

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА

Д 212.217.04, созданного на базе федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Самарский государственный технический университет» Министерства науки и высшего образования Российской Федерации по диссертации на соискание ученой степени кандидата наук

аттестационное дело № \_\_\_\_\_

решение диссертационного совета от 25 декабря 2019 г. № 14

О присуждении Рокало Даниилу Юрьевичу, гражданину Российской Федерации, учёной степени кандидата технических наук.

Диссертация «Быстродействующий следящий электропривод переменного тока с трапецеидальным фазным напряжением» по специальности 05.09.03 – «Электротехнические комплексы и системы» принята к защите 17 октября 2019 г., протокол №10, диссертационным советом Д212.217.04, созданным на базе ФГБОУ ВО «Самарский государственный технический университет» Министерства науки и высшего образования РФ, 443100, г. Самара, ул. Молодогвардейская, д. 244, приказ Минобрнауки РФ №105/нк от 11 апреля 2012 г.

Соискатель Рокало Даниил Юрьевич 1992 года рождения в 2015 году окончил федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Самарский государственный технический университет» по специальности «Электропривод и автоматика промышленных установок и технологических комплексов». С 2015 по 2019 год освоил программу подготовки научно-педагогических кадров в аспирантуре ФГБОУ ВО «Самарский государственный технический университет». Работает инженером ООО «Фармперспектива».

Диссертация выполнена на кафедре «Электропривод и промышленная автоматика» ФГБОУ ВО «Самарский государственный технический университет» Министерства науки и высшего образования Российской Федерации.

**Научный руководитель** – д.т.н., профессор Стариков Александр Владимирович, заведующий кафедрой «Электропривод и промышленная автоматика» ФГБОУ ВО «Самарский государственный технический университет».

### **Официальные оппоненты:**

1. Артюхов Иван Иванович – д.т.н., профессор, профессор кафедры «Электроэнергетика и электротехника» ФГБОУ ВО «Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А.».

2. Доманов Виктор Иванович – к.т.н., доцент, заведующий кафедрой «Электропривод и автоматизация промышленных установок» ФГБОУ ВО «Ульяновский государственный технический университет».

дали положительные отзывы на диссертацию.

**Ведущая организация** - Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева», г. Нижний Новгород в своем положительном отзыве, подписанном к.т.н., зав. кафедрой «Электрооборудование, электропривод и автоматика» Дарьенковым Андреем Борисовичем и утвержденном проректором по научной работе, д.т.н. Бабановым Николаем Юрьевичем, указала, что диссертация Рокало Даниила Юрьевича представляет собой законченную научно-квалификационную работу, в которой представлено решение актуальной проблемы создания быстродействующего следящего электропривода переменного тока с малыми коммутационными потерями в силовых транзисторах, имеющую существенное значение в области электротехнических комплексов и систем. Диссертация удовлетворяет требованиям ВАК РФ, предъявляемым к кандидатским диссертациям. Рокало Даниил Юрьевич заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.09.03 – «Электротехнические комплексы и системы».

Соискатель имеет 13 опубликованных работ, в том числе по теме диссертации – 10 работ, из которых 5 опубликованы в рецензируемых научных изданиях. Соискателю выдан 1 патент на изобретение. Объем научных изданий – 4,29 печатных листов, из них авторский вклад – 1,61 печатных листа.

В диссертации отсутствуют недостоверные сведения об опубликованных соискателем работах, в которых изложены основные научные результаты.

#### **Наиболее значимые научные работы по теме диссертации:**

1. Стариков А.В. Влияние трапецеидальной формы напряжения на вращение магнитного поля в электродвигателях переменного тока / А.В. Стариков, **Д.Ю. Рокало** // Вестник Самарского государственного технического университета. Серия «Технические науки», № 3 (47) – 2015. – Самара: СамГТУ, 2015. – С. 149 – 153

2. Стариков А.В. Математическая модель цифрового следящего электропривода с асинхронным исполнительным двигателем / А.В. Стариков, Д.Н. Джабасова, **Д.Ю. Рокало** // Вестник Самарского государственного технического университета. Серия «Технические науки», № 2 (50) – 2016. – Самара: СамГТУ, 2016. – С. 162 – 168.

3. Стариков А.В. Анализ гармонического состава трапецеидального фазного напряжения, формируемого частотным преобразователем / А.В. Стариков, В.В. Кузнецов, **Д.Ю. Рокало** // Вестник Самарского государственного технического

университета. Серия «Технические науки», № 3 (55) – 2017. – Самара: СамГТУ, 2017. – С. 75 – 79.

4. Стариков А.В. Анализ качества выходного напряжения частотных преобразователей с простейшими законами коммутации силовых транзисторов / А.В. Стариков, С.Л. Лисин, Д.Ю. Рокало // Вестник Самарского государственного технического университета. Серия «Технические науки», № 2 (58) – 2018. – Самара: СамГТУ, 2018. – С. 128 – 134.

5. Стариков А.В. Влияние широтно-импульсной модуляции на гармонический состав выходного напряжения частотного преобразователя / А.В. Стариков, С.Л. Лисин, Д.Ю. Рокало // Вестник Самарского государственного технического университета. Серия «Технические науки», № 1 (61) – 2019. – Самара: СамГТУ, 2019. – С. 153 – 166.

6. Starikov A.V., Lisin S.L., Rokalo D.Yu. Increasing of the Response Speed of the Rotary Table Servo Drive // 2018 International Multi-Conference on Industrial Engineering and Modern Technologies (FarEastCon), IEEE Xplore, 2019. – P. 1–5.

На диссертацию и автореферат поступили отзывы:

1. От ведущей организации ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева», г. Нижний Новгород. Существенное замечание заключается в том, что при выводе формулы дискретной передаточной функции следящего электропривода взяты целочисленные коэффициенты  $m_1$  и  $m_2$  и не учитывается возможность их дробного значения.

2. От официального оппонента д.т.н., проф., проф. кафедры «Электроэнергетика и электротехника» Артюхова И.И., ФГБОУ ВО «Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А.», г. Саратов. Замечание - автор при выводе формул коэффициентов высших гармоник автор не учел возможность изменения напряжения  $U_d$  в линии постоянного тока.

3. От официального оппонента к.т.н., доцента, зав. кафедрой «Электропривод и автоматизация промышленных установок» Доманова В.И., ФГБОУ ВО «Ульяновский государственный технический университет», г. Ульяновск. Существенное замечание – в диссертации не исследовано влияние широтно-импульсной модуляции на гармонический состав токов статора.

4. От д.т.н., профессора, зав. кафедрой «Электроснабжение и электротехника» Вахниной В.В., ФГБОУ ВО «Тольяттинский государственный университет», г. Тольятти. Основное замечание – двигатель и исполнительный механизм представлен на структурной схеме интегро-колебательным звеном. Наверное, это справедливо не для всех возможных случаев.

5. От к.т.н., доцента, зав. кафедрой «Электроснабжение промышленных пред-

приятый» Коновалова Ю.В., ФГБОУ ВО «Ангарский государственный технический университет», г. Ангарск. Основное замечание – желательно уточнить числовые параметры «плохого гармонического состава».

6. От д.т.н., проф., проф. кафедры «Автоматика и телемеханика» Елсукова В.С., ФГБОУ ВО «Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени М.И. Платова», г. Новочеркасск. Замечание – не понятно, как выбирались параметры регуляторов разработанного следящего электропривода.

7. От д.т.н., доцента, зав. кафедрой робототехники и автоматизации производственных систем Белова М.П., ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет (ЛЭТИ) им. В.И. Ульянова (Ленина)», г. Санкт-Петербург. Основное замечание – не понятно, каким образом автор определял неравномерность вращения векторов напряжения и тока статора двигателя переменного тока.

8. От д.т.н., проф., зав. кафедрой электротехники Гречишников В.М., ФГАОУ ВО «Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева», г. Самара. Основное замечание – реализация регуляторов следящего электропривода на программируемой логике ограничивает гибкость алгоритмов функционирования электропривода.

9. От д.т.н., проф., проф. кафедры ЭАУТС Литвиненко А.М., ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет», г. Воронеж. Замечание – на рисунке 7 приведен только один график переходного процесса, хотя в подрисуночной подписи указано, что должно быть несколько графиков при разных периодах дискретизации.

10. От д.т.н., проф., зав. кафедрой информатики Кудинова Ю.И. и к.т.н., доцента, доцента кафедры электропривода Шишлина Д.И., ФГБОУ ВО «Липецкий государственный технический университет», г. Липецк. Основное замечание – не понятно, за счет чего обеспечивается снижение коэффициентов высших гармоник в частотном преобразователе с трапецеидальным фазным напряжением.

11. От к.т.н., доцента, и.о. зав. кафедрой «Электро- и теплоэнергетика» Табачниковой Т.В., ФГБОУ ВО «Альметьевский государственный нефтяной институт», г. Альметьевск. Основное замечание – дискретная передаточная функция следящего электропривода, полученная автором, имеет переменный порядок характеристического уравнения. По всей видимости, увеличение порядка может привести к неустойчивости следящего электропривода.

12. От к.т.н., доцента, зав. кафедрой «Электропривод и автоматизация промышленных установок» Костылева А.В. и к.т.н., доцента, доцента кафедры «Электропривод и автоматизация промышленных установок» Плотникова Ю.В., ФГАОУ

ВО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина», г. Екатеринбург. Основное замечание – сравнение гармонического состава выходного напряжения разработанного алгоритма ШИМ с устаревшими способами формирования выходного напряжения является нецелесообразным.

**Все отзывы положительные**, в них отмечается актуальность, новизна исследований и практическая значимость работы, а также то, что Рокало Д.Ю. заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.09.03 – «Электротехнические комплексы и системы».

**Выбор официальных оппонентов и ведущей организации** обосновывается их высокой научной компетентностью в области электроприводов переменного тока, что подтверждается научными публикациями.

**Диссертационный совет отмечает**, что на основании выполненных соискателем исследований:

*разработаны*

- новый подход к построению цифрового модулятора частотного преобразователя, формирующего трапецеидальное фазное напряжение, отличающегося простотой технической реализации и обеспечивающего снижение коммутационных потерь в силовых транзисторах;

- дискретная математическая модель цифрового следящего электропривода, отличающаяся учетом разных периодов дискретизации при вычислении отдельных составляющих закона регулирования регуляторов и особенностей структурного построения электропривода;

*предложен* вариант построения регуляторов и цифрового модулятора частотного преобразователя на программируемой логике, упрощающий техническую реализацию и методику настройки быстродействующего следящего электропривода;

*доказана* перспективность использования цифрового модулятора, формирующего трапецеидальное фазное напряжение на выходе частотного преобразователя, для повышения эффективности следящего электропривода переменного тока

**Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что**

*доказаны:*

- корректность полученных аналитических выражений для расчета коэффициентов высших гармоник при трапецеидальной форме фазного напряжения с учетом процесса широтно-импульсной модуляции;

- адекватность разработанной математической модели цифрового следящего электропривода, учитывающей разные периоды дискретизации при вычислении отдельных составляющих закона регулирования;

*применительно к проблематике диссертации результативно использован комплекс существующих базовых методов теории электропривода, теоретических основ электротехники, электрических машин, разложения в гармонический ряд Фурье, преобразования Лапласа и z-преобразования, в том числе численных методов моделирования, имеющих программную реализацию в Matlab Simulink;*

*изложены принципы построения частотного преобразователя с трапецеидальным фазным напряжением, позволяющие снизить коммутационные потери;*

*изучена взаимосвязь величин коэффициентов высших гармоник с частотой широтно-импульсной модуляции и частотой основной гармоники;*

*проведена модернизация существующих математических и компьютерных моделей следящего электропривода переменного тока, обеспечивающая повышение точности анализа динамических свойств привода в случае применения различных периодов дискретизации.*

**Значение полученных соискателем результатов исследования для практики подтверждается тем, что:**

*разработана и внедрена методика расчета коэффициентов высших гармоник в выходных сигналах частотных преобразователей, которая использована в проектно-конструкторской работе ЗАО «Стан-Самара» (г. Самара);*

*определены перспективы практического использования теоретических результатов исследования при разработке быстродействующих электроприводов переменного тока с трапецеидальным фазным напряжением;*

*создан вариант технической реализации цифрового модулятора для преобразователя частоты и регуляторов следящего электропривода на программируемой логике;*

*представлены рекомендации по дальнейшему внедрению результатов работы и совершенствованию следящих электроприводов переменного тока.*

**Оценка достоверности результатов исследования выявила:**

*для экспериментальных работ:* результаты получены на экспериментальной установке с использованием сертифицированного оборудования;

*теория построена на проверяемых теоретических и экспериментальных данных и согласуется с ними. Достоверность и обоснованность научных положений, выводов и полученных результатов базируется на строго доказанных и корректно использованных выводах математического анализа, сравнении результатов компьютерного моделирования и натуральных экспериментов;*

*идея базируется на обобщении передового опыта российских и зарубежных ученых, работающих в области следящих электроприводов переменного тока;*

*использовано* сравнение авторских данных и данных, полученных ранее по рассматриваемой тематике;

*установлено* качественное и количественное совпадение авторских результатов по определению коэффициентов высших гармоник выходного напряжения частотных преобразователей с простейшими законами коммутации силовых транзисторов с аналогичными результатами, представленными в независимых источниках;

*использованы* современные методы обработки исходной информации, полученной в результате математического моделирования и натурных экспериментов.

**Личный вклад** состоит в разработке цифрового модулятора, формирующего с помощью трехфазного транзисторного моста трапецеидальное фазное напряжение; в получении формул, позволяющих определить величину амплитуд высших гармоник в выходном сигнале частотного преобразователя с учетом процесса широтно-импульсной модуляции; в разработке варианта технической реализации регуляторов следящего электропривода на программируемой логике; в определении дискретной передаточной функции разработанного следящего электропривода с учетом разных периодов дискретизации при вычислении отдельных составляющих закона регулирования; в проведении вычислительных и натурных экспериментов.

На заседании 25 декабря 2019 года диссертационный совет принял решение присудить Рокало Даниилу Юрьевичу ученую степень кандидата технических наук по специальности 05.09.03 – «Электротехнические комплексы и системы» за решение научной задачи, направленной на повышение эффективности следящих электроприводов переменного тока.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 16 человек, из них 6 докторов наук по специальности защищаемой диссертации, участвовавших в заседании, из 23 человек, входящих в состав совета, дополнительно введены на разовую защиту 0 человек, проголосовали: за присуждение учёной степени - 16, против присуждения учёной степени - нет, недействительных бюллетеней - нет.

Заместитель председателя  
диссертационного  
совета Д 212.217.04

Учёный секретарь  
диссертационного  
совета Д 212.217.04



Козловский Владимир Николаевич

Стрижакова Елена Владимировна

25 декабря 2019 г.