

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по научной работе
ФГБОУ ВО «Национальный
исследовательский университет «МЭИ»
доктор технических наук, профессор

— Драгунов В.К.

11 декабря 2019 г.

ОТЗЫВ

ведущей организации Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский университет «МЭИ» на диссертацию **Петрова Андрея Александровича**, на тему **«Методы и средства повышения качества электроэнергии в системе метрополитена»**, представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.09.03 – «Электротехнические комплексы и системы»

Диссертационная работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Новосибирский государственный технический университет». Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения, библиографического списка из 128 источников и приложений. Работа изложена на 162 страницах машинописного текста, а также содержит 77 рисунков и 15 таблиц.

1. Актуальность темы диссертационной работы

Одной из наиболее значимых задач функционирования электротехнических комплексов является повышение качества

электроэнергии в сети. Основы решения данной задачи лежат в области управления потоками реактивной мощности и возникновения нелинейных искажений, которые появляются в результате функционирования активно-индуктивных нагрузок и полупроводниковых преобразователей. При этом исследования электромагнитной совместимости сложных технических систем с сетью электроснабжения позволяют выявить закономерности появления неактивных составляющих мощности и разработать системы, способные их компенсировать оптимальным образом.

Особую актуальность данные исследования имеют для систем тягового электроснабжения в силу того, что система электроснабжения городского электрического транспорта исторически является системой постоянного тока с использованием полупроводниковых выпрямителей большой мощности, которые вносят в сеть значительные нелинейные искажения из-за высших гармоник. При этом выбор средств улучшения качества электроэнергии всегда остается актуальной задачей, которая зависит от множества факторов, имеющих стохастический характер.

Получаемый эффект от энергосбережения становится ощутимым только при рациональном применении методов и средств повышения качества электроэнергии, в комплексе обеспечивающих стабильное и равномерное потребление электрической энергии. Процесс компенсации реактивной мощности и уменьшения нелинейных искажений способствует уменьшению полного тока нагрузки и активных потерь в системе электроснабжения.

В настоящее время в отечественной и зарубежной литературе недостаточно освещен вопрос применения активных и гибридных силовых фильтров для компенсации реактивной мощности и нелинейных искажений в сложных системах с неравномерной и несинусоидальной нагрузкой.

В соответствии с этим, анализ неактивных мощностей, возникающих на тяговых подстанциях электрического транспорта, обоснованный выбор методов и средств компенсации, исследование работы активного силового

фильтра с различными системами управления, оптимизация работы силовых фильтров являются актуальными вопросами в задачах повышения качества электроснабжения с научной и практической точек зрения.

2. Анализ содержания диссертационной работы

Во введении представлено обоснование актуальности темы исследования, сформулированы цели и задачи исследования, приведены основные положения диссертации, выносимые на защиту. Также сформулированы положения о научной новизне и практической значимости работы, описаны методы исследований.

В первой главе рассматриваются современные представления о способах расчета мощности в трехфазных системах. На основе анализа известных теорий мгновенных мощностей, сделаны выводы о преимуществах и недостатках их использования для расчетов токов компенсации активных силовых фильтров.

Вторая глава посвящена обзору и анализу существующих методов и средств повышения коэффициента мощности тяговых подстанций. Рассмотрены негативные эффекты влияния на сеть реактивной мощности и нелинейных искажений. Проведен сравнительный анализ различных устройств, позволяющий выявить наиболее эффективные средства компенсации реактивной мощности.

В третьей главе проведено детальное исследование показателей качества электроэнергии на тяговой подстанции метрополитена. Основной задачей статистического анализа является установление гистограммы плотности и функции распределения $\cos\varphi$ и ТНД. Полученные результаты позволяют моделировать работу выбранных устройств коррекции тока нагрузки, производить их расчёт.

В четвертой главе описан процесс проектирования и разработки активного силового фильтра. Выполнены расчеты основных элементов

фильтра, проведено математическое имитационное моделирование активного фильтра. Автором создана физическая модель, имитирующая нагрузку тяговой подстанции метрополитена. На этой основе описана стратегия управления устройством коррекции, создана экспериментальная установка активного силового фильтра. Приведены результаты испытаний установки, позволяющие сделать вывод о сходимости расчетных данных с результатами математического моделирования и физического эксперимента.

В пятой главе диссертационной работы показано, что для компенсации реактивной мощности и уменьшения нелинейных искажений в системе электроснабжения метрополитена наибольшую эффективность может дать гибридная силовая установка, состоящая из активного и пассивного фильтров. Рассмотрены вопросы взаимодействия устройств, локализации на подстанции, распределены зоны работы при компенсации реактивной мощности. Решена многокритериальная задача оптимизации мощностей активной и пассивной частей гибридного силового фильтра. Разработана методика решения данного класса задач в различных системах электроснабжения. Показано, что стоимость гибридного фильтра на 40% меньше стоимости активного фильтра.

В заключении сформулированы основные научные и практические результаты работы.

В приложениях представлены принципиальная электрическая схема нагрузочной установки, блок-схема методики определения соотношения мощностей составных частей гибридного силового фильтра, а также акты внедрения результатов диссертации.

3. Научная новизна диссертационной работы

Наиболее существенными результатами диссертационного исследования, обладающими признаками научной новизны, являются:

1. Выполнен аналитический обзор теорий мгновенных мощностей с точки зрения их применения в основе систем управления активными силовыми фильтрами, обоснована перспективность и доказана состоятельность их применения для целей компенсации реактивной мощности и нелинейных искажений на подстанциях метрополитена.

2. Выявлены закономерности возникновения факторов, влияющих на коэффициент мощности тяговых подстанций метрополитена и методика измерения показателей качества электроэнергии на действующих подстанциях.

3. Предложено использовать гибридный силовой фильтр для компенсации реактивной мощности и уменьшения нелинейных искажений, разработана универсальная методика расчета оптимальных мощностей элементов фильтра.

4. Решена многокритериальная оптимизационная задача определения мощностей активной и пассивной частей гибридного силового фильтра для подстанции метрополитена с использованием разработанной методики.

4. Реализация и внедрение результатов работы

Результаты, полученные в диссертационной работе, используются для расчетов компенсации реактивной мощности и мощности искажений в МУП «Новосибирский метрополитен», а также МУП «НЭСКО» для подстанций МКП «ГЭТ» ГорЭлектроТранспорта города Новосибирска.

5. Соответствие диссертации и автореферата паспорту специальности и установленным критериям Положения о присуждении ученых степеней

Исследования, проводимые в рамках диссертационной работы, соответствуют области исследования, приведенной в паспорте специальности 05.09.03 – «Электротехнические комплексы и системы» в связи с тем, что в работе рассматриваются вопросы компенсации реактивной мощности и

уменьшения нелинейных искажений, а также исследуются такие электротехнические средства коррекции коэффициента мощности, как активные и гибридные силовые фильтры. В частности, следующие пункты паспорта специальности полностью соответствуют содержанию работы: п. 1 – «развитие общей теории электротехнических комплексов и систем, изучение системных свойств и связей, физическое, математическое, имитационное и компьютерное моделирование компонентов электротехнических комплексов и систем»; п. 3 – «разработка, структурный и параметрический синтез электротехнических комплексов и систем, их оптимизация, а также разработка алгоритмов эффективного управления»; п. 4 – «исследование работоспособности и качества функционирования электротехнических комплексов и систем в различных режимах, при разнообразных внешних воздействиях».

Диссертационная работа «Методы и средства повышения качества электроэнергии в системе метрополитена» соответствует п.9, п.10, п.11-14, «Положения о присуждении ученых степеней».

6. Соответствие содержания автореферата основным положениям диссертации

Содержание автореферата полностью соответствует содержанию диссертации и отражает основные результаты в процессе ее выполнения.

7. Научная и практическая значимость работы и рекомендации по использованию ее результатов

Научная значимость диссертационной работы заключается в разработке и исследовании методов и средств компенсации реактивной мощности и уменьшения нелинейных искажений. Результаты анализа, моделирования и практического применения теорий мгновенных мощностей в системах управления активными силовыми фильтрами можно использовать для развития общей теории расчета мощности в трехфазных системах.

В диссертационной работе значительное внимание уделено практическим аспектам построения активных силовых фильтров, а именно: представлены схемы измерения токов и напряжений, произведен сравнительный анализ различных конструкций и материалов магнитопровода выходного дросселя, проведены исследования оптимального охлаждения силовых полупроводниковых ключей, что в комплексе может быть использовано для расчета и построения силовых компенсирующих устройств на любых промышленных предприятиях, обладающих сложным характером нагрузки.

Научные и практические результаты диссертационного исследования можно рекомендовать к использованию научно-исследовательским центрам, проектным организациям занимающимися проблемами качества электроэнергии, а также предприятиям промышленности и электрического транспорта для повышения их коэффициента мощности.

8. Общие замечания по диссертации и автореферату

1. При рассмотрении суточного графика активной мощности тяговых подстанций г. Новосибирска (рис. 3.2) очевидно значительное различие между ними, особенно для подстанции СТП-9. Следовало пояснить такое расхождение.

2. Принципы работы и физические процессы в предлагаемом АСФ (глава 2) рассмотрены недостаточно подробно (принцип работы из рис.2.8 без пояснений неочевиден, величины на графике токов и напряжений рис. 2.12 не расшифрованы и не указаны на электрических схемах фильтров).

3. Не очень понятен процесс получения «10 млн. значений энергетических показателей на подстанции» - какова дискретность измерений или они измерялись непрерывно и затем обрабатывались?

4. При рассмотрении энергетических показателей фильтров не указана причина неучёта потерь в самом гибридном силовом фильтре.

5. В ходе анализа качества электроэнергии на подстанциях метрополитена (глава 3) выявлено, что мощность нелинейных искажений от высших гармоник, производимых тяговыми агрегатами, составляет порядка 30% от мощности основной гармоники. Неясно какой процент нелинейных искажений вносят не тяговые нагрузки?

6. По тексту диссертации можно отметить ряд грамматических и стилистических ошибок, неточности использования терминов.

Отмеченные недостатки не оказывают существенного влияния на оценку общего уровня диссертационной работы.

9. Заключение

Диссертационная работа Петрова Андрея Александровича «Методы и средства повышения качества электроэнергии в системе метрополитена» является законченным научным исследованием, выполненным самостоятельно с получением новых научных результатов, имеющих существенное значение для развития принципов построения систем компенсации реактивной мощности и нелинейных искажений.

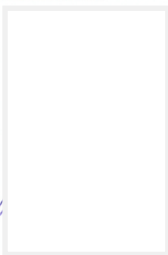
Диссертация выполнена на актуальную тему, обладает внутренним единством, основные положения достаточно полно отражены в публикациях в изданиях, рекомендованных ВАК РФ.

Диссертация, соответствует паспорту научной специальности 05.09.03 – Электротехнические комплексы и системы, а также требованиям Положения о присуждении ученых степеней, а ее автор, Петров Андрей Александрович заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук.

Диссертация и отзыв ведущей организации обсуждены на заседании кафедры «Электротехнических комплексов автономных объектов и электрического транспорта» в ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский университет «МЭИ», протокол № 16/19 от 10 декабря 2019 г.

Заведующий кафедрой

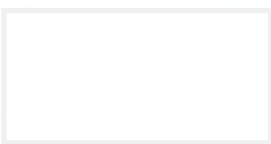
Электротехнических комплексов автономных объектов и электрического транспорта,
к.т.н., с.н.с.



Румянцев
Михаил Юрьевич

Профессор кафедры

Электротехнических комплексов автономных объектов и электрического транспорта,
к.т.н., доцент



Слепцов
Михаил Александрович

Сведения о ведущей организации: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Национальный исследовательский университет "МЭИ".

Адрес: 111250, Россия, г. Москва, Красноказарменная улица, дом 14

Телефон +7 495 362-75-60 (справочная), +7 495 362-70-01 (ректор)

Подписи Румянцева М.Ю. и Слепцова М.А.

Отзыв получен 10.01.2020

М.А. Дьяков

С отзывами ознакомлен. 17.01.2020

А.А. Писев