

УДК 629.7.051.001

АЛГОРИТМ КОМПЛЕКСИРОВАНИЯ РЕГУЛЯТОРОВ В СИСТЕМЕ ФАЗОВОГО УПРАВЛЕНИЯ

М.В. ПОЧЕБУТ

*Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
П. Бровка, 6, Минск, 220013, Беларусь*

Поступила в редакцию 11 марта 2010

Предлагается методика построения системы фазового управления на основе комплексирования двух видов регуляторов: адаптивного и робастного. С использованием аппарата нечеткой логики предлагается построение функциональной схемы устройства смены режима управления.

Ключевые слова: комплексирование, фазовое управление, адаптивный, робастный, функция принадлежности, нечеткий регулятор.

Введение

Широкое распространение в различных областях автоматики, радиотехники, связи получили автоматические системы с фазовым управлением (СФУ), сигнал ошибки в которых формируется на основе сравнения фаз входного и выходного сигналов.

Развитие современных информационных технологий ставит новые задачи повышения качества функционирования СФУ. Данные системы могут работать в различных режимах, поэтому критерии оптимальности работы системы в каждом случае являются различными, в этой связи нельзя однозначно подходить и к выбору типа управления в системе. Представляет интерес комплексирование различных регуляторов в СФУ с помощью методов теории интеллектуального управления.

Теоретическая часть

Основная проблема при проектировании систем с комплексированием управления заключается в том, каким образом, на основании каких знаний (информации) осуществлять выбор того или иного типа управления. Наиболее широкие возможности для этого представляют методы интеллектуального управления [1].

В работе [2] предлагается методика построения робастной системы фазового управления с применением анизотропийного регулятора, которая позволяет снизить влияние на качество работы системы неопределенностей, обусловленных различиями между выбранной математической моделью и реальной оптимизируемой системой. Частотная характеристика системы с робастным управлением соответствует наихудшему сочетанию параметров в области неопределенности. Поэтому робастное управление можно применять на одной из границ выбираемого управления. Другая граница определяется возможностями исследуемой системы. Между этими двумя границами находится область, где предлагается использовать адаптивное управление.

В настоящее время существует большое разнообразие принципов построения адаптивных систем. В работе [3] предлагается решение задачи адаптации СФУ в классе самонастраивающихся систем, в которых структура регулятора, в отличие от самоорганизующихся, задана (заранее выбрана), и определен алгоритм настройки его коэффициентов (алгоритм адаптации). Используется алгоритм непрямого управления с настраиваемой моделью при котором сначала

осуществляется идентификация объекта, затем происходит выбор коэффициентов непрерывной линейной части (НЛЧ) СФУ (фильтра и объекта управления). Кроме того, не прямое адаптивное управление не влияет на динамику системы, так как контуры самонастройки работают по разомкнутому циклу.

Так как адаптивный алгоритм чувствителен к начальному этапу функционирования системы (в переходном режиме), то на этом этапе целесообразно использовать робастное управление, которое достаточно нечувствительно к изменению внешних условий и помехам. Но его недостатком является большая длительность переходных процессов и большие допустимые значения ошибок определения выходной координаты при действии помехи. По истечении некоторого времени управление системой имеет смысл переключить с робастного на адаптивное. Адаптивное управление требовательно к богатству спектра входного сигнала, и, например, при медленно меняющихся сигналах возможны срывы процессов адаптации или сильное их замедление. В такой ситуации необходимо снова переходить на робастное управление, гарантирующее устойчивость работы системы.

Для реализации комплексирования регуляторов предлагается включить в состав СФУ интеллектуальный блок (ИБ), в который поступает информация о функционировании системы для принятия решения о смене режима управления. На рис. 1 представлена структурная схема СФУ с комплексированием регуляторов, где введены следующие обозначения: $f_0, f_{ос}, f_{вых}$ — входные и выходные частоты соответствующих блоков СФУ; Z — сигнал наблюдения; u — сигнал управления; V — выходной сигнал фильтра, $g(t)$ — сигнал помехи. Переключение режима управления осуществляет блок смены режима (БСР), управляемый ИБ.

В состав ИБ системы входят: блок предварительной обработки информации (БПОИ), база данных (БД), база знаний (БЗ), блок принятия решений (БПР). ИБ работает дискретно, на заданных интервалах времени. В блок предварительной обработки информации (БПОИ) поступают данные о мгновенных значениях определяющих параметров. Вся эта информация поступает в БД, содержимое которой используется в БЗ, которая формируется в виде правил. Блок принятия решений (БПР), используя сформированную БЗ и данные БД, вырабатывает решение, в соответствии с которым БСР включает один из типов управления. На следующем интервале процесс повторяется с использованием новых данных.

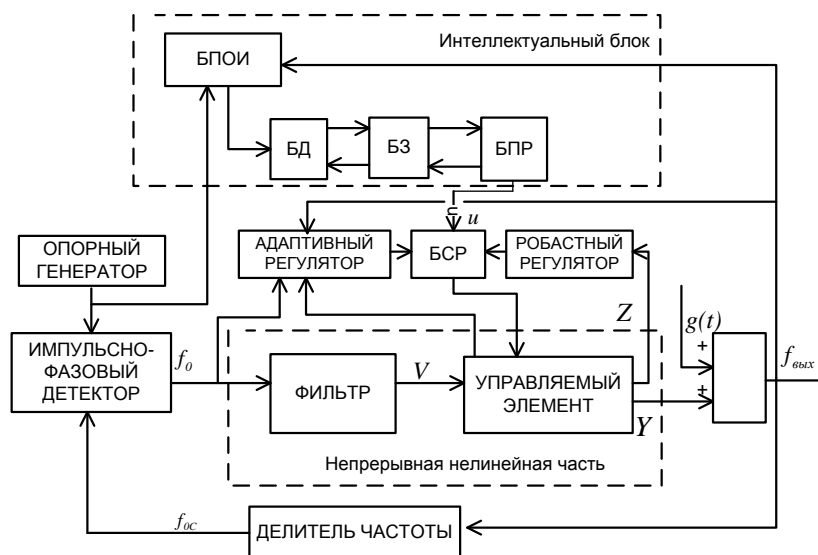


Рис. 1. Структурная схема СФУ с комплексированием регуляторов

Алгоритм работы интеллектуального блока СФУ

В реальных условиях при наличии неточной и неопределенной информации о значениях параметров СФУ для получения максимально объективной оценки состояния системы и выбора оптимального режима управления целесообразно использовать аппарат теории нечетких систем [4, 5], позволяющий максимально возможно учитывать как качественную, так и количе-

ственную информации о состоянии системы. Структура системы принятия решения (рис. 2) состоит из четырех основных компонент системы нечеткой логики (СНЛ):

- блок фаззификации, выполняющий преобразования измеренных четких данных в подходящие для этого значения лингвистических переменных;
- база правил нечеткой логики, предназначенная для хранения опытных данных о процессе управления и знаний экспертов в данной области;
- блок нечеткого логического вывода, который моделирует основанные на нечетких рассуждениях процедуры принятия решений человеком в целях достижения необходимой стратегии управления;
- блок дефаззификации, необходимый для выработки четкого решения или управляющего воздействия в соответствии с результатами, полученными в блоке вывода.

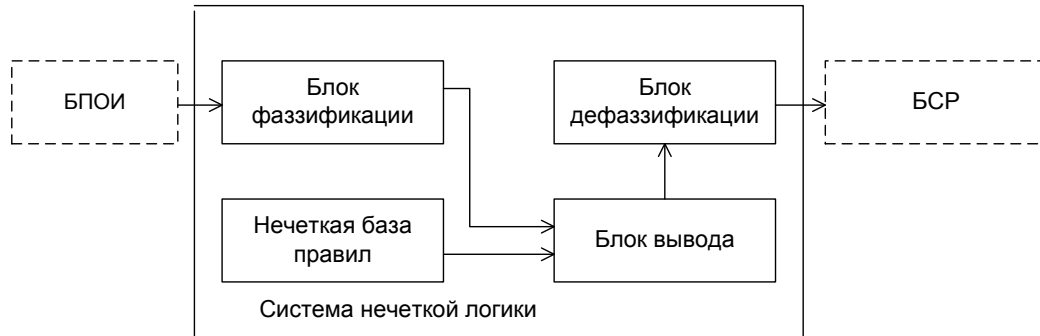


Рис. 2. Структурная схема блока принятия решения СФУ

На основании предложенной структурной схемы блока принятия решений необходимо построить модель устройства, формирующего управляющее воздействие на объект управления – нечеткий регулятор, с одним выходным параметром и n входными параметрами. Методика построения подобного вида регуляторов описана в работе [5] и подходит к условиям и требованиям, предъявляемым к проектируемой системе.

Объектом управления для нечеткого регулятора является блок смены режима, который переключает управление в зависимости от значения поступающего управляющего воздействия u . Входные переменные нечеткого регулятора приводятся к соответствующему виду в БПОИ, для обработки информации с помощью функций принадлежности (ФП) соответствующих термножеств. Основными параметрами нечетких регуляторов, при которых производится их синтез и расчет, являются количество и форма функций принадлежности $\mu^T(x)$ лингвистических термножеств.

Зачастую входные переменные в пределах заданных диапазонов измеряются неточно, поэтому они преобразуются в лингвистические переменные в виде функций принадлежности. Будем считать, что на вход блока принятия решения поступают три базовые переменные — ошибка системы θ , скорость изменения (первая производная) ошибки $\dot{\theta}$, ускорение (вторая производная) ошибки $\ddot{\theta}$, которые качественно можно охарактеризовать (с целью упрощения расчетов) двумя термножествами (например, отрицательная — 1, положительная — 2). Эти термножества описываются на универсальном множестве W соответственно двумя ФП: $\mu_1(w)$ и $\mu_2(w)$. ФП определяет степень принадлежности каждого элемента u множеству W числом между 0 и 1, которое называют степенью истинности рассматриваемой лингвистической переменной данному терму. Поэтому в данном случае функции $\mu_1(w)$ и $\mu_2(w)$ должны быть симметричными друг относительно друга и пересекаться при значении $w=0,5$. Кроме того, функция $\mu_1(w)$ должна быть убывающей, а $\mu_2(w)$ — возрастающей. Предлагаемые ФП приведены на рис. 3.

Для пересчета значений сигналов в значения элементов единого универсального множества (фаззификации) производится нормировка в соответствии с формулами

$$\begin{cases} w_1^* = \theta^* - \theta_{\min} / \theta_{\max} - \theta_{\min} ; \\ w_2^* = \dot{\theta}^* - \dot{\theta}_{\min} / \dot{\theta}_{\max} - \dot{\theta}_{\min} ; \\ w_3^* = \ddot{\theta}^* - \ddot{\theta}_{\min} / \ddot{\theta}_{\max} - \ddot{\theta}_{\min} ; \end{cases} \quad (1)$$

$$w_c^* = u^* - u_{\min} / u_{\max} - u_{\min} ,$$

где $\theta_{\min}, \theta_{\max}, [\dot{\theta}_{\min}, \dot{\theta}_{\max}], [\ddot{\theta}_{\min}, \ddot{\theta}_{\max}], u_{\min}, u_{\max}$ — диапазоны изменения ошибки, первой производной ошибки, второй производной ошибки, управляющего воздействия на объект, соответственно.

Лингвистическое правило управления нечеткого регулятора формулируется на основании алгоритма нечеткого вывода, предложенного Мамдани [3], в виде:

Если $\theta^* = a_1^j$ и $\dot{\theta}^* = a_2^j$ и $\ddot{\theta}^* = a_3^j$, то $u^* = a_c^j$, $j = \overline{1,2}$,

где a_1^j, a_2^j, a_3^j — лингвистические оценки ошибки, первой производной ошибки и второй производной ошибки, рассматриваемые как нечеткие терм-множества, определенные на универсальном множестве $j = \overline{1,2}$; a_c^j — лингвистические оценки управляющего воздействия на объект, выбираемые из терм-множества переменной u . Лингвистические оценки выбираются из терм-множеств лингвистических переменных $\theta^*, \dot{\theta}^*, \ddot{\theta}^*$ и u :

$a_i^j \in$ отрицательная(1), положительная(2) .

Для выходной лингвистической переменной — управляющего воздействия на объект управления u можно использовать такие же ФП, как и для входных лингвистических переменных.

Для приведения в блоке дефаззификации нечеткого вывода в конкретное число предлагается использовать центроидный метод, т.е. определение центра тяжести фигуры, которая образуется результирующими ФП. Пусть $\mu^j(x_i)$ функция принадлежности параметра $x \in x_{hi}, x_{vi}$ нечеткому терму a_i^j , $i = 1,3; j = 1,2$, где x_{hi} и x_{vi} — верхняя и нижняя граница диапазона изменения параметра x_i . Тогда $\mu^{u_j}(\theta, \dot{\theta}, \ddot{\theta})$, зависящая от трех переменных $x_1 \equiv \theta, x_2 \equiv \dot{\theta}, x_3 \equiv \ddot{\theta}$ функция принадлежности вектора параметров решению (выбранному управляющему воздействию на объект) u_j , $j = 1,2$, определяется из системы нечетких логических уравнений:

$$\mu^{u_j}(x_1, x_2, x_3) = \mu^j(x_1) \wedge \mu^j(x_2) \wedge \mu^j(x_3) . \quad (2)$$

Таким образом, $\mu^{u_1}(x_1, x_2, x_3)$ — функция принадлежности управляющего воздействия нечеткому множеству "отрицательный", а $\mu^{u_2}(x_1, x_2, x_3)$ — функция принадлежности управляющего воздействия нечеткому множеству "положительный". Результирующая функция принадлежности для управляющего воздействия в соответствии с рабочим правилом нечеткого регулятора записывается в виде

$$\mu^u(x_1, x_2, x_3) = \mu^{u_1}(x_1, x_2, x_3) \vee \mu^{u_2}(x_1, x_2, x_3) . \quad (3)$$

В выражениях (1) и (2) \wedge — логическое "и", \vee — логическое "или".

В соответствии с лингвистическими правилами управления, формализованными системой нечетких логических уравнений (1) функция принадлежности управляющего воздействия $\mu_1(w)$ нечеткому множеству "отрицательный" ограничена сверху значением

$A = \min[\mu_1(w_1^*), \mu_2(w_2^*), \mu_3(w_3^*)]$, а функция принадлежности управляющего воздействия $\mu_2(u)$ нечеткому множеству "положительный" ограничена сверху значением $B = \min[\mu_2(w_1^*), \mu_2(w_2^*), \mu_2(w_3^*)]$.

Результирующая функция принадлежности для управляющего воздействия на основании выражения (2) определяется как $\mu(w) = \mu_1(w) \vee \mu_2(w)$, т.е. получается формированием максимума (жирная линия на рис. 3) $\mu(w) = \max \mu_1(w), \mu_2(w)$.

Для определения конкретного значения управляющего воздействия u^* формируется "результующая фигура", ограниченная результирующей ФП (рис. 3).

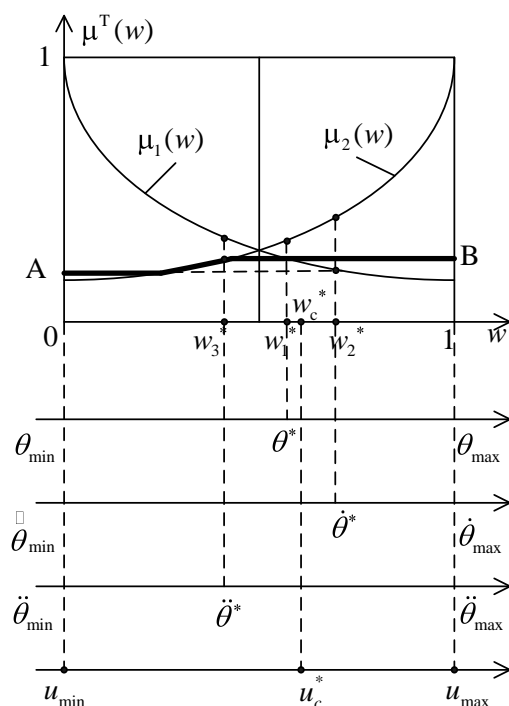


Рис. 3. Графическая интерпретация нормировки входных переменных

При поступлении на нечеткий регулятор в какой-то момент времени значений входных переменных $\theta^*, \dot{\theta}^*, \ddot{\theta}^*$, с шагом квантования h осуществляется пересчет входных переменных в переменные w_1^*, w_2^*, w_3^* на универсальное множество $W=[0, 1]$ и расчет значений ФП для этих переменных (рис. 3) по формулам (1). Точками на универсальном множестве отмечены возможные для этого момента времени значения переменных w_1^*, w_2^*, w_3^* .

При синтезе нечеткого регулятора в СФУ наиболее часто используются треугольные и экспоненциальные функции принадлежности для лингвистических величин, причем при использовании экспоненциальных ФП часто можно получать значительно меньшие ошибки рассогласования в замкнутых системах управления [5]. При экспоненциальных ФП абсцисса "центра тяжести результирующей фигуры" определяется приближенным методом численного интегрирования. Ниже приведены аналитические выражения для управляющих воздействий при экспоненциальных ФП.

Пусть на универсальном множестве $W=[0, 1]$ заданы два нечетких подмножества, экспоненциальные ФП которых для каждой лингвистической величины определяются по формулам (рис. 4):

$$\mu_1(w) = e^{-cw}, w \in [0, 1]; \quad \mu_2(w) = e^{-c(1-w)}, w \in [0, 1],$$

где c — параметр, определяющий крутизну экспоненциальной кривой.

Вне зависимости от значений переменных w_1^* , w_2^* , w_3^* на универсальном множестве $W=[0, 1]$, форма "результующей фигуры" может принимать только две конфигурации: при $A \leq B$ первая конфигурация показана на рис 4,а; при $A > B$ вторая конфигурация показана на рис. 4,б.

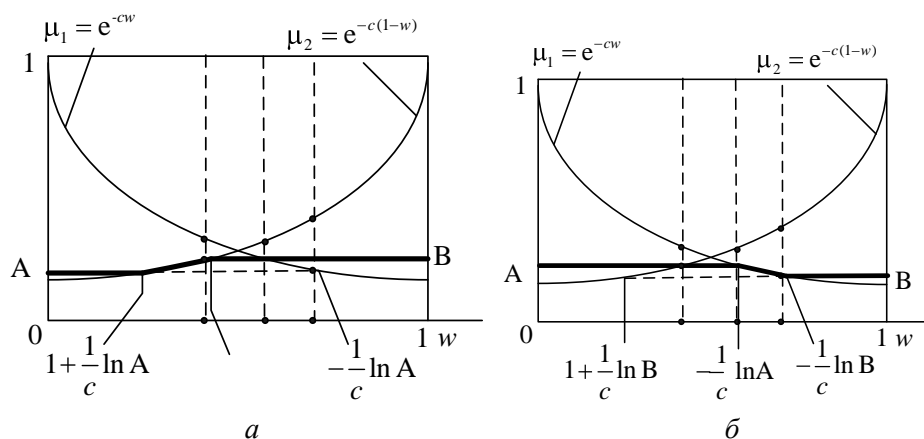


Рис. 4. Функции принадлежности при различных значениях параметров A и B

Абсцисса "центра тяжести результирующей фигуры" определяется по формулам [5]

$$w_c = \frac{\frac{A}{2} + \frac{1-c}{c^2} A - B - A \ln A + B \ln B + \frac{1}{2c^2} [A \ln A^2 - B \ln B^2]}{A - \frac{1}{c} A - A \ln A - B + B \ln B}, \text{ при } A \leq B,$$

$$w_c = \frac{\frac{B}{2} + \frac{1}{c^2} A - B - A \ln A + B \ln B + \frac{1}{2c^2} [A \ln A^2 - B \ln B^2]}{B + \frac{1}{c} A - A \ln A - B + B \ln B}, \text{ при } A > B.$$

Полученное значение w_c затем преобразуется в значение управляющего u^* воздействия на объект управления по формуле $u^* = u_{\min} + (u_{\max} - u_{\min})w_c$.

Приведенный выше алгоритм позволяет использовать точный метод вычислений "центра тяжести результирующей фигуры" при идентичных экспоненциальных ФП и дает возможность упростить алгоритм расчета управляющих воздействий на выходе нечеткого регулятора. При этом функциональную схему блока принятия решения можно представить в виде, показанном на рис. 5.

Для вычисления производных $\dot{\theta}$ и $\ddot{\theta}$, ошибка рассогласования в системе управления с нечетким регулятором квантуется аналого-цифровым преобразователем АЦП с шагом квантования h . Ошибка на выходе АЦП $\theta(k)$, ее первая производная $\dot{\theta}(k) = \theta(k) - \theta(k-1) / h$ и вторая $\ddot{\theta}(k) = [\dot{\theta}(k) - \dot{\theta}(k-1)] / h$ разности подаются на вход блока нормировки входных переменных. Вычисления в блоках нормировки входных и выходных переменных выполняются в соответствии с формулами (1).

Сигналы с выхода блока нормировки входных переменных w_i , $i=1, 2, 3$, поступают на ограничитель, который формирует универсальное множество $W=[0, 1]$. После задания функций принадлежности и параметра c вычисляются величины A и B .

Если одна или две переменные w_i , $i=1, 2, 3$ больше единицы, а две или одна из остальных расположены на универсальном множестве, то $A=0$. Если одна или две из переменных меньше нуля, а две или одна из остальных расположены на универсальном множестве, то $B=0$. Если одна из переменных w_i , $i=1, 2, 3$ больше единицы, а другая переменная меньше нуля, то $A=B=0$ и на выходе нечеткого регулятора сигнал равен нулю. В логическом блоке сравнения величин A и B осуществляется расчет абсциссы "центра тяжести результирующей фигуры" w_c .

по соответствующим формулам. Сигнал с блока нормировки выходной переменной поступает на ЦАП и далее на вход объекта управления. На основе представленной функциональной схемы нечеткого регулятора возможна реализация рассматриваемого нечеткого регулятора программным и аппаратным способом.

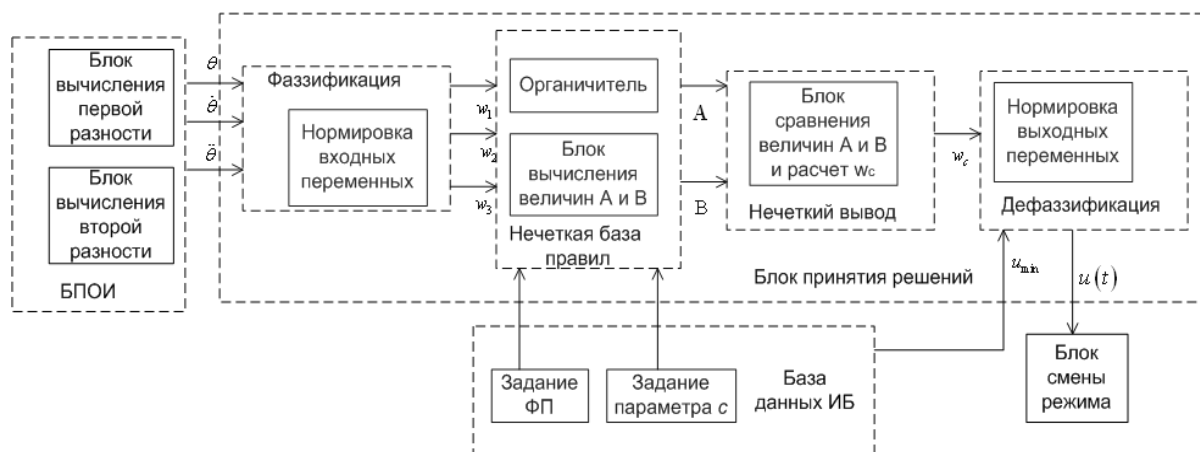


Рис. 5 Функциональная схема блока принятия решений

Заключение

На основе поступающей на вход ИБ СФУ информации о частотах f_0 и $f_{\text{вых}}$, блок принятия решений включает через БСР необходимый вид управления. В режиме синхронизации при осуществлении автосопровождения опорного сигнала управление осуществляет адаптивный регулятор. Если происходит скачкообразное изменение разности частот, либо частота настраиваемого генератора начинает резко изменяться, то в этом случае нечеткий регулятор подает соответствующее управляющее воздействие на БСР и включается робастный вид управления.

Применение в СФУ комплексирования робастного и адаптивного видов управления позволяет повысить эффективность функционирования системы в условиях помех и скачкообразных изменениях внешних воздействий. При этом использование аппарата нечеткой логики для построения БПР обеспечивает учет максимально возможной как качественной, так и количественной информации о состоянии системы.

ALGORITHM OF COMPLEXATION REGULATORS IS IN SYSTEM OF PHASE CONTROL

M.V. POCHEBUT

Abstract

The method of construction of the system of phase management is offered on the basis of complexation two types of regulators: adaptive and robust. With the use of vehicle of fuzzy logic the construction of functional circuit of device of changing of control mode is offered.

Литература

1. Пупков К.А., Коньков В.Г. Интеллектуальные системы. Москва, 2003.
2. Лобатый А.А., Почебут М.В. // Докл. БГУИР. 2009. № 7.
3. Лобатый А.А., Почебут М.В. // Докл. БГУИР. 2009. № 6.
4. Ярушкина Н.Г. Основы теории нечетких и гибридных систем. М., 2004.
5. Гостев В.И. Нечеткие регуляторы в САУ. Киев, 2008.