



СМИРНОВ В.С., докт. техн. наук,
Государственный университет телекоммуникаций
САМКОВ А.В., докт. техн. наук,
Институт электродинамики НАН Украины
БЕЛЕНКО Н.В., ИВАНИЧЕНКО Е.В.,
Государственный университет телекоммуникаций

СТРУКТУРНЫЙ СИНТЕЗ ИНВАРИАНТНЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТЕОРИИ НЕЧЕТКИХ МНОЖЕСТВ

Рассмотрены принципы построения инвариантных усилительно-преобразовательных систем телекоммуникационного оборудования автономных объектов. Сформулированы основные положения структурной инвариантности систем, позволяющие синтезировать адаптивные усилительно-преобразовательные системы с многократной модуляцией и нечетким управлением.

К л ю ч е в ы е с л о в а: усилительно-преобразовательная система, инфокоммуникационное оборудование, автономные объекты, теория инвариантности, система автономного управления, нечеткая логика.

Всвязи с широким использованием робототехнических и эргатических ("человек-машина") систем возникла проблема повышения гибкости систем автоматического управления (САУ) и надёжности (отказоустойчивости и живучести) подобного рода комплексов. Повышение этих показателей и качества принимаемых решений за счет усовершенствования только аппаратного обеспечения структур САУ дало на определённом этапе существенно повысило уровень автоматизации различного рода технологических процессов.

Анализ результатов использования таких комплексов в системах с повышенной степенью ответственности (системы управления на АЭС, бортовые САУ летательных и космических аппаратов, АСУТП и др.) показал существование пределов возможных уровней достижения данных показателей при схемотехнической реализации, например, повышение функциональных возможностей САУ за счёт усложнения аппаратурной реализации, что приводит к снижению отказоустойчивости и живучести системы в целом. Поэтому одним из возможных направлений решения данной проблемы является снижение уровня сложности реализации программно-аппаратурного обеспечения используемых САУ за счет повышения их "интеллектуальности".

Введение элементов интеллекта в САУ позволяет принимать управляющие решения на основе первоначально заложенных и накопленных формализованных знаний о целесообразном функционировании системы при том или ином состоянии объектов управления (ОУ) [2, 3, 4]. Одна из основных задач в этом направлении — построение моделей динамических систем как объектов управления ОУ.

Причины, по которым построение точных математических моделей ОУ представляет собой трудноразрешимую задачу, следующие:

- невозможность измерения с необходимой точностью реальных величин в изменяющихся условиях технологической среды;
- невозможность полного и чёткого описания многих физических объектов и ситуаций;
- неточность функциональных действий, в результате которых система часто не достигает поставленных целей;
- недостаточная размерность модели, которая не позволяет отразить все значимые свойства объекта;
- невозможность выразить все технологические показатели различных производственных ситуаций в виде количественных отношений;
- невозможность наблюдения ряда характеристик исследуемого объекта, требующих интуитивных оценок.

Одним из путей решения такой задачи является использование теории нечетких множеств, позволяющей реализовать экспертный подход к управлению [2, 4].

Нечеткий подход дает возможность управлять объектами с нелинейной динамикой, функционирующими в условиях неопределённости, за счет использования качественного описания процесса.

Использование теории нечётких множеств позволяет реализовать слабоформализуемые алгоритмы управления. Нечёткая логика в алгоритмах управления может быть применена и в том случае, когда, в силу природы объекта, информация носит качественный характер.

Применение нечёткого подхода существенно расширяет возможности адаптивных систем, когда отсутствует точное знание структуры системы и невозможно учесть влияние всех факторов на изменение её параметров, а также дать строгое аналитическое описание сложной модели или процесса.

Одним из решений при построении рассматриваемых систем является возможность совмест-

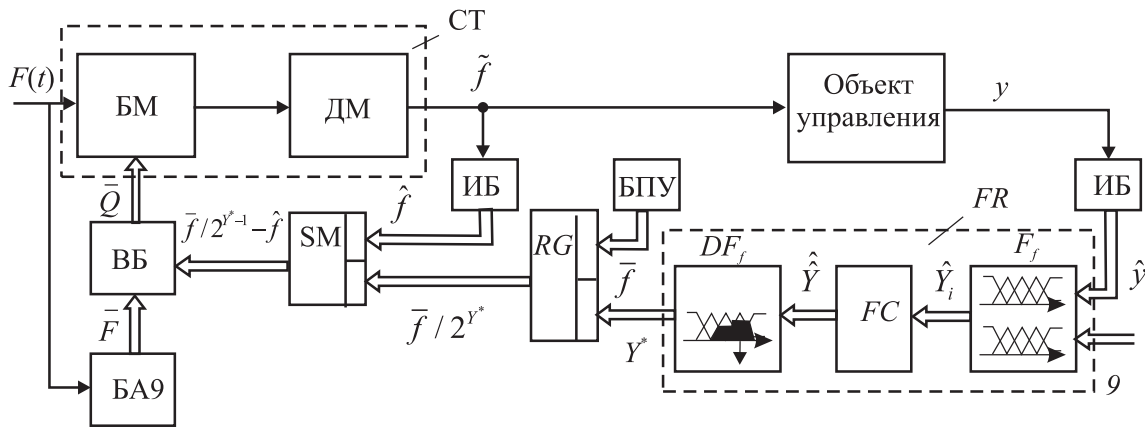


Рис. 1. Функциональная организация адаптивной структурно-инвариантной ПС с нечетким регулятором

ного применения адаптивного подхода и методов управления, использующих нечёткую логику, что позволит создавать адаптивные нечёткие системы, содержащие в качестве адаптивного регулятора экспертную систему с нечёткой логикой. Такое решение наряду с преимуществами экспертного подхода к формированию законов управления, простоте и дешевизне, по сравнению с системами, построенными на принципах самоорганизации, и придаёт нечётким системам способность к адаптации при изменении условия функционирования.

Адаптивное управление позволяет существенно улучшить динамику, оценить недостающие переменные, придать системе свойство робастности. В отличие от нечёткого подхода, который даёт возможность формализовать с целью последующего анализа имеющуюся информацию, неопределённого характера, в процессе адаптации происходит последовательное раскрытие неопределённости, ведущее к увеличению "информированности" системы управления.

Таким образом, задача адаптивного управления с нечёткой логикой заключается в обеспечении заданного функционирования объекта при изменении его условий работы (изменении характеристик внешних воздействий или параметров объекта управления) путём целенаправленной коррекции управления на основе нечёткого вывода.

При этом целью исследования является построение адаптивной преобразовательной системы (ПС), обеспечивающей заданные динамические характеристики функционирования, компенсацию координатных и параметрических возмущений, а также робастность в условиях априорной и текущей неполноты информации о свойствах ОУ.

При проектировании систем управления ПС довольно часто возникает проблема, характерная для проектирования почти всех нечетких систем реального времени. С одной стороны, система должна обеспечивать логические выводы достаточно высокого уровня, чтобы отвечать всем осо-

бенностям работы ПС, с другой стороны, в каждый данный момент система должна с высоким быстродействием компенсировать координатно-параметрические возмущения в условиях неполноты информации о них. Проблема может быть разрешена путём иерархической организации системы в виде двух уровней, отличающихся по функциональному назначению и быстродействию. При этом нечеткий регулятор может выполнять не основную, а дополнительную функцию управления объектом, работая параллельно с основным координатно-параметрическим регулятором и "мягко" реагируя на дополнительные внешние возмущающие воздействия.

Кроме того, такая декомпозиция системы позволяет улучшить показатели структуры за счет замечательного свойства нечеткого регулятора – возможности реализации необходимого нелинейного алгоритма управления. Это даёт возможность устранить режимы автоколебаний в нелинейной системе и весьма существенно снизить противоречие между условиями устойчивости и инвариантности. При этом на основе нечёткого регулятора возможно обеспечение также и "мягкой" адаптации системы.

Взаимодействие адаптивного и нечёткого подходов возможно двумя путями. Первый состоит в организации процедур самообучения, самоалгоритмизации и самоорганизации нечеткого регулятора. Полученные таким образом "высокоинтеллектуальные" системы способны решать сложные, слабоформализуемые задачи управления в условиях большой априорной и текущей неопределённости структуры и параметров объекта. В системах нижнего уровня (исполнительные устройства, приводы) более целесообразен второй подход, состоящий в использовании нечёткого регулятора для реализации механизма адаптации.

Способность нечёткого регулятора реализовать сложную нелинейную зависимость адаптивного воздействия от значений вектора ошибки даёт возможность как для выбора наилучшего в



смысле скорости сходимости процесса адаптации при минимальном показателе отклонения от эталонного движения алгоритма адаптации, так и для расширения диапазона адаптации.

Рассмотрим функциональную организацию адаптивной ПС с нечётким регулятором на примере одноканальной структурно-инвариантной ПС с эталонной моделью и координатно-параметрическим управлением (Рис. 1).

Преобразовательная система ПС включает в себя силовой тракт (СТ), содержащий последовательно соединённые блок модуляторов (БМ) и демодулятор (ДМ), выполненные на ключах с двусторонней проводимостью, а также контроллер, в который входят блок программного управления (БПУ), цифровой сумматор (SM) и вычислительный блок (ВБ) а также блок адаптации-экстраполяции (БАЭ).

Рассмотрим принцип работы ПС. Переменное напряжение питания, описываемое функцией $F(t)$, поступает на вход модуляторов, ключи которого управляются импульсами высокой частоты, определяющими интервал временного квантования. На высокой несущей частоте в БМ имеет место модуляция входного напряжения $F(t)$ коммутационной функцией $\bar{Q}(t)$, формируемой контроллером. Таким образом, на выходе БМ формируется напряжение $U_{\text{БМ}}(t) = F(t) \bar{Q}(t) \sin(\omega_n t)$, которое является входным для ДМ, где подвергается демодуляции.

С целью реализации возможностей и преимуществ координатно-параметрического управления структурная организация ПС содержит цифровой сумматор SM в контуре компенсации по отклонению.

Рассмотрим принцип действия контура. Выходной сигнал $\hat{f}(t)$ после преобразования в ИБ в виде его цифрового эквивалента \hat{f} поступает на один из входов SM. Одновременно код \bar{f} , формируемый БПУ и соответствующий заданному выходному сигналу (эталонная модель), непрерывно поступает на другой вход SM, который реализует операцию $2\bar{f} - \hat{f}$ и формирует код на ВБ. При увеличении выходного сигнала ПС выше допустимого значения код \hat{f} превысит код \bar{f} на величину $\hat{f} - \bar{f}$. Таким образом, для поддержания выходного сигнала неизменным необходимо из кода \bar{f} вычесть $\hat{f} - \bar{f}$, то есть $\bar{f} - (\hat{f} - \bar{f}) = 2\bar{f} - \hat{f}$.

При уменьшении выходного сигнала ниже заданного значения код \hat{f} будет меньше кода \bar{f}

на величину $\bar{f} - \hat{f}$, то есть необходимо к коду \bar{f} прибавить $\bar{f} - \hat{f}$: $\bar{f} + \bar{f} - \hat{f} = 2\bar{f} - \hat{f}$. Таким образом, цифровой сумматор, реализующий операцию $2\bar{f} - \hat{f}$, позволяет решить задачу стабилизации мгновенных значений выходного сигнала.

Формируемые коды \bar{F} и $2\bar{f} - \hat{f}$ поступают на информационные входы ВБ, в котором на каждом интервале квантования вырабатывается код, соответствующий коммутационной функции

$$\bar{Q}(t) = 2\bar{f} - \hat{f} / \bar{F}$$

Нечеткий регулятор FR входом подключен к выходу ОУ, а выходом связан с контуром координатно-параметрического управления через регулирующий регистр RG, что позволяет влиять на параметры эталонной модели, вырабатываемой в БПУ.

В фаззификаторе F_f реальные "четкие" входные переменные "y" преобразуются в соответствующие лингвистические переменные Y_j , каждая из которых может принимать к ($j = 1, k$) значения \hat{Y}_{ij} , которые являются именами соответствующих нечетких множеств.

В блоке логических правил FC осуществляется формирование нечеткого сигнала адаптации \hat{Y} на основе анализа нечетких входных переменных Y_i согласно набору правил, задаваемых с использованием логической операции И в следующем виде: правило m : ЕСЛИ $Y_1 = \hat{Y}_{1,j_1}$ И... $Y_n = \hat{Y}_{n,n_n}$, ТО $\hat{Y} = Y'_{j_1, \dots, n_n}$, где $m = Y'_{j_1, \dots, n_n}$ – значение лингвистической переменной \hat{Y}_1 , соответствующее значениям входных переменных \hat{Y}_1, \dots, Y_n для правила m .

Нечёткий вывод можно осуществить "по Мамдани", который предусматривает "минимаксный" принцип: выходное нечеткое множество каждого правила "ограничивается" по значению минимальной из четырёх степеней принадлежности параметров входной части правила (операция минимума), далее "ограниченные" выходные функции каждого правила объединяются операцией максимума.

В дефаззификаторе DF_f осуществляется обратный переход от нечеткого сигнала адаптации \hat{Y} к реальному сигналу Y^* с использованием, например, метода весового осреднения.



При нечетком управлении диапазоны исследуемых величин подвергаются квантованию, а нечеткие множества представляются массивами чисел, потому что функционирование нечеткого регулятора заключается в обработке многих массивов. Это приводит к увеличению времени вычисления. Поэтому перспективными следует считать специализированные аппаратные средства для реализации операций над нечеткими множествами: спецпроцессоры, нейросети.

ЛИТЕРАТУРА

1. Алиев Р.А., Мамедова Г.М. Идентификация и оптимальное управление нечеткими динамическими системами // Техн. кибернетика. — 1993. — № 6. — С. 118–126.
2. Заде Л. Понятие лингвистической переменной и его применение к принятию приближенных решений: Пер. с англ. — М: Мир, 1976. — 165 с.
3. Кудинов Ю.И. Нечеткие системы управления // Техн. кибернетика. — 1990. — № 5. — С. 196–206.
4. Прикладные нечеткие системы / Под ред. Т. Тэрано. — М.: Мир, 1993. — 368 с.

© Смирнов В.С., Самков А.В., Беленок Н.В., Иваниченко Е.В., 2015



УДК 621.314

ЧУМАК В.В., канд. техн. наук,
МИХАЙЛЕНКО В.В., канд. техн. наук,
СКИРДЕНКО М.В., інж. Національний технічний університет України "Київський політехнічний інститут", м. Київ

ДОСЛІДЖЕННЯ ЕЛЕКТРОМАГНІТНИХ ПРОЦЕСІВ У НАПІВПРОВІДНИКОВОМУ ПЕРЕТВОРЮВАЧІ З ВОСЬМИЗОННИМ РЕГУЛЮВАННЯМ ВИХІДНОЇ НАПРУГИ

У статті проведено дослідження електромагнітних процесів в електричних колах з напівпровідниковими комутаторами. Створено математичну модель для аналізу електромагнітних процесів у напівпровідникових перетворювачах з широтно-імпульсним регулюванням вихідної напруги. Наведено графіки, що відображають електромагнітні процеси у електричних колах.

Ключові слова: електромагнітні процеси, вихідні напруга та струм, струм навантаження, метод багато параметричних модулюючих функцій.

Вступ. Успіхи у розвитку напівпровідникової техніки дозволяють використовувати в перетворювальних установках ланку високої частоти з частотою переключення вентилів значно більшої від частоти змінної напруги промислової мережі [1–6]. У роботах [7–10] показана доцільність використання структур перетворювачів частоти (ПЧ) з однократною модуляцією при побудові систем вторинного електропостачання для комплексів діагностики електромеханічних пристроїв із різноманітним видом вхідної енергії. У даній роботі проводиться аналіз аспекту використання тієї ж структури ПЧ для електромеханічних комплексів із широтно-імпульсним регулюванням (ШІР) постійної напруги при восьмизонному керуванні.

Метою роботи є виконання дослідження електромагнітних процесів в електричних колах з напівпровідниковими комутаторами.

Аналіз електромагнітних процесів

Узагальнена структурна схема перетворювача показана на Рис. 1. На структурній схемі позначені: SM_{AB} , SM_{BC} , SM_{CA} — силові модулятори (СМ) лінійних АВ, ВС і СА відповідно, ВВ — ви-

сокочастотний випрямляч, Н — навантаження. Сукупність СМ, підключених до енергетичної мережі паралельно і з'єднаних по виходу послідовно, представляє собою ланку високої частоти перетворювача. Структура СМ представлена на Рис. 2.

На структурній схемі (Рис. 2), позначені: ІВН — інвертор випрямленої напруги, Т — узгоджувальний трансформатор, n — номер ІВН.

При складанні математичної моделі перетворювача з комп'ютерною орієнтацією її застосування використаємо метод багатопараметричних модулюючих функцій [2], який передбачає попереднє представлення алгоритмічного рівняння перетворювача. При цьому приймемо такі припущення: вхідна енергетична мережа симетрична і її внутрішній опір дорівнює нулю, транзистори і діоди ІВН представляються ідеальними ключами, узгоджувальні трансформатори в кожній з зон регулювання вихідної напруги не мають втрат, а навантаження перетворювача має еквівалентний активно-індуктивний характер.

Така структура дозволяє реалізувати багатоканальний спосіб перетворення параметрів електромагнітної енергії мережі, при якому в СМ