

МИНОБРНАУКИ РОССИИ
Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение
высшего образования



«Тульский
государственный
университет»
(ТулГУ)


Проспект Ленина, д. 92, г. Тула, 300012
Тел. (4872) 73-44-44, факс (4872) 35-81-81
e-mail: info@tsu.tula.ru, <https://tulsu.ru>

25.08.2022 № 6-01-0.9-5715

Отзыв на диссертацию
На (№010/1540-2 от 20.07.2022)

Московский авиационный
институт (национальный
исследовательский университет)
МАИ

И. о. проректора ФГБОУ ВО
Московский авиационный
институт (национальный
исследовательский университет)
по научной работе, д.т.н.,
профессору Равиковичу Ю. А.

Волоколамское ш., д. 4, Москва, 125993

Уважаемый Юрий Александрович

Направляю Вам отзыв Горячева О.В., д.т.н., профессора на диссертацию
Дунича Евгения Алексеевича «Определение динамических возможностей
привода на основе двухфазного вентильного двигателя с двухсекционными
фазными обмотками», представленную на соискание ученой степени
кандидата технических наук по специальности 05.09.03 –
«Электротехнические комплексы и системы».

Приложение: Отзыв в 2 экз.

Проректор по НР



С уважением
М.С. Воротилин

М.С. Воротилин

Исп. Горячев О.В.
Тел. 8 (4872) 35:38:35

Отдел документационного
обеспечения МАИ

26.08.2022

ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

Горячева Олега Владимировича, доктора технических наук,
профессора на диссертационную работу Дунича Евгения Алексеевича
«Определение динамических возможностей привода на основе
двуухфазного 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

Диссертация Дунича Е. А. выполнена на кафедре 702 «Системы приводов авиационно-космической техники» Московского авиационного института (национального исследовательского университета). В работе динамические возможности привода определяются в соответствии с методикой, разработанной автором на основе систематизации способов формирования наборов базовых векторов магнитной индукции якоря.

В настоящее время остро стоит задача разработки следящих приводов на основе вентильных двигателей (ВД), для решения которой необходимо изучать вопросы встраивания ВД в контур регулирования. ВД представляется в структуре привода упрощённой моделью эквивалентного двигателя постоянного тока (ДПТ). Последняя определяется статическими и динамическими характеристиками ВД, которые, в свою очередь, зависят от схемы соединения секций фазных обмоток и метода коммутации фаз.

Эквивалентные модели ДПТ используются многими исследователями и разработчиками приводов на базе ВД, однако, как правило, не ставится цель охватить все способы управления и провести их сравнение. По этой причине на сегодняшний день отсутствуют данные о динамических свойствах двухфазных ВД с двухсекционными обмотками при произвольной схеме соединения секций обмоток и способе их подключения к источнику питания на межкоммутационном интервале.

Секционный подход и систематизация способов формирования наборов базовых векторов магнитной индукции якоря двухфазного ВД с двухсекционными фазными обмотками, предложенные в диссертационной работе Дунича Е. А., дают возможность рассматривать с единых позиций способы управления ВД при произвольной схеме соединения секций фазных обмоток и способах их подключения к источнику питания. Это, в свою очередь, позволяет выбирать способы, удовлетворяющие требуемым характеристикам двигателя и параметрам эквивалентной передаточной функции ДПТ. Тема работы является актуальной, так как открывает путь к сравнению известных способов управления с новыми, реализация которых

Отдел документационного
обеспечения МАИ

стала возможна в настоящее время, благодаря появлению новой элементной базы информационной и силовой электроники. Двухфазный ВД выбран автором в качестве отправной точки, так как содержит минимальное количество не совпадающих фаз, которые в идеальном случае не влияют друг на друга, но вместе создают общий электромагнитный момент.

2. Структура диссертационной работы

Диссертационная работа состоит из введения, четырёх глав, заключения, списка использованных источников и приложения.

В первой главе описан предлагаемый секционный подход, приведено математическое описание наборов базовых векторов и функций управления ключами усилителя мощности.

Во второй главе показана разработанная модель мехатронного модуля и программные комплексы, созданные на её основе.

В третьей главе представлены результаты анализа физических процессов в секциях фазных обмоток в виде эпюор логических сигналов, напряжений, токов и противо-ЭДС, параметров эквивалентного ДПТ, механических характеристик, графиков к. п. д. и переходных процессов по скорости.

В четвёртой главе рассказывается о построенном автором лабораторном макете мехатронного модуля и разработанной конструкции корпуса двигателя, приводится описание структуры цифрового устройства управления и результаты проведённых экспериментальных исследований.

В заключении приводится блок-схема алгоритма предлагаемой соискателем методики определения динамических возможностей приводов, основные результаты работы, рекомендации по выбору схемы соединения секций и способа коммутации фаз, обеспечивающих характеристики двигателя, удовлетворяющие требованиям конкретных технических заданий.

В приложении размещены исходные коды т-файлов программных комплексов и функций, реализуемых моделью, схемы модели электрической части синхронной машины, а также коды описания цифрового устройства управления на языке SystemVerilog.

3. Научная новизна работы

Научная новизна диссертационной работы Дунича Е. А, заключается в следующем:

1. Разработанный секционный подход к исследованию физических процессов в системе «усилитель мощности — вентильный двигатель» и формированию базовых векторов магнитной индукции якоря, который позволяет, определять и сравнивать между собой статические и динамические характеристики двигателя при произвольном количестве фаз, схеме соединения секций и способе их подключения к источнику питания, а также выбирать схему или способ непосредственно во время работы привода для получения требуемой характеристики двигателя.

2. Полученное автором на основании секционного подхода математическое описание наборов базовых векторов магнитной индукции якоря двухфазного вентильного двигателя с двухсекционными фазными обмотками и трёхфазного вентильного двигателя, которое позволяет учитывать вклад каждой секции в создание электромагнитного момента.

3. Составленное математическое описание управляющих функций для четырёхстоечной и четырёхключевой схемы подключения импульсного усилителя мощности позволяет выполнять имитационное моделирование и реализацию цифровых устройств на языках описания цифровой аппаратуры для произвольных случаев соединения и задействования секций.

4. При замкнутой схемы соединения секций при способе коммутации фаз, предложенном и запатентованном Д. А. Ицковым, и лучевой схемы, рассматриваемой М. М. Кацманом, выявлено противоречие между амплитудой пульсаций момента и величиной к. п. д.

5. Впервые определены связи способов формирования наборов базовых векторов с характеристиками двухфазного вентильного двигателя, имеющего двухсекционные фазные обмотки.

6. Впервые получены и сведены в единую таблицу нормализованные значения параметров модели двигателя постоянного тока, эквивалентному двухфазному ВД с ДО по динамическим свойствам в случаях произвольной схемы соединения секций и способов коммутации фаз, а также эквивалентному трёхфазному двигателю при классических схемах «треугольник» и «звезда».

4. Обоснованность теоретических положений

Теоретические положения диссертационной работы вытекают из основных положений электротехники, теории множеств, векторной и булевой алгебры, методов численного моделирования и решения систем дифференциально-алгебраических уравнений, которые привлечены соискателем Е. А. Дуничем обоснованно и применены корректно.

5. Достоверность результатов работы

Достоверность полученных результатов, выводов и рекомендаций, даваемых разработчикам приводов подтверждается строгостью проведения экспериментальных исследований, по результатам которых достигнуто качественное совпадение моделированных и экспериментально полученных временных диаграмм напряжений на выводах двигателя относительно общего провода.

Автореферат в полном объёме отражает содержание диссертации, результаты работы и включает в себя рекомендации разработчикам приводов.

6. Теоретическая значимость работы

Большое значение для развития теории управления вентильными двигателями и описания их работы в составе следящих систем имеют следующие полученные соискателем результаты:

1. Выполнено развитие теории управления двухфазными вентильными двигателями с двухсекционными фазными обмотками, посредством рассмотрения всех физических процессов относительно секции, а не фазы, как делалось ранее.
2. Разработан математический аппарат описания наборов векторов магнитной индукции якоря виде множеств, что позволяет с единых позиций смотреть на формирование многофазных машин с многосекционными фазными обмотками.
3. Продемонстрировано использование полиномов Жегалкина для описания управляющих функций.

7. Практическая значимость работы

Для разработки и реализации систем автоматического управления представляют интерес следующие результаты работы:

1. Созданная компьютерная модель мехатронного модуля позволяет учитывать различные схемы соединения и варианты задействования секций фазных обмоток для произвольного двигателя двухсекционными обмотками, выпускаемого или планируемого к выпуску промышленностью.

2. Составленный программный комплекс позволяет автоматизировать исследование процессов, которые протекают в системе «усилитель мощности — двигатель», и с помощью параллельных

вычислений автоматизировать получение её статических и динамических характеристик.

3. Разработанный вариант параметрического описания цифрового устройства управления на языке System Verilog может быть востребован при реализации различных способов коммутации фаз в информационном канале электропривода.

4. Построенный лабораторный макет мехатронного модуля может быть использован в экспериментальных исследованиях работы приводов и поисках энергоэффективных цифровых алгоритмов управления.

5. Отмеченные недостатки

Считаю необходимым сделать следующие замечания:

1. При постановке задач исследования (стр.18 диссертационной работы) представляется целесообразным исключение из рассмотрения схем соединения секций обмоток, которые предполагают независимое встречное включение секций одной обмотки, поскольку такое включение сопряжено со значительными потерями и, соответственно, низким КПД.

2. В таблице 1.2. представлены различные варианты задействования секций и соответствующие им фазовые вектора. При этом, на мой взгляд, целесообразно различать понятия фазового вектора и состояния. Например, фазе с противоположным включением секций, соответствует не два возможных фазных вектора (как следует из третьей колонки - это нуль), а два различных состояния. Кроме того, для обеспечения общности в таблице не хватает варианта, когда секции управляются независимо друг от друга (тогда, это будет полноценная независимая фаза, соответствующая рис.1.1.).

3. В гл.2. ДО отсутствует четкое определение допущений, принимаемых при построении модели мехатронного модуля, в частности, отсутствуют допущения о моделировании и влиянии "мертвого времени" на характеристики модуля, взаимного влияния различных секций одной обмотки, определения характера распределения вектора магнитной индукции в рабочем зазоре двигателя (синусоидальный или трапециoidalный).

4. В гл. 3 не указано базовое значение механической мощности двигателя, относительно которого приводятся нормализованные величины.

5. В п.3.3. отмечаются основные параметры эквивалентного ДПТ, среди них указывается и электромагнитная постоянная времени. Вместе с тем, далее по тексту, на стр.92 уже предполагается несущественное влияние электромагнитной постоянной времени и в дальнейшем в расчетах она не используется. В частности в модели эквивалентного ДПТ на рис.3.13 индуктивность обмотки якоря отсутствует. Однако для синхронных двигателей средней и большой мощности является характерным значительная величина электромагнитной постоянной времени из-за относительно небольшого числа секций обмотки, которая оказывает существенное влияние на динамические характеристики (и тем более на предельные динамические характеристики и , соответственно, требуется при построении ППДСИМ).

6. Представляется нечеткой методика определения параметров эквивалентного ДПТ: коэффициентов по моменту и противо-ЭДС. В частности на стр.92 указывается, что величины C_e и C_m определяются из M_p и Ω_{xx} . Однако в первом случае необходимо еще некоторое значение эквивалентного пускового тока, а во втором - амплитуда напряжения. При этом эквивалентные параметры рассчитываются непосредственно для ДПТ, а расчетные значения M_p и Ω_{xx} берутся по результатам работы мехатронного модуля, включающего и ИУМ. В этом случае необходимо учитывать при расчете напряжения не только величину U_{pit} , но и величины падения напряжений на открытых ключах.

Заключение

Несмотря на отмеченные недостатки, в целом, работа Е. А. Дунича выполнена на высоком научном уровне и представляет собой комплекс научных исследований и новых решений актуальных научных проблем в области электротехнических комплексов и систем.

Особый интерес для разработчиков систем автоматического управления представляет предложенный секционный подход к исследованию физических процессов в системе «усилитель мощности — двигатель» и определению характеристик двигателя.

Работа является актуальной, и её рекомендуется продолжать в направлении создания классификации способов управления двигателями, охватывающей произвольное количество фаз и секций фазных обмоток. Рекомендуется в дальнейшем реализовать возможность автоматической смены способа формирования наборов базовых векторов с целью выбора

механической характеристики, охватывающей конкретные участки кривой нагружения.

По актуальности, научной новизне, теоретической и практической значимости диссертационная работа удовлетворяет всем требованиям, предъявляемым Высшей аттестационной комиссией (ВАК) 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».

Официальный оппонент:

заведующий кафедрой

"Системы автоматического управления"

института высокоточных систем им. В.П.Грязева

ФГБОУ ВО «Тульский государственный

университет»

доктор технических наук, профессор

Горячев О.В.

Подпись Горячева О.В. заверяю

бездумий специалист по изгородям работе

23.08.2022



Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Тульский государственный университет», Адрес организации: 300012, г. Тула, пр. Ленина, 92, Тел. (4872) 73-44-44, факс (4872) 35-81-81, e-mail: info@tsu.tula.ru, <https://tulsu.ru>

Сотрудник ознакомлен 26.08.2022
Думин Думин Е.А.