

УТВЕРЖДАЮ:

Проректор по науке и инновациям Федерального
государственного автономного образовательного
учреждения высшего образования «Национальный
исследовательский технологический университет

«МИСИС»

М.Р. Филонов

« 25 » января 2024 г.



ОТЗЫВ

ведущей организации – Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС» на диссертационную работу Афанасьева Максима Юрьевича «Обеспечение электромагнитной совместимости мощных электроприводов с активными выпрямителями за счёт применения специализированных пассивных фильтров», представленную на соискание учёной степени кандидата технических наук по специальности 2.4.2. «Электротехнические комплексы и системы»

1. Актуальность темы диссертации

Диссертация Афанасьева Максима Юрьевича посвящена решению важной научной задачи обеспечения электромагнитной совместимости (ЭМС) мощных электроприводов с активными выпрямителями.

Современные преобразователи частоты с активными выпрямителями (ПЧ-АВ) с применением широтно-импульсной модуляции генерируют высокочастотные гармоники напряжения и тока с номерами выше 40-й. В результате взаимодействия индуктивностей сетевых трансформаторов и емкостей кабельных линий возникают резонансные явления в частотной характеристике сети, которые могут усилиться при наличии высокочастотных

ЗАРЕГИСТРИРОВАНО В ОТДЕЛЕ ДЕЛОПРОИЗВОДСТВА ФГБОУ ВО «МГТУ им. Г.И.Носова»
за № _____
Дата регистрации <u>05.02.2024</u>
Фамилия регистратора _____

гармоник в сети, создаваемых преобразователями частоты с активными выпрямителями. Следствием этого являются сильные искажения напряжения на общих секциях распределительных устройств. Из-за ухудшения качества напряжения на секциях РУ возможны аварийные ситуации, связанные с отключением и выходом из строя электроприёмников, чувствительных к возникающим помехам. Существующие способы борьбы с резонансными явлениями в электрических сетях среднего напряжения, в которых присутствуют нелинейные приемники, такие как мощные приводы прокатных станков с ПЧ-АВ, применяемые в системах электроснабжения металлургических предприятий, не всегда позволяют получить требуемое качество электроэнергии. Одним из способов решения данной проблемы является применение классических традиционных фильтрокомпенсирующих устройств (ФКУ). Однако во многих случаях применение традиционных ФКУ для устранения искажений напряжения на секциях 6-35 кВ не оказывает должного эффекта. Установка таких ФКУ может привести к усилению промежуточных гармоник. Эти гармоники приводят к искажению формы напряжения при наложении частотной характеристики распределительной сети с областью высокочастотных гармоник, генерируемых современными ПЧ-АВ. В связи с этим актуальной задачей является разработка нового способа обеспечения ЭМС мощных ПЧ-АВ в условиях наличия резонансов токов в частотной характеристике питающей сети за счет применения специализированного корректирующего фильтра для обеспечения сдвига резонансов токов в безопасную область частотной характеристики сети 10 кВ, где отсутствуют значимые гармоники силовых преобразователей.

Поэтому исследования, направленные на разработку нового способа обеспечения ЭМС мощных ПЧ-АВ в условиях наличия резонансов токов в частотной характеристике питающей сети за счет применения специализированного пассивного фильтра (СПФ) для обеспечения сдвига резонансов токов в безопасную область частотной характеристики сети 10 кВ, являются актуальными.

2. Научная и практическая значимость результатов диссертационного исследования

Научная значимость работы состоит в разработке:

– способа обеспечения ЭМС мощных электроприводов с ПЧ-АВ, который отличается от известных тем, что для улучшения показателей качества электроэнергии во внутриводской распределительной сети среднего напряжения осуществляется сдвиг частоты резонанса тока в частотной характеристике питающей сети в безопасную область, где отсутствует наложение высокочастотных гармоник ПЧ-АВ, за счет применения СПФ;

– методики выбора параметров СПФ, учитывающей резонансные явления в питающей сети и позволяющей определить оптимальные параметры СПФ, обеспечивающие наилучшее качество напряжения в точке общего присоединения заводских электроприемников;

– имитационной модели распределительной сети 10 кВ системы электроснабжения металлургического завода с электроприводами сортового стана на базе ПЧ-АВ, позволяющей выполнять анализ режимов работы СПФ;

Практическая значимость работы состоит в улучшении показателей качества электроэнергии:

– во внутриводских распределительных сетях среднего напряжения с мощными электроприводами с активными электроприводами за счёт применения специализированных пассивных фильтров;

– на общих секциях заводской подстанции, и тем самым уменьшении аварийных ситуаций, связанных с выходом из строя чувствительных к качеству электроэнергии электроприемников.

Результаты диссертационной работы внедрены на металлургическом заводе АО «Металлургический завод Балаково». Экспериментально подтверждено уменьшение суммарного коэффициента гармонических составляющих напряжений при применении специализированного пассивного фильтра, что позволило обеспечить нормальную работу других электроприемников, получающих питание от общей секции ГПП 10 кВ.

Обоснованность и достоверность научных положений и выводов подтверждаются:

- научно-обоснованной постановкой задач исследования;
- имитационным моделированием распределительных сетей металлургических заводов и систем автоматизированного ЭП на базе ПЧ-АВ, которые базируются на основных принципах теорий автоматического управления, электрических цепей, автоматизированного электропривода, преобразовательной техники;
- сравнением результатов компьютерного моделирования с результатами экспериментальных исследований.

При изучении причин возникновения резонансных явлений использовались экспериментальные данные, полученные в ходе проведения научно-исследовательской работы на металлургическом заводе АО «Металлургический завод Балаково».

3. Апробация работы и публикации

Положения и основные результаты диссертационной работы неоднократно докладывались и обсуждались на международных научно-технических конференциях.

Результаты диссертационной работы опубликованы в 14 научных трудах, включая 3 научные статьи из перечня ВАК РФ, 5 научных статей в изданиях, индексируемых в базе Scopus. Опубликовано научная монография и получено свидетельство о регистрации программы для ЭВМ.

Опубликованные по результатам исследования материалы достаточно полно отражают основное содержание диссертации, имеются ссылки на авторов и источники заимствования материалов.

4. Рекомендации по использованию результатов и выводов диссертации

Разработанная методика расчета параметров пассивного фильтра,

включающая в себя имитационную модель системы внутриводского электроснабжения и методику определения оптимальной мощности пассивного фильтра; может быть рекомендована к использованию в организациях, занимающихся проектированием электротехнических систем для принятия обоснованных решений по обеспечению электромагнитной совместимости мощных электроприводов с активными выпрямителями на этапе проектирования и эксплуатации электротехнических комплексов и систем.

Разработанный способ обеспечения электромагнитной совместимости мощных электроприводов с активными выпрямителями с питающей сетью 6-35 кВ за счет применения специализированных пассивных фильтров рекомендуется для применения в промышленных электрических сетях для решения задач поддержки технического состояния электротехнического оборудования.

5. Соответствие содержания диссертации автореферату

Автореферат полностью отражает содержание диссертационной работы, содержит информацию об основных положениях и выводах диссертационного исследования, позволяет сделать заключение о научном уровне работы, ее содержанию и полностью отражает научные положения, результаты, основные выводы, научную новизну и практическую значимость диссертации.

6. Замечания по диссертационной работе:

1. В работе рассмотрен случай улучшения ЭМС мощных электроприводов на базе ПЧ-АВ с питающей сетью за счет смещения единственного резонанса тока в частотной характеристике сети при помощи СПФ. Будет ли достигнут необходимый технический эффект по снижению суммарного коэффициента искажений синусоидальности кривой напряжения K_U на общих секциях заводской ГПП за счет использования СПФ при наличии в частотной характеристике сети множественных резонансов тока?

2. Применение конденсаторов в составе пассивного фильтра может

привести к превышению напряжения в системе электроснабжения выше допустимого значения.

3. В главе 5 диссертации показано, что при использовании СПФ происходит смещение основного резонанса токов в частотной характеристике сети 10 кВ в низкочастотную область. Несмотря на значительное уменьшение суммарного коэффициента K_U на секциях ЗРУ-10 кВ заводской ГПП, смещение резонанса вызывает усиление амплитуд гармоник напряжения в низкочастотной области 550-650 Гц (гармоники с $n = 11$ и 13). Возможно ли совместное использование СПФ с обычными одночастотными фильтрами высших гармоник, настроенными на классические низкочастотные гармоники, генерируемые силовыми преобразователями? Будет ли в этом случае достигаться больший технический эффект по снижению коэффициента K_U ?

4. Из работы не понятно, почему использование встроенных в преобразователь частоты с активным выпрямителем L-C-L фильтров, устанавливаемых на входе активного выпрямителя, рекомендуется, как правило, для преобразователей средней мощности (до 1,5 МВА) и напряжением до 1000 В.

5. В чём отличие специализированного пассивного фильтра от обычного пассивного фильтра с точки зрения выполняемых функций?

6. В главе 4 при разработке методики выбора параметров СПФ в качестве основного ограничивающего фактора при определении оптимальной мощности специализированного фильтра задан максимальный уровень суммарного коэффициента синусоидальности кривой тока конденсаторов $K_I = 45\%$. Возможно ли функционирование конденсаторов в составе СПФ с большим значением K_I ? Это позволило бы снизить номинальную мощность СПФ при сохранении технического эффекта по снижению коэффициента K_U на общих секциях ЗРУ-10 кВ заводской ГПП.

Приведенные выше замечания не имеют принципиального характера и не снижают ценность работы.

7. Заключение

Диссертация Афанасьева Максима Юрьевича является законченной научно-квалификационной работой, в которой дано новое решение актуальной научной задачи по обеспечению электромагнитной совместимости мощных электроприводов с активными выпрямителями за счёт применения специализированных пассивных фильтров.

Диссертация написана автором самостоятельно, обладает внутренним единством, содержит новые научные результаты. Предложенные автором решения аргументированы, показано преимущество разработанных решений по сравнению с известными.

В диссертации отсутствует заимствованный материал без ссылки на автора и/или источник заимствования. Результаты научных работ, выполненных соискателем в соавторстве, приведены со ссылками на соавторов.

Диссертационная работа соответствует паспорту специальности 2.4.2. «Электротехнические комплексы и системы».

На основании вышеизложенного считаем, что диссертация «Обеспечение электромагнитной совместимости мощных электроприводов с активными выпрямителями за счёт применения специализированных пассивных фильтров» соответствует всем требованиям, предъявляемым к кандидатским диссертациям в соответствии с пунктами 9 – 14 «Положения о присуждении ученых степеней» в редакции постановления правительства РФ №842 от 24 сентября 2013 г., а её автор, Афанасьев Максим Юрьевич, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.4.2. «Электротехнические комплексы и системы».

Диссертация Афанасьева Максима Юрьевича «Обеспечение электромагнитной совместимости мощных электроприводов с активными выпрямителями за счёт применения специализированных пассивных фильтров» обсуждена и отзыв на диссертацию утвержден на заседании кафедры «Энергетика и энергоэффективность горной промышленности» НИТУ МИСИС, протокол № 4 от «24» января 2024 года.

И. о заведующего кафедрой
«Энергетика и энергоэффективность
горной промышленности» НИТУ МИСИС,
кандидат технических наук

Кутепов Антон Григорьевич

«24» января 2024 г.

Профессор кафедры
«Энергетика и энергоэффективность
горной промышленности» НИТУ МИСИС,
доктор технических наук, доцент

Шевырëв Юрий Вадимович

«24» января 2024 г.

Кандидатская диссертация Кутепова А.Г. защищена по специальности
2.6.18 - Охрана труда, пожарная и промышленная безопасность

Докторская диссертация Шевырëва Юрия Вадимовича защищена по
специальности 05.09.03 – Электротехнические комплексы и системы

Подпись Кутепова А.Г. и Шевырëва Ю.В. заверяю:



Зам. нач-ка отдела
Кадров

КУЗНЕЦОВА А.Е.

24.01.2024г.

Сведения об организации:

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС»

Адрес: 119049, Москва, Ленинский проспект, д. 4, стр. 1.

Тел./факс: +7 (495) 955-00-32/ +7 (499) 236-21-05

E-mail: kancela@misis.ru

Сайт: <https://misis.ru/>