

УДК 681.518

Магистрант В.С. Романюк
 Науч. рук. доц. Д.С. Карпович
 (кафедра автоматизации производственных процессов и электротехники, БГТУ)

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ НЕЧЕТКОГО РЕГУЛЯТОРА В ГИБРИДНЫХ СИСТЕМАХ УПРАВЛЕНИЯ

На практике передаточная функция объекта управления обычно неизвестна или может быть задана приближенно. В этой ситуации используются непосредственные эксперименты с объектом в соответствии с известными экспертными методиками или в систему внедряется нечеткий регулятор.

Основная часть. Полученный переходной процесс в системе управления с ПИД-регулятором представлен кривой *a* на рис. 1.

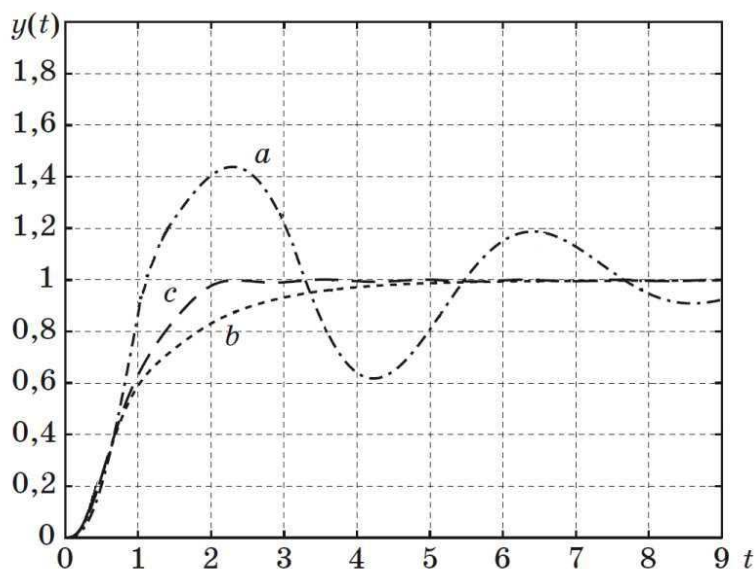


Рисунок 1 – Переходные процессы в системе с ПИД-регулятором и нечетким регулятором

Общая структура нечеткого регулятора (НР) показана на рис. 2. Вектор входа X может иметь длину от одного до трех. Входной вектор НР преобразуется в нечеткую форму X^* с помощью блока фаззификации F , затем выполняется нечеткий логический вывод в базе правил, в результате чего получается нечеткая входная переменная u^* . После дефаззификации (блок DF) на объект управления поступает «четкий» сигнал управления u .

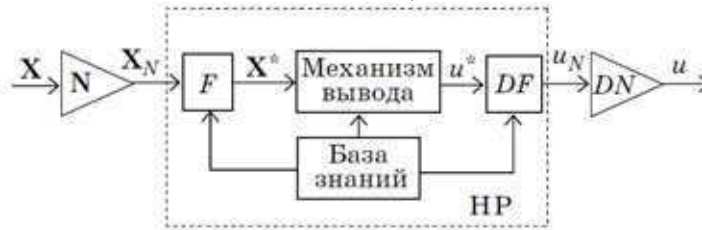


Рисунок 2 – Структура НР

Блок N на рис. 2 обозначает операцию предобработки входного сигнала. Это операция ограничения значения входной величины до заданного диапазона $[-x_{\max}, x_{\max}]$:

$$x_N^i = \begin{cases} x^i, & |x^i| < x_{\max}^i; \\ x_{\max}^i \operatorname{sign}(x^i), & |x^i| \geq x_{\max}^i. \end{cases} \quad (1)$$

Постобработка выходного сигнала u (блок DN) сводится к денормализации:

$$u = u_N DN = u_N |u_{\max}|,$$

где u_{\max} — максимальное значение управления, подаваемого на объект. База знаний НР содержит описание термов лингвистических переменных (ЛП), которые вводятся для каждой входной и выходной переменной, а также собственно правил управления. Конструирование базы знаний является основной проблемой при настройке НР ПИД-типа для конкретного объекта управления. Так, например, если для каждой из трех входных ЛП используется 5 термов, то получается 125 потенциальных правил, для которых нужно определить заключения. Эта громоздкая система трудно поддается настройке.

Таким образом, конструирование НР ПИД-типа основывается на синтезе НР П-типа, поведение которого улучшается введением производной и интеграла ошибки.

Нечеткий регулятор П-типа реализует в общем случае нелинейный закон управления.

Для того чтобы НР был линейным, необходимо выполнение следующих условий:

- 1) используются треугольные функции принадлежности;
- 2) термы образуют нечеткое разбиение соответствующих базовых множеств;
- 3) для дефаззификации используется дискретный метод центра тяжести.

Пусть описания термов нормализованных входной и выходной переменных НР выбраны в виде, показанном на рис. 3. Тогда, используя для дефаззификации дискретный метод центра тяжести, для любо-

го значения ошибки справа от нуля имеем следующее значение сигнала управления (при $x = 1$):

$$u = \frac{\sum_{i=1}^2 \mu_i(e) u_i}{\sum_{i=1}^2 \mu_i(e)} = \frac{\mu_H(e)0 + \mu_{\Pi}(e)1}{1} = \mu_{\Pi}(e) = e.$$

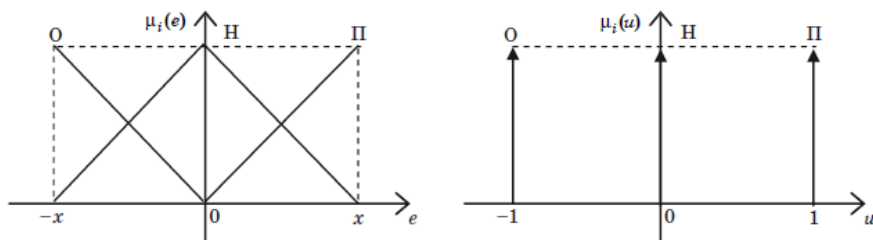


Рисунок 3 – Входные-выходные термы нечеткого регулятора

Аналогично слева от нуля также выполняется $u = e$, т. е. получен линейный регулятор с единичным коэффициентом усиления. Свойство линейности может выполняться при любом количестве термов, если термы имеют треугольную форму и образуют нечеткое разбиение базового множества, а для дефаззификации используется дискретный метод центра тяжести. В общем случае, когда $x \neq 1$, получаем соотношение

$$u = \frac{e}{x} \rightarrow \frac{u}{e} = \frac{1}{x} = K.$$

Таким образом, коэффициент усиления НР больше единицы, если $x < 1$. Нечеткий регулятор может иметь преимущество перед линейным регулятором, только если он обеспечивает переменное усиление на разных этапах переходного процесса. Для примера используем НЛП, имеющий 7 термов для входной переменной (рис. 4, где «ОМ», «ПМ», «ОС», «ПС», «ОБ», «ПБ» — лингвистические метки «отрицательное малое», «положительное малое», «отрицательное среднее», «положительное среднее», «отрицательное большое», «положительное большое»).

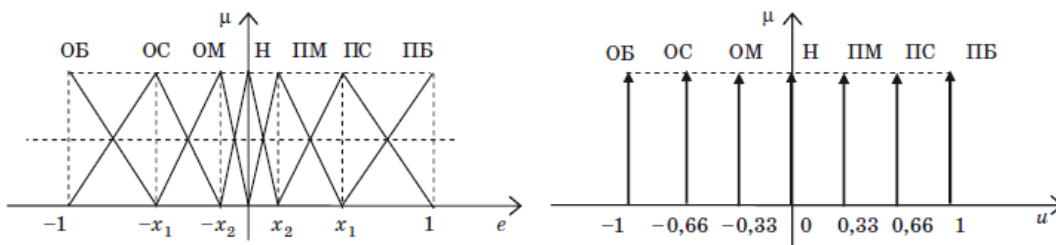


Рисунок 4 – Входные-выходные термы нечеткого регулятора

Выходные термы НР можно расположить равномерно по базовой шкале тогда каждому управляющему правилу будет соответствовать свой коэффициент усиления.

Рассмотрим линейный НР ПД-типа, у которого для каждой входной и выходной переменной использовано по 7 термов. Будем считать, что используются, аналогично схеме рис. 3, треугольные функции принадлежности для входных переменных, так что они образуют нечеткое разбиение соответствующих базовых множеств. При использовании 7 термов по каждой переменной получается 49 управляющих правил. Входы и выход НР ПД нормализованы, поэтому выполняется

$$u^* = e^* + (de/dt)^*$$

Лингвистические переменные u^* , e^* и $(de/dt)^*$ имеют одинаковые множества термов. Лингвистический закон управления принимает вид, показанный в таблице:

Таблица – Расширенная таблица правил

$(de/dt)^*$	e^*						
	ОБ	ОС	ОМ	Н	ПМ	ПС	ПБ
ОБ	ОБ	ОБ	ОБ	ОБ	ОС	ОМ	Н
ОС	ОБ	ОБ	ОБ	ОС	ОМ	Н	ПМ
ОМ	ОБ	ОБ	ОС	ОМ	Н	ПМ	ПС
Н	ОБ	ОС	ОМ	Н	ПМ	ПС	ПБ
ПМ	ОС	ОМ	Н	ПМ	ПС	ПБ	ПБ
ПС	ОМ	Н	ПМ	ПС	ПБ	ПБ	ПБ
ПБ	Н	ПМ	ПС	ПБ	ПБ	ПБ	ПБ

Включение линейного НР ПД-типа должно погасить колебания в системе. Это подтверждается графиком переходного процесса (см. рис. 1, кривая *b*). Получен апериодический переходный процесс, быстродействие увеличено в 2,5–3 раза по отношению к ПИД-регулятору.

Дальнейшего увеличения быстродействия можно добиться при нелинейном расположении термов e^* . Выбирая величины X_1 и X_2 (см. рис. 4), получаем нелинейный закон управления. Переходный процесс, показанный на рис. 1, кривая *c*, получен при $X_1 = 0,5$ и $X_2 = 0,1$. Время переходного процесса уменьшено в 2 раза по отношению к линейному НЛР. Статическая ошибка в рассмотренной системе близка к нулю, поэтому задачу синтеза регулятора можно считать решенной.

Заключение. Нечеткий регулятор показывает намного лучшие динамические свойства, чем классический ПИД-регулятор, поэтому практический эффект от замены регулятора вполне очевиден.