

ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

на диссертацию Вишневого Владимира Ильича
на тему «Разработка адаптивного нечёткого скользящего управления
асинхронным электроприводом»
по специальности 05.09.03 – Электротехнические комплексы и системы
на соискание ученой степени кандидата технических наук.

Актуальность исследований, представленных в диссертации.

Современные тенденции развития асинхронного электропривода направлены на создание высокопроизводительных, высокодинамичных асинхронных электроприводов, функционирующих в условиях переменных моментов инерции механизмов, переменного момента нагрузки и неопределённости параметров асинхронного электродвигателя. Интеграция асинхронного электропривода в автоматизированные системы управления технологическими процессами предполагает создание электроприводов без механических измерителей скорости, обеспечивающих высокое качество процессов регулирования. Для построения бездатчикового асинхронного электропривода необходимо построение быстродействующих наблюдателей опорных координат: потокосцеплений ротора, статора, главного вектора потокосцепления и электрической угловой скорости ротора, инвариантных к изменению параметров асинхронного электродвигателя.

Разработка и исследование адаптивной бездатчиковой системы управления асинхронным электроприводом в условиях параметрической неопределённости и внешних возмущений в виде переменного момента нагрузки и нестационарного момента инерции механизма отражает современное направление исследований.

Новизна работы.

1. На основе принятых и обоснованных математических моделей асинхронного электропривода, учитывающих параметрические неопределенности, разработан наблюдатель вектора потокосцепления и электрической угловой скорости ротора асинхронного электродвигателя.

Автором диссертационной работы выбраны направления разработки наблюдателя в виде настраиваемых скользящих моделей тока асинхронного электродвигателя.

Использование пропорционально-интегрального регулятора в качестве адаптации настройки обеспечивает оценку электрической угловой скорости ротора. Автором показана возможность применения наблюдателя в исследуемых структурах управления асинхронным электроприводом.

2. Для построения высококачественных законов управления в асинхронном электроприводе необходимо обеспечить параметрическую адаптацию к параметрическим возмущениям асинхронного электродвигателя, переменному моменту инерции механизма и сигнальную адаптацию к динамическому моменту нагрузки. Для построения адаптивных законов управления необходима первичная информация о параметрах объекта управления, математической модели, возмущений. Для оценки возмущений в асинхронном электроприводе с управлением, построенном на базе векторного управления с ориентацией по

вектору потокосцепления ротора, в диссертационной работе представлен подход определения косвенного параметра. Динамический угол ошибки между оцененным вектором потока ротора и желаемым вектором потока ротора, который задаётся идеализированной моделью электропривода, использован в качестве параметра, отражающего изменения динамического момента нагрузки и приведенного момента инерции механизма.

Динамический угол ошибки использован при синтезе математической модели асинхронного электропривода в виде дифференциальных уравнений ошибок регулируемых координат: электрической угловой скорости и потокосцепления ротора. Синтезированная математическая модель позволяет независимо строить управление потокосцеплением ротора и электрической угловой скоростью вращения ротора.

3. Для обеспечения целей управления в асинхронном электроприводе использованы временная и структурная декомпозиция, которые позволяют представить исходную систему в виде эквивалентных подсистем и обеспечить независимое рассмотрение регулируемых координат: тока статора, потокосцепления ротора и электромагнитного момента асинхронного двигателя. С использованием теории систем с переменной структурой, разработан скользящий режим управления асинхронным электроприводом с адаптивно настраиваемыми параметрами разрывной функции управления к внешним возмущениям в виде вариаций момента инерции механизма, динамического момента нагрузки. Параметры релейного регулятора в структуре регулирования скорости настраиваются в соответствие с разработанным адаптивным законом. Параметры релейного регулятора контура потокосцепления настраиваются в функции оценки возмущения в виде угла динамической ошибки.

Адаптивный скользящий режим управления асинхронным электроприводом обеспечивает высокую относительную статическую точность поддержания электрической угловой скорости ротора, сохранение стабильных динамических свойств асинхронного электропривода.

4. Для разработки методики и построения алгоритма адаптивного нечёткого скользящего режима управления скоростью асинхронного электропривода, в диссертационной работе производится предварительная аппроксимация нелинейного уравнения электромеханического равновесия. Аппроксимация нелинейных функций методами нечёткой логики строится на базе разработанной базы знаний в точках максимального отклонения параметров системы на входные воздействия: ошибки измеренной скорости от заданной, производной ошибки по скорости, динамического угла ошибки при изменении динамического момента нагрузки и приведенного момента инерции механизма. Для исключения вибрации в электродинамическом моменте при адаптивном скользящем режиме в пределах граничного слоя вводится пропорционально-интегральный регулятор с настраиваемыми параметрами интегральной и пропорциональной части. Нечеткие отображения нелинейных функций и пропорционально-интегрального регулятора представляются в виде настраиваемого параметрического вектора и вектора отображения при измеренных значениях входов.

Представленная методика и построенный на её основе алгоритм настройки параметров нечёткого регулятора адаптивной нечёткой системы управления скоростью асинхронного электропривода обеспечивают снижение абсолютной динамической ошибки скорости и снижение времени переходных процессов во всём диапазоне регулирования скорости в сравнении с векторным законом регулирования при изменении динамического момента нагрузки и переменном моменте инерции.

Обоснованность научных положений и выводов подтверждается:

- близкой сходимостью теоретических исследований, математического моделирования с применением пакета прикладных программ SIMULINK в среде MATLAB, с результатами экспериментальных исследований разработанных законов управления в высоковольтном преобразователе частоты ЭСН (ООО НПП ЭКРА),
- обоснованностью принятых допущений в математических моделях,
- сопоставлением полученных результатов с результатами, полученными с использованием векторных законов регулирования.

Практическая значимость результатов исследований.

1. Наблюдатель вектора потокосцепления и электрической угловой скорости ротора асинхронного электропривода могут быть использованы для построения систем управления в асинхронном электроприводе с возможностью интеграции в различные технологические процессы, требующие получения высокой точности поддержания скорости электродвигателя без использования механических измерителей скорости.
2. методика настройки параметров пропорционально-интегрального регулятора в структуре скользящего нечёткого режима управления асинхронным электроприводом производственных механизмов, характеризующихся переменным моментом инерции, может быть использована в асинхронных электроприводах для получения необходимых регулировочных характеристик, с учётом предварительной аппроксимации уравнения электромеханического равновесия. К механизмам такого рода можно в полной мере отнести шаровые мельницы с различной степенью загрузки, магистральные насосные агрегаты со сменными насосными колесами, конвеерные механизмы.

Теоретическая значимость.

Заключается в дальнейшем развитии теории систем с переменной структурой с применением теории нечёткой логики к решению задач управления асинхронным электроприводом. Метод и алгоритм настройки параметров нечеткого регулятора скорости адаптивной системы управления асинхронным электроприводом, представленный в виде аппроксимированной нечеткой модели, позволяет обеспечить адаптацию к возмущениям со стороны нагрузки, которые не могут быть измерены.

Способ построения скользящего наблюдателя скорости с применением настраиваемых скользящих моделей тока асинхронного электродвигателя, одна из которых является эталонной, является дальнейшим развитием теории адаптивных наблюдателей асинхронного электропривода.

Замечания к диссертации и автореферату.

1. Представляется целесообразным автору провести анализ влияния интегральной составляющей пропорционально-интегрального регулятора, используемого в качестве адаптивной настройки в структуре адаптивного скользящего наблюдателя электрической угловой скорости ротора, на работу асинхронных электроприводов с высокими динамическими характеристиками, которые построены с применением алгоритмов с прямым управлением моментом и потокосцеплением статора.

2. Использование косвенного параметра в виде динамического угла ошибки, отражающего уровень возмущения со стороны нагрузки, является частным случаем оценки возмущений и может быть применимо в структурах, использующих идею косвенного векторного управления с ориентацией опорной системы координат по вектору потокосцепления ротора.

3. При проектировании алгоритмов адаптивного нечёткого режима управления разработана модель на базе алгоритмов Sugeno и Takagi с применением Гауссовых функций принадлежности. Автору следует дать более чёткое обоснование применимости Гауссовых функций.

4. В диссертационной работе отсутствуют систематизированные данные по техническим характеристикам динамических режимов (быстродействия) и точности поддержания выходных координат. В работе и автореферате приводятся значения по повышению быстродействия в 4 и в 2,5 раза, а в заключении говорится об увеличении быстродействия в 2,3 раза.

Хотелось бы получить разъяснение, принципиально ли такое увеличение быстродействия для электроприводов рассматриваемых механизмов производства ООО НПП «Экра», или это просто оговариваемый предел при использовании рассматриваемых алгоритмов адаптивного управления.

5. В автореферате и диссертации не всегда используются в функциональных схемах принятые обозначения узлов функциональных схем (асинхронный двигатель, инвертор...).

Выводы по диссертационной работе и автореферату.

Высказанные оппонентом замечания к диссертационной работе и автореферату не влияют на положительную оценку полученных результатов, имеющих научное и практическое значение.

Диссертация представлена аргументированным и логичным языком. Основные положения и результаты исследований докладывались на научно-практических конференциях различного уровня: международных, российских. Результаты исследований нашли отражение в статьях, тезисах докладов, опубликованных автором (всего 12 работ, 5 из которых опубликованы в ведущих рецензируемых научных журналах и изданиях, рекомендованных ВАК Министерства образования и науки РФ). Научная новизна полученных решений подтверждена положительными решениями на выдачу патента на полезную модель.

Разработки автора вносят вклад в развитие теории скользящих режимов управления с применением теории нечеткой логики применительно к задачам управления асинхронным электроприводом при переменных параметрах

асинхронного двигателя и неопределенности внешних возмущающих воздействий.

Несомненна практическая значимость диссертационной работы. Разработанные методы построения системы управления, алгоритмы управления и наблюдения переменных состояния асинхронного электропривода использованы и внедрены в цифровую систему управления высоковольтного преобразователя частоты серии ЭСН на напряжения 6-10 кВ на мощности до 5 МВт в рамках реализации научно-исследовательской и опытно-конструкторской работы с ОАО «АК «Транснефть».

Заключение

1. Диссертационная работа представляет собой законченное исследование, содержащее новые научные и практические результаты, полученные при разработке методов и алгоритмов адаптивной бездатчиковой системы управления асинхронным электроприводом.
2. Результаты исследований диссертационной работы внедрены в базовое программное обеспечение микропроцессорной системы управления высоковольтных частотно-регулируемых асинхронных электроприводов серии ЭСН, освоенных в ООО НПП «ЭКРА».
3. Содержание диссертации «Разработка адаптивного нечеткого скользящего управления асинхронным электроприводом» соответствует специальности 05.09.03-Электротехнические комплексы и системы и требованиям ВАК Министерства образования и науки, предъявляемым к кандидатским диссертациям, автор Вишневецкий Владимир Ильич заслуживает присуждения ученой степени кандидат технических наук.

Официальный оппонент

доктор технических наук, профессор,
заведующий кафедрой «Электроэнергетики
и электромеханики»

Санкт-Петербургского горного университета >А.Е. Козярук

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение

высшего образования «Санкт-Петербургский горный университет»

ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский горный университет»,

199026, Санкт-Петербург, 21 линия ВО, д. 2.

Тел.: +(812) 328-84-69 e-mail: koziaruk@mail.ru

Козярук Анатолий Евтихиевич

Подпись: А.Е. Козярук
Заголовок:
Инженер отдела
Производства Е.Р. Яновицкая

16 19 2016 г.