

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертационную работу

Ле Дык Тиеп

«Инверторы в режиме векторной широтно-импульсной модуляции для управления асинхронными двигателями»,
представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.09.03 – «Электротехнические комплексы и системы»

Актуальность для науки и практики

Появление быстродействующих цифровых микроконтроллеров позволило для управления полупроводниковыми преобразователями электроэнергии, в частности автономными инверторами напряжения (АИН), широко применять векторную широтно-импульсную модуляцию (ШИМ). По сравнению с методом скалярной ШИМ она обеспечивает улучшение таких характеристик АИН как качество выходного напряжения, рабочая частота коммутации ключей силового каскада инвертора, степень использования источника питания, массогабаритные и энергетические показатели.

Однако в бортовых энергетических системах векторная ШИМ пока еще не применяется столь широко, как в промышленности. Применение ШИМ, в том числе векторной, в преобразователях для авиационного электрооборудования имеет ряд особенностей. Повышенная частота (400 Гц) основной гармоники формируемого напряжения предъявляет более высокие требования к быстродействию и вычислительной мощности управляющего микроконтроллера. Относительно большие индуктивности рассеяния авиационных асинхронных двигателей (АД) требуют компенсации модуля формируемых векторов при регулировании скорости двигателей. Меньшие моменты инерции авиационных АД и большая чувствительность к нестабильности параметров выходного напряжения ППЭ приводят к увеличению пульсации скорости и момента. Таким образом, работа, посвященная поиску, исследованию и применению алгоритмов векторной ШИМ с учетом особенностей, присущих авиационным электроприводам, является актуальной и имеет практическую ценность. Тем более это становится важным с учетом современной тенденции, имеющей место в авиации, - разработка самолетов с полностью электрифицированным оборудованием.

Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации

Приведенные в диссертации положения и выводы получены автором с применением методов, соответствующих задачам исследования. Так, для оптимизации переходов состояний инвертора использованы карты Карно, работоспособность разработанных алгоритмов подтверждена с помощью метода имитационного моделирования и, что важно, физического эксперимента.

Достоверность и новизна полученных результатов

К основным научным результатам можно отнести следующее:

ОБЩИЙ ОТДЕЛ МАИ

Зх. №

17 07 2018

1. На основе анализа состояний инвертора с помощью карт Карно выявлены состояния, обеспечивающие безопасные переходы при формировании выходного напряжения инвертора, которые предложено использовать как дополнительные векторы в общем алгоритме формирования векторов.

2. На основе использования базовых и дополнительных векторов предложены алгоритмы, позволяющие в едином алгоритме формировать выходное напряжение инвертора и исключать сквозные токи первого рода.

3. На основе анализа перехода векторов из сектора в сектор при формировании напряжения обоснована последовательность переходов состояний, обеспечивающая равномерное перемещение векторов.

4. Получены аналитические выражения функций пересчета, позволяющие реализовать траектории движения формируемых векторов на основе известных траекторий нормированных векторов.

Результаты теоретического исследования подтверждены имитационным моделированием в программной среде MATLAB Simulink и физическим экспериментом.

Результаты работы были опубликованы автором в четырех изданиях, включенных в перечень ВАК, а также обсуждались на целом ряде международных научно-технических конференциях. Также результаты диссертационной работы были использованы в НИР и учебном процессе, проводимых на кафедре 306 «Микроэлектронные электросистемы» Московского авиационного института (национального исследовательского университета).

Теоретическая и практическая значимость полученных автором результатов

Предложенный автором подход и разработанные алгоритмы позволяют полностью формализовать процесс управления трехфазным АИН с векторной ШИМ. В частности заполнить те временные разрывы в последовательности векторов, которые обусловлены инерционными свойствами ключей и называются, в частности, интервалы мертвого времени. Используя другие средства (аппаратные или программные) эти зоны обычно реализовались снятием импульсов с ключей плеча, в котором происходила коммутация. Предложенное в диссертации решение рассматривает управление АИН как единый непрерывный процесс, используя в нем дополнительные вектора отражающие состояние АИН на интервале мертвого времени, что исключает при этом сквозные токи в преобразователе.

Разработанная автором последовательность переходов состояний, обеспечивающая равномерное перемещение векторов, также имеет важное практическое значение. Улучшая процесс регулирования скорости АД, она в то же время позволяет повысить износостойкость вращающихся механических частей АД и надежность его работы.

Также представляет практический и теоретический интерес расчет длительностей векторов, соответствующих определенной траектории их движения, на основе полученных аналитических выражений функций пересчета, соответствующи-

щих эталонной траектории нормированных векторов. Это также позволяет формализовать и упростить процедуру управления инвертором.

Достоинства и недостатки в содержании и оформлении диссертации, влияние отмеченных недостатков на качество исследования

Диссертация хорошо структурирована. Исчерпывающе показан вывод проводимых автором соотношений. Иллюстрации, график и временные диаграммы достаточно информативны.

Однако в диссертации имеются недостатки, среди которых следует упомянуть следующие:

1. Для анализа состояний инвертора применен метод на основе карт Карно и не дан обзор других подходов к анализу, например, на основе множеств подключающих и отключающих состояний.

2. Не дана связь формируемых траекторий с режимом работы АИН и методом управления двигателем.

3. Автор уделил большое внимание выводу соотношений, связанных с теорией векторной ШИМ. Однако многие из этих соотношений уже известны. В частности они представлены в классической отечественной работе Шрейнера Р.Т. «Математическое моделирование электроприводов переменного тока с полупроводниковыми преобразователями», работе, которая, к сожалению, отсутствует в списке литературы оппонируемой диссертации.

4. Автор разработал ряд алгоритмов, позволяющих снизить потери в АИН за счет уменьшения числа переключений силовых ключей. Однако он не показал, чем его алгоритмы отличаются от тех, которые уже известны в практике векторной ШИМ и которые обеспечивают аналогичные свойства АИН (в частности они показаны в упомянутой выше работе).

5. Несколько некорректное использование технических терминов. Например, часто используемое «**режим** векторной/скалярной ШИМ». Более правильным является использование термина **способ/метод**. Думается, технический термин **режим** (работы) имеет более глубокий смысл, чем термин метод/способ (управления). Не расшифровано словосочетание трехфазный **связанный инвертор** (стр. 13). В главе 6 одно и то же устройство называется то микропроцессор, то микроконтроллер, что не одно и то же.

6. Несмотря на упоминание о внедрении результатов диссертационной работы в приложении к диссертации отсутствуют подтверждающие документы.

7. При оформлении текста и графического материала автор допустил целый ряд неточностей. Из них можно отметить следующее. В диссертации имеются орфографические, синтаксические и стилистические ошибки, а также пропуски слов, что вполне объясняется тем, что автор по национальности не является русскоговорящим, однако в ряде случаев это затрудняет восприятие материала. В тексте нет ссылок на рисунки 1.7, 1.8 и 5.1. В пояснении к выражению (4.3) дается расшифровка частот f_1 и f_2 , хотя в самом выражении частот с этими индексами нет. В списке литературы под номерами 115, 119, 121 упоминается одна и та же

работа; под номером 42 упоминается диссертационная работа, датируемая 2019-м годом и т.д.

Однако высказанные замечания не подвергают сомнению достоверность и актуальность полученных результатов, а также общее положительное впечатление о работе.

Заключение

В целом, несмотря на указанные недостатки, считаю, что работа выполнена профессионально, на высоком научном уровне с применением адекватных методов исследования. Думается, что результаты работы найдут свое достойное место в теории и практике силовой электроники и электропривода.

Диссертация удовлетворяет требованиям «Положения о порядке присуждения ученых степеней», предъявляемым к диссертационным работам, представленным на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.09.03 – «Электротехнические комплексы и системы», а ее автор Ле Дык Тиеп заслуживает присуждение этой степени.

Официальный оппонент,
доцент кафедры «Электроника и
электротехника», ФГБОУ ВО «Новосибир-
ский государственный технический уни-
верситет», д.т.н., доцент
E-mail: igor_55@ngs.ru, м.т. 8-913-919-31-59

И. А. Баховцев

Подпись Баховцева И.А. удостоверяю,

Проректор по учебной работе
Новосибирского государственного
технического университета



С.В. Брованов