёной степени кандидата технических наук, а её автор, Дунич Евгений Алексеевич, заслуживает присуждения учёной степени кандидата технических наук по специальности 05.09.03 — «Электротехнические комплексы и системы».

Диссертационная работа Дунича Е.А. и настоящий отзыв рассмотрены на расширенном заседании секции № 5 Научно-Технического Совета (НТС) АО «ЦНИИАГ» 19 августа 2022 г. Отзыв на диссертационную работу Дунича Е.А. одобрен - протокол № 1500/1473а/5-2022 от 19.08.2022 г. секции № 5 НТС АО «ЦНИИАГ».

Отзыв составили:

Начальник НТО-8,
заместитель главного конструктора,
доктор технических наук,
старший научный сотрудник

Щербинин Виктор Викторович

« 19 » августа 2022 года

Против обработки моих персональных данных не возражаю

Начальник НТО-5,
заместитель главного конструктора

Жезлов Леонид Гаврилович

« 19 » августа 2022 года

Против обработки моих персональных данных не возражаю

Заместитель начальника НТО-5,
кандидат технических наук

Овсянников Сергей Всеволодович

« 19 » августа 2022 года

Против обработки моих персональных данных не возражаю

Подписи В.В. Щербинина, Л.Г. Жезлова
и С.В. Овсянникова удостоверяю

Заместитель генерального
директора по персоналу
Колтыпин Сергей Викторович

« 19 » августа 2022 года

Сведения о ведущей организации

Предприятие акционерное общество «Центральный научно-исследовательский институт автоматики и гидравлики» (АО «ЦНИИАГ») является одним из передовых предприятий в области разработки систем



гидравлических и электрических приводов для перспективных отечественных военных летательных аппаратов.

Почтовый адрес: 127018, г. Москва, ул Советской Армии д.5.

Телефон: 8 (495) 631-71-91, факс: 8 (495) 681-95-34

Электронная почта: sniiag@sniiag.ru

С отзывом ознакомлен 23.08.2022

Дунин Е. А. Дунин