

Министерство науки и высшего образования
Российской Федерации
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ
БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ НАУКИ
ИНСТИТУТ СИСТЕМ ЭНЕРГЕТИКИ
им. Л.А. МЕЛЕНТЬЕВА
СИБИРСКОГО ОТДЕЛЕНИЯ
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК
(ИСЭМ СО РАН)



664033, Иркутск-33, ул. Лермонтова, 130

Тел. (395-2) 42-47-00

Факс (395-2) 42-67-96

E-mail: info@isem.irk.ru

от 01.09.2022 № 10910/01-18-02
на № 4240 от 15.07.2022

Ученому секретарю диссертационного со-
вета Д212.099.07
Евгении Юрьевне Сигзановой

660074, г. Красноярск,
ул. Киренского, д. 26,
Политехнический институт СФУ

УТВЕРЖДАЮ:
Директор ИСЭМ СО РАН
Стенников Валерий Алексеевич

«1» сентября 2022 г.
Печать организации

ОТЗЫВ

ведущей организации на диссертацию

Шандрыгина Дениса Александровича на тему «Совершенствование методов проектирования фильтрокомпенсирующих устройств для электроэнергетических систем с нелинейными резкопеременными нагрузками» по специальности 05.14.02 – «Электрические станции и электроэнергетические системы» на соискание ученой степени кандидата технических наук

Актуальность исследований. Количество и мощность потребителей электрической энергии с нелинейными характеристиками непрерывно возрастает. Анализ результатов измерений показателей качества электрической энергии показывает, что нарушения требований ГОСТ 32144-2013, устанавливающего нормативные значения показателей, имеют массовый характер в энергосистемах многих регионов страны. Большие значения показателей, характеризующих несинусоидальность напряжения, наблюдаются в сетях всех напряжений, питающих крупные нелинейные нагрузки, в том числе электрифицированную железную дорогу, алюминиевые заводы, металлургические предприятия. Несинусоидальные напряжения отрицательно влияют на эффективность функционирования электрооборудования, приводят к сокращению его

срока службы, и, как следствие, большому экономическому ущербу. Негативное влияние систем тягового электроснабжения на качество электрической энергии в электроэнергетических системах наблюдается в дефицитных энергосистемах с протяженными электрическими сетями и недостаточным количеством средств компенсации реактивной мощности. Однако задачи по обеспечению требуемых показателей качества электрической энергии в электрических сетях, питающих электрифицированную железную дорогу, в течение двух десятилетий, т.е. с 2003 года, когда был принят федеральный закон «Об электроэнергетике», практически не ставились и не решались.

Одним из основных технических средств снижения уровней искажений несинусоидальности напряжения в электрических сетях являются силовые пассивные фильтры. На основной частоте напряжения сети, соответствующей первой гармонике, они компенсируют реактивную мощность, а на частотах гармоник, на которые настроены, снижают уровень гармоник напряжения и корректируют частотные характеристики сопротивления сети для подавления резонансных режимов. В связи с этим тема диссертации Шандрыгина Дениса Александровича, в которой предложены методический подход к проектированию пассивных широкополосных демпфирующих фильтров и новые варианты устройств компенсации реактивной мощности, исследовано влияние мощности короткого замыкания внешней сети на частотные характеристики сопротивления системы тягового электроснабжения, является актуальной.

Цель и задачи исследований. Поставленная в работе цель – совершенствование методов проектирования фильтрокомпенсирующих устройств для электроэнергетических систем с нелинейными резкопеременными нагрузками, обеспечивающих электромагнитную совместимость нагрузок с системой электроснабжения, реализована в проведенных исследованиях и отражена в полученных результатах.

Структура и содержание работы. Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, заключения, библиографического списка и двух приложений. Текст диссертации изложен на 138 страницах, проиллюстрирован 71 рисунком и 62 таблицами, библиографический список содержит 104 наименования.

Во введении обоснована актуальность проблемы обеспечения электромагнитной совместимости в электроэнергетических системах с нелинейными резкопеременными нагрузками, представляющими собой электроподвижной состав, сформулированы цель и задачи исследования, научная новизна и практическая значимость представляемой работы, положения, выносимые на защиту.

В первой главе рассмотрены проблемы обеспечения электромагнитной совместимости электроподвижного состава с системой электроснабжения. Проведен анализ качества электрической энергии в системах тягового электроснабжения, исследованы проблемы электромагнитной совместимости системы внешнего электроснабжения и тяговой сети. Проведен анализ резонансных режимов в системе, включающей

тяговую сеть переменного тока и внешнюю сеть. Исследовано влияние мощности короткого замыкания системы внешнего электроснабжения на резонансные частоты тяговой сети. На основании проведенного анализа сформулированы требования к фильтрокомпенсирующим устройствам, обеспечивающим нормализацию качества электрической энергии в тяговой сети и в системе внешнего электроснабжения.

Вторая глава посвящена анализу существующих подходов к определению параметров применяемых в настоящее время узкополосных пассивных фильтров, настраиваемых для фильтрации одной, двух гармоник и широкополосных пассивных фильтров второго, третьего порядков и С-типа. Отмечены их недостатки, которые указывают на необходимость разработки более эффективных пассивных фильтров, обеспечивающих подавление широкого спектра гармоник, демпфирование резонансных режимов в электрической сети и низкий уровень потерь активной мощности на основной частоте. В качестве таких фильтров предложены пассивные фильтры третьего, четвертого и пятого порядков в форме четырехполюсников лестничной структуры. Увеличение порядка фильтров позволит увеличить спектр фильтруемых гармоник, обеспечить демпфирование резонансных режимов в электрической сети. Предложен методический подход для определения параметров пассивных фильтров лестничной структуры различных порядков, обеспечивающих фильтрацию гармоник и компенсацию резонансных режимов в тяговой сети и системе внешнего электроснабжения.

Основной результат второй главы – разработка методической процедуры расчета широкополосных пассивных фильтров произвольного порядка, обеспечивающих ослабление гармоник на токоприемнике электровоза и компенсирующих резонансные режимы в системе электроснабжения.

В третьей главе рассмотрены вопросы построения регулируемых компенсирующих устройств, осуществляющих ступенчатую или плавную компенсацию реактивной мощности в тяговой сети и обеспечивающих электромагнитную совместимость компенсирующего устройства с системой электроснабжения. Предложены новые варианты компенсирующих устройств, обеспечивающих ступенчатое или плавное регулирование напряжения в тяговой сети, фильтрацию гармоник и демпфирование резонансных режимов. Предложенные устройства на основе широкополосных фильтров третьего порядка исключают перенапряжения и провалы напряжения в тяговой сети при коммутациях элементов сети.

В четвертой главе предложен алгоритм проектирования пассивного фильтра лестничной структуры для системы тягового электроснабжения и методика расчета параметров элементов этого фильтра. Приведен пример применения алгоритма и методики для выбора пассивного широкополосного фильтра 3-го порядка для модели системы электроснабжения, представленной в первой главе. Для этой же модели был

выбран пассивный фильтр ООО НИИЭФА-ЭНЕРГО. Сравнение результатов расчетов суммарных коэффициентов гармоник с двумя вариантами фильтров для модели системы электроснабжения показало, что при применении пассивного фильтра лестничной структуры значения суммарного коэффициента гармоник напряжения как на токоприемнике электровоза в сети 27.5 кВ, так и в точке присоединения обмотки высокого напряжения тягового трансформатора к питающей сети 220 кВ меньше, чем при использовании пассивного фильтра ООО НИИЭФА-ЭНЕРГО. Полученные результаты подтверждают преимущества предлагаемых пассивных фильтров лестничной структуры при использовании их для снижения уровней напряжений гармоник в электрической сети.

В заключении сформулированы основные результаты диссертационной работы. Содержание автореферата соответствует содержанию диссертации.

Значимость для науки полученных результатов заключается в разработке методического подхода к расчету пассивных широкополосных фильтров произвольного порядка, основанного на оптимизации частотной характеристики фильтра в пространстве параметров реактивных элементов. С помощью предложенного подхода получены новые варианты пассивных широкополосных фильтров третьего, четвертого и пятого порядков, обеспечивающих уменьшение искажений напряжений в узлах сети и коррекцию ее частотных характеристик.

Новые научные результаты работы:

1. Исследовано влияние мощности короткого замыкания внешней сети на частотные характеристики полного сопротивления системы тягового электроснабжения. Показано, что уменьшение мощности короткого замыкания внешней сети ведет к смещению резонансных максимумов частотной характеристики в область низких частот и, как следствие, увеличению значений гармоник напряжения.

2. Алгоритм и методика расчета параметров пассивных широкополосных фильтров произвольного порядка лестничной структуры, обеспечивающих минимизацию суммарного коэффициента гармоник напряжения и демпфирование резонансных максимумов частотной характеристики полного сопротивления системы электроснабжения.

3. Новые варианты пассивных широкополосных фильтров третьего, четвертого и пятого порядков лестничной структуры, имеющих большую избирательность при фильтрации гармоник.

4. Новые варианты энергоэффективных устройств поперечной емкостной компенсации, осуществляющих плавное или ступенчатое регулирование реактивной мощности и обеспечивающих электромагнитную совместимость систем тягового и внешнего электроснабжения.

Значимость для производства полученных результатов состоит в том, что ис-

пользование предлагаемых компенсирующих устройств позволит повысить энергоэффективность систем электроснабжения с мощными нелинейными нагрузками за счет снижения потерь электроэнергии, увеличения срока службы электрооборудования, снижения негативного влияния нелинейных нагрузок потребителей на систему внешнего электроснабжения, улучшения качества электроэнергии в сетях других потребителей.

Результаты диссертационных исследований использованы в Красноярской дирекции по энергообеспечению – структурном подразделении Трансэнерго филиала ОАО «РЖД» при разработке мероприятий по повышению энергоэффективности и нормализации качества электрической энергии, что подтверждается соответствующим Актом.

Материалы диссертационной работы использованы в учебном процессе кафедры «Системы автоматики, автоматизированного управления и проектирования» Сибирского федерального университета при подготовке курсов лекций по дисциплинам «Электротехника и электроника» для бакалавров направления «Управление в технических системах» и «Структурно-параметрический синтез систем управления технологическими процессами» для магистрантов направления 27.04.04.03 «Автоматизация управления технологическими процессами в энергетике», о чем свидетельствует Акт внедрения в учебный процесс.

Рекомендации по использованию результатов и выводов диссертации. Предлагаемые пассивные широкополосные фильтры лестничной структуры целесообразно использовать в системах тягового электроснабжения, присоединенных к энергосистемам с малой мощностью короткого замыкания и недостаточным количеством средств компенсации реактивной мощности. Они могут также устанавливаться в сетях с другими видами мощных нелинейных нагрузок, например, с дуговыми сталеплавильными печами.

Разработанный методический подход проектирования пассивных широкополосных фильтров лестничной структуры можно рекомендовать для внедрения в организациях, занимающихся проектированием и производством фильтрокомпенсирующих устройств для электрических сетей.

Соответствие диссертации паспорту специальности. Работа соответствует паспорту специальности 05.14.02 – электрические станции и электроэнергетические системы в части формулы специальности: «исследования по развитию и совершенствованию теоретической и технической базы электроэнергетики с целью обеспечения экономичного и надежного производства электроэнергии, ее транспортировки и снабжения потребителей электроэнергией в необходимом для потребителей количестве и требуемого качества»; в части области исследования: пункту 12 «Разработка методов контроля и анализа качества электроэнергии и мер по его обеспечению».

Замечания

1. Не рассмотрены вопросы выбора предпочтительных узлов для установки фильтров.

2. Не исследованы вопросы чувствительности характеристик предлагаемых фильтров к вариациям значений элементов схемы.

3. Не рассмотрены вопросы распределения реактивной мощности между звеньями фильтров.

4. Методический подход к проектированию пассивных широкополосных фильтров лестничной структуры, представленный во второй главе, позволяет проектировать пассивные широкополосные фильтры произвольного порядка. Увеличение порядка фильтра сопровождается увеличением его габаритов, стоимости. В работе не рассмотрены вопросы определения оптимального порядка проектируемых фильтров.

5. В диссертации и автореферате отсутствуют ссылки на государственные научные программы, а также их связь с направлением исследований вуза, в котором выполнялась работа.

6. Многие аналитические выражения представлены без математических выводов, отсутствуют пояснения к используемым в них параметрам, что усложняет их понимание.

7. В тексте диссертации встречаются повторные расшифровки сокращений, например, ФКУ, ШПФ, ШИМ и т.д. В то же время введенные сокращения, например, КЭ – качество электроэнергии, не используются.

Указанные замечания не снижают теоретической и практической значимости основных научных положений, выводов и рекомендаций, представленных в диссертационной работе.

Соответствие диссертации критериям, установленным «Положением о присуждении ученых степеней», утвержденным постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г., № 842

Соответствие п. 9: диссертационная работа Шандрыгина Д.А. является завершенной научно-квалификационной работой, в которой содержатся научно-обоснованные технические разработки, направленные на совершенствование методов проектирования пассивных широкополосных фильтров лестничной структуры для электроэнергетических систем с нелинейными резкопеременными нагрузками.

Соответствие п. 10: диссертационная работа написана автором самостоятельно, обладает внутренним единством, содержит новые научные результаты и положения, выдвигаемые для публичной защиты, и свидетельствует о личном вкладе автора в науку. Предложенные автором решения достаточно аргументированы.

Соответствие п. 11, 12 и 13: основные научные результаты диссертации опубликованы в рецензируемых научных изданиях, рекомендованных ВАК. Количество публикаций соответствует установленным требованиям.

Соответствие п. 14: при выполнении исследований автор заимствовал материалы и результаты отдельных исследователей, размещённые ссылки на работы данных исследователей соответствуют требованиям.

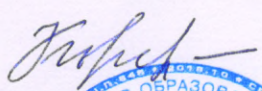
Заключение

Представленная на отзыв диссертационная работа Шандрыгина Д.А. «Совершенствование методов проектирования фильтрокомпенсирующих устройств для электроэнергетических систем с нелинейными резкопеременными нагрузками» является законченной научно-квалификационной работой, которая обладает научной новизной и практической значимостью.

Диссертация соответствует требованиям «Положения о присуждении учёных степеней», утверждённого Постановлением Правительства РФ от 24.09.2013г. № 842, в том числе п.п. 9-14, а её автор Шандрыгин Денис Александрович заслуживает присуждения учёной степени кандидата технических наук по специальности 05.14.02 - «Электрические станции и электроэнергетические системы».

Отзыв на диссертацию и автореферат рассмотрены и одобрены на заседании «Лаборатории управления аномальными режимами электроэнергетических систем» ИСЭМ СО РАН 30 августа 2022 г., протокол № 3.

Кандидат технических наук, доцент,
Федеральное государственное бюджетное
Учреждение науки Институт систем
энергетики им. Л.А. Мелентьева Сибирского
отделения академии наук,
старший научный сотрудник

 Коверникова Лидия Ивановна

664033, г. Иркутск,
ул. Лермонтова, 130
тел.: 89149147731,
e-mail: kovernikova@isem.irk.ru

