

ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА Д 212.111.04,
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 15.09.2022 №3

О присуждении Буланову Михаилу Викторовичу, гражданину Российской Федерации, ученой степени кандидата технических наук.

Диссертация «Обеспечение электромагнитной совместимости мощных электроприводов с активными выпрямителями в системах электроснабжения при наличии резонансных явлений» по специальности 05.09.03 – Электротехнические комплексы и системы принята к защите 6 июня 2022 г. (протокол №2) диссертационным советом Д 212.111.04, 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 № 714/нк от 02.11.2012 г.

Соискатель Буланов Михаил Викторович, 25 февраля 1994 года рождения. В 2018 году соискатель окончил магистратуру в ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова» по направлению 13.04.02 «Электроэнергетика и электротехника». В 2022 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 электромонтером по ремонту и обслуживанию электрооборудования в обществе с ограниченной ответственностью «СМС Зимаг металлургический сервис Магнитогорск».

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

2. Маклаков Александр Сергеевич - кандидат технических наук, доцент, ФГАОУ ВО «Южно-Уральский государственный университет» (научно-исследовательский университет), кафедра «Мехатроника и автоматизация», доцент;

дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация - ФГБОУ ВО «Липецкий государственный технический университет», г. Липецк, в своем положительном отзыве, подписанным Шишлиным Денисом Ивановичем, кандидатом технических наук, доцентом, доцентом кафедры электропривода, указала, что диссертация Буланова Михаила Викторовича «Обеспечение электромагнитной совместимости мощных электроприводов с активными выпрямителями в системах электроснабжения при наличии резонансных явлений» 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 обеспечения электромагнитной совместимости электроприво-

дов с активными выпрямителями в системах электроснабжения с резонансными явлениями за счет применения адаптированных таблиц углов переключения вентилей активного выпрямителя, а её автор, Буланов Михаил Викторович, заслуживает присуждения учёной степени кандидата технических наук по специальности 05.09.03 – Электротехнические комплексы и системы.

Соискатель имеет 35 опубликованных работ, в том числе по теме диссертации опубликовано 10 работ, из них 2 в журналах из перечня рецензируемых научных изданий, рекомендованного ВАК, 5 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 9,3 печатных листов. Сведения об опубликованных работах достоверны.

Авторский вклад соискателя заключается в разработке методики определения оптимальных параметров широтно-импульсной модуляции активных выпрямителей (ШИМ АВ) для адаптации к резонансным явлениям в питающей сети среднего напряжения; в разработке способа определения резонансных областей в частотной характеристике внутризаводской системы электроснабжения с помощью тестовых воздействий со стороны преобразователей частоты с активными выпрямителями (ПЧ-АВ); в анализе эффекта от применения усовершенствованных таблиц переключения вентилей АВ для адаптации к резонансным явлениям; в разработке комплексной имитационной модели «Система внутризаводского электроснабжения – электроприводы прокатного стана с ПЧ-АВ» позволяющей исследовать влияние работы ПЧ-АВ на качество напряжения в точке общего подключения к сети 6-35 кВ при заданных параметрах частотной характеристики сети.

Наиболее значимые работы по теме диссертации:

1. Николаев, А.А. Разработка усовершенствованного алгоритма ШИМ активного выпрямителя с адаптацией к резонансным явлениям во внутризаводской сети / А.А Николаев, М.В. Буланов, А.М. Афанасьев, Д.А. Денисевич // Вестник

Ивановского государственного энергетического университета. – 2018. – №6. – С. 47-56.

2. Николаев, А.А. Разработка адаптивного алгоритма ШИМ активного выпрямителя и способа диагностики резонансных явлений во внутривозовских сетях / А.А Николаев, М.В. Буланов, К.А. Шахбиева // Вестник Ивановского государственного энергетического университета. – 2020. – №4. – С. 44-54.

3. Nikolaev, A.A. Ways to ensure electromagnetic compatibility of powerful frequency converters in internal power supply systems of industrial enterprises in the presence of resonance phenomena / A. A. Nikolaev, M. V. Bulanov, L. I. Antropova // 2019 International Conference on Industrial Engineering, Applications and Manufacturing, ICIEAM 2019, Sochi, 25–29 марта 2019 года. – Sochi, 2019. – P. 8742938. – DOI 10.1109/ICIEAM.2019.8742938.

На диссертацию и автореферат поступило 10 отзывов, все положительные:

1. Отзыв ФГБОУ ВО «Вятский государственный университет», г. Киров (канд. техн. наук, доцент В.Г. Басманов, д-р техн. н., профессор В.В. Черепанов): 1) Пункт 1. «Положения, выносимые на защиту» неверно отражает результаты экспериментальных исследований. Проведенные экспериментальные исследования подтверждают наличие в сети резонансных явлений, но никаких исследований, доказывающих негативное влияние резонансных явлений, не проводилось; 2) Имитационная модель не учитывает ёмкости сети 110 кВ, которые оказывают влияние на АЧХ внутривозовской сети. Вносимая этим фактом погрешности, судя по автореферату, не исследована.

2. Отзыв ПАО «Магнитогорский металлургический комбинат» г. Магнитогорск (канд. техн. наук Шубин А.Г., канд. техн. наук Юдин А.Ю.): 1) В автореферате диссертации не приведена информация об альтернативных способах обеспечения ЭМС мощных электроприводов на базе ПЧ-АВ с питающей сетью, предусматривающих использование специализированных фильтрокомпенсирующих устройств; 2) В автореферате диссертации при оценке адекватности разработанной имитационной модели электротехнического комплекса «система электроснабжения – электроприводы прокатного стана на базе ПЧ-АВ» приве-

ден сравнительный анализ гармонического состава напряжения на секциях 10 кВ заводской ГПП, полученный на основании анализа экспериментальных данных и в результате моделирования (рис. 8). При этом сравнение форм частотных характеристик сети 10 кВ, полученных экспериментально и на модели, не проводилось; 3) При оценке технического эффекта по улучшению качества напряжения при использовании измененных параметров ШИМ ПЧ-АВ ACS6000 (табл. 2) сказано, что количество гармоник, несоответствующих ГОСТ 32144-2013, уменьшилось на 35-42%. Является ли это достаточным условием обеспечения ЭМС мощных электроприводов стана холодной прокатки ППП ХП ЧерМК ПАО «Северсталь»? Как изменилась статистика аварийных отключений и выходов из строя чувствительных электроприемников, функционирующих параллельно с электроприводами на базе ПЧ-АВ, после внедрения результатов диссертационной работы?

3. Отзыв ФГБОУ ВО «Уфимский государственный авиационный технический университет», г. Уфа (д-р техн. наук, профессор В.Е. Вавилов, канд. техн. наук, доцент Т.А. Волкова): 1) Поскольку научная новизна работы заключается в разработке нового способа выявления резонансов во внутриводской сети 6-35 кВ (п.3), то представляется логичным закрепить свои авторские права путем получения патента на изобретение; 2) Не совсем ясно, каким образом учитывались гармоники от 40-ой до 200-ой при проведении экспериментальных исследований и последующих расчетов суммарной гармонической составляющей тока; 3) Не достаточно полно расписано, каким образом встраивались новые алгоритмы ШИМ в уже имеющиеся алгоритмы FPPS, SHE и SHM.

4. Отзыв ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева», г. Нижний Новгород (д-р техн. наук, доцент А.Б. Дарьенков, канд. техн. наук, доцент А.В. Серебряков, д-р техн. наук, профессор В.Г. Титов): 1) Из материалов автореферата не ясно, почему при анализе гармонического состава токов и напряжений сети 10 кВ при работе мощных ПЧ-АВ анализировались гармоники с максимальным номером $n=200$? Возможно ли наличие значимых резонансов в частотной характеристике питающей сети в бо-

лее высокочастотной области? Если да, то какое их влияние на режимы работы чувствительных электроприемников, работающих параллельно с электроприводами прокатных станков?; 2) В частотной характеристике сети 10 кВ, снятой относительно секций ГПП предприятия (рис. 5, б), присутствуют множественные резонансы из-за влияния токоограничивающих реакторов, установленных в ячейках РУ-10 кВ. Возможно ли обеспечить одновременное исключение гармоник в сетевых точках ПЧ-АВ для всех указанных резонансов, а не только для основного резонанса в диапазоне от 20-ой до 40-ой гармоники? 3) В тексте автореферата не приведена информация об алгоритме расчета таблицы углов переключения силовых ключей активных выпрямителей в соответствии с разработанной методикой определения оптимальных параметров ШИМ.

5. Отзыв ФГБОУ ВО «Уфимский государственный авиационный технический университет», г. Уфа (д-р техн. наук, профессор Р.Р. Саттаров): 1) Из автореферата не ясно, как предложенный способ экспериментального определения резонансов тестовым воздействием АВ может быть реализован на базе действующих ПЧ-АВ. Не является ли такой режим аварийным для АВ? Как данные тестовые воздействия будут оказывать влияние на работу других электроприемников, получающих питание от общих секций главной понизительной подстанции предприятия? 2) Почему на одних рисунках анализ гармонического состава напряжений и токов проведен до 200-й гармоники (рис. 3, 4, 5, 8), а на других (рис. 9, 10) – до 100-й гармоники?

6. Отзыв ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет имени Первого Президента России Б.Н. Ельцина», г. Екатеринбург (канд. техн. наук, доцент А.В. Костылев, канд. техн. наук, доцент З.Ш. Ишматов): 1) Какая величина экстремума в частотной характеристике питающей сети является критической, когда необходимо применять дополнительные меры по обеспечению ЭМС мощных электроприводов на базе ПЧ-АВ? Проводилась ли в работе такая оценка? 2) В автореферате при описании 2 главы указано, что сложную форму частотной характеристики сети района ГПП-2 ЧерМК ПАО «Северсталь» определяют установленные в ячейках токоограничивающие реакторы. Рассматривал-

ся ли вариант реконструкции с их удалением? Как удаление токоограничивающих реакторов повлияло бы на гармонический состав напряжения в точке общего подключения электроприемников на секции ГПП-2?

7. Отзыв ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева», г. Нижний Новгород (д-р техн. наук, профессор Г.А. Вагин, канд. техн. наук, доцент А.А. Севостьянов): 1) В работе показано уменьшение воздействия активного выпрямителя на питающую сеть в результате изменения алгоритма ШИМ. По нашему мнению, это не полная оценка внесенных изменений на работу электропривода в целом. Не показаны изменения динамических показателей ПЧ как элемента электропривода, например, при набросе нагрузки; 2) Не проанализированы изменения диапазона коэффициента модуляции и устойчивость ПЧ при нарушениях со стороны питающей сети, особенно при провалах напряжения.

8. Отзыв ФГБОУ ВО «Уфимский государственный нефтяной технический университет», г. Уфа (канд. техн. наук, доцент Р.Т. Хазиева): 1) В автореферате было бы полезным привести сводную таблицу с информацией об исследуемых электроприводах четырехклетьевого стана (схема включения трансформаторов, мощности преобразователей и т.д.); 2) В разработанной имитационной модели кабельные линии моделируются одинарной П-секцией. Является ли это допустимым упрощением, учитывая их протяженность и наличие высокочастотных гармоник?

9. Отзыв ФГБОУ ВО «Оренбургский государственный университет», г. Оренбург (канд. техн. наук, доцент Э.Л. Греков): 1) Автором не проведена оценка экономического эффекта от внедрения предложенного способа обеспечения электромагнитной совместимости; 2) Из текста автореферата не ясно, в чем заключается практическая ценность предложенного способа определения формы частотной характеристики с помощью тестового воздействия. Не достаточно ли моделирования отдельно взятой системы электроснабжения?

10. Отзыв ФГБОУ ВО «Ивановский государственный энергетический университет имени В. И. Ленина», г. Иваново (канд. техн. наук, доцент М.С.

Куленко, д-р техн. наук, профессор А.Р. Колганов): В п.2 научной новизны указано, что разработана усовершенствованная методики определения оптимальных параметров алгоритма ШИМ АВ, отличающаяся от известных возможностью создания таблиц углов переключения вентилей АВ для адаптации к резонансам в частотной характеристике сети 6-35 кВ, при этом в тексте отсутствует информация о применении данной методики совместно с другими алгоритмами ШИМ.

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:

разработан способ снижения искажения синусоидальности напряжения во внутризаводских сетях с резонансными явлениями, вызванными работой мощных ПЧ-АВ, за счет изменения алгоритма коммутации силовых вентилей АВ;

предложены оригинальные научно-обоснованные технические решения по обеспечению электромагнитной совместимости электроприводов с АВ в сетях с резонансными явлениями за счет изменения таблиц углов переключения вентилей АВ, а также способ диагностики резонансных явлений в питающей сети за счет тестовых воздействий со стороны ПЧ-АВ;

доказана эффективность предложенного способа обеспечения заданного качества электроэнергии при работе мощных ПЧ-АВ;

введены новые рекомендации по работе мощных ПЧ-АВ, предусматривающие ориентацию на частотную характеристику питающей сети.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:

доказано, что за счет применения усовершенствованной методики определения оптимальных параметров ШИМ АВ возможно обеспечение заданного качества электроэнергии в системах внутризаводского электроснабжения, в которых наблюдаются резонансные явления.

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 адаптации ШИМ АВ к резонансным явлениям во внутриводской сети;

раскрыты причины возникновения сильных искажений напряжения при работе ПЧ-АВ в сетях с резонансными явлениями;

изучено влияние совокупности таких факторов, как настройки ШИМ и форма частотной характеристики системы электроснабжения на искажение напряжения в конкретной точке;

проведена модернизация существующей системы управления АВ, путем изменения таблиц углов коммутации вентиляей;

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

разработаны и внедрены: новые таблицы углов коммутации вентиляей АВ, обеспечивающие минимизацию высших гармоник тока, потребляемых АВ, в опасной области частотной характеристики питающей сети;

определена: эффективность применения новых таблиц углов коммутации вентиляей АВ в сетях с резонансными явлениями;

создана методика выбора параметров алгоритмов ШИМ АВ, позволяющая на основании информации о частотной характеристике питающей сети определить оптимальные, с точки зрения влияния на качество электроэнергии, таблицы углов переключения вентиляей;

представлены: рекомендации по настройке мощных ПЧ-АВ, учитывающие возможные резонансные явления в питающей сети;

Оценка достоверности результатов исследования выявила:

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

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

идея базируется на использовании известных алгоритмов ШИМ, позволяющих минимизировать 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 на действующих электроприводах с ПЧ-АВ;

использованы современные методы имитационного моделирования с применением математического пакета Matlab.

Личный вклад соискателя состоит в постановке целей и задач исследования; в разработке комплексной имитационной модели электротехнического комплекса «Система внутризаводского электроснабжения – электроприводы прокатного стана с ПЧ-АВ», воспроизводящей реальные физические процессы, протекающие во внутризаводской сети с резонансными явлениями, при работе ПЧ-АВ; в разработке усовершенствованной методики определения оптимальных параметров ШИМ АВ, позволяющей адаптироваться к резонансам в частотной характеристике внутризаводской сети; в разработке нового способа выявления резонансов во внутризаводской сети за счет специализированных тестовых воздействий со стороны мощных ПЧ-АВ на питающую сеть.

В ходе защиты диссертации были высказаны следующие критические замечания:

В отзыве ведущей организации:

1. В работе упоминаются, но подробно не рассмотрены проблемы с качеством электроэнергии из-за наличия резонансных явлений во внутризаводской сети на предприятиях АО «Северсталь – сортовой завод Балаково», ООО «Абин-

ский электрометаллургический завод». Утверждается, что проблемы на этих предприятиях были решены. Какие научно обоснованные технические решения по обеспечению ЭМС мощных ПЧ-АВ были применены на данных предприятиях?

2. В диссертационной работе расчет суммарного коэффициента гармонических составляющих напряжения K_U проводился до 200-й гармоники, что, как утверждается, обусловлено необходимостью учета гармоник напряжения и тока высокого порядка. Однако, в четвертой главе, при описании разработанной методики определения оптимальных параметров ШИМ и способа определения частотной характеристики (рис. 4.1 – 4.6, рис. 4.9 – 4.11), спектральный анализ проводился до 100-й гармоники. С чем это связано?

3. В четвертой главе рассмотрены два алгоритма ШИМ для активных выпрямителей: 1) с удалением выделенных гармоник; 2) со смягчением выделенных гармоник. В конечном итоге для своего объекта исследования автор выбрал алгоритм с удалением выделенных гармоник, но не указал причину, почему он остановился именно на нем. Исследовался ли вариант с применением на объекте исследований алгоритма ШИМ со смягчением выделенных гармоник?

4. В четвертой главе при описании усовершенствованной методики определения параметров ШИМ активных выпрямителей с учетом резонансных явлений не рассматриваются ситуации наличия в частотной характеристике сети 6-35 кВ множественных резонансов. Удаление гармоник производится только для одной частотной области основного резонанса. В рассматриваемом примере электрических сетей 10 кВ района ГПП2 ЧерМК ПАО «Северсталь» как раз присутствуют множественные резонансы, созданные взаимным влиянием емкостей кабельных линий и индуктивностей токоограничивающих реакторов в ячейках РУ-10 кВ. Было бы полезно отметить, возможно ли осуществлять удаление гармоник с использованием алгоритма удаления выделенных гармоник в нескольких частотных диапазонах.

5. В пятой главе при оценке технического эффекта от внедрения результатов диссертационной работы на действующем оборудовании стана четырех-

клетьевого холодной прокатки ЧерМК ПАО «Северсталь» приводятся относительные изменения суммарных коэффициентов гармонических составляющих напряжения K_U , а также коэффициенты n -ых гармонических составляющих $K_{U(i)}$ в точках общего подключения (секции 1 и 2 РУ-10 кВ ГПП-2) позволило исключить аварийные отключения и выход из строя чувствительных электроприемников, таких как источники бесперебойного питания программируемых логических контроллеров агрегата непрерывного горячего цинкованы, батареи статических конденсаторов без реакторов и т.д. При этом отсутствует расчет экономического эффекта от внедрения мероприятий по обеспечению электромагнитной совместимости ПЧ с АВ. Был ли выполнен анализ статистики отказов оборудования до и после внедрения рекомендации на действующем производстве?

В отзыве официального оппонента Шевырёва Ю.В.:

1. Насколько является универсальным предложенный в диссертации вариант обеспечения электромагнитной совместимости преобразователя частоты с активным выпрямителем с питающей сетью в случае возможных изменений частотной характеристики электрической сети?

2. Отсутствует вывод уравнений 3.1 и 4.3, применяемых для нахождения углов переключения силовых ключей активного выпрямителя напряжения.

3. Нет объяснения, почему при определении в разделе 4.2 параметров алгоритмов широтно-импульсной модуляции с адаптацией к резонансным явлениям, вместо имитационных моделей, приведённых в разделе 3, применяется упрощенная модель (рисунок 4.8). А чем её отличие от имитационных моделей, приведенных на рисунках 3.14, 3.15, 3.16?

4. В тексте диссертации встречаются термины «суммарный коэффициент гармонических искажений» и THD (Total Harmonic Distortion), что не соответствует ГОСТ 32144-2013, в котором для оценки искажений синусоидальной формы напряжения сети используется термин «суммарный коэффициент гармонических составляющих напряжения K_U ».

5. Большое количество рисунков и графиков в основном тексте диссертации затрудняет его понимание. Часть рисунков можно вынести в приложение.

В отзыве официального оппонента Маклакова А.С.:

1. В работе приведен анализ современных электроприводов на основе преобразователя частоты с активными выпрямителями различных фирм производителей, который охватывает только схемы подключения к питающей сети и алгоритмы управления переключений ключей активных выпрямителей напряжения. Однако в работе не рассмотрены другие компоненты систем электропривода, например, применение L-C-L фильтров для улучшения гармонического состава токов на входе активного выпрямителя.

2. В работе сказано, что на частотную характеристику питающей сети наиболее значимое влияние оказывают эквивалентная ёмкость кабельных линий, индуктивности токоограничивающих реакторов и сетевого трансформатора. Каким образом учитывалось взаимное влияние ёмкостей кабельных линий, а также насыщение магнитных систем трансформаторов?

3. На рисунках 3.17 и 3.18 сравниваются результаты моделирования импеданса сети с экспериментальными данными, на основе которых делается вывод об адекватности математической модели. Однако, на указанных рисунках видно, что не все максимумы комплексных сопротивлений сети на одних и тех же частотах совпадают с резонансными пиками в экспериментальной частотной характеристике. Чем может быть вызвано это различие и на основании каких критериев был сделан вывод об адекватности имитационной модели питающей сети 10 кВ?

4. В работе не рассмотрен вопрос математического описания многообмоточных трансформаторов и многопульсных схем соединения с питающей сетью. Каким образом были реализованы эти компоненты рассматриваемого электротехнического комплекса при моделировании?

5. На рисунках 3.5 – 3.13 экспериментально измеренные мгновенные значения линейного напряжения преобразователя имеют нестабильный колебательный характер. Видно, что присутствует сильная нестабильность в поддержании баланса напряжений трехуровневого преобразователя как на холостом ходу, так и под нагрузкой. Проводился ли анализ баланса напряжений трехуровневого

преобразователя, который может оказать существенное влияние на качество преобразованного напряжения активного выпрямителя?

6. В работе отсутствует анализ сигналов обратных связей системы управления и синхронизации активного выпрямителя напряжения, а также проверка работоспособности всей системы управления активным выпрямителем в условиях сильного искажения сигналов обратных связей.

7. В диссертации при описании способа экспериментального определения частотной характеристики питающей сети с использованием тестовых воздействий со стороны активного выпрямителя не полностью показана его практическая реализация на базе серийных силовых преобразователей частоты АВВ, Toshiba-Mitsubishi, Siemens и др.

В ходе заседания диссертационного совета:

1. Не были рассмотрены другие способы обеспечения электромагнитной совместимости ПЧ-АВ с питающей сетью.

2. Непонятно, как повлияет на качество электроэнергии изменения режима исследуемой системы электроснабжения.

3. Не совсем понятно, чем предложенная математическая модель электрической сети отличается от известных.

Соискатель Буланов М.В. ответил на заданные ему в ходе заседания вопросы и привел собственную аргументацию:

Вне рамок диссертационной работы были рассмотрены другие способы обеспечения электромагнитной совместимости ПЧ-АВ с питающей сетью. Например, был рассмотрен вариант с удалением из ячеек ГПП-2 токоограничивающих реакторов. Данный способ позволял улучшить форму частотной характеристики, убрав из неё локальные резонансы. Однако основной резонанс, ответственный за ухудшение качества напряжения, практически не изменялся, поэтому данный способ был исключён. Также был рассмотрен вариант с применением специального фильтра для коррекции частотной характеристики, мощностью 3,5 МВАр. Данный способ даёт возможность сдвигать область основного резонанса в сторону низких частот, что позволяет получить примерно равный с предло-

женным способом результат. Однако данный вариант был убран из дальнейшего рассмотрения, поскольку требовал значительных капитальных затрат. Изменение режима электроснабжения приведет к изменению частотной характеристики сети 10 кВ района ГПП-2. В диссертационной работе было рассмотрено 2 основных режима электроснабжения электроприводов стана, а именно раздельная и совместная работа секций от ГПП-2. Если на исследуемом объекте будет применен отличный от основных режим и частотная характеристика значительно изменится, для избегания проблем с электромагнитной совместимостью может потребоваться перенастройка существующих алгоритмов широтно-импульсной модуляции. Разработанная комплексная имитационная модель «система внутризаводского электроснабжения – электроприводы с активными выпрямителями» отличается от известных возможностью исследования влияния активных выпрямителей на качество электрической энергии в сетях с резонансными явлениями. Данная модель позволяет воссоздавать ситуации, которые могут возникать на действующих производствах, для поиска возможных решений проблемы с обеспечением качества электрической энергии, в том числе за счет адаптации таблиц углов переключения вентилях активного выпрямителя к резонансным явлениям во внутризаводской распределительной сети среднего напряжения.

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 15 сентября 2022 г. диссертационный совет принял решение за разработку научно-обоснованных технических решений, направленных на обеспечение электромагнитной совместимости мощных электроприводов на базе ПЧ-АВ в сетях с резонансными явлениями, разработку способа диагностики резонансных явлений, разработку методики выбора оптимальных параметров ШИМ для адаптации к резонансным явлениям, присудить Буланову Михаилу Викторовичу ученую степень кандидата технических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 14 человек, из них 13 докторов наук по специальности 05.09.03 – Электротехнические комплексы и системы, участвовавших в заседании, из 20 человек, входящих в состав совета, проголосовали: за присуждение ученой степени – 14, против присуждения ученой степени – нет, не проголосовали – нет.

Председатель

диссертационного совета



 Корнилов Геннадий Петрович

Учёный секретарь

диссертационного совета

 Одинцов Константин Эдуардович

15 сентября 2022 г.