

ОТЗЫВ

официального оппонента

доктора технических наук, профессора Шклярского Ярослава Элиевича
на диссертацию Александрова Ивана Викторовича на тему
«Система электроснабжения с активным силовым фильтром
при пофазном управлении токами», представленную на соискание
ученой степени кандидата технических наук по специальности
2.4.2 – Электротехнические комплексы и системы

1 Актуальность темы исследования

В настоящее время одним из перспективных путей развития отечественного электроэнергетического комплекса является направление, связанное с производством электроэнергии на основе преобразования энергии ветра или солнечной радиации. Практическое применение данного класса систем генерации, получивших название распределённых, с возможностью их последующего встраивания в централизованные сети общего назначения, позволит существенно понизить суммарное количество выбросов продуктов сгорания органического топлива и значительно повысить эффективность и надежность процессов электропитания конечных потребителей, что особенно важно в случае их автономной конфигурации.

Для согласования уровней номинальных напряжений и рода тока регенеративных источников с параметрами разнообразных нагрузок в составе распределённых систем применяются устройства силовой электроники, при конкретном выборе которых необходимо учитывать широкий спектр различных внутренних и внешних возмущающих факторов, нестационарность, интервальную неопределенность параметров и т. д., включая имеющие место ограничения на статические и динамические характеристики в малой окрестности рабочей точки линеаризации. Помимо этого, полупроводниковые преобразователи на полностью управляемых ключах также могут осуществлять активную фильтрацию высших гармоник, исключая, таким образом, добавочные потери и обеспечивая стабильное функционирование энергосистемы за счет демпфирования собственных колебаний и резонансных явлений.

На основании вышеизложенного тема диссертационного исследования Александрова И. В., посвященная решению задачи синтеза быстродействующего закона управления активным силовым фильтром с желаемой величиной выходного импеданса звена постоянного тока и пофазной компенсацией неактивных составляющих мощности, вызванных искажениями в мгновенной форме трехфазных напряжений и амплитудно-фазовой несимметрией, который реализуется на базе программно-аппаратных средств с пониженными требованиями по производительности, является актуальной.

2 Степень обоснованности и достоверность научных положений, выводов и рекомендаций диссертационной работы

Степень обоснованности и достоверность научных положений, выводов и рекомендаций подтверждается корректным выбором методов анализа и синтеза линейных систем в рамках классической теории автоматического управления и использованием на начальном этапе общепринятых допущений, а также верификацией теоретических результатов диссертации моделированием и экспериментом с использованием типовых программных продуктов и малоразмерного макета распределённой системы электроснабжения.

3 Научная новизна работы

В число основных результатов диссертационной работы, обладающих научной новизной, входят:

1. Многомерная математическая модель активного силового фильтра в пространстве состояний, позволяющая установить количественную связь частотных характеристик полупроводникового преобразователя с параметрами его силовой схемы при поканальном автоматическом регулировании трехфазных токов;

2. Результаты анализа характеристик активного силового фильтра с пассивной LC -корректирующей цепью на выходе в частотной области, как объекта управления в разомкнутом состоянии, полученные для различных рабочих точек трехфазной распределенной системы;

3. Аналитические выражения, связывающие между собой выходной импеданс шины постоянного тока четырехпроводной системы электропитания с коэффициентами передачи регуляторов двухконтурной САУ в исходном $a-b-c$ координатном базисе и методика структурно-параметрического синтеза системы управления активным силовым фильтром;

4. Упрощенный закон пофазной компенсации неактивных составляющих мощности нелинейной нагрузки и его модификация, не требующая наличия датчиков сетевого напряжения.

4 Практическая значимость диссертационного исследования

К результатам диссертации, имеющих практическую значимость, относятся:

1. Линеаризованная математическая модель активного силового фильтра для определения положения нулей и полюсов передаточных функций по управляющему и возмущающему воздействию в исходной $a-b-c$ системе координат, которая выступает в качестве основы инженерной методики синтеза цифровых регуляторов;

2. Полнофункциональный маломасштабный макет трехфазной четырехпроводной системы переменного тока с активным силовым фильтром, применяемый для практической валидации результатов диссертационной работы;

3. Программные модули для вычисления текущей оценки активной и реактивной мощности в каждой из фаз системы электроснабжения, которые могут быть встроены в стандартное программное обеспечение микропроцессорных систем управления силовых двунаправленных преобразователей;

При этом часть результатов диссертации использовалась при выполнении проектов с грантовой поддержкой Президента РФ и Фонда содействия инновациям, в учебном процессе Новосибирского государственного технического университета, а также в производственном процессе АО «ПО «Север», что подтверждается соответствующими актами, приведенными в приложении.

5 Объем и содержание диссертационной работы

Пояснительная записка объемом 174 страницы содержит введение, пять глав основного текста, заключение, список литературы из 111 наименований и два приложения.

Во введении обоснована актуальность и степень проработанности выбранной тематики научного исследования, сформулированы цель и задачи диссертации. В первой главе изложены основные структурные принципы построения распределенных систем с активными силовыми фильтрами, рассмотрены критерии их устойчивости и показатели качества электрической энергии. Во второй и третьей части описаны векторно-матричные модели объекта в пространстве состояния и методика структурно-параметрического синтеза регуляторов активного силового фильтра, осуществляющего компенсацию неактивной мощности с одновременной стабилизацией напряжения звена постоянного тока, настроенного на желаемый уровень выходного импеданса. В четвертой главе представлены графики переходных процессов по управляемым переменным, полученные методом моделирования, а в пятом разделе приведены экспериментальные данные, подтверждающие эффективность предложенных технических решений и научных положений, выносимых на защиту.

Структура и оформление диссертации и автореферата, которые в достаточной мере отражают содержание проделанного исследования, соответствует ГОСТ Р 7.0.11-2011.

6 Публикации и апробация работы

По результатам диссертации опубликовано 14-ть печатных работ, включая 2-а патента на полезную модель и одно свидетельство о регистрации программы для ЭВМ, из которых 3-и входят в список рецензируемых научных изданий из пе-

речня ВАК, 5-ть в журналы и труды конференций, индексируемых в Scopus и Web of Science и 3-и представлены в трудах всероссийских конференций.

Апробация работы также включала в себя участие в научных семинарах и выставках различного уровня.

7 Замечания по диссертационному исследованию

По диссертации имеются следующие замечания:

1. В пояснительной записке присутствует ряд неточностей и ошибок. Так, например, в главе 2 и 3 обозначения отклонений фазных токов на выходе активного силового фильтра и сигналов их задания отличаются друг от друга, в тексте отсутствует описание процесса выработки сигналов $v_{(a)}$, $v_{(b)}$, $v_{(c)}$, изображенных на рисунках 4.4 – 4.5, термин «кондиционирование» требует дополнительного пояснения и т. д.

2. Разработанная методика структурно-параметрического синтеза регуляторов базируется на предположении о симметрии питающих трехфазных напряжений, в тоже время в реальных распределенных системах данное требование довольно часто не выполняется, в связи с чем неясно, применим ли предложенный подход при несоблюдении данного допущения.

3. В системе уравнений (2.15) алгебраический вектор выхода u включает в себя 4-ую переменную $u_{зпт}$, которая не является координатой состояния.

4. В диссертации не произведена оценка влияния на качество регулирования двухконтурной САУ конкретного выбора интервально-определенной величины фазового сдвига при расчете соответствующего регулятора.

5. В работе не приведены количественные значения ошибки при оценке трехфазных напряжений источника в случае изменения их амплитуды, частоты и фазового сдвига в соответствии с ГОСТ 32144-2013 и ГОСТ Р 56124.2– 2014.

6. Трехфазный источник питания в диссертации называется как трехфазный генератор, так и трехфазная электрическая сеть. Означает ли это, что предложенные алгоритмы работоспособны при подключении к централизованной системе электроснабжения?

Указанные замечания являются не принципиальными и носят рекомендательный характер.

Заключение

С учетом вышеизложенного считаю, что диссертация Александрова Ивана Викторовича на тему «Система электроснабжения с активным силовым фильтром при пофазном управлении токами» является законченной научно-квалификационной работой, содержащей новое решение актуальной научно-

прикладной задачи: повышение эффективности работы систем электроснабжения с активными силовыми фильтрами.

Результаты работы обладают научной новизной и практической значимостью, в достаточной степени опубликованы и прошли практическую апробацию. Диссертация соответствует требованиям, предъявляемым п. 9-14 «Положения о присуждении ученых степеней», а ее автор Александров Иван Викторович заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.4.2 – Электротехнические комплексы и системы.

Официальный оппонент,
доктор технических наук, профессор,
Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение
высшего образования
«Санкт-Петербургский горный университет
императрицы Екатерины II », кафедра общей
электротехники,
заведующий кафедрой

Шклярский Ярослав Элиевич

« 24 » ноября 2023 г.

Адрес: 199105, Россия, г. Санкт-Петербург, линия 21-я В.О., дом 2.
Тел: +7-812-382-04-62
E-mail: Shklyarskiy_YaE@pers.spmi.ru

Подпись Шклярского Я. Э. заверяю:

Отзыв получен 1 декабря
2023г
Шклярский Я. Э.

С отзывом ознакомлен 5 декабря 2023г
Александров И.В.