

ОТЗЫВ

официального оппонента

кандидата технических наук Пудковой Тамары Валерьевны

на диссертацию Коровина Александра Владимировича на тему:

«Анализ и синтез автономной трехфазной системы электропитания
с управлением кватернионом напряжений»,

представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук
по специальности 05.09.03 – Электротехнические комплексы и системы

Актуальность темы диссертационной работы

На современном этапе развития электроэнергетики, как в РФ, так и за рубежом, все большее распространение на практике получают возобновляемые энергетические ресурсы, в число которых входят солнечная радиация, энергия ветра, геотермальное тепло и т. д. Такие альтернативные источники электроэнергии находят применение как в качестве регенеративных источников питания автономных потребителей, так и в качестве составной части централизованной системы электроснабжения. В этом случае для формирования трехфазной симметричной системы напряжений, соответствующей нормативным показателям ГОСТ 32144–2013, используется силовой трехфазный мостовой инвертор со средней точкой конденсаторной батареи или четвертой стойкой.

Несмотря на широкое разнообразие способов управления данным типом полупроводникового устройства, их техническая реализация сопряжена с необходимостью применения высокопроизводительных микропроцессорных устройств, осуществляющих большой объем вычислений, основанных на точных текущих сведениях о параметрах, которые существенно изменяются в процессе эксплуатации. Для исключения указанных выше недостатков в диссертационной работе Коровина А.В. предложено применение четырехмерного гиперкомплексного пространства, в рамках которого организуется гибкое управление распределенной системой генерации без каких-либо ограничений по конфигурации, количеству фаз и конкретному виду нагрузок, в том числе однофазных и нелинейных. Таким образом, представленная к оппонированию диссертация обладает научной новизной, раскрываемой в научных положениях, и является актуальной в рамках специальности 05.09.03 – Электротехнические комплексы и системы.

Степень обоснованности и достоверности научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации, их новизна

Достоверность и обоснованность полученных в ходе диссертационного исследования научно-практических результатов подтверждается корректным применением математического аппарата алгебры кватернионов, методами анализа и синтеза теории автоматического управления, законами электротехники и цифровым моделированием в программной среде «MATLAB-Simulink».

Экспериментальная апробация предложенных технических решений осуществлялась с помощью специализированной установки, состоящей из автономного инвертора напряжения с четвертой стойкой и цифровым управлением, реализованным на базе микроконтроллера типа ST32F746BGA, силового LC-фильтра и комплекта нагрузок суммарной мощностью 6 кВт. Измерение и фиксация трехфазных величин осуществлялась при помощи датчиков тока LEM, делителей напряжения на операционных усилителях, многоканального измерительного комплекса «Genesis Gen7T», а также осциллографа «Tektronix TBS1154».

Научная новизна предложенного в работе алгоритмического принципа организации и структурной концепции построения структуры закона управления быстродействующих автономных систем электропитания заключается в использовании четырехмерного гиперкомплексного пространства, благодаря которому появляется дополнительный канал компенсации высокочастотных составляющих в гармоническом составе кватерниона трехфазных напряжений, вызванных асимметрией и искажениями в мгновенной форме сигналов. Работоспособность и эффективность разработанной инженерной методики синтеза, в рамках которых достигается нормированное качество генерируемой электрической энергии переменного тока и желаемое быстродействие, подтверждено экспериментальными осциллограммами.

Научные результаты, их ценность

В диссертации Коровина А.В. получены следующие основные результаты, которые обладают научной новизной и ценностью:

- ✓ расчетные соотношения для преобразования трехфазных токов и напряжений в стационарную α, β, o и вращающуюся d, q, o системы координат с использованием четырехмерного ортонормированного базиса из одной вещественной и трех мнимых единиц, как в общем виде, так и при дополнительном ограничении на величину нормы гиперкомплексного числа;

- ✓ новый способ разделения несинусоидальных трехфазных напряжений на симметричную гармоническую составляющую прямой последовательности фаз и все оставшиеся компоненты, вызванные асимметрией и наличием высокочастотных гармоник, который основывается на предварительном расчете специального кватерниона произведения;
- ✓ алгоритмы управления силовым преобразователем в составе автономной системы электропитания, осуществляющие компенсацию отклонений от симметричного гармонического закона генерируемых напряжений по координатам состояния d, q, o .

Выносимые на защиту Коровиным А.В. научные положения можно рассматривать как методическую основу для построения и технической реализации высококачественных распределённых систем генерации электрической энергии. Ценность полученных результатов подтверждается соответствующими актами внедрения в процесс проектирования автономных систем энергоснабжения в ООО «Энергозапас» г. Новосибирск, при разработке цифровой системы управления электрогенерирующем модулем в ПАО «НПО Алмаз» г. Москва, а также в учебном процессе Новосибирского государственного технического университета.

Теоретическая и практическая значимость работы

К основным теоретическими и практическими положениями, выносимыми автором на защиту, относятся:

1. Новая структурно-параметрическая концепция построения и организации быстродействующей распределенной системы генерации электрической энергии нормированного качества для потребителей произвольного вида.
2. Расчетные формулы для определения специального кватерниона произведения в случае отклонений трехфазных напряжений на выходе LC-фильтра от заданных значений, как по амплитуде, так и по угловому сдвигу.
3. Инженерная методика структурно-параметрического синтеза алгоритмов управления автономной системой электропитания, обеспечивающая малое время восстановления управляемых переменных в режимах скачкообразного изменения токов нагрузки.
4. Технические решения при проектировании экспериментальной установки, объединяющие в себе достоинства традиционных методов управления устройствами силовой электроники с новым подходом, основанном на гиперкомплексном представлении трехфазных переменных.

По теме диссертационного исследования опубликовано 3 печатных работы, из которых 2 входят в перечень ведущих рецензируемых журналов и

изданий, определенных Высшей аттестационной комиссией, а одна в международных базах данных и цитирования «Scopus» и «Web of Science».

Замечания и вопросы по работе

1. В рукописи присутствует ряд незначительных опечаток и неточностей, таких как несогласованные окончания в предложениях, повтор одного и того же текста на странице 27, некорректное обозначение интервалов и т. д.

2. В работе не выполнено количественное сравнение по быстродействию предложенного алгоритма применительно к существующим аналогам, например, классическим ПИ-регулятору с дополнением резонансной или дифференцирующей составляющей.

3. В диссертации указано, что предложенная структура обеспечивает работоспособность при подключении к централизованной системе электроснабжения, однако данный режим нигде не описан.

4. В векторно-матричной модели распределенной системы генерации, представленной в главе 2, не выполнен учет пульсационной составляющей из-за наличия на входе неуправляемого выпрямителя и динамического изменения напряжения звена постоянного тока в режимах резкого изменения тока нагрузки.

5. В диссертации не представлена методика расчета параметров пассивного LC-фильтра на выходе четырехпроводного мостового инвертора, а также не проанализированы другие виды топологий силовой цепи данного пассивного корректирующего устройства.

6. В структурной схеме на рисунке 3.2 отсутствует компенсация перекрестных связей между каналами управления в d и q осях, которая может приводить к статической ошибке по выходу.

7. На странице 49 формула произведения двух кватернионов справедлива только в частном случае при отсутствии скалярной составляющей.

Заключение по диссертации

Указанные замечания не снижают научной и практической значимости работы, носят рекомендательный характер и не влияют на общую положительную оценку работы.

Считаю, что диссертация Коровина А.В. с точки зрения своей актуальности, степени научной новизны и практической значимости, а также уровню и целостности полученных результатов, представляет собой законченную научно-исследовательскую работу, выполненную на высоком профессиональном уровне, которая удовлетворяет квалификационным требованиям п. 9–17 «Положения о присуждении ученых степеней» Высшей аттестационной ко-

миссии РФ, а ее автор Коровин Александр Владимирович заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.09.03 – Электротехнические комплексы и системы.

Официальный оппонент:
ассистент кафедры Общей электротехники
федерального государственного бюджетного
образовательного учреждения высшего образования
«Санкт-Петербургский горный университет»,
кандидат технических наук по специальности
05.09.03 – Электротехнические комплексы и системы

Пудкова Тамара Валерьевна

«12» 08 2022 г.

Адрес: 199106, Санкт-Петербург, Васильевский остров, 21 линия, д. 2
Тел. : +7 (812)382 04 62

отзыв получен 30.08.2022 г. / Пудкова ТА

С отзывом ознакомлен [подпись] - Шубович А.В.
31.08.22