

ОТЗЫВ

официального оппонента

на диссертацию 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

Содержание диссертации Александровского С.В. «Частотно регулируемый синхронный электропривод механизмов с независимым от скорости статическим моментом» соответствует отрасли «технические науки», диспорту специальности 05.09.03 – «Электротехнические комплексы и системы» по пунктам раздела III:

- п.4 «Элементы и структуры информационного канала электромеханических систем»;
- п.5 «Электрические приводы»;
- п.8 «Управление электромеханическими системами».

2. Актуальность темы диссертации

Диссертация Александровского С.В. посвящена совершенствованию электроприводов механизмов с независимым от скорости статическим моментом, их энергетических, эксплуатационных, массогабаритных и стоимостных показателей.

Механизмы и машины, работающие при неизменной величине статического момента и изменении скорости широко представлены в промышленности. Их примерами могут служить механизмы передвижения мостов и тележек мостовых, козловых, порталных и башенных кранов, прокатные станы, бумагоделательные машины, ножницы для резки металла, канатные дороги, лифты, механизмы подачи металлорежущих станков и т.д. Для таких механизмов диапазон регулирования скорости, как правило, не превышает $D \leq 50$. При этом основными требованиями к такому электроприводу (ЭП) это: высокая перегрузочная способность по моменту, возможность пуска под нагрузкой, жесткие механические характеристики во всем диапазоне регулирования скорости. Современным решением для таких ЭП является применение асинхронных двигателей (АД) с векторным управлением.

В настоящее время во многих областях использования ЭП с АД наблюдается переход к синхронным двигателям с обмоткой возбуждения (СД), а также к синхронным двигателям с возбуждением от постоянных магнитов (СДПМ), поскольку такие двигатели энергоэффективны, имеют меньшую массу и габариты, а их стоимость постоянно снижается.

Дополнительным преимуществом СД (СДПМ) по сравнению с АД при его использовании в ЭП является легкость поддержания магнитного потока возбуждения на номинальном уровне в широком диапазоне изменения скорости двигателя. Поэтому в ЭП с СД (СДПМ) имеется возможность перехода от сравнительно сложного векторного управления к более простому в реализации скалярному частотному управлению (СЧУ), которое совместно с СД (СДПМ) позволяет обеспечить высокую перегрузочную способность по моменту и жесткость механической характеристики. В то же время, серьезным препятствием на пути реализации таких ЭП является недостаточная устойчивость процесса СЧУ СД (СДПМ) нагруженного статическим моментом.

Таким образом, развитие методов анализа процессов и расчета характеристик таких ЭП, разработка на этой основе способов скалярного частотного управления синхронными электродвигателями, в особенности с постоянными магнитами, является актуальной задачей.

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

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

1. Методика приближенного аналитического расчета переходных процессов частотно-регулируемого синхронного электропривода при линейном изменении частоты напряжения СД с электромагнитным возбуждением и возбуждением от постоянных магнитов.

2. Способ СЧУ СДПМ, обеспечивающий стабилизацию угловой скорости ротора в установившемся режиме частотно-регулируемого синхронного двигателя без демферной обмотки, при котором от сигнала задания частоты напряжения двигателя вычитается сигнал пропорциональный первой производной угловой скорости ротора.

3. Методика расчета параметров СЧУ для СД с постоянными магнитами, позволяющая определить закон СЧУ СДПМ.

4. Методика расчета энергетических показателей СЧУ СД при постоянном магнитном потоке, позволяющая определять потери мощности, коэффициент полезного действия, коэффициент мощности, допустимый по условиям нагрева момент самовентилируемого электродвигателя с постоянными магнитами с учетом его мощности, скорости и температуры окружающей среды.

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

Сформулированные выводы и рекомендации в диссертации сделаны исходя из последовательного решения поставленных задач, согласуются между собой, соответствуют современным представлениям теории

электропривода и электрических машин, прошли апробацию на конференциях, опубликованы в профильных научных изданиях.

Достоверность полученных результатов и технических предложений проверена путем применения методов компьютерного моделирования с использованием современного верифицированного программного обеспечения.

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

Научная значимость результатов диссертационного исследования заключается во вкладе в развитие теории частотно регулируемых электроприводов за счет:

- разработки методики приближенного аналитического расчета переходных процессов частотно-регулируемого синхронного ЭП при линейном изменении частоты напряжения с учетом влияния демпферной обмотки и наличия отрицательной обратной связи;

- обоснования целесообразности применения СД с электромагнитным возбуждением и постоянными магнитами при скалярном частотном управлении в ЭП с независимым от скорости статическим моментом;

- разработки способа управления СДПМ без демпферной обмотки с использованием при скалярном частотном управлении по пропорциональному закону сигнала первой производной угловой скорости ротора с постоянным коэффициентом;

- разработки методики расчета параметров скалярного частотного управления для СДПМ, позволяющей определить закон скалярного частотного управления СДПМ с учетом параметров двигателя;

- разработки методики расчета энергетических показателей частотно-регулируемых СД при постоянном магнитном потоке, позволяющей определять потери мощности, коэффициент полезного действия, коэффициент мощности, а также допустимый по условиям нагрева момент самовентилируемого электродвигателя с постоянными магнитами, работающего при разных нагрузках, скоростях и температурах окружающей среды.

Практическая значимость полученных результатов заключается в:

- разработке компьютерной модели на верифицированном программном обеспечении для проведения модельных экспериментов и исследования предложенных решений, позволяющей оценивать характеристики СД (СДПМ) при скалярном частотном управлении в процессе проектирования ЭП различных механизмов;

- использовании результатов исследований в учебном процессе в Белорусском национальном техническом университете (подтверждается актом о практическом использовании) и других профильных учреждениях образования.

Экономическая значимость полученных результатов заключается в повышении энергоэффективности частотно регулируемых ЭП механизмов с независимым от скорости статическим моментом. Имитационное моделирование показало, что при замене асинхронного двигателя кранового механизма мощностью 7,5кВт на СДПМ снижение энергопотребления составило 2,7% за цикл работы ЭП. Возможности получения коммерческой выгоды при создании конкурентных ЭП с СДПМ со скалярным частотным управлением, а также от снижения затрат на их обслуживание.

Социальная значимость полученных результатов состоит в повышении научно-технических компетенций инженерно-технических работников, занимающихся разработкой и проектированием электропривода механизмов, профессорско-преподавательского состава соответствующего профиля, а также качества образовательного и исследовательского процесса кафедры электропривода и автоматизации промышленных установок и технологических комплексов БНТУ.

6. Опубликованность результатов диссертации в научной печати

По результатам диссертационного исследования опубликованы 14 работ, включающие 6 статей в изданиях, входящих в перечень ВАК (4 авт. листа), 8 текстов докладов в сборниках материалов международных научно-технических и научно-практических конференций. Опубликованные по теме диссертации работы в достаточной мере отражают ее основные положения.

7. Соответствие оформления диссертации требованиям ВАК

Диссертация оформлена в соответствии с требованиями Инструкции о порядке оформления диссертации, диссертации в виде научного доклада, автореферата диссертации и публикаций по теме диссертации. Содержание автореферата полностью соответствует содержанию диссертации и отражает основные результаты, полученные в процессе ее выполнения.

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

Оценка научно-технического уровня диссертации, значимости результатов теоретических и экспериментальных исследований, корректности применения методов исследования, математического аппарата, средств компьютерного моделирования позволяет сделать вывод о соответствии научной квалификации Александровского С.В. ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.09.03 – электротехнические комплексы и системы (технические науки).

9. Замечания по диссертации

1. В первой главе классификацию электроприводов для механизмов с постоянным статическим моментом желательно было дополнить структурной схемой, отражающей области их преимущественного использования с учетом реализации основных технических требований -

мощностного диапазона типовых нагрузок, перегрузочной способности, точностных характеристик, диапазона регулирования скорости.

2. Принятый способ линеаризации угловой характеристики СД (формула (2.7) стр.29) недостаточно обоснован.

3. Не приведены количественные оценки точности расчетов по предложенным приближенным аналитическим моделям с результатами компьютерных экспериментов. Нечетко описаны границы использования этих моделей.

4. Переходные процессы, рассчитанные по выражениям (2.40) и (2.41), желательно сравнить с экспериментальными данными компьютерной модели.

5. В системе уравнений ((2.54) стр.53) неясно, о индуктивности какой фазы идет речь (3-фазной обмотки, 2-фазной модели, главного индуктивного сопротивления фазы), притом, что на стр. 63 эта индуктивность приравнена к индуктивности рассеивания.

6. Расчеты по предложенным формулам для КПД (3.20), (3.23) желательно было сопоставить с результатами компьютерных экспериментов.

7. В диссертационной работе не все формулы пронумерованы, что затрудняет чтение и приводит к повторам одинаковых выражений на разных страницах.

8. Описание блоков Matlab, Simulink целесообразно было отнести в приложение и больше внимания уделить обоснованию границ работоспособности разработанных в главах 2,3 моделей, а также численной оценке принятых допущений.

10. Заключение

Несмотря на отмеченные замечания, следует признать, что диссертация Александровского С.В. «Частотно регулируемый синхронный электропривод механизмов с независимым от скорости статическим моментом», представляет собой законченную научно-исследовательскую работу, в которой изложены результаты исследований, имеющие существенное научное и практическое значение для разработки электропривода машин и механизмов.

Диссертация отвечает требованиям, определенных в главе 3 Положения о присуждении ученых степеней и присвоении ученых званий в Республике Беларусь.

Автор заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.09.03 – электротехнические комплексы и системы (технические науки) за новые научные результаты, включающие:

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

- способ управления СДПМ без демпферной обмотки отличающийся применением независимого задания частоты в СЧУ по пропорциональному

закону и использованием сигнала первой производной угловой скорости ротора, что позволяет обеспечивать стабилизацию угловой скорости ротора в установившемся режиме частотно-регулируемого СДПМ;

- методики расчета энергетических показателей частотно-регулируемых СД при постоянном магнитном потоке, позволяющей определять потери мощности, коэффициент полезного действия, коэффициент мощности, а также допустимый по условиям нагрева момент самовентилируемого электродвигателя с постоянными магнитами, отличающуюся учетом составляющей тока по оси d при скалярном частотном управлении СДПМ, разных нагрузок, скоростей и температур окружающей среды;

- методику расчета параметров скалярного частотного управления для СДПМ, позволяющую рассчитать закон скалярного частотного управления с учетом параметров двигателя, который повышает точность стабилизации момента двигателя по сравнению со скалярным частотным управлением АД на 1,2-3,4%.

Официальный оппонент,
кандидат технических наук, доцент,
профессор кафедры электротехники и
систем электропитания
Военной академии Республики Беларусь

А.Н. Малашин

21.03.2024

Александр Николаевич Щербин

Начальник отдела кадров учреждения
образования «Военная академия
Республики Беларусь»

полковник *Щербин* В.В. Щербин



Вх. N-д-001 от 22.03.2024