

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА Д 212.298.05, СОЗДАННОГО
НА БАЗЕ ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО АВТОНОМНОГО
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ «ЮЖНО-
УРАЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ (НАЦИОНАЛЬНЫЙ
ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ)» МИНИСТЕРСТВА НАУКИ И ВЫСШЕГО
ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ, ПО ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ
УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ КАНДИДАТА НАУК

аттестационное дело № _____

решение диссертационного совета от 30 июня 2022 г. № 2022-19

О присуждении Прокудину Александру Владимировичу, гражданину Российской Федерации, учёной степени кандидата технических наук.

Диссертация «Тиристорное устройство гашения магнитного поля синхронного генератора» по специальности 05.09.12 – «Силовая электроника» принята к защите 29 апреля 2022 г. (протокол заседания № 2022-14) диссертационным советом Д212.298.05, созданным на базе федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Южно-Уральский государственный университет (национальный исследовательский университет)» Министерства науки и высшего образования Российской Федерации, 454080, г. Челябинск, пр-т им. В.И. Ленина, 76; приказ № 105/нк от 11.04.2012 г.

Соискатель Прокудин Александр Владимирович, 24 июня 1980 года рождения, в 2002 году окончил Южно-Уральский государственный университет. В настоящее время работает инженером, старшим преподавателем кафедры «Электрические станции, сети и системы электроснабжения» федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Южно-Уральский государственный университет (национальный исследовательский университет)» Министерства науки и высшего образования Российской Федерации.

Диссертация выполнена на кафедре «Электрические станции, сети и системы электроснабжения» федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Южно-Уральский государственный университет (национальный исследовательский университет)» Министерства науки и высшего образования Российской Федерации.

Научный руководитель – доктор технических наук, доцент Коржов Антон Вениаминович, первый проректор – проректор по научной работе ФГАОУ ВО «ЮУрГУ

(НИУ)», профессор кафедры «Электрические станции, сети и системы электроснабжения» ФГАОУ ВО «ЮУрГУ (НИУ)».

Официальные оппоненты:

1. Хакимьянов Марат Ильгизович, доктор технических наук, доцент, заведующий кафедрой «Электротехника и электрооборудование предприятий» федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Уфимский государственный нефтяной технический университет», г. Уфа;

2. Журавлев Артем Михайлович, кандидат технических наук, инженер по работе с проектными институтами ООО «Феникс Контакт РУС», г. Москва – дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация – федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», г. Магнитогорск – в своём положительном отзыве, подписанном заведующим кафедрой автоматизированного электропривода и механотроники, к.т.н., доцентом Николаевым Александром Аркадьевичем, и утверждённом д.т.н., профессором Тулуповым О.Н., проректором по научной и инновационной работе, указала, что разработанное тиристорное устройство гашения магнитного поля рекомендуется к применению, в первую очередь, в системах возбуждения синхронных генераторов, оснащенных устройством гашения поля с линейным резистором, где его внедрение даст наибольший эффект, а диссертационная работа Прокудина Александра Владимировича по объёму исследований, их глубине, научной и практической значимости удовлетворяет всем требованиям, предъявляемым к научно-квалификационным работам на соискание ученой степени кандидата наук согласно «Положению о присуждении ученых степеней» (утверждено постановлением Правительства РФ от 24 сентября 2013 № 842) и ее автор заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.09.12 – «Силовая электроника».

Соискатель имеет 12 опубликованных работ, в том числе по теме диссертации опубликовано 12 работ, из них в рецензируемых научных изданиях опубликовано 5 работ, 1 патент.

Наиболее значимые публикации по теме диссертации:

1. Прокудин, А.В. Снижение времени аварийного гашения поля синхронных машин с системами самовозбуждения / А.В. Прокудин // Вестник ЮУрГУ. Серия «Энергетика». – 2011. – Вып. 15. – №15(232). – С. 22-24. (3 с.).

2. Гольдштейн, М.Е. Снижение дуговой нагрузки на выключатели в системах самовозбуждения / М.Е. Гольдштейн, А.В. Прокудин // Вестник ЮУрГУ. Серия «Энергетика». – 2012. – Вып. 18. – №37 (296). – С. 120-122. (3 с. / 2 с.).

3. Гольдштейн, М.Е. Тиристорное устройство гашения поля синхронного генератора с системой самовозбуждения / М.Е. Гольдштейн, А.В. Прокудин // Электротехника. – 2013. – №10. – С. 41-45. (5 с. / 4 с.).

4. Прокудин, А.В. Измерение некоторых параметров синхронного генератора методом гашения поля с использованием штатных элементов систем возбуждения / А.В. Прокудин, М.Е. Гольдштейн // Вестник ЮУрГУ. Серия «Энергетика». – 2019. – Т.19, № 4. – С. 26-32. (7 с. / 6 с.).

5. Прокудин, А.В. Расширение функциональных возможностей тиристорного устройства гашения поля для интенсификации управления процессом [Текст] / А.В. Прокудин, А.В. Коржов // Вестник ЮУрГУ. Серия «Энергетика». – 2022. – Т. 22, № 1. – С. 48-54. (7 с. / 6 с.).

На автореферат диссертации поступило 6 отзывов, все – положительные:

1. ФГБОУ ВО «Забайкальский государственный университет», г. Чита, отзыв подписан профессором кафедр энергетики и информатики, вычислительной техники и прикладной математики, д.т.н., профессором Суворовым И.Ф. с замечаниями: 1. В автореферате указано что «достоверность полученных результатов подтверждается ... совпадением в пределах погрешности основных результатов, полученных на основе аналитических выражений, с результатами эксперимента ...» (стр. 5). При этом в тексте не приводится оценка погрешностей измерений. 2. В описании содержания главы 2 указано что исследуется схема устройства, которая, согласно рисунку 2 (стр. 10), содержит конденсаторы $C1...CN$. Но нигде, в том числе в выражении (2), они не упоминаются и не раскрывается действие этих конденсаторов.

2. Дирекция по системам автоматики энергетических машин АО «Силовые машины», г. Санкт-Петербург, отзыв подписан заместителем директора по НИОКР, к.т.н. Бурмистровым А.А. с замечаниями: 1. Предлагаемое в работе устройство оригинально и будет выполнять поставленные задачи, но вызывает сомнение с точки зрения надёжности из-за большого количества разного вида комплектующих, требующих специального подбора и настройки. 2. В тексте автореферата не указано для синхронных генераторов какого диапазона мощностей применимо данное устройство. Указывается только, что пробный расчет параметров устройства проводился для турбогенератора 12 МВт Т-12-2.

3. ФГАОУ ВО «Томский политехнический университет», г. Томск, отзыв подписан профессором Отделения электроэнергетики и электротехники Инженерной школы энергетики, д.т.н., профессором Гарганеевым А.Г. с замечаниями: 1. Автор не приводит причин отказа от использования в гасящих цепях в качестве ключей полностью управляемых полупроводниковых приборов – транзисторов и запираемых тиристоров. Возможно, это есть в тексте диссертации. В схеме устройства (рисунок 2, стр. 10) присутствуют конденсаторы $C1...CN$. В тексте автореферата нет упоминания элементов с такими обозначениями.

4. ФГБОУ ВО «Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А.», г. Саратов, отзыв подписан профессором кафедры «Системотехника и управление в технических системах», д.т.н., профессором Митяшиным Н.П. с замечаниями: 1. Согласно описанию работы устройства (стр. 9) отключения ключа короткозамыкателя происходит после полного отключения выключателя цепей возбуждения $Q1$. Таким образом, алгоритм управления устройством не фиксирует факт погасания дуги в выключателе, и горение дуги может быть продолжительным, что может привести к разрушению выключателя. 2. В описании главы 3 нет поясняющих рисунков и полученных выражений, что усложняет понимание результатов выполненной работы. 3. Применение в устройстве однооперационных тиристоров требует более подробного обоснования.

5. ПАО «Россети Московский регион», г. Москва, отзыв подписан генеральным директором, к.т.н., д.э.н., Синютиным П.А. с замечаниями: 1. Замечание к оформлению: на стр. 16 подпись к рисунку 5 перешла на следующую страницу. 2. При описании конструкции и работы устройства не упоминается диод $VD1$ (стр.10 рис. 2). Также в тексте не упоминаются конденсаторы с обозначениями $C1...CN$, присутствующие на рисунке 2. 3. Автор указывает что полученная в результате эксперимента вольтамперная характеристика «выдерживается на заданном уровне» хотя по рисунку 5 (стр. 16) заметно несовпадение расчетной и экспериментальной характеристик. Анализ погрешностей, который мог бы обосновать утверждение о совпадении результатов, в тексте автореферата не приводится.

6. ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого», г. Санкт-Петербург, отзыв подписан профессором Высшей школы электроэнергетических систем Института энергетики, д.т.н.; профессором Юргановым А.А. с замечаниями: 1. Автор отмечает (стр. 9) существование большого количества (17 шт.) патентов на подобные устройства, но не описывает преимущества

разработанного устройства по сравнению с существующими образцами. Возможно, это есть в тексте диссертации. 2. Для получения расчетных выражений при наличии демпфирующих контуров в магнитной системе синхронного генератора автор использует среднестатистические соотношения параметров генераторов. Это применимо только серийным турбогенераторам и недопустимо для гидрогенераторов и машин штучного производства.

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается публикациями авторов по заданной тематике. За последние 5 лет имеются публикации: доктор техн. наук, доцент Хакимьянов М.И. – 1 публикация в изданиях из перечня ВАК, 4 публикации в изданиях, индексируемых в Scopus; канд. техн. наук, Журавлев А.М. – 3 публикаций в изданиях из перечня ВАК, 4 публикации в изданиях, индексируемых в Scopus; ведущая организация – 3 публикации в изданиях из перечня ВАК, 6 публикаций в изданиях, индексируемых в Scopus. Сотрудниками ведущей организации являются ученые и специалисты, научная деятельность которых проходит в области преобразовательной техники и систем возбуждения синхронных генераторов: к.т.н., доцент Газизова О.В., к.т.н., доцент Николаев А.А., к.т.н., профессор Косматов В.И. и др.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

разработана математическая модель для исследования электромагнитных процессов, протекающих в тиристорном устройстве гашения магнитного поля синхронной электрической машины, действие которого основано на формировании нелинейной вольтамперной характеристики за счет переключения линейных резисторов полупроводниковыми ключами;

предложено новое тиристорное устройство гашения магнитного поля синхронного генератора, использующее новый способ формирования управляемой нелинейной вольтамперной характеристики путем изменения с помощью средств силовой электроники числа включенных параллельно линейных резисторов;

доказано экспериментальными результатами, что предложенное устройство обеспечивает быстрое гашение магнитного поля синхронного генератора, позволяют управлять процессом вывода энергии из магнитной системы синхронной машины в зависимости от её режима, работают без зажигания дуги в выключателе цепей возбуждения.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:

доказана адекватность аналитической модели тиристорного устройства гашения магнитного поля синхронного генератора расчетами и измерениями на физической модели устройства с реальным синхронным генератором;

применительно к проблематике диссертации результативно использованы аппарат линейной алгебры, математического анализа, теории вероятностей и электрических цепей, численные методы решения систем линейных уравнений, экспериментальные исследования на физической модели;

изложена идея применения синтезируемой вольтамперной характеристики в тиристорном устройстве гашения магнитного поля синхронного генератора, формируемой путем переключения числа параллельно включенных линейных резисторов согласно заданному закону;

раскрыты особенности, возможности и перспективы применения тиристорных устройств гашения магнитного поля синхронных генераторов с вольтамперной характеристикой, формируемой за счет изменения числа параллельно включенных резисторов;

изучены электромагнитные процессы, протекающие в тиристорном устройстве гашения магнитного поля синхронного генератора, взаимосвязи параметров устройства и динамики процессов гашения магнитного поля синхронного генератора;

проведена модернизация существующих алгоритмов работы и схемотехнических решений тиристорных устройств гашения магнитного поля синхронных генераторов.

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

разработаны и внедрены новые схемотехнические решения, алгоритмы и методика выбора параметров элементов полупроводниковых устройств гашения магнитного поля синхронных генераторов в учебный процесс при подготовке ФГАОУ ВО ЮУрГУ (НИУ) по дисциплине «Системы возбуждения синхронных генераторов», рассмотрены и положительно оценены экспертами ПАО «Фортум», что подтверждено соответствующими документами;

создана система практических рекомендаций при выборе параметров тиристорного устройства гашения магнитного поля синхронных генераторов на этапе проектирования;

представлены предложения по дальнейшему совершенствованию схемотехнических решений, алгоритмов и методов управления полупроводниковыми устройствами гашения магнитного поля с синтезируемой вольтамперной характеристикой.

Оценка достоверности результатов исследования выявила:

для экспериментальных работ результаты получены с помощью сертифицированного оборудования и показана воспроизводимость результатов исследований в различных условиях;

теория построена на известных проверяемых результатах, в том числе для импульсных тиристорных схем, переходных электромагнитных процессов в электрических машинах, и согласуется с опубликованными данными, представленными в работах российских и зарубежных ученых;

идея базируется на возможности замены в устройстве гашения магнитного поля синхронного генератора непрерывной гладкой вольтамперной характеристики кусочно-линейной, получаемой за счет переключения числа параллельно включенных линейных резисторов;

использованы авторские данные и данные, полученные в трудах российских специалистов М.Е. Гольдштейна, О.Б. Брона, И.А. Глебова, С.А. Ульянова, Е.Я. Казовского, А.А. Ковача, И.П. Крючкова, В.А. Веникова, В.С. Костелянца, Ю.М. Бея, так же иностранных специалистов Jicheng Li, Emilio Rebollo и Carlos Platero;

использованы современные компьютерные программы математического анализа и оборудование лаборатории систем энергетики с силовыми полупроводниковыми преобразователями Южно-Уральского государственного университета;

установлено качественное и количественное совпадение результатов математического моделирования и экспериментальных испытаний алгоритма работы тиристорного устройства гашения магнитного поля синхронного генератора.

Личный вклад соискателя состоит в: обосновании задач исследования; получении исходных данных и проведении научных экспериментов; формулировке и обосновании новых научных положений; разработке математической модели тиристорного устройства гашения магнитного поля синхронного генератора для исследования электромагнитных процессов в устройстве; учете влияния различных факторов на процесс гашения магнитного поля разработанным устройством; разработках методики выбора элементов тиристорного устройства гашения магнитного поля, экспериментальной установки, методик проведения и выполнении научных экспериментов на разработанной установке. Все результаты, приведенные в диссертации, получены либо самим автором, либо при его непосредственном участии.

В ходе защиты диссертации были высказаны следующие критические замечания:

1. Почему в устройстве гашения поля в качестве силовых ключей Вы используете однооперационные тиристоры? Можно их было заменить на запираемые тиристоры? Тогда бы не пришлось устанавливать устройства принудительной коммутации. Или IGBT-транзисторы?

2. В работе Вы в общем-то говорите, что есть короткозамыкатель А-четыре. Если Вы его включаете, то, по идее, ток в цепи обмотки возбуждения должен переключиться в данную цепь и тиристоры, которые используются для гашения магнитного поля, должны естественным образом выключиться. Можно ли было обойтись без устройств принудительной коммутации в данной схеме?

3. Но, Вы как считаете, можно было оптимизировать данный алгоритм, и выключать или переключать ступени магнитного поля, например, когда у Вас напряжение на обмотке возбуждения достигает минимального значения? Т.е. перейти к закону частотной широтно-импульсной модуляции. Мне кажется, это было бы наиболее эффективно в данном случае.

Соискатель Прокудин А.В. ответил на задаваемые ему в ходе заседания вопросы и привел собственную аргументацию:

1. Согласен с таким вопросом. В устройстве используются положительные свойства однооперационных тиристоров. Тиристор можно включить, отключить его достаточно сложно. При отказе системы управления тиристоры остаются включенными. Применение однооперационных тиристоров существенно снижает требования к надежности и быстродействию системы управления. Если будут вопросы надежности и быстродействия системы управления решены, то можно использовать полностью управляемые приборы.

2. Устройства принудительной коммутации требуются для более надежного отключения тиристоров. Можно таким способом отключать тиристоры, но на это требуется больше время поддержания отрицательного, малого напряжения на тиристорах. Это замедляет процесс гашения.

3. Да. Это будет наиболее эффективный метод, но опять же здесь требования по высокому быстродействию системы управления, её высокой надежности. Потому что отказ системы управления приведет к тому, что тиристоры вообще не включатся, обмотка возбуждения будет расшунтирована, и это приведет очень серьезной аварии.

На заседании 30 июня 2022 г. диссертационный совет принял решение: за разработку нового способа формирования вольтамперной характеристики устройства гашения поля синхронного генератора, математической модели, тиристорного устройства

гашения магнитного поля и методики выбора его параметров с учетом различных режимов синхронного генератора присудить Прокудину А.В. учёную степень кандидата технических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве **14** человек, из них **4** – доктора наук по научной специальности 05.09.12 – «Силовая электроника», участвовавших в заседании, из **19** человек, входящих в состав совета, дополнительно введены на разовую защиту **НЕТ** человек, проголосовали: за – **14**, против – **НЕТ**.

Зам. председателя
диссертационного совета



Сидоров Александр Иванович

Учёный секретарь
диссертационного совета



Григорьев Максим Анатольевич

30.06.2022 г.

