

## ОТЗЫВ

официального оппонента, кандидата технических наук,  
доцента Сизякина Алексея Вячеславовича на диссертационную работу  
Меднова Антона Александровича «Преобразователь параметров  
электроэнергии на базе полупроводниковых преобразователей и  
многофункциональных трансформаторов», представленную на соискание  
ученой степени кандидата технических наук по научной специальности

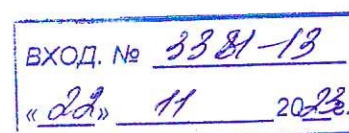
### 2.4.2. Электротехнические комплексы и системы

#### Актуальность темы диссертационного исследования

В оппонируемой работе рассматриваются решения в области источников питания для электротехнологических установок, роль которых в современной промышленности стабильно укрепляется на фоне таких преимуществ как экологичность, бесконтактность и скорость разогрева объекта термического воздействия. С учетом большой потребляемой мощности индукционных электроустановок и генерацией высших гармонических составляющих в сетевое напряжение, их работа зачастую ограничивалась и разводилась по времени с работой чувствительного к качеству напряжения питания электрооборудования. Одним из применяемых в промышленности решений для улучшения электромагнитной совместимости источников питания является применение многоканальных трансформаторно-выпрямительных устройств, работа по улучшению характеристик которых ведется автором диссертации.

Помимо вопросов электромагнитной совместимости в работе рассматривается вопрос о повышении энергетической эффективности составляющих элементов и узлов рассматриваемого класса источников питания. Повышение эффективности источников питания высокой мощности вносит существенный вклад в конкурентоспособность производимых изделий.

Таким образом, тема исследования, выбранная автором является важной и актуальной в современном мире.



## **Оценка структуры и содержания работы**

Диссертация имеет логически последовательную структуру, включающую введение, четыре главы, заключение, список литературы из 95 наименований и четыре приложения.

Введение содержит обоснование принятого автором направления исследований, сформулированные цель и задачи. Здесь же приводятся сведения, подтверждающие актуальность темы исследования, а также рассматривается современное положение дел в области отечественных и зарубежных преобразователей частоты, используемых в электротехнологических установках.

В первой главе работы обобщены ключевые требования, предъявляемые к преобразователям частоты электротехнологических установок, включающих индукционный нагрев: обеспечение мультисоставного нагрева, возможность регулирования/стабилизации выходных параметров источника питания, симметрирование однофазной нагрузки для работы в трехфазной сети, снижение потерь энергии, повышение энергоэффективности и КПД, обеспечение гальванической развязки электроцепей преобразователя частоты, согласование его параметров с сетью и нагрузкой, минимизация влияния на окружающее оборудование путем обеспечения электромагнитной совместимости, расширение частотного диапазона. Приведен ряд современных вариантов обеспечения указанных требований с приведением их основных достоинств и недостатков. По результатам анализа определены цели и задачи диссертационного исследования.

Во второй главе работы внимание уделено совместной работе полупроводниковых преобразователей частоты и многофункциональных трансформаторов в части обеспечения согласования с сетью и нагрузкой. Автор проводит подробный анализ работы ферромагнитного умножителя частоты при различных вариантах формы кривой питающего напряжения и показывает как отклонение формы от синусоидальной ухудшает форму напряжения на нагрузке. Также во второй главе представлена математическая модель, отражающая функцию зависимости изменения высших гармонических составляющих индукции



в магнитной системе умножителя частоты, которая позволяет определить ток и требуемую ёмкость конденсатора, применяемого для продольной и/или поперечной емкостной компенсации на входе индуктора.

Третья глава посвящена повышающим энергоэффективность ТВУ техническим решениям. Рассматривается конструкция трансформатора с обмоткой, обладающей минимальным потоком рассеяния, что позволяет обеспечить более высокий коэффициент магнитной связи обмоток, что приводит к улучшению рабочих показателей ТВУ. Далее рассматривается трансформатор с вращающимся магнитным полем, предназначенный для компенсации несимметрии магнитных потоков в фазных магнитопроводах, свойственной традиционным трёхфазным трансформаторам. Также рассмотрены различные варианты гибридных магнитопроводов для выпрямительных трансформаторов, позволяющие расширить рабочий диапазон индукций магнитопровода при сохранении высоких магнитных свойств и низких потерь в стали. В ходе исследований автор активно использует программные средства имитационного моделирования.

В четвертой главе работы описано экспериментальное исследование, разработанного и изготовленного при непосредственном участии автора, образца многоканального трансформаторно-выпрямительного устройства, трансформатор которого имеет гибридный магнитопровод, изготовленный из двух ферромагнитных сплавов. В ходе испытаний подтверждена высокая по сравнению с прототипом энергетическая эффективность, а так же показано, что испытанный образец имеет высокий уровень электромагнитной совместимости.

Заключение содержит основные результаты проведенных научных исследований и выводы по работе в целом.

**Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертационной работе**

При создании компьютерных моделей использованы программные продукты Mathcad и ANSYS Electronics Desktop. Все погрешности и допущения упомянуты

в диссертации и их можно считать приемлемыми для моделирования электротехнических систем.

Обоснованность научных положений и выводов в оппонируемой диссертации не вызывает сомнений, что также подтверждается и наличием у автора опубликованных работ.

### **Апробация работы и публикации**

По теме диссертационного исследования опубликовано 49 работ, среди которых 3 в 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.

### **Научная новизна** темы диссертационного исследования:

1. Определены схемные решения, улучшающие функциональное состояние инвертирующих модулей на основе полупроводниковых элементов за счет снижения коммутационной нагрузки и эффективного регулирования.
2. Сформированы технические решения выпрямительных трансформаторов (трансформатор с гибридной магнитной системой, трансформатор с минимальным потоком рассеяния, трансформатор с вращающимся магнитным полем) и их имитационные модели.
3. Разработаны и исследованы математическая и имитационная модели магнитной системы многофункционального трансформатора.
4. Сформирована методика расчета обмоток трансформатора для минимизации потоков рассеяния.
5. Сформулирована методика проектирования гибридных магнитных систем входных многообмоточных выпрямительных трансформаторов.

6. Подтверждена возможность применения гибридных магнитных систем в трансформаторах с целью улучшения их энергетических свойств.

7. Подтверждена возможность повышения энергоэффективности магнитной системы при регулировании напряженности магнитного поля в магнитной цепи входного многообмоточного выпрямительного трансформатора.

### **Теоретическая и практическая значимость полученных автором результатов работы:**

1. Разработанные технические решения позволяют повысить КПД источника питания при обеспечении эффективного регулирования входных и выходных параметров.

2. Математические и имитационные модели позволяют осуществлять синтез ключевых параметров трансформатора и его магнитной системы, в частности.

3. Разработанные методики расчета обмоток трансформатора и расчета гибридной магнитной системы могут быть применены в процессе инженерного проектирования.

### **Замечания по диссертационной работе**

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 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.


Вышеупомянутые недостатки не являются принципиальными и не снижают научной и практической значимости, а также общей положительной оценки диссертационной работы.

## Заключение

Диссертация Меднова Антона Александровича является законченной научно-квалификационной работой, выполненной на актуальную тему, и обладающей новизной и практической значимостью. В ней изложены новые научно-обоснованные технические решения и разработки по созданию полупроводниковых преобразователей, имеющие существенное значение для развития промышленности.

Диссертационная работа «Преобразователь параметров электроэнергии на базе полупроводниковых преобразователей и многофункциональных трансформаторов» удовлетворяет требованиям, предъявляемым к научно-квалификационным работам на соискание ученой степени кандидата технических наук согласно п.п. 9-11, 13, 14 «Положения о присуждении ученых степеней» (утверждено постановлением Правительства РФ от 24 сентября 2013 №842), а ее автор Меднов Антон Александрович заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по научной специальности 2.4.2. Электротехнические комплексы и системы.

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

  
13 ноября 2022 г.


Сизякин Алексей Вячеславович

Адрес: 111250, Россия г. Москва, Е-250, ул. Красноказарменная, д. 14 тел.: +7 (495) 3627100;  
e-mail: [siziakinav@mpei.ru](mailto:siziakinav@mpei.ru), [al.sizyakin@gmail.com](mailto:al.sizyakin@gmail.com)

Кандидатская диссертация Сизякина А.В. защищена по специальности  
05.09.03 – Электротехнические комплексы и системы

С обработкой персональных данных согласен



  
удостоверено

ЗАМЕСТИТЕЛЬ НАЧАЛЬНИКА  
ОТДЕЛА ПО РАБОТЕ С ПЕРСОНАЛОМ  
И.И. ДОЛГОВАК