

## **ОТЗЫВ**

официального оппонента Серебрякова Артема Владимировича на диссертационную работу Воекова Владимира Николаевича «ЧАСТОТНЫЙ ЭЛЕКТРОПРИВОД НА БАЗЕ СИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ С ПОСТОЯННЫМИ МАГНИТАМИ С РЕЛЕЙНЫМ УПРАВЛЕНИЕМ ДЛЯ НАСОСОВ НЕФТЕГАЗОВОЙ ОТРАСЛИ», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.09.03 - Электротехнические комплексы и системы

### **СТРУКТУРА И ОБЪЕМ РАБОТЫ**

Представленная диссертационная работа изложена на 161 странице и содержит: введение, 4 главы, выводы, заключение, библиографический список из 97 наименований, 4 приложения. В работе имеется 138 рисунков, 10 таблиц.

### **АНАЛИЗ ДИССЕРТАЦИИ**

#### **1. Актуальность темы**

Развитие элементной базы электромашиностроения, силовой электроники, микропроцессорной техники и средств управления даёт возможность разработчикам систем автоматизированного электропривода (АЭП) реализовать новые алгоритмы управления, топологии преобразователей частоты (ПЧ), а также существенно повысить их мощность. В последние два десятилетия наметилась устойчивая тенденция замены нерегулируемого электропривода (ЭП) переменного тока на частотно-регулируемый асинхронный и синхронный электропривод в таких отраслях народного хозяйства, как нефтегазовая промышленность, энергетика, машиностроение и металлургия. Доля электропривода переменного тока на основе преобразователя частоты и синхронного электродвигателя с возбуждением от постоянных магнитов на роторе в настоящее время постоянно увеличивается.

В вентильном электроприводе с векторным управлением, обеспечивающим постоянство электромагнитного момента и управление положением ротора в пространстве, достигнуто существенное снижение потерь энергии, что особенно важно для применения в нефтяной промышленности на буровых установках и центробежных нефтяных насосных установках. Наиболее часто используемым методом формирования токов в фазах в современных преобразователях частоты является широтно-импульсная модуляция (ШИМ). Алгоритм разработан для условия постоянства выпрямленного напряжения на входе автономного инвертора напряжения (АИН), при изменении этого напряжения он будет более сложен в реализации и потребует добавочных вычислительных мощностей.

Поэтому тема диссертационной работы Воекова В.Н., посвященная вопросам разработки электропривода с упрощенными алгоритмами управления, такими, как релейное управление транзисторными ключами АИН, с обеспечением регулирования мощности и напряжения, подаваемого на вход инвертора в преобразователе частоты с помощью дополнительного коммутатора в звене постоянного тока, позволяющими улучшить качество напряжения питания статора двигателя при сохранении стандартной частоты коммутации ключевых элементов АИН, безусловно, является актуальной.

#### **2. Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций.**

Обоснованность основных результатов аналитических исследований, рекомендаций и выводов диссертации подтверждается использованием современных математических моделей и экспериментальных методов исследования. Полученные

результаты работы базируются на использовании классических методов теории электропривода, электрических машин, теории автоматического управления, известных методов программирования и математического моделирования. Основные выводы диссертации развивают ранее опубликованные результаты исследований по данной тематике.

### **3. Новизна и достоверность научных положений, выводов и рекомендаций.**

В диссертационной работе получены следующие новые научные результаты.

1. Разработан алгоритм релейного управления ключевыми элементами инвертора напряжения, отличающийся формированием сигналов задания на коммутацию ключевых элементов.

2. Разработаны автоматическая система и алгоритм управления преобразователем частоты с релейными регуляторами фазных токов инвертора, отличающийся релейным регулированием напряжения на входе инвертора.

3. Разработан алгоритм управления преобразователем частоты с релейными регуляторами фазных токов инвертора, отличающийся формированием сигнала управления дополнительным повышающим импульсным преобразователем напряжения в выпрямленной цепи с помощью релейного регулятора тока.

4. Разработан алгоритм управления преобразователем частоты с релейными регуляторами фазных токов инвертора, отличающийся поддержанием заданных значений тока в выпрямленной цепи и напряжения на выходе инвертора с помощью дополнительного повышающего импульсного преобразователя напряжения с релейным регулятором тока.

Обоснованность и достоверность результатов исследования обеспечивается:

- корректным использованием методов разработки математических моделей на основе систем дифференциальных уравнений и структурного моделирования;
- применением методов исследования, базирующихся на теории автоматического управления, электрических машин и аппаратов;
- сравнением результатов моделирования с результатами, полученными в результате стендовых экспериментов.

### **4. Значимость для науки и практики результатов диссертации и возможные пути ее использования.**

Значимость диссертационной работы для науки и практики заключается в следующем:

1. Улучшен гармонический состав тока, потребляемого из сети преобразователем частоты, за счет введения в конструкцию преобразователя частоты дополнительного импульсного преобразователя напряжения,

2. Разработаны алгоритмы совместного релейного управления ключевыми элементами преобразователя частоты с использованием векторного принципа управления переменными электропривода.

3. Предложенные технические решения по построению вентильного электропривода для погружных нефтяных насосов на базе СДПМ позволяют существенно повысить работоспособность насосных установок за счет увеличения межремонтного периода.

4. Разработанные алгоритмы релейного управления возможно внедрить в уже работающие станции управления центробежными насосами без значительных экономических затрат.

Результаты, полученные в диссертационной работе, приняты к внедрению в производственную деятельность компании ООО «Борец-НЭО» (г.Москва). В преобразователях частоты, производимых компанией, применяется разработанные математические модели, а при схемной реализации станции управления использованы силовые схемы вентильного электропривода с блоком релейного управления.

#### **5. Степень завершенности диссертации в целом и качество её оформления**

Диссертация Воекова В.Н. содержит теоретические и практические результаты, сформулированные выводы, которые в совокупности позволяют квалифицировать ее как законченную научную работу.

Диссертация написана ясным, грамотным, техническим языком, хорошо оформлена, положения четко аргументированы.

#### **6. Полнота опубликования основных результатов диссертации**

Опубликованы 11 печатных работ, 3 из которых – в центральных журналах, рекомендованных списком ВАК РФ, 2 – в трудах научных конференций, индексируемых в наукометрических базах Scopus, IEEE, получен 1 патент РФ на полезную модель.

#### **7. Соответствие содержания автореферата основным идеям и выводам диссертации**

Содержание автореферата соответствует основным положениям и содержанию диссертации и отражает, цель, идеи, задачи и научные результаты работы.

#### **8. Личный вклад соискателя в разработку научной проблемы**

Личный вклад Воекова В.Н. в разработку научной проблемы состоит в решении следующих задач:

1. Разработана система вентильного электропривода с преобразователем частоты на основе АИН с дополнительным транзисторным коммутатором в звене постоянного тока, понижающим напряжение на входе инвертора, и системой релейного регулирования токов статора и выпрямленного тока, построить его математическую модель и провести исследование свойств электропривода.

2. Разработана система вентильного электропривода с преобразователем частоты на основе АИН с дополнительным транзисторным коммутатором в звене постоянного тока, повышающим напряжение на входе и выходе инвертора, и системой релейного регулирования токов статора и выпрямленного тока, построить его математическую модель и провести исследование свойств электропривода.

3. Разработан алгоритм совместного управления коммутацией ключей АИН и импульсным преобразователем напряжения в звене постоянного тока, обеспечивающий улучшенную электромагнитную совместимость электропривода с питающей сетью и наилучшее качество питающего статор напряжения.

4. Проведен анализ влияния включения импульсного повышающего и понижающего преобразователя напряжения в звено постоянного тока на гармонический состав токов на входе и выходе преобразователя частоты.

Поставленные задачи решены автором самостоятельно и полностью.

**9. Отсутствие в диссертации использования заимствованного материала без ссылки на автора и источник заимствования, результатов научных работ, выполненных соискателем ученой степени в соавторстве, без ссылок на соавторов.**

В диссертации отсутствуют использования заимствованного материала без ссылки на автора и источник заимствования, также не содержатся результаты научных работ, выполненных соискателем ученой степени в соавторстве, без ссылок на соавторов.

**10. Соответствие диссертации и автореферата требованиям Положения о присуждении ученых степеней.**

Диссертационная работа и автореферат Воекова В.Н. соответствуют требованиям «Положения о присуждении ученых степеней» №842 от 24 сентября 2013 г.

**11. По материалам диссертации имеются замечания:**

1. В первой главе автор подробно рассматривает принципы построения электропривода с датчиками скорости и положения ротора. При этом, наиболее перспективный, бездатчиковый вариант построения вентильного электропривода не рассмотрен.

2. Автору следовало бы более детально проработать вопросы компенсации провала напряжения на входе преобразователя частоты в динамических режимах.

3. В третьей главе автором произведена оценка влияния включения импульсного преобразователя напряжения в звено постоянного тока преобразователя частоты на гармонический состав токов статора и питающей сети. Целесообразно было бы для сравнения рассмотреть использование дополнительного фильтра на выходе инвертора напряжения.

4. По результатам разработки алгоритма управления частотой коммутации ключей инвертора напряжения, в работе приведены осциллограммы мгновенных значений тока и напряжения при частоте коммутации 8кГц и 13кГц (рис.3.76-3.79). Однако, осциллограмм мгновенного значения тока и напряжения при стандартной частоте коммутации ключей инвертора напряжения не представлено, что существенно затрудняет оценку эффективности разработанного алгоритма.

5. В четвертой главе приведено сравнение АД и СДПМ, показывающее превосходство СДПМ по ряду ключевых параметров. Автору следовало бы добавить в таблицу сравнения (таблица 4.1.) такой параметр как "Стоимость" для более реального сравнения двух типов машин.

Все замечания не меняют общей положительной оценки работы.

## **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

Диссертация Воекова В.Н. на тему «Частотный электропривод на базе синхронного двигателя с постоянными магнитами с релейным управлением для насосов нефтегазовой

отрасли» является законченной научно-исследовательской работой, выполненной на актуальную тему, и имеет большое практическое значение.

Содержание диссертации полностью соответствует ее названию и специальности. Основные положения диссертации достаточно полно изложены в 11 научных трудах.

Считаю, что представленная диссертационная работа удовлетворяет всем требованиям «Положения о присуждении учёных степеней», утверждённым Постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. №842, а её автор, Воеков Владимир Николаевич заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.09.03 «Электротехнические комплексы и системы».

Официальный оппонент:

Доцент кафедры «Электрооборудование, электропривод и автоматика»  
ФГБОУ ВО «Нижегородский Государственный Технический Университет  
им.Р.Е.Алексеева»

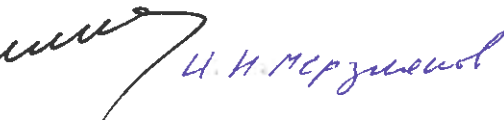
к.т.н., доцент Серебряков Артем Владимирович  
603950, Нижний Новгород, ул. Минина, д.24  
тел. 8(831) 423-10-55  
e-mail: [serebryakov@ardman.ru](mailto:serebryakov@ardman.ru)

  
10.01.2020

Подпись официального оппонента заверяю

*Учтеня серебри  
Учтеня серебри*



  
10.01.2020