

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ОБРАЗОВАНИЯ  
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
«САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ  
«ЛЭТИ» ИМ. В.И. УЛЬЯНОВА (ЛЕНИНА)»  
(СПбГЭТУ «ЛЭТИ»)

ул. Профессора Попова, д.5, Санкт-Петербург, 197376  
Телефон: (812) 346-44-87 Факс: (812) 346-27-58 E-mail: [eltech@eltech.ru](mailto:eltech@eltech.ru) [http:// www.eltech.ru](http://www.eltech.ru)  
ОКПО 02068539 ОГРН 1027806875381 ОКВЭД 80.3, 73.1 ОКТМО 40392000  
ИНН/КПП 7813045402/781301001

№ \_\_\_\_\_  
от \_\_\_\_\_  
На № \_\_\_\_\_



**УТВЕРЖДАЮ:**

Проректор по научной работе  
СПбГЭТУ «ЛЭТИ» д.т.н., доцент

М. Ю. Шестопалов

" // " мая 2017 г.

### ОТЗЫВ

ведущей организации – ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина)» на диссертацию Новожилова Никиты Геннадьевича на тему «Структура и алгоритмы управления асинхронным частотно-регулируемым электроприводом при провалах напряжения в электрической сети», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.09.03 – Электротехнические комплексы и системы.

#### Актуальность темы

Основными направлениями развития промышленности в настоящее время являются повышение уровня автоматизации, энергоэффективности и надежности электротехнических комплексов, что обусловило широкое внедрение частотно-регулируемого электропривода практически во всех отраслях промышленного производства. Разработка современных микропроцессорных вычислительных устройств позволяет создавать структуры и алгоритмы систем управления, удовлетворяющие задачам как специализированного, так и общепромышленного электропривода. Одной из важнейших задач в области электропривода является разработка способов повышения устойчивости привода к нарушениям показателей качества электрической энергии, в особенности, к таким явлениям как провалы напряжения и перерывы питания. Возникновение таких явлений в сетях электротехнических комплексов и систем.

№ 133-14  
от 15.05.2017

троснабжения промышленных предприятий носит случайный характер и может быть вызвано множеством различных причин. Несмотря на достижения в области контроля, управления и передачи электроэнергии, сложно полностью исключить вероятность возникновения этих явлений. Отклонение питающего напряжения от допустимых значений приводит к нарушению нормального режима работы привода и влечет за собой нарушение технологического цикла производства, что в некоторых отраслях промышленности сопровождается значительным экономическим ущербом. Исследованию влияния провалов напряжения на работу частотно-регулируемого привода и разработке схмотехнических и алгоритмических средств повышения устойчивости данного вида оборудования посвящено множество отечественных и зарубежных научных работ. Особое внимание в настоящее время уделяется именно алгоритмическим средствам, что связано с отсутствием необходимости использования дополнительного оборудования, так как задача повышения устойчивости привода в этом случае решается только за счет средств системы управления преобразователем частоты, а следовательно не требует больших денежных вложений.

В соответствии с изложенным тему представленной диссертации следует считать актуальной.

### **Научная новизна работы**

Выполненные в диссертационной работе исследования отличаются новизной, которая отражена в следующих научных положениях, выносимых на защиту:

Выявлены закономерности формирования электромагнитного момента асинхронного частотно-регулируемого электропривода при провалах напряжения в электрической сети. На основе этих закономерностей разработан алгоритм векторного управления приводом при его работе в области ослабленного поля, обеспечивающий неизменность режимных параметров приводного механизма или минимизацию отклонения значений этих величин в зависимости от уровня остаточного напряжения в звене постоянного тока.

Предложена структура наблюдателя скорости вращения асинхронного электропривода со скалярной системой частотного управления, основанная на кос-



венном измерении скорости вращения ротора двигателя по линеаризованной зависимости частоты ЭДС ротора от активной составляющей тока статора.

Построена модель свободного выбега асинхронного электропривода при пропадании напряжения сети, учитывающая влияние параметров привода и приводного механизма на характер кривой и время разряда, которая позволяет получить более высокую точность времени срабатывания защиты минимального напряжения преобразователя частоты по сравнению с общепринятой моделью.

Выявлены закономерности формирования тормозного электромагнитного момента при выбеге асинхронного привода в режиме электрической рекуперации кинетической энергии приводного механизма для поддержания напряжения звена постоянного тока на номинальном уровне.

### **Научные результаты**

Разработана модифицированная структура векторной системы управления асинхронным частотно-регулируемым электроприводом, которая по выявленному критерию переходит в режим управления приводом в области ослабленного поля при провале напряжения в сети питания, за счет чего обеспечивается неизменность режимных параметров приводного механизма.

Предложена двухконтурная система скалярного частотного управления асинхронным электроприводом переменной структуры, в которой при идентификации провала напряжения происходит смена внешнего контура регулирования тока на контур стабилизации напряжения звена постоянного тока в режиме рекуперации кинетической энергии, за счет чего сохраняется управляемость приводом и минимизируется время безаварийного повторного пуска.

Разработанные модели разряда конденсатора в режимах свободного выбега и рекуперации запасенной кинетической энергии позволяют автоматически корректировать параметры вольт-секундной характеристики реле минимального напряжения в зависимости от загруженности привода с одной стороны, и оценивать максимальное время, в течение которого система управления способна поддерживать напряжение звена постоянного тока на заданном уровне, с другой.

## **Степень обоснованности и достоверности научных положений, выводов и результатов, сформулированных в диссертации**

Обоснованность и достоверность научных положений, выводов и результатов, сформулированных в диссертационной работе, подтверждается корректным использованием известных положений теории автоматических систем управления, теории частотно-регулируемого привода, моделирования систем и комплексов, корректным обоснованием допущений и ограничений при математическом моделировании

## **Практическая ценность работы**

В диссертационной работе решены задачи, имеющие существенное значение для теории и практики электротехнических комплексов на основе частотно-регулируемого асинхронного электропривода.

Практическая ценность работы заключается в разработке алгоритмов управления частотно-регулируемым электроприводом в условиях провалов напряжения, которые в зависимости от уровня остаточного напряжения и режима работы приводного механизма позволяют сохранять неизменным режим работы приводного механизма, минимизировать отклонение от заданных значений или сохранять работоспособность привода в случае пропадания питания.

Разработанная математическая модель свободного выбега привода позволяет более точно по сравнению с используемыми методами определять время разряда конденсатора звена постоянного тока в зависимости от режима работы привода, что представляет интерес при проектировании реле минимального напряжения и выбора уставок срабатывания защит.

Разработанная модель выбега двигателя в режиме рекуперации кинетической энергии позволяет при известных параметрах двигателя и приводного механизма определить время в течение, которого система управления способна поддерживать напряжение звена постоянного тока на заданном уровне. Сопоставление оценок со статистическими данными о длительности провалов напряжения позволяет определить эффективность режима рекуперации как способа обеспечения



работоспособности привода в условиях глубокого снижения напряжения или перерыва питания.

Разработанный способ косвенного измерения частоты вращения ротора при скалярном частотном управлении приводом обеспечивает точность измерения частоты вращения на уровне современных систем «бездатчикового» управления, что позволяет исключить датчик скорости вращения из состава системы скалярного управления приводом и повысить надежность системы управления в целом.

### **Оценка содержания диссертации**

Диссертация содержит введение, пять глав, заключение, библиографический список из 103 источников и 3 приложения, изложенных на 200 страницах. Работа содержит 83 рисунка и 4 таблицы.

Тема диссертации соответствует пунктам 3 и 4 паспорта научной специальности 05.09.03 – Электротехнические комплексы и системы.

Основные положения работы были представлены на конференциях и опубликованы в 11 печатных изданиях, в том числе в 5 из списка, рекомендованного ВАК Министерства и образования науки РФ, получено свидетельство о регистрации программы для ЭВМ, представлен акт внедрения результатов исследований. Представленные в работе результаты, выводы и рекомендации имеют достаточное обоснование, содержат научную и практическую ценность. Автореферат и опубликованные работы соответствуют содержанию диссертации.

### **Замечания к диссертации и автореферату**

К диссертации и автореферату имеются следующие замечания:

1. Несмотря на большой объем аналитических исследований и совпадение полученных результатов с результатами компьютерного моделирования, остается открытым вопрос экспериментального подтверждения разработанных алгоритмов управления на физических моделях.

2. В работе в не полной мере рассмотрено влияние асимметрии трехфазных провалов напряжения на режим выпрямления и пульсации напряжения звена постоянного тока.

3. Результаты аналитических исследований и компьютерных экспериментов относятся к приводам на базе асинхронного двигателя ВАСО-37-14. Однако в работе отсутствует обоснование выбора двигателя для проведения исследований.

4. Режим рекуперации кинетической энергии рассматривается применительно к системе скалярного управления, а режим ослабленного поля - применительно к системе векторного управления. Из работы не ясно, можно ли реализовать оба способа преодоления провалов напряжения в ЧРП в том и другом случае одновременно.

5. Имеется ряд замечаний по тексту диссертации, касающихся, например, наличия в ряде случаев несоответствия ссылок и номеров формул, пропуска слов.

### **Заключение по диссертации**

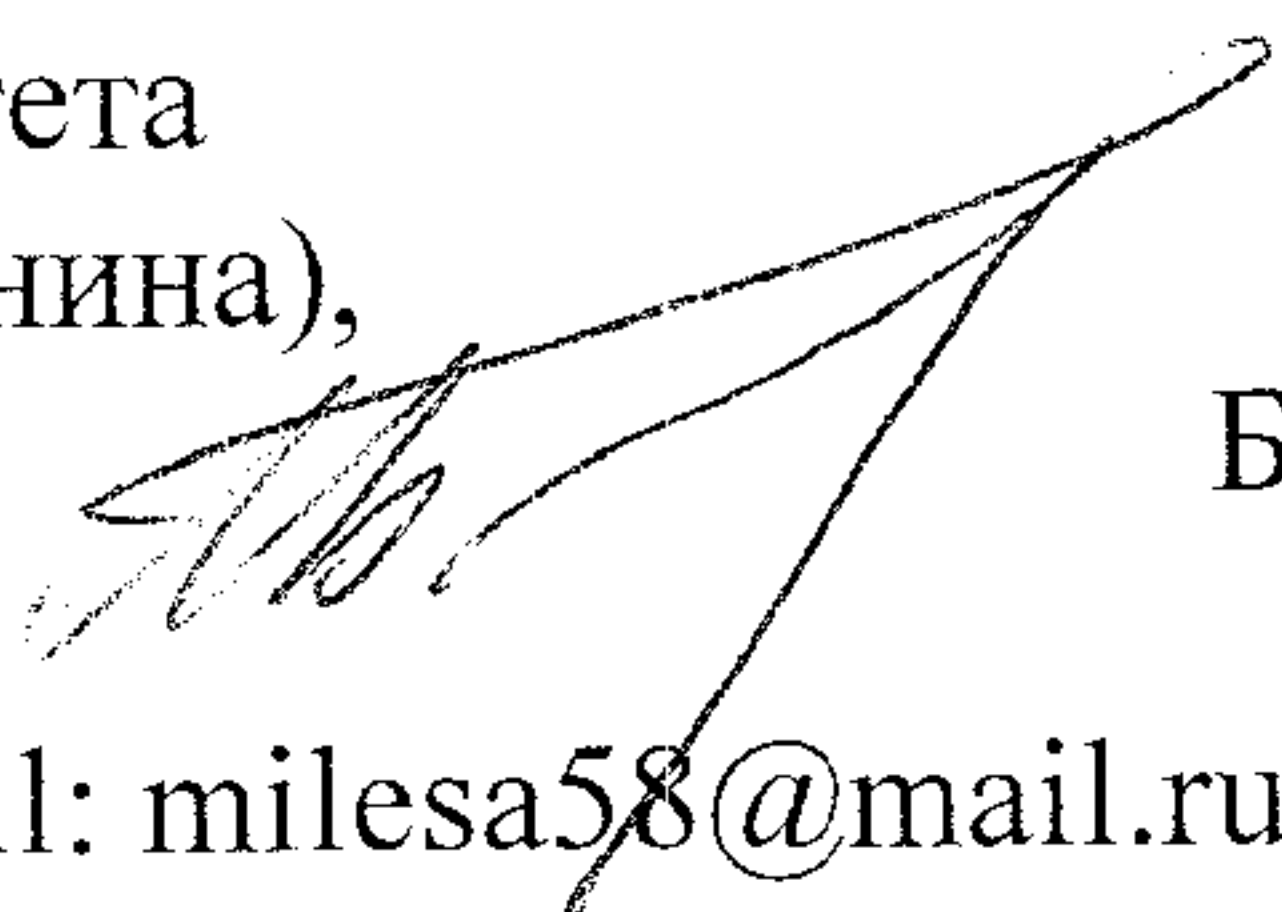
Научно-квалификационная работа Новожилова Никиты Геннадьевича «Структура и алгоритмы управления асинхронным частотно-регулируемым электроприводом при провалах напряжения в электрической сети» представляет собой законченную работу, которая решает важную научно-техническую задачу повышения устойчивости частотно-регулируемого электропривода к провалам напряжения сети. Это достигается на основе разработанных систем управления приводом в режиме ослабленного поля и режиме рекуперации кинетической энергии. Полученные в диссертации результаты могут быть использованы при проектировании новых и при модификации существующих систем управления частотным преобразователем привода.

Диссертация соответствует пунктам 9-14 Положения о порядке присуждения ученых степеней, утвержденного Постановлением Правительства РФ (№ 842 от 24 сентября 2013 г.), а её автор, Новожилов Никита Геннадьевич, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.09.03 –Электротехнические комплексы и системы.

Отзыв обсужден и одобрен на заседании кафедры робототехники и автоматизации производственных систем федерального государственного автономного

образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина)» (СПбГЭТУ «ЛЭТИ»), протокол № 9 от 11 мая 2017 года

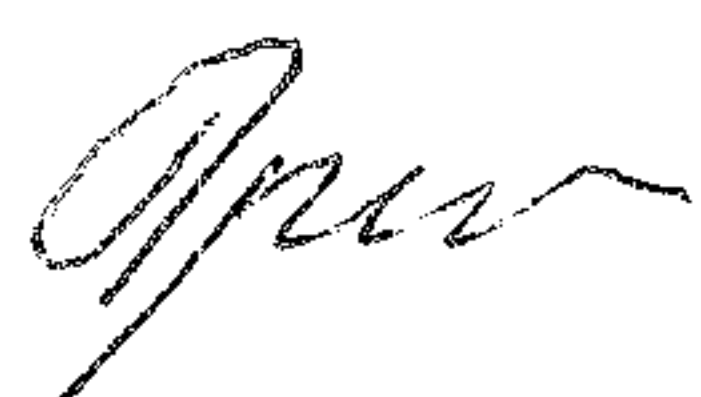
Заведующий кафедры  
робототехники и автоматизации  
производственных систем федерального  
государственного автономного  
образовательного учреждения высшего  
образования Санкт-Петербургского государственного  
электротехнического университета  
(ЛЭТИ) им. В. И. Ульянова (Ленина),  
к.т.н., доцент



Белов Михаил Петрович

Контактная информация: e-mail: milesa58@mail.ru  
Моб. телефон 921 745-67-58

д.т.н., профессор кафедры  
робототехники и автоматизации  
производственных систем федерального  
государственного автономного  
образовательного учреждения высшего  
образования Санкт-Петербургского государственного  
электротехнического университета  
(ЛЭТИ) им. В. И. Ульянова (Ленина),  
д.т.н., профессор



Пронин Михаил Васильевич

Контактная информация: e-mail: mpronin1@rambler.ru  
Моб. телефон 921 305-67-83

ПОДАРИТЬ РУКИ  
ЗАВЕРИТЬ  
КУРЬЯНОВА  
11 05 2017

