

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА 24.2.324.05,
СОЗДАННОГО НА БАЗЕ ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО
БЮДЖЕТНОГО ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ ВЫСШЕГО
ОБРАЗОВАНИЯ «МАГНИТОГОРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМ. Г.И. НОСОВА», МИНИСТЕРСТВО
НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ПО ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ УЧЁНОЙ СТЕПЕНИ
КАНДИДАТА НАУК

аттестационное дело № _____

решение диссертационного совета от 16.06.2025 № 7

О присуждении Ле Ван Кань, гражданину Социалистической Республики Вьетнам, учёной степени кандидата технических наук.

Диссертация «Повышение энергосбережения электроприводов переменного тока на базе трехуровневых преобразователей частоты с фиксированной нейтральной точкой» по специальности 2.4.2. Электротехнические комплексы и системы принята к защите 7 апреля 2025 г. (протокол №5) диссертационным советом 24.2.324.05, созданным на базе федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», Министерство науки и высшего образования Российской Федерации, 455000, г. Магнитогорск, пр. Ленина, 38, приказ № 508/нк от 24.03.2023 г.

Соискатель Ле Ван Кань, 10 октября 1995 года рождения. В 2024 году соискатель окончил обучение в аспирантуре ФГАОУ ВО «Московский политехнический университет» (Московский Политех) по научной специальности 2.4.2. Электротехнические комплексы и системы.

Работает в должности стажёра на кафедре «Электрооборудование и промышленная электроника», ФГАОУ ВО «Московский политехнический университет» (Московский Политех).

Диссертационная работа на тему «Повышение энергосбережения электроприводов переменного тока на базе трехуровневых преобразователей частоты с фиксированной нейтральной точкой» выполнена на кафедре «Электрооборудование и промышленная электроника», ФГАОУ ВО «Московский политехнический университет» (Московский Политех) Министерства науки и высшего образования Российской Федерации.

Научный руководитель – кандидат технических наук, доцент, Шишков Александр Николаевич, ФГАОУ ВО «Московский политехнический университет» (Московский Политех), кафедра «Электрооборудование и промышленная электроника», заведующий кафедрой.

Официальные оппоненты:

1. Брованов Сергей Викторович – доктор технических наук, профессор, ФГБОУ ВО «Новосибирский государственный технический университет», кафедра «Электроника и электротехника», профессор;

2. Николаев Александр Аркадьевич – кандидат технических наук, доцент, ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», кафедра «Автоматизированный электропривод и мехатроника», заведующий кафедрой.

Дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация – ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский университет «МЭИ» (г. Москва) в своём положительном отзыве, подписанном Благодаровым Дмитрием Анатольевичем, кандидатом технических наук, доцентом кафедры автоматизированного электропривода, и Кулик Егором Сергеевичем, кандидатом технических наук, старшим научным сотрудником кафедры автоматизированного электропривода, указала, что научно-практические результаты, полученные в диссертационной работе Ле Ван Кань на тему «Повышение энергосбережения электроприводов переменного тока на базе трехуровневых преобразователей частоты с фиксированной нейтральной точкой», вносят заметный вклад в развитие и совершенствование систем управления АИН ПЧ для повышения энергосбережения путём улучшения ключевых пока-

зателей качества электроэнергии. Диссертационная работа по объему исследований, их глубине, научной и практической значимости соответствует требованиям, установленным пп. 9-14 «Положения о присуждении ученых степеней» от 24.09.2013 г. № 842, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а её автор, Ле Ван Кань, заслуживает присуждения учёной степени кандидата технических наук по специальности 2.4.2. Электротехнические комплексы и системы.

По теме диссертации соискатель имеет 10 опубликованных работ, из них 4 в журналах из перечня рецензируемых научных изданий, рекомендованного ВАК, 5 публикаций, входящих в систему цитирования Scopus. Сведения об опубликованных работах достоверны.

Авторский вклад соискателя заключается в следующем: проведена оценка результатов работы трёхуровневого преобразователя частоты с фиксированной нейтральной точкой при использовании системы управления автономного инвертора напряжения (АИН) на основе алгоритма пространственно-векторной широтно-импульсной модуляции (ПВШИМ); проведен анализ влияния базовых векторов на отклонение напряжения нейтральной точки и величину синфазного напряжения при различных последовательностях переключений (ПП) в алгоритмах ПВШИМ; подтверждена адекватность разработанных алгоритмов ПВШИМ с хорошей сходимостью результатов моделирования с экспериментальными данными, полученными на экспериментальном комплексе «Трёхуровневый силовой преобразователь»; получены результаты о наиболее эффективных ПП силовых ключей трёхуровневого АИН при ПВШИМ для электроприводов большой мощности в условиях низкой частоты коммутации.

Наиболее значимые работы по теме диссертации:

1. Шишков, А.Н. Оптимальная гибридная последовательность переключения для трехуровневого инвертора напряжения с пространственно-векторной ШИМ / А.Н. Шишков, М.М. Дудкин, А.С. Маклаков, **В.К. Ле** // Электротехнические системы и комплексы. – 2023. – Т. 60. – №. 3. – С. 61–71.

2. Шишков, А.Н. Алгоритм пространственно-векторной ШИМ с гибридной последовательностью переключений для регулируемых электроприво-

дов переменного тока на базе трехуровневого инвертора напряжения / А.Н. Шишков, М.М. Дудкин, **В.К. Ле**, Н.А. Еремин // Вестник Южно-Уральского государственного Университета. Серия: «Энергетика». – 2023. – Т. 23. – №. 4. – С. 34–46.

3. Shishkov, A.N. Neutral Point Voltage Balance in Three-Level Voltage Inverter Based on Space-Vector PWM with Seven-Stage Switching Sequence / A.N. Shishkov, M.M. Dudkin, **V.K. Le**, N.A. Eremin // Russian Electrical Engineering. – 2024. – №. 95. – pp. 475–485.

На диссертацию и автореферат поступило 6 отзывов, все положительные:

1. Отзыв ФГАОУ ВО «Южно-Уральский государственный университет (национальный исследовательский университет)», г. Челябинск (д-р техн. наук, доц. Горожанкин А.Н.): 1) Почему для реализации в системе управления трёхуровневого преобразователя частоты был выбран алгоритм ПВШИМ? 2) В тексте автореферата недостаточно ясно представлен анализ результатов, полученных на рисунке 8, в части зависимости четырёх показателей от коэффициента гибридизации λ . Как изменяются эти показатели при увеличении и уменьшении коэффициента λ ?

2. Отзыв ФГБОУ ВО «Самарский государственный технический университет», г. Самара (д-р техн. наук., проф. Гольдштейн В.Г.): 1) В системе управления преобразователя частоты на основе алгоритма ПВШИМ были проанализированы три классических последовательности переключений: базовая, семиступенчатая и пятиступенчатая. Каковы преимущества и недостатки этих последовательностей, которые являются основой при разработки новых алгоритмов ПВШИМ? 2) Почему при использовании пятиуровневой последовательности переключений (рис. 4а в автореферате) наблюдается значительное увеличение значения $\delta_{\text{нТ}}$ при $\mu = 0,7$? Как это влияет на качество выходного тока инвертора?

3. ФГБОУ ВО «Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ)», г. Москва (канд. техн. наук, доц. Сидоров К.М.): 1) В автореферате рассматривается электропривод с несколь-

кими параллельно работающими автономными инверторами напряжения (АИН), однако не раскрыты особенности применения предложенных алгоритмов ПВШИМ для управления АИН, работающими на одну общую нагрузку, в этом числе с точки зрения синхронизации и распределения нагрузки между ними. 2) Текст автореферата не в полной мере раскрывает влияние снижения количества переключений усовершенствованного алгоритма ПВШИМ 2 на качество выходного напряжения и тока. 3) В автореферате эффекту повышения энергосбережения электроприводов переменного тока за счет предложенных автором решений следовало бы уделить больше внимания и в полной мере раскрыть установленные закономерности КПД систем электропривода от предложенных показателей эффективности. Так, например, на рис. 15 (б) следовало бы привести две зависимости КПД ПЧ от частоты коммутации в указанном на рисунке диапазоне – для алгоритма ПВШИМ с базовой ПП и алгоритма ПВШИМ 2. Поскольку в такой интерпретации результатов неочевидно преимущество предлагаемого решения в сравнении с базовым алгоритмом при различающихся частотах коммутации. В том числе, следовало бы привести значения КПД ПЧ при одинаковой частоте коммутации, но для двух различных алгоритмов.

4. Отзыв ФГУП «Центральный ордена Трудового Красного Знамени научно-исследовательский автомобильный и автомоторный институт «НАМИ», г. Москва (канд. техн. наук, доц. Курмаев Р.Х.) 1) В диссертационной работе представлены три известных и три усовершенствованных алгоритма ПВШИМ, применённых в системе управления автономного инвертора напряжения. Почему при управлении инвертором, входящим в состав главного электропривода толстолиствого стана 5000, были выбраны алгоритм ПВШИМ с базовой последовательностью переключений и алгоритм ПВШИМ 2? 2) Введён коэффициент гибридизации λ для разграничения областей применения пяти- и семиступенчатых последовательностей переключения при формировании гибридной последовательности. Однако в автореферате отсутствует подробное описание предельных случаев этого коэффициента при значениях $\lambda = 0$ и $\lambda = 1$.

5. Отзыв ФГБОУ ВО «МИРЭА - Российский технологический уни-

верситет», г. Москва (канд. физ.-мат. наук, доц. Зуев С.М.). 1) В диссертационной работе предложены три новых алгоритма ПВШИМ для системы управления автономного инвертора напряжения, среди которых алгоритм ПВШИМ 3 с гибридной последовательностью переключений отличается гибкостью применения благодаря коэффициенту гибридизации λ . В условиях применения данного алгоритма в высокомошных электроприводах, где из-за низкой частоты коммутации предъявляются повышенные требования к качеству электроэнергии, каким образом рекомендуется задавать значение коэффициента λ ? 2) Помимо применения в области высоких мощностей, например, в главном электроприводе толстолистого стана 5000, возможна ли реализация алгоритма ПВШИМ 2 в системах с меньшей мощностью?

6. Отзыв ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский Томский политехнический университет», г. Томск (д-р техн. наук, доц. Однокопылов Г.И., канд. техн. наук, доц. Кладиев С.Н.) 1) В тексте автореферата не указано, является ли усовершенствованный алгоритм управления преобразователем предметом интеллектуальной собственности? 2) Из автореферата непонятно, почему достаточно полезные результаты исследования не получили промышленного применения?

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обоснован широко признанными научными достижениями в области силовой электроники, преобразовательной техники и электроприводов на базе преобразователей частоты, применяемых для повышения качества электроэнергии и энергоэффективности. Профессор, доктор технических наук Брованов С.В. является ведущим специалистом в области силовой электроники. Доцент, кандидат технических наук Николаев А.А. – признанный эксперт в области автоматизированных электроприводов и вопросов повышения качества электроэнергии при функционировании полупроводниковых преобразователей.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

разработаны: имитационная модель системы «электропривод – преоб-

разователь частоты», отличающаяся от известных тем, что система управления АИН на основе ПВШИМ поддерживает возможность реализации различных ПП; усовершенствованные системы управления АИН с возможностью управления напряжением нейтральной точки; имитационная модель главного электропривода горизонтального вала толстолистного стана 5000, содержащая усовершенствованную систему управления АИН;

предложены новые алгоритмы управления АИН на основе ПВШИМ, обеспечивающие повышение качества выходных токов, снижение коммутационных потерь, баланс напряжения нейтральной точки и уменьшение высоких уровней синфазного напряжения;

доказана работоспособность системы управления АИН, что подтверждает адекватность предложенных алгоритмов ПВШИМ;

введены рекомендации по применению предложенных алгоритмов ПВШИМ в различных диапазонах мощности электроприводов.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:

доказана эффективность предложенных методик расчета продолжительности включения комбинаций состояний силовых ключей АИН для минимизации отклонения напряжения между двумя конденсаторами в звене постоянного тока при реализации ПВШИМ с различными ПП;

в рамках диссертации **эффективно применены** методы математического моделирования и лабораторных экспериментальных исследований;

раскрыты зависимости напряжения нейтральной точки и синфазного напряжения от базовых векторов, а также их влияние на надёжность и энергоэффективность трёхуровневого преобразователя частоты в составе электропривода;

изложена идея улучшения показателей работы электропривода с трёхуровневым преобразователем частоты путём варьирования последовательностей переключений и оптимизации временных интервалов включения состояний силовых ключей;

проведено усовершенствование существующих систем управления АИН путём разработки и внедрения новых алгоритмов ПВШИМ;

Значение полученных соискателем результатов исследования для практики подтверждается следующими положениями:

разработаны и внедрены в учебный процесс ФГАОУ ВО «Московский политехнический университет» усовершенствованные системы управления АИН трёхуровневого преобразователя частоты, обеспечивающие повышение качества преобразуемой электроэнергии, снижение коммутационных потерь, улучшение баланса напряжения нейтральной точки и уменьшение синфазного напряжения, для обучения студентов по направлению подготовки 13.04.02 Электроэнергетика и электротехника;

определены перспективы применения результатов исследования при проектировании и эксплуатации АИН в составе трёхуровневого преобразователя частоты с фиксированной нейтральной точкой, в электроприводах металлургических прокатных станов;

созданы имитационные модели системы «электропривод – преобразователь частоты» и главного электропривода горизонтального вала толстолиствого стана 5000, в которых реализована система управления АИН, позволяющая оценить эффективность различных вариантов ПВШИМ;

представлены рекомендации по выбору разработанных алгоритмов ПВШИМ и по настройке системы управления АИН для повышения показателей электропривода на базе преобразователя частоты;

Оценка достоверности результатов исследования выявила:

установлена сходимость в пределах инженерной точности между измеренными токами АИН на лабораторном исследовательском стенде и результатами моделирования;

теория построена на известных и верифицированных результатах, и находится в соответствии с опубликованными данными российских и зарубежных исследователей, в том числе по спектру выходных токов АИН, числу пар переключений силовых ключей, отклонению напряжений между конденсаторами звена постоянного тока и величине синфазного напряжения;

идея базируется на анализе современных подходов к разработке методов

повышения эффективности работы полупроводниковых преобразователей в составе электротехнических комплексов;

выполнен сравнительный анализ лабораторных экспериментальных данных, полученных автором, с материалами из патентных и научных источников, посвящённых проблемам повышения энергосбережения АИН и качества преобразуемой электроэнергии;

установлено качественное и количественное соответствие между результатами моделирования и натурных испытаний АИН при работе с номинальной нагрузкой электродвигателя;

использованы современные методы имитационного моделирования с применением математического пакета Matlab/Simulink и лабораторного оборудования фирмы Imperix.

Личный вклад соискателя состоит в:

- разработке имитационной модели «электропривод – преобразователь частоты», которая отличается от существующих тем, что система управления АИН на основе ПВШИМ обеспечивает возможность реализации различных ПП;

- разработке усовершенствованных систем управления АИН на основе ПВШИМ с пятиступенчатой ПП (ПВШИМ 1) и с семиступенчатой ПП (ПВШИМ 2), отличающихся от аналогов возможностью регулирования напряжения нейтральной точки. ПВШИМ 1 обеспечивает возможность перехода между различными вариантами пятиступенчатой ПП, что способствует улучшению качества электроэнергии и баланса напряжения нейтральной точки. ПВШИМ 2 отличается перераспределением длительности включения силовых ключей, что ведет к улучшению четырёх ключевых показателей;

- разработке усовершенствованной системы управления АИН на основе ПВШИМ с гибридной ПП (ПВШИМ 3), которая отличается от аналогов возможностью настройки степени оптимизации четырёх ключевых показателей с использованием коэффициента гибридизации λ в соответствии с требованиями системы;

- разработке имитационной модели главного ЭП горизонтального вала

толстолистого стана 5000, которая отличается от существующих использованием системы управления АИН на основе ПВШИМ 2, обеспечивающей повышение энергетической эффективности системы.

В ходе защиты диссертации были высказаны следующие замечания:

В отзыве ведущей организации:

1. В работе не показано, каким образом автор учитывает схему подключения ЭП на базе ПЧ, частоту переключения полупроводниковых модулей, параметры энергосистемы при расчете параметров регуляторов системы управления АИН.

2. Является ли универсальным предложенный алгоритм ПВШИМ на гибридной ПП для системы управления АИН? Если да, то каким образом возможна его адаптация под другие топологии?

3. В работе следовало бы дать больше информации с примерами практического использования предложенных алгоритмов управления АИН.

4. Представленная автором в пятой главе схема имитационной модели объекта исследования на рисунке 5.4 не имеет должного описания принципа работы. Необходимо определить диапазон значений коэффициента модуляции при ПВШИМ в соответствии с диапазонами скоростей синхронного двигателя.

5. В работе автором предложены три алгоритма управления инвертором напряжения: ПВШИМ 1, ПВШИМ 2 и ПВШИМ 3, однако в главе 5 проведён анализ эффективности только ПВШИМ 2 для главного электропривода прокатной клетки толстолистого стана 5000. Необходимо также оценить возможность применения ПВШИМ 1 и ПВШИМ 3 в данном случае.

В отзыве официального оппонента Брованова С.В.:

1. Для оценки качества ПВШИМ 1 автор использовал два критерия – максимальное относительное отклонение напряжения нейтральной точки и суммарный коэффициент гармонических искажений тока, однако не использовал другие, которые им были введены для оценки качества ПВШИМ. Это не дает возможности провести полное сравнение с другими вариантами ПВШИМ.

2. На странице 88 автор говорит, что максимальное относительное откло-

нение напряжения нейтральной точки не достигает нулевого значения, поскольку ПВШИМ 2 формирует среднее значение тока НТ, а не мгновенное. Это так, но дополнительной причиной и, может быть более существенной, является ограничение $\Delta\gamma$, отмеченное в выражениях (3.23), которое не может принимать значения более 1 и менее -1.

3. Авторы *Nikola Celanovic* и *Dushan Boroyevich* в своих работах показали ограничение возможности подавления пульсаций напряжения нейтральной точки при регулировании длительностей включения малых векторов. Наибольшее значение глубины модуляции, при которой достигается подавление пульсаций тока нейтральной точки равно 0,96 при чисто активной нагрузке, т.е. $\cos\varphi = 1$. При увеличении угла φ подавление пульсаций достигается при меньших значениях глубины модуляции. Автор при анализе пульсаций, возникающих при применении ПВШИМ 2, не говорит о параметрах нагрузки, поэтому сложно проводить анализ с уже имеющимися ранее опубликованными результатами.

4. Автору следовало бы проанализировать поведение предлагаемых ПВШИМ в динамике работы электропривода, если такие режимы предусмотрены.

5. На стр. 44 и 45 автор называет схему трехуровневого преобразователя с фиксацией нейтральной точки, представленную на рис. 2.1, «классической силовой схемой АИН» или «стандартной схемой АИН», что не совсем корректно.

6. На стр. 118, рис. 4.7 д, е визуально наблюдается разница напряжений на конденсаторах в звене DC по постоянной составляющей. Чем автор может это объяснить?

7. В диссертации присутствуют опечатки. Например, на стр. 51 первая строка вместо $\bar{U}_6 = 1/\sqrt{3}$ должно быть $\bar{U}_M = 1/\sqrt{3}$, на стр. 51 в системе уравнений (2.4) вместо уравнения $\gamma'_3 = 1 - \gamma'_1 - \gamma'_3$ должно быть $\gamma'_3 = 1 - \gamma'_1 - \gamma'_2$, на стр. 61 в табл. 2.9 вместо слова «гриппа» должно быть «группа» и тд.

В отзыве официального оппонента Николаева А.А.:

1. В гл. 2 диссертации в табл. 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 двухуровневой и трёхуровневой схемы 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 НТ.

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 расчёта 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–синхронный 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.

В ходе заседания диссертационного совета:

1. Диссертация посвящена повышению энергосбережения. Какие результаты по энергосбережению были получены для стана «5000» ПАО «ММК»?

2. Дайте определение коэффициента модуляции. Данный коэффициент отражает соотношение между выходным напряжением на двигателе и напряжением постоянного тока?

3. Почему предложенные алгоритмы сравнивались с базовой последовательностью? Почему именно она выбрана в качестве основы для сравнения?

4. Для каких типов электроприводов используются ваши алгоритмы: для синхронных электродвигателей или для асинхронных электродвигателей?

5. Какой из четырёх ключевых коэффициентов, представленных на слайде 21 самой плохой и почему?

Соискатель Ле Ван Кань ответил на заданные ему в ходе заседания вопросы и привёл собственную аргументацию:

1. Энергосбережение электропривода оценивается по качеству преобразуемой электроэнергии и снижению потребляемой электроэнергии. Для главного электропривода стана 5000 применение разработанного решения позволило снизить суммарный коэффициент гармонических искажений выходного тока с 3,59 % до 3,18 %, уменьшить коммутационные потери на 43 % и повысить КПД примерно на 0,6 %. Это приводит к снижению потребляемой электроэнергии почти на 360 000 кВт·ч в год. Годовая экономия составляет около 1,3 млн рублей.

2. Коэффициент модуляции, являющийся длиной модулированного пространственного вектора, определяется отношением амплитуды первой гармоники выходного напряжения преобразователя частоты к напряжению постоянного звена. Данный коэффициент определяет величину выходного напряжения, подаваемого на электродвигатель.

3. В ходе выполнения диссертационной работы был проведён сравнительный анализ трёх классических последовательностей при ПВШИМ. Установлено, что только базовая последовательность обеспечивает высокое качество выходного тока преобразователя частоты. Это преимущество делает возможным её применение в электроприводах большой мощности. Следовательно, мы сравни-

вали предложенное решение с базовой последовательностью.

4. Диссертационная работа направлена на повышение энергосбережения ЭП за счёт улучшения показателей преобразователя частоты. Таким образом, эффективность предлагаемых решений не зависит от типа электродвигателя на стороне нагрузки. Следовательно, разработанные алгоритмы могут быть применены как для синхронных, так и для асинхронных электродвигателей, а также для электроприводов большой мощности свыше 100 кВт.

5. В работе рассмотрены алгоритмы ПВШИМ, из них известный алгоритм ПВШИМ с пятиступенчатой последовательностью переключений существенно ухудшает показатели преобразователя частоты.

Диссертационный совет установил, что диссертация Ле Ван Кань представляет собой законченную научно-квалификационную работу, полностью соответствующую критериям «Положения о присуждении ученых степеней» №842 от 24.09.2013 г., предъявляемым к кандидатским диссертациям.

На заседании 16 июня 2025 года диссертационный совет принял решение за новые научно-обоснованные технические решения, направленных на разработку способа управления автономным инвертором напряжения для повышения энергосбережения электропривода, присудить Ле Ван Кань ученую степень кандидата технических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 11 человек, из них 10 – докторов наук по специальности 2.4.2. Электротехнические комплексы и системы, участвовавших в заседании, из 14 человек, входящих в состав совета, проголосовали: за присуждение ученой степени – **11**, против присуждения ученой степени – **нет**, не проголосовали – **нет**.

Председатель

диссертационного совета

Ученый секретарь

диссертационного совета



 Корнилов Геннадий Петрович

 Одинцов Константин Эдуардович

16 июня 2025 г.