

## ОТЗЫВ

официального оппонента Соловьёва Владимира Алексеевича 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

### Общая характеристика работы

Диссертационная работа Ле Дык Тиеп посвящена разработке, исследованию и практическому применению способов векторной широтно-импульсной модуляции (ШИМ) для управления трехфазным транзисторным инвертором при формировании им напряжения питания авиационного асинхронного двигателя.

Диссертационная работа состоит из введения, шести глав, заключения, содержащего основные выводы и полученные результаты, списка использованной литературы из 166 наименований, и двух приложений. Общий объем диссертационной работы составляет 175 страниц. Ее основная часть изложена на 155 страницах, содержит 125 рисунков и 11 таблиц, на 20 страницах приведены приложения. Автореферат диссертации изложен на 24 страницах.

### Актуальность темы диссертации

Способы управления на основе ШИМ уже длительное время применяются для регулирования выходных напряжений транзисторного инвертора. Однако до недавнего времени эти способы базировались преимущественно на скалярных алгоритмах. Прошедший в последнее время прогресс в повышении быстродействия микроконтроллеров позволил перейти к применению управления инвертором при помощи более совершенной ШИМ, называемой векторной.

Векторная ШИМ по сравнению со скалярной позволяет повысить коэффициент использования напряжения источника электропитания инвертора, качество его выходного напряжения, улучшить его массогабаритные, энергетические и другие показатели. Поэтому этот тип ШИМ в настоящее время широко распространен в асинхронных и синхронных электроприводах промышленного оборудования и наземного транспорта.

ОБЩИЙ ОТДЕЛ МАИ  
Вх. № 5  
" 07 / 2018

В инверторах авиационного оборудования векторная ШИМ распространена пока еще не столь широко и имеет свои особенности. К ним относятся как повышенная частота (400 Гц) основной гармоники формируемого напряжения, так и относительно большая индуктивность фазных обмоток и сравнительно малые моменты инерции авиационных асинхронных двигателей.

Выбранная Ле Дык Тиеп тема диссертационной работы посвящена поиску, исследованию и применению алгоритмов векторной ШИМ, учитывающей указанные особенности работы транзисторных инверторов в авиационных комплексах и системах, поэтому актуальна и своевременна, имеет практическую направленность.

### **Степень обоснованности и достоверность научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации**

Обоснованность и достоверность основных положений диссертации подтверждены корректностью принятых допущений, правильным использованием теоретических основ математического анализа и алгебры-логики, методов синтеза цифровых устройств, теории электрических цепей и теории оптимизации. Полученные результаты, выводы и рекомендации обоснованы и аргументированы в рамках принятых допущений и не противоречат представлениям о физических процессах, происходящих в исследуемых объектах.

Теоретические выводы и результаты синтеза алгоритмов векторной ШИМ для управления инвертором, нагруженным трехфазным авиационным асинхронным двигателем, подтверждены результатами имитационного компьютерного моделирования в среде MATLAB Simulink и экспериментальными данными, полученными при испытании макетного образца исследуемой электротехнической системы.

### **Новизна научных положений и полученных результатов**

Основными новыми научными результатами, полученными автором в диссертационной работе, являются:

- результаты сравнительного анализа скалярной и векторной ШИМ, позволившие установить их общие особенности и показать универсальность векторной ШИМ при формировании выходных напряжений трехфазного инвертора;



- результаты анализа состояний инвертора, позволившие определить безопасные переходы при формировании его выходных напряжений, и рекомендации по представлению этих переходов в качестве дополнительных векторов в алгоритмах формирования векторной ШИМ;
- основанные на использовании базовых и дополнительных векторов алгоритмы, позволяющие формировать выходные напряжения инвертора с исключением возникновения сквозных токов;
- алгоритм переходов базовых и дополнительных векторов, обеспечивающий равномерное перемещение из сектора в сектор вектора напряжения, формируемого инвертором;
- аналитические выражения для расчета длительностей нормированных векторов при формировании заданных опорных траекторий и функции пересчета этих длительностей в соответствии с требуемым законом управления напряжением асинхронного двигателя.

#### **Значимость для науки и практики выводов и результатов диссертации**

Результаты теоретических и экспериментальных исследований, полученные автором в диссертационной работе, могут быть использованы при разработке управляемых асинхронных электроприводов с повышенными требованиями по надежности функционирования, стабильности скорости и электромагнитного момента, а также студентами в учебном процессе при курсовом и дипломном проектировании и аспирантами при проведении исследований по данной теме.

#### **Полнота изложения материалов диссертационной работы в публикациях соискателя.**

Полученные в диссертационной работе результаты апробированы на международных научно-технических конференциях. Автореферат и опубликованные работы, из которых 4 опубликованы в журналах, включенных в перечень рекомендованных ВАК, достаточно полно отражают основное содержание диссертации.

#### **Замечания по диссертационной работе**

1. Принятая автором в диссертации на с.16,17 (таблица 1.2, рис.1.9) индексация векторов напряжения, формируемых инвертором при коммутации его

ключей, и нумерация секторов векторной диаграммы в неподвижной системе координат отличаются от принятой в литературных источниках при описании векторной ШИМ. Так, вектор напряжения, направленный по продольной оси координат и создаваемый подключением фазы А обмотки двигателя к положительной шине источника питания обозначают  $V_1$ , а в диссертации он обозначен  $V_4$ . Это затрудняет анализ созданных автором алгоритмов формирования векторной ШИМ.

2. В диссертации не приведено обоснование выбора карт Карно для оптимизации состояний инвертора и их переходов, исключающих возникновение сквозных токов.
3. В автореферате имеется несоответствие обозначений фаз выходных напряжений инвертора на рис.1 и рис.2. При формировании вектора выходных напряжений  $V_1$  (рис.2) через замкнутый ключ S5 к положительной шине источника питания подключена фаза С двигателя, а на рис.1 к этому транзисторному ключу подключена фаза А.
4. Из текста диссертации неясно, что понимается под терминами микропроцессорное, микроконтроллерное и цифровое микроконтроллерное управление.
5. При выводе формул пересчета для различных траекторий не указано для каких законов регулирования частоты и напряжения питания асинхронного двигателя они предназначены.
6. В тексте диссертации и автореферата встречаются опечатки, например, «180-градусном способе» на с14 диссертации и с.8 автореферата.

### Заключение

Сделанные замечания не снижают общей ценности работы. Диссертационная работа Ле Дык Тиеп «Инверторы в режиме векторной широтно-импульсной модуляции для управления асинхронными двигателями», в которой изложены теоретические и практические результаты исследований свойств и особенностей управления инвертором, нагруженным авиационным трехфазным асинхронным двигателем, и результаты разработки эффективных алгоритмов векторной ШИМ для его управления является законченной научно-квалификационной работой, обладает актуальностью, научной новизной и имеет важное практическое значение для авиационной промышленности.

На основании изложенного можно сделать заключение о том, что представленная диссертационная работа соответствует требованиям п.9 «Положения о порядке присуждения ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства РФ № 842 от 24.09.2013 г., предъявляемым к кандидатским диссертациям, а её автор Ле Дык Тиеп заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.09.03 – Электротехнические комплексы и системы.

Официальный оппонент,  
профессор кафедры «Электротехника  
и промышленная электроника»,  
ФГБОУ ВО «Московский государственный  
технический университет  
имени Н.Э. Баумана (национальный  
исследовательский университет)»,  
доктор технических наук, доцент

В.А. Соловьев

Подпись В. А. Соловьева удостоверяю

105005, г. Москва,  
ул. 2 –я Бауманская, д.5, стр.1  
телефон (499) 263-6391  
факс (499) 267 -4844  
E-mail: [bauman@bmstu.ru](mailto:bauman@bmstu.ru)

