

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА 24.2.324.05,
СОЗДАННОГО НА БАЗЕ ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО
БЮДЖЕТНОГО ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ «МАГНИТОГОРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМ. Г.И. НОСОВА»,
МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ПО ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ
КАНДИДАТА НАУК

аттестационное дело № _____
решение диссертационного совета от 29.09.2023 № 3

О присуждении Гилемову Ильдару Галиевичу, гражданину Российской Федерации, ученой степени кандидата технических наук.

Диссертация «Повышение качества электроэнергии во внутризаводских распределительных сетях за счет усовершенствованных систем управления активных выпрямителей» по специальности 2.4.2. Электротехнические комплексы и системы принята к защите 20 июня 2023 г. (протокол № 2) диссертационным советом 24.2.324.05, созданным на базе федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», Министерство науки и высшего образования Российской Федерации, 455000, г. Магнитогорск, пр. Ленина, 38, приказ № 508/нк от 24.03.2023 г.

Соискатель Гилемов Ильдар Галиевич, 21.07.1995 года рождения. В 2019 году соискатель окончил магистратуру в ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова» по направлению 13.04.02 Электроэнергетика и электротехника. В 2023 году соискатель окончил обучение в аспирантуре ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова» по направлению подготовки 13.06.01 Электро- и теплотехника.

Работает ведущим инженером – электроником в ООО «Объединенная сервисная компания».

Диссертация выполнена на кафедре автоматизированного электропривода и мехатроники ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», Министерство науки и высшего образования РФ.

Научный руководитель – кандидат технических наук, доцент Николаев Александр Аркадьевич, ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», кафедра автоматизированного электропривода и мехатроники, заведующий кафедрой.

Официальные оппоненты:

1. Мещеряков Виктор Николаевич – доктор технических наук, профессор, ФГБОУ ВО «Липецкий государственный технический университет», кафедра электропривода, заведующий кафедрой;

2. Шевырёв Юрий Вадимович – доктор технических наук, доцент, ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский технологический университет "МИСиС"», кафедра «Энергетика и энергоэффективность горной промышленности», профессор.

дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация - ФГАОУ ВО «Южно-Уральский государственный университет» (научно-исследовательский университет), г. Челябинск, в своем положительном отзыве, подписанным Дудкиным Максимом Михайловичем, доктором технических наук, доцентом, заместителем заведующего кафедрой «Электропривод, мехатроника и электромеханика», указала, что диссертация Гилемова Ильдара Галиевича «Повышение качества электроэнергии во внутризаводских распределительных сетях за счет усовершенствованных систем управления активных выпрямителей» соответствует всем требованиям, предъявляемым к кандидатским диссертациям в соответствии с п.п. 9 – 14 «Положения о присуждении ученых степеней» от 24.09.2013 г. № 842, представляет собой решение актуальной задачи по обеспечению электромагнитной совмести-

мости мощных электроприводов на базе преобразователей частоты с активными выпрямителями в системах внутриводского электроснабжения, а её автор, Гилемов Ильдар Галиевич, заслуживает присуждения учёной степени кандидата технических наук по специальности 2.4.2. Электротехнические комплексы и системы.

Соискатель имеет 38 опубликованных работ, в том числе по теме диссертации опубликовано 19 работ, из них 5 в журналах из перечня рецензируемых научных изданий, рекомендованного ВАК, 9 публикаций, входящих в систему цитирования Scopus, по теме диссертации опубликована 1 научная монография и получено 2 свидетельства о регистрации программ для ЭВМ. Общий объем публикаций составляет 20,5 печатных листов. Сведения об опубликованных работах достоверны.

Авторский вклад соискателя заключается в: разработке усовершенствованной системы управления активного выпрямителя с динамическим выбором оптимальной таблицы углов переключения силовых ключей для снижения негативного влияния преобразователей частоты с активными выпрямителями (ПЧ-АВ) на питающую сеть среднего напряжения; разработке методики расчёта таблиц углов переключения силовых ключей АВ для предлагаемой системы управления; разработке усовершенствованной имитационной модели системы управления АВ в составе ПЧ-АВ электроприводов клетей прокатных станов для анализа качества электроэнергии во внутриводских сетях 6-35 кВ при динамическом выборе таблиц углов переключения с учётом различных режимов работы; анализе технического эффекта в отношении улучшения показателей качества электроэнергии внутриводской системы электроснабжения от применения усовершенствованной системы управления АВ.

Наиболее значимые работы по теме диссертации:

1. Исследование усовершенствованной системы управления активных выпрямителей преобразователей частоты в составе электроприводов клетей прокатного стана / А.А. Николаев, И. Г. Гилемов, О. С. Малахов // Электротехнические системы и комплексы. – 2021. – №. 4 (53). – С. 62-68.

2. Разработка и исследование усовершенствованного алгоритма ШИМ активного выпрямителя с изменяемыми таблицами углов переключения / А. А. Николаев, И. Г. Гилемов // Вестник Ивановского государственного энергетического университета. – 2020. – №. 6. – С. 48-56.

3. The Dynamic Operation Investigation of an Active Rectifier Control System with IGCT-Thyristor Switching Angle Table Selection Function / A. A. Nikolaev, I. G. Gilemov // 2022 International Conference on Industrial Engineering, Applications and Manufacturing (ICIEAM), Сочи, Россия. – IEEE, 2022. – С. 492-497.

На диссертацию и автореферат поступило 8 отзывов, все положительные:

1. Отзыв ФГБОУ ВО «Вятский государственный университет», г. Киров (к.т.н., доцент В. Г. Басманов, д.т.н., профессор В.В. Черепанов): 1) Для управления качеством электроэнергии покупателю несинусоидальной формы кривой напряжения необходимо как при проектировании систем электроснабжения, так и при её эксплуатации выполнять расчеты режимов высших гармоник в распределительной сети. Для этого необходимо знать амплитудный и фазовый спектр высших гармоник тока, генерируемых в сеть активным выпрямителем. Судя по автореферату, автор не исследовал спектр высших гармоник сетевого тока этих выпрямителей. Формулы для расчета амплитуд и фаз токов высших гармоник тока отсутствуют. Это не дает возможности оценить влияние активных выпрямителей на питающую их электрическую сеть и снижает практическую значимость работы; 2) В таблице 1 приведены результаты сравнения показателей качества электроэнергии при исследовании усовершенствованной СУ АВ. Непонятно использование в таблице показателя «Среднее значение коэффициента в течение 95% времени интервала $K_{и95}$ ». Почему потребовалось значение $K_{и}$ в течение 95% времени? Почему не 100%? В автореферате пояснений нет.

2. Отзыв ПАО «Магнитогорский металлургический комбинат» г. Магнитогорск (к.т.н., Шубин А.Г., к.т.н., Юдин А.Ю.):

1) В табл. 1 на стр. 18 автореферата приведены результаты сравнительного анализа эффективности разработанной системы управления АВ в отношении обеспечения ЭМС ПЧ-АВ. Усреднённое значение коэффициента суммарных гармонических составляющих K_U для точки общего присоединения ЗАО «ММК Metalurji» при 100% длительности интервала измерений при использовании разработанной системы управления АВ указано равным 5,22 %. Данная величина превышает допустимую для сетей 35 кВ величину $K_U = 4\%$, установленную ГОСТ 32144-2013. Означает ли это, что помимо разработанной системы управления АВ необходимо применение дополнительных технических решений по обеспечению ЭМС ПЧ с АВ с питающей сетью, таких как: 1) применение специализированных фильтрокомпенсирующих устройств, 2) выделение отдельных «грязных» секций шин на заводской ГПП для индивидуального питания группы электроприводов прокатного стана? 2) В автореферате не представлен обзор альтернативных способов обеспечения ЭМС мощных ПЧ с АВ в составе электроприводов прокатных станков с внутривзаводской сетью; 3) Необходимо ли осуществлять коррекцию параметров регуляторов напряжения в звене постоянного тока и ортогональных составляющих сетевого тока ПЧ с АВ в процессе динамической смены таблиц углов переключения ключей при изменении режимов работы электропривода прокатной клетки?

3. Отзыв АО «Магнитогорский ГИПРОМЕЗ», г. Магнитогорск (к.т.н., А.А. Старушко): 1) Какая величина суммарного коэффициента гармонических составляющих напряжения K_U в точке общего присоединения предприятия является критической для работы чувствительных электроприёмников? Достаточно ли оценка только величины K_U или необходимо производить анализ величин отдельных гармонических составляющих $K_{U(n)}$? 2) В автореферате было бы полезным привести сводную таблицу с информацией об исследуемых электроприводах двух прокатных станков (схема включения трансформаторов, мощности преобразователей, электродвигателей и т.д.).

4. Отзыв ФГБОУ ВО «Уфимский государственный нефтяной технический университет», г. Уфа (к.т.н., доцент Р.Т. Хазиева): 1) Из материалов

автореферата не ясно, почему при экспериментальном анализе гармонического состава токов и напряжений сетей 6 и 35 кВ двух заводов (рис. 5) в одном случае анализ производился до 150 гармоники, а в другом до 200? Возможно ли наличие значимых резонансов токов в более высокочастотной области частотной характеристики питающей сети? 2) В автореферате не представлены результаты анализа работы активного выпрямителя с новой системой управления при возникновении возмущений со стороны питающей сети, например, при однофазных провалах напряжения. При эксплуатации ПЧ-АВ данные возмущения оказывают сильное воздействие на устойчивость работы силовых преобразователей.

5. Отзыв ФГБОУ ВО «Уфимский университет науки и технологий», г. Уфа (д.т.н., доцент Р.Р. Саттаров): 1) Из автореферата не ясно, как предложенная система управления АВ может быть реализована на действующих ПЧ-АВ ведущих фирм-производителей (ABB, Siemens, Convertteam, Toshiba-Mitsubishi и др.), функционирующих на промышленных предприятиях; 2) В автореферате указано, что внедрение усовершенствованной системы управления АВ позволило снизить среднюю величину суммарного коэффициента гармонических составляющих K_U в точке общего присоединения на 59,7% и 67,8% для систем электроснабжения двух заводов ММК Metalurji и ЧерМК ПАО «Северсталь». Является ли данный технический эффект достаточным для обеспечения безаварийной работы чувствительных электроприемников, получающих питание от общих секций заводской подстанции? Возможно ли получить обобщенные оценки для различных типов заводских систем электроснабжения?

6. Отзыв ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет имени первого президента России Б.Н. Ельцина», г. Екатеринбург (к.т.н., доцент А.В. Костылев): 1) На рис. 6 автореферата показаны графики изменения основных параметров электроприводов прокатных станов, а также значения суммарных коэффициентов гармонических составляющих напряжения K_U на общих секциях ГПП предприятий за цикл прокатки. При этом не указано, для

какого сортамента и каких режимов прокатки представлены полученные результаты. Насколько отличаются режимы работы электроприводов и показатели качества электроэнергии на общих секциях заводских ГПП при прокатке металла другой толщины с другими статическими моментами на валах приводных двигателей клеток станов? 2) В автореферате не приведены результаты исследований влияния динамической смены таблиц углов переключения силовых ключей в усовершенствованной системе управления АВ на устойчивость работы контуров регулирования напряжения в звене постоянного тока и ортогональных составляющих сетевого тока ПЧ-АВ.

7. Отзыв ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева», г. Нижний Новгород (д.т.н., доцент А.Б. Дарьенков, к.т.н., доцент А.В. Серебряков, д.т.н., профессор В.Г. Титов):

1) В автореферате указано, что для электротехнического комплекса ЗАО «ММК Metalurji» из-за наличия резонансных явлений в широком диапазоне частотной характеристики сети наилучшие показатели обеспечивает ШИМ с подавлением выделенных гармоник. На основании чего был сделан данный вывод? Проводились ли экспериментальные исследования или теоретический анализ эффективности данного алгоритма ШИМ? 2) Является ли разработанная система управления АВ универсальной? Возможно ли ее внедрение на базе серийных ПЧ-АВ ведущих компаний-производителей силовой преобразовательной техники? Будет ли эффективным применение результатов диссертационной работы для других мощных электроприводов промышленных предприятий, например, в крановом электроприводе, где также применяются ПЧ-АВ? 3) При реализации усовершенствованной системы управления АВ на действующем оборудовании двух металлургических заводов ЗАО «ММК Metalurji» и ЧерМК ПАО «Северсталь» максимальная частота коммутации IGBT-тиристорov в ПЧ-АВ ACS6000 производства компании АВВ была ограничена на уровне 450 Гц. Возможно ли на практике для режима холостого хода электропривода прокатной клетки увеличить данное значение до 650 -750 Гц с целью удаления большего числа гар-

моник, попадающих в резонансную область частотной характеристики сети, и улучшения качества напряжения?

8. Отзыв ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II», г. Санкт-Петербург (д-р техн. наук, доцент Ю.А. Сычев): 1) Проводилась ли оценка влияния вариации частоты коммутации силовых ключей активного выпрямителя в рамках предложенного метода на уровень высших гармоник, потребляемых из сети? 2) На странице 15 автореферата сказано, что основным критерием поиска оптимальной таблицы углов переключения выступает минимизация величины коэффициента K_U ? Рассматривались ли при этом какие-либо дополнительные критерии?

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается их научными достижениями в области изучения электромагнитной совместимости преобразовательной техники, в том числе электроприводов с активными выпрямителями, направленными на улучшение режимов работы и снижения их влияния на качество электрической энергии.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

разработана усовершенствованная система управления АВ с динамическим выбором таблицы углов переключения силовых ключей, позволяющая улучшить электромагнитную совместимость ПЧ-АВ с внутризаводской питающей сетью;

предложены оригинальные научно-обоснованные технические решения по обеспечению электромагнитной совместимости электроприводов на базе ПЧ-АВ с учётом их режимов работы, позволяющих минимизировать амплитуды максимального количества высших гармоник сетевого тока в выбранном диапазоне частот;

доказана эффективность разработанной системы управления АВ с динамическим выбором таблиц углов переключения в отношении улучшения показателей качества электроэнергии при работе мощных электроприводов прокатных станков на базе ПЧ-АВ;

введены новые рекомендации по работе мощных ПЧ-АВ, предусматривающие учёт режимов работы электропривода при настройке параметров блока ШИМ.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:

доказана возможность повышения качества электрической энергии в системах внутриводского электроснабжения за счёт усовершенствованных систем управления АВ с динамическим выбором таблиц углов переключения;

применительно к проблематике диссертации эффективно использованы методы имитационного моделирования и экспериментальных исследований, выполненных в условиях действующего производства;

изложена идея обеспечения заданного качества электроэнергии за счет использования системой управления АВ нескольких таблиц углов переключения силовых ключей, адаптированных к разным режимам работы электропривода;

раскрыты: причины возникновения во внутриводских сетях 6–35 кВ сильных искажений напряжения при работе мощных ПЧ-АВ;

изучено влияние на показатели качества напряжения совокупности таких факторов, как настройки ШИМ АВ, режим работы электропривода и частотная характеристика внутриводской сети;

проведена модернизация существующих систем управления АВ путём внедрения разработанного блока ШИМ с возможностью выбора таблиц углов переключения силовых ключей;

Значение полученных соискателем результатов исследования для практики подтверждается тем, что:

разработаны и внедрены: усовершенствованная система управления АВ с динамическим выбором таблиц углов переключения, обеспечивающих минимизацию высших гармоник сетевого тока во всех режимах работы электропривода;

определена: эффективность применения усовершенствованной системы управления АВ в ПЧ-АВ электроприводах прокатных станов. На двух метал-

лургических заводах достигнуто снижение средней величины суммарного коэффициента гармонических показателей K_U в точке общего присоединения на 59,7 и 67,8 %;

создана методика расчёта таблиц углов переключения силовых ключей для усовершенствованной системы управления АВ для электроприводов механизмов с цикличной работой, включающая критерии использования таблиц с учётом ограничений по нагреву полупроводниковых ключей;

представлены: рекомендации по настройке систем управления и алгоритмов ШИМ АВ в составе мощных электроприводов с учётом их режимов работы;

Оценка достоверности результатов исследования выявила:

корректность применения математического аппарата; теоретические исследования выполнены с использованием реальных технических характеристик силового электрооборудования ПЧ-АВ электроприводов прокатных станов и системы внутривозового электроснабжения при правомерных исходных положениях и обоснованных допущениях;

теория базируется на известных положениях теории автоматического управления, теории электрических цепей, положениях теории силовой электроники, а также методах математического моделирования;

идея базируется на использовании известных алгоритмов ШИМ, позволяющих исключить или минимизировать определенный диапазон значимых гармоник тока АВ;

выполнено сравнение результатов исследований, полученных автором, с результатами, представленными в патентных и литературных источниках, посвященных вопросам электромагнитной совместимости ПЧ-АВ;

установлено качественное и количественное совпадение результатов математического моделирования с экспериментальными данными, полученными в действующих электротехнических комплексах металлургических заводов с электроприводами на базе ПЧ-АВ;

использованы современные методы имитационного моделирования с применением математического пакета Matlab.

Личный вклад соискателя состоит в: постановке целей и задач исследования; разработке усовершенствованной системы управления АВ с динамическим выбором оптимальной таблицы углов переключения силовых ключей, учитывающей режимы работы электропривода на базе ПЧ-АВ; разработке методики расчёта таблиц углов переключения силовых ключей АВ для предлагаемой системы управления для электроприводов механизмов с цикличной работой, включающая критерии использования таблиц с учётом ограничений по нагреву полупроводниковых ключей; разработке комплексной имитационной модели системы внутриводского электроснабжения и электроприводов на базе ПЧ-АВ с усовершенствованной системой управления АВ, воспроизводящей реальные физические процессы, протекающие во внутриводской сети при различных режимах работы электроприводов.

В ходе защиты диссертации были высказаны следующие критические замечания:

В отзыве ведущей организации:

1. В диссертационной работе показан положительный технический эффект при использовании усовершенствованной системы управления АВ в виде снижения суммарного коэффициента гармонических составляющих K_U . В то же время величина средняя величина K_U и величины отдельных гармоник в некоторых из рассмотренных случаев превышают значения, установленные ГОСТ 32144-2013. В работе указано, что использование разработанной системы управления АВ позволяет нормализовать работу чувствительных электроприёмников. Проводился ли анализ статистики отказов электрооборудования до и после внедрения на действующем производстве?

2. В четвертой главе при расчётах дополнительных таблиц углов переключения силовых ключей по методу ШИМ с удалением выделенных гармоник для усовершенствованной системы управления АВ электроприводов стана холодной прокатки ЧерМК ПАО «Северсталь» использовалось условие удале-

ния всех возможных значимых гармоник, попадающих в область основного резонанса частотной характеристики питающей сети. При этом в главе 2 отмечалось наличие множественных резонансов с меньшей амплитудой, но в более высоком частотном диапазоне. В работе не рассмотрена возможность удаления гармоник, попадающих в области дополнительных резонансов частотной характеристики внутризаводской сети, а также технический эффект при удалении некоторых из них.

3. В пятой главе при исследовании эффективности усовершенствованной системы управления АВ при её использовании в электроприводах стана холодной прокатки ЧерМК ПАО «Северсталь» были использованы рассчитанные таблицы углов переключения силовых ключей только по методу ШИМ с удалением выделенных гармоник. В тоже время в случае электроприводов стана горячей прокатки 1750 ЗАО «ММК Metalurji» был рассмотрен также вариант с использованием таблиц, рассчитанных по методу ШИМ с подавлением выделенных гармоник. Исследовался ли вариант применения таблиц углов переключения силовых ключей АВ, рассчитанных по методу ШИМ с подавлением выделенных гармоник для электроприводов на базе ПЧ-АВ стана холодной прокатки?

4. В работе отсутствует подробное описание методики настройки контуров регулирования усовершенствованной системы управления АВ. Потребуется ли при внедрении усовершенствованной системы управления АВ пересчёт параметров регуляторов ортогональных составляющих сетевого тока, а также регулятора напряжения в звене постоянного тока?

5. В работе не рассмотрены различные аварийные режимы работы ПЧ-АВ с усовершенствованной системой управления АВ, например, при провалах питающего напряжения.

В отзыве официального оппонента Мещерякова В.Н.:

1. В главе 3 при оценке влияния смены таблиц углов переключения силовых ключей активного выпрямителя усовершенствованной системой управления рассматривались потребляемые токи, рисунки 3.15 - 3.20, при этом не

были представлены графики напряжений в звене постоянного тока преобразователя. Насколько существенное воздействие оказывает смена таблиц системной управления на данный параметр?

2. В работе не приведено подробное описание алгоритма расчёта таблиц углов переключения силовых ключей активного выпрямителя по методу ШИМ с подавлением выделенных гармоник.

3. Как обеспечивается сохранение технического эффекта в уменьшении суммарного коэффициента гармонических составляющих напряжения K_U на общих секциях главной понизительной подстанции предприятия за счет применения усовершенствованной СУ АВ при изменении частотной характеристики питающей сети и смещении частот основных резонансов тока?

4. Рассматривалось ли применение в усовершенствованной СУ АВ большего числа таблиц углов переключения (4 таблицы и более) для получения дополнительного технического эффекта по улучшению качества электроэнергии во внутризаводских распределительных сетях среднего напряжения?

5. Возможно ли обеспечение требуемой электромагнитной совместимости ПЧ-АВ с питающей сетью за счет использования усовершенствованной СУ АВ при наличии в частотной характеристике сети множественных резонансов тока с высокой амплитудой и широким частотным диапазоном?

6. Возможна ли реализация предлагаемой системы управления активного выпрямителя силами технических специалистов промышленного предприятия или требуется взаимодействие с производителем преобразовательной техники?

В отзыве официального оппонента Шевырёва Ю.В.:

1. Отсутствуют описания моделей синхронного электродвигателя с активным инвертором напряжения, звена постоянного тока, а также других элементов, входящих в состав имитационных моделей на рисунках 3.5 и 3.6.

2. В диссертационной работе при разработке имитационных моделей предложено оригинальное решение, заключающееся в интеграции трёхфазной имитационной модели преобразователя частоты с активным выпрямителем напряжения с однофазной имитационной моделью системы электроснабжения

стана. Необходимо было сравнить результаты моделирования для однофазной схемы замещения системы электроснабжения с трёхфазной.

3. Таблицы углов переключения считаются для конкретных значений коэффициента модуляции. Каким образом осуществляется нахождение углов переключения при промежуточных значениях коэффициента модуляции?

4. Отсутствие описания алгоритма работы блока импульсов управления затрудняет понимание работы системы управления активного выпрямителя в режимах удаления или подавления выделенных гармоник.

5. Не раскрыты вопросы возможности регулирования реактивной мощности и рекуперации энергии в сеть при работе системы управления активного выпрямителя в режимах удаления или подавления выделенных гармоник.

6. Нет объяснения, почему для определения текущего режима работы электропривода и выбора необходимого набора углов переключения используется ортогональная составляющая тока AV_{id} .

7. Из текста диссертации не понятно, насколько влияет неточность вычисления углов переключения на степень удаления или подавления выделенных гармоник.

В ходе заседания диссертационного совета:

1. Не совсем понятно, каким образом и с учётом чего производился расчёт таблиц углов переключения силовых ключей активного выпрямителя.

2. Следовало бы предоставить больше информации об альтернативных способах обеспечения ЭМС ПЧ-АВ, в частности, создания грязной секции для питания мощных электроприводов на базе ПЧ-АВ.

3. В ходе доклада не раскрыта информация о способе расчёта частотных характеристик внутриводских сетей, используемом в диссертационной работе.

4. Не совсем понятно, в чём выражен технический и экономический эффект от внедрения усовершенствованной системы управления на действующем оборудовании.

Соискатель Гилемов И.Г. ответил на заданные ему в ходе заседания вопросы и привёл собственную аргументацию:

Таблицы углов переключения силовых ключей в алгоритмах ШИМ с удалением выделенных гармоник и подавлением выделенных гармоник рассчитываются заранее. При их расчётах учитываются частота коммутации силовых вентилях, гармоники, которые необходимо подавить или удалить, а также величина K_U в точке общего присоединения. В диссертационной работе расчёт производился по разработанной методике. Для таблиц с различной частота коммутации вентилях каждого электропривода были определены максимально-допустимые значения токов. С учётом этого определялась допустимая частота коммутации вентилях для каждого характерного режима работы электропривода. Далее в соответствии с частотой коммутации определялось количество гармоник, которые могут быть ослаблены/подавлены или полностью исключены в зоне экстремума резонанса частотной характеристики внутриводской сети. Расчёт таблиц производился в среде Matlab в специально разработанном программном обеспечении на базе функции «*fsolve*» методом перебора всех возможных значений. После этого все полученные таблицы, которые удовлетворяли критериям физической реализуемости, проверялись на величину K_U и выбиралась таблица с наименьшей величиной. Создание отдельной секции для питания мощных ПЧ-АВ потребует модернизации системы электроснабжения завода. Учитывая, что электропривода прокатных станов имеют значительную мощность (5-8 МВт и выше), создавать для них отдельную секцию довольно затратно. А внедрение усовершенствованной системы управления АВ не несёт больших капитальных затрат и стоит дешевле. В диссертационной работе частотные характеристики сначала определялись экспериментальным образом путём деления величины напряжения соответствующей гармоники в точке измерения на величину тока – рассчитывалась характеристика $Z(f)$. На имитационных моделях частотные характеристики сети определялись в среде Matlab: сначала восстанавливалась система электроснабжения на имитационной модели,

затем её частотная характеристика сравнивалась с экспериментальной для проверки адекватности моделирования.

Целью диссертационной работы являлось снижение величины суммарного коэффициента гармонических составляющих в точке общего присоединения за счёт разработанной усовершенствованной системы управления активных выпрямителей. Технический эффект был представлен в виде снижения величины K_U . Анализ данного показателя качества электроэнергии обусловлен опытом 4-ёх НИОКР, показавшем, что в случае превышения величины K_U при расчёте до 200-ой гармоники значения в 5,5 %, возникающие искажения напряжения питающей сети оказывают существенное негативное влияние на работу чувствительных электроприёмников. Экономический эффект при внедрении усовершенствованной системы управления выражен в прекращении выхода из строя чувствительных электроприёмников, отсутствии аварийных отключений. Например, в случае ЧерМК ПАО «Северсталь» фиксировались неоднократные выходы из строя источников бесперебойного питания контроллеров АНГЦ. Если происходит выход из строя источник бесперебойного питания, то прекращает работу контроллер системы управления, что в свою очередь вызывает остановку агрегата. Т.е. экономический эффект также выражен в снижении числа простоев.

Диссертационный совет установил, что диссертация представляет собой научно-квалификационную работу, полностью соответствующую критериям «Положения о присуждении ученых степеней» №842 от 24.09.2013 г., предъявляемым к кандидатским диссертациям.

На заседании 29 сентября 2023 г. диссертационный совет принял решение за разработку научно-обоснованных технических решений, направленных на обеспечение электромагнитной совместимости электроприводов на базе ПЧ-АВ с учётом их режимов работы, разработку усовершенствованной системы управления активного выпрямителя с динамическим выбором таблиц углов переключения силовых ключей, разработку методики расчёта таблиц углов

переключения для предлагаемой системы управления, присудить Гилемову Ильдару Галиевичу ученую степень кандидата технических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 13 человек, из них – 12 докторов наук по специальности 2.4.2. Электротехнические комплексы и системы, участвовавших в заседании, из 14 человек, взводящих в состав совета, проголосовали: за присуждение ученой степени – 13, против присуждения ученой степени – нет, не проголосовали – нет.

Председатель

диссертационного совета

Корнилов Геннадий Петрович

Ученый секретарь

диссертационного совета

Одинцов Константин Эдуардович

29 сентября 2023 г.

