

Адаптивный нечеткий регулятор электромеханической системы

П. В. Соколов, А. И. Решетило, Е. Н. Каруна
Санкт-Петербургский государственный электротехнический
университет «ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина)

Аннотация. Работа посвящена разработке адаптивного нечеткого регулятора двух массовой электромеханической системы. Рассмотрены некоторые основные структуры и подходы к построению современных адаптивных нечетких систем управления. Предложена система адаптивной нечеткой системы модального управления с параметрическим идентификатором. Представлены результаты моделирования.

Ключевые слова: нечеткое управление; адаптивное управление; идентификатор; наблюдатель; модальное управление; двухмассовая упругая электромеханическая система

Одним из наиболее интенсивно развивающихся в настоящее время направлений автоматического управления является класс систем, связанных с применением теории нечетких множеств и нечеткой логики. Специалистов привлекает необязательность строгого математического описания объектов управления, экспертный подход к формированию алгоритмов управления, возможность реализовать различные нелинейные законы управления. Свое начало это направление берет с работ американского математика Лотфи Заде в 1965 г [1]. Если вскоре после своего появления нечеткие регуляторы были представлены в основном простейшими нечеткими ПИД-регуляторами (варианты: ПИ-, ПД-), то в последние годы появилась тенденция к усложнению нечетких систем управления. Одним из перспективных путей развития нечетких систем является создание адаптивных нечетких систем управления, реализующих в полной мере «интеллектуальные» возможности нечеткого управления.

Рассмотрим основные подходы к построению и типовые структуры нечетких адаптивных систем. В первую очередь можно выделить применение адаптивного нечеткого регулятора в качестве основного регулятора системы (рис. 1,а). Адаптивные свойства при этом реализуются за счет наличия внутренней базы знаний с неявной моделью системы на основе нечеткой логики. Эта информация используется для формирования законов управления, вырабатываемых нечетким адаптивным регулятором, при изменении параметров объекта управления или действия внешних возмущений. Недостатком подобного подхода является сложность формирования экспертной базы знаний об объекте управления. Также затруднительно формализовать

описание динамических систем на основе нечетких правил вида: ЕСЛИ... И..., ТО....

Еще один подход, связан с построением многоуровневой системы управления, где адаптивный нечеткий регулятор используется на верхнем уровне управления и служит для настройки параметров регуляторов нижнего уровня (рис. 1,б). Регуляторы нижнего уровня могут быть как традиционными, так и нечеткими. Эти регуляторы могут быть как последовательного (например, ПИД-регуляторы) так и параллельного (например, модальные регуляторы) типа.

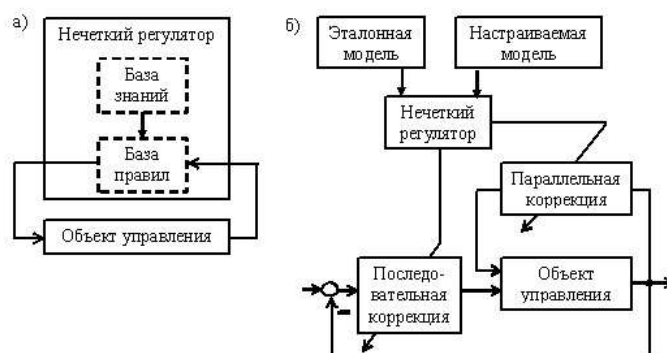


Рис. 1. Адаптивная нечеткая электромеханическая система.

Важным вопросом является вопрос о получении информации об объекте управления, необходимой для реализации законов адаптации. Для этого могут быть применены широко распространенные в адаптивном управлении эталонные модели, задающие желаемую (эталонную) динамику системы, и адаптивные наблюдатели, служащие для идентификации не измеримых напрямую переменных состояния системы.

В качестве примера рассмотрим двух массовую упругую систему (рис. 2). Электрическая часть системы образована электродвигателем, усилительно-преобразовательным устройством, датчиком и регулятором тока. Механическая часть включает в себя ротор двигателя с тахогенератором (первая масса с моментом инерции J_1), полезную нагрузку (вторая масса с моментом инерции J_2) и упругую связь между ними (с жесткостью C). Считается, что электрическая часть имеет неизменные параметры и хорошо настроенный внутренний контур. Интерес для исследования представляет

механическая часть, у которой могут изменяться или быть заранее не известными параметры J_2 и C .

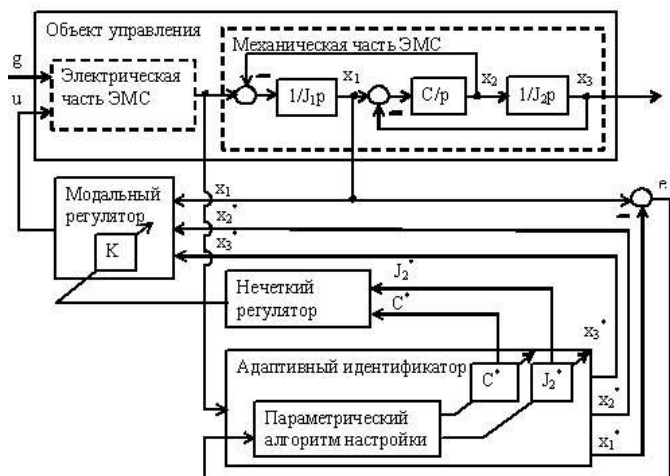


Рис. 2. Адаптивная нечеткая электромеханическая система

Обеспечить заданное качество работы такой системы при номинальных параметрах можно, например, с помощью модального управления. Однако при изменении параметров качество системы может существенно ухудшиться вплоть до потери работоспособности. Для обеспечения работы системы с варьируемыми параметрами применяется адаптивное управление [2]. Вектор переменных состояния механической части системы обозначим как $x = [x_1 \ x_2 \ x_3]^T$, где x_1 – угловая скорость первой массы, x_2 – упругий момент, x_3 – угловая скорость второй массы. Переменная x_1 непосредственно измеряется тахогенератором, установленным на валу двигателя, а переменные x_2 и x_3 считаются неизмеримыми.

В данной работе предлагается использовать нечеткий регулятор для реализации адаптивной настройки коэффициентов модального регулятора вместо традиционного в подобных системах параметрического интегрального закона.

Предлагаемый в работе адаптивный нечеткий регулятор (рис. 2) состоит из:

- модального регулятора (регулятора нижнего уровня) с настраиваемыми в процессе адаптации коэффициентами, заданными вектором коэффициентов

$$K = [k_1 \ k_2 \ k_3]^T;$$

- адаптивного идентификатора с параметрической настройкой, служащего как для оценивания неизмеримых переменных, так и для восстановления текущих значений параметров J_2 и C ;
- собственно нечеткого регулятора (регулятора верхнего уровня), входными переменными которого являются восстановленные значения J_2 и C , а выходом – набор соответствующих значений коэффициентов вектора K .

Предполагается, что известны минимальные, номинальные и максимальные значения параметров J_2 и C . Это позволяет рассчитать (например, методом стандартных полиномов) наборы значений коэффициентов модального регулятора K для всевозможных сочетаний значений J_2 и C , обеспечивающих заданное качество работы. Для расчета значений коэффициентов вектора K в каждом варианте может быть использован, например, метод стандартных полиномов.

Варианты таких наборов могут быть сведены в таблицу.

ТАБЛИЦА 1 ВАРИАНТЫ НАСТРОЕК МОДАЛЬНОГО РЕГУЛЯТОРА

	J_{2min}	J_{2nom}	J_{2max}
C_{min}	$K_{min,min}$	$K_{min,nom}$	$K_{min,max}$
C_{nom}	$K_{nom,min}$	$K_{nom,nom}$	$K_{nom,max}$
C_{max}	$K_{max,min}$	$K_{max,nom}$	$K_{max,max}$

На основе таблицы задается набор правил нечеткого регулятора. Задачей нечеткого регулятора является вычисление набора текущих значений вектора K для промежуточных значений параметров J_2 и C . Это реализуется за счет хорошо известного свойства нечеткого регулятора быть универсальным аппроксиматором. Подбором функций принадлежности входных и выходных нечетких множеств можно добиться близости вырабатываемого текущего набора K желаемому.

Рис. 3 иллюстрирует значения коэффициента модального регулятора k_2 , вырабатываемые нечетким адаптивным регулятором, при различных значениях варьируемых параметров системы $1/J_2$ и C .

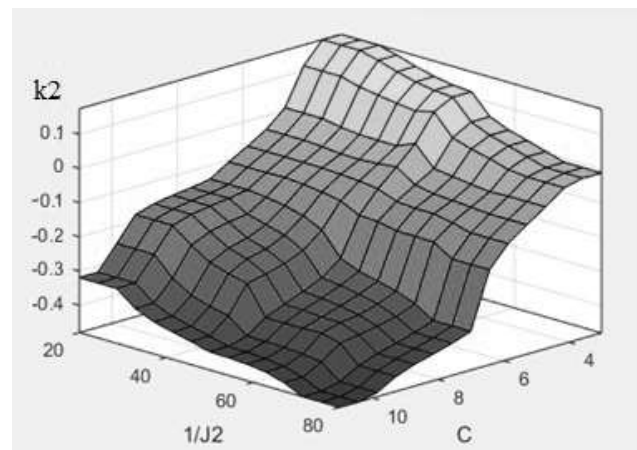


Рис. 3. Параметр k_2 в зависимости от $1/J_2$ и C

Результаты моделирования системы представлены на рис. 4.

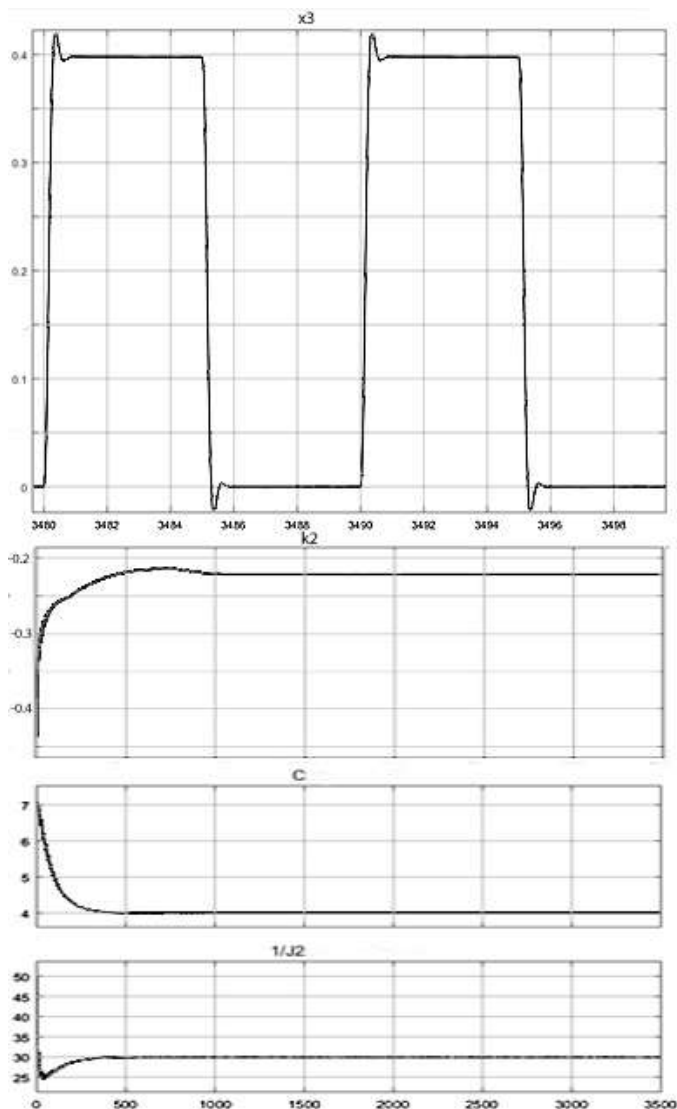


Рис. 4. Результаты моделирования

Как видно из рис. 4 в процессе работы адаптивный идентификатор производит оценку текущих (изменённых по сравнению с номиналом) значений параметров механической части системы C и $1/J_2$. Нечеткий регулятор вычисляет значения коэффициентов модального регулятора (показан процесс для k_2). Вычисленные коэффициенты соответствуют текущим параметрам

механической части системы таким образом, что обеспечивается качество переходных процессов системы (переменная x_3 – угловая скорость полезной нагрузки) близкое к желаемому (заданному с помощью стандартного полинома Баттерворта для системы 4-го порядка)

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Предложенный в работе подход к построению адаптивного нечеткого регулятора обладает следующими преимуществами:

- Относительная простота настройки, поскольку для каждого варианта из \min , nom и \max значений варьируемых параметров имеется свой набор значений коэффициентов модального регулятора и свои правила нечеткого регулятора. Это обеспечивает независимость настройки для каждого варианта.
- Отладка адаптивного идентификатора также может быть осуществлена независимо от нечеткого механизма настройки параметров модального регулятора.
- Идентификатор вырабатывает текущие значения варьируемых параметров системы, это облегчает понимание желаемых настроек модального регулятора, которые должен реализовать адаптивный нечеткий механизм.

Дальнейшим развитием работы может быть использование описания системы на основе теории нечетких множеств для реализации адаптивного идентификатора/наблюдателя вместо традиционного описания с помощью дифференциальных уравнений и языка структурных схем.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Заде Л. Понятие лингвистической переменной и его применение к принятию приближенных решений / пер. с англ. М.: Мир, 1976. 165 с.
- [2] Борцов Ю.А., Поляхов Н.Д., Путов В.В. Электромеханические системы с адаптивным и модальным управлением. Л.: Энергоатомиздат, 1984. 216 с.