

# Контроллер нечеткой логики для управления вентиляльно-индукторным электродвигателем

Александровский С.В.; Петренко Ю.Н.

Кафедра электропривод и автоматизации промышленных установок и технологических комплексов  
Белорусский национальный технический университет  
Минск, Республика Беларусь  
e-mail: ypetrenko@bntu.by

*Аннотация*—Вентиляльно-индукторный электропривод (ВИП) рассматривается как альтернатива электроприводу на основе асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором в различных областях применения. Одним из недостатков ВИП является нелинейность характеристик вентиляльно-индукторного электродвигателя (ВИД). Предлагается использование контроллера, построенного на основе аппарата нечеткой логики, в контуре системы управления. Рассмотрена процедура проектирования контроллера и разработана имитационная модель.

*Ключевые слова:* вентиляльно-индукторный электропривод; система управления; контроллер нечеткой логики; имитационная модель

Постоянное повышение качества выпускаемой продукции требует применения современных средств автоматизации технологических процессов. Одним из таких средств служит автоматизированный электропривод.

Основными частями современного регулируемого электропривода являются силовой электрический преобразователь (коммутатор), электромеханический преобразователь (двигатель) и система управления. Развитие в области силовой и вычислительной электроники способствовало развитию регулируемого электропривода переменного тока, в том числе на основе вентиляльно-индукторного двигателя.

Основные преимущества привода с ВИД обусловлены простотой конструкции, высокой надежностью и хорошими массогабаритными показателями, что позволяет непрерывно расширять область применения регулируемого электропривода [1,2].

Вместе с тем вентиляльно-индукторный привод (ВИП) имеет ряд специфических особенностей, наиболее характерные из которых следующие: -питание фазных обмоток однополярными импульсами; -дискретный характер управления; -изменение в широком диапазоне состояния магнитной системы; -двусторонняя зубчатость магнитной системы двигателя. Это приводит к тому, что особое значение приобретают различные способы регулирования тока и момента ВИП в функции положения ротора [1].

В настоящее время в мировой практике существует устойчивая тенденция, наряду с совершенствованием традиционных классических систем управления автоматизированным электроприводом, разработки систем, основанных на приемах искусственного (компьютерного) интеллекта. Исследования в области экспертных систем привлекают все нарастающее внимание в научной и инженерной среде. В особенности это относится к нечеткой логике (fuzzy logic) [3], нейронным сетям (neural networks) и вероятностным методам, таким как генетические алгоритмы (genetic algorithms). Со времени возникновения понятия “искусственный интеллект”, который можно назвать с

таким же правом “компьютерный интеллект”, продолжается дискуссия относительно его принадлежности к интеллекту вообще, которой возможно не будет конца. Автоматизированный электропривод как технологическая отрасль, претерпел существенные изменения и достиг, в определенном смысле, совершенства. Определенным этапом интеграции систем управления электроприводом явилось создание ведущими электротехническими фирмами программируемых микроконтроллеров и промышленных компьютеров. Свидетельством широкого распространения подобных систем является появившийся недавно термин “компьютеризированный электропривод”.

Вопросы проектирования контроллера на основе нечетких множеств для управления электроприводом с асинхронным короткозамкнутым двигателем обсуждаются в [4,5,6].

Актуальная задача управления током и моментом ВИП [7] может быть решена с применением средств на основе нечеткой логики.

Широкому распространению fuzzy -систем управления в немалой степени способствует программная система MATLAB, в составе которой имеется пакет программ по fuzzy - логике – Fuzzy Logic Toolbox.

Кроме того, система MATLAB включает в себя пакет моделирования динамических систем Simulink, который в свою очередь позволяет при помощи стандартных блоков, входящих в его библиотеку, сформировать одноконтурную или многоконтурную систему автоматического управления электроприводом с аналоговым или fuzzy-регулятором.

Контроллер нечеткой логики (КНЛ) представляет собой структуру, состоящую из блока фазификации, блока базы знаний и блока дефазификации. В блоке фазификации происходит преобразование входных величин сигналов задания в функции принадлежности КНЛ, которые в соответствии с лингвистическими выражениями базы знаний определяют функции принадлежности выходов. В блоке дефазификации функции принадлежности выходов преобразуются в выходные величины сигналов управления.

Модуль fuzzy позволяет строить нечеткие системы двух типов – Мамдани и Сугэно [3]. В системах типа Мамдани база знаний состоит из правил вида “Если  $x_1$ =низкий и  $x_2$ =средний, то  $y$ =высокий”, т.е. задается нечеткими термами. В системах типа Сугэно база знаний состоит из правил вида “Если  $x_1$ =низкий и  $x_2$ =средний, то  $y=a_0+a_1 \cdot x_1+a_2 \cdot x_2$ ”, т.е. задается как линейная комбинация входных переменных.

При разработке базы правил КНЛ на основе системы типа Мамдани воспользуемся правилами в общей форме:

M1: ЕСЛИ  $x_1$  есть A11 И ...  $x_n$  есть A1n ТО  $u$  есть Z(u1)  
ELSE  
M2: ЕСЛИ  $x_2$  есть A21 И ...  $x_n$  есть A2n ТО  $u$  есть Z(u2)  
ELSE

.....  
Mг: ЕСЛИ  $x_g$  есть Ag1 И ...  $x_n$  есть Arn ТО  $u$  есть Z(ug),

где  $x_i$  ( $i=1, \dots, n$ ) - лингвистические переменные представляющие пространство состояний объекта;

$A_j$  ( $j=1, \dots, r$ ) - нечеткие наборы представляющие лингвистические переменные  $x_i$ ;

$u$  - лингвистическая переменная представляющая управление;

$Z(u_j)$  - нечеткие одноэлементарные множества (ОЭМ) с  $\mu(u_j)=1$ . Каждое ОЭМ определяется функционированием переменных состояния объекта в виде:

$$u_j = u_j(x_1, x_2, \dots, x_n). \quad (1)$$

Далее полагаем, что каждая переменная состояния является разностью между выходной управляемой величиной объекта и ее заданием. Набор правил (2) представляет собой нечеткий алгоритм функционирования КНЛ.

Выходная величина сигнала управления в соответствии с величинами  $x_1, \dots, x_n$  переменных может быть получена, используя метод центра тяжести.

Переход от сигналов физических величин к лингвистической переменной КНЛ осуществляется в блоках фазификации и дефазификации в соответствии с функцией принадлежности. В дальнейшем ограничимся тремя функциями принадлежности для входных и выходных величин.

Fuzzy Logic Toolbox позволяет задавать различные виды функций принадлежности, при этом вид каждой функции в блоках фазификации и дефазификации можно задать отдельно. Простейшие функции принадлежности треугольная (*trimf*) и трапециевидная (*trapezmf*) формируются с использованием кусочно-линейной аппроксимации. Трапециевидная функция принадлежности является обобщением треугольной, она позволяет задавать ядро нечеткого множества в виде интервала. В случае трапециевидной функции (Рис. 1) принадлежности возможна следующая удобная интерпретация: ядро нечеткого множества – оптимистическая оценка; носитель нечеткого множества – пессимистическая оценка.

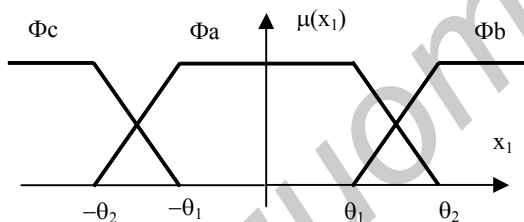


Рис. 1. Функции принадлежности нечеткого множества

Две функции принадлежности – симметричная гауссовская (*gaussmf*) и двухсторонняя гауссовская (*gauss2mf*) формируются с использованием гауссовского распределения. Функция *gaussmf* позволяет задавать ассиметричные функции принадлежности. Обобщенная колоколообразная функция принадлежности (*gbellmf*) по своей форме похожа на гауссовские. Эти функции принадлежности часто используются в нечетких системах, так как на всей области определения они являются гладкими и принимают ненулевые значения.

Функции принадлежности *sigmf*, *dsigmf*, *psigmf* основаны на использовании сигмоидной кривой. Эти функции позволяют формировать функции принадлежности, значения которых начиная с некоторого значения аргумента и до  $\pm\infty$  равны 1. Такие функции

удобны для задания лингвистических термов типа “высокий” или “низкий”.

Полиномиальная аппроксимация применяется при формировании функций *zmf*, *rimf* и *smf*, графические изображения которых похожи на функции *sigmf*, *dsigmf*, *psigmf*, соответственно.

В Fuzzy Logic Toolbox также предусмотрена возможность для пользователя создания собственной функции принадлежности. Для этого необходимо создать *m*-функцию, содержащую два входных аргумента – вектор, для координат которого необходимо рассчитать значения функции принадлежности и вектор параметров функции принадлежности.

В настоящее время выпускаются микроконтроллеры, например, семейство 68HC12/912 фирмы Motorola и TMS320 Texas Instruments, которые поддерживают функции нечеткой логики. В данных микроконтроллерах функции принадлежности выполняются в виде трапециевидной функции, как наиболее просто реализуемой. Поэтому в дальнейших расчетах принимаем для блоков фазификации и дефазификации функцию принадлежности треугольной или трапециевидной формы.

КНЛ вырабатывает различные управляющие сигналы на основе сигналов обратной связи  $u_j$  подобно системе управления с переменной структурой. Однако в отличие от последней, переключение от одной к другой происходит плавно, как это определено нечетким алгоритмом базы правил и тем, что имеет место усреднение более чем одного правила управления [3].

Была разработана имитационная модель вентиляльно-индукторного привода с применением контроллера нечеткой логики в среде программирования MATLAB-Simulink- Fuzzy Logic Toolbox, которая позволяет исследовать динамические свойства электропривода.

- [1] Бычков, М.Г. Элементы теории вентиляльно-индукторного электропривода / М.Г. Бычков // Электричество. - 1997. - №7. - с. 35-44.
- [2] Александровский, С.В. Перспективы применения вентиляльно-индукторных двигателей в промышленных и транспортных установках / С.В. Александровский // Информационные технологии в промышленности: тезисы докл. 5-й межд. науч.-техн. конф., Минск, 22-24 октября 2008г.: ОИПИ НАН Беларуси; редкол.: Е.В. Владимиров [и др.]. – Минск, 2008. – С. 91-92.
- [3] Штовба С.Д. Проектирование нечетких систем средствами MATLAB. – М.: Горячая линия – Телеком, 2007. – 288 с.
- [4] Petrenko, Y.N. Fuzzy logic and genetic algorithm technique for non-linear system of overhead crane / Y.N. Petrenko, S.E. Alavi // Computational Technologies in Electrical and Electronics Engineering (SIBIRCON), 2010 IEEE Region 8 International Conference, 11-15 July 2010. P. 848 - 851.
- [5] Алави, С.Э. Fuzzy logic controller for non-linear system design / С.Э. Алави, Ю.Н. Петренко // Информационные технологии в промышленности: сборник тезисов пятой Международной научно-технической конференции ИП\*2008, г. Минск, 22-24 октября 2008. – С. 214-215.
- [6] Петренко, Ю.Н. Исследование работы мостового крана с контроллером нечеткой логики на основе трехмерной имитационной модели / Ю.Н. Петренко, С.Э. Алави, С.В. Александровский // Энергетика... (Изв. высш. учеб. заведений и энерг. объединений СНГ). – 2011. – №3. – С. 20–25.
- [7] Александровский, С.В. Разработка математической и имитационной модели вентиляльно-индукторного двигателя / С.В. Александровский, Ю.Н. Петренко // Энергетика... (Изв. высш. учеб. заведений и энерг. объединений СНГ). – 2011. – №2. – С. 15–22.