

О Т З Ы В

официального оппонента

на диссертационную работу Лавренова Александра Сергеевича на тему: «Исследование и разработка вольтодобавочного каскада с многоуровневым регулированием напряжения для трансформаторной подстанции», представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.09.03 – «Электротехнические комплексы и системы»

Работа выполнена в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Комсомольский-на-Амуре государственный университет».

Актуальность темы исследования.

Проблема повышения качества напряжения в системе электроснабжения промышленных предприятий представляет собой важную научно-техническую задачу. В ряде случаев напряжение низкого качества может привести к снижению энергетических показателей электрооборудования, порче выпускаемой продукции или механическим повреждениям.

Существующие системы регулирования и стабилизации напряжения, как верно указывает диссертант, включающие в себя многоуровневые инверторы в должной мере не позволяют выполнять широкое регулирование напряжения при обеспечении его высокого качества. Следовательно, создание устройств на базе каскадной силовой схемы с вольтодобавочными трансформаторами, комплексно выполняющих функции непрерывной стабилизации и регулирования напряжения с разработкой алгоритмов их управления является актуальной технической и научной задачей.

Оформление и изложение диссертации.

Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав и заключения, списка сокращений и списка литературы, состоящего из 95 наименований (133 страницы машинописного текста, в том числе: 100 рисунков и 2 приложения).

Во **введении** обоснована актуальность темы диссертации и определена степень её разработанности, сформулированы цель и задачи исследования, приводятся научная новизна и практическая значимость работы. а также положения, выносимые на защиту, представлены сведения о достоверности научных положений и результатов исследования, данные по публикациям и апробации работы.

В **первой главе** – выполнен анализ способов и устройств регулирования напряжения на трансформаторных подстанциях. Рассматриваются механические регуляторы напряжения, устройства с подмагничиванием магнитопровода, статические регуляторы напряжения. Автором проанализированы их регулировочные свойства и энергетические характеристики, приводятся их достоинства и недостатки. Предложено техническое решение устройства с каскадным построением силовой схемы на вольтодобавочных трансформаторах, обладающим улучшенными характеристиками.

Во **второй главе** – рассмотрены существующие принципы формирования многоуровневого выходного напряжения. Приводятся способы регулирования добавочного напряжения вольтодобавочным каскадом (ВДК). Автором разработана силовая схема, реализующая предлагаемые способы формирования добавочного напряжения. Представлено математическое описание получения результирующего вектора добавочного напряжения при двух способах управления вольтодобавочными устройствами (ВДУ) каскада.

Третья глава – посвящена разработке имитационной модели ВДК с использованием средств компьютерного программирования MATLAB. Разработанная модель позволяет выявлять способы формирования добавочного напряжения ВДК и принципы совместного управления инверторами напряжения внутри каскада и согласованного по параметрам с сетью - выходного напряжения ВДК. Кроме этого, был определен алгоритм управления инверторами напряжения, позволяющий достичь минимального содержания гармоник в напряжении питания силового трансформатора подстанции. Произведена оцен-

ка гармонического состава напряжения ВДК и получены внешние, регулировочные и стабилизационные характеристики, а также представлены динамические характеристики устройства, отражающие свойства ВДК в процессе регулирования и стабилизации напряжения. Представлена оценка результатов моделирования системы в динамике для двух способов регулирования.

В четвертой главе приводится описание разработанной силовой схемы ВДК и системы его управления. Представлены результаты экспериментального исследования ВДК на действующем макете системы.

Автореферат диссертации.

Содержание автореферата соответствует материалам диссертации и включает краткое описание наиболее значимых результатов, полученных в диссертации и основные выводы по работе.

Задачи, решаемые в диссертационной работе:

1. Анализ патентно–лицензионной ситуации по проблеме регулирования питающего напряжения трансформаторных подстанций и стабилизации напряжения у потребителей.
2. Разработка принципов формирования многоуровневого добавочного напряжения ВДК с IGBT инверторами и специальной системой управления.
3. Разработка имитационной модели ВДК в составе трансформаторной подстанции в среде Matlab.
4. Исследование процессов на имитационной модели и разработка способов регулирования напряжения.
5. Создание действующего макета ВДК для регулирования напряжения на входе трансформаторной подстанции и его исследование.

Обоснованность научных положений, выводов и рекомендаций диссертационной работы:

Обоснованность научных положений, выводов и рекомендаций, изложенных в диссертации, подтверждается положениями теории электрических цепей, силовой электроники, а также результатами проведенного имитационного моделирования электромагнитных процессов в системе ВДК-ТП.

Достоверность научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации:

Достоверность научных положений, выводов и рекомендаций подтверждается результатами аналитического описания с применением математического аппарата и моделирования в среде компьютерного программирования MATLAB системы ВДК в составе трансформаторной подстанции, а также экспериментального исследования на макете ВДК при работе на электрическую сеть, сопоставлением результатов физического и имитационного моделирования.

Научная новизна работы Лавренова А.С.:

1. На разработанной имитационной модели определены алгоритмы управления ИН для улучшения формы добавочного напряжения в системе ВДК-ТП.
2. Предложены способы регулирования переменного напряжения в системе ВДК-ТП с улучшенными энергетическими показателями.
3. Создана программно–аппаратная часть системы управления на основе предложенных алгоритмов и способов для ВДК–ТП.

Практическая ценность работы заключается в следующем:

1. Предложено техническое решение для построения ВДК-ТП стабилизирующего напряжение у потребителей через регулирование напряжения на высокой стороне подстанции.
2. Разработана имитационная модель ВДК-ТП.
3. В среде Matlab разработано программное обеспечение системы управления для микроконтроллера STM32F4.
4. Построен действующий макет ВДК-ТП.
5. Новизна технических решений подтверждается свидетельством на программу ЭВМ, патентом на изобретение и полезную модель.

Практическая и научная ценность подтверждается внедрением материалов диссертационной работы:

- 1) В части разработки и исследования вольтодобавочного каскада с многоуровневым регулированием напряжения для трансформаторной подстанции в учебный процесс для направления подготовки 11.04.04 "Электроника и наноэлектроника" Комсомольского-на-Амуре государственного университета.

2) В части использования результатов научно-исследовательских работ энергослужбой ПАО "Компания "Сухой" "КнААЗ им. Ю.А. Гагарина" при разработке конструктивных решений при проведении работ по повышению качества напряжения и снижения потерь электроэнергии в системе электроснабжения завода.

Апробация работы и публикации по теме диссертации.

Диссертационная работа имеет достаточно высокую степень апробации, результаты которой докладывались на ряде региональных и международных конференций. Работа выполнялась по договору в рамках граната молодежного научно-инновационного конкурса.

Материалы работы достаточно полно отражены в восьми опубликованных статьях, из которых 2 статьи в рецензируемых научных изданиях из перечня ВАК РФ, 1 патенте на изобретение, 1 патенте на полезную модель, а также 1 свидетельстве на программу для ЭВМ.

Форма изложения материала диссертации.

Представленная диссертация выполнена в соответствии с национальным стандартом по оформлению кандидатской диссертации и автореферата, а также нормативами, установленными ВАК РФ.

Текст диссертации по своей структуре соответствует научным работам. Список литературы, включающий ссылки на соответствующие источники оформлен в соответствии со стандартом, причем состав источников характеризует достаточно качественно проведенный анализ по данному научному направлению. Все заимствованные материалы обозначены ссылками на первоисточники. Работа обладает целостностью, содержит новые научные результаты и положения, что свидетельствует о личном вкладе автора диссертационной работы в науку.

Замечания по диссертационной работе:

По главе 1:

1. При проведении анализа способов и устройств регулирования напряжения для устройств с подмагничиванием магнитопровода автор приводит значе-

ние коэффициента полезного действия (КПД) равное от 0,8 до 0,95, однако нет пояснений, с чем связан такой значительный разброс этого показателя, кроме этого коэффициент со значением 0,95 в работе отнесен к критерию «низкий», однако это обстоятельство выглядит необоснованным. Сравнительная оценка по данному показателю для аналогичных устройств регулирования и стабилизации напряжения в работе не представлена.

По главе 2:

2. Раздел главы, где приводится «Теоретическое обоснование и описание принципов формирования многоуровневого напряжения» корректнее было бы отнести к первой главе с названием «Анализ существующих способов формирования многоуровневого напряжения». А вторую главу посвятить разработке способов регулирования напряжения вольтодобавочным каскадом (ВДК) с учётом структурных особенностей схемы ВДК.

По главе 3:

3. В работе (стр.58) автор предлагает применять для получения импульсов управления при ШИМ-регулировании трёхфазный сигнал специальной формы, при суммировании синусоиды с прямоугольным сигналом совпадающих частот, однако не совсем ясно для какой цели рассматривается данный способ, ведь автором в начале работы указывается, что будет выбран 150-градусный алгоритм управления, как наиболее близко аппроксимирующий синусоидальный сигнал напряжения. В работе отсутствует упоминание о данном способе управления применительно к ВДК.

4. Из работы не ясно представленные значения коэффициента несинусоидальности напряжения (K_n) в процессе стабилизации напряжения на нагрузке (рис. 73) получены для режима вольтодобавки или вольтовывчета?

5. Для большей наглядности следовало бы привести внешнюю характеристику, изображённую на рис. 75 без действия устройства и с устройством.

6. Автор оставляет без объяснений ступенчатый характер изменения амплитуды добавочного напряжения ВДК при исследовании динамических процессов, что ставит под сомнение "абсолютную" линейность регулировочной характеристики представленной на рис. 74.

7. Согласно структурной схемы для функционирования ВДК необходим дополнительный источник постоянного напряжения, причем в диссертации не рассмотрен вопрос потребляемой мощности инверторами напряжения и не ясно хватит ли мощности источника для работы ВДК, поэтому этот вопрос не достаточно проработан.

По главе 4:

8. В выводах присутствует пункт результаты теоретического и экспериментального исследования согласуются с приемлемой точностью, однако непосредственно самой величины численной оценки в работе не представлено.

9. Утверждение на стр. 90 о том, что практически отсутствуют искажения тока в нагрузке не совсем обоснованы, вследствие отсутствия данных оценки коэффициента искажения тока нагрузки в процессе регулирования напряжения.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Указанные недостатки не носят принципиального характера и не снижают высокого качества диссертационного исследования. В работе приведены научные результаты, позволяющие ее квалифицировать как разработку научно обоснованных технических решений, внедрение которых вносит значительный вклад в решение важнейших задач по повышению качества электроэнергии промышленных предприятий. Новые научные результаты, полученные диссертантом, имеют существенное значение для развития отрасли знаний в области регулирования и стабилизации напряжения систем электроснабжения.

Основные результаты диссертации опубликованы в 8 научных статьях, в том числе 2 рецензируемых научных изданиях и обсуждены на научно-технических конференциях.

Диссертационная работа по степени проработанности характеризует соискателя как вполне сложившегося исследователя, умеющего самостоятельно ставить и решать сложные технические задачи.

Таким образом, диссертация А.С. Лавренова является законченной научно-квалификационной работой и по своей актуальности, научной новизне, практической ценности отвечает требованиям действующего п.9 "Положения о порядке присуждения ученых степеней", утвержденного ВАК РФ, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а её автор заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.09.03 – «Электротехнические комплексы и системы».

Официальный оппонент Константинов Андрей Михайлович, гражданин РФ, кандидат технических наук, доцент кафедры «Системы электроснабжения» федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Дальневосточный государственный университет путей сообщения»

«03» июня 2018 г.

/ Константинов Андрей Михайлович

Почтовый адрес: 680021, г. Хабаровск, ул. Серышева, дом 47

Электронная почта: ens@festu.khv.ru

Контактный телефон: 8 (4212) 407-559

Подпись к.т.н., доцента кафедры «Системы электроснабжения» Константинова
Андрея Михайловича Заверяю.

Начальник отдела кадров ДВГУПС

/ Рудиченко С.В.