

ОТЗЫВ

официального оппонента, доктора технических наук, профессора
Мещерякова Виктора Николаевича на диссертационную работу
Денисевича Александра Сергеевича «Повышение устойчивости электроприводов
прокатного стана при параллельной работе с дуговой сталеплавильной печью»,
представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по научной
специальности 2.4.2. Электротехнические комплексы и системы

Актуальность темы диссертационной работы

Современные электроприводы прокатных станов выполняются на базе высоковольтных преобразователей частоты с активными выпрямителями (ПЧ-АВ). Применение ПЧ-АВ обусловлено рядом преимуществ по сравнению с преобразователями частоты с неуправляемыми диодными или тиристорными выпрямителями, таких как:

- 1) работа с заданным коэффициентом мощности на входе преобразователя;
- 2) возможность двухстороннего обмена электрической энергией (рекуперация энергии в сеть, при тормозных режимах работы электропривода), улучшенный гармонический состав тока и напряжения в точке подключения ПЧ-АВ, за счет применения модифицированных алгоритмов широтно-импульсной модуляции (ШИМ) для управления транзисторами или тиристорами активного выпрямителя.

Опыт эксплуатации ПЧ-АВ показал, что существующие системы управления активных выпрямителей не адаптированы к несимметрии напряжения питающей сети. Несимметрия напряжения на уровне более 10% приводит к отключению ПЧ-АВ внутренними защитами преобразователя. В зарубежной и отечественной литературе рассмотрены несколько способов повышения надежности работы ПЧ-АВ при несимметрии напряжения питающей сети, например:

- 1) снятие импульсов управления с транзисторов активного выпрямителя на момент возникновения несимметрии напряжения (перевод АВ в диодный режим работы);
- 2) введение в канал управления предмодулирующего сигнала пропорционального третьей гармонике или напряжения обратной последовательности;
- 3) применение кинетического буферирования.

Необходимо отметить, что перечисленные способы позволяют сохранить устойчивую работу ПЧ-АВ при однофазных провалах напряжения глубиной до 20%.

Наиболее эффективным способом повышения устойчивости работы ПЧ-АВ при провалах напряжения глубиной до 30% является применение статического тиристорного компенсатора реактивной мощности (СТК), функционирующего в составе электросталеплавильного комплекса. Для реализации этого способа необходимо объединить

ЗАРЕГИСТРИРОВАНО В ОТДЕЛЕ ДЕЛОПРОИЗВОДСТВА ФГБОУ ВО «МГТУ им. Г.И.Носова»	
за № _____	_____
Дата регистрации _____	02.12.2024
Фамилия регистратора _____	_____

на параллельную работу дуговую сталеплавильную печь (ДСП) и главные электроприводы прокатного стана на базе ПЧ-АВ. Необходимо отметить, что ДСП является электроприемником с резкопеременным характером изменения нагрузки. Несмотря на наличие СТК на общих секциях электрической подстанции, от которой получает питание ДСП и электроприводы прокатного стана в режиме параллельной работы, могут возникать дополнительные колебания напряжения, которые негативным образом сказываются на работе главных электроприводов прокатного стана на базе ПЧ-АВ. Кроме того, при включении фильтрокомпенсирующих цепей (ФКЦ) СТК и включении печного трансформатора (ПТ) ДСП на холостом ходу, возникают сильные отклонения напряжения, которые также оказывают негативное влияние на работу системы управления АВ. В связи с этим является актуальной задача обеспечения устойчивой работы электроприводов прокатного стана на базе ПЧ-АВ при параллельной работе с ДСП, как при возмущениях, вызванных работой электроприемников с резкопеременной нагрузкой, так и при внешних возмущающих воздействиях со стороны электроэнергетической системы. Решение данной задачи имеет большую значимость для предприятий металлургической и горной промышленности, поскольку позволит повысить надёжность работы электротехнического и технологического оборудования прокатных станов.

Объем, структура и содержание диссертации

Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения, списка литературы и трех приложений.

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

В первой главе рассмотрены основные силовые схемы главных электроприводов прокатных станов на базе высоковольтных ПЧ-АВ, а также существующие системы управления активных выпрямителей в составе ПЧ-АВ. Проанализированы существующие способы сохранения устойчивости работы ПЧ-АВ при несимметричных провалах напряжения, обозначены их основные недостатки.

Вторая глава диссертационной работы посвящена экспериментальным исследованиям режимов работы главных электроприводов клетей стана горячей прокатки «1750» на базе ПЧ-АВ при однофазных провалах напряжения питающей сети. Проведен анализ влияния однофазных провалов напряжения питающей сети на переходные процессы, протекающие в ПЧ-АВ. Представлены результаты экспериментальных исследований режимов работы ДСП-250 с СТК 330 МВАр при работе печи на наиболее нестабильных стадиях плавки при отключенном и включенном СТК, а также при вклю-

чении ФКЦ СТК и ПТ ДСП на холостом ходу.

В третье главе диссертационной работы разработана усовершенствованная имитационная модель комплекса «ДСП-СТК-ПЧ-АВ», которая позволяет проводить исследования режимов работы ПЧ-АВ при возникновении провалов напряжения, а также исследования возможности совместной работы ДСП и ПЧ-АВ.

Четвертая глава диссертации посвящена проведению исследования режимов работы ПЧ-АВ при возникновении однофазных провалов напряжения в питающей сети глубиной 30% при демпфировании провалов напряжения во внутривзаводской сети за счет резервов реактивной мощности СТК. Проведены исследования возможности параллельной работы ПЧ-АВ и ДСП. Результаты исследования показали, что при включении ФКЦ СТК и ПТ на холостом ходу, возникают сильные колебания и провалы напряжения на секции шин 34,5 кВ, которые снижают устойчивость работы АВ и приводят к их отключению.

В пятой главе разработана усовершенствованная система управления активного выпрямителя в составе ПЧ-АВ с дополнительным контуром регулирования ортогональных составляющих тока обратной последовательности и внешним контуром регулирования сетевого тока реактивной составляющей прямой последовательности. Проведены исследования эффективности разработанной усовершенствованной системы управления при отклонениях и провалах напряжения питающей сети, вызванных коммутацией основного электрооборудования электросталеплавильного комплекса. Показана эффективность использования разработанной системы управления АВ при однофазных провалах напряжения глубиной до 30%, а при совместном использовании с СТК до 50%. За счет применения усовершенствованной системы управления активным выпрямителем и резервов реактивной мощности СТК, сохраняется устойчивая работа главных электроприводов стана горячей прокатки «1750» в 90% случаев всех провалов напряжения.

В заключении соискатель приводит основные выводы по совокупности результатов, достигнутых в ходе выполнения диссертационной работы.

В приложениях приведены характеристики электрооборудования исследуемых главных электроприводов прокатного стана 1750 и ДСП-250, акт об использовании результатов диссертационных исследований на металлургическом заводе ЗАО «ММК Metalurji».

Научная новизна и достоверность полученных результатов

Научная новизна результатов диссертационного исследования заключается в следующем:

1. Разработана имитационная модель электротехнического комплекса «ДСП-СТК-ПЧ-АВ», которая позволяет проводить исследования влияния несимметрии напряжения питающей сети на работу ПЧ-АВ, выполнять исследования режимов работы ПЧ-АВ при параллельной работе с ДСП, проводить исследования влияния коммутационных процессов при включении печного трансформатора ДСП на холостом ходу, а также при включении ФКЦ СТК.

2. Получены результаты исследований, доказывающие возможность параллельной работы главных электроприводов клетей стана горячей прокатки на базе ПЧ-АВ с электросталеплавильным комплексом.

3. Разработана усовершенствованная система управления АВ в составе ПЧ-АВ, с внешним контуром регулирования сетевого тока по реактивной составляющей и дополнительным контуром регулирования ортогональных составляющих тока обратной последовательности.

4. Получены результаты исследований, доказывающие эффективность разработанной усовершенствованной системы управления АВ при отклонениях напряжения, вызванных как со стороны внешней энергосистемы, так и при работе дуговой сталеплавильной печи.

Достоверность результатов научных исследований в данной диссертационной работе подтверждается: критическим анализом литературы, посвящённой повышению устойчивости работы ПЧ-АВ при возмущениях напряжения питающей сети, результатами имитационного моделирования и экспериментальных исследований с применением высокоточного оборудования на действующем оборудовании металлургического предприятия – ЗАО «ММК Metalurji» (Турция), а также апробацией основных научных результатов на научно-технических конференциях, опубликованием статей в научных реферируемых журналах, в том числе международных. Все теоретические положения и выводы в диссертации научно обоснованы.

Практическая значимость и ценность работы

Практическая значимость результатов диссертационной работы состоит в том, что усовершенствованная система управления активного выпрямителя (СУ АВ) с дополнительным контуром регулирования ортогональных составляющих тока обратной последовательности и внешним контуром регулирования сетевого тока по реактивной составляющей прямой последовательности в составе ПЧ-АВ обеспечивает сохранение устойчивости работы электроприводов прокатного стана при внешних провалах напряжения питающей сети, совместной работе с ДСП, коммутационных перенапряжениях и отклонениях напряжения, вызванных коммутацией основного электрооборудования

электросталеплавильного комплекса. Технический эффект от применения усовершенствованной СУ АВ позволяет сохранить устойчивую работу электроприводов прокатного стана на базе ПЧ-АВ в 75% случаев всех провалов напряжения питающей сети, а при совместном использовании усовершенствованной СУ АВ и резервов реактивной мощности СТК в 90% всех провалов напряжения, а также обеспечить устойчивую параллельную работу с ДСП.

Результаты диссертационной работы могут применяться на действующих промышленных предприятиях, где функционируют мощные электроприводы на базе многоуровневых ПЧ-АВ среднего напряжения и ДСП, работающих на одном уровне напряжения. Также результаты диссертации могут быть использованы на предприятиях, где осуществляется разработка и производство высоковольтных полупроводниковых преобразователей частоты для применения в составе автоматизированного электропривода промышленных агрегатов, работающих в условиях несимметричного напряжения питающей сети.

Публикации по работе

Основные положения диссертации в достаточном объеме изложены в 9 печатных работах, из них: 3 статьи в журналах, рекомендованных ВАК РФ, 3 статьи в изданиях, входящих в систему цитирования Scopus. Получены 1 патент на изобретение и 2 свидетельства о государственной регистрации программы для ЭВМ. В представленных публикациях достаточно отражены все основные положения и выводы диссертационной работы.

Соответствие содержания автореферата содержанию диссертации

Автореферат в полной мере отражает основные положения, идеи и выводы диссертации. Материалы автореферата дают полное представление о научных результатах работы.

Замечания

1. В 1-ой главе при анализе существующих способов сохранения устойчивости работы ПЧ-АВ рассматриваются системы управления активных выпрямителей, в которых применяются предмоделирующие сигналы по напряжению. За счет чего достигается повышение устойчивости работы ПЧ-АВ при их применении?

2. Во 2-ой главе идет сравнение режимов работы ДСП при включенном и отключенном СТК. Для рассматриваемой ДСП-250 возможна ли длительная работа без СТК?

3. Третья глава диссертационной работы посвящена разработке усовершенство-

ванной имитационной модели электротехнического комплекса «Дуговая сталеплавильная печь – СТК - ПЧ - АВ», в котором модель дуги представлена по методу Тельного (с помощью противо-ЭДС). Рассматривались ли другие способы моделирования электрической дуги, например с помощью уравнения Касси?

4. В 4-ой главе диссертации приведено сравнение переходных процессов сетевых токов и напряжения в звене постоянного тока АВ при провалах напряжения при существующей СУ АВ, а также при использовании СТК с усовершенствованной системой управления. Нет подробного описания усовершенствованной системы управления СТК для демпфирования провалов напряжения.

5. В работе разработана усовершенствованная СУ АВ с дополнительным контуром регулирования ортогональных составляющих тока обратной последовательности и внешним контуром регулирования сетевого тока по реактивной составляющей прямой последовательности при использовании алгоритма ШИМ с удалением выделенных гармоник. Возможно использование в разработанной СУ АВ других алгоритмов ШИМ, например, ШИМ с фиксированными углами переключений?

6. По какой причине система управления СТК не обеспечивает демпфирование перенапряжений при включении фильтров высших гармоник в составе ФКЦ? В 4-ой главе диссертации показано, что при внешних провалах напряжения СТК снижает уровень отклонения напряжения сети за счет регуляторов напряжения, а при включении фильтров гармоник данная возможность отсутствует.

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

Заключение

Диссертационная работа Денисевич Александра Сергеевича «Повышение устойчивости электроприводов прокатного стана при параллельной работе с дуговой сталеплавильной печью» представляет собой законченную научно-квалификационную работу, содержащую новое решение актуальной научно-технической задачи по обеспечению устойчивой работы электроприводов на базе ПЧ-АВ при возмущениях напряжения питающей сети.

Диссертационная работа Денисевича А.С. соответствует пунктам 1,3,4 паспорта научной специальности 2.4.2. Электротехнические комплексы и системы (п.1. Развитие общей теории электротехнических комплексов и систем, анализ системных свойств и связей, физическое, математическое, имитационное и компьютерное моделирование компонентов электротехнических комплексов и систем, включая электромеханические,

электромагнитные преобразователи энергии и электрические аппараты, системы электропривода, электроснабжения и электрооборудования; п.3. Разработка, структурный и параметрический синтез, оптимизация электротехнических комплексов, систем и их компонентов, разработка алгоритмов эффективного управления; п.4. Исследование работоспособности и качества функционирования электротехнических комплексов, систем и их компонентов в различных режимах, при разнообразных внешних воздействиях, диагностика электротехнических комплексов).

Представленная диссертационная работа «Повышение устойчивости электроприводов прокатного стана при параллельной работе с дуговой сталеплавильной печью» соответствует всем требованиям, предъявляемым к кандидатским диссертациям в соответствии с пунктами 9-14 «Положения о присуждении ученых степеней» (постановление Правительства РФ №842 от 24 сентября 2013 г. в редакции от 25.01.2024), а её автор, Денисевич Александр Сергеевич, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.4.2. Электротехнические комплексы и системы.

Официальный оппонент

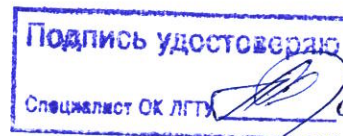
Заведующий кафедрой автоматизированного электропривода и робототехники
ФГБОУ ВО «ЛГТУ», д-р техн. наук, профессор

(докторская диссертация Мещерякова В.Н.
защищена по научной специальности 05.09.03 –
Электротехнические комплексы и системы)

Мещеряков Виктор Николаевич

25.11.2024

Подпись Мещерякова Виктора Николаевича заверяю



25.11.2024

Сведения об организации:

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Липецкий государственный технический университет"
Адрес: 398055, Россия, г. Липецк, ул. Московская, д. 30
Тел./факс: +7 (4742) 328-000 / +7 (4742) 310-473
E-mail: mailbox@stu.lipetsk.ru
Сайт: <https://www.stu.lipetsk.ru/>

