

**Федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования «Уральский федеральный университет имени  
первого Президента России Б.Н. Ельцина»**

УТВЕРЖДАЮ»

Проректор по науке

ФГАОУ ВО «Уральский  
федеральный университет  
имени первого Президента  
России Б.Н. Ельцина»



Ченко А. В.

2022 г.

**ОТЗЫВ**

**ведущей организации**

**ФГАОУ ВО «УрФУ имени первого Президента России Б.Н. Ельцина»**  
на диссертацию Алейникова Алексея Владимировича  
«Разработка методов снижения пульсаций электромагнитных виброусилий в  
многофазном магнитоэлектрическом электроприводе»,  
представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук  
по специальности 05.09.03- «Электротехнические комплексы и системы»

В представленной на отзыв диссертационной работе и автореферате Алейникова А.В. выполнены исследования, направленные на решение научной проблемы уменьшения пульсаций электромагнитных сил, возникающих во время работы многофазного синхронного двигателя с постоянными магнитами (СДПМ), за счет предложенного алгоритма целенаправленного формирования фазных токов и на основе этого - требуемой конфигурации поля в зазоре.

## **Актуальность темы**

В связи с рядом преимуществ, которыми обладают СДПМ по сравнению с другими типами двигателей, они получают все более широкое распространение в различных областях применения. В связи с этим к их характеристикам могут выдвигаться различные требования. Одним из таких требований является ограничение на вибрации и шумы, возникающие во время работы двигателя. Полностью удовлетворить данным требованиям на стадии проектирования машины не представляется возможным, что вынуждает использование дополнительных средств. В данной работе для решения указанной задачи упор делается на специальное формирование конфигурации магнитного поля, что предполагает разработку соответствующей полевой модели СДПМ, специального алгоритма задания его фазных токов и структуры системы управления. Таким образом, тема рассматриваемой диссертационной работы Алейникова А.В. по решению задачи уменьшения пульсаций электромагнитных усилий, возникающих при работе СДПМ, является актуальной.

**Цель диссертации** формулируется как разработка и исследование системы автоматического управления многофазным СДПМ, обеспечивающей снижение пульсации электромагнитных виброусилий в двигателе за счет целенаправленного формирования величины и формы фазных токов. Для достижения поставленной цели автор предлагает решить ряд задач:

- Разработать математическую модель СДПМ, позволяющую в реальном времени определять электромагнитный момент и радиальные силы, действующие на зубцы, с учетом конструкции двигателя, дискретного распределения обмоток по пазам и насыщения магнитной цепи.
- Разработать способ определения формы фазных токов, обеспечивающий снижение пульсаций радиальных сил и электромагнитного момента.
- Создать систему управления, позволяющую питать двигатель требуемой формой фазных токов, обеспечивающей оптимизацию виброшумовых характеристик.

## **Значимость для науки и производства**

Научная новизна диссертации выражается в следующих тезисах, сформулированных автором:

1. Разработана математическая модель в фазных координатах многофазного СДПМ, работающего в составе электропривода, отличающаяся возможностью определять электромагнитный момент и радиальные силы, действующие на зубцы статора, в режиме реального времени на основе анализа магнитного поля в активной зоне.

2. Предложен алгоритм управления многофазным электроприводом, отличающийся возможностью целенаправленно задавать в СДПМ токи по величине и форме, обуславливающие снижение пульсаций магнитных виброусилий и электромагнитного момента, что обеспечивает улучшение виброшумовых показателей электромеханической системы.

3. Разработана система управления многофазным электроприводом, реализующая предложенный алгоритм формирования фазных токов, обеспечивающих снижение электромагнитных виброусилий.

На наш взгляд, наибольшее научное значение имеют разработанные автором полевая модель СДПМ, работающая в реальном времени, и алгоритм управления, позволяющий питать многофазный исполнительный двигатель токами специальной синтезируемой формы, обеспечивающей снижение пульсаций виброусилий и электромагнитного момента с целью улучшения виброшумовых показателей.

Практическая значимость работы определяется, в первую очередь, возможностью уточненного расчета электромагнитных процессов в СДПМ в реальном времени на основе разработанной математической модели и предложенной системы управления, обеспечивающей оптимизацию виброшумовых характеристик электропривода.

Таким образом, научная и практическая значимость диссертации не вызывает сомнений.

## **Конкретные рекомендации по использованию результатов и выводов диссертации**

Разработанные в диссертации математические модели СДПМ рекомендуются к использованию в проектных организациях при разработке и модернизации электромеханических систем автоматического управления.

Предложенный метод снижения пульсаций электромагнитных виброусилий рекомендуется к применению с целью уменьшения вибраций, возникающих при работе двигателя.

**Обоснованность и достоверность результатов работы** обеспечивается применением известных теорий электрических машин, автоматического управления, использованием апробированных программных средств моделирования и подтверждается совпадением в пределах погрешности результатов расчёта по разработанным моделям с существующими методиками при одинаковых с ними условиях проведения модельного и физического эксперимента.

Результаты диссертационной работы характеризуются, как имеющие научное обоснование и завершённые, обеспечивающие основу для дальнейших исследований.

### **Замечания по работе**

1. Оценку «в режиме реального времени ... определять электромагнитный момент и радиальные силы» предлагается уточнить, указав абсолютные характеристики вычислительного процесса.
2. Как оценивалась достоверность расчета усилий, приведенных на рис. 2.21 (раздел 2.4)?
3. Выражение «задавать токи по величине и форме», используемое в работе, требует разъяснений.
4. Кривые рекомендуемой формы токов, представленные на рис. 2.25, отличаются от полученных на выходе инвертора в экспериментах (рис. 4.8). Как изменяются при этом экспериментальные характеристики двигателя?
5. Какова связь электромагнитных виброусилий и электромагнитного момента двигателя, какая из этих переменных определяет виброшумовые характеристики двигателя?
6. В работе речь идёт об «управлении формой тока» двигателя «при использовании наблюдателя состояния для изменения задания для тока по оси  $q$ » и «формировании тока от разработанного инвертора». Предлагается пояснить синтез регуляторов тока двигателя в этих случаях.

## Заключение по работе

Представленная диссертационная работа Алейникова А.В. является завершенной научно-квалификационной работой, выполненной на актуальную тему, в которой на основании проведенных автором исследований и разработок предложены решения по снижению пульсаций электромагнитных виброусилий в многофазном СДПМ за счет целенаправленного формирования фазных токов, имеющие важное значение для электротехнической отрасли страны.

Диссертация отвечает требованиям п. 9 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013г. №842 с изменениями от 20.03.2021г., утв. пр.№426, предъявляемым к кандидатским диссертациям, соответствует паспорту специальности 05.09.03 «Электротехнические комплексы и системы», автореферат полностью отражает основное содержание диссертации, а её автор, Алейников Алексей Владимирович, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по указанной научной специальности.

Диссертационная работа и отзыв рассмотрены на заседании кафедры «Электротехника» ФГАОУ ВО «Уральского федерального университета имени первого Президента России Б.Н. Ельцина», протокол №7 от «28» марта 2022 г.

Заведующий кафедрой  
«Электротехника»  
ФГАОУ ВО «Уральский  
федеральный университет  
имени первого Президента России  
Б.Н. Ельцина», д.т.н., доцент

Фризен Василий Эдуардович

+7(343)375-47-51  
vefrizen@urfu.ru

ПОДПИСЬ  
ЗАВЕРЯЮ.

УЧЕНЫЙ СЕКРЕТАРЬ УРФУ  
МОРОЗОВА В.А.

*Фризен В.Э.*  
*Морозова В.А.*