

Б 91

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО
ОБРАЗОВАНИЯ УССР

ОДЕССКИЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ
им. М. В. ЛОМОНОСОВА

На правах рукописи

И. М. БУРШТЕЙН

МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ СЛОЖНЫХ НЕПРЕРЫВНЫХ СИСТЕМ АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ

(Основы автоматизации расчета систем регулирования
технологических процессов)

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

МОСКВА — 1966

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО
ОБРАЗОВАНИЯ УССР

ОДЕССКИЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ
им. М. В. ЛОМОНОСОВА

На правах рукописи

И. М. БУРШТЕЙН

МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ СЛОЖНЫХ НЕПРЕРЫВНЫХ СИСТЕМ АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ

(Основы автоматизации расчета систем регулирования
технологических процессов)

Автореферат

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Переучет 19.07.66

ОНАХТ

23.06.11

Методы исследования



v014428

МОСКВА—1966

Одесский технологический институт им. М. В. Ломоносова направляет Вам для ознакомления автореферат диссертационной работы И. М. Бурштейна на тему: «Методы исследования сложных непрерывных систем автоматического регулирования (Основы автоматизации расчета систем регулирования технологических процессов)», представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук.

Защита состоится „ 25 „ марта 1966 г.

Ваши отзывы и замечания в 2-х экземплярах просим направлять по адресу: Гор. Одесса, ул. Свердлова, № 112, Одесский Технологический институт.

Ученый секретарь
Совета

(Л. А. Запорожец)



ВВЕДЕНИЕ

В диссертации изложены теоретические и практические результаты, позволяющие реализовать автоматический расчет систем регулирования технологических процессов с помощью универсальных электронных вычислительных машин.

Отметим некоторые из многих действующих факторов, которые делают проблему автоматизации проектирования регулируемых систем актуальной.

Динамика системы регулирования описывается, как известно, совокупностью дифференциальных уравнений. Явление задержки процессов регулирования во времени (запаздывание), имеющее обычно место в промышленных системах, приводит к более сложным дифференциальным уравнениям с отклоняющимся аргументом.

Трудности разрешения систем дифференциальных уравнений нашли свое отражение в теории автоматического регулирования в форме различных критериев для косвенной оценки качества систем, в попытках классификации объектов и схем регулирования, а также в создании обширной библиотеки работ, посвященных инженерным методам выбора настроек регуляторов. При этом в последних двух направлениях предметом рассмотрения является простейший класс одноконтурных систем.

К настоящему времени средством для разрешения упомянутых трудностей служат электронные моделирующие установки. Соответственно расчет систем регулирования заменяется подбором параметров на основе визуальной оценки физически воспроизводимых переходных процессов. В связи с задачей моделирования чистого запаздывания отметим здесь специфические трудности, связанные с вопросами конструирования, а также комплектования установок блоками запаздывания при переходе к многоконтурным системам.

Современные технологические линии оборудуются, как правило, многими регулирующими системами. Промышленностью осуществляется серийный выпуск приборов унифицированных систем автоматики, датчиков и арматуры. Проекти-

рование и наладка регулирующих систем становятся массовыми явлениями.

В условиях широкого распространения универсальных электронных вычислительных машин расчет регулирующих систем должен стать одной из многих задач, разрешаемых в отраслевых вычислительных центрах со всеми следующими из этого преимуществами оперативности и рентабельности.

I. ОСНОВНАЯ ЗАДАЧА

Линеаризованная система рассматривается как сеть, составленная из некоторого числа узлов, соединенных между собой произвольным образом посредством ветвей направленного действия. Ветви системы содержат усилители, элементы запаздывания и непрерывные фильтры. Передаточные функции последних описываются дробно-рациональными функциями комплексной переменной; значения полюсов считаются известными. На величины времен запаздывания в системе никаких ограничений не накладывается.

В системе имеется некоторое число изменяемых параметров, которые могут быть представлены как коэффициенты передачи соответствующих усилителей, размещенных в ветвях. К узлам системы приложена совокупность времяопределенных внешних воздействий.

Требуется рассчитать значения изменяемых параметров так, чтобы выбранная оценка качества системы имела оптимальное значение.

Оценкой качества системы здесь именуется функционал изменений координат системы. Необходимо отметить, что выбор оценки того или другого вида в общем случае производится экспериментально из условия обеспечения сходимости процесса оптимизации.

II. ИСХОДНЫЙ МЕТОД

В техническом аспекте решение поставленной задачи означает создание самонастраивающейся системы, оптимизирующей принятую оценку качества путем автоматического изменения параметров.

Проблемы организации процессов поиска экстремума рассмотрены в литературе весьма подробно. Поэтому для решения сформулированной задачи с помощью универсальной вычислительной машины необходимо располагать стандартным методом формирования устойчивого алгоритма для непосредственного вычисления переходных процессов, описы-

ваемых системой дифференциальных уравнений с отклоняющимся аргументом.

Аппарат преобразования Лапласа является ныне основным математическим методом теории автоматического регулирования, несмотря на ограничения, связанные с трудностями обратного преобразования в случаях приложения к системам с обратной связью.

Здесь развивается специальный метод прямого перехода от изображения Лапласа, — минуя операцию решения изображающего характеристического уравнения и методы теории вычетов, — к дискретному изображению Лапласа (Z — изображению). Дискретные значения оригинала находятся затем с помощью алгоритма разложения Z — изображения в ряд.

Первая работа А. Тастина в отмеченном направлении относится к 1947 г., хотя можно отметить весьма близкую по идее работу Виддера, относящуюся к 1934 г. Далее отметим обзорный доклад А. Крюкшанка на I Международном Конгрессе Международной федерации (1960 г.) по автоматическому управлению [1], содержащий библиографию вопроса из 32 названий.

Анализ литературы показывает, что во всех случаях переход от L - к Z -изображению означает явное или неявное перестроение исходной одноконтурной системы в фиктивную амплитудно-модулированную импульсную систему путем ввода импульсного элемента (ИЭ) и формирующего интерполирующего устройства. Рассматриваемый метод условно именуется поэтому методом импульсного моделирования.

Приведенные в литературе сравнительные примеры расчета переходных процессов в простейших одноконтурных системах показывают главное преимущество метода: возможность достижения высокой точности без чрезмерного сжатия периода времени отсчета дискретных значений оригинала.

В литературе импульсного моделирования используется аппарат обычного Z — преобразования, поэтому в немногих работах, где рассматриваются одноконтурные системы с запаздыванием, период повторения T выбирается в точности равным времени запаздывания или же в целое число раз менее. Это ограничение препятствует рассмотрению систем с несколькими запаздываниями, некратными по величине.

Однако принципиальным недостатком метода импульсного моделирования является отсутствие его теоретического обоснования. Точнее говоря, не разработан критерий, позволяющий установить эквивалентность получаемого Z — изображения оригиналу исходного L — изображения. Впрочем, самая постановка вопроса о необходимости подобного критерия в литературе отсутствует. Следствием сложившегося положения, — имевшего место также и в развитии известных математических методов, — явился, в частности, парадоксальный

результат, полученный А. Крюкшанком. В упомянутой работе [1], — с целью подтверждения высокой эффективности предлагаемой там же интерполяции параболой, — выводится Z — изображение решения дифференциального уравнения второго порядка. Хотя на рассмотренном начальном отрезке времени полученные дискретные значения весьма точно аппроксимируют истинное сходящееся решение, однако, — как это отмечается в дискуссии по докладу [1], — найденное Z — изображение соответствует уже неустойчивому расходящемуся процессу.

III. ЛОГИЧЕСКАЯ СХЕМА РАЗРЕШЕНИЯ ОСНОВНОЙ ЗАДАЧИ

1. Многообразие форм Z — изображений переходных процессов в данной многоконтурной непрерывной системе порождается вариантами размещения в ветвях системы ИЭ и формирующих устройств. Разрабатывается метод решения изображающих L , Z — уравнений для импульсных многоконтурных систем произвольной структуры. Исходя из этого метода разрешается задача получения Z — изображения явного вида для процесса в непрерывной системе при минимизированном числе ИЭ, вводимых в исходную систему, т. е. при минимуме числа точек внесения искажений. Нахождение Z — изображения процесса в многоконтурной непрерывной системе интерпретируется построением фиктивной импульсной системы.

Проблема выбора значения периода повторения T в зависимости от величин запаздываний, имеющих в системе, снимается, благодаря использованию аппарата обобщенного Z — преобразования.

Отметим, что разработка метода L , Z — уравнений разрешает также задачу описания динамики импульсно-модулированной системы произвольной структуры при наличии в системе многих ИЭ, имеющих индивидуальные программы замыканий в пределах одного общего для системы цикла.

2. Критерий Найквиста распространяется на многоконтурные системы со многими запаздываниями. Вводится понятие годографа Найквиста многоконтурной непрерывной системы как отображения мнимой оси главным определителем совокупности узловых изображающих уравнений многоконтурной системы. Следствием введения годографа Найквиста многоконтурной системы является распространение методов и результатов частотной теории на многоконтурные системы.

3. На основе метода L , Z — уравнений вводится понятие годографа Найквиста многоконтурной импульсной системы.

4. Задача об установлении эквивалентности полученного

Z — изображения оригиналу L — изображения формулируется и разрешается на основе аппроксимации годографа Найквиста построенной импульсной системы. Этот результат имеет несколько следствий.

а. Выводится аналитическое неравенство, позволяющее выбрать период T квантования по времени.

б. Методом частотных характеристик исследуются и выбираются формирующие устройства, обеспечивающие эквивалентность импульсной системы. Выводится правило соответствия формирующего устройства виду последовательно включаемого типового звена.

с. Отмечаются возможности обеспечения эквивалентности Z — изображения в специальных случаях также методом коррекции.

д. Формулируется правило корректной постановки динамической задачи как соответствия описания отдельных элементов общей структуре системы. За исходное принимается положение: бесконечно удаленная точка мнимой оси отображается годографом Найквиста физически реализуемой системы в начало координат.

5. Для оценки точности воспроизведения процесса Z — изображением вводится критерий, основанный на теореме В. А. Котельникова. Из этого следует второе аналитическое неравенство для выбора периода T квантования по времени.

6. Операция перехода от L — изображения к Z — изображению формализуется с помощью двух таблиц, адекватных подпрограммам вычислительной машины, а именно таблицы Z — изображений и таблицы импульсных передаточных функций простейших разомкнутых импульсных моделирующих систем.

7. Показывается критичность известного алгоритма для разложения в ряд Z — изображения дробно-рационального вида посредством деления Z — полиномов числителя и знаменателя. На основе методов структурного анализа разрабатывается устойчивый одноименный алгоритм, непосредственно формируемый из коэффициентов простых слагаемых, входящих в общее Z — изображение.

8. Формулировка основной задачи распространяется на случай стационарных случайных воздействий. Импульсная модель для вычисления среднеквадратичного отклонения строится как результат геометрической интерпретации формулы Н. Винера для автокорреляционной функции выходного сигнала.

IV. ПРАКТИЧЕСКИЙ ПРИМЕР

Приложение полученных результатов иллюстрируется на примере проектирования регулирующей системы пиролизического реактора.

На основе результатов обследования объекта разрабатывается структурная схема. Целесообразность ввода коррекции, обращающей систему в многоконтурную, анализируется частотными методами с помощью годографа Найквиста многоконтурной системы.

Вводится интегральная квадратичная оценка интеграла переходной функции ядра многоконтурной системы. Указанная оценка отличается, в частности, инвариантностью относительно структурных преобразований системы.

Для полученной двухконтурной системы с двумя запаздываниями на электронной вычислительной машине рассчитываются значения четырех параметров, минимизирующих принятую оценку, эффективность которой подтверждается анализом процессов регулирования.

ВЫВОДЫ

Преобразование Лапласа интерпретируется как символический язык, позволяющий реализовать автоматическое программирование универсальных электронных вычислительных машин для автоматического расчета систем регулирования произвольной структуры в пространстве изменяемых параметров.

ЛИТЕРАТУРА

1. Крюкшанк А. Д. Методы анализа линейных и нелинейных систем регулирования, основанные на применении временных последовательностей и преобразований. Труды I Международного конгресса Международной федерации по автоматическому управлению. Т. 2, Теория дискретных и оптимальных самонастраивающихся систем, Изд-во АН СССР, 1961, стр. 44—62.

2. Бурштейн И. М. Метод решения уравнений многоконтурных импульсных систем. Автоматика и телемеханика, т. XXII, № 12, 1961, стр. 1689—1693.

3. Бурштейн И. М. Импульсное моделирование многоконтурных систем. Автоматика и телемеханика, т. XXIV, № 7, 1963, стр. 988—995.