

ОБЕСПЕЧЕНИЕ ТРЕБУЕМЫХ ДИНАМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ СИСТЕМЫ С ПОМОЩЬЮ НЕЧЕТКОГО РЕГУЛЯТОРА

Докт. техн. наук, проф. ЛОБАТЫЙ А. А., асп. АЛЬ-МАШХАДАНИ М. А.

Белорусский национальный технический университет

E-mail: davidmar35@mail.ru

PROVISION OF REQUIRED DYNAMIC SYSTEM PROPERTIES BY MEANS OF INDISTINCT REGULATOR

LOBATY A. A., AL-MASHHADANI M. A.

Belarusian National Technical University

Исследовано применение в системе управления нечеткого регулятора, основанного на использовании теории нечетких множеств. Показано, что при решении задачи обеспечения требуемых динамических свойств системы в регуляторе происходит автоматическая подстройка коэффициентов усиления параметров, используемых для управления. Приводится пример, иллюстрирующий работоспособность предложенных теоретических положений.

Ключевые слова: динамические свойства, нечеткий регулятор, коэффициент усиления.

Ил. 7. Библиогр.: 4 назв.

The paper considers an application of an indistinct regulator in the control system that is based on use of a fuzzy-set theory. It has been shown that while solving problems concerning provision of the required dynamic system properties an automatic tuning of intensifying factors of parameters occurs in the regulator and these factors are used for control operation. An example illustrating operational efficiency of the theoretical proposals has been given in the paper.

Keywords: dynamic properties, indistinct regulator, intensifying factor.

Fig. 7. Ref.: 4 titles.

Под управлением системой (объектом) понимают такое воздействие на нее, которое приводит к достижению поставленной цели или, по-другому, переводит систему из произвольного текущего состояния в требуемое – желаемое. В большинстве технических систем при управлении необходимо обеспечить заданное качество (вид) выходного сигнала. Задачи синтеза регуляторов (корректирующих устройств) на практике, как правило, решаются приближенными методами в зависимости от сложности системы и частных задач, к которым относят следующие:

- стабилизация объекта управления и повышение запаса устойчивости;
- обеспечение необходимой точности выходного сигнала в установившемся режиме;
- обеспечение заданного качества процесса управления в переходном режиме.

В зависимости от сложности системы, вида ее математической модели и поставленных задач разработаны различные методы синтеза

регуляторов: для линейных и нелинейных систем, стационарных и нестационарных, многомерных, робастных, стохастических систем и т. д. [1]. Несмотря на многообразие методов и подходов, не потеряли актуальности задачи, ставшие классическими, так как современный этап развития техники и технологий характеризуется наличием значительного числа неопределенностей как в создании математических моделей, так и в использовании внешней информации, полученной с помощью датчиков-измерителей. Одним из путей отработки информации при наличии неопределенностей является применение теории нечетких множеств (нечеткой логики).

В наиболее распространенных простейших регуляторах непрерывного действия управляющее воздействие $u(t)$ линейно зависит от сигнала ошибки $\varepsilon(t)$, его интеграла и первой производной. На основе этого различают пропорциональные регуляторы (П-регуляторы), пропорционально-дифференциальные (ПД), интег-

ральные (И) и т. п. Использование того или иного вида регулятора определяется задачей управления. Обеспечение требуемой точности работы системы в установившемся режиме достигается введением в прямую цепь системы интеграторов.

Заданное качество работы системы в переходном режиме достигается введением в прямую и обратную цепи дифференцирующих звеньев, что позволяет обеспечить в системе фактор прогнозирования – формировать сигнал управления $u(t)$ с прогнозом. Если амплитуда сигнала ошибки увеличивается, производная $\dot{\varepsilon}(t)$ положительна и сигнал $u(t)$ в этом случае увеличивается. При уменьшении $\varepsilon(t)$ производная $\dot{\varepsilon}(t)$ отрицательна и $u(t)$ уменьшается более интенсивно, чем при пропорциональном управлении. Наличие в сигнале управления второй производной $\ddot{\varepsilon}(t)$ может еще больше улучшить качество управления в переходном режиме. Структурная схема такой системы представлена на рис. 1.

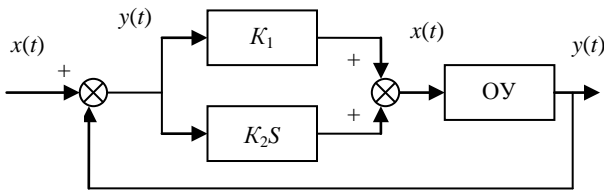


Рис. 1. Система с форсированным управлением: ОУ – объект управления; $x(t), y(t)$ – соответственно входной и выходной сигналы системы; S – оператор дифференцирования; K_1, K_2 – коэффициенты усиления

Закон управления, согласно рис. 1, имеет вид

$$u(t) = K_1 \varepsilon(t) + K_2 \dot{\varepsilon}(t). \quad (1)$$

В реальных условиях реализовать регулятор, представленный на рис. 1, практически невозможно из-за нереализуемости в чистом виде дифференцирующего звена. Получить приближенное решение задачи синтеза регулятора типа (1) позволяет применение так называемых нечетких регуляторов (НР) [2]. Структурная схема цифровой системы управления с НР представлена на рис. 2.

Аналого-цифровой преобразователь (АЦП) квантует непрерывную ошибку $\varepsilon(t) = x(t) - y(t)$

с шагом квантования h . Первую производную от ошибки обычно вычисляют как первую разность по приближенной формуле

$$\dot{\varepsilon}(t) = [\varepsilon(k) - \varepsilon(k - 1)]/h, \quad (2)$$

где $\varepsilon(k)$ – квантованная ошибка на выходе АЦП.

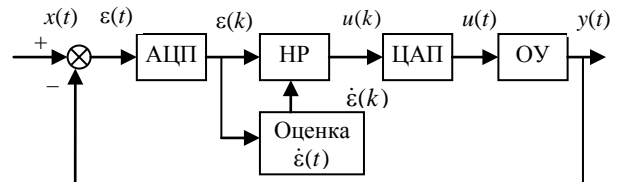


Рис. 2. Система управления с нечетким регулятором

Цифро-аналоговый преобразователь (ЦАП) представляет собой, как правило, фиксатор нулевого порядка с передаточной функцией

$$W(s) = \frac{1 - e^{-hs}}{s}. \quad (3)$$

Структурная схема НР представлена на рис. 3.

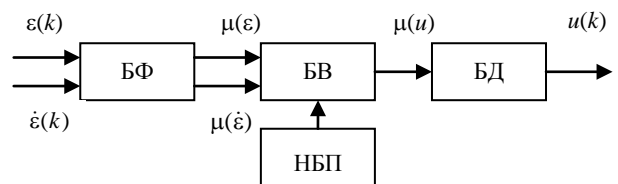


Рис. 3. Структура нечеткого регулятора

На рис. 3 обозначено: БФ – блок фаззификации, выполняющий преобразования измеренных четких данных в подходящие для этого значения лингвистических переменных; БВ – блок вывода, который моделирует основанные на нечетких рассуждениях процедуры принятия решений человеком в целях достижения необходимой стратегии управления; БД – блок дефаззификации, необходимый для выработки четкого (конкретного) решения или управляющего воздействия в соответствии с результатами, полученными в блоке вывода; НБП – нечеткая база правил, предназначенная для хранения опытных данных о процессе управления и знаний экспертов в данной области [2, 3]. НБП содержит набор правил импликации – логических операций, образующих сложное высказывание из двух нечетких высказываний «если – то» (if – then) – конструкций, в которых предпосылки

и заключения подразумевают использование лингвистических переменных (управляющих утверждений), формализованных в виде функций принадлежности $\mu(x)$, $\mu(y)$, $\mu(z)$.

Для простоты решения задачи синтеза НР будем полагать, что число термов (нечетких переменных терм-множества), с помощью которых оцениваются лингвистические переменные (входные и выходные параметры НР), равно двум. Отобразим диапазоны $[\varepsilon_{\min}, \varepsilon_{\max}]$, $[\dot{\varepsilon}_{\min}, \dot{\varepsilon}_{\max}]$ и $[u_{\min}, u_{\max}]$ изменения входных и выходных параметров (рис. 4) на единое универсальное множество в соответствии с выражениями [2]:

$$m_1^* = (\varepsilon^* - \varepsilon_{\min}) / (\varepsilon_{\max} - \varepsilon_{\min}); \quad (4)$$

$$m_2^* = (\dot{\varepsilon}^* - \dot{\varepsilon}_{\min}) / (\dot{\varepsilon}_{\max} - \dot{\varepsilon}_{\min}); \quad (5)$$

$$m_u^* = (u^* - u_{\min}) / (u_{\max} - u_{\min}). \quad (6)$$

Функции принадлежности нормированных переменных m_1^* , m_2^* , m_u^* треугольной формы имеют вид, представленный на рис. 4.

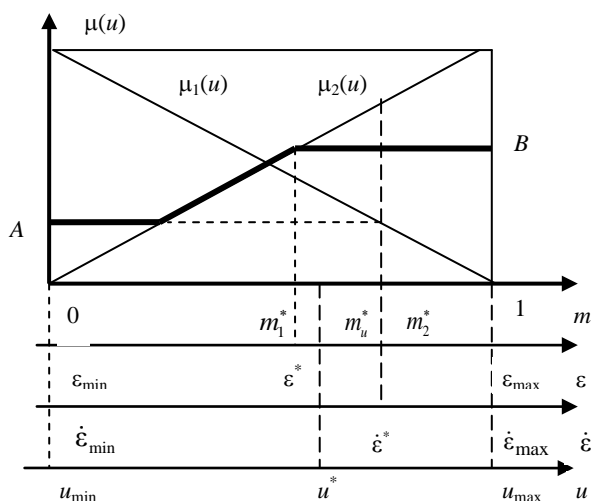


Рис. 4. Нечеткие подмножества

Лингвистическое правило управления НР представляется в виде:

$$\text{если } \varepsilon^* = a_1^i \text{ и } \dot{\varepsilon}^* = a_2^i, \text{ то } u^* = a_u^i, \quad (7)$$

где a_1^i , a_2^i – лингвистические оценки ошибки управления и ее скорости изменения, рассмат-

риваемые как нечеткие множества, определяемые на универсальном множестве; a_u^i – лингвистические оценки управляющего воздействия на объект, выбираемые из терм-множества переменной u . Лингвистические оценки выбираются из терм-множеств лингвистических переменных ε^* , $\dot{\varepsilon}^*$ и u^* .

Для определения нечеткого вывода применим правило Мамдани [1, 3], в соответствии с которым результирующая функция принадлежности, соответствующая нечеткому подмножеству «отрицательный» (рис. 4), ограничена сверху значением $A = \min[m_1(u_1^*), m_2(u_2^*)]$, а результирующая функция принадлежности, соответствующая нечеткому подмножеству «положительный», ограничена сверху значением $B = \min[\mu_2(m_1^*), \mu_2(m_2^*)]$.

Результирующая функция принадлежности для управляющего воздействия определяется объединением функций принадлежности

$$\mu_u(m) = \mu_{1u}(m) \vee \mu_{2u}(m) \quad (8)$$

и получается формированием максимума (жирная линия на рис. 4)

$$\mu_u(m) = \max[\mu_{1u}(m), \mu_{2u}(m)]. \quad (9)$$

Для определения четкого (конкретного) значения сигнала управления u_c^* применим центроидный метод дефазификации, в соответствии с которым производится поиск абсциссы геометрического «центра тяжести» результирующей фигуры по формуле, которая в общем случае имеет вид [3]

$$u^* = \frac{\int \mu_u(m) m du}{\int \mu_u(m) du}. \quad (10)$$

Правильно выбранный метод дефазификации существенно влияет на эффективность работы системы нечеткого вывода. Полученное нормированное значение u^* преобразуется в управляющее воздействие на объект управления по формуле

$$u = u_{\min} + (u_{\max} - u_{\min})u^*. \quad (11)$$

Число термов, по которым оцениваются лингвистические переменные, можно увели-

чить с двух до трех и более. При этом возможен более точный результат [1, 3].

Реализовать НР удобно с помощью пакета MatLab-Simulink. При этом имеется возможность использовать функции принадлежности не только треугольного вида (рис. 4), но и другого, в зависимости от поставленной задачи. В частности, при обработке случайных сигналов удобно использовать гауссову аппроксимацию функции принадлежности [4]. Функции принадлежности входных параметров НР гауссова вида для двух и трех терм-множеств, реализованных в Simulink-схеме, представлены на рис. 5.

В качестве примера рассмотрим управление электродвигателем, передаточная функция которого имеет вид

$$W(s) = \frac{17,64}{s^2 + 4,364s + 17,64}. \quad (12)$$

Simulink-схема системы управления с нечетким регулятором представлена на рис. 6.

Полученные с помощью Simulink графики изменения выходного сигнала системы и ступенчатого периодического входного сигнала изображены на рис. 7.

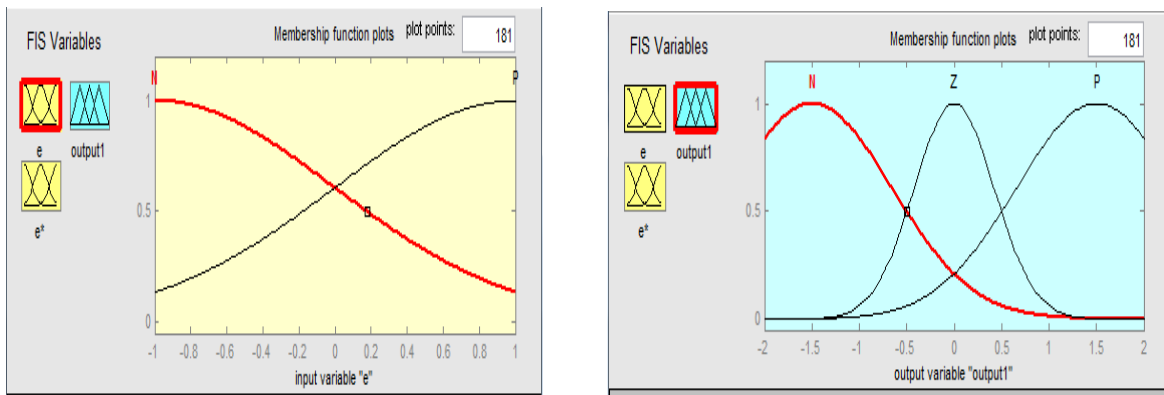


Рис. 5. Функции принадлежности входных параметров НР

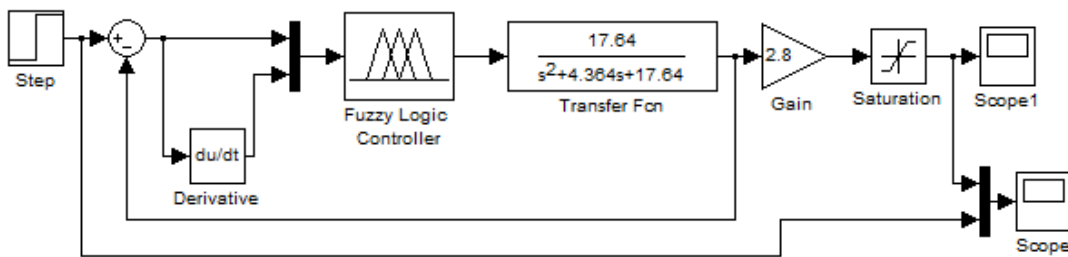


Рис. 6. Simulink-схема системы управления с НР

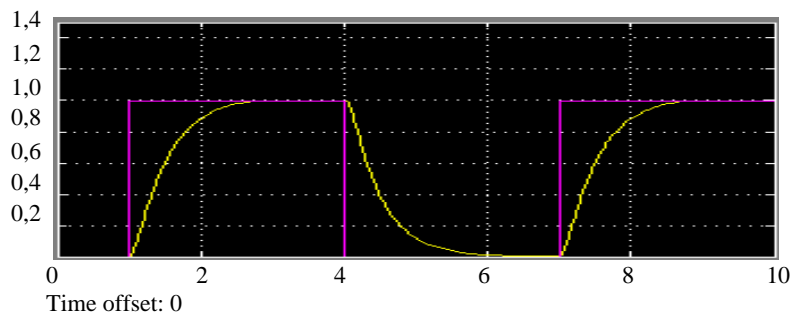


Рис. 7. Входной и выходной сигналы системы

ВЫВОД

Результаты исследований показывают, что применение в системах управления нечетких регуляторов, основанных на использовании теории нечетких множеств, позволяет успешно решать задачи обеспечения требуемых динамических свойств системы, так как в этих регуляторах происходит автоматическая подстройка коэффициентов усиления параметров, используемых для управления системой.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Методы** классической и современной теории автоматического управления. Т. 3: Синтез регуляторов систем автоматического управления / под ред. К. А. Пупкова, Н. Д. Егуповы. – М.: Изд-во МГТУ имени Н. Э. Баумана, 2004. – 616 с.
2. **Ярушкіна, Н. Г.** Основы теории нечетких и гибридных систем / Н. Г. Ярушкіна. – М.: Финансы и статистика, 2004. – 320 с.

3. **Гостев, В. И.** Проектирование нечетких регуляторов для систем автоматического управления / В. И. Гостев. – СПб.: БХВ-Петербург, 2011. – 416 с.

4. **Лобатый, А. А.** Фаззификация сигналов нелинейной стохастической системы / А. А. Лобатый, М. А. Аль-Машхадани // Наука и техника. – 2013. – № 2. – С. 28–32.

REFERENCES

1. **Pupkov, K. A., & Egupov, N. D.** (2004) *Methods of Classical and Modern Theory of Automatic Control. Vol. 3: Regulator Synthesis of Automatic Control Systems*. Moscow: N. E. Bauman MSTU Publishing House.
2. **Yarushkina, N. G.** (2004) *Fundamentals of Indistinct and Hybrid Systems*. Moscow: Finansy i Statistika [Finance and Statistics].
3. **Gostev, V. I.** (2011) *Designing of Indistinct Regulators for Automation Control Systems*. St. Petersburg: Publishing House BHV-Petersburg.
4. **Lobaty, A. A., & Al-Mashhadani, M. A.** (2013) Fuzzification of Non-Linear Stochastic System Signals. *Nauka i Tehnika [Science and Technique]*, 2, 28–32.

Поступила 20.01.2014

УДК 621.3.084.2.017

AB-INITIO МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРОННЫХ СВОЙСТВ СВЕРХТОНКИХ ПЛЕНОК ОКСИДОВ РЕДКОЗЕМЕЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ДЛЯ СЕНСОРНЫХ НАНОСИСТЕМ

Канд. техн. наук, доц. ГУЛАЙ А. В.¹⁾, докт. техн. наук, проф. КОЛЕШКО В. М.¹⁾, канд. техн. наук, доц. СТЕМПИЦКИЙ В. Р.²⁾, магистр техн. наук ЛЕВЧЕНКО Н. В.¹⁾, ГУЛАЙ В. А.¹⁾, асп. КОЗЛОВА О. А.²⁾

¹⁾Белорусский национальный технический университет,

²⁾Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники

E-mail: altaj@tut.by

AB-INITIO SIMULATION OF ELECTRONIC FEATURES OF HYPERFINE RARE EARTH OXIDE FILMS FOR SENSORY NANOSYSTEMS

GULAY A. V.¹⁾, KOLESKO V. M.¹⁾, STEPITSKIY V. R.²⁾, LEVCHENKO N. V.¹⁾, GULAY V. A.¹⁾, KOZLOVA O. A.²⁾

¹⁾Belarusian National Technical University,

²⁾Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics

Выполнено Ab-Initio моделирование электронных свойств сенсорных наноматериалов на основе редкоземельных оксидов (например, оксида иттрия). Предложен способ моделирования тонких пленок нанометрового масштаба в программном пакете VASP, заключающийся в имитации слоя материала с толщиной, равной размеру элементарной кристаллической ячейки. Разрыв атомных связей в кристалле по одной из координатных осей имитируется путем увеличения расстояния между атомными слоями по этой оси до значений, при которых стабилизируется величина свободной энергии. Установлено, что в сверхтонкой пленке редкоземельного оксида (при толщине пленки, близкой к 1 нм) валентная зона и зона проводимости явно не выявляются, запрещенная зона не формируется. Фактически тонкая пленка оксида редкоземельного элемента в области наномасштаба теряет диэлектрические свойства, которые достаточно отчетливо проявляются в континууме.

Ключевые слова: Ab-Initio, моделирование, сверхтонкие пленки, оксид редкоземельного элемента, сенсорная наносистема.

Ил. 8. Библиогр.: 15 назв.