



И. В. Гуляев
Г. М. Тутаев

Системы векторного
управления
электроприводом
на основе
асинхронизированного
вентильного двигателя

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
«МОРДОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
имени Н. П. ОГАРЕВА»

И. В. ГУЛЯЕВ, Г. М. ТУТАЕВ

СИСТЕМЫ
ВЕКТОРНОГО УПРАВЛЕНИЯ
ЭЛЕКТРОПРИВОДОМ
НА ОСНОВЕ
АСИНХРОНИЗИРОВАННОГО
ВЕНТИЛЬНОГО ДВИГАТЕЛЯ
МОНОГРАФИЯ

САРАНСК
ИЗДАТЕЛЬСТВО МОРДОВСКОГО УНИВЕРСИТЕТА
2010

УДК 62-83:621.313.333
ББК 3-2
Г944

Рецензенты:

кафедра теоретических основ электротехники Самарского государственного
технического университета;

Г. Ю. Каменцев, председатель НТС, главный инженер
ОАО «Электровыпрямитель»;

Е. М. Гейфман, заместитель директора НИЦСПП, доктор технических наук

Гуляев И. В.

Г944 Системы векторного управления электроприводом на ос-
нове асинхронизированного вентильного двигателя : моногра-
фия / И. В. Гуляев, Г. М. Тутаев. — Саранск : Изд-во Мор-
дов. ун-та, 2010. — 200 с.
ISBN 978-5-7103-2402-8

В монографии рассмотрены вопросы электромеханического преобразо-
вания энергии нового типа контактного и бесконтактного вентильных двига-
телей на базе двигателя двойного питания, получившего название «асинхро-
низированный вентильный двигатель». Представлены его характеристики,
переходные и установившиеся режимы работы. Максимально использованы
современные достижения общей теории электрических машин. Предложена
имитационная модель двигателя с ортогональным векторным управлением.

Издание предназначено для научных и инженерно-технических работ-
ников, а также для аспирантов и студентов электромеханических и электро-
энергетических специальностей вузов. В частности, оно может быть полезно
инженерам-электромеханикам и энергетикам, занимающимся проектированием
и эксплуатацией электрических машин.

**УДК 62-83:621.313.333
ББК 3-2**

ISBN 978-5-7103-2402-8

© Гуляев И. В., Тутаев Г. М., 2010
© Оформление. Издательство
Мордовского университета, 2010

Энергосберегающий частотно-регулируемый электропривод на базе синхронного и асинхронного двигателей является основным типом регулируемого электропривода. Разработанные современные законы скалярного, векторного, прямого управления моментом позволили обеспечить требуемое качество регулирования и значительно повысить КПД. Использование мощного электропривода при тяжелых условиях пуска выявило и существенные недостатки, а именно отсутствие коммутации тока статора с фазы на фазу при неподвижном роторе. В результате при максимальном пусковом моменте, сопровождающемся длительным режимом упора, возникают перегрузки пусковым током в цепи статора преобразователя частоты. Для предотвращения аварийных режимов работы ЭП необходимо ограничивать по времени данный процесс либо использовать силовую часть, рассчитанную на большие токи. Второе из-за увеличения массогабаритных показателей делает затруднительным применение данных ПЧ в тяговом приводе, где также необходимо обеспечить рекуперативное торможение до полной остановки и максимальный КПД в режиме рабочих скоростей.

Одним из вариантов решения данной проблемы является применение нового типа контактного и бесконтактного вентильных двигателей на базе двигателя двойного питания, получившего название «асинхронизированный вентильный двигатель». Машинно-вентильный каскад на основе АВД имеет в своем составе базовый асинхронный двигатель с фазным ротором (контактный вариант) и два преобразователя частоты в статоре и роторе. Процесс пуска ЭП начинается с подачи в цепь ротора трехфазного переменного тока низкой фиксированной частоты для создания в двигателе вращающегося электромагнитного поля, обеспечивающего успешную коммутацию тиристоров ПЧ якоря. Процесс разгона насыщенной машины начинается подачей питающего напряжения в цепь статора, что существенно облегчает пуск АВД при максимальном моменте сопротивления в режиме упора.

Глубокие теоретические и практические исследования в области МДП, проведенные во ВНИИ электроэнергетики под руководством М. М. Ботвинника [15] и Ю. Г. Шакаряна [147], отражены в работах Г. Б. Онищенко [86], А. Е. Загорского и Ю. Г. Шакаряна [42], С. В. Хватова и В. Г. Титова [139] и ряда других ученых.

Существенный вклад в развитие теории АВД внес коллектив научно-исследовательской лаборатории вентильных электрических ма-

шин Мордовского государственного университета им. Н. П. Огарева. Результаты исследований контактного и бесконтактного двигателей двойного питания отражены более чем в 200 научных публикациях и 30 авторских свидетельствах на изобретения. Сотрудниками лаборатории проводятся теоретические и экспериментальные исследования работы ЭП с различными законами управления, создан его макетный образец.

Итогом многолетней работы стала научная концепция ОЭМС, представляющей собой обобщенный электромеханический преобразователь на базе контактного и бесконтактного АВД со статическими ПЧ в его обмотках статора и ротора. В зависимости от законов управления преобразователями частоты ОЭМС позволяет реализовать три основных режима АВД — обобщенный асинхронный, обобщенный синхронный и обобщенный режим машины постоянного тока. Перспективным направлением исследования является режим ОДПТ, который позволяет при векторном ортогональном управлении ($\vec{\psi}_\delta \perp \vec{I}_s$ и $\psi_\delta = \text{const}$) в рабочих режимах АВД получить высокие энергетические характеристики каскада. Разработка и отладка ЭП требует значительных временных и материальных затрат. Применение имитационного моделирования позволяет исследовать процессы электромеханического преобразования энергии, проходящие в ЭП. Таким образом, создание имитационной модели ЭП на базе АВД с ортогональным векторным управлением для анализа электромеханических характеристик в различных режимах его работы является актуальной задачей.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	3
Глава 1. СОВРЕМЕННЫЕ СПОСОБЫ И СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОПРИВОДОМ	5
1.1. Современные способы управления электроприводом	8
1.2. Системы управления электроприводом на базе асинхронного двигателя	16
1.3. Системы управления электроприводами на базе вентильного и вентильно-индукторного двигателей	25
1.4. Системы управления электроприводами на базе машины двойного питания и асинхронизированного вентильного двигателя	33
Глава 2. СИНТЕЗ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ДВИГАТЕЛЯ ДВОЙНОГО ПИТАНИЯ ПРИ ВЕКТОРНОМ УПРАВЛЕНИИ	40
2.1. Математическая модель двигателя двойного питания	42
2.2. Математическая модель двигателя двойного питания при векторном управлении	55
2.3. Блоки компенсации	64
2.4. Наблюдатель магнитного потока	68
2.5. Векторно-матричная модель двигателя двойного питания	70
2.6. Математическая модель двигателя двойного питания при векторном управлении с учетом потерь в стали и намагничивания	75
Глава 3. СИНТЕЗ СИСТЕМЫ РЕГУЛИРОВАНИЯ И ИМИТАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ АСИНХРОНИЗИРОВАННОГО ВЕНТИЛЬНОГО ДВИГАТЕЛЯ ПРИ ВЕКТОРНОМ УПРАВЛЕНИИ	83
3.1. Расчет параметров базовой машины	85
3.2. Синтез регуляторов для асинхронизированного вентильного двигателя	88
3.3. Расчет параметров регуляторов	97
3.4. Моделирование системы регулирования электропривода с асинхронизированным вентильным двигателем	101
3.5. Имитационная модель электропривода с асинхронизированным вентильным двигателем при векторном управлении	108
Глава 4. МОДЕЛИРОВАНИЕ РЕЖИМОВ РАБОТЫ ЭЛЕКТРОПРИВОДА С АСИНХРОНИЗИРОВАННЫМ ВЕНТИЛЬНЫМ ДВИГАТЕЛЕМ	130
4.1. Моделирование силовой части ротора и статора	131
4.2. Координаты привода при векторном управлении	139

4.3. Моделирование привода при стабилизации основного магнитного потока	147
4.4. Моделирование ортогонального управления приводом с асинхронизированным вентильным двигателем	154
4.5. Моделирование привода в режиме упора	161
Глава 5. РАЗРАБОТКА ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ СХЕМЫ МАКЕТНОГО ОБРАЗЦА ЭЛЕКТРОПРИВОДА С АСИНХРОНИЗИРОВАННЫМ ВЕНТИЛЬНЫМ ДВИГАТЕЛЕМ	168
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	182
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК	184
СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ	194

Научное издание

**ГУЛЯЕВ Игорь Васильевич
ТУТАЕВ Геннадий Михайлович**

**СИСТЕМЫ ВЕКТОРНОГО УПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОПРИВОДОМ
НА ОСНОВЕ АСИНХРОНИЗИРОВАННОГО ВЕНТИЛЬНОГО ДВИГАТЕЛЯ**

Монография

Редактор *И. В. Прохорова*
Технический редактор *Т. А. Сальникова*
Дизайн обложки *Н. В. Руиковой*
Корректор *Л. Н. Вечканова*
Компьютерная верстка *Л. В. Тростинной*

Подписано в печать 30.12.10. Формат 60×84 $\frac{1}{16}$. Усл. печ. л. 11,63.
Тираж 300 экз. Заказ № 2062.

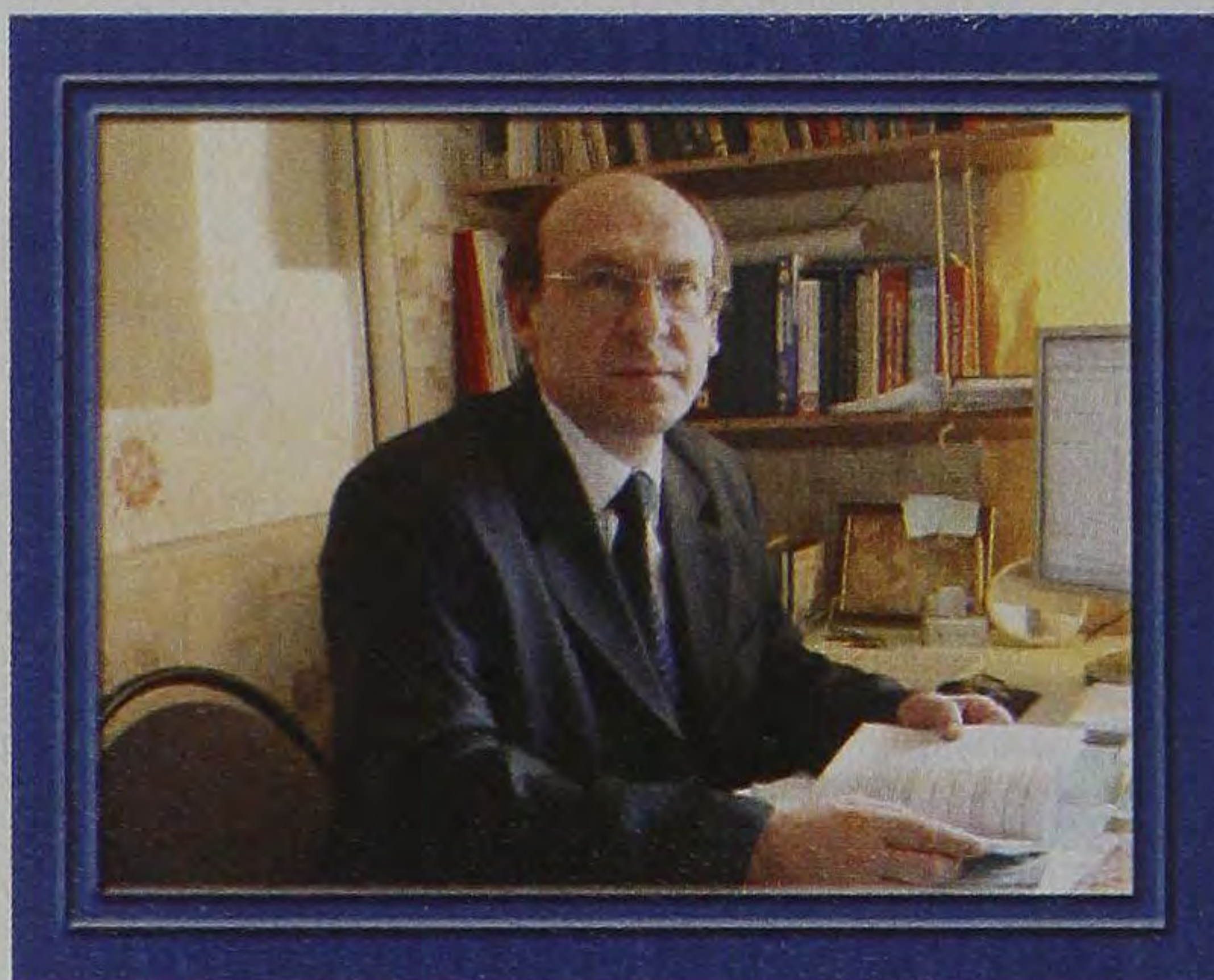
Издательство Мордовского университета
Типография Издательства Мордовского университета
430005, г. Саранск, ул. Советская, 24



Гуляев Игорь Васильевич, декан факультета электронной техники Мордовского университета (с 1999 г. по настоящее время). Родился 11 августа 1955 г. в г. Борисоглебске Воронежской области. Окончил факультет электроники и автоматики Мордовского университета им. Н. П. Огарева (1977). Доктор технических наук (2005).

Область научных интересов: электромеханические системы на основе применения бесконтактного асинхронизированного вентильного двигателя с реализацией требуемых законов регулирования и управления на основе использования статических силовых полупроводниковых преобразователей частоты с микропроцессорными системами управления.

Публикации: более 130 научных и учебно-методических работ, в том числе 5 монографий, 46 статей в научно-технических журналах «Электротехника», «Энергетика», периодических изданиях серии «Известия вузов», журналах издательства «Allerton Press» и др. Имеет 20 авторских свидетельств на изобретения и патентов, свидетельства на полезную модель, свидетельства об официальной регистрации программ для ЭВМ.



Тутаев Геннадий Михайлович родился 5 февраля 1963 г. в г. Саранске. Окончил факультет электроники и автоматики (1986), аспирантуру Мордовского государственного университета имени Н. П. Огарева (2000). В 2002 г. защитил диссертацию на соискание ученой степени кандидата технических наук в Нижегородском государственном техническом университете. В настоящее время доцент кафедры автоматики Мордовского университета. В 2007 г. окончил докторантуру, работает над докторской диссертацией.

Область научных интересов: моделирование электромеханических процессов в электроприводе, оптимальное управление электроприводом, микропроцессорные системы управления, устойчивость электромеханических систем.

Публикации: более 60 научных и методических работ, в том числе 2 монографии. Имеет 8 авторских свидетельств и 4 патента на изобретения.

ISBN 978-5-7103-2402-8

