

Цифровое векторное управление вентильно-индукторными двигателями с независимым возбуждением

Бурное развитие цифровой и управляющей электроники позволяет ставить и решать новые и ранее невыполнимые задачи. Одной из таких задач является векторное управление вентильно-индукторным двигателем (ВИД). Этот привод называют приводом XXI века. Однако он еще далек от совершенства, и даже ведущие мировые электротехнические фирмы только ставят задачи его серийного освоения. Дело не только в создании новых качественных силовых преобразователей для этого типа двигателей, но и в непроработанности многих вопросов управления, отсутствии методик комплексного проектирования всей системы, включая электромеханический преобразователь и встроенный датчик положения. В статье рассматривается один из подходов к реализации векторного управления вентильно-индукторным двигателем независимого возбуждения на базе современных высокопроизводительных DSP-микроконтроллеров и интеллектуальных силовых IGBT-модулей.

Владимир Козаченко

kozachenko@aep.mpei.ac.ru

Алексей Анучин

an@aep.mpei.ac.ru

**Андрей Дроздов,
Александр Жарков**

Введение

Стремление разработчиков существенно упростить и удешевить электромеханический преобразователь энергии привело к созданию нового класса двигателей с пассивным ферромагнитным ротором и сосредоточенными катушками на статоре. Конструкции этих машин известны уже более 100 лет, но только с развитием современной силовой электроники и микропроцессорной техники они стали рассматриваться как возможные конкуренты массово применяемых сегодня асинхронных двигателей и вентильных двигателей на базе синхронных машин с постоянными магнитами. Очевидная простота,

надежность вентильно-индукторного двигателя и его технологичность обманчивы. Для обеспечения качественного управления моментом и скоростью необходима достаточно сложная высокопроизводительная цифровая система управления. При этом сложность системы и ее структура во многом определяются типом ВИД; чем проще конструкция собственно двигателя, тем более сложными оказываются структуры и алгоритмы управления.

Вентильно-индукторные двигатели делятся на три типа: с самовозбуждением, с независимым возбуждением и магнитоэлектрические. Самые простые по конструкции — двигатели с самовозбуждением (рис. 1). Их прототип — классические шаговые двигатели. Основное отличие — работа в режиме бесколлекторного двигателя постоянного тока с автокоммутацией фаз по датчику положения ротора. Построение системы векторного управления для такого двигателя — сложная и неблагодарная задача. Чаще всего система управления строится по схеме «электронный коммутатор — двигатель» с регулированием фазного тока и угла коммутации. В более сложных и ответственных приводах применяется отдельный контур регулирования напряжения в звене постоянного тока с дополнительным преобразователем постоянного тока в постоянный (DC/DC). Очень серьезной и не до конца решенной на данный момент проблемой в этом типе привода является организация качественных тормозных режимов.

ВИД с самовозбуждением требуют однополярного питания, то есть в машине присутствует как бы скрытый контур возбуждения за счет протекания по обмоткам двигателя постоянной составляющей тока. Возбуждение можно создать явно, разместив на статоре дополнительную обмотку возбуждения, как показано на рис. 2. Такой двигатель относится

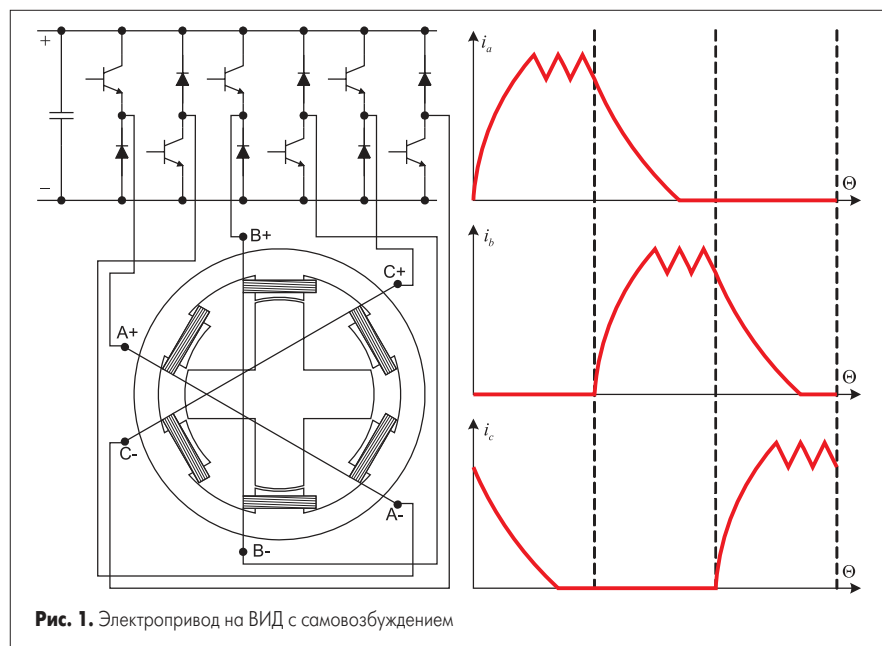


Рис. 1. Электропривод на ВИД с самовозбуждением

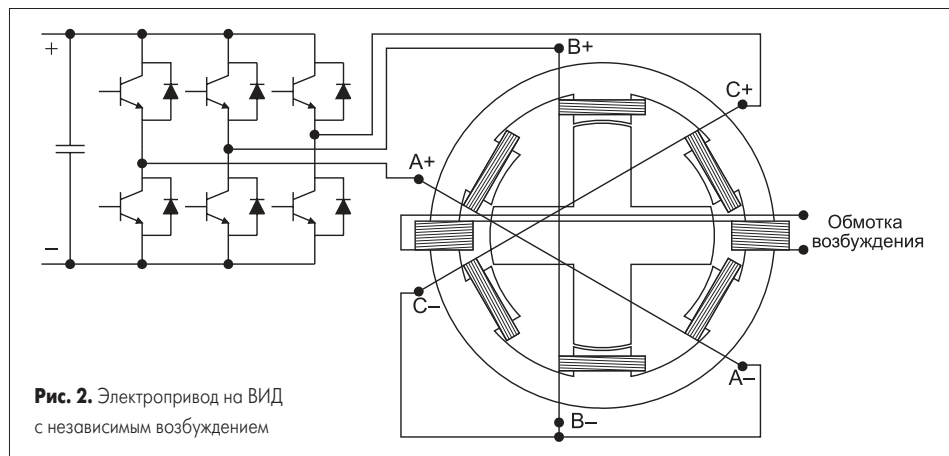


Рис. 2. Электропривод на ВИД с независимым возбуждением

к классу вентильно-индукторных с независимым возбуждением и разнополярной коммутацией фаз, что позволяет использовать классические мостовые инверторы напряжения, применяемые в большинстве современных преобразователей частоты для асинхронных частотно-регулируемых приводов и современные цифровые методы управления ими — методы широтно-импульсной модуляции базовых векторов. Кроме того, открываются возможности цифрового векторного управления ВИД.

Обмотка возбуждения может быть заменена постоянным магнитом — получим вентильно-индукторный двигатель с магнито-электрическим возбуждением. Основное применение таких машин — приводы малой мощности.

Важным признаком любого вентильно-индукторного двигателя является независимость потока возбуждения от положения ротора — он только перераспределяется по сердцам статора. Машина на рис. 2 во многом несовершенна: индуктивности фаз меняются от положения ротора, есть магнитная связь между фазами. Для задач управления это обстоятельство затрудняет синтез структуры управления, приводит к дополнительным пульсациям момента и скорости. Существуют конструкции ВИД, исключающие эти недостатки частично или полностью.

Конструкции ВИД, адаптированные под векторное управление

На рис. 3 представлена базовая конструкция двухпакетного вентильно-индукторного двигателя с независимым возбуждением типа 9/6 (9 ядер статора и 6 зубцов ротора), разработанная А. М. Русаковым [1].

Двигатель имеет следующие конструктивные особенности:

- Фазные катушки *сосредоточенные* и охватывают одновременно оба пакета. Они просты и технологичны в изготовлении, ориентированы на автоматизированную намотку.
- Обмотка возбуждения *сосредоточенная кольцевая*, располагается между двумя пакетами статора, также проста и технологична в изготовлении.
- Оба пакета статора абсолютно идентичны. Пакеты ротора сдвинуты друг относительно друга на половину полюсного деления машины, то есть на 180 эл. град.

- Каждая *фазная секция* состоит из n_k катушек (в данном случае 3), которые соединяются между собой последовательно или параллельно. Все катушки одной фазы ориентированы одинаково относительно зубчатой структуры ротора.
- Катушки фазы В сдвинуты относительно катушек фазы А на 120 эл. град., а катушки фазы С — на 240 эл. град.
- Число пар полюсов машины определяется числом зубцов ротора $p_n = z_r$.
- Число зубцов статора определяется числом катушек на фазу и числом фаз $z_s = m_\phi \times n_k$.

В этом двигателе удается получить практически независимые от положения ротора индуктивности фаз. Еще более совершенными являются многосекционные вентильно-индукторные двигатели, в которых за счет использования двух, трех и более трехфазных секций [1] удается не только полностью исключить взаимные связи между фазами, но и добиться практически независимой работы каждой из элементарных машин, входящих в двигатель. Электромеханический преобразователь становится адаптирован-

ным к перспективным структурам цифрового векторного синусно-косинусного управления. За счет многосекционности достигаются следующие преимущества:

- При независимом управлении каждой секцией двигателя от собственного инвертора в режиме автокоммутации по сигналам собственного датчика положения (режим вентильного двигателя) эквивалентное число тактов коммутации увеличивается пропорционально числу секций $n_{\text{так_экв}} = n_{\text{так}} \times n_{\text{сек}}$ что приводит к значительному снижению пульсаций электромагнитного момента двигателя.
- Секционирование двигателя позволяет ограничить установленную мощность инвертора секции значением (до 200 кВт), реализуемым при использовании стандартной элементной базы, без необходимости перехода к высоковольтной технике, что открывает перспективу создания вентильно-индукторных приводов на любые мощности, вплоть до нескольких МВт, при стандартных уровнях напряжения питания 380 В.
- Секционирование двигателя и силового преобразователя существенно *повышает надежность* привода, так как при выходе из строя одной секции (по любой причине: отказ секции, инвертора или датчика положения) остальные секции остаются в рабочем состоянии.
- При объединении одноименных обмоток секций в одну и векторном управлении двигателем пространственный сдвиг секций существенно улучшает гармонический состав электромагнитного момента, приближая двигатель к идеальному — с отсутствием пульсаций момента. Этот эффект в отличие от традиционных машин с распределенной обмоткой достигается исключительно за счет использования простых сосредоточенных катушек.

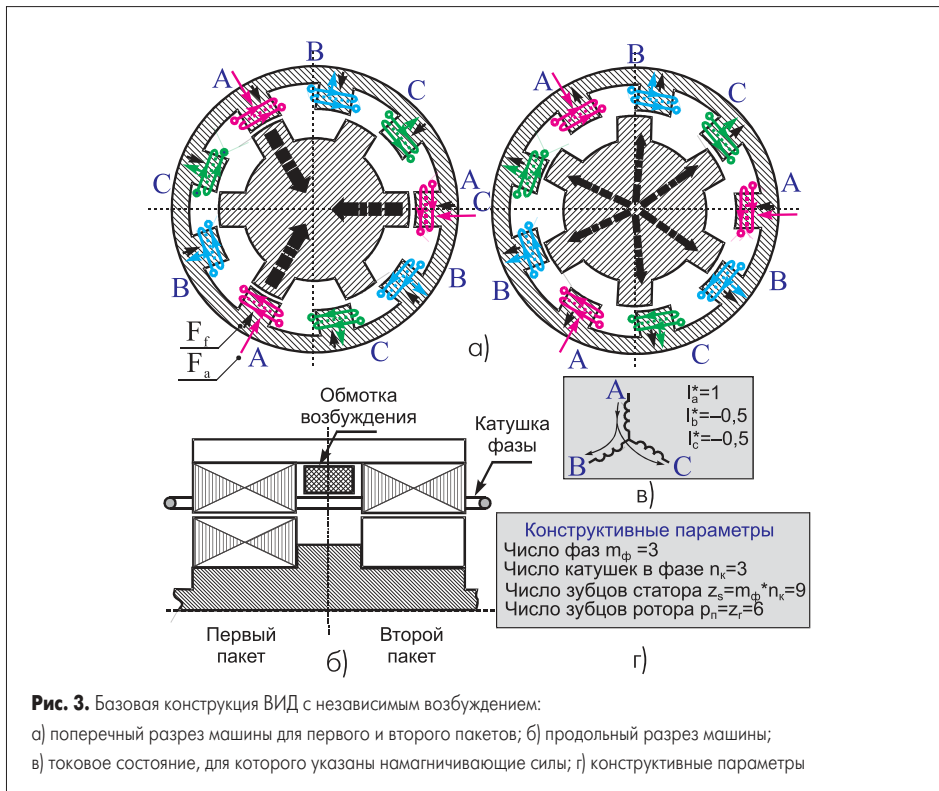


Рис. 3. Базовая конструкция ВИД с независимым возбуждением:

- а) поперечный разрез машины для первого и второго пакетов; б) продольный разрез машины; в) токовое состояние, для которого указаны намагничивающие силы; г) конструктивные параметры