

УПРАВЛЕНИЕ ВЕНТИЛЬНО-ИНДУКТОРНЫМ ЭЛЕКТРОПРИВОДОМ НА ОСНОВЕ КОНТРОЛЛЕРА НЕЧЕТКОЙ ЛОГИКИ

**Магистр техн. наук АЛЕКСАНДРОВСКИЙ С. В.,
канд. техн. наук, доц. ПЕТРЕНКО Ю. Н.**

Белорусский национальный технический университет

Постоянное повышение качества выпускаемой продукции требует применения современных средств автоматизации технологических процессов. Одно из них – автоматизированный электропривод, который также является эффективным средством энергосбережения, поскольку электрические двигатели потребляют около 60 % от всей вырабатываемой электроэнергии.

Основными частями современного регулируемого электропривода являются силовой электрический преобразователь (коммутатор), электромеханический преобразователь (двигатель) и система управления. Развитие в области силовой и вычислительной электроники способствовало совершенствованию регулируемого электропривода переменного тока, в том числе на основе вентильно-индукторного двигателя (ВИД). Основные преимущества привода с таким двигателем обусловлены простотой его конструкции, высокой надежностью и хорошими массогабаритными показателями, что позволяет непрерывно расширять область применения регулируемого электропривода [1, 2].

Вместе с тем вентильно-индукторный электропривод (ВИЭП) 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 ВИЭП в функции положения ротора [1].

В настоящее время в мировой практике наряду с совершенствованием классических систем управления автоматизированным электроприводом существует устойчивая тенденция разработки систем, основанных на приемах искусственного (компьютерного) интеллекта. Исследования в области экспертных систем привлекают все большее внимание специалистов научной и инженерной областей. 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 с таким же правом можно назвать «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

некотором смысле совершенства. Определенным этапом интеграции систем управления электроприводом явилось создание ведущими электротехническими компаниями 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 [4–6]. Актуальная задача управления током и моментом ВИЭП [7] может быть решена с применением средств на основе нечеткой логики.

Широкому распространению fuzzy-систем управления в немалой степени способствует программный продукт MatLab, в составе которого имеется пакет программ по fuzzy-логике – Fuzzy Logic Toolbox. Кроме того, MatLab включает в себя пакет моделирования динамических систем Simulink, который, в свою очередь, позволяет при помощи стандартных блоков, входящих в его библиотеку, сформировать одно- или многоконтурную систему автоматического управления электроприводом с аналоговым или fuzzy-регулятором.

Преобразование «момент – ток» с последующим распределением задания тока по фазам можно реализовать с применением контроллера нечеткой логики (КНЛ). Тогда структурная схема ВИЭП с применением КНЛ будет иметь вид, который представлен на рис. 1.

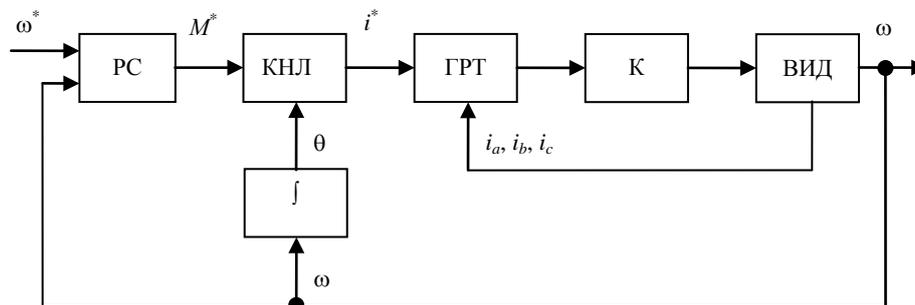


Рис. 1. Структурная схема ВИЭП с применением КНЛ: РС – регулятор скорости; ГРТ – гистерезисный регулятор тока; К – коммутатор

Сигнал задания момента M^* получаем на выходе регулятора скорости, структура и параметры которого могут быть определены классическими методами синтеза. Информация о заданном моменте M^* и угле поворота вала двигателя θ позволяет определить задания токов фаз i^* (i_a, i_b, i_c) с помощью КНЛ. В случае значительного диапазона изменения скорости и нагрузки на валу двигателя область оптимальных токов будет смещаться в сторону уменьшения углов коммутации. Тогда для получения максимума момента при минимуме потерь в статоре дополнительно в качестве входного воздействия КНЛ можно использовать информацию о скорости ротора.

КНЛ представляет собой структуру, состоящую из блоков: фаззификации, базы знаний и дефаззификации. В блоке фаззификации происходит

$$u = \frac{\sum_{j=1}^r a_j u_{j0}}{\sum_{j=1}^r a_j}, \quad (3)$$

где $u_{j0} = u_j(x_{10}, x_{20}, \dots, x_{n0})$; a_j – степень заполнения j -го правила управления.

Величина a_j может быть вычислена по формуле

$$a_j = \mu_{A_{j1}}(x_{10}) * \mu_{A_{j2}}(x_{20}) * \dots * \mu_{A_{jn}}(x_{n0}), \quad (4)$$

где $\mu_{A_{ji}}(x_{i0})$ – степень принадлежности x_{i0} к A_{ji} и оператор (*) означает треугольную нормализацию. Среди разнообразия треугольной нормализации наиболее широко используется алгебраическая сумма (минимальный оператор).

Переход от сигналов физических величин к лингвистической переменной КНЛ осуществляется в блоках фаззификации и дефаззификации 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 фаззификации и дефаззификации можно задать отдельно. Простейшие функции принадлежности треугольная (trimf) и трапецевидная (trapezmf) формируются с использованием кусочно-линейной аппроксимации. Трапецевидная функция принадлежности является обобщением треугольной, она позволяет задавать ядро нечеткого множества в виде интервала. В случае трапецевидной функции принадлежности (рис. 2) возможна следующая удобная интерпретация: ядро нечеткого множества – оптимистическая оценка; носитель нечеткого множества – пессимистическая оценка.

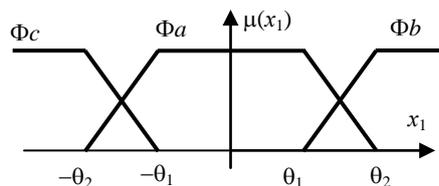


Рис. 2. Функции принадлежности нечеткого множества

Две функции принадлежности – симметричная гауссовская (gaussmf) и двусторонняя гауссовская (gauss2mf) – формируются с использованием гауссовского распределения. Функция gaussmf позволяет задавать асимметричные 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. Они позволяют формировать функции принад-

лежности, 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*, *pimf* и *smf*, графические изображения которых похожи на функции *sigmf*, *dsigmf*, *psigmf* соответственно.

В Fuzzy Logic Toolbox для пользователя также предусмотрена возможность 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 TMC320 Texas Instruments, которые поддерживают функции нечеткой логики. В данных микроконтроллерах функции принадлежности выполняются в виде трапецеидальной функции, как наиболее просто реализуемой. Поэтому в дальнейших расчетах принимаем для блоков фаззификации и дефаззификации функцию принадлежности треугольной или трапецеидальной формы.

КНЛ, определенный согласно (1)–(4), вырабатывает различные управляющие сигналы на основе сигналов обратной связи u_j (2) 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 (1) и тем, что имеет место усреднение более чем одного правила управления [3].

Имитационная модель ВИЭП с применением КНЛ в среде программирования MatLab – Simulink – Fuzzy Logic Toolbox представлена на рис. 3. Модель позволяет исследовать динамические свойства автоматизированного электропривода, управляемого от КНЛ.

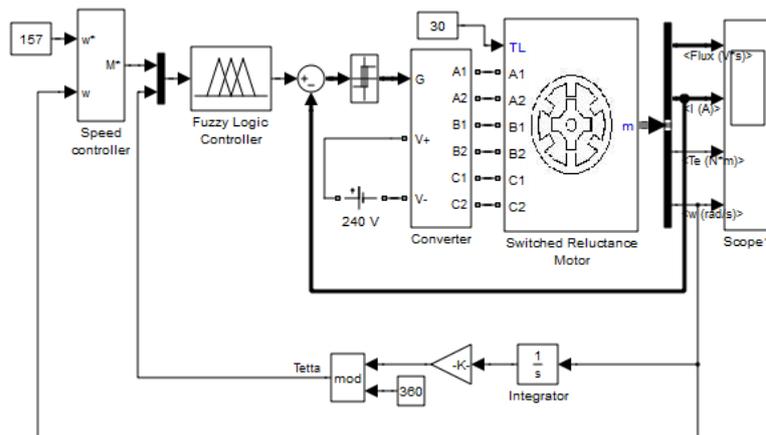


Рис. 3. Имитационная модель ВИЭП с применением КНЛ в среде программирования MatLab – Simulink – Fuzzy Logic Toolbox

Одной из важных характеристик ВИЭП является величина пульсаций момента двигателя в установившемся режиме. Соответствующие зависи-

мости представлены на рис. 4, которые показывают существенное снижение пульсаций момента.

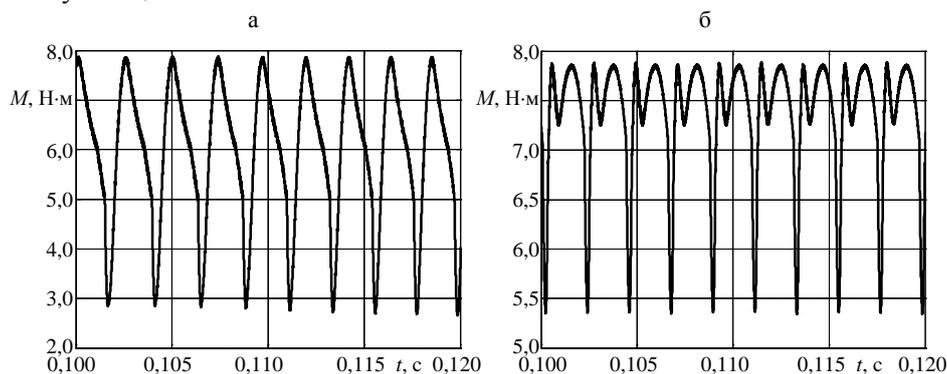


Рис. 4. Электромагнитный момент ВИЭП при управлении с релейным регулятором тока (а) и с КНЛ (б)

ВЫВОДЫ

1. Разработанная имитационная модель с применением контроллера нечеткой логики может быть использована для исследования динамических свойств вентильно-индукторного электропривода.

2. Применение контроллера нечеткой логики позволяет существенно уменьшить пульсации момента при переключении рабочих обмоток в вентильно-индукторном двигателе в установившемся режиме.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бычков, М. Г. Элементы теории вентильно-индукторного электропривода / М. Г. Бычков // *Электричество*. – 1997. – № 7. – С. 35–44.
2. Александровский, С. В. Перспективы применения вентильно-индукторных двигателей в промышленных и транспортных установках / С. В. Александровский // *Информационные технологии в промышленности: тез. докл. 5-й Междунар. науч.-техн. конф., Минск, 22–24 октября 2008 г.: ОИПИ НАН Беларуси; редкол.: Е. В. Владимиров [и др.]*. – Минск, 2008. – С. 91–92.
3. Штоба, С. Д. Проектирование нечетких систем средствами MatLab / С. Д. Штоба. – 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: сб. тез. 5-й Междунар. науч.-техн. конф. ИП*2008, г. Минск, 22–24 октября 2008 г.* – 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 вентильно-индукторного двигателя / С. В. Александровский, Ю. Н. Петренко // *Энергетика... (Изв. высш. учеб. заведений и энерг. объединений СНГ)*. – 2011. – № 2. – С. 15–22.

Представлена кафедрой электропривода
и автоматизации промышленных установок
и технологических комплексов

Поступила 22.05.2012