

ОТЗЫВ

официального оппонента кандидата технических наук,
доцента Хакимьянова Марата Ильгизовича
на диссертационную работу Маклакова Александра Сергеевича
«Повышение энергоэффективности трехуровневого преобразователя частоты с фиксированной средней точкой в составе электропривода большой мощности»,
представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук
по специальности 05.09.12 – «Силовая электроника»

1. Актуальность работы

Вопросы повышения энергоэффективности различных регулируемых высоковольтных электроприводов переменного тока являются чрезвычайно важными ввиду больших номинальных мощностей таких систем порядка десятков мегаватт и тесно связаны с уменьшением потерь на преобразование и передачу электроэнергии посредством совершенствования элементной базы, топологий, алгоритмов коммутации и методов управления силовыми полупроводниковыми преобразователями. Даже незначительное увеличение КПД такого преобразователя приведет к существенной экономии потребляемой электроэнергии приводом.

Диссертационная работа Маклакова Александра Сергеевича посвящена повышению энергоэффективности трехуровневого преобразователя частоты с фиксированной средней точкой в составе электропривода большой мощности, что является актуальной задачей в следствии широкого распространения таких преобразователей на отечественных и зарубежных предприятиях.

2. Структура и содержание диссертационной работы

Диссертация Маклакова Александра Сергеевича состоит из введения, 4 глав и заключения. Работа изложена на 129 страницах машинописного текста, содержит 77 рисунков и 22 таблицы. Список литературы содержит 118 наименований.

Во введении обоснована актуальность работы, сформулированы научные положения, их новизна и практическая значимость.

В первой главе проведен патентно-литературный обзор по теме исследования, определены основные проблемы в области повышения энергоэффективности силовых полупроводниковых преобразователей и способы их решения применительно для трехуровневых преобразователей частоты с фиксированной средней точкой в составе электропривода большой мощности. Сформулированы задачи диссертационного исследования.

Во второй главе разработана логико-математическая модель трехуровневого преобразователя частоты с фиксированной средней точкой на базе активного выпрямителя и автономного инвертора напряжения, позволяющая проводить исследования электромагнитных процессов при различных методах и алгоритмах модуляции. Математическое описание было построено на основе дискретных логических функций, описывающих состояния полупроводниковых приборов в каждой стойки преобразователя. Предложено математическое описание трехуровневого преобразователя частоты с фиксированной средней точкой как объекта регулирования и синтезирована система управления.

В третьей главе были рассмотрены логические модели алгоритмов пространственно-векторной широтно-импульсной модуляции и широтно-импульсной модуля-

ции с удалением выделенных гармоник, позволяющие обеспечить управление переключением полупроводниковых модулей и провести детальное моделирование показателей качества преобразованной электроэнергии трехуровневого преобразователя частоты с фиксированной средней точкой. Была предложена реализация гибридного алгоритма модуляции, позволяющего осуществить переключение между алгоритмами пространственно-векторной широтно-импульсной модуляции и широтно-импульсной модуляции с удалением выделенных гармоник, обеспечивая при этом выполнение требований к минимизации числа коммутаций полупроводниковых модулей.

В четвертой главе на основе результатов сравнительного анализ экспериментальных исследований и результатов моделирования спектра и суммарных коэффициентов гармонических составляющих напряжения сети и тока исследуемого объекта доказана адекватность разработанной логико-математической модели трехуровневого преобразователя частоты с фиксированной средней точкой при пространственно-векторной широтно-импульсной модуляции и широтно-импульсной модуляции с удалением выделенных гармоник. На основе проведенных исследований методом математического моделирования системы главного привода прокатной клетки стана 5000 ОАО «ММК» показано, что использование гибридного алгоритма модуляции приводит к снижению на 56,7% количества переключений полупроводниковых модулей автономного инвертора напряжения в составе трехуровневого преобразователя частоты с фиксированной средней точкой, а следовательно к повышению его КПД порядка 1%, при идентичных суммарных коэффициентах гармонических составляющих тока и напряжения преобразователя со стороны нагрузки.

В заключении представлены основные результаты научных исследований диссертационной работы.

3. Научные результаты работы и их новизна

К наиболее значимым научным результатам диссертационной работы соискателя можно отнести:

– предложенный способ повышения энергоэффективности трехуровневого преобразователя частоты с фиксированной средней точкой на основе гибридного алгоритма модуляции в составе систем регулируемых высоковольтных электроприводов переменного тока;

– разработанную логико-математическую модель трехуровневого преобразователя частоты с фиксированной средней точкой для исследования совместной работы выпрямителя и инвертора, расчета электромагнитных процессов и анализа показателей качества преобразуемой электроэнергии при различных методах и алгоритмах модуляции;

– предложенный гибридный алгоритм модуляции, позволяющий повысить КПД преобразователя путем осуществления переключения между алгоритмами пространственно-векторной широтно-импульсной модуляции и широтно-импульсной модуляции с удалением выделенных гармоник.

4. Основные практические результаты работы

Практическая ценность диссертационной работы состоит в том, что разработаны технические предпосылки для повышения энергоэффективности трехуровневых преобразователей частоты с фиксированной средней точкой в составе промышленных электроприводов большой мощности различного применения. Практическое использование предложенного гибридного алгоритма модуляции трехуровневых преобразо-

вателей частоты с фиксированной средней точкой позволит повысить КПД и улучшить показатели качества потребляемой электроэнергии электропривода без привлечения дополнительных капитальных затрат.

5. Достоверность и обоснованность положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации

Достоверность научных положений, результатов и рекомендаций подтверждается аргументированностью исходных данных, обоснованностью принятых допущений, совпадением результатов математического моделирования с экспериментальными данными измерений.

При решении поставленных задач использованы математический аппарат теории автоматического управления, методы математического моделирования, программная среда для математических и инженерных расчетов MATLAB. Все научные положения аргументированы, полученные результаты исследований не противоречат известным научным положениям.

6. Апробация работы и публикации

Опубликованные автором работы соответствуют содержанию диссертации. По теме диссертации опубликовано 16 научных статей, в том числе 4 в периодических изданиях, рекомендованных ВАК РФ, 7 – входящие в систему цитирования Scopus.

В полном объеме работа докладывалась и обсуждалась на научно-технических семинарах кафедр, международных и всероссийских конференциях.

Автореферат диссертации Маклакова А.С. соответствует диссертационной работе по цели, задачам исследования, основным положениям, актуальности, научной и практической значимости, новизне и достоверности и др.

Исследования, приведенные в диссертационной работе Маклакова А.С. соответствуют формуле и области исследования пп. 2, 3, 4 и 5, приведенных в паспорте специальности 05.09.12 – «Силовая электроника».

Диссертация обладает внутренним единством, содержит новые научные положения, выдвигаемые для публичной защиты, и свидетельствует о личном вкладе автора в науку.

7. Замечания и дискуссионные положения

По содержанию диссертации имеются следующие вопросы и замечания:

1. Разработанное математическое описание трехуровневого преобразователя частоты с фиксированной средней точкой не учитывает реальные вольтамперные характеристики полупроводниковых приборов и реальные скорости и траектории переключений силовых ключей преобразователя. Таким образом, при моделировании не происходит учета волновых процессов в линии питания двигателя, что не позволяет получить полную картину возникающих проблем с электромагнитной совместимостью.

2. При моделировании не учитывается наличие пауз между интервалами управляемой проводимости ключей в каждой из фаз преобразователя. Без введения таких пауз «мертвое время», будут возникать короткие замыкания источника питания через стойки преобразователя при коммутации его ключей.

3. Рассмотренный алгоритм пространственно-векторной широтно-импульсной модуляции с базовой последовательностью базовых пространственных векторов не является единственно возможным. В диссертации не приводится сравнение с другими

алгоритмами пространственно-векторной широтно-импульсной модуляции. На данный момент существуют альтернативные варианты с исключением нулевого базового вектора, что позволяет уменьшить количество переключений за период модуляции.

4. Значимость третьего научного положения, которое связано с оценкой результатов сравнительного анализа показателей качества преобразуемой электроэнергии исследуемого преобразователя при алгоритме пространственно-векторной широтно-импульсной модуляции с базовой последовательностью переключений пространственных векторов и при алгоритме широтно-импульсной модуляции с удалением выделенных гармоник с четвертьволновой симметрией, не является существенной. Данное научное положение справедливо только в рамках проведенного исследования и не может быть в полной мере применено к другим исследуемым объектам схожей структуры.

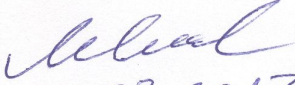
Указанные замечания не снижают высокий научный уровень работы и значимость полученных результатов.

8. Общее заключение по диссертации

Диссертация Маклакова А.С. является завершенной научно-исследовательской работой, содержащей новое решение актуальной научно-технической задачи – повышение энергоэффективности трехуровневого преобразователя частоты с фиксированной средней точкой в составе электропривода большой мощности, с подтверждением результатов теоретических исследований натурными экспериментами.

По своей актуальности, научной новизне, объему выполненных исследований и практической значимости результатов, работа «Повышение энергоэффективности трехуровневого преобразователя частоты с фиксированной средней точкой в составе электропривода большой мощности» удовлетворяет всем требованиям, предъявляемым к научно-квалификационным работам на соискание ученой степени кандидата наук согласно п.п. 9, 10, 11, 13, 14 «Положения о присуждении ученых степеней» (утверждено постановлением Правительства РФ от 24 сентября 2013 №842), а ее автор Маклаков Александр Сергеевич заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.09.12 – «Силовая электроника».

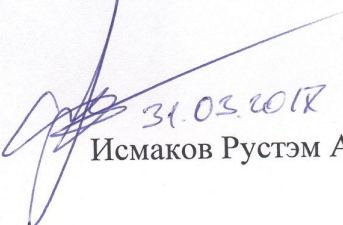
Официальный оппонент –
доцент кафедры «Электротехника и
электрооборудование предприятий»
Уфимского государственного нефтяно-
го технического университета, к.т.н.,
тел.: (347) 2420759;
e-mail: hakimyanovmi@gmail.com


31.03.2017

Хакимьянов Марат Ильгизович

Подпись Хакимьянова М.И. Заверяю,
проректор по научной и инновацион-
ной работе,
профессор, д.т.н.




31.03.2017
Исмаков Рустэм Адипович