

ОТЗЫВ

официального оппонента

на диссертационную работу Александровского Сергея Владимировича «Частотно регулируемый синхронный электропривод механизмов с независимым от скорости статическим моментом», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.09.03 – электротехнические комплексы и системы (технические науки)

1. Соответствие диссертации специальности и отрасли науки, по которым она представлена к защите

Диссертация Александровского С.В. «Частотно регулируемый синхронный электропривод механизмов с независимым от скорости статическим моментом» соответствует паспорту специальности 05.09.03 – «Электротехнические комплексы и системы», утвержденного приказом Высшей аттестационной комиссии Республики Беларусь от 09.04.2021 г. № 99 по 4, 5, 8 пунктам области исследования (раздел III) и отрасли «Технические науки».

2. Актуальность темы диссертации

Диссертационное исследование ставит целью исследование и создание научных основ для построения высокоэффективных электроприводов с применением синхронных частотно-регулируемых электродвигателей с электромагнитным возбуждением и возбуждением от постоянных магнитов со скалярным управлением в механизмах, работающих с независимым от скорости статическим моментом. Примерами таких механизмов могут служить широко используемые в промышленности грузоподъемные механизмы и механизмы передвижения грузов (механизмы передвижения кранов, прокатные станы, бумагоделательные машины, ножницы для резки металла, канатные дороги и т.д.).

Для электроприводов таких механизмов, в отличие от электропривода турбомеханизмов, необходимо иметь высокую перегрузочную способность и большую величину максимального и пускового момента, не зависящую от скорости, а также жесткие механические характеристики электропривода, чтобы обеспечить требуемый диапазон регулирования скорости.

Имеющиеся простые и надежные системы скалярного частотного управления асинхронными двигателями не обеспечивают в полной мере этим требованиям и на практике применяются более сложные и дорогие системы векторного управления.

Применение скалярного частотного управления (СЧУ) к синхронным двигателям (СД) с электромагнитным возбуждением и особенно с постоянными магнитами, как наиболее энергоэффективным электрическим машинам, позволит создать простые и надежные электроприводы механизмов с независимым от скорости статическим моментом, обладающим

техническими и экономическими преимуществами по сравнению с широко применяемыми в настоящее время электроприводами.

Стоит отметить, что имеются тенденции к постоянному снижению стоимости синхронных двигателей с постоянными магнитами (СДПМ) при возрастающем выпуске, уже имеются СДПМ на мощности от 50 Вт до 150 кВт.

Все вышеуказанное указывает на актуальность диссертационного исследования Александровского С.В.

3. Степень новизны результатов, полученных в диссертации и научных положений, выносимых на защиту

Научная новизна результатов в диссертации Александровского С.В. и научных положений, выносимых на защиту, заключается в следующем:

- методика аналитического расчета переходных процессов частотно-регулируемого синхронного электропривода при линейном изменении частоты напряжения синхронного двигателя с электромагнитным возбуждением и возбуждением от постоянных магнитов;

- способ управления СДПМ без демпферной обмотки отличающийся тем, что используется независимое задание частоты в скалярном частотном управлении по пропорциональному закону ($U_1/f_1 = \text{const}$), позволяет обеспечивать стабилизацию угловой скорости ротора в установившемся режиме частотно-регулируемого синхронного электродвигателя с постоянными магнитами.

- методика расчета энергетических показателей частотно-регулируемых СД при постоянном магнитном потоке, которая позволяет определять потери мощности, коэффициент полезного действия, коэффициент мощности, а также допустимый по условиям нагрева момент самовентилируемого электродвигателя, который может быть использован при выборе мощности и проверке длительно допустимого момента электродвигателя с постоянными магнитами, работающего при разных нагрузках, скоростях и температурах окружающей среды. При уменьшении частоты питающего двигателя напряжения максимум коэффициента полезного действия смещается в сторону меньших нагрузок, практически сохраняя свою величину;

- методика расчета параметров скалярного частотного управления для СДПМ, предназначенных для векторного управления, которые позволяют рассчитать максимальный электромагнитный момент СДПМ и закон скалярного частотного управления СДПМ с учетом параметров двигателя, что повышает точность стабилизации момента двигателя. Показано, что влияние параметров СДПМ на закон управления не велико в отличие от скалярного частотного управления АД и для управления СДПМ можно использовать пропорциональный закон без корректировки;

- математическая и имитационная модели, позволяющие исследовать динамические характеристики синхронных двигателей при скалярном частотном управлении, отличающиеся наличием демпферной обмотки и отрицательной обратной связи.

В совокупности это позволяет улучшить технические, массогабаритные и энергетические показатели электроприводов механизмов с независимым от скорости статическим моментом.

4. Обоснованность и достоверность выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации

Обоснованность и достоверность заключительных выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации, подтверждается тем, что они базируются на общих положениях теории электрических машин, теории электротехники и теории электропривода.

Сделанные выводы и рекомендации следуют из последовательного решения поставленных задач, согласуются между собой и не противоречат известным результатам других авторов в данной области науки и техники.

Полученные результаты и сформулированные выводы соответствуют современным направлениям развития в области частотно-регулируемого электропривода.

Результаты диссертационного исследования достаточно полно представлены на научно-технических конференциях и опубликованы в рецензируемых научных изданиях. Ссылки на собственные публикации даны во всех пунктах заключительных выводов.

5. Научная, практическая, экономическая и социальная значимость результатов диссертации с указанием рекомендаций по их использованию

Научная значимость результатов заключается в развитии теории скалярного частотного управления двигателями переменного тока, которая может быть использована при проектировании современного электропривода промышленных механизмов и транспортных средств.

В том числе:

- получены аналитические уравнения для расчета переходных процессов момента и скорости частотно-регулируемого синхронного электродвигателя при линейном изменении частоты, которые могут быть использованы для оценки качества переходного процесса без дополнительного моделирования процессов;

- разработан способ управления СДПМ без демпферной обмотки с независимым заданием частоты по пропорциональному закону, обеспечивающим стабилизацию угловой скорости ротора в установившемся режиме, с использованием обратной связи с коэффициентом, определяемым аналитически в отличие от эмпирического определения коэффициента в работе Я.А. Шмарина;

- разработана методика расчета энергетических показателей СДПМ, отличающаяся учетом составляющей тока по оси d при скалярном частотном управлении, позволяющую определять потери мощности, коэффициент полезного действия, коэффициент мощности, а также допустимый по условиям нагрева момент самовентилируемого синхронного двигателя,

которая может быть использована при выборе и проверке СДПМ по мощности и длительно допустимому моменту;

- разработана методика расчета параметров скалярного частотного управления для СДПМ, которая позволит применять уже имеющиеся СДПМ спроектированные для векторного управления в системах скалярного частотного управления, а также закон скалярного частотного управления СДПМ с учетом параметров двигателя, который повышает точность стабилизации момента двигателя на 1,2-3,4% при изменении частоты питающего двигателя напряжения;

- разработаны достоверные математическая и компьютерная модели, которые позволяют исследовать динамические характеристики синхронных электродвигателей при скалярном частотном управлении, отличающиеся от известных моделей наличием демпферной обмотки и отрицательной обратной связи.

Практическая значимость полученных результатов заключается в возможности их использования для проектирования частотно регулируемых синхронных электроприводов крановых механизмов, как наиболее распространенных механизмов с независимым от скорости статическим моментом.

Экономическая значимость работы заключается в повышении энергоэффективности частотно регулируемых электроприводов механизмов с независимым от скорости статическим моментом (снижение энергопотребления на 2,7% за цикл работы кранового электропривода мощностью 7,5кВт).

Следует отметить, что создание простых, надежных и лучших по энергетическим показателям электроприводов механизмов с независимым от скорости статическим моментом приводит к повышению конкурентоспособности отечественных как электроприводов, так и промышленных машин и механизмов.

Социальная значимость результатов работы заключается в получении новых знаний в области частотно-регулируемого электропривода, которые используются в учебном процессе Белорусского национального технического университета и обеспечивают повышение уровня подготовки студентов.

6. Опубликованность результатов диссертации в научной печати

Основные научные результаты диссертации полностью опубликованы в 14 печатных работах, в том числе 6 статей в рецензируемых журналах, включенных в перечень ВАК Республики Беларусь, 8 текстов докладов в сборниках материалов международных научно-технических и научно-практических конференций. Опубликованные материалы по теме диссертационной работы в полной мере отражают проведенные исследования и ее основные положения.

7. Соответствие оформления диссертации требованиям ВАК

Диссертация и автореферат диссертации оформлены в соответствии с Инструкцией, утвержденной постановлением ВАК РБ 28.02.2014 №3 (в редакции постановления ВАК РБ 22.08.2022 №5).

Материалы диссертации изложены последовательно в соответствии с сформулированными целями и задачами исследования. Диссертация состоит из введения, общей характеристики работы, четырех глав, заключения, библиографии и приложения. Полный объем диссертации составляет 125 страниц, включая 41 рисунок, 1 таблицы и 1 приложения. Библиографический список содержит 126 наименований, список публикаций соискателя 14 наименований. Существенных замечаний по форме и стилистике изложения не имеется.

Автореферат хорошо отражает содержание самой диссертации и не содержит материалов, не вошедших в диссертационную работу.

8. Замечания по диссертации

1. В диссертации не отражен вопрос сравнения характеристик электропривода с СДПМ при СЧУ и электропривода с вентильным двигателем, работающим в режиме бесконтактного двигателя постоянного тока (БДПТ), который проще и дешевле электропривода с СДПМ при векторном управлении.

2. Для ряда грузоподъемных механизмов требуется вторая зона регулирования скорости выше номинальной для повышения производительности, однако данный вопрос не отражен в диссертационном исследовании.

3. В автореферате и диссертации имеются неточности и некоторые погрешности в написании отдельных положений, что указано диссертанту.

Сделанные замечания не снижают научной ценности и практической значимости полученных в диссертации результатов.

9. Соответствие научной квалификации соискателя ученой степени, на которую он претендует

Анализ результатов, а также подходов и методов решения задач в области современного электропривода, сделанных выводов и изложения материала исследования показывает, что научная квалификация Александровского С.В. соответствует требованиям ВАК РБ, предъявляемым к соискателям ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.09.03 – «Электротехнические комплексы и системы».

10. Заключение

Диссертация Александровского С.В. «Частотно регулируемый синхронный электропривод механизмов с независимым от скорости статическим моментом» является законченной научной работой, выполненной на актуальную тему. Диссертация содержит новые научно обоснованные результаты, которые относятся к решению важной научно-технической задачи

– улучшение технических и энергетических показателей электроприводов механизмов с независимым от скорости статическим моментом.

Диссертация Александровского С.В. соответствует требованиям ВАК Республики Беларусь, установленным главой 3 положения о присуждении ученых степеней, а ее автор заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.09.03 – «Электротехнические комплексы и системы» за новые научные результаты, включающие:

- математические модели, отличающиеся учетом влияния демпферной обмотки и обратной связи, позволяющие исследовать динамические свойства СД при СЧУ;

- разработанный способ управления СДПМ без демпферной обмотки отличающийся тем, что используется независимое задание частоты в СЧУ по пропорциональному закону, позволяющий обеспечить стабилизацию угловой скорости ротора в установившемся режиме частотно-регулируемого СДПМ;

- разработанную методику расчета энергетических показателей, отличающуюся учетом составляющей тока по оси d при скалярном частотном управлении СДПМ, позволяющую определять потери мощности, коэффициент полезного действия, коэффициент мощности частотно-регулируемых синхронных электродвигателей при постоянном магнитном потоке;

- разработанную методику расчета допустимого по условиям нагрева момента частотно-регулируемого самовентилируемого синхронного двигателя, отличающуюся учетом разных нагрузок, скоростей и температур окружающей среды, позволяющую выполнять выбор и проверку СДПМ по мощности и длительно допустимому моменту;

- разработанную методику расчета параметров скалярного частотного управления для СДПМ, предназначенных для векторного управления, позволяющую рассчитать максимальный электромагнитный момент СДПМ и закон скалярного частотного управления СДПМ с учетом параметров двигателя, который повышает точность стабилизации момента двигателя на 1,2-3,4%.

Официальный оппонент,
доктор технических наук, профессор,
профессор кафедры систем управления
Белорусского государственного университета
информатики и радиоэлектроники

А.П. Кузнецов

«12» марта 2024

Подпись Кузнецова А.П. удостоверяю



Вх N1-001 от 15.03.2024