

В диссертационный совет 24.2.324.05  
ФГБОУ ВО «МГТУ им. Г.И. Носова»  
455000, Челябинская область,  
г. Магнитогорск, пр. Ленина, 38

### ОТЗЫВ

на автореферат диссертации Афанасьева Максима Юрьевича  
«Обеспечение электромагнитной совместимости мощных электроприводов с активными выпрямителями за счет применения специализированных пассивных фильтров» на соискание ученой степени кандидата технических наук по научной специальности 2.4.2. Электротехнические комплексы и системы

В настоящее время значительное количество научных публикаций в отечественных и зарубежных научных изданиях посвящено исследованию работы преобразователей частоты с активными выпрямителями (ПЧ-АВ) в составе электроприводов переменного тока большой мощности, а также анализу эффективности работы различных алгоритмов широтно-импульсной модуляции (ШИМ) для АВ. Эффективность алгоритма ШИМ АВ напрямую влияет на уровень и спектр высших гармоник сетевого тока ПЧ-АВ, которые, в свою очередь, могут оказывать негативное воздействие на качество напряжения в электрической сети, что ухудшает электромагнитную совместимость ПЧ-АВ с питающей сетью. Особо остро данная проблема возникает на небольших металлургических предприятиях с одной главной понизительной подстанцией (ГПП) и протяженными кабельными линиями распределительной сети среднего напряжения. В этих случаях из-за большой суммарной емкости кабелей в частотной характеристике сети могут возникать опасные резонансы токов в области генерирования высокочастотных гармоник сетевого тока ПЧ-АВ, что приводит к сильному гармоническому искажению напряжения на секциях ГПП и негативному влиянию на надежность работы других чувствительных электроприемников.

Проблема ЭМС ПЧ-АВ может быть решена двумя основными способами: 1) за счет применения модифицированных алгоритмов ШИМ АВ или специальных систем управления АВ с динамическим выбором таблиц углов переключения в зависимости от режима работы электропривода, обеспечивающих оптимальный гармонический состав тока ПЧ-АВ; 2) за счет применения специальных фильтрокомпенсирующих устройств (ФКУ), оказывающих непосредственное влияние на частотную характеристику питающей сети. В первом случае необходим доступ к изменению параметров ШИМ-контроллеров и систем управления АВ, что в условиях действующего производства несколько затруднено. Во втором случае известные типы ФКУ не всегда обеспечивают необходимый эффект по фильтрации высокочастотных гармоник ПЧ-АВ, особенно в случаях, когда в частотной характеристике сети резонанс тока расположен в широком диапазоне частот. По этой причине актуальной задачей является разработка специального ФКУ, который, в отличие от известных типов силовых фильтров, обладает необходимыми свойствами по коррекции частотной характеристике питающей сети при любых формах резонанса тока.

В диссертации Афанасьева М.Ю. получены следующие научные результаты:

1. Разработан новый способ обеспечения ЭМС мощных электроприводов с ПЧ-АВ за счет применения специализированного пассивного фильтра (СПФ),

ЗАРЕГИСТРИРОВАНО В ОТДЕЛЕ ДЕЛОПРОИЗВОДСТВА ФГБОУ ВО «МГТУ им. Г.И. Носова»	
за № _____	_____
Дата регистрации	11.03.2024
Фамилия регистратора	_____



обеспечивающего необходимую коррекцию частотной характеристики питающей сети за счет сдвига резонанса токов в безопасную область, где отсутствуют высокочастотные гармоники, генерируемые ПЧ-АВ.

2. Разработана методика расчета оптимальных параметров СПФ (номинальная мощность, параметры индуктивностей и емкостей), при которых достигается наилучший эффект по снижению суммарного коэффициента гармонических составляющих напряжения  $K_U$  в точке общего присоединения заводских электроприемников.

3. Разработана усовершенствованная имитационная модель системы внутривзаводского электроснабжения металлургического предприятия и мощных ПЧ-АВ в составе электроприводов скоростных проволочных блоков сортового прокатного стана, предназначенная для определения параметров и исследования режимов работы СПФ.

4. Проведены экспериментальные исследования показателей качества электроэнергии в системе внутривзаводского электроснабжения завода АО «Металлургический завод Балаково» с мощными электроприводами клеток сортового стана на базе ПЧ-АВ, которые подтвердили эффективность применения СПФ для улучшения качества напряжения в сети 10 кВ.

Вышеуказанные результаты являются новыми, обладают практической и теоретической значимостью.

Результаты диссертационной работы внедрены на АО «Металлургический завод Балаково» в виде изготовленного устройства СПФ, параметры которого были рассчитаны по разработанной методике. Использование СПФ позволило уменьшить значение суммарного коэффициента искажения синусоидальности кривой напряжения для наихудшего режима электроснабжения  $K_U$  с 10,3% до 2,7% (в 3,8 раза), благодаря чему удалось исключить возникновение аварийных ситуаций для чувствительных заводских электроприемников.

При анализе автореферата диссертации были выявлены следующие замечания:

1. При какой критической величине амплитуды резонанса тока в частотной характеристике питающей сети необходимо использовать специализированные пассивные фильтры для снижения суммарного коэффициента искажения синусоидальности кривой напряжения  $K_U$  на общих секциях главной понизительной подстанции предприятия?

2. В автореферате сказано, что при реализации имитационной модели электроприводов с активными выпрямителями Toshiba – Mitsubishi 2×2,5 МВт и 1×6,3 МВт использовались реальные настройки ШИМ с фиксированными углами переключения силовых ключей (алгоритм Fixed Pattern Control PWM), при этом сказано, что значения углов переключения получены на основе экспериментальных данных. Не совсем понятно, как на основе анализа формы мгновенного значения напряжения 3,3 кВ на входе АВ можно восстановить фактические углы переключения для IEGT-транзисторов, используемых в АВ.

3. В автореферате на рис. 8 отмечен граничный уровень коэффициента  $K_U = 5\%$ , при котором достигается устойчивая параллельная работа мощных электроприводов с активными выпрямителями и чувствительных электроприемников. Чем обосновано данное граничное значение  $K_U$  и до какой гармоники ведется расчет этого коэффициента: до 40-ой, как в ГОСТ 32144-2013 и

ли до 150-ой, как при проведении экспериментальных и теоретических исследований?

Указанные замечания не снижают общей положительной оценки работы.

Результаты исследований, изложенные в диссертации, обладают научной новизной и практической значимостью, апробированы на международных научно-технических конференциях и представлены в рецензируемых периодических изданиях ВАК РФ. Диссертационная работа «Обеспечение электромагнитной совместимости мощных электроприводов с активными выпрямителями за счет применения специализированных пассивных фильтров» соответствует п. 9-14 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного постановлением № 842 Правительства РФ от 24 сентября 2013 г., а ее автор Афанасьев Максим Юрьевич заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по научной специальности 2.4.2. Электротехнические комплексы и системы.

Профессор кафедры  
"Электропривод,  
мехатроника и  
электромеханика", доцент,  
доктор технических наук



Дудкин Максим Михайлович

Докторская диссертация Дудкина М.М. защищена по специальности 05.09.12 – Силовая электроника

Подпись Дудкина М.М. заверяю:



ВЕРНО  
Начальник службы  
делопроизводства ЮУФУ  
Н.Е. Цибулина



**Сведения об организации:**

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Южно-Уральский государственный университет (национальный исследовательский университет)»

Адрес: 454080, Уральский федеральный округ, Челябинская область, г. Челябинск, просп. В.И. Ленина, д. 76, телефон: +7 (351) 267-99-00, e-mail: info@susu.ru, сайт: <https://www.susu.ru/>