УДК 62-83:621.33

**Б.В.ЖЕРЕБКИН**
*Горно-электромеханический факультет,*
*аспирант кафедры электротехники и электромеханики*

# МИКРОПРОЦЕССОРНАЯ СИСТЕМА ВЕКТОРНОГО УПРАВЛЕНИЯ АСИНХРОННЫМ ТЯГОВЫМ ЭЛЕКТРОПРИВОДОМ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ АППАРАТА НЕЧЕТКОЙ ЛОГИКИ

Указаны особенности, которые необходимо учитывать при построении систем управления тяговыми электроприводами. Обоснована целесообразность применения в системах векторного управления асинхронным тяговым электроприводом аппарата нечеткой логики. Выполнено преобразование четких наблюдаемых величин объекта регулирования в категории нечеткой логики. Приведен пример одного из возможных способов построения системы векторного регулирования асинхронным тяговым электроприводом с фаззи-управлением. Предложен вариант микропроцессорной системы управления асинхронным электроприводом с преобразователем частоты на основе IGBT-транзисторных модулей. В среде MATLAB реализован векторный принцип управления с использованием аппарата нечеткой логики. Полученный результат позволяет сделать вывод о целесообразности его использования при управлении тяговыми электроприводами.

Features which are necessary for taking into account at construction of control systems by traction electric drives are stated. The expediency of application in systems of vector management is proved by the asynchronous traction electric drive of the device of fuzzy logic. Transformation of precise observably sizes of object of regulation to categories of fuzzy logic is executed. The example of one of possible ways of construction of system of vector regulation of the asynchronous traction electric drive with fuzzy-management is given. The variant of a microprocessor control system by the asynchronous electric drive with the converter of frequency on basis IGBT-thiristor of modules is offered. In MATLAB environment the vector principle of management with use of the device of fuzzy logic is realized. The received result allows to draw a conclusion on expediency of use of him management of traction electric drives.

Тяговый электропривод по своей конструкции и условиям эксплуатации имеет ряд специфических особенностей, которые накладывают дополнительные требования на системы управления этими приводами, а именно:

- получение питания от автономного источника электроэнергии;
- возможность получения питания от двух источников электроэнергии (основного и резервного);
- значительные отклонения амплитуды питающего напряжения от номинального значения (до 20 % и более);
- необходимость создания пускового момента, превышающего в несколько раз номинальный;
- обеспечение двух режимов электрического торможения (рекуперативного и динамического).

Последние достижения в области силовой электроники и микропроцессорных средств управления, сделали асинхронный электропривод с частотным регулированием самым распространенным из всех типов приводов.

Для частотных электроприводов с асинхронным двигателем используются скалярные и векторные (с двухканальной системой подчиненного регулирования) алгоритмы управления, алгоритмы с разрывным управлением и скользящими режимами, алгоритмы управления с применением аппарата нечеткой логики.

Из всех известных алгоритмов частотного управления асинхронным двигателем наилучшие показатели качества регулирования имеют векторные алгоритмы. Но система векторного управления достаточно сложна. Для отыскания ненаблюдаемой координаты объекта (амплитуды и фазы вектора потокосцепления ротора двигателя) используют математическую модель электропривода, посредством которой вычисляют искомые параметры. Сложность алгоритма заключается в значительном объеме вычислительных операций, которые ведутся в реальном масштабе времени. Существующие цифровые сигнальные процессоры находятся при этом на пределе своих возможностей*, а увеличение шага вычислений вносит в систему постоянное запаздывание по управлению и приводит к снижению запаса устойчивости.

Другая трудность состоит в том, что в системе присутствует постоянная ошибка из-за неточности измерения наблюдаемых параметров и, как следствие, ошибка вычислений косвенных параметров, причем эти ошибки накапливаются.

Эти обстоятельства вынуждают искать новые пути решения задачи управления асинхронным электроприводом. Поставленная задача может быть решена методами нечеткой логики. Нечеткая логика рекомендуется для управления сложными процессами, когда не существует простой математической модели; для нелинейных процессов высоких порядков; если должна производиться обработка экспертных знаний.

Наиболее важным приложением теории нечетких множеств являются контроллеры нечеткой логики. Их функционирование несколько отличается от работы обычных контроллеров. Для описания системы вместо дифференциальных уравнений используются знания экспертов. Эти знания могут быть выражены естественным образом с помощью лингвистических переменных, которые описываются терм-множествами. Решением контроллера нечеткой логики является нечеткое множество. Далее необходимо выбрать одно значение для представления конечной выходной величины. Один из существующих эвристических методов предполагает выбор в качестве конечного результата центр тяжести нечеткого множества. Данная процедура получения решения называется контроллером Мамдани.

Таким образом, решение каждой задачи нечеткого управления является самостоятельной разработкой. Более того, одна и та же задача может быть решена различными путями в зависимости от исходных экспертных оценок.

Для нечеткого векторного управления асинхронным двигателем необходимо производить в реальном времени постоянное вычисление параметров, по которым осуществляется управление. Вычисление этих параметров осуществляется с помощью математической модели электропривода. Сначала по наблюдаемым координатам (фазным напряжениям $U_A$, $U_B$, $U_C$ и фазным токам $i_A$, $i_B$, $i_C$) вычисляются эквивалентные составляющие вектора напряжения $U_{s\alpha}$ и $U_{s\beta}$ и вектора тока $i_{s\alpha}$, $i_{s\beta}$ в неподвижной относительно статора двигателя системе координат $\alpha-\beta$, затем вычисляются составляющие вектора потокосцепления статора $\Psi_{s\alpha}$ и $\Psi_{s\beta}$ по уравнению $\Psi_s = \int(U_s - i_s R_s)dt$ (здесь $R_s$ – сопротивление обмотки статора) и, наконец, составляющие вектора потокосцепления ротора $\Psi_{r\alpha}$ и $\Psi_{r\beta}$ по уравнению

$$\Psi_r = (\Psi_s - \sigma L_s i_s)\frac{L_r}{L_m},$$

(здесь $L_r$ – индуктивность ротора; $L_m$ – взаимоиндукция), модуль вектора потокосцепления ротора $\Psi_{rm} = \sqrt{\Psi_{r\alpha}^2 + \Psi_{r\beta}^2}$ и электромагнитный момент двигателя

$$M = \frac{3}{2}\frac{L_m p_n}{\sigma L_s L_r}\left(\Psi_{r\alpha}\Psi_{s\beta} - \Psi_{r\beta}\Psi_{s\alpha}\right),$$

где $P_п$ – число пар полюсов, а также сигналы рассогласования заданных и текущих значений координат системы $\Delta\Psi_{rm}$ и $\Delta M$, для ко-

* *Богатырев Д.Е.* Микропроцессорные системы управления тяговым асинхронным электроприводом / Д.Е.Богатырев, С.В.Махонин // ЭлектроФорум. 2001. № 2.

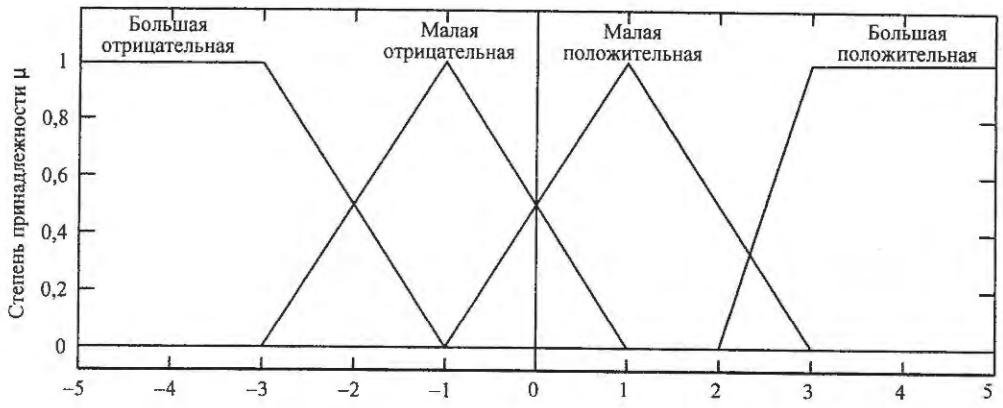



Рис.1. График степени принадлежности μ для значений ошибки $\Delta\Psi_{rm}$ и $\Delta M$

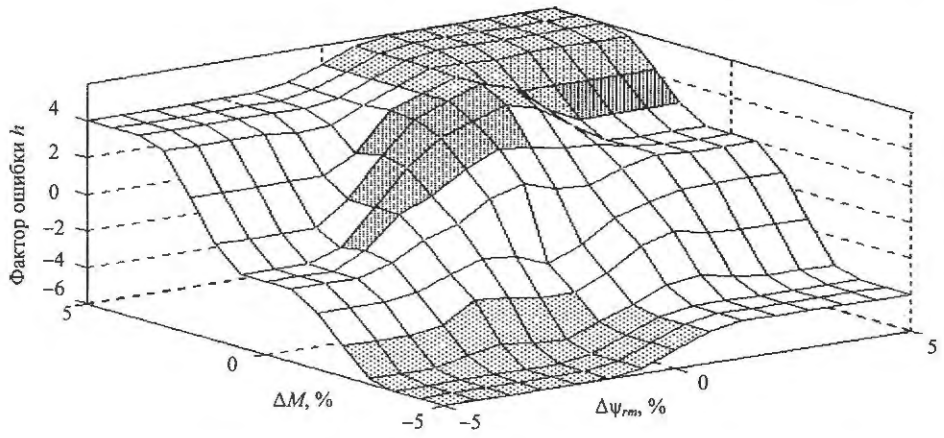



Рис.2. График степени принадлежности μ для значений ошибки $\Delta\Psi_{rm}$ и $\Delta M$

торых находятся функции принадлежности μ с помощью лингвистических термов. Графики лингвистических переменных для $\Delta\Psi_{rm}$ и $\Delta M$ приведены на рис.1.

После перехода от четких значений $\Delta\Psi_{rm}$ и $\Delta M$ к категориям нечеткой логики вычисляются факторы ошибки $h_\psi$ и $h_m$. Графически фактор ошибки может быть представлен в виде поверхности в трехмерном пространстве (рис.2).

Обратный переход от категорий нечетких множеств к четким значениям управляющих воздействий осуществляется посредством операции дефаззифицирования. Полученное четкое значение пространственного вектора выходной координаты преобразуется в трехфазную систему ($a^*$, $b^*$, $c^*$) путем разбиения плоскости, образованной осями неподвижной системы координат, на 12 секторов*. В зависимости от принадлежности выходной координаты к тому или иному сектору определяется мгновенный вектор ошибки регулирования и выбираются векторы трехфазной системы напряжений на выходе преобразователя частоты для компенсации этой ошибки. Далее сигналы в трехфазной системе координат ($U_a^*$, $U_b^*$, $U_c^*$) поступают в микропроцессор, реализующий закон широтно-импульсной модуляции выходного напряжения, выходные сигналы которого ($U_A^*$, $U_B^*$, $U_C^*$) подаются на управляющие цепи IGBT-модулей.

* *Матисон В.А.* Векторная система регулирования тока для трехфазных инверторов напряжения // Электротехника. 2001. № 11.

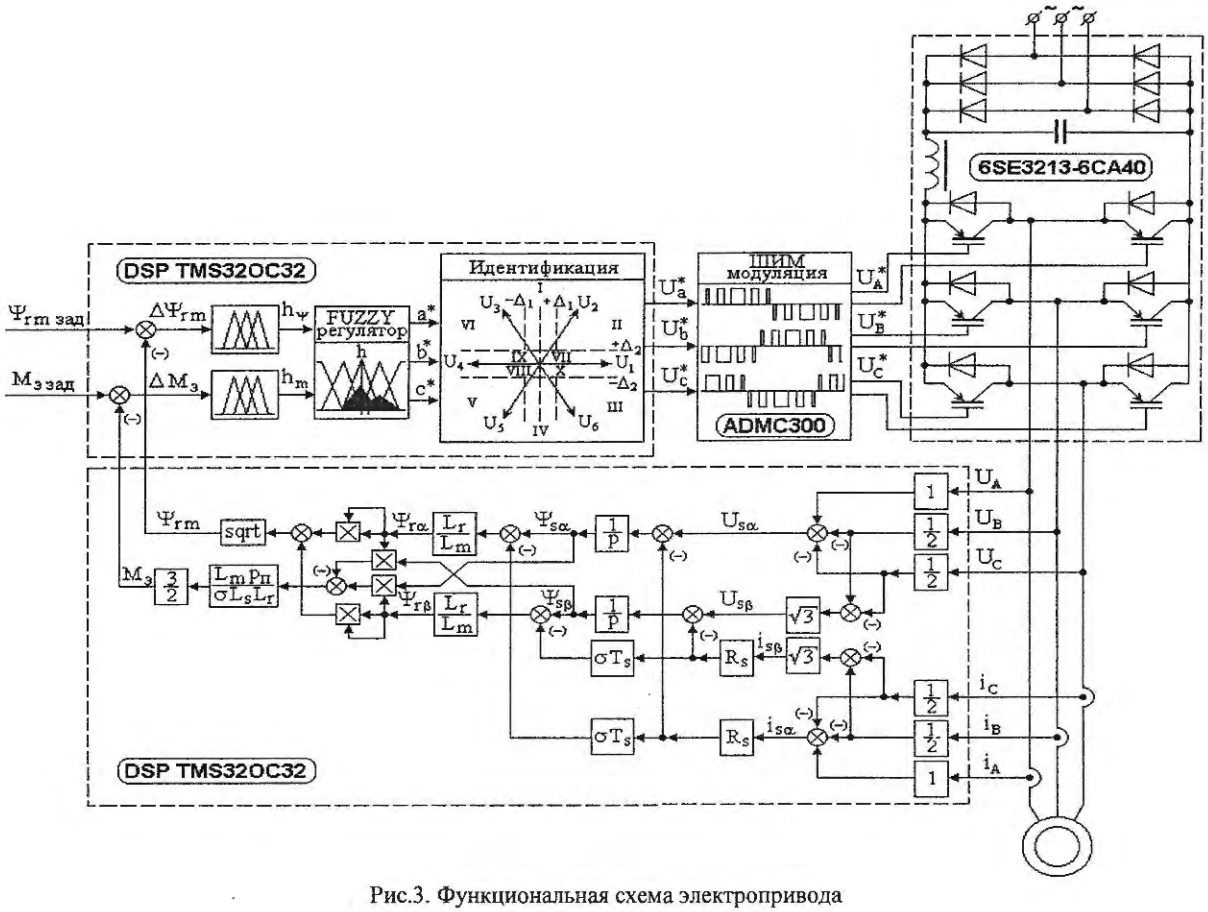



Рис.3. Функциональная схема электропривода

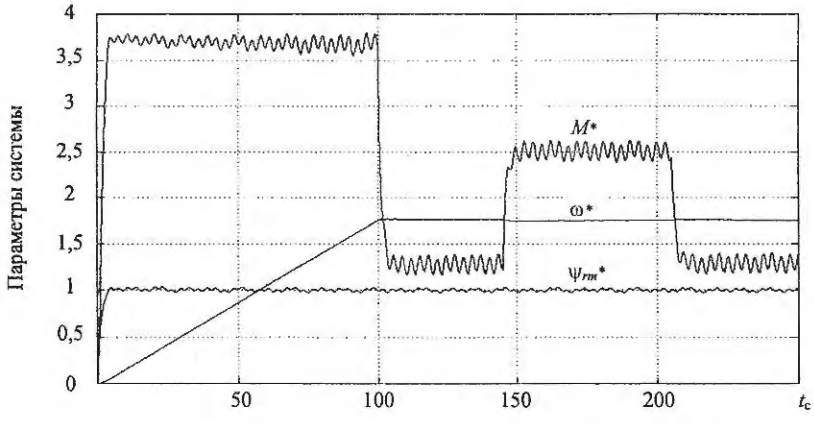



Рис.4. Расчетные переходные процессы в электроприводе

Функциональная схема асинхронного электропривода с нечетким векторным управлением приведена на рис.3.

В системе нечеткого управления отсутствует накапливающаяся ошибка измерений наблюдаемых и вычислений ненаблюдаемых координат объекта, поскольку четкие значения переменных состояния соотносятся с определенной степенью принадлежности с некоторыми качественными понятиями, после чего реализуется индивидуальный алгоритм вычисления выходного нечеткого множества.

На рис.4 приведены результаты расчета переходных процессов в асинхронном элек-

троприводе с нечетким векторным управлением. Все расчеты проведены в среде MATLAB в системе относительных единиц. На графиках показаны кривая изменения частоты вращения двигателя во времени ω*, электромагнитного момента $M^*$ и потокосцепления ротора $\Psi_{rm}^*$ при пуске двигателя и при набросе-сбросе нагрузки. Качество управления как по управляющему, так и по возмущающему воздействию вполне удовлетворительное.

Таким образом, векторный алгоритм управления асинхронным электроприводом может быть построен с использованием аппарата нечеткой логики. При этом существенно сокращается объем вычислительных операций. Алгоритм может быть реализован на 32-разрядном однокристальном микропроцессоре, например, TMS32OC32.

Научный руководитель д.т.н. проф. *Э.А.Загривный*