

К ВОПРОСУ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ НЕЧЕТКОЙ ЛОГИКИ В ЗАДАЧАХ УПРАВЛЕНИЯ В АСИНХРОННОМ ЭЛЕКТРОПРИВОДЕ

Доц. КОВАЛЬ А. С., инж. ШУБИН А. Ю.

Могилевский машиностроительный институт

В настоящее время в технических задачах разрабатываются системы регулирования на основе методов искусственного интеллекта [1]. В таких системах регуляторы строятся как на основе нейронных моделей, так и на принципах нечеткой логики. Эффективность разработок подтверждает перспективность расширения областей применения интеллектуальных регуляторов, в том числе и в системах автоматизированного электропривода. Эта эффективность, например для устройств нечеткой логики, связана с использованием вместо аналитических уравнений логических соответствий, т. е. логических правил между входными и выходными параметрами. В качестве примера может быть рассмотрена задача экстремального регулирования режимов работы асинхронного электродвигателя (АД) при колебаниях нагрузки, в частности задача нахождения минимального тока статора.

Известны системы экстремального управления асинхронными двигателями с поиском экстремального значения регулируемой координаты и системы с заранее заданной регулировочной характеристикой [2]. Точность обеспечения минимальных значений тока в них зависит от точности собственно системы управления (точность математического описания используемых аналитических зависимостей, чувствительность датчиков знака приращения тока).

Возможный альтернативный подход — это разработка экстремального регулятора, построенного на основе нечеткой логики.

Известен метод рассуждений, в котором посылки являются нечеткими понятиями. В нем реализован нечеткий вывод по Мамдани как способ формирования управляющего сигнала [1].

Современные программные средства имитационного моделирования, в частности пакет MATLAB (версии 5.*), содержащий в своем составе инструмент визуального моделирования SIMULINK (версии 2.* и выше), позволяет создать математическую модель системы экстремального регулирования с использованием принципов нечеткой логики [3].

Блок-схема системы поиска минимального тока асинхронного двигателя при изменениях нагрузки за счет регулирования напряжения на статоре с помощью тиристорного регулятора напряжения (ТРН) показана на рис. 1. Нечеткий регулятор включается в обратную связь по току и напряжению.

Для рассматриваемой системы экстремального регулирования на алгоритм нечеткого регулятора возлагается задача определения минимального тока статора при моменте нагрузки в установившемся режиме, меньшем номинального (например 0,1; 0,4; 0,6 $M_{ном}$). Алгоритм экстремального регулирования представлен на рис. 2, где приведена зависимость $I_s = f(U_s)$, оптимизирующая ток при постоянном моменте нагрузки, и кривые изменения регулируемой координаты I_s и управляющего воздействия U_s .

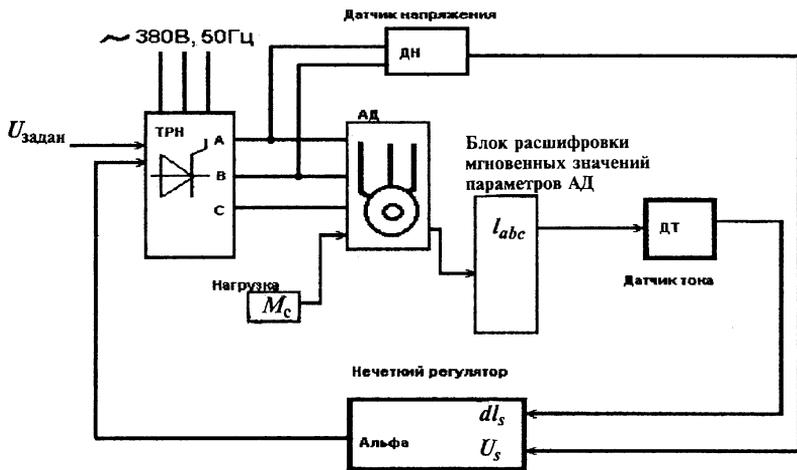


Рис. 1

При исследовании математической модели данной системы с нечетким регулятором рассматривались следующие режимы работы:

работа при набросе и сбросе нагрузки в диапазоне от $0,1$; $0,4$; $0,6M_{ном}$ при номинальных параметрах АД;

работа при набросе и сбросе нагрузки $0,1M_{ном}$ при значении параметров АД, отличающихся от номинальных, в частности при увеличении R'_2 на 30% .

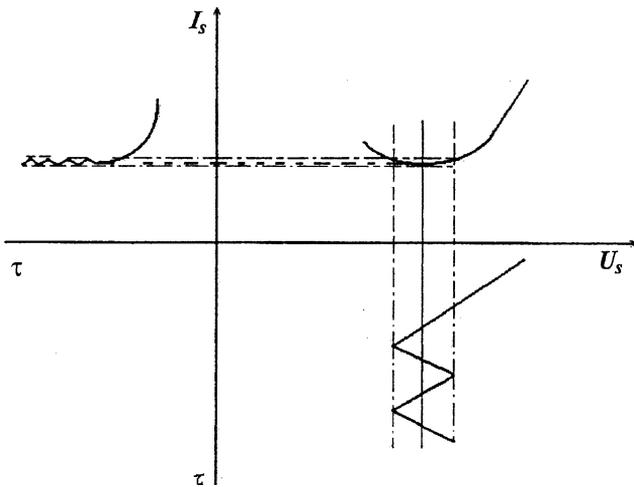


Рис. 2

Нечеткий регулятор имеет два входа и один выход. На первый вход U_s подается действующее значение выходного напряжения преобразователя. Моделирование проводилось на АД типа 4AA56B4 мощностью $0,18$ кВт. Диапазон возможного изменения выходного напряжения ТРН принимался равным возможному диапазону изменения напряжения в представленной зависимости $I_s = f(U_s)$ (для нагрузки $0,1M_{ном}$ $U_s \in [100...380]$ В; для нагрузки $0,4M_{ном}$ $U_s \in [220...380]$ В; для нагрузки $0,6M_{ном}$ $U_s \in [350...380]$ В). На второй вход dI_s подается разность между двумя действующими значениями тока статора, подсчитанными на текущем и предыдущем шагах моделирования. С выхода нечеткого регу-

лятора снимается сигнал управления тиристорным регулятором напряжения.

Для реализации нечеткого алгоритма поиска минимального тока характеристика $I_s = f(U_s)$ условно разбивается на отдельные логические уровни – термы. Каждый логический уровень переменной задается определенным числовым диапазоном. Всего для каждой входной переменной число термов выбрано тринадцать, т. е. нечеткий алгоритм реализуется на 169 композиционных правилах типа:

если $V_1 = A$ и $V_2 = B$, то $VZ = C$,

где V_1, V_2 – входные переменные; VZ – выходная переменная нечеткого регулятора.

Таблица, представляющая логические правила нечеткого регулятора, показана на рис. 3.

Строки и столбцы таблицы представляют собой различные термы для входных переменных, а в ячейках записан номер соответствующего термина выходной переменной нечеткого регулятора. Числовые значения диапазонов термов выходной переменной увеличиваются в порядке возрастания их порядковых номеров от 1 до 13.

Фактически нечеткий вывод в представленной системе выполнен путем применения свертки max (объединением соответствующих функций принадлежности входных нечетких переменных, среди которых выбирается максимальное значение) для нечеткого вывода и операции взятия min (пересечением соответствующих функций принадлежности выходной нечеткой переменной, среди которых выбирается минимальное значение) в качестве нечеткой импликации, а дефаззификация нечеткой выходной переменной была произведена методом нахождения центра тяжести свертки max-min [1].

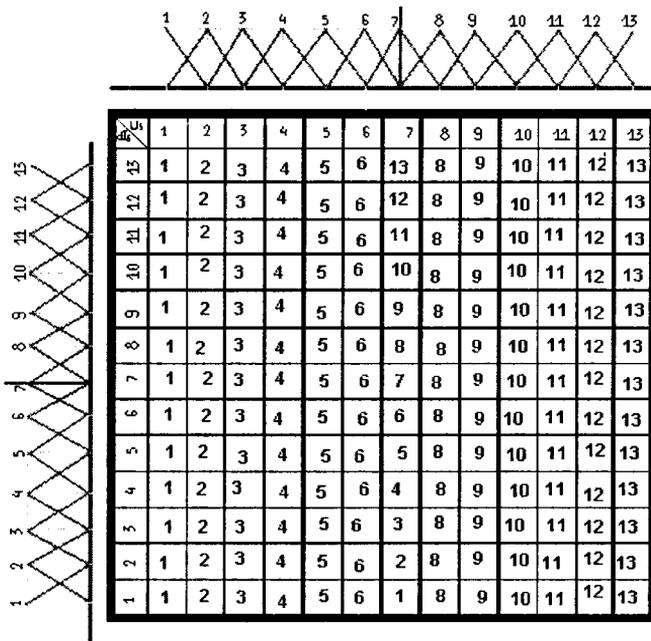


Рис. 3

Результаты моделирования представлены для нагрузок:

1) $0,1 M_{ном}$ (при номинальных параметрах) – на рис. 4а; минимальное установившееся значение тока $I_{min} = 0,19$ А;

- 2) $0,1M_{\text{НОМ}}$ (при R_2 , увеличенном на 30 %) – на рис. 4б; $I_{\text{min}} = 0,19 \text{ A}$;
- 3) $0,4M_{\text{НОМ}}$ (при номинальных параметрах) – на рис. 4в; $I_{\text{min}} = 0,33 \text{ A}$;
- 4) $0,6M_{\text{НОМ}}$ (при номинальных параметрах) – на рис. 4г; $I_{\text{min}} = 0,37 \text{ A}$.

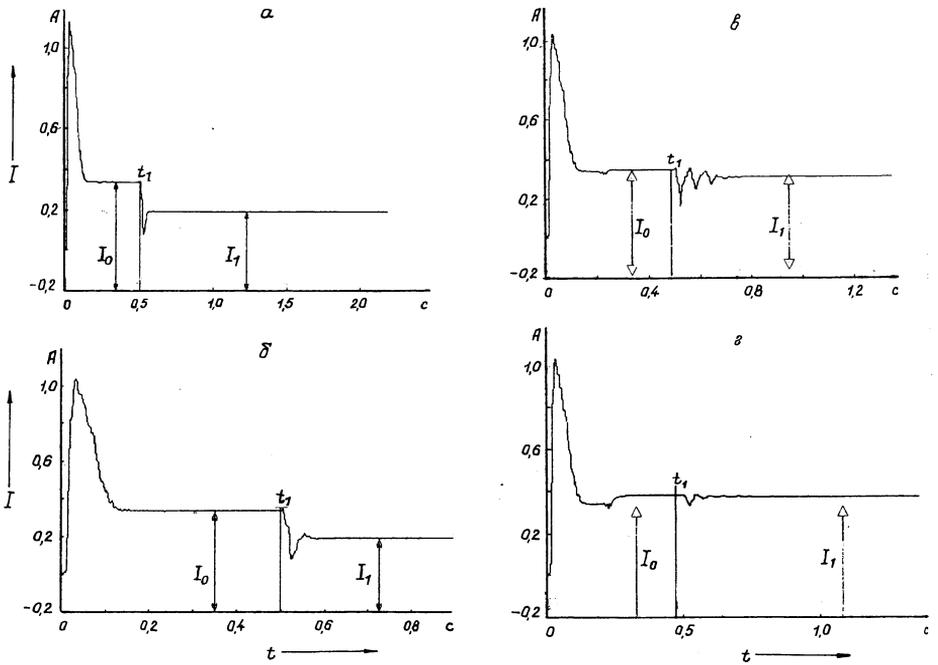


Рис. 4. I_0 – ток статора до начала регулирования; I_1 – то же после регулирования; t_1 – момент времени включения нечеткого регулятора;

Для проверки полученных результатов были рассчитаны минимальные значения тока для каждого $M_{\text{нагр}}$, используемого при моделировании, по [4]:

$$I_1^2 \approx \frac{Mw_0}{3} \left(\frac{s}{r_2'} + \frac{r_2'}{sx_0^2} + \frac{2}{sr_0} \right)$$

Скольжение, обеспечивающее минимум тока статора, определялось по [4]:

$$s = r_2' / x_0;$$

Расчеты проводились на АД со следующими параметрами:

Тип двигателя	4AA56B4Y3
n , об./мин	1500
P_{2H} , кВт	0,18
$I_{\text{НОМ}}$, А	0,491
КПД, %	64
$\cos \varphi$	0,64

Тип двигателя	4AA56B4Y3
X_{μ} , Ом	429,5
R_1 , Ом	97,72
X_1 , Ом	42,68
R_2' , Ом	72,48
X_2' , Ом	76,9
S_n , %	8,9
S_k , %	50,5
J_d , кг·м ²	0,00079

В результате расчета получились следующие значения минимальных токов для нагрузок: $0,1M_{\text{ном}} - I_{\text{min}} = 0,19$ А; $0,4M_{\text{ном}} - I_{\text{min}} = 0,33$ А; $0,6M_{\text{ном}} - I_{\text{min}} = 0,37$ А.

Таким образом, результаты моделирования системы экстремального регулирования с нечетким регулятором показывают, что принципы нечеткой логики могут быть использованы в системе поиска минимального значения тока статора. Нечеткий регулятор в конкретном примере обеспечивает поиск минимума тока с достаточно высокой точностью. При этом изменение параметров асинхронного электродвигателя, в частности активного сопротивления ротора R'_2 , практически не сказывается на точности поиска.

ЛИТЕРАТУРА

1. Прикладные нечеткие системы / Под ред. Т. Тэрано, К. Асаи, М. Сугэно. — М.: Мир, 1993.
2. Тиристорные преобразователи напряжения для асинхронного электропривода / Л. П. Петров, О. А. Андрюшенко, В. И. Капинос и др. — М: Энергоатомиздат, 1986.
3. Гультияев А. К. MATLAB 5.2. Имитационное моделирование в среде Windows: Практическое пособие. — СПб.: КОРОНАпринт, 1999.
4. Энергосберегающая технология электроснабжения народного хозяйства: В 5 кн.: Практик. пособие / Под ред. В. А. Веникова. — Кн. 2. Энергосбережение в электроприводе / Н. Ф. Ильинский, Ю. В. Рожанковский, А. О. Горнов. — М.: Высш. шк., 1989.

Представлена кафедрой
электропривода и АПУ

Поступила 30.06.2000