

## ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертацию  
**Александрова Ивана Викторовича** на тему «Система электроснабжения с активным силовым фильтром при пофазном управлении токами», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.4.2 – Электротехнические комплексы и системы

### **Актуальность темы исследования**

Развитие электроэнергетических комплексов в настоящее время тесно связано с интегрированием возобновляемых систем электроснабжения, таких как ветро- и солнечные электростанции. Предполагается, что такие системы электроснабжения, способные интегрировать распределенные энергоресурсы и традиционные источники электроэнергии, позволят снизить количество потребляемого ископаемого топлива и обеспечить устойчивое развитие данной отрасли энергетики.

Такие системы электроснабжения для обеспечения желаемых режимов работы электроустановок (генераторов и нагрузок) снабжаются электронными преобразователями электрической энергии. В таком случае для обеспечения устойчивости и повышения энергоэффективности таких систем требуется на этапе их проектирования учитывать ограничения на динамические характеристики системы электроснабжения, вносимые различными типами подключаемых нагрузок и возможности повышения качества электроэнергии за счет силовых полупроводниковых преобразователей.

Учитывая вышесказанное, выполненная соискателем Александровым И. В. работа, направленная на разработку методики структурно-параметрического системы управления активным силовым фильтром с учетом заданных требований к выходному импедансу системы электроснабжения на выходе постоянного тока, и разработку эффективного алгоритма управления активным силовым фильтром

для режимов компенсации неактивных компонент мощности, со сниженными требованиями к его программно-аппаратной части является актуальной.

### **Степень обоснованности и достоверность научных положений, выводов и рекомендаций диссертационной работы**

Достоверность полученных Александровым И. В. научных результатов, представленных в диссертационном исследовании, подтверждается корректностью выбора методов исследования, соответствующих поставленной задаче, соответствию принимаемых допущений практическим условиям работы системы электроснабжения, а также соответствием теоретических результатов, результатам полученным при экспериментально.

### **Научная новизна работы заключается в следующем:**

Автором получены следующие результаты, обладающие научной новизной и ценностью:

1. Разработана математическая модель активного силового фильтра в частотной области, как основного управляемого компонента исследуемой системы электроснабжения, позволяющей установить количественную связь параметров частотных характеристик активного силового фильтра, с параметрами его силовой схемы при управлении в исходной  $a-b-c$  системе координат.

2. Произведен анализ частотных характеристик активного силового фильтра в составе четырехпроводной системы электроснабжения и получены математических выражения его передаточных функций, как объекта управления в разомкнутом состоянии в исходной  $a-b-c$  системе координат с учетом влияния параметров силового  $LC$ -фильтра.

3. Установлены аналитические выражения, связывающих параметры АЧХ выходного импеданса в звене постоянного тока системы электроснабжения и параметры регуляторов двухконтурной системы управления активным силовым фильтром в исходном  $a-b-c$  координатном базисе, и разработана методика

настройки параметров регуляторов на заданный максимум выходного импеданса системы электроснабжения на стороне постоянного тока.

4. Предложен алгоритм пофазной компенсации неактивных составляющих полной мощности нагрузки переменного тока системы электроснабжения с упрощенной программно-аппаратной реализацией, и его модификация, не требующая наличия датчиков напряжения.

### **Практическая значимость диссертационного исследования**

В процессе выполнения диссертационного исследования его автором разработаны и получены:

1. На основе математической модели активного силового фильтра получены упрощенные выражения для определения положения нулей и полюсов передаточных функций при управлении в исходной  $a$ - $b$ - $c$  системе координат, которые могут быть реализованы в микропроцессорной системе управления или стать основой инженерной методики расчета параметров регуляторов.

2. Разработан полнофункциональный макет системы электроснабжения на основе активного силового фильтра с пофазным управлением токами, который был использован в процессе практической верификации результатов диссертационной работы и может быть использован для дальнейших исследований.

3. Разработаны программные реализации блоков оценки активной и реактивной мощности нагрузки в отдельной фазе трехфазной четырехпроводной системы электроснабжения, которые могут быть встроены в программное обеспечение микропроцессорных систем управления АСФ, а также программная реализация системы управления АСФ.

Результаты диссертационного исследования получены и применены в рамках грантов:

– Грант ФСИ РФ в целях выполнения НИОКР по теме: «Разработка и испытания опытного образца активного силового фильтра с независимым

управлением выходными токами для систем электроснабжения переменного тока с несимметричными нагрузками». Договор № 4720ГС1/78328 от 14.09.2022.

– Грант Президента РФ для молодых ученых, проект МК-1676.2020.8 «Разработка адаптивных алгоритмов управления распределенными энергосистемами с открытой архитектурой» 2019-2021 г.

– Грант в рамках реализации программы развития НГТУ, научный проект № С21-23 «Разработка и исследование энергоэффективных алгоритмов управления активным силовым фильтром в кватернионном базисе токов сети» от 15.04.2021.

А также результаты работы использованы инженерами АО «ПО «Север» при проектировании опытного образца силового преобразовательного устройства, а также в учебном процессе кафедры электроники и электротехники ФГБОУ ВО «НГТУ», что подтверждается соответствующими актами.

### **Объем и содержание диссертационной работы**

**Диссертация состоит из:** введения, основной части, состоящей из пяти глав, заключения, списка литературы, состоящего из 111 наименований, 2 приложений. Общий объем диссертации составляет 174 страниц, 70 рисунков, 15 таблиц.

Автореферат достаточно полно отражает основные положения диссертационного исследования.

Структура и оформление диссертации и автореферата соответствует ГОСТ Р 7.0.11-2011.

### **Публикации и апробация работы**

**Результаты работы опубликованы** в 14 печатных работах, 3 из которых опубликованы в рецензируемых научных журналах из списка ВАК, 2 патента на полезную модель, 1 свидетельство о регистрации программы для ЭВМ, 5 в журналах и трудах конференций, индексируемых в Scopus и WoS, 3 в трудах всероссийских конференций.

Апробация работы производилась ее автором на всероссийских и международных конференциях, а также в рамках научных выставок и семинаров.

### **Замечания по диссертационному исследованию**

1. Чем обусловлена необходимость разработки еще одной математической модели активного силового фильтра по схеме двухуровневого инвертора напряжения с LC-фильтром и дросселем нулевого проводника?

2. В работе синтезировано два способа управления напряжением в случае управления с ненулевым импедансом по постоянному току - с расщеплением коэффициента  $R_{en}$  и управление с адаптивным П-регулятором. Были ли проведены исследования устойчивости системы при изменении параметров самого фильтра, а не только параметров сети? Чем обусловлен выбор структуры адаптивного регулятора (без интегральной составляющей)?

3. Автором проведено имитационное моделирование активного силового фильтра с параметрами напряжения звена постоянного тока 800В. Практическая верификация построена на базе СЗМ0032120D со значением напряжения ЗПТ 60В. Корректно ли по мнению автора данное масштабирование при верификации предложенных решений?

4. Программная реализация предложенных алгоритмов реализована на базе МК STM32H743VIT6. Чем обусловлено применение данного микроконтроллера? Были ли проведены исследования по оценке производительности системы с предложенной системой управления?

5. Также в работе присутствуют незначительное количество опечаток и пропущенные абзацы, что не снижает качество работы в целом.

Указанные замечания не являются критическими и не снижают высокого уровня диссертационной работы и значимость полученных результатов.

## Заключение

Диссертация Александрова Ивана Викторовича на тему «Система электроснабжения с активным силовым фильтром при пофазном управлении токами» является законченной научно-квалификационной работой, содержит решение актуальной научной задачи – повышения эффективности процесса компенсации неактивных компонент мощности и устройств его реализующих в системах электроснабжения децентрализованного типа с учетом возможности электропитания нагрузок постоянного тока за счет упрощения программно-аппаратной части активного силового фильтра. По актуальности, научной новизне, объему выполненных исследований, практической и теоретической значимости диссертационная работа соответствует требованиям, предъявляемым п. 9-14 «Положения о присуждении ученых степеней», а ее автор Александров Иван Викторович заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.4.2 – «Электротехнические комплексы и системы».

Официальный оппонент,

Кандидат технических наук (специальность – 05.13.01), доцент, федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский университет ИТМО», факультет систем управления и робототехники, доцент.

Демидова Галина Львовна

«13» ноября 2023 г.

Адрес: 197101, Россия, г. Санкт-Петербург,  
Кронверкский пр., д.49, лит. А  
ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский  
университет ИТМО»  
Тел: +7 (812) 232-50-96  
E-mail: demidova@itmo.ru

Отзыв получен 20.11.2023

*[Подпись]* / Демидова Г.Л.

С отзывом ознакомлен 20.11.2023

*[Подпись]* / Александров И.В.