

Интеллектуальное управление электроприводами с цифровой синхронизацией

Фалеев М.В., д-р техн.наук, Казым Хуссейн Т., асп.

Рассмотрены принципы использования интеллектуального управления на базе нечеткой логики в прецизионных системах электропривода с цифровой фазовой синхронизацией, в которых управление параметрами движения осуществляется на базе нечетко-нейронной сети.

Ключевые слова: интеллектуальное управление, цифровая фазовая синхронизация, нечеткая логика, нечеткое множество.

Intelligent control of electric drives with digital synchronization

Faleev M.V., Doctor of engineering science, Kazim Xuccein T., Graduate student

The principles of usage of intelligent control on the basis of fuzzy logic in precision systems of the electric drive with digital phase locking are considered, in which one the control of parameters of motion implements on the basis of indistinct - neuro network(grid).

Keywords: intellectual management, digital phase synchronizing, ill-defined logic, fuzzy set.

Высокие требования, предъявляемые технологическим оборудованием к качеству управления разнообразными электромеханическими системами, представленными в основном автоматизированными электроприводами, не могут быть реализованы без широкого внедрения прогрессивных принципов их построения [1] и интеллектуальных технологий управления. Серьезной альтернативой классическим методам цифрового управления являются способы замкнутого автоматического управления на основе нечеткой логики (fuzzy logic), позволяющие понизить сложность алгоритмов управления, сократить время проектирования и внедрения в производство. Особенно эффективным оказывается использование таких регуляторов для сложных технологических агрегатов, для которых практически невозможно построить адекватную модель для нелинейных процессов высокого порядка, в частности электроприводов с асинхронными двигателями, приводных устройств систем наведения и мобильных робототехнических комплексов.

В соответствии с принципами построения систем нечеткой логики предлагается для построения локальных регуляторов использование двух переменных: ошибки по регулируемой переменной e_1 и ее производной, а точнее, приращения de , определяемого как

$$de = k_p \frac{z-1}{z} e_1,$$

где z – оператор дискретного преобразования.

При таком подходе структурная схема нечеткого регулятора (НР) состояния объекта управления (ОУ) (рис. 1) содержит блоки фаззификации, дефаззификации (ДФ) и логическо-

го заключения, выполняемого на основе заложенной в алгоритм регулятора базы знаний.

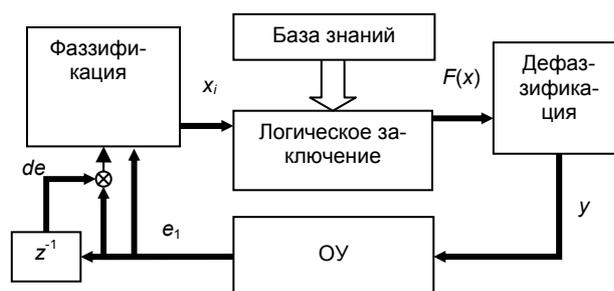


Рис. 1. Блочная структура системы нечеткого управления

Блок фаззификации определяет степень принадлежности входных переменных e_1 и de к нечетким множествам $\mu_1(x)$ и $\mu_2(x)$. Хотя большинство авторов [2] рекомендуют использование функций принадлежности достаточно сложной формы, в работе предлагается применение относительно простых по представлению функций принадлежности $\mu_1(x)$ и $\mu_2(x)$, форма которых представлена на рис. 2.

Функции принадлежности $\mu(x)$ формируют всего два нечетких множества, границы которых определяются в соответствии с условиями Балдвина [2] как

$$\begin{aligned} \mu_1(x) &= 1 - x, \\ \mu_2(x) &= x. \end{aligned} \quad (1)$$

В качестве входных сигналов нечеткого регулятора используются переменные e_1 и de , для которых в блоке решений, базирующемся на принципах минимаксного регулятора Мамдани, в соответствии с алгоритмом (2) выби-

раются значения координат вершин А и В нечеткого множества $F(x)$:

$$A = \min \{ \mu_2(e_1), \mu_2(de) \};$$

$$B = \min \{ \mu_1(e_1), \mu_1(de) \}. \tag{2}$$

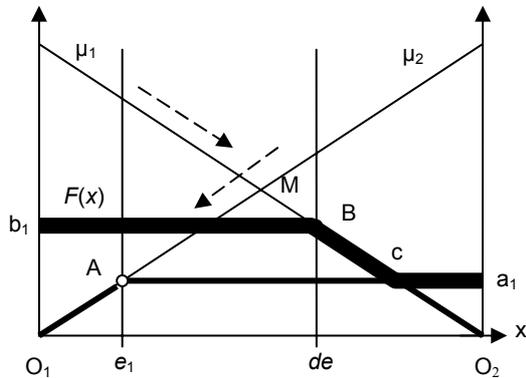


Рис. 2. Формирование нечеткого множества

Блок ДФ преобразует нечеткую выходную переменную в скалярный выходной сигнал у регулятора в соответствии с выбранным способом выполнения этой операции [2]. В общем случае выполнение дефаззификации представляет достаточно трудоемкую относительно объема вычислений процедуру, характер которой определяется видом выбранных функций принадлежности. Применение относительно простых функций принадлежности вида (1) позволяет получить аналитические выражения для вычисления скалярного выходного сигнала НР для известных методов дефаззификации. Аналитические выражения для выполнения дефаззификации известными способами, вид которых зависит от размещения вершин относительно точки М пересечения функций принадлежности, представлены в табл. 1.

Анализ возможностей применения в электроприводах с цифровой фазовой синхронизацией средств дефаззификации, представлен-

ных в табл. 1, показывает, что реализация соа- и соа-алгоритмов связана с выполнением большого объема вычислений. Это затрудняет их использование в мехатронных системах управления параметрами движения, что обусловлено значительной разрешающей способностью регулятора при высокой частоте дискретизации. Применение же sf-дефаззификации при выбранных функциях принадлежности приводит к существенному отклонению характеристик вход/выход НР от желаемых. Поэтому предложен простой, но, как показала практика использования, эффективный алгоритм дефаззификации, условно названный методом «эквивалентной площади» (МЭП). Его суть заключается в определении разности площадей получаемого по условиям (2) нечеткого множества, расположенных по разные стороны относительно линии, проходящей через точку М, определяющей пересечение функций принадлежности $\mu_1(t)$ и $\mu_2(t)$. В этом случае выходной сигнал у НР определяется по следующему выражению:

$$y = \int_0^{0,5} F(x) dx - \int_{0,5}^1 F(x) dx.$$

В отличие от широко используемых соа- и соа-методов дефаззификации предлагаемый метод не требует выполнения трудоемких вычислений и использования громоздкой базы данных. По объему выполняемых при реализации такого нечеткого регулятора вычислений он сравним с НР, использующим sf-дефаззификацию, однако не требует применения функций принадлежности сложной конфигурации. Сравнительный анализ характеристик НР показывает, что МЭП-алгоритм дефаззификации обеспечивает выходные характеристики, аналогичные получаемым для соа- и соа-методов.

Таблица 1. Расчетные формулы дефаззификации

Метод ДФ	Условие	$A \leq M$		$A > M$
		$B \leq M$	$B > M$	$B < M$
Метод эквивалентной площади		$\frac{B^2 - A^2}{2}$	$B - \frac{1}{4} - \frac{A^2 + B^2}{2}$	$\frac{1}{4} - A + \frac{A^2 + B^2}{2}$
Метод центра тяжести (сог)	$A > B$	$\frac{3A + (B - A)(A^2 + AB + B^2)}{3(2A + B^2 - A^2)} - \frac{1}{2}$		
	$B > A$	$\frac{1}{3} \frac{3(B + A^2 - B^2) + (B - A)(A^2 + AB + B^2)}{2B - B^2 + A^2} - \frac{1}{2}$		
Синглетон-метод (sf)		$\frac{A - B}{A + B}$		
Метод центра области (соа)	$A \leq B$	$\frac{A^2 - B^2}{4B}$	$0,5 - \sqrt{B - \frac{A^2 + B^2}{2}}$	$\sqrt{A - \frac{A^2 + B^2}{2}} - 0,5$
	$B < A$	$\frac{A^2 - B^2}{4A}$		

Регулятор на основе нечеткой логики требует хранения в памяти системы базы знаний в виде программного кода, содержащей информацию о лингвистических переменных и нечетких правилах. Хотя для систем реального времени, к которым относятся автоматизированные электроприводы, разработан ряд специализированных устройств, реализующих функции нечеткого управления, их применение в электромеханических системах не представляется целесообразным из-за существенного усложнения систем управления. В то же время при нечетком управлении с использованием МЭП-метода не требуется обширная база данных, а относительно простые правила формирования нечеткого множества и несложный алгоритм определения выходного сигнала НР позволяют осуществлять нечеткую логику управления даже на относительно простых микроконтроллерах семейства MCS-51. Более широкие возможности применения нечетких регуляторов открывает использование специализированных микроконтроллеров семейства Motor Control, в которых для ускорения вычислительных операций используется многоразрядное DSP-ядро.

При интеллектуализации управления электроприводами с цифровой синхронизацией наиболее рационально применение ряда НР, в качестве входных сигналов которых используется набор переменных состояния, определяемых по фазовой ошибке φ . Используемые НР объединяются в сеть, которая может быть определена как нечетко-нейронная [2]. Функциональная схема электропривода для управления двигателем М посредством широтно-импульсного преобразователя ШИП представлена на рис. 3.

По фазовой ошибке φ вычисляются первая ее производная и интеграл, а также эквивалент тока I . Полученные величины через соответствующие весовые коэффициенты поступают на вход нечетко-нейронной сети.

Теоретические исследования электропривода показали, что нечетко-нейронная сеть обеспечивает существенное увеличение степени устойчивости системы в области настроек, необходимых для оптимального управления. В то же время при «малых» возмущениях такая сеть ведет себя аналогично комплексу, включающему ряд ПИ-регуляторов. Этот факт

Фалеев Михаил Владимирович,
Ивановский государственный энергетический университет,
доктор технических наук, профессор кафедры технологии автоматизированного машиностроения?
e-mail: admin@tam.ispu.ru

Казым Хусейн,
Ивановский государственный энергетический университет,
аспирант кафедры технологии автоматизированного машиностроения,
e-mail: admin@tam.ispu.ru

значительно упрощает процедуру выбора весовых коэффициентов K_P , K_G , K_I и K_T .

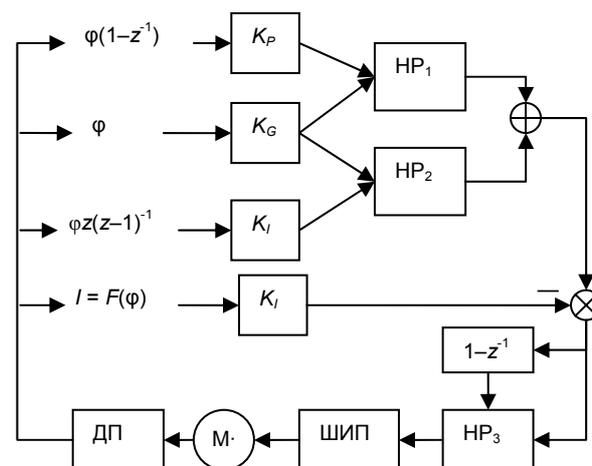


Рис. 3. Нечетко-нейронная сеть управления

В ходе экспериментальных исследований электроприводов с НР установлено, что использование нечетко-нейронной сети обеспечивает некоторое повышение качества управления и повышает степень робастности системы. При этом предложенные алгоритмы позволяют реализовывать нечеткое управление даже на относительно простых DSP-контроллерах менее чем за 500 мкс. Архитектура предлагаемого регулятора инвариантна к типу используемого двигателя и с успехом используется в электроприводах постоянного и переменного тока с асинхронными и синхронными двигателями.

Таким образом, можно утверждать, что использование алгоритмов нечеткой логики позволяет достигнуть высоких значений показателей качества для систем с заранее неизвестными или сильно изменяющимися параметрами, что делает весьма перспективным их использование в приводных механизмах технологических агрегатов.

Список литературы

1. Фалеев М.В., Ширяев А.Н. Импульсно-фазовые электроприводы мехатронных модулей / ГОУВПО «Ивановский государственный энергетический университет им. В.И. Ленина». – Иваново, 2008.
2. Штовба С.Д. Проектирование нечетких систем управления средствами MATLAB. – М.: Горячая линия – Телеком, 2007.