

ОТЗЫВ

официального оппонента

кандидата технических наук, доцента **Семенова Валерия Дмитриевича**
на диссертационную работу **Горбунова Романа Леонидовича**
на тему **«Импульсный преобразователь переменного напряжения с
улучшенными энергетическими показателями»**, представленную на
соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности
05.09.12 – Силовая электроника

Актуальность темы

Устройства преобразования переменного напряжения широко используются во многих электротехнических системах, выполняя функции стабилизации напряжения потребителей электрической энергии и управления различными технологическими объектами. Важную роль такие преобразователи напряжения играют в электроприводе переменного тока, решая задачи повышения энергетической эффективности привода за счет управления режимами работы двигателей применяемых для автоматизации технологических процессов. Используемые сегодня тиристорные регуляторы напряжения вносят существенные гармонические искажения в питающую сеть и создают проблемы электромагнитной совместимости оборудования. Поэтому диссертационная работа Горбунова Р.Л., направленная на создание простого и технологичного устройства преобразования переменного напряжения с улучшенными энергетическими показателями, включая показатели электромагнитной совместимости, несомненно актуальна.

Содержание диссертации и оценка ее завершенности

Диссертация состоит из введения, трех глав, заключения, списка литературы и двух приложений. Основная часть работы изложена на 235 страницах, включает 113 рисунков и 30 таблиц.

Во введении обоснована актуальность темы диссертации, представлена степень ее разработанности, обобщены основные научные результаты и выносимые на защиту положения, отмечена теоретическая и практическая значимость работы, приведены сведения о реализации выводов и рекомендаций, кратко изложена структура диссертации.

В первой главе «Аналитический обзор преобразователей переменного напряжения» сформулированы требования, предъявляемые к устройствам преобразования переменного напряжения, как в асинхронном электроприводе (ЭП), так и в системах генерирования электрической энергии (СГЭЭ) автономных передвижных объектов, выполнен аналитический обзор существующих решений в этих областях. Сформулированы цель и задачи работы.

Во второй главе «Математическое моделирование и анализ энергетических показателей импульсного понижающего ППН» изложены результаты структурного анализа и систематизации силовых схем вентильных блоков. Предложена новая схема ППН, обладающая новыми полезными свойствами. Описаны математические модели, использованные в исследовании. Приведены результаты математического моделирования и анализа энергетических показателей импульсного понижающего ППН, позволившие оптимизировать энергетические показатели всей системы. Приведены результаты сравнительного анализа основных энергетических показателей импульсного понижающего ППН с тиристорным устройством-аналогом и с трехфазным автономным инвертором напряжения, которые доказывают преимущества предлагаемого решения в обозначенной области. Рассмотрены вопросы проектирования силовой схемы. Разработан алгоритм управления преобразователем в режиме циклоконвертирования для квазичастотного управления асинхронным двигателем и предложена схема управления для его реализации.

В третьей главе «Экспериментальное исследование импульсного понижающего ППН» поставлена цель и сформулированы задачи экспериментального исследования. Приведено описание экспериментальной установки, включающей исследуемый преобразователь напряжения с микропроцессорной системой управления, асинхронный двигатель с нагрузочным устройством в виде генератора постоянного тока, измерительное оборудование. Корректно оговорены условия проведения

эксперимента, обработки результатов и элементы его автоматизации. Представлены и проанализированы результаты экспериментальных исследований, которые подтвердили адекватность моделей и достижение поставленной цели.

В заключении изложены итоги исследования, рекомендации и перспективы дальнейшей разработки темы.

В приложении приведена программа расчета параметров фильтров и акты внедрения результатов исследования.

Диссертация в целом является завершенной работой и логично структурирована по главам. Автореферат диссертации полностью отражает основные результаты работы.

Степень новизны, достоверности и апробация результатов

Представленные в работе научные результаты и технические решения обладают новизной и полезны на практике. К основным научным результатам относятся:

1. Создано и запатентовано **устройство** плавного пуска АД, в основе которого лежит новая силовая схема импульсного понижающего преобразователя с коммутацией тока в общей (нулевой) точке нагрузки и с отдельными параллельными ключами в каждой фазе, характеризующаяся малым количеством управляемых приборов (четыре транзистора) и в 1,7 раз меньшей амплитудой напряжения на «параллельных» ключах.
2. Разработана **математическая модель** ВБ импульсного понижающего преобразователя для анализа вносимых им гармонических искажений и расчета стандартных показателей искажений, основанная на эквивалентном представлении ВБ в виде двух условно независимых управляемых источников несинусоидального напряжения и тока. Расхождения результатов расчета для коэффициентов искажений входного тока ВБ преобразователя с результатами проведенного эксперимента не превышают 4,4 % (группа гармоник $k=1$) и 9,1 % (группа гармоник $k=2$).

3. Установлены и исследованы **зависимости** полной мощности и энергетических коэффициентов ППН от параметров входного и выходного LC-фильтров, на основе которых разработаны **программа и методика** проектирования фильтров с обеспечением высокого (до 0,99) коэффициента мощности ППН и заданных показателей гармонических искажений в рабочем диапазоне регулирования напряжения и изменения нагрузки.

4. Разработан **алгоритм** управления преобразователем, в котором вектор выходного напряжения формируется посредством периодического импульсного подключения одновременно всех фаз выходной цепи преобразователя к источнику питающего напряжения, позволяющий переводить преобразователь в режим циклоконвертирования для квазичастотного управления АД.

Достоверность результатов не вызывает сомнений и подтверждается соответствием теории электротехники и электроники, согласованностью с результатами экспериментов, а также положительными решениями патентных экспертиз.

Результаты исследования апробированы на научных семинарах: кафедры электроники и электротехники НГТУ (г. Новосибирск); кафедры электропривода и автоматизации промышленных установок УрФУ (г. Екатеринбург); кафедры промышленной электроники МЭИ (г. Москва); кафедры промышленной электроники ТУСУР (г. Томск); кафедры промышленной и медицинской электроники и кафедры электропривода и электрооборудования ТПУ (г. Томск), а также на многих конференциях.

Реализация результатов работы

В соответствии с официальным заключением ОА «УЭХК» (г. Новоуральск) созданный макет импульсного ППН мощностью 4 кВА имеет необходимые для применения в промышленных электроустановках энергетические показатели. Рекомендовано проработать вопрос о его производстве и внедрении.

Предложенные в диссертационной работе методика расчёта для входного фильтра импульсного преобразователя переменного напряжения и методика расчёта энергетической эффективности силовых схем использованы ЗАО «ЭРАСИБ» (г. Новосибирск) при проведении работ по проектированию высоковольтных преобразователей напряжения.

Результаты диссертационной работы внедрены в учебный процесс на факультете радиотехники и электроники НГТУ (г. Новосибирск). Они используются при проведении лекционных и практических занятий по дисциплинам «Электромагнитная совместимость устройств силовой электроники», «Энергетическая электроника» и «Системы вторичного электропитания». Кроме того результаты работы используются в учебном процессе на кафедре промышленной и медицинской электроники ИНК ТПУ (г. Томск) при проведении лекционных и практических занятий по дисциплине «Энергетическая электроника». Макет ППН используется в НТИ НИЯУ МИФИ (г. Новоуральск) в учебном процессе на кафедре промышленной электроники при проведении демонстрационных лабораторных работ по курсам «Основы преобразовательной техники», «Энергетическая электроника», «Электрические машины», а также УИР студентов.

Замечания

1. Предложенная новая силовая схема импульсного ППН представлена очень «ненаглядно». Без прочтения поясняющего материала затруднительно разобраться в подключении нагрузки, в схемах ключей и в типе снабберной цепи.

2. Разработанная модель вентильного блока для анализа гармонических искажений должна быть представлена в виде двух взаимосвязанных моделей: модели с управляемым источником напряжения и модели с управляемым источником тока, связи между которыми автору удалось «условно» разорвать.

3. В диссертации разработаны инструменты, позволяющие выбирать оптимальную частоту коммутации по критерию баланса статических и динамических потерь мощности или по заданным показателям гармонических искажений, но не рассмотрена зависимость массо-габаритных показателей конструкции от частоты коммутации.

4. Анализ электромагнитных процессов выполнен без учёта влияния межкоммутационных пауз («мертвого» времени). Для выбранной частоты коммутации 7,8 кГц это допустимо, но при больших частотах такое допущение может снизить точность моделей и установленных зависимостей.

5. Снабберная цепь использована для ограничения перенапряжений на ключах во время коммутации. Однако не рассмотрена возможность снижения коммутационных потерь в ключах с помощью цепей формирующих траекторию переключения.

6. В работе отмечается, что потери мощности в пассивной снабберной цепи могут составлять 33 % от суммарных потерь мощности. В этом конкретном случае целесообразно рассмотреть активные формирующие цепи с рекуперацией энергии в сеть или в нагрузку, но в работе проанализированы только пассивные цепи.

Указанные замечания не считаются принципиальными и носят рекомендательный характер.

Заключение

Диссертация Горбунова Р.Л. является законченной научно-исследовательской работой, в которой достигнута намеченная цель и решены поставленные задачи. Основные результаты диссертационной работы достаточно полно отражены в опубликованных автором статьях, апробированы и внедрены. Содержание диссертационной работы соответствует научной специальности 05.09.12 – «Силовая электроника».

Судя по диссертации, соискатель обладает высокой научной квалификацией. Личный вклад автора в работу не вызывает сомнений.

Считаю, что диссертационная работа Горбунова Р.Л. на тему: «Импульсный преобразователь переменного напряжения с улучшенными энергетическими показателями» полностью удовлетворяет требованиям, предъявляемым Высшей аттестационной комиссией при Министерстве образования и науки Российской Федерации к кандидатским диссертациям, а ее автор Горбунов Р.Л. заслуживает присвоения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.09.12 – Силовая электроника.

Официальный оппонент,
кандидат технических наук, доцент,
профессор кафедры «Промышленная электроника»
федерального государственного бюджетного
образовательного учреждения высшего образования
«Томский университет систем управления и
радиоэлектроники», E-mail: svd@ie.tusur.ru,
тел.: +7 (3822) 41 46 31

Семенов
Валерий Дмитриевич

« 30 » ноября 2016 г.

Подпись профессора Семенова В.Д. удостоверено
Ученый секретарь Томского
университета систем управления
и радиоэлектроники (ТУСУР)
« 06 » декабря 2016 г.



Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования «Томский государственный университет систем
управления и радиоэлектроники», кафедра промышленной электроники.

634050, г. Томск, пр. Ленина, 40

Телефон организации: (3822) 51-05-30

Факс организации: (3822) 51-32-62, (3822) 52-63-65

Адрес электронной почты: office@tusur.ru

Адрес сайта организации: <https://tusur.ru/>