



УТВЕРЖДАЮ

Ректор ФГБОУ ВО «ЛГТУ»

П.В. Сараев

07 2022 г.

ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

ФГБОУ ВО «Липецкий государственный технический университет» на диссертационную работу Буланова Михаила Викторовича по теме:
«Обеспечение электромагнитной совместимости мощных электроприводов с активными выпрямителями в системах электроснабжения при наличии резонансных явлений»,
представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.09.03 – Электротехнические комплексы и системы

Актуальность работы

За последнее время на металлургических предприятиях Российской Федерации появился новый класс электроприводов переменного тока большой мощности, имеющих в своём составе преобразователи частоты (ПЧ) с активными выпрямителями (АВ). Важным вопросом при эксплуатации данных электроприводов является их электромагнитная совместимость (ЭМС) с питающей сетью среднего напряжения 6-35 кВ, от решения которого зависит безаварийная эксплуатация потребителей электрической энергии, получающих питание от общей точки.

Существующие способы обеспечения ЭМС ПЧ-АВ с питающей сетью не учитывают возможные резонансные явления в сети, возникающие при взаимодействии эквивалентной ёмкости протяженных кабельных линий и индуктивности сетевого трансформатора цеховой понизительной подстанции. Резонансные явления создают в частотной характеристике сети 6-35 кВ области с высоким значением импеданса. Частотный диапазон резонансной области может совпадать с областью генерирования высших

ЗАРЕГИСТРИРОВАНО В ОТДЕЛЕ ДЕЛОПРОИЗВОДСТВА ФГБОУ ВО «ЛГТУ» им. Г.И. Носова»	
за № _____	
Дата регистрации	15.08.2022
Фамилия регистратора	

гармоник ПЧ-АВ и вызывать сильные искажения напряжения в точке общего подключения электроприемников к сети 6-35 кВ.

Данные искажения могут привести к аварийным отключениям и выходу из строя чувствительного электрооборудования, например, источники бесперебойного питания программируемых логических контроллеров в системе АСУ ТП предприятия, батарею статических конденсаторов без последовательных реакторов, а также приводят к повышенному потреблению тока устройств, имеющих в своём составе ёмкостные элементы (устройства компенсации реактивной мощности, пускорегулирующая аппаратура цехового освещения).

Объем, структура и содержание диссертации

Рукопись диссертации состоит из введения, пяти глав, выводов, заключения, списка литературы и приложений.

Во введении обоснована актуальность темы исследования, сформулированы цель и задачи исследования, показана научная новизна, теоретическая и практическая значимость результатов работы.

В первой главе проведен анализ состояния современных электроприводов промышленных механизмов на базе ПЧ-АВ, существующих способов обеспечения электромагнитной совместимости ПЧ-АВ с питающей сетью, а также применяемых в АВ алгоритмов ШИМ и их влияние на гармонический состав потребляемого тока.

Во второй главе представлены результаты экспериментов по исследованию качества электроэнергии в системе внутриводского электроснабжения района ГПП-2 ЧерМК ПАО «Северсталь». Показано негативное влияние резонансных явлений на форму напряжения при работе мощных ПЧ-АВ.

Третья глава была посвящена описанию разработанной имитационной модели электротехнического комплекса «Система внутриводского электроснабжения – электроприводы прокатного стана с ПЧ-АВ». Разработанная модель отличается от известных возможностью исследования качества электроэнергии при работе мощных ПЧ-АВ в сетях с резонансными явлениями при различных режимах электроснабжения и различных режимах работы ПЧ-АВ, а также при различных алгоритмах ШИМ АВ.

В четвёртой главе соискателем, с помощью разработанной модели, проведена разработка методики определения оптимальных параметров алгоритмов ШИМ АВ для адаптации к резонансным явлениям в питающей сети, а также предложен способ выявления резонансов в питающей сети с помощью тестового воздействия со стороны ПЧ-АВ.

В пятой главе проведена оценка эффективности предложенной методики определения оптимальных параметров ШИМ АВ на действующем оборудовании электроприводов стана холодной прокатки ППП ХП ЧерМК ПАО «Северсталь».

В приложениях содержатся характеристики исследуемых электроприводов, характеристики кабельных линий и сетевого трансформатора системы электроснабжения района ГПП-2, а также протокол замеров гармонических составляющих до и после внедрения новых таблиц углов переключения ПЧ-АВ четырехклетьевого стана и акт об использовании результатов диссертации на металлургическом предприятии ЧерМК ПАО «Северсталь».

Научная новизна и достоверность полученных результатов

1. В рамках диссертационного исследования получены новые экспериментальные данные, доказывающие негативное влияние резонансных явлений на качество напряжения в системах внутризаводского электроснабжения с мощными электроприводами на базе ПЧ-АВ.

2. Разработана усовершенствованная методика определения оптимальных параметров алгоритма ШИМ активных выпрямителей, которая отличается от известных возможностью определения углов переключения вентилей АВ для адаптации к резонансам в частотной характеристике внутрицеховой распределительной сети.

3. Разработан способ выявления резонансов во внутризаводской сети среднего напряжения, основанный на специализированных тестовых воздействиях со стороны мощных ПЧ-АВ на питающую сеть.

4. Разработана комплексная имитационная модель системы внутризаводского электроснабжения и электроприводов с ПЧ-АВ, которая может быть использована для исследования резонансных явлений во

внутрицеховой распределительной сети и для оценки влияния работы ПЧ-АВ на качество напряжения на общих секциях 6-35 кВ ГПП предприятия.

Достоверность и обоснованность научных положений базируется на корректном применении основных законов электротехники, силовой электроники и методов математического моделирования, использовании в качестве исходных данных реальных осциллограмм токов и напряжений, полученных на исследуемом объекте.

Публикации и апробация диссертационной работы

Теоретические и практические результаты, полученные в ходе диссертационных исследований, опубликованы в 10 печатных работах, из них 2 научные статьи в изданиях, рекомендованных ВАК РФ, 5 научных публикаций в изданиях, входящих в систему цитирования Scopus. Кроме того, соискателем получено 2 свидетельства о регистрации программ для ЭВМ и опубликована 1 научная монография.

Заключение о соответствии диссертации установленным критериям

На основе проведенного анализа предоставленных материалов можно сделать вывод, что диссертационная работа Буланова М.В. полностью отвечает всем критериям, предъявляемым «Положением о присвоении ученых степеней», утвержденным Постановлением Правительства РФ от 24 сентября 2013 г. №842. В ней соблюдены следующие принципы соответствия:

1. Указанная соискателем цель работы «улучшение электромагнитной совместимости промышленных электроприводов большой мощности на базе ПЧ-АВ с распределительной сетью среднего напряжения 6-35 кВ системы внутризаводского электроснабжения за счет применения усовершенствованной методики определения оптимальных параметров ШИМ АВ с учетом резонансных явлений в питающей сети» реализована в рамках представленной диссертации.

2. Автореферат диссертации Буланова М.В, соответствует диссертационной работе по всем квалификационным признакам: по цели, задачам исследования, основным положениям, определениям актуальности, научной значимости, новизны, практической ценности и т.д.

3. Основные выводы и результаты диссертационной работы соответствуют поставленным задачам исследований и сформулированы соискателем структурно и содержательно.

4. Научные публикации Буланова М.В. изданные в период с 2018 по 2022 гг., с достаточной полнотой отражают сущность диссертационной работы, а также полученные результаты и выводы.

5. Тема и содержание диссертации Буланова М.В. соответствует паспорту специальности 05.09.03 – Электротехнические комплексы и системы:

- по формуле специальности по принципам и средствам управления объектами, определяющими функциональные свойства действующих или создаваемых электротехнических комплексов и систем промышленного, транспортного и бытового назначения (система управления активным выпрямителем, являющаяся функциональной частью системы автоматизированного электропривода, а также система электроснабжения промышленных предприятий).

- объекту исследования: в плане развития общей теории электротехнических комплексов и систем, изучение систем изучение системных свойств и связей, физическое, математическое, имитационное и компьютерное моделирование компонентов электротехнических комплексов и систем; в плане разработки, структурного и параметрического синтеза электротехнических комплексов и систем, их оптимизация, а также разработки алгоритмов энергоэффективного управления; в плане исследования работоспособности и качества функционирования электротехнических комплексов и систем в различных режимах, при разнообразных внешних воздействиях (разработка имитационных моделей электротехнического комплекса «Система внутризаводского электроснабжения – электроприводы прокатного стана с ПЧ-АВ», усовершенствованная методика определения оптимальных параметров ШИМ АВ, а также новый способ диагностики резонансных явлений в питающей сети с помощью тестового воздействия со стороны ПЧ-АВ).

Диссертационная работа Буланова М.В. написана доступным языком, корректным в научном и творческом отношении. Материалы и результаты исследований изложены в полном объёме, достаточным для понимания,

четко, доступно и репрезентативно, что позволило автору раскрыть научно-техническую значимость диссертационной работы на необходимом квалификационном уровне. Замечаний, связанных с оформлением диссертации, нет.

Замечания по диссертационной работе

1. В работе упоминаются, но подробно не рассмотрены проблемы с качеством электроэнергии из-за наличия резонансных явлений во внутривзаводской сети на предприятиях АО «Северсталь – сортовой завод Балаково», ООО «Абинский 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 производился 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 частной 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 четырехклетьевого холодной прокатки ЧерМК ПАО «Северсталь» приводятся относительные изменения суммарных коэффициентов гармонических составляющих напряжения K_U , а также коэффициенты n -ых гармонических составляющих $K_{U(i)}$. Отмечено, что уменьшение значений K_U и $K_{U(i)}$ 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 цинкования, 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?

Заключение по диссертационной работе

Ведущая организация считает, что диссертация Буланова Михаила Викторовича является законченной научно-квалификационной работой, выполненной автором единолично. Приведенные выше дискуссионные положения могут быть полезны в дальнейшей научной деятельности Буланова М.В., а критические замечания не имеют принципиального характера и не снижают ценность диссертации.

Содержание диссертации соответствует паспорту научной специальности 05.09.03 – Электротехнические комплексы и системы. В диссертационной работе представлено решение актуальной задачи по обеспечению электромагнитной совместимости мощных электроприводов с

активными выпрямителями в системах электроснабжения с резонансными явлениями.

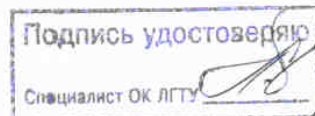
Диссертация соответствует всем требованиям, предъявляемым к кандидатским диссертациям в соответствии с п. 9-14 «Положения о присуждении ученых степеней от 24.09.2013 г. №842, а ее автор, Буланов Михаил Викторович, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.09.03 – Электротехнические комплексы и системы.

Диссертационная работа Буланова М.В. заслушана и обсуждена на заседании кафедры электропривода ФГБОУ ВО «Липецкий государственный технический университет» протокол заседания № 15 от 04 июля 2022 г.

Доцент кафедры
электропривода, доцент
кандидат технических наук

Шишлин Денис Иванович

Подпись Шишлина Д.И. заверяю:



Сведения об организации:

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Липецкий государственный технический университет».

Адрес: 398055, Россия, г. Липецк, ул. Московская, д. 30, Корпус Б: 398600, Россия г. Липецк, ул. Интернациональная, д.5.

Тел./факс: +7 (4742) 328-000 / +7 (4742) 310-473

E-mail: mailbox@stu.lipetsk.ru

Сайт: <https://www.stu.lipetsk.ru>

Кандидатская диссертация Шишлина Д.И. защищена по специальности 05.09.03 – Электротехнические комплексы и системы