

ОТЗЫВ

официального оппонента доктора технических наук,
доцента Брованова Сергея Викторовича
на диссертационную работу Маклакова Александра Сергеевича
«Повышение энергоэффективности трехуровневого преобразователя частоты
с фиксированной средней точкой в составе электропривода большой мощно-
сти», представленную на соискание ученой степени кандидата технических
наук по специальности 05.09.12 «Силовая электроника»

Актуальность работы

Важным фактором электрификации объектов промышленности является эффективность преобразования и использования электрической энергии. Высоковольтные электроприводы переменного тока на базе силовых многоуровневых полупроводниковых преобразователей являются самыми мощными потребителями электрической энергии на промышленных предприятиях. Алгоритмы управления многоуровневыми преобразователями ориентированы, как правило, на применение векторных способов ШИМ, о чем свидетельствуют многочисленные публикации на эту тему. При этом можно отметить, что на сегодняшний день остаются нерешенными задачи, связанные с повышением эффективности многоуровневых полупроводниковых преобразователей.

В этой связи диссертационная работа Маклакова Александра Сергеевича, направленная на разработку математической модели, модифицированного алгоритма модуляции трехуровневым полупроводниковым преобразователем в составе высоковольтного электропривода переменного тока и на повышение энергетической эффективности преобразователя, несомненно, является актуальной.

Структура и содержание диссертационной работы

Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы (118 наименований). Общий объем работы составляет 129 страниц.

Во введении обоснована актуальность работы, сформулированы идея, цели и задачи исследования; определены предмет и объект исследования; изложены научная новизна и практическая значимость работы; приведены основные научные положения работы, выносимые на защиту; отражены вопросы реализации и апробации полученных результатов.

В первой главе рассмотрены основные научно-технические решения современной силовой электроники в области высокомощного автоматизиро-

ванного электропривода. На основании литературного обзора обоснована задача повышения энергоэффективности трехуровневых преобразователей частоты с фиксированной средней точкой с помощью совершенствования алгоритмов модуляции. Определены задачи диссертационной работы.

Во второй главе подробно рассмотрен принцип работы трехуровневой мостовой схемы преобразователя с фиксированной средней точкой. Предложено математическое описание силовой схемы двунаправленного трехуровневого преобразователя частоты с фиксированной средней точкой в неподвижной и во вращающейся системах координат. Построена структурная схема преобразователя как объекта регулирования и синтезирована векторная система управления.

В третьей главе описаны методы пространственно-векторной широтно-импульсной модуляции и широтно-импульсной модуляции с удалением выделенных гармоник. Рассчитаны зависимости уловов переключения полупроводниковых ключей от коэффициента модуляции с помощью численного метода итерации Ньютона-Рафсона. Предложена функциональная схема и описан принцип работы гибридного алгоритма модуляции.

В четвертой главе представлены результаты теоретических и экспериментальных исследований режимов работы трехуровневых преобразователей частоты с фиксированной средней точкой на примере главного привода прокатной клетки стана 5000 ОАО «Магнитогорский металлургический комбинат». На основании сравнительного анализа результатов моделирования и эксперимента была доказана адекватность разработанных математических моделей. Представлены результаты моделирования работы гибридного алгоритма модуляции, на которых видно, что переход между различными алгоритмами модуляции осуществляется без дополнительных переключений полупроводниковых модулей и бросков в кривых тока двигателя.

В заключении приведены основные выводы и результаты диссертационного исследования.

Научная новизна и значимость работы характеризуется следующими результатами:

1. Разработано математическое описание двунаправленного трехуровневого преобразователя частоты с фиксированной средней точкой, позволяющее рассчитывать показатели качества потребляемой и генерируемой электрической энергии при различных применяемых способах модуляции.

2. Автором предложен гибридный алгоритм модуляции, основанный на двух способах ШИМ. Логическое переключение данных способов в зависи-

мости от режимов работы привода позволяет повысить энергетическую эффективность трехуровневого преобразователя.

3. Предложен способ снижения количества коммутаций в силовой схеме трехуровневого преобразователя, позволяющий при сохранении требуемых показателей качества формируемого тока и напряжения повысить КПД преобразователя.

Практическая значимость работы и достоверность полученных результатов

Полученные в диссертации результаты могут найти широкое практическое применение в различных системах преобразования электрической энергии. Так, например, предложенный автором алгоритм модуляции может быть легко адаптирован для управления трехуровневым преобразователем в составе системы генерирования электрической энергии с использованием возобновляемого источника энергии.

Достоверность результатов, полученных в диссертационной работе, обеспечивается корректным применением методов теоретических основ электротехники, метода переключающих функций, а также сходимостью результатов расчета и экспериментальных данных.

Рекомендации по использованию результатов и выводов работы

Разработанные математические модели и модифицированный алгоритм модуляции могут быть использованы при выполнении научно-исследовательских и хозяйственных работ в области широкого спектра промышленных электроприводов большой мощности на базе трехуровневых преобразователей частоты с фиксированной средней точкой. Использование результатов исследований позволит повысить энергетическую эффективность и улучшить показатели качества потребляемой электроэнергии типовых производственных объектов.

Публикации и апробация работы

По теме диссертации опубликовано 16 научных статей, из них – 4 в периодических изданиях, рекомендованных ВАК РФ, 7 – входящая в систему цитирования Scopus. Основные материалы и результаты диссертационной работы докладывались и получили одобрение на конференциях всероссийского и международного уровня.

Оценка содержания диссертации

Диссертационная работа технически грамотно изложена, содержит достаточное количество графического материала, поясняющего и иллюстрирующего соответствующие результаты научных положений и технических решений.

По содержанию работы можно сделать следующие **замечания**:

- 1) Автор отмечает, что разработанная логико-математическая модель позволяет проводить исследования статических и динамических режимов работы, однако в диссертационной работе не представлены какие-либо результаты динамических исследований работы преобразователя.
- 2) Рассматриваемая в диссертации непрерывная модель преобразователя не учитывает небаланс напряжений на емкостях звена постоянного тока, что ограничивает возможности данной модели.
- 3) Предложенный гибридный алгоритм не предусматривает осуществления баланса напряжений на конденсаторах звена постоянного тока, однако небаланс напряжений может возникнуть из-за неидеальности характеристик полупроводниковых силовых ключей или динамических режимов работы привода. В этой связи качество формирования фазных напряжений и токов может значительно ухудшиться.
- 4) В диссертационной работе не приведена методика расчета КПД преобразователей, поэтому не понятно, как рассчитывались статические и динамические потери мощности в силовых ключах преобразователей.
- 5) На стр. 36 по тексту имеется указание на снабберные цепи $C_{S1}-C_{S6}$, $R_{S1}-R_{S6}$, однако реально эти цепи на рисунке 2.1 не представлены.
- 6) На стр. 44 нумерация уравнений не соответствует нумерации представленной в тексте диссертации.
- 7) На стр. 98 имеется ссылка на уравнения 4.15-4.16, однако в диссертации они отсутствуют.

Указанные недостатки не являются принципиальными и не снижают научной и практической ценности диссертационной работы.

Заключение

Результаты диссертационной работы отражены в изданиях, рекомендованных ВАК, и доложены на научно-технических конференциях и семинарах международного и российского уровня.

Содержание автореферата соответствует основным положениям диссертации.

Содержание диссертации соответствует паспорту специальности 05.09.12 – «Силовая электроника».

Диссертационная работа Маклакова А.С. является самостоятельной, законченной научной квалификационной работой, обладающей признаками актуальности, новизны, внутреннего единства, научной и практической значимости. В ней решена научно-техническая задача – повышения энергоэффективности трехуровневого преобразователя частоты с фиксированной средней точкой в составе электропривода большой мощности.

Считаю, что диссертация соответствует требованиям, предъявляемым к научно-квалификационным работам на соискание ученой степени кандидата наук согласно п. 9 «Положения о порядке присуждения ученых степеней» 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
доктор тех. наук, доцент



Брованов
Сергей Викторович

Сведения об оппоненте:

Ф.И.О. Брованов Сергей Викторович.

Наименование организации: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Новосибирский государственный технический университет».

Должность: проректор по учебной работе.

Адрес: 630073, г. Новосибирск, пр-т. Карла Маркса, 20.

Телефон: 8 (383) 346-04-22

e-mail: brovanov@corp.nstu.ru