

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ТЕПЛОВЫМ АГРЕГАТОМ С ТИПОВЫМИ ПРОМЫШЛЕННЫМИ РЕГУЛЯТОРАМИ

Приведены результаты исследования возможности расчетов параметров регулятора с широтно-импульсным модулятором по методам расчетов аналоговых ПИД-регуляторов.

Наведені результати дослідження можливості розрахунків параметрів регулятора із широтно-імпульсним модулятором за методами розрахунків аналогових ПІД-регуляторів.

The research results of the possible parameter calculations of a regulator, with the pulse-width modulator, using analogue PID-regulator calculation methods are presented.

В системах автоматического управления особое место занимают тепловые объекты. Они выделены в особый класс потому, что характеризуются большой инерционностью. Тепловые объекты с точки зрения математического описания рассматриваются совместно с датчиками температуры. За счет этого в математическом описании объекта управления появляется запаздывание. Таким образом математическое описание большинства тепловых объектов имеют одинаковую структуру математического описания, определяемого по кривой разгона.

С конструктивной точки зрения тепловые объекты можно разделить на два больших класса: с тепловыми элементами с приводными электрическими исполнительными механизмами типа МЭО и нагревателями, холодильниками без исполнительных механизмов.

Чаще всего на нижнем уровне управления для реализации задач стабилизации температуры используются релейные или импульсные регуляторы [1]. Релейные регуляторы используются там, где не выдвигаются серьезные требования к статическим и динамическим характеристикам показателей качества работы системы. Импульсные регуляторы, могут в зависимости от типа нагревателя реализовывать классические законы управления. Характерной особенностью таких регуляторов является широтно-импульсная модуляция выходного сигнала.

Для релейных систем автоматического управления существуют хорошо разработанные теоретические методы расчета параметров установившихся колебаний управляемого параметра, да и компьютерное моделирование не вызывает никаких затруднений.

Иное дело ПИД-регуляторы с ШИМ- модуляцией выходного сигнала. Расчет таких регуляторов с инженерной точки зрения затруднен и в большинстве случаев носят эмпирический рекомендательный характер [2].

В рассматриваемой работе сделана попытка представить тепловой агрегат с нагревателем с приводным электрическим механизмом и промышленным регулятором фирмы ЭЛЕМЕР в виде линейной системы для небольших отклоне-

ний управляемого параметра. Рассчитать параметры регулятора используя методы корневого годографа или логарифмические частотные характеристики в программе пакета Matlab, Sisotool. Выполнить компьютерное моделирование с линейным регулятором и с импульсным. Сравнить полученные результаты по переходным характеристикам и проверить результат на реальном объекте.

Для физического моделирования и исследования работы АСР температуры электропечи была создана лабораторная установка в составе объекта управления – электропечь с возмущением в виде потока воздуха от вентилятора и АСР температуры, состоящей из промышленных средств получения информации, промышленного регулятора и другой аппаратуры.

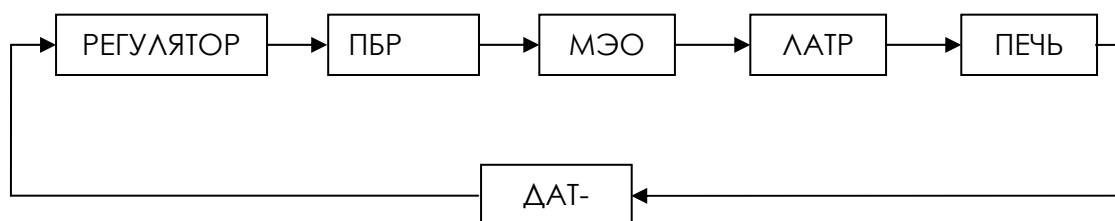


Рис. 1. Схема функциональной структуры АСР температуры в электрической печи

Для идентификации апериодического звена второго порядка метод Ормана есть наилучшим, поскольку он не требует находить точку перегиба на кривой, что возможно осуществить лишь приблизительно.

Тогда для идентификации ОР нужно определить четыре параметра: коэффициент передачи K , постоянную времени T , коэффициент демпфирования ξ и время запаздывания τ .

Для построения математической модели объекта управления использовался метод восстановления параметров модели по эмпирическим данным. Для этого с помощью лабораторной установки была получена экспериментальная кривая разгона печи для исследования объекта управления и построения его математической модели. Результат экспериментального переходного процесса (кривая разгона печи) приведен на рисунке 2.

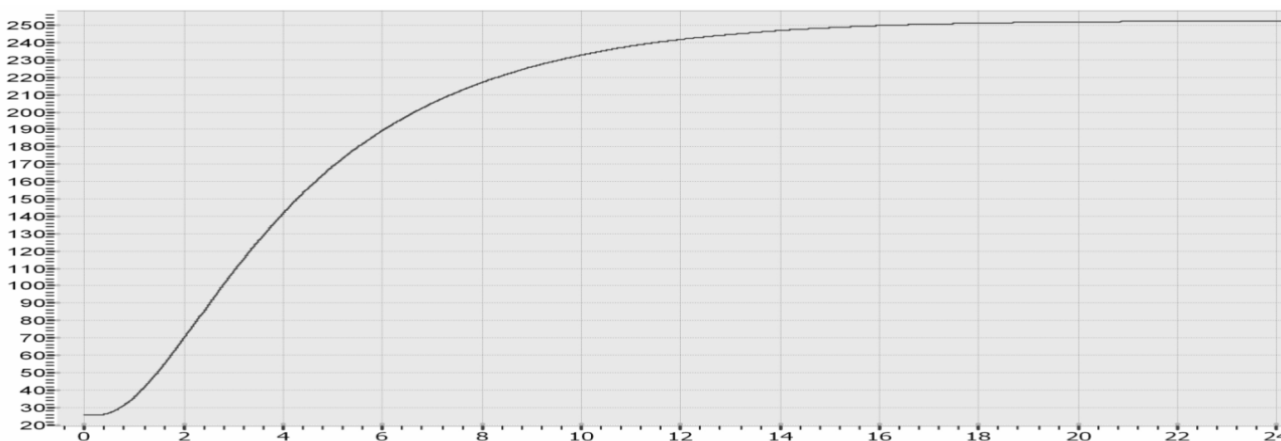


Рис. 2. Экспериментальная кривая разгона печи

Для исследования работы ШИМ-регулятора при различных настройках, построена математическая модель системы управления температурным режимом нагревательной печи.

Структурная схема системы представлена на рисунке 3.

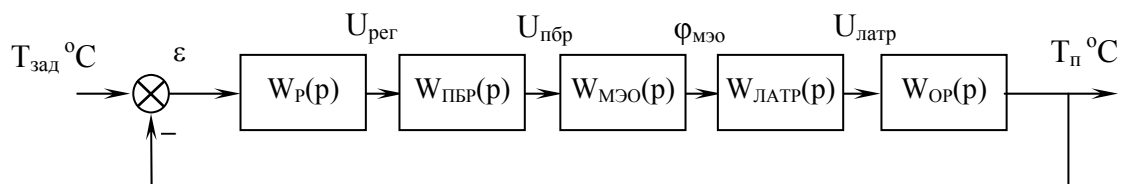


Рис. 3. Структурная схема исследуемой САУ.

$W_p(p)$ – передаточная функция регулятора; $W_{пбр}(p)$ – передаточная функция пускателя; $W_{мэо}(p)$ – передаточная функция МЭО; $W_{латр}(p)$ – передаточная функция ЛАТРа; $W_{оп}(p)$ – передаточная функция ОР.

При моделировании тепловых агрегатов печь и датчик температуры объединяют и считают их как объект управления. Следовательно, передаточная функция ОР будет равна произведению передаточной функции печи на передаточную функцию датчика температуры:

$$W_{оп}(p) = W_{печи}(p) * W_{д.т}(p) = \frac{K}{T^2 p^2 + 2\xi T p + 1} \quad (1)$$

Особенностью объекта регулирования является наличие временного запаздывания. Отсутствие инженерных методов расчета усложняет расчет регуляторов в системах с чистым запаздыванием.

Однако звено транспортного запаздывания может быть представлено последовательным соединением цепочки апериодических звеньев. Таким способом мы можем исключить нелинейность [3].

Для более простого метода расчета настроек регулятора разложим $e^{-p\tau}$ в дробный ряд Пада по формуле 2 и ограничимся первыми двумя членами:

$$W(p) = e^{-p\tau} = \frac{A - Bp + Cp^2 - Dp^3}{A + Bp + Cp^2 + Dp^3} \quad (2)$$

где $A=1$, $B=0,5\tau$, $C = \frac{\tau^2}{8}$, $D = \frac{\tau^3}{48}$ при $\tau = 20c$.

При этом передаточная функция звена чистого запаздывания примет вид:

$$W(p) = e^{-p\tau} = \frac{1 - 10p}{1 + 10p} = \frac{1}{1 + 10p} - \frac{10p}{1 + 10p}$$

Ошибка такой замены оценивается, как разность характеристики, построенной с помощью модели объекта с чистым запаздыванием $e^{-p\tau}$ и характеристики объекта с запаздыванием, разложенным в ряд Пада. Интегральная ошибка составила $0,003^0C$, что составляет $0,001\%$ от максимального значения температуры.

Рассчитываем линейный регулятор для этой системы и рассмотрим задачу системы около точки заданной температуры и выберем период ШИМ сигнала (период дискретизации) в 5-10 раз больше чем наибольшая существенная частота, пропускаемая объектом [4].

Добавив в модель регулятора ШИМ-преобразователь сравним переходные характеристики системы с линейным регулятором и регулятором фирмы «ЭЛЕМЕР».

В пакете MATLAB задав передаточную функцию ОР и предполагаемого регулятора, вызываем команду `sisotool`. В окне Open-Loop Bode Editor корректируем желаемую ЛАЧХ разомкнутого контура (рисунок 4). Пропорциональный и дифференциальный коэффициенты передачи регулятора равны соответственно $K_p=0,003$, $K_d=0,01$.

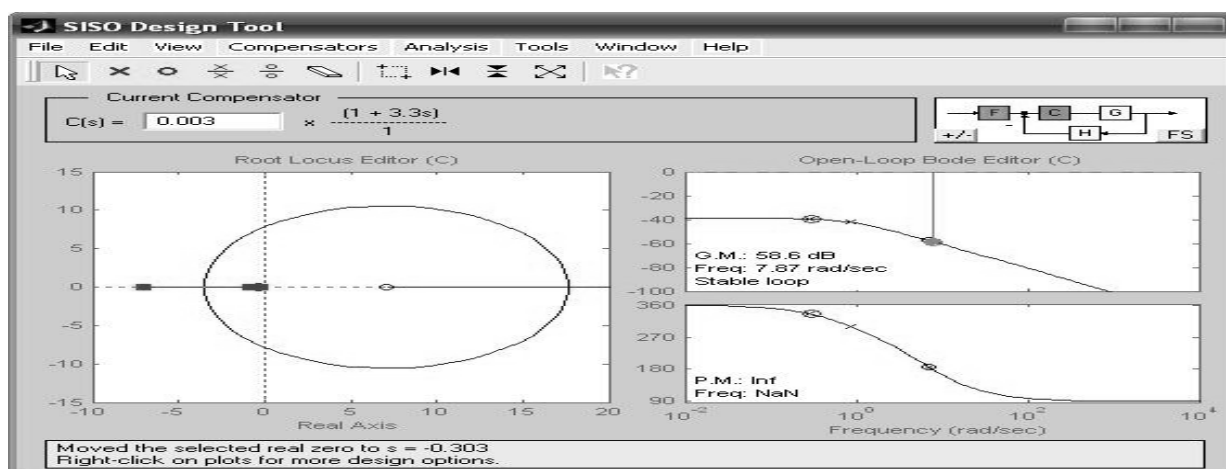


Рис. 4. Окно Open-Loop Bode Editor

Для моделирования регулятора с широтно-импульсной модуляцией разработан модель широтно-импульсного модулятора.

Ниже приведены графики переходных процессов в системе регулирования температуры с широтно-импульсным модулятором (рисунок 5).

Для оценки возможности применения регулятора с широтно-импульсной модуляцией применяем интегральный критерий. Интегральная ошибка составила 0.79°C , что составляет 0,3% от максимального значения температуры.

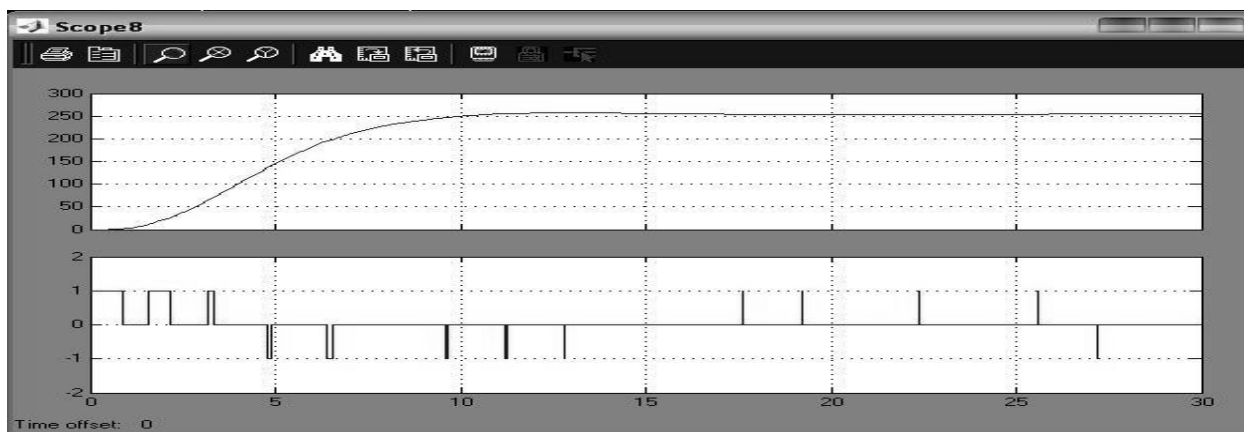


Рис. 5. Графики переходных процессов

Графики изменения ошибки регулирования в системе с аналоговым регулятором и ШИМ-регулятором приведен на рисунке 6.

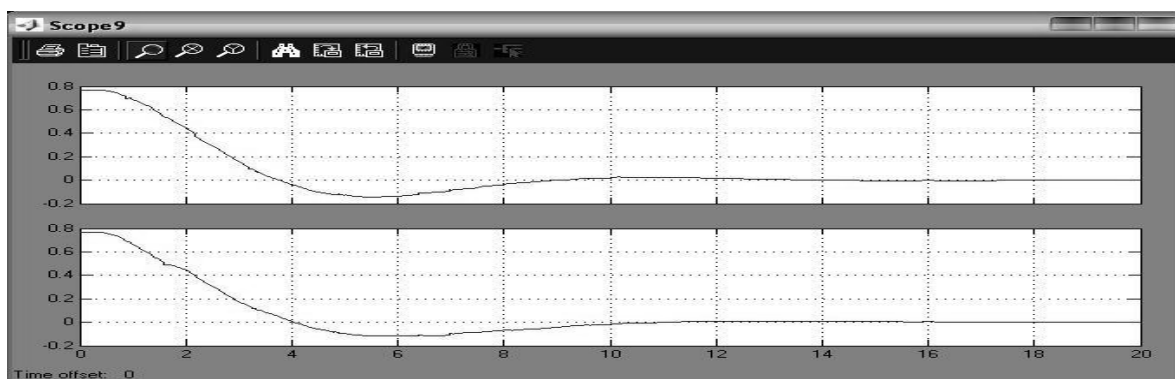


Рис. 6. Графики изменения ошибки регулирования

Принимаем достаточным такое приближение модели системы с линейным регулятором и системы с ШИМ-регулятором.

Вывод: в работе показано, что расчет настроек регулятора с широтно-импульсным модулятором в системах регулирования температуры с передаточной функцией вида $W(p) = \frac{K}{T^2 p^2 + 2\xi T p + 1} e^{-P\tau}$ можно проводить по методике расчета настроек линейного регулятора.

Список литературы

1. Ротач В.Я. Расчет настройки промышленных систем регулирования. М.-Л., Госэнергоиздат.,1961.344с.
2. Глишков Г.М., Климовский М.Д. Основы теории автоматического управления металлургическими процессами. - М.: Металлургия,1985.-324с.
3. Глишков М.А., Глишков Г.М. Общая теория печей. — М.: Металлургия, 1978.— 264 с.
4. Г.М. Глишков, В.А. Маковский, С.Л. Лотман, М.Р. Жапировский. Проектирование систем автоматического контроля и регулирования металлургических процессов. —М.: Металлургия, 1986. — 352 с.

*Рекомендовано до публікації д.т.н. Ткачовим В.В.
Надійшла до редакції 19.05.11*

УДК 681.5.015.3

© В.Л. Соседка, Р.А. Мазур

МОДИФИЦИРОВАННЫЙ МЕТОД МОМЕНТОВ ДЛЯ ИДЕНТИФИКАЦИИ ПАРАМЕТРОВ ЛИНЕЙНЫХ НЕПРЕРЫВНЫХ ОБЪЕКТОВ

Усовершенствован метод моментов, применяющийся для идентификации параметров линейных непрерывных объектов. В результате сняты теоретические ограничения на вид передаточной функции объекта, формализован алгоритм идентификации.

Вдосконалено метод моментів, що використовується під час ідентифікації параметрів лінійних безперервних об'єктів. В результаті знято теоретичні обмеження щодо виду передавальної функції об'єкту, формалізовано алгоритм ідентифікації.