

СИСТЕМА НЕЧЕТКОГО УПРАВЛЕНИЯ ИСТОЧНИКАМИ ПИТАНИЯ ИНДУКЦИОННЫХ УСТАНОВОК

Кобец Д.В., Саратовский Р.Н., Середа С.Н., Ушаков В.И.
Донбасский государственный технический университет
kdvwork@mail.ru

The fuzzy logic control system of the power supply of induction installation is considered. Modeling of dynamic processes in the power supply with various variants of adjustment fuzzy logic PI-regulator is spent. It is defined, that the quantity of signs of variables can be minimized.

На сегодняшний день для решения различного рода задач управления широко используются интеллектуальные методы, основанные на имитации мышления человека. При этом выделяют два типа интеллектуальных систем управления – на основе нейросетевых технологий и на основе нечеткой (fuzzy) логики [1,2]. С помощью нейронных сетей моделируется процесс мышления человека. Системы с нечеткой логикой моделируют процесс принятия человеком решения. Системы управления с нечеткими регуляторами хорошо зарекомендовали себя при управлении сложными объектами с параметрами, изменяющимися в широких пределах.

Одной из проблем современной электротехники является создание мощных высокоэффективных источников питания, большая потребность в которых испытывается в электрометаллургии и электротермии. Можно выделить два основных пути решения данной проблемы – первый, это совершенствование схем полупроводниковых преобразователей электроэнергии и второй, разработка новых методов управления преобразователями. Что касается первого пути, то благодаря стремительному развитию полупроводниковых технологий, улучшение схем практически не имеет смысла и зачастую наилучшими свойствами обладают преобразователи, построенные по схемам, изобретенным несколько десятилетий назад. Что же касается второго пути, то возможности автоматического управления далеко не исчерпаны и даже получили новый толчок в развитии благодаря тем же успехам полупроводниковых технологий но уже в области микропроцессорной техники. Источники питания электро-технологических установок индукционного нагрева являются сложными нелинейными объектами, причем известно, что параметры нагрузки в таких установках меняются за время нагрева в несколько раз [3]. Поэтому построение современных нечетких систем управления источниками питания индукционных установок является весьма актуальной задачей.

Нечеткий регулятор традиционно строится как некоторое вычислительное устройство с определенной структурой, приведенной на рисунке 1. Она состоит из следующих элементов: блока фаззификации, который преобразует входные физические величины x_i в соответствующие им лингвистические переменные $\mu(x_i)$; базы знаний содержащей набор правил; блок логического вывода, который преобразует входные лингвистические переменные в выходные с определенными функциями принадлежности $\mu(y)$; блок дефаззификации, который преобразует выходную лингвистическую переменную в физическое управляющее воздействие.

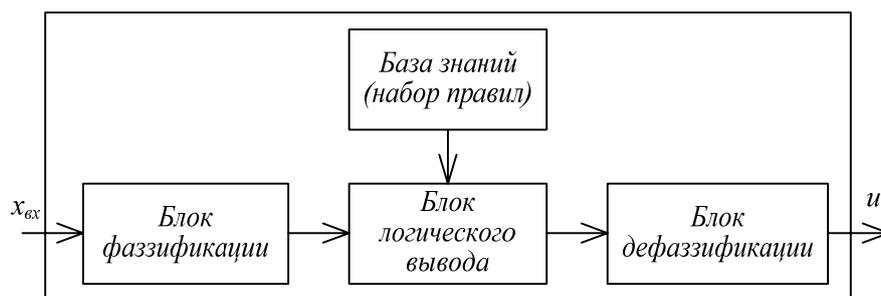


Рисунок 1 – Структурная схема нечеткого регулятора

При общей структуре нечеткие регуляторы могут существенно отличаться способами фаззи- и дефаззификации, количеством и способом составления правил, алгоритмом получения логического вывода и другими нюансами. Наибольшее распространение получили фаззификация треугольными функциями принадлежности, логические выводы Мамдани и Сугено [4]. Что касается количества признаков, характеризующих входные величины, то в данном случае существуют только рекомендации по выбору признаков в количестве 7 ± 2 , т. н. «магическое число семь» свойственное человеческой оперативной памяти [5-7]. Если учесть специфические особенности источников питания индукционных установок как объекта управления, то возможно удастся оптимизировать параметры нечеткого регулятора и минимизировать количество используемых признаков и правил, что приведет к снижению объема вычислений и увеличению быстродействия.

Целью данной работы является оценка эффективности использования нечетких регуляторов в источниках питания индукционных установок путем сопоставления динамики источника питания с нечеткими регуляторами с различными алгоритмами функционирования в условиях изменения параметров нагрузки.

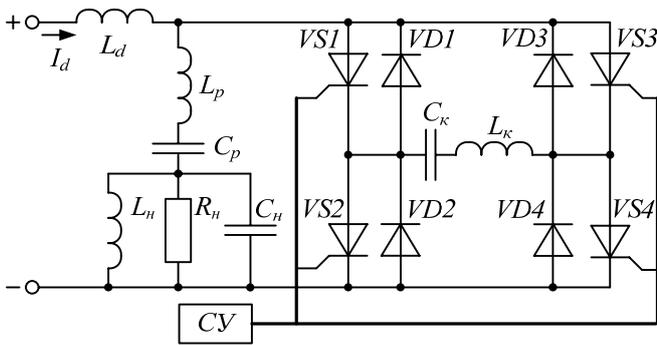


Рисунок 2 - Принципиальная схема резонансного инвертора с обратными диодами и удвоением частоты

Силовая часть источника питания представляет собой тиристорный мостовой резонансный инвертор с удвоением частоты (рис. 2). Система управления преобразователем представляет собой двухуровневую автоматическую систему, в которой отсутствует присущий частотно - управляемым преобразователям генератор отпирающих импульсов. Нижний уровень системы управления построен по асинхронному принципу. Этот принцип заключается в следующем. При запуске на одну из диагоналей подается единственный стартовый импульс. Тиристоры диагонали отпираются, и в преобразователе начинается колебательный процесс, который контролируется датчиками проводимости тиристоров. Как

только первое колебание затухает, то есть ток через проводящие тиристоры достигнет нуля, начинается отсчет и выдерживается определенная пауза. Затем подается отпирающий импульс на вторую диагональ и процесс повторяется. Таким образом, момент подачи каждого нового импульса зависит от текущего состояния координат преобразователя и спрогнозированной паузы. Расчет необходимой паузы осуществляется на верхнем уровне, для чего используется нечеткий регулятор с обратной связью по какой либо координате преобразователя. Выбор такой координаты зависит от требований к технологическому процессу и энергетике источника питания. В данной работе использовалась обратная связь по входному току преобразователя I_d . Такой вариант регулирования обеспечивает наилучший режим передачи энергии в нагрузку.

Для дальнейшего анализ характеристик источника питания примем при допущении, что все элементы идеальные, а нагрузка преобразователя учитывается в виде параллельного RLC - контура.

Для получения обобщенных результатов использовалась система относительных единиц.

В качестве базовых величин принимаются:

- напряжение идеального источника $U_d^* = 100$;
- $L_\Sigma^* = L_p^* + L_k^* = 1$ – суммарная индуктивность инвертора;
- $C_\Sigma^* = C_k^* C_p^* / (C_k^* + C_p^*) = 1$ – эквивалентная емкость.

Производными от базисных величин являются:

- $Z_k^* = \sqrt{L_\Sigma^* / C_\Sigma^*} = 1$ – волновое сопротивление коммутирующего контура;
- $I_0^* = U_d^* / Z_k^* = 1$ – базисный ток;
- $\omega_0^* = 1 / \sqrt{L_\Sigma^* C_\Sigma^*} = 1$ – базисная частота;

Параметры схемы в относительных единицах приняты:

$$C_k^* = 2; \quad C_p^* = 2; \quad C_n^* = 4,4; \quad L_n^* = 0,25; \quad L_p^* = 0,5; \quad L_k^* = 0,5; \quad L_d^* = 100.$$

В работе рассматривался нечеткий ПИ-регулятор Мамдани (рис. 3) с центроидным методом дефаззификации и тремя наборами признаков входных величин и правил.

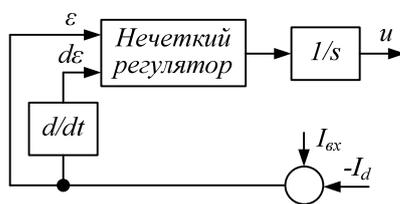


Рисунок 3 – Структурная схема нечеткого ПИ-регулятора

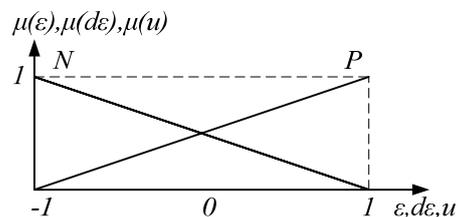


Рисунок 4 – Функции принадлежности входных и выходной переменных (вар. 1)

Первый вариант набора функций принадлежности (рис. 4) и правил принят исходя из минимально доступного варианта классификации, то есть содержит всего два термина – «положительный» (P) и «отрицательный» (N). Первый набор правил следующий.

«Если ε – «P» и $d\varepsilon$ – «P», то u – «P»;

«Если ε – «N» и $d\varepsilon$ – «N», то u – «N».

Такой набор правил обеспечивает системе разгон и торможение, т. е. некое подобие релейного способа управления. Расчеты были проведены на имитационных математических моделях (рис. 5) для двух режимов работы источника питания – пуск и сброс 50% нагрузки.

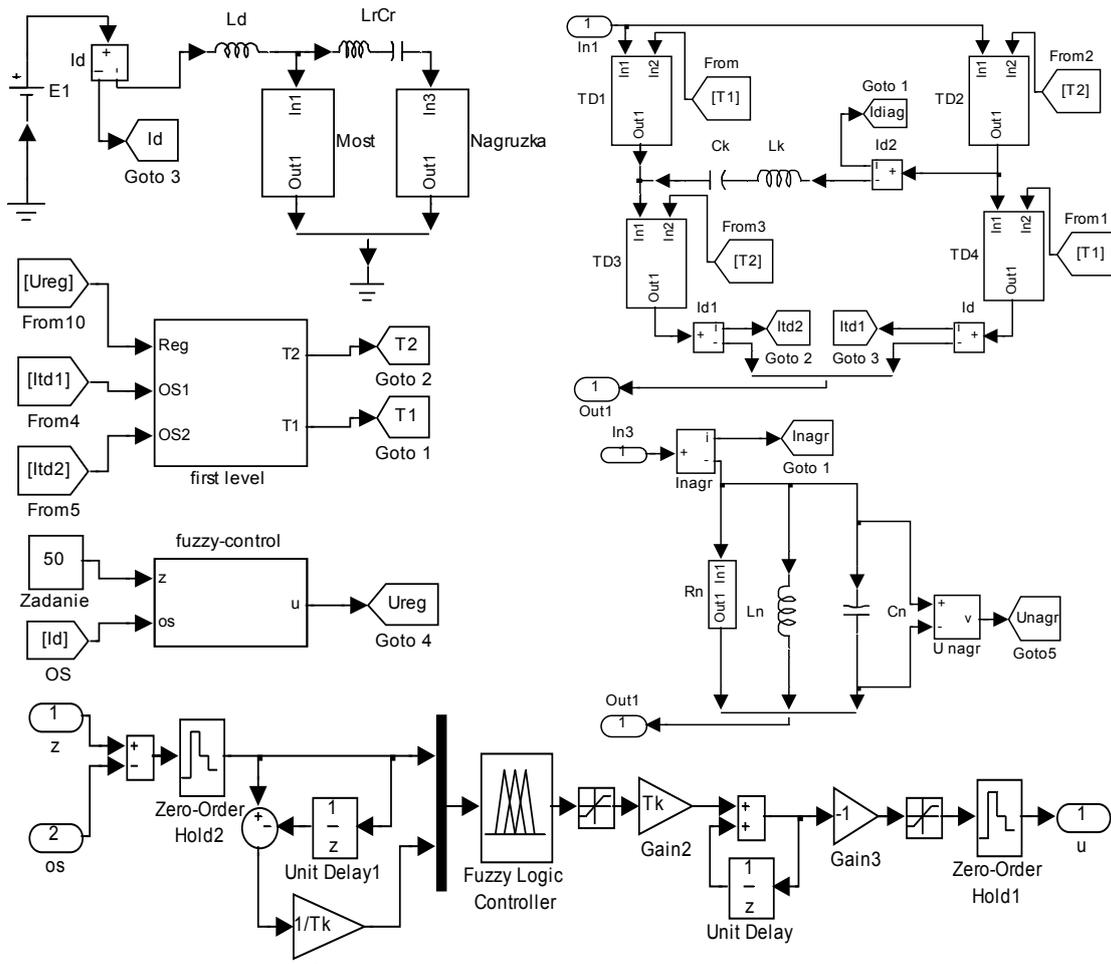


Рисунок 5 – Модель источника питания индукционной установки

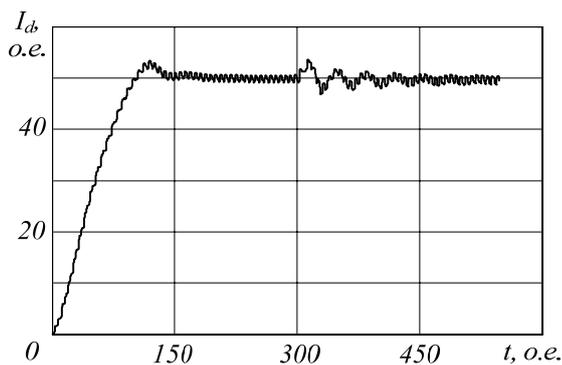


Рис. 6 – Переходный процесс для первого набора правил

ных изменениями параметров нагрузки.

Для определения необходимости дальнейшего увеличения количества признаков использовался набор, приведенный на рисунке 9, и правила представленные в таблице 1.

Для данного набора признаков и правил также было проведено моделирование при тех же условиях. В результате получен переходный процесс, приведенный на рисунке 10. Сопоставляя переходные процессы на рис. 8 и рис. 10 можно сказать, что увеличение количества признаков и правил практически не приводит к изменениям показателей качества.

Результаты приведены на рисунке 6. Анализируя приведенный переходный процесс можно сказать, что пуск проходит с приемлемым перерегулированием и быстродействием, а сброс нагрузки приводит к существенной колебательности с большим временем затухания. Учитывая полученный результат, к имеющимся признакам управляющего воздействия был добавлен признак «нулевой» (Z) (рис. 7). База знаний в этом случае состоит из следующих правил:

- «Если $\varepsilon - \langle P \rangle$ и $d\varepsilon - \langle P \rangle$, то $u - \langle P \rangle$;
- «Если $\varepsilon - \langle N \rangle$ и $d\varepsilon - \langle N \rangle$, то $u - \langle N \rangle$;
- «Если $\varepsilon - \langle P \rangle$ и $d\varepsilon - \langle N \rangle$, то $u - \langle Z \rangle$;
- «Если $\varepsilon - \langle N \rangle$ и $d\varepsilon - \langle P \rangle$, то $u - \langle Z \rangle$ ».

В результате моделирования при тех же условиях получен переходный процесс, представленный на рисунке 8. При данном наборе правил улучшается демпфирование колебаний, вызван-

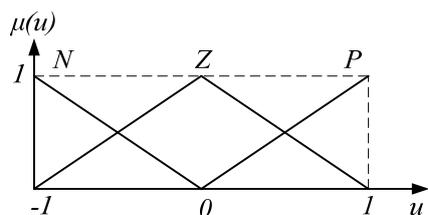


Рисунок 7 – Функции принадлежности выходной переменной (вар. 2)

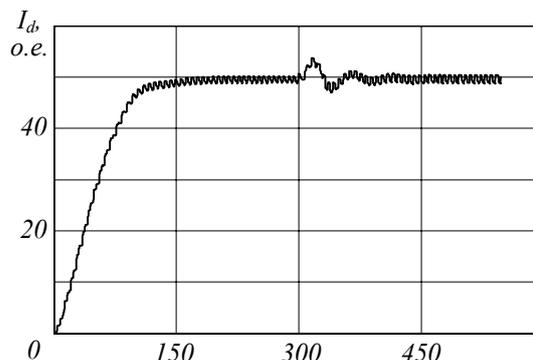


Рисунок 8 – Переходный процесс для второго набора правил

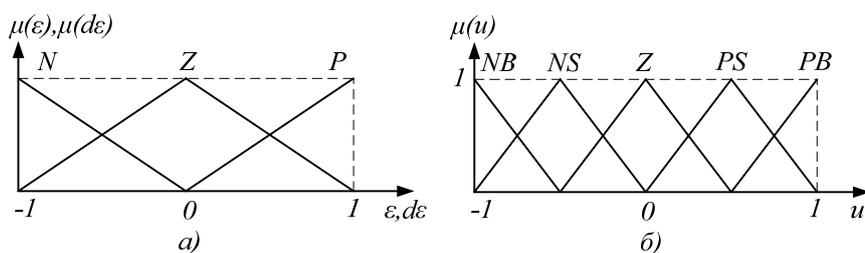


Рисунок 9 – Функции принадлежности (вар. 3) а) входных переменных и б) выходной переменной

Таблица 1

		dε		
		N	Z	P
ε	N	NB	NS	Z
	Z	NS	Z	PS
	P	Z	PS	PB

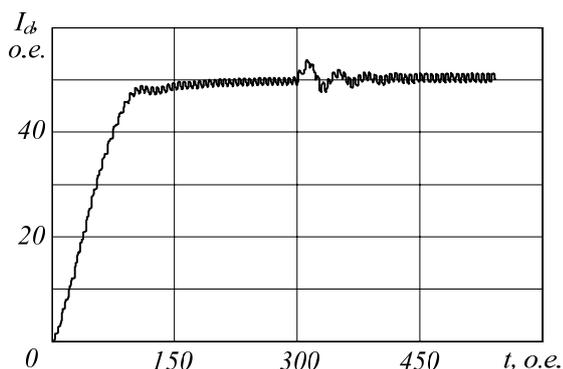


Рисунок 10 – Переходный процесс для третьего набора правил

Выводы. При сравнении динамики нечетких регуляторов с различным набором правил было установлено, что минимальный набор признаков и правил обеспечивает высокое качество переходных процессов в источнике питания индукционной установки. Но наилучшим является вариант, в котором присутствует дополнительная стабилизация за счет «нулевого» признака в выходной координате и соответствующих этому признаку правил. Дальнейшее увеличение количества признаков и правил не привело к улучшению качества переходных процессов. Следовательно, при настройке нечеткого регулятора для источников питания индукционных установок можно ограничиться тремя признаками.

ЛИТЕРАТУРА

1. Круглов В.В., Борисов В.В. Искусственные нейронные сети. Теория и практика. – 2-е изд. – М.: Горячая линия-Телеком, 2002. – 382 с.
2. Гостев В.И. Синтез нечетких регуляторов систем автоматического управления. – К.: «Радиоаматор», 2003. – 512 с.
3. Системы управления с тиристорными преобразователями частоты для электротехнологии/ С.В. Шапиро, Ю.М. Зинин, А.В. Иванов; Под ред. С.В. Шапиро. – М.: Энергоатомиздат, 1989. – 168 с.
4. Прикладные нечеткие системы: Пер. с япон./ К. Асаи, Д. Ватада, С. Иван и др.; под редакцией Т. Тэрано, К. Асаи, М. Сугено. – М.: Мир, 1993. – 368 с.
5. Клепиков В.Б., Глебов О.Ю., Моисеенко П.Л. Влияние фаззи данных и правил на выходные характеристики фаззи регулятора. // Техн. электродинамика. – 2002. – № 2. – С. 43 – 48.
6. Аткинсон Р. Человеческая память и процесс обучения. – М.: Мир, 1980. – 192 с.
7. Штовба С.Д. Проектирование нечетких систем средствами MATLAB. – М.: Горячая линия-Телеком, 2007. – 288 с.

Рекомендовано д.т.н. Коцегубом П.Х.