

ОТЗЫВ

официального оппонента Артюхова Ивана Ивановича
на диссертационную работу Рокало Даниила Юрьевича
«Быстродействующий следящий электропривод переменного тока
с трапецеидальным фазным напряжением»,
представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук
по специальности 05.09.03 – Электротехнические комплексы и системы

1 АКТУАЛЬНОСТЬ ТЕМЫ

В настоящее время следящие электроприводы переменного тока являются неотъемлемыми элементами прецизионных металлообрабатывающих станков и промышленных роботов. Быстродействие этих электроприводов непосредственно влияет на величину динамических ошибок слежения и, как следствие, точность оборудования. Очевидно также, что снижение коммутационных потерь в частотном преобразователе с трапецеидальным фазным напряжением приводит к повышению энергетической эффективности его использования. В связи с этим разработка быстродействующего следящего электропривода переменного тока с трапецеидальным фазным напряжением, несомненно, является актуальной задачей. Актуальным также является исследование влияния квантования по времени на работу цифрового следящего электропривода, нашедшее отражение в диссертационной работе Рокало Д.Ю.

2 ОЦЕНКА НОВИЗНЫ И ДОСТОВЕРНОСТИ ОСНОВНЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ ДИССЕРТАЦИИ

В диссертации впервые получен ряд результатов, имеющих научную новизну:

- разработан новый подход к построению частотного преобразователя, отличающийся простотой технической реализации и снижением коммутационных потерь в силовых транзисторах;
- получены аналитические выражения для расчета коэффициентов высших гармоник в выходном сигнале частотного преобразователя при трапецеидальной форме фазного напряжения статора, отличающиеся учетом процессов широтно-импульсной модуляции;
- разработана дискретная математическая модель цифрового следящего электропривода, отличающаяся учетом разных периодов дискретизации при вычислении отдельных составляющих закона регулирования и особенностей структурного построения.

Достоверность полученных научных результатов обеспечивается применением корректных математических методов исследования и сравнением результатов компьютерного моделирования с результатами натуральных экспериментов.

3 ПРАКТИЧЕСКАЯ ЦЕННОСТЬ РЕЗУЛЬТАТОВ ДИССЕРТАЦИИ

Результаты диссертационной работы Рокало Д.Ю. обладают также практической ценностью. Прежде всего, следует обратить внимание на тот факт, что разработанный автором следящий электропривод с трапецеидальным фазным напряжением обеспечивает повышение энергетической эффективности за счет снижения коммутационных потерь и коэффициентов высших гармоник. Кроме того, предложенный вариант построения регуляторов и цифрового модулятора частотного преобразователя на программируемой логике значительно упрощает техническую реализацию быстродействующего следящего электропривода.

4 АНАЛИЗ И ОЦЕНКА СОДЕРЖАНИЯ ДИССЕРТАЦИИ

Диссертационная работа Рокало Д.Ю. четко структурирована и состоит из введения, четырех глав, заключения, библиографического списка и приложения.

Диссертация представляет собой последовательное и аргументированное изложение решений поставленных автором задач.

Во введении обосновывается актуальность работы, оценивается разработанность проблемы, ставятся цель и задачи исследования, отмечается научная новизна и практическая значимость полученных результатов.

В первой главе проведен обзор известных принципов структурного построения следящих электроприводов переменного тока. Проанализированы данные о быстродействии современных следящих электроприводов. Рассмотрены основные принципы построения частотных преобразователей и способы коммутации силовых транзисторов автономных инверторов с широтно-импульсной модуляцией. Проанализирован гармонический состав выходного напряжения частотных преобразователей в зависимости от способа коммутации. Рассмотрены известные дискретные математические модели цифровых следящих электроприводов переменного тока.

Во второй главе найдены коэффициенты высших гармоник для выходных сигналов инверторов с $\frac{2}{3}\pi$ - и π -коммутацией силовых транзисторов.

Показано, что несмотря на большие значения коэффициентов высших гармоник в выходном сигнале таких частотных преобразователей, следящие электроприводы, использующие их в своем составе, имеют большое быстродействие. Получены также формулы для определения коэффициентов ряда Фурье для трапецеидального фазного напряжения. Показано, что применение таких инверторов в следящих электроприводах снижает коэффициенты высших гармоник в несколько раз по сравнению с частотными

преобразователями с $\frac{2}{3}\pi$ - и π -коммутацией силовых транзисторов. Большое внимание уделено исследованию влияния трапецеидального фазного напряжения на модуль и скорость вращения векторов напряжения и тока статора двигателя переменного тока.

В третьей главе предложен новый подход к построению частотного формирователя с трапецеидальным фазным напряжением. Представлена его функциональная схема, принцип работы и законы коммутации силовых транзисторов. Показано, что в таком частотном преобразователе коммутационные потери в силовых транзисторах будут в 2 раза меньше, чем в инверторах с синусоидальной модуляцией. Для формирования трапецеидального фазного напряжения разработан цифровой модулятор. Получены формулы для расчета коэффициентов ряда Фурье для выходного напряжения частотного преобразователя с учетом широтно-импульсной модуляции. Приведены результаты натурных испытаний опытного образца инвертора с трапецеидальным фазным напряжением.

Четвертая глава посвящена выбору структурного построения и методики настройки следящего электропривода переменного тока, обеспечивающих большое быстродействие при отработке управляющих воздействий. Отличительная особенность выбранного варианта электропривода заключается в возможности применения параметров регуляторов кратных двум. Именно поэтому предложен вариант технической реализации регуляторов на программируемой логике. В разработанных регуляторах при вычислении отдельных составляющих закона регулирования можно применять разные периоды дискретизации. Поэтому разработана найдена дискретная передаточной функции замкнутого следящего электропривода переменного тока с учетом разных периодов дискретизации. Оценка адекватности полученной математической модели показала, что расхождение результатов расчетов и натурных экспериментов не превышает 1,64%. Натурные испытаний

также показали большое быстроедействие разработанного следящего электропривода переменного тока.

В заключении отражены основные выводы по результатам исследований, полученных в ходе выполнения диссертационной работы. Приведены рекомендации по использованию результатов проведенного исследования и перспективы дальнейшей разработки темы.

5 ПОДТВЕРЖДЕНИЕ ОПУБЛИКОВАННОСТИ, СООТВЕТСТВИЕ СОДЕРЖАНИЯ АВТОРЕФЕРАТА ОСНОВНЫМ ЦЕЛЯМ И ВЫВОДАМ ДИССЕРТАЦИИ

По теме диссертации имеется 10 публикаций, из них 5 статей в рецензируемых изданиях, входящих в перечень журналов, рекомендованных ВАК и 1 статья, индексируемая в международных базах цитирования Web of Science и Scopus. Новизна технических решений, предложенных автором, подтверждена 1 патентом РФ на изобретение.

Автореферат отражает основное содержание диссертации. Автореферат и диссертация оформлены в соответствии с требованиями ВАК РФ. Апробация диссертационной работы подтверждается участием ее автора в 4 международных научно-технических конференциях.

6 ЗАМЕЧАНИЯ ПО ДИССЕРТАЦИОННОЙ РАБОТЕ

1. В обзоре принципов построения инверторов и коммутации силовых транзисторов не рассмотрены современные матричные преобразователи частоты.

2. При выводе формул коэффициентов высших гармоник автор не учел возможность изменения напряжения U_d в линии постоянного тока.

3. Из текста диссертации следует, что разработанный автором частотный преобразователь формирует с помощью широтно-импульсной модуляции

несимметричную относительно $\theta = \frac{\pi}{2}$ трапецию фазного напряжения. В связи с этим не понятно, зачем рассматривается случай, когда трапеция симметрична относительно угла $\theta = \frac{\pi}{2}$.

4. Применение программируемых логических интегральных схем является модным направлением в настоящее время. Однако, применение микроконтроллера в качестве вычислительного ядра следящего электропривода, на мой взгляд, обеспечивает большую гибкость в применении различных алгоритмов управления.

5. На странице 99 диссертации автор утверждает, что предложенный принцип построения интегрального регулятора обеспечивает устойчивость следящего электропривода во всем диапазоне перемещений и скоростей. Но ведь известно, что устойчивость определяется соотношением коэффициентов характеристического уравнения замкнутого электропривода, а не принципом технической реализации регулятора.

6. В следящих электроприводах, как правило, применяют корректирующие устройства для компенсации динамических ошибок слежения. Но в рассматриваемой диссертации такая коррекция не используется, что наверняка скажется на точность металлообрабатывающего оборудования при изготовлении деталей со сложным геометрическим профилем.

7 ЗАКЛЮЧЕНИЕ ПО ДИССЕРТАЦИОННОЙ РАБОТЕ

Диссертационная работа Рокало Даниила Юрьевича на тему «Быстродействующий следящий электропривод переменного тока с трапецеидальным фазным напряжением» является законченной научно-квалификационной работой, соответствует критериям действующего Положения о порядке присуждения ученых степеней, предъявляемых к диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук.

В целом сделанные замечания не снижают ценности диссертации, поэтому ее автор, Рокало Даниил Юрьевич заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.09.03 – Электротехнические комплексы и системы.

Официальный оппонент,
доктор технических наук, профессор, профессор
кафедры «Электроэнергетика и электротехника»
ФГБОУ ВО «Саратовский государственный
технический университет имени Гагарина Ю.А.»,
410054 Саратов, ул. Политехническая, 77
Тел. +7 (8452) 99-87-64, e-mail: ivart54@mail.ru



Артюхов Иван Иванович

27.11.2019

Подпись д.т.н., профессора Артюхова И.И. заверяю
Ученый секретарь Ученого совета
ФГБОУ ВО «Саратовский государственный
технический университет имени Гагарина Ю.А.»,
к.ф.-м.н., доцент



Салтыкова Ольга Александровна