

## ОТЗЫВ

на автореферат диссертации Денисевича Александра Сергеевича на тему:  
«Повышение устойчивости электроприводов прокатного стана при параллельной работе с дуговой сталеплавильной печью», представленной на соискание ученой степени кандидата наук по специальности 2.4.2. Электротехнические комплексы и системы

В последние годы регулируемые электроприводы промышленных механизмов выполняются на базе высоковольтных асинхронных и синхронных электродвигателях и преобразователей частоты с активными выпрямителями (ПЧ-АВ), в том числе и электроприводы клетей прокатных станов. Управление силовыми ключами активных выпрямителей осуществляется с помощью системы управления и широтно-импульсной модуляции (ШИМ). Системы управления активными выпрямителями (АВ) выполняются двухконтурными с внутренним контуром регулирования токов во вращающейся системе координат  $d-q$  и внешним контуром регулирования напряжения в звене постоянного тока. Контур регулирования ортогональных составляющих токов не адаптированы к протеканию токов обратной последовательности, вызванных несимметрией питающего напряжения более 10-20%. В связи с этим при несимметричных провалах напряжения питающей сети из-за однофазных коротких замыканий во внешней энергосистеме происходит нарушение устойчивости работы электроприводов на базе ПЧ-АВ и их аварийное отключение.

Существующие способы снижения негативного влияния несимметричных провалов напряжения на работу ПЧ-АВ имеют ограниченный технический эффект, не позволяющий сохранить устойчивую работу ПЧ-АВ при провалах напряжения питающей сети более 20%. Наиболее действенным техническим решением по демпфированию провалов напряжения во внутривоздушной электрической сети 6-35 кВ является использование статических тиристорных компенсаторов (СТК) со специальными алгоритмами управления, способными осуществлять пофазное регулирование напряжения питающей сети. Установка отдельных СТК в системах электроснабжения электроприводов прокатных станов на базе ПЧ-АВ возможна, но требует значительных капитальных затрат. По этой причине рядом исследователей предложен вариант использования существующих заводских СТК, функционирующих в системах электроснабжения мощных и сверхмощных дуговых сталеплавильных печей (ДСП). Номинальные мощности таких СТК составляют 100-330 МВАр, что позволяет обеспечивать компенсацию провалов напряжения за счет кратковременного генерирования реактивной мощности в питающую сеть. В этом случае электроприводы прокатного стана необходимо объединить на параллельную работу с ДСП и СТК. Однако при питании ПЧ-АВ и ДСП от общих секций главной понизительной подстанции предприятия возникают дополнительные искажения напряжения, создаваемые работой ДСП и процессами включения печного трансформатора и фильтров высших гармоник СТК. Данные искажения напряжения оказывают негативное влияние на работу системы управления АВ. По этой причине необходима разработка усовершенствованной системы управления АВ в составе ПЧ-АВ электроприводов прокатных станов, которая обеспечит устойчивую работу силовых преобразователей при указанных выше условиях.

В диссертационной работе Денисевича А.С. поставлены и решены следующие задачи:

1. Проведены экспериментальные и теоретические исследования влияния несимметрии напряжения питающей сети на работу ПЧ-АВ в составе электроприводов клетей стана горячей прокатки 1750 ЗАО «ММК Metalurji» при внешних провалах напряжения и параллельной работе с ДСП.

|                                 |            |
|---------------------------------|------------|
| ФГБОУ ВО «МГТУ им. Г.И. Носова» |            |
| за № _____                      |            |
| Дата регистрации                | 05.12.2024 |
| Фамилия регистратора            |            |



2. Выполнена разработка усовершенствованной имитационной модели комплекса «ДСП-СТК-ПЧ-АВ» для проведения исследования влияния несимметрии напряжения питающей сети на работу ПЧ-АВ при параллельной работе с ДСП.

3. Проведены теоретические исследования возможности параллельной работы ПЧ-АВ и ДСП.

4. Разработана усовершенствованная система управления АВ в составе ПЧ-АВ, обеспечивающая необходимую устойчивость при возмущениях, вызванных работой электросталеплавильного комплекса, с дополнительным контуром регулирования тока по реактивной составляющей, а также с отдельным регулированием ортогональных составляющих токов по прямой и обратной последовательностям.

5. Проведена оценка эффективности разработанной системы управления активным выпрямителем для повышения устойчивости работы ПЧ-АВ при включении печного трансформатора, а также при включении фильтров высших гармоник. Выполнена оценка результирующего эффекта повышения устойчивости работы ПЧ-АВ при совместном использовании СТК и разработанной системы управления АВ.

Основными полученными результатами, обладающими научной новизной, значимостью для теории и практики, являются:

1. Разработанная имитационная модель комплекса «ДСП-СТК-ПЧ-АВ», позволяющая проводить исследования влияния несимметрии напряжения питающей сети на работу ПЧ-АВ, исследования возможности параллельной работы ДСП и электроприводов на базе ПЧ-АВ.

2. Результаты теоретических исследований, доказывающие возможность параллельной работы ПЧ-АВ и ДСП.

3. Разработанная усовершенствованная система управления АВ с дополнительным контуром регулирования тока по реактивной составляющей, а также с отдельным регулированием ортогональных составляющих токов по прямой и обратной последовательностям.

4. Результаты исследования эффективности усовершенствованной системы управления АВ, доказывающие наличие технического эффекта по повышению устойчивости ПЧ-АВ при внешних провалах напряжения питающей сети и параллельной работе с ДСП.

Применение результатов диссертационной работы на практике позволяет повысить устойчивость работы электроприводов прокатных станов на базе ПЧ-АВ при внешних провалах напряжения и колебаниях напряжения при работе ДСП, что обеспечивает снижение аварийных отключений электроприводов. Для рассматриваемого в качестве примера электротехнического комплекса, функционирующего на металлургическом предприятии ЗАО «ММК Metalurji», использование результатов диссертации позволило снизить количество аварийных отключений в 90% случаев всех провалов напряжения.

Вопросы по автореферату:

1. Как на имитационной модели проводились исследования режимов работы ПЧ-АВ при коммутационных перенапряжениях, вызванных включением фильтров высших гармоник в составе СТК? Использовались ли полученные экспериментальные массивы мгновенных значений напряжения сети 34,5 кВ или производилось прямое моделирование включения фильтров высших гармоник с известными параметрами с расчетом мгновенных значений токов и напряжений?

2. Нужно ли после добавления дополнительного контура регулирования ортогональных составляющих тока обратной последовательности производить перенастройку контура регулирования напряжения в звене постоянного тока ПЧ-АВ.

Указанные замечания не являются принципиальными и не влияют на положительную оценку работы. Диссертация Денисевича А.С., представленная на соискание ученой степени кандидата технических наук, является законченной научной



работой, отвечает всем требованиям в соответствии с пунктами 9 – 14 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного Постановлением Правительства РФ №842 от 24 сентября 2013 г. в редакции от 25 января 2024 г. Автор диссертационной работы Денисевич Александр Сергеевич заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по научной специальности 2.4.2. Электротехнические комплексы и системы.

Профессор кафедры «Электроэнергетика, электроснабжение и силовая электроника» ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева», доктор технических наук, профессор

Вагин Геннадий Яковлевич

Заведующий кафедрой «Электроэнергетика, электроснабжение и силовая электроника» ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева», кандидат технических наук, доцент

Севостьянов Александр Александрович

«28» 11 2024 г.

Докторская диссертация Вагина Г.Я. защищена по специальности 05.14.02 - «Электрические станции и электроэнергетические системы».

Кандидатская диссертация Севостьянова А.А. защищена по специальности 05.09.03 - «Электротехнические комплексы и системы».

**Сведения об организации:**

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева»

Адрес: 603155, г. Нижний Новгород, ул. Минина, 24

Тел./факс: +7 (831) 432-91-85, +7(831)436-94-75

E-mail: [nntu@nntu.ru](mailto:nntu@nntu.ru)

Сайт: <https://www.nntu.ru>

Подписи Вагин Геннадий Яковлевич и Севостьянова Александра Александровича заверяю:

*С.Г. Зисманер* *М.А. Марченко*

*А.В. Н.М.М.*

