

## ОТЗЫВ

официального оппонента

о диссертационной работе **Веприкова Антона Андреевича**  
**«Обоснование структуры и параметров высокоэффективных  
электротехнических комплексов для электропитания промышленных  
потребителей постоянного тока большой мощности»**, представленной на  
соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности  
05.09.03 – Электротехнические комплексы и системы

Представленная на отзыв диссертация изложена на 133 страницах текста, содержащих введение, четыре главы, заключение, библиографический список из 102 наименований и два приложения.

### **Актуальность темы диссертационной работы**

В промышленности широко применяются мощные (до 1000 МВт) выпрямительные комплексы, осуществляющие электропитание различных потребителей: установки электролиза цветных и редкоземельных металлов, электрохимическая и термическая обработка материалов, электропривод транспорта, сталепрокатные станы и т.д. Требования к преобразовательным комплексам включают в себя достаточно широкий диапазон выходных значений тока при условии жесткого поддержания напряжения, и традиционным способом исполнения выпрямительных агрегатов является схема на основе силовых тиристоров или диодов с управляемыми дросселями насыщения. Использование распространенных в настоящее время управляемых выпрямительных агрегатов с системами точной стабилизации тока на основе дросселей и силовых тиристоров приводит к увеличению потребления реактивной мощности и росту искажений синусоидальности тока и напряжения в точке подключения преобразовательного комплекса к питающей электрической сети. Генерация в питающую сеть высших гармоник напряжения и пониженный коэффициент мощности преобразовательного комплекса, неблагоприятно меняющийся при регулировании напряжения нагрузки являются значительным недостатком подобных установок. Подавление высших гармонических достигается применением фильтрокомпенсирующих устройств, а для регулирования напряжения традиционным решением является использование трансформаторов с расщеплёнными обмотками и устройствами переключе-

ния витков под нагрузкой (РПН); указанные мероприятия обуславливают повышение установленной мощности трансформаторов и расширение объемов используемого оборудования.

В то же время прогресс в области силовой полупроводниковой техники, связанный с внедрением полностью управляемых приборов, позволил значительно повысить их мощность, обратные напряжения и коммутируемые токи, что делает возможным использование в электротехнических комплексах большой мощности так называемых активных преобразователей. Применение активных преобразователей позволяет снизить уровень высших гармонических искажений и минимизировать потребление реактивной мощности, что может привести к улучшению электромагнитной совместимости преобразовательного комплекса с сетью при одновременном уменьшении мощности трансформаторного оборудования. Однако, применение подобных установок требует изучения закономерностей их рационального регулирования, позволяющего существенно повысить их эффективность. Сказанное подчеркивает актуальность и важность рассмотренных в диссертационной работе Веприкова А.А. вопросов.

### **Научная новизна и результаты диссертационной работы**

Новизна представленных автором научных положений заключается в следующем:

– выполнен структурный анализ существующих и перспективных схем выпрямительных установок и основных параметров их влияния на питающие сети; показано, что применение активных преобразователей для регулирования параметров нагрузки позволяет отказаться от устройств РПН силовых трансформаторов и уменьшить мощность трансформаторного оборудования на 20-40 %;

- на основе анализа электромагнитных процессов в элементах преобразовательного комплекса разработана структура системы управления, выполняющей синхронизацию фаз основных гармоник тока и напряжения и снижающей их несинусоидальность в точке подключения к энергосистеме независимо от отклонений амплитуды и частоты сетевого напряжения и технологических режимов нагрузки;

– предложена методика снижения гармонических искажений при работе большого количества активных выпрямителей путём фазового сдвига



коммутационных искажений отдельных выпрямителей относительно друг друга.

– получены зависимости количества преобразовательных секций в составе электротехнического комплекса и числа активных преобразователей в составе секции от полной потребляемой мощности, коэффициента полезного действия и коэффициента мощности преобразовательного комплекса, максимальной выходной мощности модуля полупроводниковых ключей, количества параллельных модулей в преобразователе и коэффициента их загрузки по току.

### **Степень обоснованности и достоверности научных положений, выводов и результатов**

Достоверность полученных в диссертационной работе научных положений, выводов и результатов подтверждается корректным использованием теории преобразовательной техники и силовой электроники, методов гармонического анализа, математического и имитационного моделирования с помощью пакета прикладных программ *Matlab Simulink*. Сходимость результатов теоретических и экспериментальных исследований составляет более 90 %.

### **Практическая значимость результатов работы**

В диссертационной работе решён ряд задач, имеющих практическую значимость для отраслей, связанных с проектированием и эксплуатацией преобразовательной техники, а именно:

– разработаны рекомендации по выбору структуры и параметров электротехнического комплекса с активными преобразователями для электропитания мощных промышленных потребителей постоянного тока при коэффициенте мощности 0,95-0,98 независимо от режимов работы нагрузки;

– экспериментально подтверждена возможность реализации электротехнического комплекса с активными преобразователями для питания промышленных потребителей мощностью до 0,5 МВА при параллельной работе нескольких активных преобразователей и силовых полупроводниковых ключей в их составе;

– разработана модель преобразовательного комплекса в программной

среде *Matlab Simulink*, с помощью которой подтверждена идея выполнения фазовой синхронизации основных гармоник сетевого тока и напряжения при одновременном уменьшении их несинусоидальности в точке подключения к электрической сети, независимо от колебаний параметров питающего напряжения и технологических режимов нагрузки.

### **Оценка содержания диссертации и автореферата**

Анализ диссертационной работы Веприкова А.А. показал, что тема диссертации соответствует п.3 *«Разработка, структурный и параметрический синтез электротехнических комплексов и систем, их оптимизация, а также разработка алгоритмов эффективного управления»* и п.4 *«Исследование работоспособности и качества функционирования электротехнических комплексов и систем в различных режимах, при разнообразных внешних воздействиях»* паспорта специальности 05.09.03 – Электротехнические комплексы и системы. В диссертации подробно раскрыты вынесенные на защиту научные положения, предложенные решения обладают новизной и хорошо аргументированы. Структура диссертации обладает внутренним единством, текст написан хорошим техническим языком и, не считая ряда неточностей, качественно оформлен. Автореферат диссертации и опубликованные работы соискателя в полной мере отражают выполненные исследования и полученные результаты.

### **Вопросы и замечания по диссертации**

При ознакомлении с диссертацией возникли следующие вопросы и замечания:

1. Справедливо ли утверждение (стр. 39) *«С целью уменьшить число этих элементов для минимизации затрат и габаритных размеров, количество модулей в преобразователях стремятся максимизировать.»*?

2. В каких пределах изменяется коэффициент токового дисбаланса в зависимости от тока перегруженного ключа и среднего тока ключа в параллельном соединении (стр. 38)?

3. Какова величина индуктивности ошиновки  $Q_{III}$  по сравнению с другими членами в уравнении (3.4)? Есть ли необходимость в ее учете?

4. Как объяснить перекося фазных сопротивлений (стр.69) и вызванные этим фактором неблагоприятные эффекты, если «питание вакуумных дуго-

вых печей производится по 12 одножильным кабелям, собранным в три пучка по 4 жилы»?

5. Можно ли количественно определить требование «повышение жесткости системы электроснабжения»? (стр.94)

6. Каков диапазон изменений амплитуды и частоты напряжения управляемого трёхфазного источника питания, применяемого при моделировании активного выпрямителя в среде *Matlab Simulink* (стр. 100)?

7. Требуется пояснить зависимость степени компенсации потребляемой из сети реактивной мощности и снижения уровня гармонических искажений от числа преобразователей и частоты несущего сигнала в предложенной структуре электротехнического комплекса (стр. 65 и 111)?

8. При ознакомлении с работой возник ряд редакционных замечаний:

8.1. использование некорректных выражений: «повышающий и понижающий выпрямитель», «зарегулированный режим» и т.д.;

8.2. преобразование системы трехфазных переменных к ортогональной вращающейся системе координат в технической литературе носит название преобразования Blondеля, а не Парка-Горева;

8.3. имеются неточности в системе уравнений (2.7);

8.4. в передаточной функции (2.18)  $\tau$  – это не коэффициент, а постоянная времени.

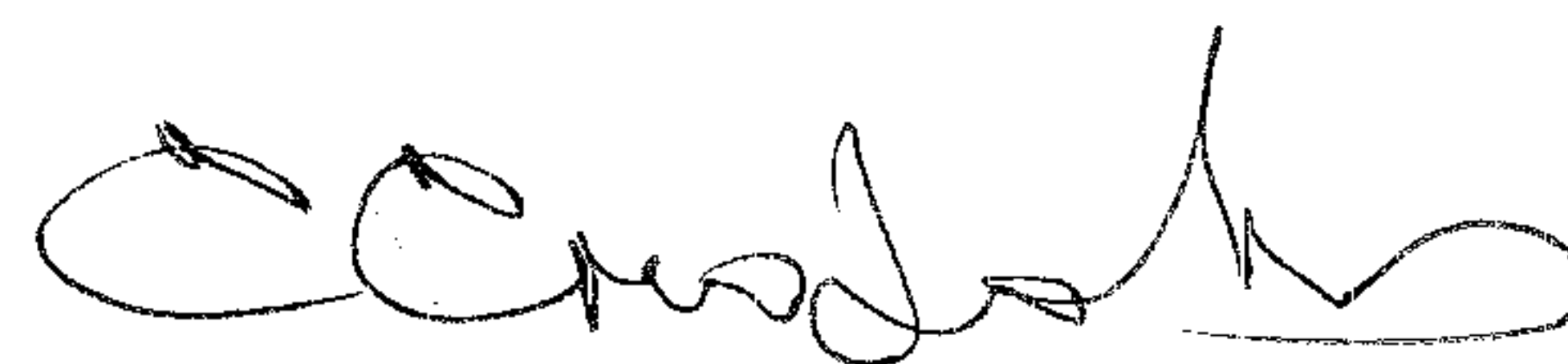
Данные замечания носят характер уточнений и не влияют на общий положительный результат оценки диссертационной работы.

### **Заключение**

Диссертационная работа Веприкова А.А. на тему «Обоснование структуры и параметров высокоэффективных электротехнических комплексов для электропитания промышленных потребителей постоянного тока большой мощности» является завершённой научно-квалификационной работой, посвящённой решению актуальной научно-технической задачи повышения эффективности преобразовательных комплексов для электропитания мощных промышленных потребителей постоянного тока, имеющей существенное значение для обеспечения энергоэффективного электроснабжения потребителей и снижения себестоимости продукции на предприятиях металлургического и минерально-сырьевого комплекса. Диссертационная работа удовлетворяет требованиям п. 9 «Положения о порядке присуждения ученых степе-



ней» (утверждено Правительством Российской Федерации от 24 сентября 2013 года № 842; изменения, утвержденные Правительством Российской Федерации от 21 апреля 2016 года № 335), предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук, а её автор Веприков Антон Андреевич заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.09.03 – Электротехнические комплексы и системы.



Официальный оппонент,  
доктор технических наук, профессор

СМОЛОВИК С.В.

17.01.2018 г.

#### **Данные официального оппонента**

Смоловик Сергей Владимирович, доктор технических наук, профессор, заместитель заведующего отделом проектирования и развития энергосистем акционерного общества «Научно-технический центр Единой энергосистемы».

Почтовый адрес: 194223, г. Санкт-Петербург, ул. Курчатова, д. 1, лит. А.

Тел.: +7 (812) 941-65-55. E-mail: smol401@yandex.ru.