УДК 681.3

А.В. Куксин, А.В. Романов

ЦИФРОВАЯ РЕЛЕЙНО-ВЕКТОРНАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ АСИНХРОННЫМ ЭЛЕКТРОПРИВОДОМ С УЛУЧШЕННЫМИ ДИНАМИЧЕСКИМИ ХАРАКТЕРИСТИКАМИ

Сведения об авторах:
Куксин Алексей Владимирович – МИКТ, аспирант; e-mail: Kuksin-Aleksey@yandex.ru
Романов Андрей Владимирович – к.т.н., доцент каф. АИТС ВГТУ, e-mail: andr-romanov@narod.ru

Аннотация: Рассмотрена общая характеристика, структурная схема и алгоритмы цифровой релейно-векторной системы управления асинхронными электроприводами с улучшенными динамическими характеристиками. Приведены результаты экспериментальных исследований.

ключевые слова электропривод, асинхронный электропривод, система управления, релейно-векторная система управления

В большинстве сфер применения электромеханических систем высокоточного воспроизведения сложных движений надежность и высокие технико-экономические показатели, возможность длительного функционирования без профилактического обслуживания могут быть достигнуты при построение электропривода (ЭП) на основе короткозамкнутых асинхронных двигателей (КЗАД), которые наряду с бесконтактностью обладают сравнительно меньшими моментом инерции, весом и габаритами, большей перегрузочной способностью и минимальной стоимостью по сравнению с машинами постоянного тока.

Основой для разработки прецизионных асинхронных электроприводов является принцип векторного управления, согласно которому в системе координат, ориентированной по вектору потокосцепления, возможно независимое регулирование потока и скорости машины. Однако в классической постановке задача синтеза систем с непрерывными законами управления сопряжена с необходимостью устранения взаимного влияния контуров регулирования скорости и потока, обусловленного наличием внутренних перекрестных связей асинхронного двигателя. Упрощение математической модели КЗАД на основе допущений, учитывающих структурные свойства релейных систем, функционирующих в скользящем режиме, позволяет выполнить синтез релейно-векторной системы с использованием принципа симметрии.

Новая разработка в области цифрового электропривода переменного тока с релейно-векторными принципами управления, обеспечивающими динамические характеристики привода, близкие к предельно достижимым.

1. Общая характеристика цифровой релейно-векторной системы управления асинхронными электроприводами с улучшенными динамическими характеристиками

Известно, что предельно достижимые динамические характеристики привода с учетом заданных физических ограничений его энергетического канала можно получить только в системах с релейными принципами управления, так как именно они позволяют максимально использовать имеющийся в системе ресурс управления. Зачастую это достигается в ущерб энергетическим показателям электропривода, например, сопровождается увеличением дополнительных потерь системы "инвертор напряжения – двигатель", вызываемых высокочастотными коммутациями ключей инвертора. Системы управления с жестким законом векторного формирования алгоритма управления допускают оптимизацию энергетических показателей привода по критерию минимизации дополнительных потерь и, вместе с тем, накладывают ограничения на динамические свойства привода, даже при условии применения наиболее эффективных с точки зрения быстродействия привода векторных принципов управления переменными. Для таких систем быстродействие определяется периодом модуляции инвертора. Чтобы получить полосу пропускания контура скорости привода 150 Гц, частоту модуляции желательно иметь не менее 10 кГц. На таких частотах существенно возрастают коммутационные потери инвертора, заметно проявляются проблемы, связанные с коммутационными задержками силовых ключей и влиянием "мертвой" зоны между коммутациями верхнего и нижнего ключей фазы инвертора.

Применение в системах векторного управления простейшего релейного контура тока без формирования в нем алгоритма управления, оптимизированного по критерию дополнительных потерь, приводит к чрезмерному завышению частоты коммутаций, которая при величине трубки тока статора, заданной на уровне, может составлять десятки килогерц. Этим же недостатком характеризуются практически все известные системы прямого управления моментом и потокосцеплением, построенные на релейных принципах. Аппаратная аналого-цифровая реализация релейно-векторных систем с встроенным формирователем энергетически эффективных алгоритмов управления инвертором и векторных бездатчиковых систем управления не получила широкого распространения главным образом в связи со сложностью настройки таких систем. По прежнему остается актуальной задача построения асинхронного привода с цифровой, программно-реализуемой системой релейно-векторного управления, об-

ладающей грубостью к параметрам привода, предельным в условиях действующих физических ограничений быстродействием, а также известными преимуществами современных цифровых систем управления, а именно: самотестированием, автонастройкой, широкими интерфейсными и прочими функциональными возможностями.

2. Структурная схема цифровой релейно-векторной системы управления асинхронными электроприводами с улучшенными динамическими характеристиками

Структурная схема системы релейно-векторного управления приводом представлена на рис. 1. Контур тока статора входит в систему управления как автономный элемент, реализованный в естественной для трехфазной машины системе координат (A, B, C).

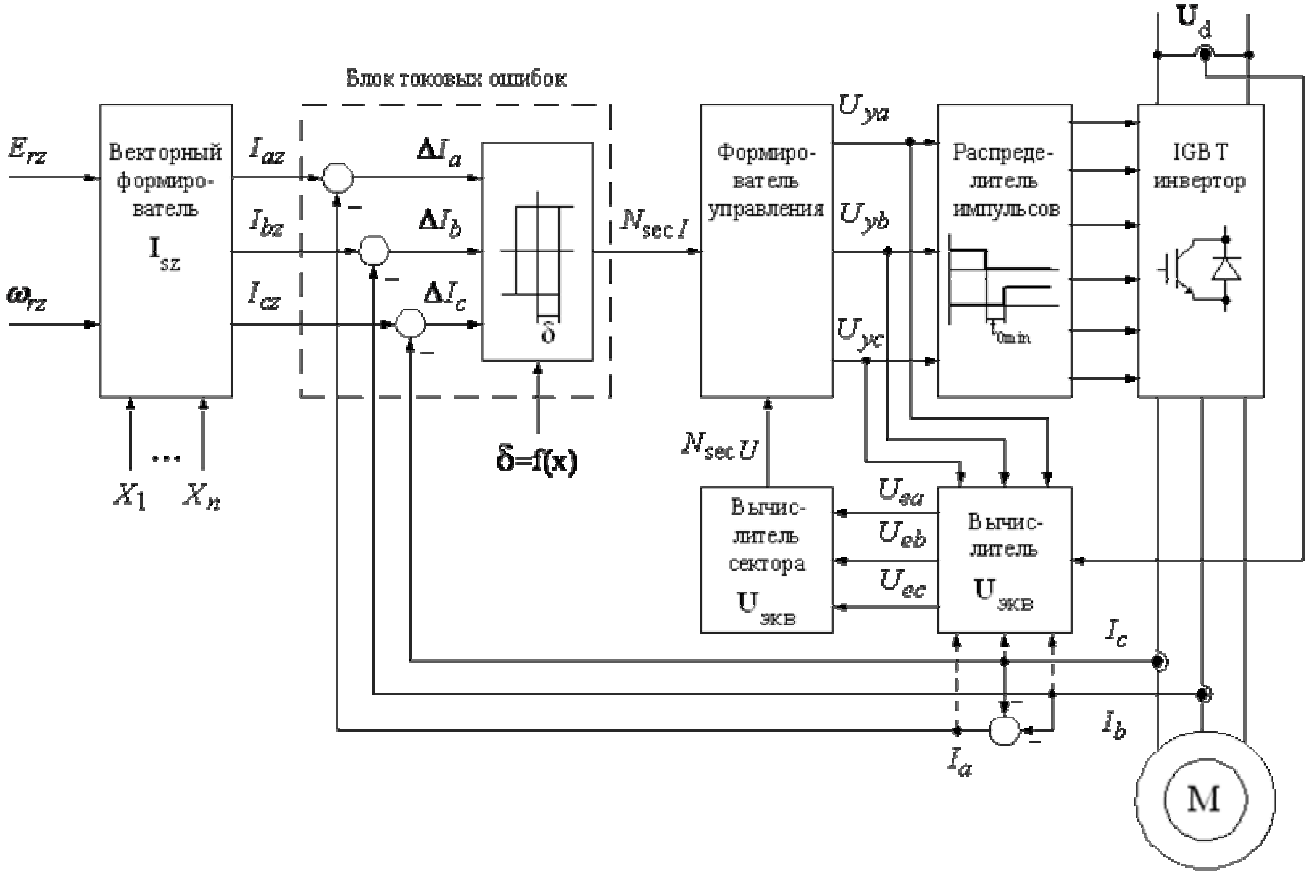


Рис. 1. Структурная схема системы релейно-векторного управления

Это позволяет применять его в различных структурах векторного управления асинхронным приводом, как с датчиком положения скорости, так и без него, а также в системах управления вентильным, синхронным, синхронно-реактивным и другими типами двигателей с трехфазной симметричной обмоткой статора. Заметим, что структура контура тока не содержит координатных преобразований.

Формирование алгоритма управления инвертором напряжения осуществляется с учетом следующих положений:

1) Для обеспечения управляемости контуром тока во всех режимах работы привода должно выполняться условие: вектор эквивалентного напряжения находится в пределах минимальной области пространства, образованного векторами напряжения инвертора, включение которых разрешено в данный момент времени;

2) В установившихся режимах работы привода и в динамических режимах малых отклонений токовых ошибок в качестве базовых принимаются энергетически-эффективные "треугольный" и "ромбовидный" алгоритмы формирования напряжения (наименование алгоритма соответствует геометрии фигуры, образуемой разрешенными для включения векторами напряжения). При этом "треугольный" алгоритм имеет приоритет по энергетическим показателям, а "ромбовидный" – по чувствительности к точности вычисления вектора эквивалентного напряжения;

3) Выбор типа нулевого вектора напряжения из двух возможных вариантов осуществляется по критерию минимизации числа переключений в инверторе;

4) Для устранения зон неуправляемости, связанных с чувствительностью "треугольного" алгоритма к точности вычисления в областях, близких к фазным осям , в дополнение к основным секторам напряжений (1..6), в которых формируется "треугольный" алгоритм, вводится шесть секторов (7..12), в которых формируется "ромбовидный" алгоритм;

5) Для обеспечения динамических характеристик привода, близких к предельно достижимым в условиях действия физических ограничений и перегрузочную способность инвертора по току, в области больших токовых ошибок

осуществляется переход на "шестиугольный" алгоритм управления;

Формирование задания для релейного контура тока выполняется вектором формирователе, структура которого строится в зависимости от требований к приводу и набора информации о его состоянии, доступной непосредственному измерению, в частности, в зависимости от наличия либо отсутствия датчиков механических координат. Общим требованием к векторному формирователю является реализация его на основе принципа векторной ориентации переменных в динамических режимах работы, позволяющего раздельно управлять электромагнитным моментом и потокосцеплением двигателя. Пример реализации векторного формирователя для асинхронного привода с широким двухзонным диапазоном регулирования скорости в условиях наличия прецизионного датчика положения на валу двигателя представлен на рис. 2.

Входными сигналами векторного формирователя являются задание скорости вращения ротора, задание ЭДС ротора и сигналы с датчика положения, которые преобразуются в информацию о скорости и положении ротора, представленную в цифровом коде.

Синтез регуляторов скорости и ЭДС выполнен на основе принципов подчиненного регулирования с учетом дискретного характера процессов в системе управления, с использованием метода структурной линеаризации контуров регулирования переменных. Наличие контура ЭДС обеспечивает регулирование потокосцепления при работе привода во второй зоне регулирования скорости (скорость выше номинальной). В первой зоне регулирования скорости (скорость ниже номинальной) поддерживается постоянное значение задания по реактивной составляющей тока на уровне, соответствующем номинальному значению потокосцепления ротора.

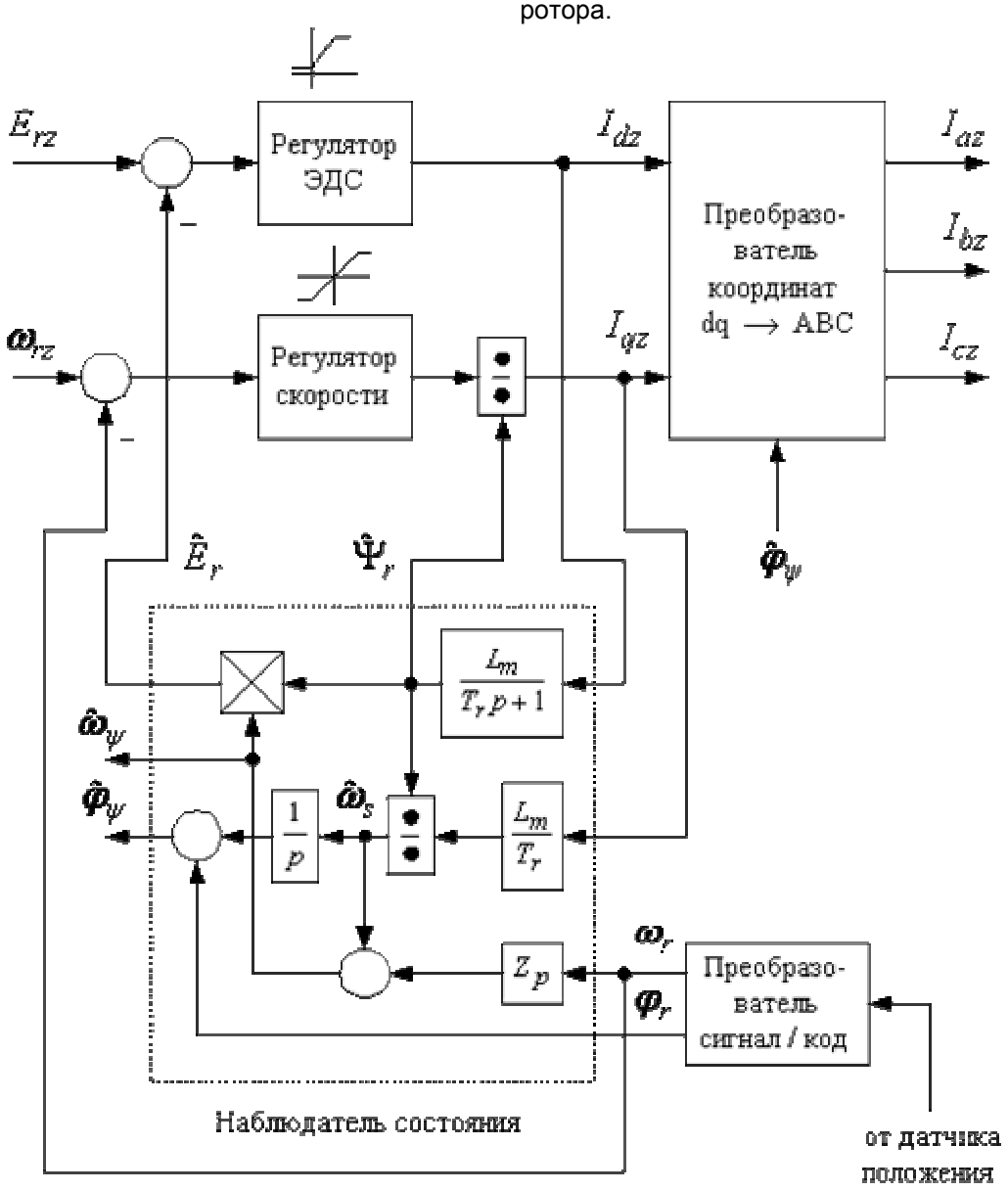


Рис. 2. Структурная схема векторного формирователя

Экспериментальные исследования представленной системы управления электроприводом проведены методом цифрового моделирования и подтверждены результатами макетирования. Для исследований использовался асинхронный двигатель серии 4А мощностью 3

кВт, с номинальной частотой вращения 950 об/мин, номинальным током статора 7,5 А.

На рис. 3 (а) представлены временные диаграммы тока фазы статора, электромагнитного момента и скорости привода в режиме реверса скорости с уровня, а на рис. 3 (б) – развертки временных диаграмм электромагнитного момента и напряжения фазы статора в окрестности момента прихода сигнала задания на реверс скорости.

Полоса пропускания контура скорости привода, полученная в результате модельного эксперимента при ограничении частоты пульсаций в трубке тока статора на уровне 7 кГц и допущениях об абсолютной жесткости механической части привода и отсутствии помех в канале измерения скорости, составила 700 Гц. Полученное значение говорит о широких потенциальных возможностях привода с релейно-векторным управлением. Однако, как показали макетные исследования, в реальных условиях полоса пропускания контура скорости ограничивается наличием помех в канале измерения либо неидеальностями механической части привода, приводящими к неадекватности ее описания в области повышенных частот.

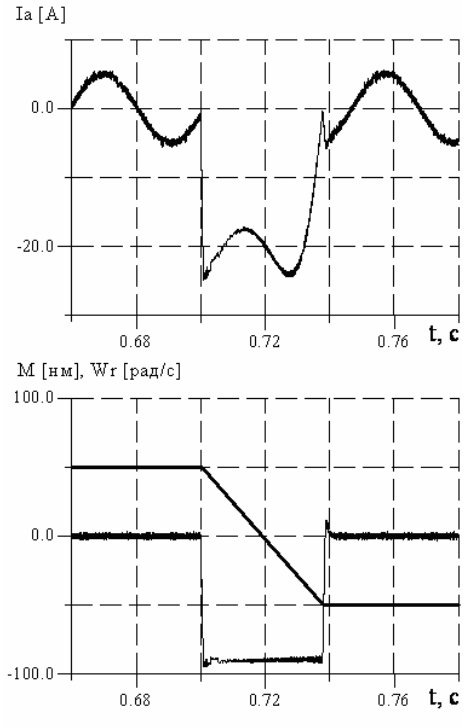
Заключение

Представленная система релейно-векторного управления асинхронным электроприводом для микроконтроллерной реализации, обеспечивающая динамические характеристики привода близкие к предельно достижимым в рамках действующих физических ограничений на величину напряжения питания и динамические свойства ключей инвертора напряжения.

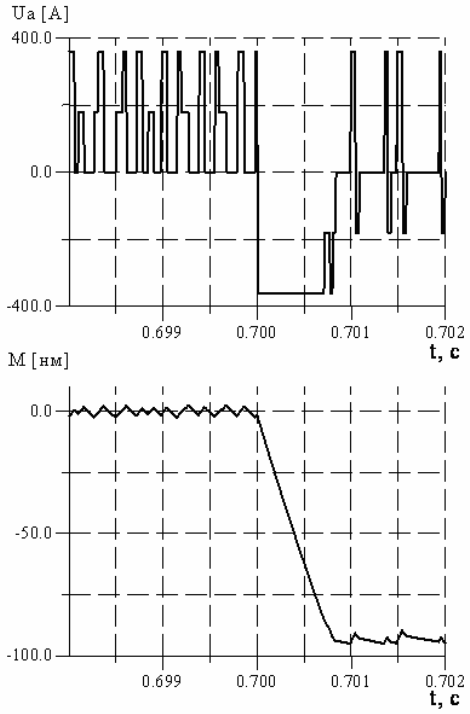
Релейный контур тока реализует скользящий режим слежения за мгновенными значениями токовых ошибок, не содержит координатных преобразований, формирует энергетически эффективные алгоритмы переключения ключей инвертора, нечувствителен к параметрам двигателя и к ограниченным по величине ошибкам измерения вектора эквивалентного напряжения, обеспечивает максимально полное использование имеющегося в приводе ресурса управления в динамических режимах больших отклонений токовых ошибок.

Цифровые алгоритмы релейного контура тока минимизированы по объему вычислительной работы, что позволило достичь желаемой величины периода дискретности управления при реализации контура тока на сигнальном процессоре семейства ADSP2100.

Контур тока может применяться в системах управления асинхронным электроприводом с различными видами векторных формирователей заданного тока статора, а также в приводах с синхронными, синхронно-реактивными и другими видами машин переменного тока с трехфазной симметричной обмоткой статора.



а)



б)

Рис. 3. Временные диаграммы тока фазы статора, электромагнитного момента и скорости в режиме реверса (а); временные развертки напряжения фазы статора и электромагнитного момента в окрестности прихода сигнала на реверс (б)

Список используемой литературы

1. Новая серия цифровых асинхронных электроприводов на основе векторных принципов управления и формирования переменных / Виноградов А.Б., Чистосердов В.Л., Сибирцев

А.Н., Монов Д.А. // Электротехника. - 2001. - №12. – с. 25-30.

2. Архангельский Н.Л., Курнышев Б.С., Виноградов А.Б. Новые алгоритмы в управлении асинхронным электроприводом // Электротехника. – 1991.- №10.- с. 9-13.

3. Архангельский Н.Л., Чистосердов В.Л. Формирование алгоритмов управления в частотно-управляемом электроприводе // Электротехника. – 1994.- №3.- с. 48-52.

4. Архангельский Н.Л., Виноградов А.Б. Контур тока асинхронного электропривода с улучшенными регулировочными и энергетическими характеристиками // Электротехника. – 1997.- №4.- с. 6-11.

Международный институт компьютерных технологий
Воронежский государственный технический университет

A.V. Kyksin, A.V. Romanov

DIGITAL RELAY-VECTOR CONTROL SYSTEM OF THE ASYNCHRONOUS ELECTRICAL DRIVE WITH THE IMPROVED DYNAMIC RESPONSES

The total characteristic, skeleton diagram and algorithms of a digital relay-vector control system of asynchronous electrical drive with the improved dynamic responses surveyed. The outcomes of experimental researches are reduced.

key words: electrical drive, asynchronous electrical drive, control system, relay-vector control system