

Анализ устойчивости систем с нечетким управлением

Н. В. Андриевская, О. А. Андриевский
Пермский национальный исследовательский
политехнический университет
anv@msa.pstu.ru, nataly-anv@mail.ru

Е. В. Друян
Санкт-Петербургский государственный
электротехнический университет
«ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина)

Аннотация. Сформулированы проблемы устойчивости в системах с нечетким управлением. Рассмотрены способы оценки устойчивости систем заданного класса. Приведены результаты исследований систем с нечетким управлением.

Ключевые слова: устойчивость; нечеткий регулятор; критерии устойчивости; статическая характеристика; функция принадлежности; фаззификация; база правил; дефаззификация

I. ВВЕДЕНИЕ

При автоматизации производственных и технологических процессов в последнее время наибольшую распространенность получили системы автоматического управления с нечетким управлением. Однако при реализации систем данного класса возникает проблема обоснования устойчивости данных систем. Требование устойчивости является основным при синтезе систем автоматического управления.

Существует много прикладных задач, для которых проверка устойчивости системы управления оценивается как проблема критической важности. Это случаи, когда системы управления влияют на безопасность использующих их людей (стабилизация полета самолета и т. п.), управляют дорогостоящими объектами и сложными производственными процессами, подверженными потере устойчивости. Такого рода нормативы должны соблюдаться независимо от того, является ли регулятор нечетким или обычным [1].

II. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Системы автоматического управления с нечетким регулятором чаще всего реализуются по двум схемам [2]:

- непосредственная реализация нечеткого регулятора (рис. 1);
- с подстройкой коэффициентов типового регулятора с использованием нечеткой логики (рис. 2).

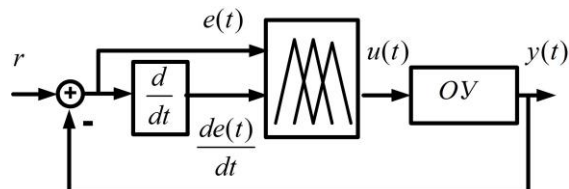


Рис. 1. Структурная схема системы с нечетким регулятором

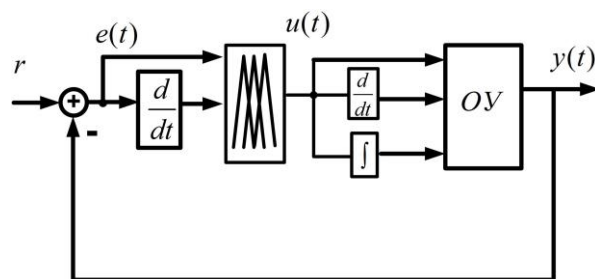


Рис. 2. Структурная схема системы с нечетким ПИД-регулятором

В качестве входных переменных используются ошибка $e(t)$ и скорость ее изменения, на основе которых либо реализуется нечеткий регулятор, либо осуществляется подстройка коэффициентов типового регулятора. Учитывая характер функций принадлежности входных и выходных переменных и систему нечеткого вывода, логично сделать вывод, что система с нечетким управлением носит нелинейный характер. Таким образом, любая из схем реализации содержит как линейную часть, включающую объект управления и типовой регулятор, так и нелинейную часть, связанную с нечеткой логикой [3].

Поэтому для оценки устойчивости систем автоматического управления с нечеткой логикой следует руководствоваться критериями устойчивости для нелинейных систем.

В нелинейных системах возможны различные режимы устойчивости: «абсолютная устойчивость», «устойчивость в малом», «устойчивость в большом», «автоколебания». Традиционно анализ устойчивости осуществляется по схеме [4]:

- оценка абсолютной устойчивости;

- в случае неудовлетворительного результата анализируется возможность возникновения в системе режима автоколебаний;
- определение условий для режимов «устойчивость в малом», «устойчивость в большом»;
- определение запасов устойчивости.

В статье рассматривается устойчивость системы с нечетким регулятором (рис. 1.)

III. СТАТИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА НЕЧЕТКОГО РЕГУЛЯТОРА

Нечеткий регулятор реализуется в виде системы нечеткого вывода (рис. 3).

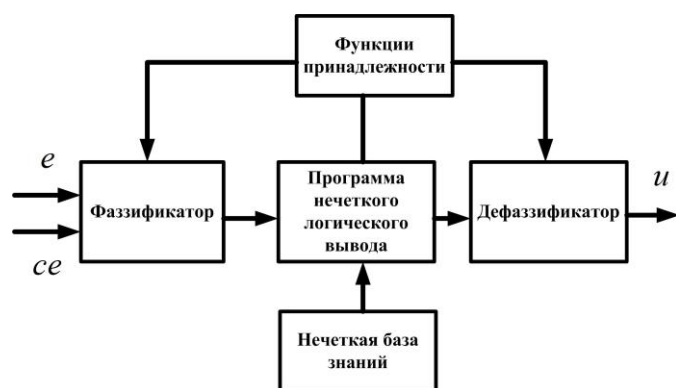


Рис. 3. Схема нечеткого регулятора

Входные сигналы для системы нечеткого вывода: ошибка $e(t)$ и скорость ее изменения – лингвистические переменные. Лингвистическая переменная ошибки (e) представлена терминами: малая (S), средняя (M), большая (L). [5]

Для лингвистической переменной скорости изменения ошибки (ce) – отрицательная (N), нулевая (Z) – положительная (P).

Выходная лингвистическая переменная – сигнал управления имеет термы: NS (малое отрицательное), AZ (ноль), PS (малое положительное).

Для реализации процедур фазификации и дефазификации задаются функции принадлежности для каждой входной и выходной переменных. Для повышения вычислительной способности системы функции принадлежности для всех термов выбираются треугольной формы. [5, 6]

Тогда правила формирования выходного сигнала нечеткого регулятора с функциями принадлежности, представленными в таблице (первая строка), можно записать в следующем виде (например):

- П1: ЕСЛИ $e=S$ И $ce=N$, ТО $u=PS$;
 П2: ЕСЛИ $e=S$ И $ce=Z$, ТО $u=AZ$;
 П3: ЕСЛИ $e=S$ И $ce=P$, ТО $u=NS$;
 П4: ЕСЛИ $e=M$ И $ce=N$, ТО $u=AZ$;
 П5: ЕСЛИ $e=M$ И $ce=Z$, ТО $u=PS$;

- П6: ЕСЛИ $e=M$ И $ce=P$, ТО $u=PS$;
 П7: ЕСЛИ $e=L$ И $ce=N$, ТО $u=NS$;
 П8: ЕСЛИ $e=L$ И $ce=Z$, ТО $u=NS$;
 П9: ЕСЛИ $e=L$ И $ce=P$, ТО $u=AZ$.

Для активизации целесообразно применить метод min-активизации.

Анализ системы вывода [3, 5] показал, что статическая характеристика регулятора могут иметь вид (рис. 4).

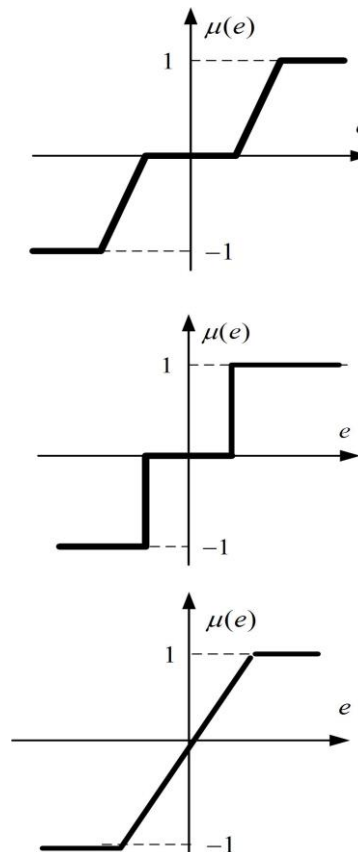


Рис. 4. Статические характеристики нечетких регуляторов

Введя обобщенную характеристику [5] (рис. 5), можно определить класс нелинейности системы нечеткого вывода – однозначная, кососимметричная нелинейная статическая характеристика класса K_H .

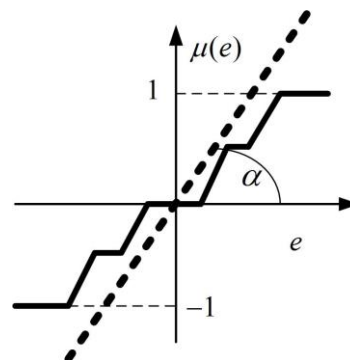


Рис. 5. Обобщенная статическая характеристика нечеткого регулятора

IV. АНАЛИЗ УСТОЙЧИВОСТИ НЕЛИНЕЙНОЙ СИСТЕМЫ

Особенность статической характеристики системы нечеткого вывода позволяет для оценки устойчивости воспользоваться критерием Попова. В соответствии с данным критерием, для абсолютной устойчивости нелинейных систем одного класса, характеризующихся прямой с наклоном $K_H = \tan \alpha$, достаточно чтобы модифицированная амплитудно-фазовая характеристика (АФХ) линейной части не охватывала точку $(-1/K_H; j0)$ и через эту точку можно было бы провести прямую так, чтобы модифицированная АФХ не пересекала эту кривую и осталась справа (рис. 6).

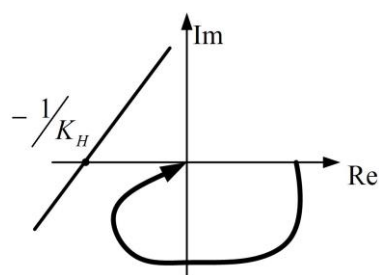


Рис. 6. Оценка абсолютной устойчивости по критерию Попова

Модифицированная амплитудно-фазовая характеристика (АФХ) линейной части определяется по формуле:

$$W^*(j\omega) = \text{Re}(\omega) + j\omega \text{Im}(\omega),$$

где $\text{Re}(\omega)$, $\text{Im}(\omega)$ – действительная и мнимая часть АФХ линейной части системы.

Очевидно, что абсолютная устойчивость зависит от наклона K_H и структуры линейной части. Для реальных систем линейная часть представляет собой инерционную систему 2–3-го порядков, а коэффициент наклона K_H нелинейности берется с запасом. Поэтому для большинства систем абсолютная устойчивость подтверждается.

Для оценки абсолютной устойчивости можно воспользоваться круговым критерием, который позволяет определить данное состояние устойчивости не только для класса нелинейности, но и классов линейности [6].

В случае неудовлетворительного результата, необходимо оценить возможность режима «автоколебаний». Вид обобщенной нелинейной статической характеристики позволяет воспользоваться методом гармонического баланса [4].

V. РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Исследование на устойчивость системы были применен для системы с нечетким управлением (рис. 7)

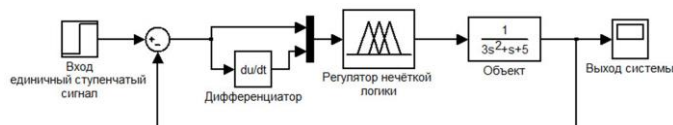


Рис. 7. Структурная схема с нечетким регулятором

В качестве объекта управления были рассмотрены система 2-го порядка. Нечеткий регулятор с двумя входными и одной выходной переменными реализован с использованием нечеткой модели Мамдани. В качестве класса нелинейности взят наклон $K_H = \sqrt{3}$, что соответствуют углу наклона $\alpha = \frac{\pi}{3}$. Критерий Попова показал, что данные системы являются абсолютно устойчивыми (рис. 8.)

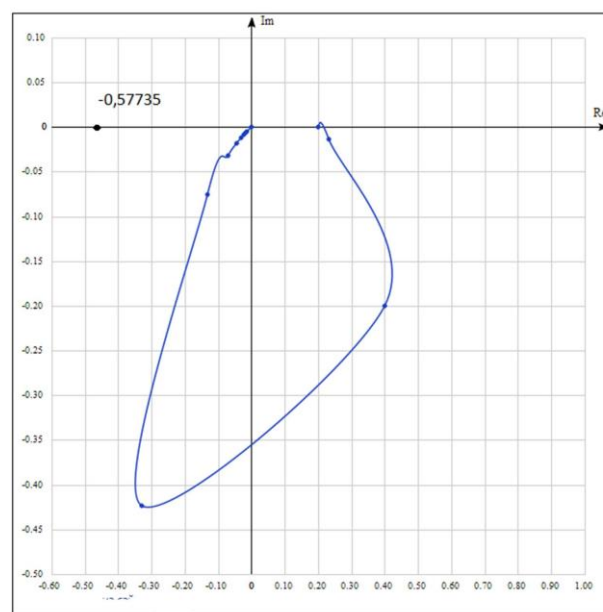


Рис. 8. Оценка абсолютной устойчивости по критерию Попова.

Результаты исследований с другими объектами управления приведены в таблице.

ТАБЛИЦА I РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Объект управления	Корни характеристического уравнения линейной части
$\frac{1}{3p^2 + p + 5}$	$p_{1,2} = -0.1667 \pm j1.2802$
$\frac{1}{p^2 + 2p + 3}$	$p_{1,2} = -1.000 \pm j1.4142$
$\frac{1}{p^3 + 4p^2 + 2p + 5}$	$p_{1,2} = -0.0904 \pm j1.1406$ $p_3 = -3.8191$

Критерий Попова так же показал, что данные системы являются абсолютно устойчивыми.

VI. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенные исследования показали, что системы с нечетким управлением являются нелинейными системами, устойчивость которых следует оценивать с учетом режимов устойчивости в нелинейных системах. При этом нечеткий регулятор может быть представлен однозначной нелинейной статической характеристикой. Предложенная

методика может быть использована для оценки устойчивости с нечетким типовыми регуляторами.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] А. Пегат Нечеткое моделирование и управление. М.: Бином, лаборатория знаний, 2009, 798 с.
- [2] В.И. Гостев Проектирование нечетких регуляторов для систем автоматического управления. СПб.: БХВ-Петербург, 2011. 416 с.
- [3] Н.В. Андриевская, Ю. Н. Хижняков. Исследование устойчивости в системах нечеткого управления. // Нейрокомпьютеры: разработка, применение. 2013. № 11. С. 7-11.
- [4] В.А. Бесекерский, Е.П. Попов Теория систем автоматического управления . СПбЮ Изд-во «Профессионал», 2003. 752 с.
- [5] Е.В. Лубенцова, В.А. Петраков, Г.В. Слюсарев, В.Ф. Лубенцов Метод построения нечетких регуляторов с использованием аналитических выражений для управляющих воздействий. // Фундаментальные исследования. 2015, № 11-3. С.484-490.
- [6] Н.В. Андриевская, О.А. Билоус, С. В. Семенов Методика проектирования нечеткого регулятора на базе ПИ-регулятора в среде MatLab // Вестник ПНИПУ. Электротехника, информационные технологии, системы управления. 2012. № 6. С. 282-287.