

ОТЗЫВ

**официального оппонента, кандидата технических наук, доцента
Николаева Александра Аркадьевича на диссертационную работу
Ле Ван Кань на тему «Повышение энергосбережения электроприводов
переменного тока на базе трёхуровневых преобразователей частоты
с фиксированной нейтральной точкой», представленную на соискание
учёной степени кандидата технических наук по научной специальности**

2.4.2. Электротехнические комплексы и системы

1. Актуальность темы диссертационной работы

В современных электротехнических комплексах широкое применение находят регулируемые электроприводы (ЭП) переменного тока на базе преобразователей частоты (ПЧ) с автономными инверторами напряжения (АИН). Использование таких ПЧ позволяет повысить энергоэффективность, обеспечить энергосбережение и надежность функционирования ЭП, что особенно важно для систем высокой мощности. Одной из наиболее перспективных и широко применяемых топологий ПЧ является трёхуровневый АИН с фиксированной нейтральной точкой (ФНТ). Эксплуатация таких инверторов выявила ряд характерных проблем, среди которых, помимо показателей качества выходного напряжения и коммутационных потерь, особенно выделяются дисбаланс напряжения и коммутационных потерь, особенно выделяются дисбаланс напряжения нейтральной точки (НТ) и наличие синфазного (СФ) напряжения. Решение этих проблем требует разработки эффективных методов управления, что и определяет актуальность проведённых исследований.

В диссертационной работе Ле Ван Кань, на основе анализа современных научных публикаций, сформулированы задачи по разработке усовершенствованных методов управления АИН, основанных на пространственно-векторной широтно-импульсной модуляции (ПВШИМ). Предлагаемые методы направлены на повышение качества выходных сигналов, снижение коммутационных потерь, баланс напряжения НТ и подавление высокочастотной составляющей СФ

напряжения – без применения дорогостоящих и громоздких дополнительных устройств, характерных для традиционных решений.

Поставленные и решённые в диссертации задачи включают:

- теоретический анализ особенностей функционирования трёхуровневого ПЧ в составе ЭП и сопутствующих технических проблем;
- разработку методов управления АИН для комплексного устранения ключевых недостатков;
- построение имитационных моделей ЭП и экспериментальную проверку предложенных решений;
- сравнительный анализ результатов моделирования и экспериментальных исследований, подтверждающий эффективность разработанных подходов.

2. Структура и содержание диссертационной работы

Диссертация включает введение, пять глав, заключение, приложения и список литературы, содержащий 162 наименования. Общий объём составляет 180 страниц, работа содержит 77 иллюстраций и 21 таблицу.

Содержание диссертации соответствует заявленным целям и задачам исследования, и логически структурировано следующим образом:

Глава 1 посвящена обзору топологии ЭП на базе ПЧ (ЭП–ПЧ), приведена силовая схема, выполнен анализ существующих алгоритмов ШИМ. Выявлены основные технические проблемы, возникающие в ПЧ, и обоснована актуальность использования ПВШИМ как эффективного метода управления.

Глава 2 содержит описание конструкции и принципа действия АИН ПЧ. Представлен анализ причин возникновения дисбаланса напряжения НТ и СФ напряжения. Разработана имитационная модель ЭП–ПЧ с системой управления АИН по ПВШИМ, а также проведён сравнительный анализ трёх классических последовательностей переключений (ПП).

Глава 3 посвящена разработке усовершенствованных систем управления АИН на основе ПВШИМ. Представлены результаты моделирования, подтверждающие повышение качества управления и эффективность предлагаемых решений.

Глава 4 содержит результаты лабораторных экспериментов, подтверждающих адекватность имитационных моделей и работоспособность усовершенствованных систем управления на основе ПВШИМ в условиях реальной установки.

Глава 5 описывает разработку модели главного электропривода стана 5000 в среде *Matlab/Simulink*. Проведено моделирование с применением усовершенствованной системы управления по ПВШИМ 2, показавшее высокую эффективность предложенного метода в условиях промышленного применения.

3. Достоверность и новизна основных результатов работы

Достоверность представленных результатов подтверждается критическим анализом научной литературы по наиболее распространённым схемам реализации ЭП–ПЧ, методам ПВШИМ и техническим проблемам трёхуровневых ПЧ. Кроме того, достоверность обоснована результатами моделирования, экспериментальными исследованиями, апробацией полученных решений на научно-технических конференциях, а также публикациями в рецензируемых научных изданиях, включая международные.

В рамках диссертационного исследования получены следующие научно-новые результаты:

- разработаны новые алгоритмы ПВШИМ на основе пятиступенчатой (ПВШИМ 1), семиступенчатой (ПВШИМ 2) и гибридной (ПВШИМ 3) ПП для системы управления АИН, отличающиеся от известных тем, что обеспечивают улучшение характеристик ЭП–ПЧ, включая снижение коммутационных потерь, баланс напряжения НТ и уменьшение СФ напряжения без применения дополнительных устройств;

- имитационная модель системы «ЭП–ПЧ», в которой реализованы различные модификации алгоритма ПВШИМ. Это позволило провести комплексный анализ влияния каждого варианта на энергетические и эксплуатационные характеристики ЭП;

- разработана имитационная модель главного ЭП горизонтального валка толстолистного стана 5000, в которой внедрены предложенные алгоритмы

ПВШИМ. Моделирование подтвердило их эффективность в повышении качества выходного напряжения, улучшении энергетических характеристик и повышении общей энергоэффективности системы.

4. Ценность для науки и практики

Ценность диссертационной работы для науки и практики заключается в:

- разработке математической модели системы управления АИН, учитывающей особенности трёхуровневой топологии ПЧ и различные алгоритмы ПВШИМ, что позволяет проводить анализ динамики работы ЭП и оценивать параметры энергоэффективности и энергосбережения;

- предложении усовершенствованного способа управления АИН на основе ПВШИМ, обеспечивающего улучшение формы выходных токов, снижение коммутационных потерь, стабилизацию напряжения НТ и существенное уменьшение СФ напряжения;

- обосновании необходимости подавления 5-й и 7-й гармоник в алгоритмах ПВШИМ для улучшения синусоидальности выходного тока ПЧ и повышения энергетических характеристик приводного синхронного или асинхронного двигателя в составе электропривода;

Таким образом, результаты диссертационной работы Ле Ван Кань вносят существенный вклад в развитие современных технологий управления электроприводами и повышения качества преобразования электроэнергии.

5. Публикации по работе

Основные положения диссертации в достаточном объеме опубликованы в 10 статьях, в том числе 4 статьи в ведущих рецензируемых научных журналах, рекомендованных ВАК РФ, 5 статей в изданиях, индексируемых в международных системах цитирования WoS и Scopus.

6. Соответствие содержания автореферата основным идеям и выводам диссертации

Содержание автореферата в полной мере соответствует основным положени-

ям, идеям и выводам, изложенным в диссертации. Представленные материалы позволяют получить целостное представление о научной новизне, теоретической значимости и практической ценности выполненного исследования.

7. Замечания

1. В главе 2 диссертации в таблице 2.4 (стр. 52) приведены выражения для расчёта продолжительности включения трёх базовых векторов, участвующих в модуляции пространственного вектора. Вывод данных выражений выполнен для схемы двухуровневого инвертора. При этом взаимосвязь векторных диаграмм для двух- и трёхуровневых схем раскрыта недостаточно полно.

2. Следует пояснить, каким образом направление тока через нейтральную точку связано с процессами зарядки и разрядки конденсаторов в звене постоянного тока и влияет ли это на возникновение дисбаланса напряжения ИТ.

3. Несмотря на проведённый сравнительный анализ трёх классических ПП при ПВШИМ, в работе не представлены рекомендации по их применению в зависимости от типа электропривода, характера нагрузки и диапазона мощности.

4. В главе 3 представлен алгоритм ПВШИМ 1, основанный на пятиступенчатой ПП, включающей четыре варианта реализации. Однако принципы их формирования и ключевые особенности описаны недостаточно подробно.

5. В главе 5 при анализе эффективности усовершенствованной системы управления АИН с ПВШИМ 2 в составе электропривода прокатной клетки стана 5000 не были учтены потери мощности в активном выпрямителе, приводном синхронном двигателе, а также в элементах системы электроснабжения. Потери в указанных объектах были приняты равными нулю. Оценка эффекта снижения электропотребления электропривода прокатной клетки выполнялась только на основе анализа снижения потерь активной мощности в силовых ключах АИН. Для повышения точности расчета технического эффекта было бы полезно учесть потери мощности в указанных элементах.

6. В главе 5 не приведен сравнительный анализ графиков изменения электрических и механических параметров электропривода прокатной клетки стана 5000,

полученных на действующем объекте и с использованием разработанной компьютерной модели. Исследование энергетических показателей ПЧ в составе электропривода прокатной клетки выполнялось только на имитационной модели электротехнического комплекса «питающая сеть – преобразователь частоты – синхронных двигатель». Было бы полезно выполнить сравнительный анализ фактического электропотребления электропривода клетки с использованием исходной ПВШИМ для АИН, например, из цеховых архивных файлов IBA PDA, с результатами компьютерного моделирования для проверки адекватности разработанной имитационной модели.

Необходимо отметить, что указанные замечания не являются принципиальными и не снижают ценность диссертационной работы.

8. Заключение

Диссертационная работа Ле Ван Кань «Повышение энергосбережения электроприводов переменного тока на базе трёхуровневых преобразователей частоты с фиксированной нейтральной точкой» представляет собой законченную научно-квалификационную работу, содержащую новое решение актуальной научно-технической задачи по оптимизации работы ПЧ и улучшении энергоэффективности ЭП.

Диссертационная работа Ле Ван Кань соответствует пунктам 1,3,4 паспорта научной специальности 2.4.2 Электротехнические комплексы и системы (п.1. Развитие общей теории электротехнических комплексов и систем, изучение систем изучение системных свойств и связей, физическое, математическое, имитационное и компьютерное моделирование компонентов электротехнических комплексов и систем; п.3. Разработка, структурный и параметрический синтез электротехнических комплексов и систем, их оптимизация, а также разработка алгоритмов энергоэффективного управления; п.4. Исследование работоспособности и качества функционирования электротехнических комплексов и систем в различных режимах, при разнообразных внешних воздействиях).

Представленная диссертационная работа «Повышение энергосбережения электроприводов переменного тока на базе трёхуровневых преобразователей частоты с фиксированной нейтральной точкой» соответствует всем требованиям, предъявляемым к кандидатским диссертациям в соответствии с пунктами 9–14 «Положения о присуждении ученых степеней» в редакции постановления правительства РФ №842 от 24 сентября 2013 г., а её автор, Ле Ван Кань, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.4.2 Электротехнические комплексы и системы.

Официальный оппонент

Заведующий кафедрой автоматизированного электропривода и мехатроники
ФГБОУ ВО «МГТУ им. Г.И. Носова»,
канд. техн. наук, доцент

(кандидатская диссертация Николаева А.А.
защита по научной специальности 05.09.03 –
Электротехнические комплексы и системы)

Николаев Александр Аркадьевич



Сведения об организации:

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова». Адрес: 455000, Россия, Челябинская область, г. Магнитогорск, пр. Ленина, 38. Тел.: +7 (3519) 29-84-02. E-mail: aa.nikolaev@magtu.ru, сайт: www.magtu.ru.