

УПРАВЛІННЯ У ТЕХНІЧНИХ СИСТЕМАХ

УПРАВЛЕНИЕ В ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ

CONTROL IN TECHNICAL SYSTEMS

УДК 62-55:681.515

Гостев В. И.

Д-р техн. наук, заведующий кафедрой Государственного университета информационно-коммуникационных технологий (г. Киев)

ПРОЕКТИРОВАНИЕ НЕЧЕТКОГО РЕГУЛЯТОРА С УНИВЕРСАЛЬНЫМИ ИДЕНТИЧНЫМИ ВХОДНЫМИ И ВЫХОДНЫМИ ФУНКЦИЯМИ ПРИНАДЛЕЖНОСТИ

Получены аналитические выражения для управляющих воздействий на выходе нечеткого регулятора при универсальных функциях принадлежности и изложены вопросы проектирования нечеткого регулятора.

Ключевые слова: автоматическое управление, нечеткий регулятор, проектирование, нечеткая логика, функции принадлежности, Matlab.

ВВЕДЕНИЕ

В работе [1] изложен новый метод проектирования нечетких регуляторов. Актуальной является задача проектирования нечетких регуляторов с различными типовыми функциями принадлежности на основе изложенного метода. В данной работе проектируется нечеткий регулятор с универсальными идентичными входными и выходными функциями принадлежности, структурная схема которого представлена на рис. 1 и подробно описана в работах [1–3]. Нечеткий регулятор состоит из трех блоков: блока *формирователя величин* $A(t)$ и $B(t)$ (блок 1), блока *сравнения величин* $A(t)$ и $B(t)$ и *расчета* u_c (блок 2) и блока *нормировки выходной переменной* (блок 3).

РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ

Рассмотрим на универсальном множестве $U = [0, 1]$ два нечетких подмножества с функциями принадлежности вида (см. рис. 2)

$$\mu_1(u) = \begin{cases} \frac{(1-a-u)^c}{(1-a)^c}, & 0 \leq u \leq 1-a; \\ 0, & 1-a \leq u \leq 1, \end{cases}$$

$$\mu_2(u) = \begin{cases} 0, & 0 \leq u \leq a; \\ \frac{(u-a)^c}{(1-a)^c}, & a \leq u \leq 1. \end{cases} \quad (1)$$

Функции принадлежности назовем универсальными, если из них можно получить не менее трех элементарных функций. Записанные выше функции

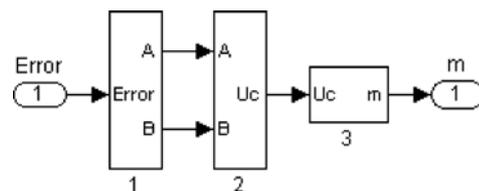


Рис. 1.

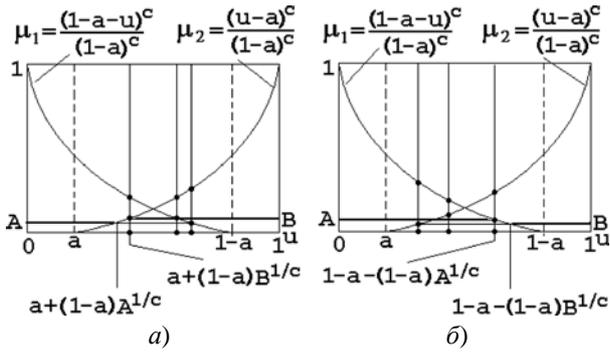


Рис. 2.

принадлежности отвечают такому условию. Действительно, из формул (1) при $a = 0$ получаем формулы для возведенных в степень треугольных функций принадлежности (рис. 3.41 [2]), при $a = 0, c = 1$ получаем формулы для треугольных функций принадлежности (рис. 3.42 [2]), при $c = 1$ получаем формулы для треугольных функций принадлежности с увеличенным наклоном (рис. 3.47 [2]).

На входе нечеткого регулятора в блоке *формирователя величин $A(t)$ и $B(t)$* переменные ошибка системы θ^* , первая производная ошибки $\dot{\theta}^*$ и вторая производная ошибки $\ddot{\theta}^*$, поступающие в регулятор с шагом квантования h , пересчитываются в переменные u_1^*, u_2^*, u_3^* по формулам

$$\left. \begin{aligned} u_1^* &= (\theta^* + A_m)/(2A_m); \\ u_2^* &= (\dot{\theta}^* + B_m)/(2B_m); \\ u_3^* &= (\ddot{\theta}^* + C_m)/(2C_m) \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

(это формулы для пересчета значений сигналов в значения элементов единого универсального множе-

ства $U = [0, 1]$ при симметричных диапазонах изменения переменных $A_m = \theta_{\max} = -\theta_{\min}, B_m = \dot{\theta}_{\max} = -\dot{\theta}_{\min}, C_m = \ddot{\theta}_{\max} = -\ddot{\theta}_{\min}$) и рассчитываются значения функций принадлежности для переменных u_1^*, u_2^*, u_3^* . Точками на универсальном множестве отмечены возможные для какого-то момента времени значения переменных u_1^*, u_2^*, u_3^* .

По алгоритму Мамдани определяются величины A и B по формулам

$$\left. \begin{aligned} A &= \min[\mu_1(u_1^*), \mu_1(u_2^*), \mu_1(u_3^*)]; \\ B &= \min[\mu_2(u_1^*), \mu_2(u_2^*), \mu_2(u_3^*)]. \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

На основании формул (1)–(3) построен блок *формирователя величин $A(t)$ и $B(t)$* (блок 1 на рис. 1). Этот блок показан на рис. 3.

В схеме *формирователя величин $A(t)$ и $B(t)$* при настройке нечеткого регулятора перестраиваются граничные значения диапазонов $A_m = \theta_{\max} = -\theta_{\min}, B_m = \dot{\theta}_{\max} = -\dot{\theta}_{\min}, C_m = \ddot{\theta}_{\max} = -\ddot{\theta}_{\min}$. Коэффициенты a и c при настройке диапазонов обычно задаются постоянными. При изменении значений коэффициентов граничные значения диапазонов требуется подстраивать.

Отметим весьма существенный факт. Какие бы значения ни принимали переменные u_1^*, u_2^*, u_3^* на универсальном множестве $U = [0, 1]$, в зависимости от соотношений величин A и B «результурующая фигура» может принимать только две конфигурации: при $A \leq B$ первая конфигурация показана на рис. 2, *а*; при $A \geq B$ вторая конфигурация показана на рис. 2, *б*.

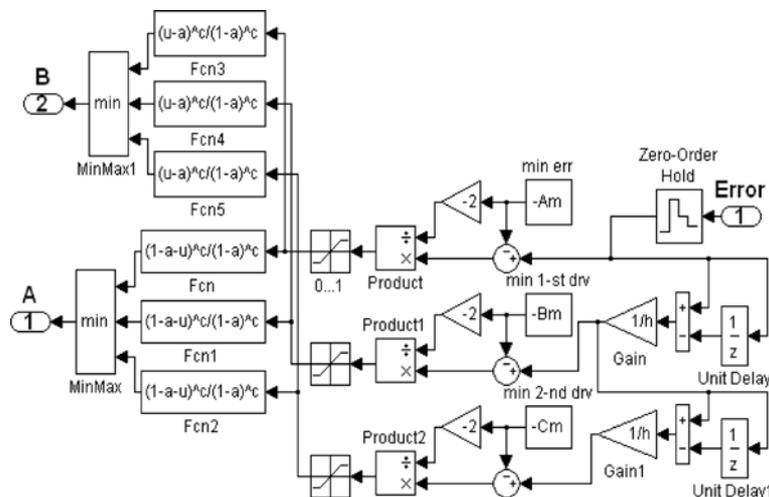


Рис. 3.

Абсцисса «центра тяжести результирующей фигуры» при $A \leq B$ определяется по формуле

$$u_c = \frac{A \int_0^{a+(1-a)A^{1/c}} u du + \frac{1}{(1-a)^c} \int_{a+(1-a)A^{1/c}}^{a+(1-a)B^{1/c}} (u-a)^c u du + B \int_{a+(1-a)B^{1/c}}^1 u du}{A \int_0^{a+(1-a)A^{1/c}} du + \frac{1}{(1-a)^c} \int_{a+(1-a)A^{1/c}}^{a+(1-a)B^{1/c}} (u-a)^c du + B \int_{a+(1-a)B^{1/c}}^1 du} \quad (4)$$

После несложных вычислений находим

$$u_c = \frac{\frac{B}{2} + \frac{a^2}{2}(A-B) + \frac{a(1-a)c}{c+1} \left(A^{\frac{c+1}{c}} - B^{\frac{c+1}{c}} \right) + \frac{(1-a)^2 c}{2(c+2)} \left(A^{\frac{c+2}{c}} - B^{\frac{c+2}{c}} \right)}{B + a(A-B) + \frac{(1-a)c}{c+1} \left(A^{\frac{c+1}{c}} - B^{\frac{c+1}{c}} \right)} \quad (5)$$

Абсцисса «центра тяжести результирующей фигуры» при $A \geq B$ определяется по формуле

$$u_c = \frac{A \int_0^{1-a-(1-a)A^{1/c}} u du + \frac{1}{(1-a)^c} \int_{1-a-(1-a)A^{1/c}}^{1-a-(1-a)B^{1/c}} (1-a-u)^c u du + B \int_{1-a-(1-a)B^{1/c}}^1 u du}{A \int_0^{1-a-(1-a)A^{1/c}} du + \frac{1}{(1-a)^c} \int_{1-a-(1-a)A^{1/c}}^{1-a-(1-a)B^{1/c}} (1-a-u)^c du + B \int_{1-a-(1-a)B^{1/c}}^1 du} \quad (6)$$

После несложных вычислений находим

$$u_c = \frac{\frac{B}{2} + \frac{(1-a)^2}{2}(A-B) + \frac{(1-a)c}{c+1} \left(A^{\frac{c+1}{c}} - B^{\frac{c+1}{c}} \right) + \frac{(1-a)^2 c}{2(c+2)} \left(A^{\frac{c+2}{c}} - B^{\frac{c+2}{c}} \right)}{B + (1-a)(A-B) + \frac{(1-a)c}{c+1} \left(A^{\frac{c+1}{c}} - B^{\frac{c+1}{c}} \right)} \quad (7)$$

На основании формул (5) и (7) построен блок сравнения величин $A(t)$ и $B(t)$ и расчета u_c (блок 2 на рис. 1). Этот блок показан на рис. 4.

В качестве примера приведем следующие результаты расчетов, которые легко проверяются путем моделирования блока сравнения величин $A(t)$ и $B(t)$ и расчета u_c (см. рис. 4):

– идентичные возведенные в степень треугольные функции принадлежности (рис. 3.41 [2])

$$a = 0, c = 3, \begin{cases} A = 0,01; B = 0,3 \Rightarrow u_c = 0,7272; \\ A = 0,3; B = 0,01 \Rightarrow u_c = 0,2728; \end{cases}$$

– идентичные треугольные функции принадлежности (рис. 3.42 [2])

$$a = 0, c = 1, \begin{cases} A = 0,2; B = 0,4 \Rightarrow u_c = 0,5608; \\ A = 0,4; B = 0,2 \Rightarrow u_c = 0,4392; \end{cases}$$

– идентичные треугольные функции принадлежности с увеличенным наклоном (рис. 3.47 [2])

$$a = 0,25, c = 1,$$

$$\begin{cases} A = 0,1; B = 0,3 \Rightarrow u_c = 0,6082; \\ A = 0,3; B = 0,1 \Rightarrow u_c = 0,3918; \end{cases}$$

– идентичные универсальные функции принадлежности (рис. 2)

$$a = 0,2, c = 3, \begin{cases} A = 0,01; B = 0,3 \Rightarrow u_c = 0,7707; \\ A = 0,3; B = 0,01 \Rightarrow u_c = 0,2293. \end{cases}$$

В блоке сравнения величин $A(t)$ и $B(t)$ и расчета u_c производится расчет ненормированного выхода регулятора. Далее полученное значение u_c в блоке нормировки выходной переменной пересчитывается в выходное напряжение регулятора по формуле

$$m^* = m_{\min}(1 - 2u_c). \quad (8)$$

Блок нормировки выходной переменной, построенный по формуле (8), показан на рис. 5.

В блоке нормировки выходной переменной при настройке нечеткого регулятора перестраиваются граничные значения диапазона $D_m = m_{\max} = -m_{\min}$.

В динамике при изменении переменных $u_1(t)$, $u_2(t)$, $u_3(t)$ текущие величины $A(t)$ и $B(t)$ поступают

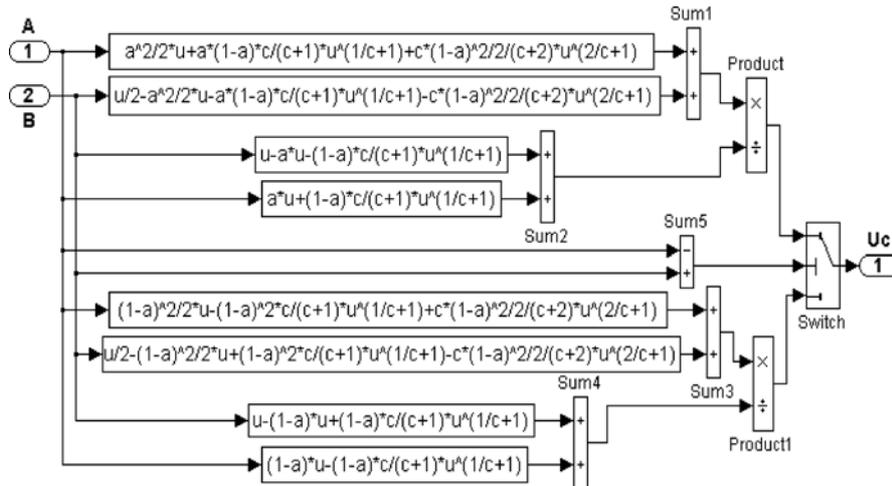


Рис. 4.

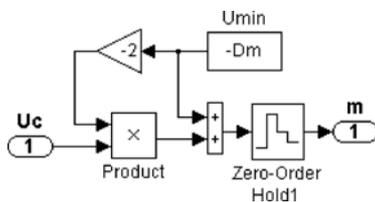


Рис. 5.

в блок сравнения, и рассчитанное на каждом шаге h значение $u_c(t)$ в блоке нормировки выходной переменной преобразуется в выходное напряжение $m(t)$ по формуле $m(t) = m_{\min}[1 - 2u_c(t)]$.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Изложенные теория и практическая схема нечеткого регулятора с универсальными идентичными входными и выходными функциями принадлежности дают возможность использовать такой регулятор в различных системах автоматического управления и путем настройки параметров регулятора добиваться высокого качества систем управления.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гостев В. И. Новый метод проектирования одного класса нечетких цифровых регуляторов / Гостев В. И. //

Проблемы управления и информатики. – 2007. – № 6. – С. 73–84.

2. Гостев В. И. Нечеткие регуляторы в системах автоматического управления / Гостев В. И. . – К. : Радиоаматор, 2008. – 972 с.
3. Гостев В. И. Фаззи-системы автоматического управления параметрами промышленных объектов: монография / Гостев В. И., Скуртов С. Н. – Нежин : Аспект-Поліграф, 2009. – 432 с.

Надійшла 16.12.2009

Гостев В. И.

ПРОЕКТУВАННЯ НЕЧІТКОГО РЕГУЛЯТОРА З УНІВЕРСАЛЬНИМИ ІДЕНТИЧНИМИ ВХІДНИМИ І ВИХІДНИМИ ФУНКЦІЯМИ ПРИНАЛЕЖНОСТІ

Отримано аналітичні вирази для керуючих впливів на виході нечіткого регулятора при універсальних функціях належності та викладено питання проектування нечіткого регулятора.

Ключові слова: автоматичне керування, нечіткий регулятор, проектування, нечітка логіка, функції належності, Matlab.

Gostev V. I.

DESIGNING OF A FUZZY CONTROLLER WITH UNIVERSAL IDENTICAL INPUT AND OUTPUT MEMBERSHIP FUNCTIONS

Analytical expressions are derived for control actions at the output of a fuzzy controller at universal membership functions. Principles of fuzzy controller designing are stated.

Key words: automatic control, fuzzy controller, design, fuzzy logic, membership functions, Matlab.