

УДК 62.50

А. В. Лапето, аспирант (БГТУ)

АНАЛИЗ МЕТОДОВ СИНТЕЗА СИСТЕМ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ С ЗАПАЗДЫВАНИЕМ

Работа посвящена анализу современных и классических методов синтеза регуляторов систем автоматического управления. Рассмотрены области применения данных методов к системам с запаздыванием. Выявлены недостатки и трудности при реализации различных методов синтеза регуляторов. Проанализированы направления для дальнейшего совершенствования методов синтеза регуляторов для систем с запаздыванием.

The paper analyzes the modern and classical methods of synthesis of regulators of automatic control systems. The applications of these approaches are considered to systems with delay. Gaps and difficulties in implementation of various methods for the synthesis of regulators are identified. The directions for further improvement of methods of synthesis of controllers for systems with delay are considered.

Введение. Среди современных технологических объектов управления (ОУ) значительное место занимают объекты, имеющие задержки прохождения сигналов через свои элементы. Примером таких ОУ с запаздываниями по управлению могут служить ленточные транспортеры, прокатные станы, процессы сушки и горения, а с запаздываниями по состоянию – процессы с рециклом, в частности, процессы в измельчительных машинах или процессы в химических реакторах.

Моделирование процессов, происходящих в реальных ОУ с запаздываниями, осуществляется с помощью дифференциальных уравнений с запаздывающим аргументом (дифференциальных уравнений с отклоняющимся аргументом). Запаздывания в системах управления весьма отрицательно влияют на процессы регулирования, поэтому их необходимо учитывать при проектировании систем автоматического управления. Методы синтеза систем управления, не принимающие во внимание фактор задержки сигналов при проектировании систем, оказываются малоэффективными. Проблема же конструирования систем управления для многосвязных объектов управления с запаздываниями является еще более сложной [1].

Основная часть. Классические методы синтеза систем управления с запаздыванием не позволяют добиться хорошего результата для расчета регуляторов и компенсаторов в этих системах. Использование этих методов всегда достаточно затруднительно, даже при упрощении модели объекта управления (отбрасывании запаздывания, понижении порядка уравнений, описывающих объект), а получаемые системы управления иногда и физически нереализуемы.

Основные классические методы синтеза непрерывных систем управления с запаздыванием можно разделить на два типа: методы, использующие разложение запаздывания в ряды, и методы пространства состояний.

В теории автоматического управления чистое запаздывание традиционно раскладывается в ряды различного типа (Падэ, Тейлора и др.). Однако решение, получаемое используя различные варианты разложения запаздывания, достаточно сложно, так как при этом увеличивается порядок системы, и, зачастую, малоэффективно, что обусловлено низким порядком разложения запаздывания в ряд (для того чтобы не вывести систему управления за границу устойчивости). При использовании разложения чистого запаздывания приходится находить «равновесие» между усложнением системы и точностью расчета, что является ощутимым недостатком. Разложение запаздывания в ряд Падэ второго порядка описывается выражением

$$W = e^{-\tau p} = \frac{\tau^2 p^2 - 6\tau p + 12}{\tau^2 p^2 + 6\tau p + 12}, \quad (1)$$

где τ – величина запаздывания; p – оператор Лапласа.

Рассмотрим реакцию аппроксимированного рядом Падэ звена чистого запаздывания на единичное ступенчатое воздействие (рис. 1).

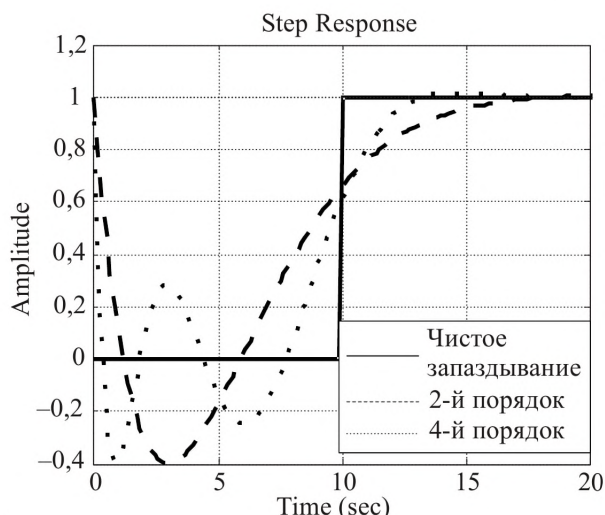


Рис. 1. Разложение чистого запаздывания в ряд Падэ

Как видим, даже при минимальном порядке разложения порядок системы возрастает, что приводит к трудностям при дальнейших расчетах. Поведение системы в этом случае будет значительно отличаться от реального ее состояния.

Использование классических упрединителей во многих системах также сталкивается с большим числом трудностей. Например, для упрединителя Смита (рис. 2) главная трудность – его физическая реализуемость. Зачастую в сложных системах управления порядок числителя передаточной функции превышает порядок знаменателя, что накладывает ограничения для использования этого упрединителя.

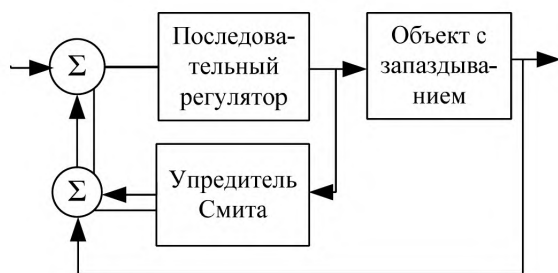


Рис. 2. Структурная схема системы управления с упрединителем Смита

Данные недостатки классических методов заметны для SISO (одноходовых) систем, но поскольку большое количество современных производств представляют собой многосвязные объекты управления, влияние этих недостатков значительно возрастает для систем такого класса.

В современной теории автоматического управления все более широко используется представление объектов в пространстве состояний [2]. От традиционных методов исследования (частотного, корневых годографов) метод пространства состояний отличают принципиально новые возможности. Этот тип представления объектов управления позволяет, например, судить, достижима ли цель управления (управляемость объекта), определить необходимый состав измерителей (наблюдаемость объекта), синтезировать управление на все входы многомерного объекта и др.

Среди различных направлений теории систем, основанной на методе пространства состояний, можно выделить два направления, получивших наибольшее распространение в инженерной практике. Одно из них образуется методами оптимизации системы путем сведения к минимуму некоторого функционала (обычно интеграла от какой-либо квадратичной формы), характеризующего качество регулирования. Другое направление связано с методами модального управления, т. е. методами формирования цепей обратных связей, придающих замк-

нутой системе заранее выбранное распределение корней. Происхождение термина «модальное управление» можно объяснить тем, что корням соответствуют составляющие свободного движения системы, называемые иногда «модами».

Проблема оптимального управления объектами и процессами приобрела в настоящее время важное значение. Это обусловлено тем, что длительность переходного процесса при управлении является одним из основных показателей качества работы автоматических систем. Сокращение продолжительности переходных процессов при регулировании многих технологических объектов повышает производительность агрегатов, улучшает качество продукции, позволяет получить значительный экономический эффект. Известно также, что система, удовлетворяющая требованиям максимального быстродействия, является наилучшей и по некоторым другим показателям качества.

Практическое применение оптимальных по быстродействию регуляторов для различного рода технологических процессов часто затруднено вследствие возникающего при данных процессах запаздывания. Будучи в общем случае постоянной, переменной или случайной величиной, запаздывание является одним из основных факторов, существенно снижающих динамические показатели оптимальных по быстродействию систем управления. Поэтому возникает необходимость разработки и исследования методов синтеза оптимальных по быстродействию регуляторов, обеспечивающих эффективную работу систем управления в данных условиях.

Системы оптимального управления объектами с запаздываниями по управлению [3, 4] описываются при помощи модели в пространстве состояний следующей системой уравнений:

$$\begin{cases} \dot{x}(t) = A_0x(t) + \sum_{i=0}^r B_i u(t - \tau_i) + f(t), \\ y(t) = Cx(t), \end{cases} \quad (2)$$

где x – вектор состояния системы; u – вектор управляющих воздействий; f – вектор возмущающих воздействий; y – вектор выходных переменных.

Для приведенной модели системы управления требуется записать в аналитической форме зависимость между управляющими воздействиями, координатами объекта, а также возмущениями, чтобы достигал минимума следующий функционал качества:

$$I = \frac{1}{2} \int_0^{\infty} V(y(t), u(t)) dt, \quad (3)$$

$$V(y(t), u(t)) = y^T(t) A_0 y(t) + cu^T(t) u(t). \quad (4)$$

При нахождении регуляторов с помощью методов оптимального управления возникают такие трудности, как выбор вида функционала и нахождение его коэффициентов. Таким образом, при оптимальном управлении системами с запаздыванием довольно трудно перейти от одной модели объекта управления к другой, так как кроме пересчета самого регулятора необходимо находить и коэффициенты функционала качества, а иногда и менять сам вид функционала.

При изучении реальных физических процессов наряду с динамическими (дифференциальными) встречаются и алгебраические (функциональные) зависимости. Такие процессы описываются дифференциально-алгебраическими (DAE) системами (отдельные уравнения которых являются дифференциальными, другие – алгебраическими). Эти системы относятся к классу гибридных.

Гибридность означает неоднородность в природе рассматриваемого процесса или объекта управления. Термин «гибридные системы» относят к системам, описывающим процессы или объекты с существенно различающимися характеристиками, например, содержащие в своей динамике непрерывные и дискретные переменные, детерминированные и случайные величины или возмущения и т. д. [5].

Имеется много причин для использования гибридных моделей – это, прежде всего, адекватность данных моделей, использование контроллеров, средств микропроцессорной техники и ЭВМ (управление посредством специализированного программного обеспечения); гибридные системы возникают при моделировании иерархической структуры реальных систем управления, в частности, при описании динамических, дискретных, стохастических подсистем, комплексных систем и др.

В связи с наличием вышеперечисленных проблем и необходимостью их решения активно ведутся работы по получению современных методик синтеза регуляторов и компенсаторов для систем автоматического управления с запаздыванием. Основная теоретическая база для разработки новых методов синтеза – современные исследования в области теории автоматического управления и высшей математики.

Среди множества современных методов общего синтеза модальных регуляторов систем управления хотелось бы выделить «Теорию вложения систем» [6], разработанную российским ученым В. Н. Буковым.

Данный метод использует системы матричных уравнений для решения задач управления и показал высокие результаты при его использовании в различных отраслях промышленности. Суть данного метода заключается во «вло-

жении» в скалярный образ системы ее желаемого поведения (как вынужденного, так и свободного). На базе этой теории активно ведутся разработки новых методов синтеза систем управления, в частности стоит вопрос о применении данной теории к системам управления с запаздыванием.

Заключение. В ходе проведенного анализа существующих методов синтеза систем автоматического управления, содержащих в своей основе звенья запаздывания, было выявлено множество недостатков и проблем. Эти недостатки были рассмотрены на примере оптимальных систем управления, систем управления, содержащих в своем составе аппроксимированные различными рядами звенья запаздывания, а также системы управления с упреждениями различного типа.

Для многообразных систем управления с запаздыванием влияние рассмотренных проблем многократно увеличивается, что ставит вопрос о необходимости разработки новых методов синтеза, в частности для систем управления, представленных в пространстве состояний. Были выявлены основные направления развития теоретического аппарата для работы с системами этого класса. Показана возможность применения модального управления для расчета регуляторов, в частности путем использования «Теории вложения систем», показавшей на практике высокие результаты при работе с системами различного класса, не учитывающими запаздывание.

Литература

1. Гурецкий, Х. Анализ и синтез систем управления с запаздыванием / Х. Гурецкий; пер. с пол. – М.: Машиностроение, 1974. – 328 с.
2. Кузовков, Н. Т. Модальное управление и наблюдающие устройства / Н. Т. Кузовков. – М.: Машиностроение, 1976. – 184 с.
3. Янушевский, Р. Т. Управление объектами с запаздыванием / Р. Т. Янушевский. – М.: Наука, 1978. – 416 с.
4. Системы автоматического управления с запаздыванием: учеб. пособие / Ю. Ю. Громов [и др.] – Тамбов: Изд-во Тамбов. гос. техн. ун-та, 2007. – 76 с.
5. Марченко, В. М. Некоторые нерешенные задачи в теории управляемых динамических ГДР-систем / В. М. Марченко // Труды БГТУ. Сер. VI, Физ.-мат. науки и информатика. – 2006. – Вып. XIV. – С. 3–6.
6. Буков, В. Н. Вложение систем. Аналитический подход к анализу и синтезу матричных систем / В. Н. Буков. – Калуга: Изд-во науч. лит-ры Н. Ф. Бочкаревой, 2006. – 720 с.

Поступила 02.03.2011