

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА 24.2.479.10, СОЗДАННОГО НА  
БАЗЕ ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО БЮДЖЕТНОГО  
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«УФИМСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ НАУКИ И ТЕХНОЛОГИЙ»  
МИНИСТЕРСТВА НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ  
ФЕДЕРАЦИИ, ПО ДИССЕРТАЦИИ  
НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ КАНДИДАТА НАУК

аттестационное дело № \_\_\_\_\_

решение диссертационного совета от 15.12.2023г. № 3

О присуждении Меднову Антону Александровичу, гражданину РФ, ученой степени кандидата технических наук.

Диссертация «Преобразователь параметров электроэнергии на базе полупроводниковых преобразователей и многофункциональных трансформаторов» по научной специальности 2.4.2. Электротехнические комплексы и системы принята к защите 13.10.2023г. протокол №2 диссертационным советом 24.2.479.10, созданным на базе федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Уфимский университет науки и технологий» Министерства науки и высшего образования Российской Федерации, 450076, г. Уфа, ул. Заки Валиди, 32, созданного приказом Министерства науки и высшего образования Российской Федерации №832/нк от 20.04.2023г.

Соискатель – Меднов Антон Александрович, 1 апреля 1993 года рождения. В 2016 году окончил ФГБОУ ВО «Уфимский государственный авиационный технический университет» по специальности 13.05.02 «Специальные электромеханические системы».

В 2020г. окончил аспирантуру ФГБОУ ВО «Уфимский государственный авиационный технический университет» по направлению 13.06.01 Электро- и теплотехника по направлению 05.09.03 Электротехнические комплексы и системы.

Работает в должности ведущего инженера-конструктора в передовой инженерной школе «Моторы будущего» ФГБОУ ВО «Уфимский университет науки и технологий».

Диссертация выполнена на кафедре электромеханики ФГБОУ ВО «Уфимского университета науки и технологий» Министерства науки и высшего образования Российской Федерации.

Научный руководитель – доктор технических наук, профессор Рогинская Любовь Эммануиловна, главный научный сотрудник передовой инженерной школы «Моторы будущего» ФГБОУ ВО «Уфимский университет науки и технологий».

Официальные оппоненты:

1. Доктор технических наук, профессор Щуров Николай Иванович, заведующий кафедрой «Электротехнические комплексы» ФГБОУ ВО «Новосибирский государственный технический университет»;

2. Кандидат технических наук, Сизякин Алексей Вячеславович, доцент кафедры «Электротехнические комплексы автономных объектов и электрический транспорт (ЭКАО и ЭТ)» ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский университет «МЭИ»

дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Магнитогорский государственный технический университет имени Г.И. Носова» г.Магнитогорск, в своем положительном отзыве, подписанным заведующим кафедрой автоматизированного электропривода и мехатроники, кандидатом технических наук, доцентом Николаевым Александром Аркадьевичем и профессором кафедры автоматизированного электропривода и мехатроники, доктором технических наук, профессором Сарваровым Анваром Сабулхановичем, утвержденным проректором по научной и инновационной работе, доктором технических наук, профессором Тулуповым Олегом Николаевичем, указала, что диссертация Меднова Антона Александровича на соискание ученой степени кандидата технических наук является законченной научно-квалификационной работой, в которой содержится решение

научной задачи, имеющей значение для развития науки и техники в области проектирования источников питания электротехнологических установок, включающих индукционный нагрев.

Диссертация соответствует требованиям п.9 Положения ВАК о порядке присуждения ученых степеней, а ее автор, Меднов Антон Александрович, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по научной специальности 2.4.2. Электротехнические комплексы и системы.

Соискатель имеет 49 опубликованных работ, в том числе 3 статьи в научных изданиях из Перечня рецензируемых научных изданий, рекомендованных ВАК, либо в научных изданиях, индексируемых базой данных RSCI, 14 статей в изданиях, включенных в базы данных Scopus и Web of Science, 27 статей в других изданиях. Получено 3 патента на полезную модель и 2 патента на изобретение.

Наиболее значимые работы по теме диссертации:

1. Рогинская Л.Э. Исследование работы многофункциональных трансформаторов в качестве устройств обеспечения электромагнитной совместимости / Л.Э. Рогинская, А.Р. Латыпов, А.А. Меднов, А.Х. Минияров // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Электротехника, информационные технологии, системы управления. – 2017. – № 21. – С. 36-48. – *Соискателем проведен анализ перспективных решений в области согласующих и многофункциональных трансформаторов в источниках питания электротехнологических установок, включающих индукционный нагрев;*
2. Исмагилов Ф.Р. Обоснование целесообразности применения аморфной стали в магнитопроводах трансформаторно-выпрямительных устройств летательных аппаратов / Ф.Р. Исмагилов, В.Е. Вавилов, Д.В. Гусаков, А.А. Меднов // Электричество. – 2018. – № 5. – С. 39-44. – *Соискатель участвовал в изготовлении экспериментальных образцов и их испытании;*
3. Рогинская Л.Э. Выбор параметров многофункционального трансформатора / Л.Э. Рогинская, А.Р. Латыпов, А.А. Меднов // Вестник Московского энергетического института. – 2019. – № 1. – С. 61-68. – *Соискателем разработана*

*математическая модель намагничивания магнитной системы многофункционального трансформатора;*

4. Вавилов В.Е. Исследование 18-пульсного трансформаторно-выпрямительного устройства с магнитопроводом из аморфной стали / В.Е. Вавилов, Д.В. Гусаков, И.И. Ямалов, Д.Р. Фаррахов, А.А. Меднов, А.Х. Минияров // *Электротехника*. 2020. № 2. С. 31-34. – *Соискатель участвовал в изготовлении экспериментальных образцов и их испытании;*

5. Vavilov V.E. Study of a 18-pulse transformer-rectifier unit with an amorphous steel magnetic core / V.E. Vavilov, D.V. Gusakov, I.I. Yamalov, D.R. Farrakhov, A.A. Mednov, A.K. Miniyarov // *Russian Electrical Engineering*. 2020. Т. 91. № 2. С. 104-107. – *Соискатель участвовал в изготовлении экспериментальных образцов и их испытании;*

6. Жеребцов, А.А. Исследования электромагнитных характеристик кольцевых образцов магнитной фазы двухфазного магнитного материала на основе железокобальтовой стали / А.А. Жеребцов, А.В. Асылбаев, А.А. Меднов // *Электротехника*. – 2022. – № 12. – С. 23-25. – *Соискателем выполнен обзор перспективных магнитных материалов;*

7. Zherebtsov, A.A. Studying the Electromagnetic Properties of Ring Specimens of the Magnetic phase of a dual-phase magnetic material based on iron–cobalt steel / A.A. Zherebtsov, A.A. Mednov, A.V. Asylbaev // *Russian Electrical Engineering*. – 2022. – 93(12). – pp. 764-766. – *Соискателем выполнен обзор перспективных магнитных материалов;*

8. Ismagilov F.R. 18-pulse transformer rectifier unit with an amorphous magnetic core for aircraft / F.R. Ismagilov, V.E. Vavilov, D.V. Gusakov, V.S. Vavilova, A.A. Mednov // *International Review of Electrical Engineering*. – 2018. – Т. 13. № 1. – p. 9 14. – *Соискатель участвовал в изготовлении экспериментальных образцов и их испытании;*

9. Roginskaya L.E. Mathematical model of a multifunctional high-frequency transformer for electrotechnological installation power supplies. / L.E. Roginskaya, A.S. Gorbunov, A.A. Mednov // *International Conference on Electrotechnical Complexes and*

Systems (ICOECS). – 2019. PP. 1-4. – *Соискателем разработана математическая модель намагничивания магнитной системы многофункционального трансформатора;*

10. Roginskaya L.E. DC power supply based on a rectifying transformer with a rotating magnetic field. / L.E. Roginskaya, A.S. Gorbunov, A.A. Mednov // 2020 International Conference on Electrotechnical Complexes and Systems (ICOECS). – 2020. – PP.1-4. – *Соискателем выполнено компьютерное моделирование трансформаторно-выпрямительного устройства;*

11. Mednov A.A. Transformer development trend / M.Yu. Yanturaev, A.A. Mednov, I.Kuznetsov, A.I. Zaiko, D.V. Gusakov, S. Voronin // 2021 International Conference on Electrotechnical Complexes and Systems (ICOECS). – 2021. – PP.446-448. – *Соискателем проведен анализ перспективных решений в области трансформаторов в источниках питания электротехнологических установок, включающих индукционный нагрев;*

12. Roginskaya L.E. Hybrid magnetic systems as a way to obtain required magnetic properties. / L.E. Roginskaya, A.S. Gorbunov, A.A. Mednov, D.V. Gusakov // 2021 International Conference on Electrotechnical Complexes and Systems (ICOECS). – 2021. – PP. 245-248. – *Соискателем выполнено компьютерное моделирование;*

13. Меднов А.А. Выпрямительный трансформатор с минимальным потоком рассеяния / А.А. Меднов // Гагаринские чтения - 2019. – 2019. – С. 465-466. – *выполнены расчеты трансформаторов и его составных частей по предложенной соискателем методике;*

14. Меднов А.А. Аналитическое определение оптимальных соотношений материалов гибридных магнитных систем / А.А. Меднов, И.Ф. Сяхов, А.Х. Минияров // Инновации в информационных технологиях, машиностроении и автотранспорте (ИИТМА-2020). сборник материалов IV Международной научно-практической конференции с онлайн-участием. Кемерово, 2020. С. 336-338. – *выполнены расчеты трансформаторов и его составных частей по предложенной соискателем методике;*

В диссертации отсутствуют недостоверные сведения об опубликованных соискателем ученой степени работах.

На диссертацию и автореферат поступили положительные отзывы:

– **ведущей организации** ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова». *Замечания:* 1. При вычислении индукции второй гармоники происходит деление на 16 частей. А обоснования, почему нет. 2. Из текста диссертации остается непонятным диапазон частот и мощностей, на которых возможно применение ферромагнитных умножителей частоты. 3. Во второй главе диссертации автором рассмотрены возможные варианты полупроводниковых источников питания ЭТУИН, на выходе которых образуется синусоидальная или прямоугольная форма кривой напряжения. Однако, существуют источники питания, на выходе которых возможно получение, например, трапецеидальной или треугольной формы выходного напряжения. По тексту диссертации нет упоминания о том, почему они не приняты к рассмотрению. 4. В разделе 3 на рисунках 3-4, 3-5 и 3-6 диссертации приводится разработка трансформатора с вращающимся магнитным полем, но по каким характеристикам она превосходит разработку, представленную на рисунке 1-20, не описано. 5. В диссертации имеются не оконченные предложения, например, математическая модель, чего; модель с вращающимся магнитным полем?

– **официального оппонента** доктора технических наук, профессора Щурова Николая Ивановича, заведующего кафедрой «Электротехнические комплексы» ФГБОУ ВО «Новосибирский государственный технический университет». *Замечания:* 1. На части рисунков, например, на рисунках 1-8, 1-9 и 1-10, приведенных в материалах диссертации отсутствуют подписи элементов электрических цепей, либо их расшифровка по тексту или в подрисуночных надписях. 2. В главе 2 автором при определении индукций второй и четвертой гармоник производится разбиение периода на 16 равных частей. Целесообразно было бы оценить зависимость изменения получаемой точности расчета по предлагаемой модели при разбиении периода на другое количество частей, например, на 8 и 32. 3. В главе 3 представлено описание конструкции трансформатора, обмотка которого имеет минимальный поток рассеяния, представлено фото его экспериментального образца. При этом не

приводятся ни аналитические, ни экспериментальные результаты, подтверждающие снижение величины потока рассеяния или вызванных данным потоком потерь. 4. На рисунке 3-11 представлены результаты моделирования трансформатора, в качестве материалов в магнитопроводе которого используются сплавы 49К2ФА и 1СР. Далее по тексту следует разъяснение преимуществ, получаемых в результате использования разработанной конструкции магнитной системы, однако здесь же при разъяснении на рисунке 3-12 фигурируют сплавы 49К2ФА и АМАГ. Сплавы 1 СР и АМАГ отличаются по своим характеристикам. 5. В формуле (4.2) фигурируют только характеристики магнитного материала. При этом не отмечается, что при реализации изделий нередко на первый план могут выходить не основные технические показатели, а его эксплуатационно-экономические параметры, такие как эксплуатационная экономичность или стоимость материалов, входящих в изделие. 6. Убедительным доказательством возможности получения более высоких электромагнитных характеристик предложенного автором выпрямительного трансформатора на рис.3.4-рис.3.6, конструкция которого формирует вращающееся магнитное поле, была бы экспериментальная проверка. Однако в работе не приводятся результаты каких-либо экспериментов, или хотя бы расчетов, которые бы прямо свидетельствовали о достижении "... более высоких электромагнитных характеристик...", как это утверждает автор на стр.74. 7. При описании электромагнитных процессов в многофункциональном трансформаторе в разделе 2.2 автору следовало бы уделить дополнительное внимание законам коммутации в цепях УЧФ с индуктивным характером, изображенных на схемах рис.2.4, которые также следует учитывать при коммутации ключей К1-К8.

– **официального оппонента** кандидата технических наук, Сизякина Алексея Вячеславовича, доцента кафедры «Электротехнические комплексы автономных объектов и электрический транспорт (ЭКАО и ЭТ)» ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский университет «МЭИ». *Замечания:* 1. При расчёте высот катушек в главе 3 автор принимает равенство коэффициентов заполнения окна для этих катушек, однако, при выполнении обмоток разным проводом это может привести к неточности расчёта размеров трансформатора. 2. В главе 3 при для трансформатора с

вращающимся полем приводятся результаты 2-d моделирования, однако, при таком исполнении трансформатора неизбежно появится вылет лобовых частей обмоток, что увеличит их индуктивность рассеяния и может отрицательно сказаться на характеристиках ТВУ, в составе которого применяется трансформатор рассматриваемой конструкции. 3. При анализе работы ТВУ в пакете ANSYS на рисунке 3-16 приведена схема, в которой обе обмотки подключены к точке Ground. Такое подключение объясняется необходимостью заземления всех независимых ветвей. Однако, такое подключение объединяет среднюю точку звезды с одной из линий треугольника, что создаёт дополнительные контуры для протекания токов, что может привести к изменению режима работы исследуемого трансформатора. Следовало одну из групп обмоток заземлять через сопротивление, обеспечивающее практически полный разрыв описанного контура. 4. При расчётах параметров трансформатора в таблице 4-1 наилучшим признаётся вариант с соотношением магнитопроводов 50/50. Однако, ход зависимости на рисунке 4-1 позволяет предположить, что минимум потерь может находиться в некоторой окрестности исследованной точки. Целесообразно было бы более детально исследовать область экстремума. 5. В выражении 4-4 результирующий коэффициент заполнения сталью определяется как среднее значение коэффициентов для двух сердечников. На практике стыковка двух сердечников вносит дополнительный зазор, что несколько снизит результирующий коэффициент заполнения относительно среднего. 6. Из описания экспериментального образца следует, что в нём не применена рассмотренная в работе схема намотки вторичных обмоток. 7. Не понятно отличие режимов работы в таблицах 4-2 и 4-3. Из текста однозначно не ясно, изменилась ли частота, при этом наблюдается равенство температур обмоток при работе на разных нагрузках и их существенное отличие при работе с одинаковыми нагрузками. 8. В работе не представлены обособленные выводы по главам. 9. Текст содержит некоторое количество опечаток и неточностей оформления.

Получено 9 положительных отзывов на автореферат:

– ФГБОУ ВО «Астраханский государственный университет», ведущий научный сотрудник научной совместной лаборатории конструирования и физико-



химических исследований оксидных магнитных материалов Астраханского государственного университета и ИМЕТ Уро РАН, д.пед.н., к.т.н., профессор **Зайнутдинова Лариса Хасановна**. *Замечания:* 1. Имеющиеся на рисунке 1 подписи компонентов схемы выполнены мелким шрифтом и являются трудноразличимыми. 2. В схеме на рисунке 1 обмотка подмагничивания присоединяется непосредственно от выпрямителя входного выпрямительного устройства. При этом нет указаний о преимуществе такого подключения. Более рациональным видится питание от независимого источника, позволяющего осуществлять независимое регулирование тока подмагничивания третьей ступени каскада преобразователей.

– ГБОУ ВО «Нижегородский государственный инженерно-экономический университет», профессор кафедры «Электрификация и автоматизация», д.т.н., профессор **Серебряков Александр Сергеевич**. *Замечания:* 1. На рис. 2 – графики экспериментальной и аппроксимированной функции намагничивания аморфного сплава 1СР отклонение результатов составляет 15%. Современные цифровые системы расчёта, например, интегрированный пакет Mathcad, позволяет гораздо проще получить более высокую точность. 2. На рис. 1 отсутствуют точки в местах соединения проводов и элементов. 3. Не понятна фраза «намагничивание магнитопровода в два раза». 4. На рис. 13 отсутствует позиция под номером 8, о которой говорится в тексте.

– ФГБОУ ВО «Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А.», профессор кафедры «Системотехника и управление в технических системах», д.т.н., профессор **Митяшин Никита Петрович**. *Замечания:* 1. Было бы целесообразно провести сравнение эффективности предлагаемых методов согласования преобразователей с сетью и нагрузкой с другими известными методами, направленными на достижения этих же целей. 2. В автореферате уделено мало внимания динамическим процессам в рассмотренных преобразователях при регулировании и стабилизации выходного напряжения. 3. В автореферате используются излишне длинные предложения, затрудняющие понимание текста. Например, таковым является предложение, начинающееся в конце страницы 13. 4. В автореферате имеются опечатки как в тексте, так и в формулах. В частности, в

формулах (2) и (3) вместо ранее введенного в формуле (1) параметра  $\alpha$  используется символ  $a$ , написанный слитно с обозначением гиперболического синуса.

– ФГБОУ ВО «Башкирский государственный аграрный университет», декан энергетического факультета, д.т.н., профессор **Линенко Андрей Владимирович**. *Замечания:* 1. В автореферате под номером (4) приведена формула Штейнмеца. Перед формулой имеется упоминание, что она используется при «синусоидальном магнитном потоке». В то же время ток,  $a$ , следовательно, и магнитный поток близок к синусоидальному, но несинусоидален в виду периодической перекоммутации фаз полупроводниковыми ключами. Упоминания о таком допущении по тексту нет. 2. Экспериментальное исследование выполнено на частотах питающей сети 400 и 800 Гц. При этом основная масса промышленных сетей, в которых работают трансформаторно-выпрямительные устройства, имеет частоту 50 Гц. Поясняющей этот аспект информации в автореферате диссертации не содержится.

– ФАУ «Государственный научно-исследовательский институт авиационных систем», начальник сектора лаборатории «Бортовые системы и агрегаты воздушных судов», к.т.н. **Морошкин Ярослав Владимирович**. *Замечания:* 1. В формуле (1) автореферата используются коэффициенты аппроксимации. Из текста автореферата непонятно, как они были выбраны. 2. В формулах (2) и (3) имеется ошибка. Непонятно, то ли перед гиперболическим синусом автор ставит переменную  $a$ , которая является ошибочным обозначением коэффициента  $\alpha$  из формулы (1), то ли после формулы не хватает расшифровки переменной  $a$ , либо автором допущена опечатка в написании обратной гиперболической функции аресинус «arsh». 3. Из автореферата не ясно, выполнялась ли автором количественная оценка параметров теплового режима энергосистемы, при применении во входном звене источника питания электротехнологической установки трансформатора с обмоткой, обладающей минимальным потоком рассеяния.

– ФГБОУ ВО «МИРЭА – Российский технологический университет», заведующий кафедрой конструирования и производства радиоэлектронных средств, д.т.н., профессор **Увайсов Сайгид Увайсович**. *Замечания:* 1. На странице 14 в описании схемы установки упоминается система охлаждения, параметры работы

которой оказывают значимое воздействие на работу электрооборудования, но при описании эксперимента не приводятся. 2. По тексту автореферата встречаются опечатки и имеются неточности изложения.

– ФГБОУ ВО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина», профессор кафедры «Электромеханика», д.т.н., профессор **Казаков Юрий Борисович**. *Замечания:* 1. Схемные и технические решения, отнесенные автором к научной новизне, в большей степени определяют практическую значимость диссертации. 2. Математические модели определения амплитуд второй и четвертой гармоник индукций на основе приближенного гармонического анализа по методу Бесселя, обеспечивающие отклонение в 15 % от опытных характеристик намагничивания аморфного сплава, могли быть уточнены при использовании более точных методов аппроксимаций функций. 3. Не прояснен вопрос с размещением катушек на витой магнитопровод трансформатора. Они разрезаются с дополнительным паразитным зазором? 4. Утверждается (стр. 16, последний абзац), что для предложенной конструкции трансформатора в режиме ХХ снижение тока ХХ на 85 % и потерь на 68,7 % при возрастании частоты с 400 до 800 Гц и снижении напряжения с 116,1 до 108 В обусловлено перераспределением магнитных потоков в магнитопроводе и изменение магнитных сопротивлений. В выводе не учтено влияние изменения индуктивного сопротивления в 2 раза, вызывающего снижение тока ХХ, и снижения магнитного потока более, чем в 2 раза, вызывающее снижение потерь ХХ. 5. Стилистические замечания: стр. 8, «...определены характеристики намагничивания магнитопроводов УЧФ в 2 раза»; рис. 8, перепутана цифра обозначения первичной обмотки.

– ФГБОУ ВО «Кубанский государственный аграрный университет», заведующий кафедрой «Электрические машины и электропривод» д.т.н., профессор **Оськин Сергей Владимирович**; профессор кафедры «Электрические машины и электропривод» д.т.н., профессор **Стрижков Игорь Григорьевич**. *Замечания:* 1. Цель исследования на наш взгляд сформулирована недостаточно конкретно. Следовало указать, что автор понимает под совершенствованием характеристик и какие именно характеристики преобразователей планировалось усовершенствовать.

2. Говоря о выделении отдельных гармоник в кривой индукции магнитного поля в магнитопроводе (уравнения 2 с. 7 автореферата) автор не указал форму приложенного к первичной обмотке трансформатора напряжения, которая в значительной мере определяет гармонический состав магнитного потока.

– ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина», заведующий кафедрой «Электротехника», **д.т.н.**, **доцент Фризен Василий Эдуардович**; доцент кафедры «Электротехника», **к.т.н.**, **доцент Лузгин Владислав Игоревич**. *Замечания:* 1. Из материалов автореферата не ясно какое влияние на характеристики преобразователя параметров электроэнергии с ферромагнитным множителем частоты (УЧФ) (рисунок 1) оказывает использование входного тока автономного инвертора в качестве тока подмагничивания в обмотках УЧФ. 2. Необходимо более доказательно обосновать целесообразность применения УЧФ в качестве множителя частоты выходного тока и преобразователя по сравнению со схемами автономных инверторов с удвоением или умножением частоты выходного напряжения

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается их достижениями в данной отрасли наук, наличием публикаций в соответствующей сфере исследования и способностью определить научную и практическую ценность диссертации. Ведущая организация и оппоненты не имеют совместных проектов и публикаций с соискателем.

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

– **разработаны:**

- методика проектирования гибридных магнитных систем выпрямительных трансформаторов, отличающаяся новым подходом к определению соотношения объемов, занимаемых ферромагнитными материалами в гибридной магнитной системе, с использованием наиболее важных численных значений, характеризующих материал, таких как, например, величины индукции насыщения и удельных потерь;
- методика расчета обмоток трансформатора, отличающаяся получением уменьшенных потоков рассеяния в трансформаторе;

- схемотехнические и конструкторские решения выпрямительных трансформаторов (трансформатор с гибридной магнитной системой, трансформатор с минимальным потоком рассеяния, трансформатор с вращающимся магнитным полем) и их имитационные модели, отличающиеся повышенными показателями эффективности преобразования электроэнергии;

- математическая модель, построенная на основании приближенного гармонического анализа по методу Бесселя, и имитационная модель магнитной системы многофункционального трансформатора, отличающиеся методом их построения.

– **предложен** оригинальный способ синтеза и оценки параметров магнитной системы многофункционального трансформатора.

– **доказаны:**

- перераспределение магнитных потоков в гибридном магнитопроводе выпрямительного трансформатора при изменении напряженности магнитного поля;

- эффективность оценки электромагнитных параметров магнитной системы многофункционального трансформатора на основе разработанной математической модели, погрешность составила не более 15%.

– **введено** понятие гибридной магнитной системы выпрямительного трансформатора.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:

– **доказана** возможность повышения энергоэффективности источника питания за счет применения гибридных магнитных систем в выпрямительных трансформаторах.

– **применительно к проблематике диссертации** результативно использованы аналитические методы решения уравнений, а также методы математического и имитационного моделирования на ЭВМ; инструментарий программных комплексов ANSYS, MathCad.

– **изложены** методические рекомендации по расчету обмоток выпрямительных трансформаторов, обладающих минимальным потоком рассеяния; результаты компьютерного моделирования и экспериментального исследования работы выпрямительных трансформаторов с гибридным магнитопроводом в режимах холостого хода, номинальном, с полутора и двухкратной перегрузкой.

– **раскрыты** основные пути повышения качества электроэнергии на входе и выходе трансформаторно-выпрямительных устройств и повышения КПД выпрямительных трансформаторов.

– **изучены** основы работы гибридных магнитных систем.

– **проведена модернизация** математической модели ферромагнитного умножителя частоты.

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

– **разработаны и внедрены** в производственный процесс АО УНПП «Молния» в качестве источников аварийной системы электроснабжения трансформаторно-выпрямительные устройства, в основе которых лежат трансформаторы с гибридным магнитопроводом; в учебный процесс методики проектирования гибридных магнитных систем выпрямительных трансформаторов и расчета обмоток с минимальным потоком рассеяния.

– **определены** перспективы совершенствования трансформаторно-выпрямительных устройств.

– **созданы** оригинальные технические решения выпрямительных трансформаторов, обладающие более высокими значениями КПД, лучшими показателями качества выпрямленного напряжения и высокой технологичностью.

– **представлены** методические рекомендации по определению соотношения ферромагнитных материалов в магнитной системе выпрямительного трансформатора и по расчету обмотки трансформатора, обладающей минимальным потоком рассеяния.

Оценка достоверности результатов исследования выявила:

– **для экспериментальных работ** исследования и испытания проводились с использованием измерительного оборудования, прошедшего поверку; воспроизводимость результатов подтверждается регулярной и безотказной работой трансформаторно-выпрямительного устройства в составе системы электроснабжения, реализованной на стенде АО УНПП «Молния».

– **теория** построена на фундаментальных основах электромагнитного преобразования энергии, теории электромагнитного поля, уравнениях Фурье и методе приближенного гармонического анализа (методе Бесселя), методах математического и компьютерного моделирования в программных комплексах ANSYS, MathCad; теория согласуется с результатами проведенного автором эксперимента и существующим научным заделом в опубликованных трудах по теме исследования.

– **идея базируется** на анализе классических законов теории электромагнитного поля применительно к совместной работе двух и более ферромагнитных материалов.

– **использовано** сравнение разработанных трансформаторно-выпрямительных устройств с аналогичными преобразователями на базе трансформаторов с аморфным магнитопроводом.

– **установлено**, что разработанное трансформаторно-выпрямительное устройство с трансформатором на базе гибридного магнитопровода имеет КПД на 2% выше в номинальном режиме работы и на 3% выше в режиме 1,5-кратной перегрузки при сравнении с ближайшим аналогом на базе магнитопровода из аморфного сплава марки 1СР; расхождение расчетной компьютерной модели и результатов эксперимента по величине потерь в гибридном магнитопровode не превышает 10%; значения индукций второй и четвертой гармоники по полученной аппроксимированной зависимости лежат в пределах 15%-го расхождения при разбиении периода перемагничивания магнитопровода ферромагнитного умножителя частоты на 16 равных частей.

– **использовано** сравнение авторских данных и ранее опубликованных данных в научной литературе, а также сравнение результатов, полученных аналитически, с результатами компьютерного моделирования и с данными, полученными экспериментальным путём.

**Личный вклад соискателя** состоит в:

– анализе перспективных решений в области многофункциональных трансформаторов и источников питания электротехнологических установок, включающих индукционный нагрев;

- в участии в изготовлении экспериментальных образцов и их испытаниях;
- разработке математической модели намагничивания магнитной системы многофункциональных трансформаторов;

- выполнении обзора перспективных магнитных материалов;
- выполнении компьютерного и имитационного моделирования;
- выполнении расчетов трансформаторов и элементов преобразователя частоты;
- публикации результатов исследований и разработок.

Диссертационный совет пришел к выводу о том, что в диссертации:

- соблюдены установленные Положением о присуждении ученых степеней критерии, которым должна отвечать диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук;

- отсутствуют недостоверные сведения об опубликованных соискателем ученой степени работах, в которых изложены основные научные результаты диссертации;

- соискатель ссылается на авторов и источники заимствования;

- оригинальность диссертационной работы составляет 86,18%.

Диссертационная работа Меднова Антона Александровича «Преобразователь параметров электроэнергии на базе полупроводниковых преобразователей и многофункциональных трансформаторов» соответствует п.9 Положения о порядке присуждения ученых степеней, утвержденного Постановлением Правительства Российской Федерации №842 от 24.09.2013г. (с последующими изменениями), предъявляемых к кандидатским диссертациям.

Тема работы и содержание исследований соответствуют паспорту научной специальности 2.4.2. Электротехнические комплексы и системы по пунктам: п. 1. «Развитие общей теории электротехнических комплексов и систем, анализ системных свойств и связей, физическое, математическое, имитационное и компьютерное моделирование компонентов электротехнических комплексов и систем, включая электромеханические, электромагнитные преобразователи энергии и электрические аппараты, системы электропривода, электроснабжения и электрооборудования.»; п.3. «Разработка, структурный и параметрический синтез, оптимизация



электротехнических комплексов, систем и их компонентов, разработка алгоритмов эффективного управления».

В ходе защиты диссертации были высказаны критические замечания:

1. В исследованиях выбрана аморфная сталь марки 1СР, хотя существует множество других марок аморфной стали, таких как 71КНСР, 84КХСР и другие. Причина выбора в докладе не озвучена.

2. В докладе упоминалось о максимальной эффективности расположения обмоток трансформатора, но как достигается и как определяется обеспечение максимальной эффективности в докладе не упоминается.

3. Доклад не содержит информации о температурах обмоток в динамическом режиме работы.

4. В системах возможно появление резонансов, которые могут улучшать параметры системы. Используются ли резонансы в системе при этом непонятно.

Соискатель Меднов А.А. согласился с высказанными замечаниями и уточнил, что при выборе применяемой марки стали основывались на результатах проведенного анализа, который показал наличие у стали марки 1СР высокой электромагнитной характеристики – индукции насыщения, а также имел приемлемую цену по сравнению с аналогами. Касательно вопроса по достижению и обеспечению максимальной эффективности диссертантом отмечено, что это возможно при условии максимально близкого расположения обмоток к магнитной системе по высоте окна и при этом будет обеспечиваться равенство объемов, занимаемых вторичными обмотками. На отсутствие информации о температурах в динамическом режиме соискатель пояснил, что оценивались только режимы работы характерные для использования разработанного устройства в составе источников питания, включающих индукционный нагрев, и вопросы применения в источниках питания электроустановок для других возможных технологических процессов не изучались. По вопросу о резонансах в системе преобразователя частоты диссертант ответил, что в конструкции используется автономный резонансный инвертор, работы по модернизации которого не проводились, но подобного рода задачи планируется рассматривать при дальнейших исследованиях.

На заседании 15.12.2023г. диссертационный совет принял решение: по результатам изложенных новых научно обоснованных решений и разработок в области источников питания электротехнологических установок, включающих индукционный нагрев, позволяющих осуществить согласование их с сетью и нагрузкой и повысить энергоэффективность в случае каскадного соединения многофункциональных трансформаторов и полупроводниковых преобразователей присудить Меднову А.А. ученую степень кандидата технических наук по научной специальности 2.4.2. Электротехнические комплексы и системы.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 14 человек, из них 7 докторов наук по специальности рассматриваемой диссертации, участвовавших в заседании, из 16 человек, входящих в состав совета, проголосовали: за – 14, против – 0.

Председатель  
диссертационного совета  
д-р техн. наук, профессор



Исмагилов Флюр Рашитович

Ученый секретарь  
диссертационного совета  
канд. техн. наук

Ямалов Ильнар Илдарович

15 декабря 2023 года