

САМОНАСТРОЙКА ПИД-РЕГУЛЯТОРА НА ОСНОВЕ РЕЛЕ С ОБРАТНОЙ СВЯЗЬЮ

Лю Фан

Лю Фан – студент,
кафедра автоматике и компьютерных систем,
Институт кибернетики
Томский политехнический университет, г. Томск

Аннотация: целью работы является анализ качества переходных процессов для теплового объекта с ПИД-регулятором, коэффициенты которого получены на основе метода с релейной обратной связью. Полученный результат показывает качественное преимущество исследованного метода настройки коэффициентов ПИД-регулятора.

Ключевые слова: ПИД-регулятор, качество регулирования, метод на основе реле с обратной связью.

Описание объекта

Исследуемый объект представлен на рисунке 1.

В камере 1 размещен тепловой нагреватель 2 с воздушным охлаждением. Нагрев выполняется постоянно от источника напряжением переменного тока VAC 3. Температура измеряется терм сопротивлением 4 и регулируется изменением воздушного потока, направленного на нагреватель. Воздушный поток создаётся вентилятором 5, который приводится в действие трёхфазным асинхронным двигателем 6. Производительность двигателя регулируется частотным преобразователем 7, управление которым выполняет микроконтроллер, реализующий ПИД-закон регулирования 8.

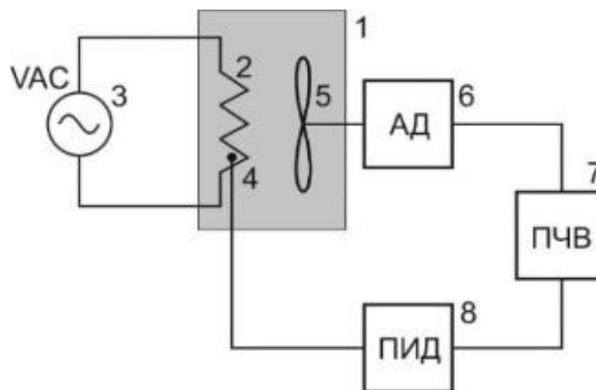


Рис. 1. Функциональная схема объекта

Идентификация объекта

Передаточная функция объекта управления, имеющего гладкую не колебательную переходную характеристику, представленную на рисунке 2, достаточно просто определяется с помощью графических методов [1,637]. Представим передаточную функцию объекта в виде апериодического звена первого порядка с чистым запаздыванием

$$W(s) = \frac{k}{Ts+1} * e^{-\tau*s}, \quad (1)$$

где k – статический коэффициент передачи; τ – время запаздывания; T – постоянная времени объекта.

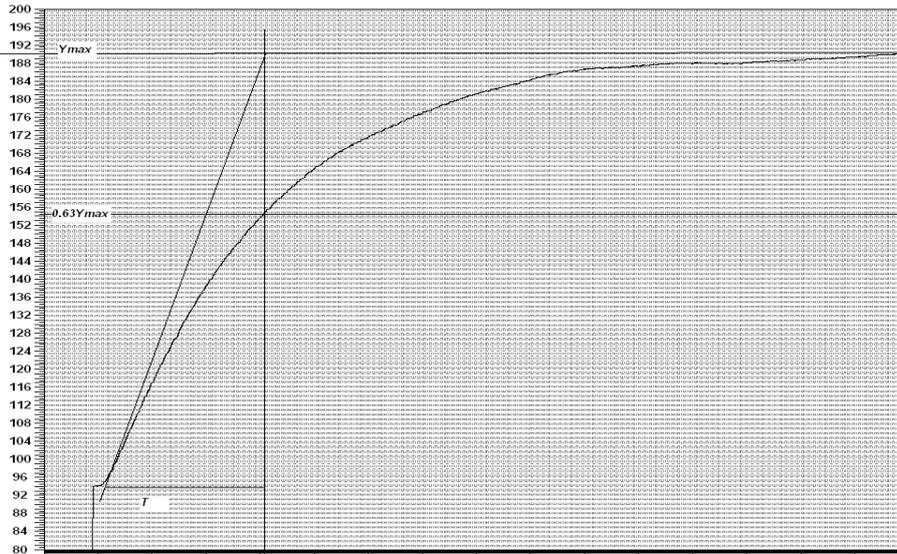


Рис. 2. Переходная характеристика объекта

С учетом полученных значений выражение (1) принимает следующий вид

$$W(s) = \frac{1,92}{180s + 1} e^{-15s} \quad (2)$$

Коэффициент передачи определяется как отношение изменения выходного сигнала (температуры объекта) к вызвавшему это изменение входного сигнала (изменение частоты питающего напряжения).

ПИД регулятор имеет следующую структуру:

$$U(s) = K_p \left(1 + \frac{1}{T_i s} + T_d * s \right) = K_p + K_i \frac{1}{s} + K_d * s. \quad (3)$$

где: K_p, K_i, K_d коэффициенты усиления пропорциональной, интегрирующей и дифференцирующей составляющих регулятора соответственно

В работах Астрема и Хаглунда приведен метод самонастройки регулятора [2], который в настоящее время является самым распространённым методом в коммерческих ПИД-регуляторах с автонастройкой. Он использует свойство замкнутой динамической системы с отрицательной обратной связью генерировать незатухающие колебания на частоте фазового сдвига -180° при петлевом усилении $K_{180} \geq 1$. Суть метода достаточно просто и понятно описана в [2,88].

Алгоритм метода следующий.

В режиме автонастройки в контур отрицательной обратной связи включается релейное звено, благодаря которому возбуждаются незатухающие колебания.

Для полученных незатухающих колебаний рассчитываются:

- период колебаний T_u ;

- коэффициент передачи на границе устойчивости K_u ,

по которым, с использованием эмпирических выражений, определяются коэффициенты регулятора. После чего система переходит в режим регулирования.

Структурная схема самонастройки представлена на рисунке 3.

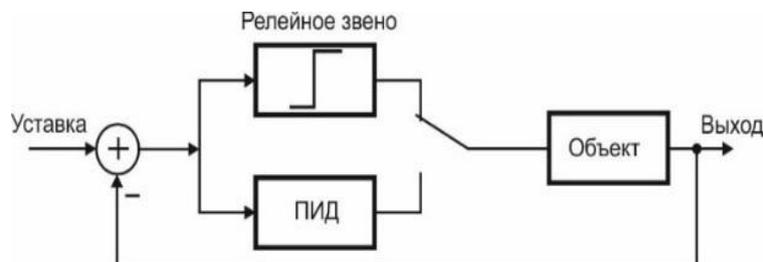


Рис. 3. Структурная схема самонастройки на основе релейной обратной связи

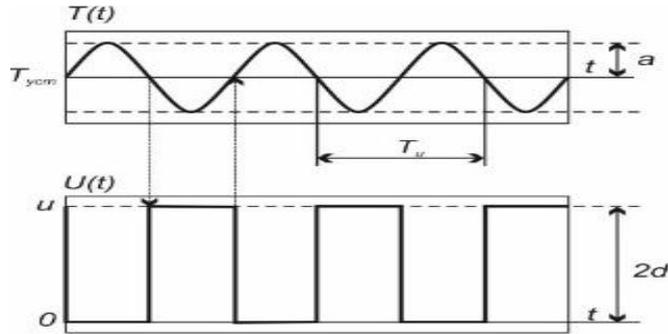


Рис. 4. Диаграмма входных и выходных сигналов на основе релейной обратной связи

Выходной сигнал $T(t)$ представляет собой кривую по форме близкую к синусоиде, которая имеет фазовый сдвиг относительно входного сигнала $u(t)$ равный π . Форма выходного сигнала объясняется тем, что объект является мощным фильтром, существенно ослабляющим высшие гармоники. По сути, на выходе объекта наблюдается первая гармоника от последовательности прямоугольных импульсов на входе.

Период установившихся колебаний T_u определяется непосредственно по графику, коэффициент передачи K_u определяется следующим образом [3].

Если размах прямоугольных импульсов на входе объекта равен $2d$, то амплитуда первой гармоники этих импульсов равна $4d/\pi$. Если обозначить амплитуду первой гармоники выходного сигнала через a , то искомый коэффициент передачи системы будет равен отношению амплитуды на выходе к амплитуде на входе $K_{180} = \frac{\pi a}{4d}$.

Чтобы вывести систему на границу устойчивости необходимо чтобы коэффициент петлевого усиления был равен 1. Это означает, что необходим дополнительный коэффициент K_u , равный

$$K_u = \frac{1}{K_{180}}$$

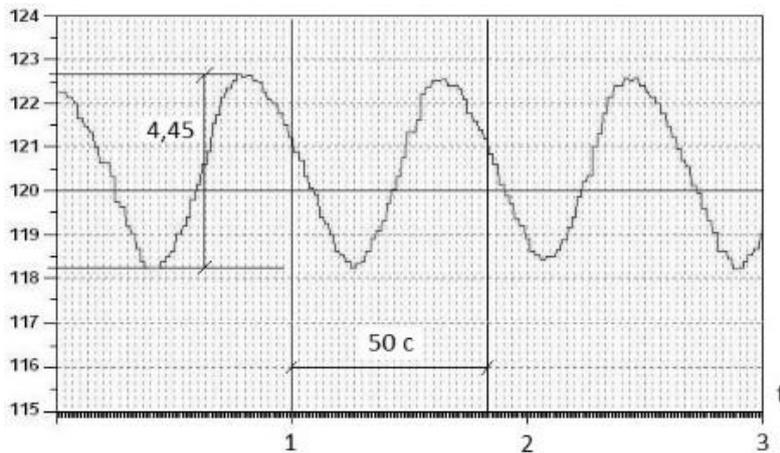


Рис. 5. Автоколебания в реальной системе при релейном изменении входного сигнала

По графику определяем $T_u \approx 50$ и рассчитываем $K_u = 14,15$

Значения параметров регулятора рассчитываются по формулам, приведенным в таблице 1, результаты вычислений приведены в таблице 2.

Таблица 1. Выражения для коэффициентов регулятора

	K	K_i	K_d
ПИ-регулятор	$0,45 \cdot K_u$	$0,54 \cdot K_u / T_u$	
ПИД-регулятор	$0,6 \cdot K_u$	$1,2 \cdot K_u / T_u$	$0,75 \cdot K_u \cdot T_u$

Таблица 2. Расчетные значения коэффициентов регулятора

	К	K_i	K_d
ПИ-регулятор	1,314	0,02252	
ПИД-регулятор	1,752	0,05	15,33

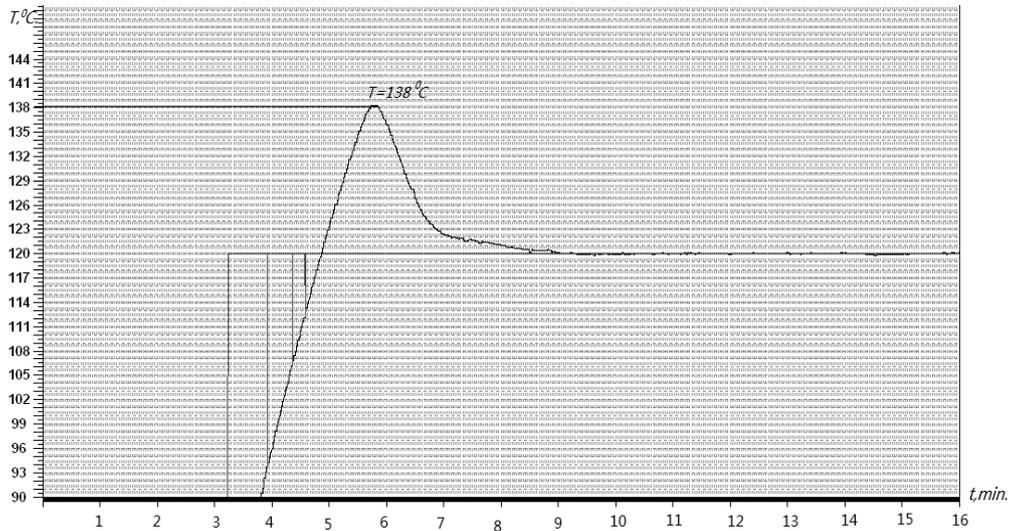


Рис. 6. Переходный процесс в системе с ПИ-регулятором

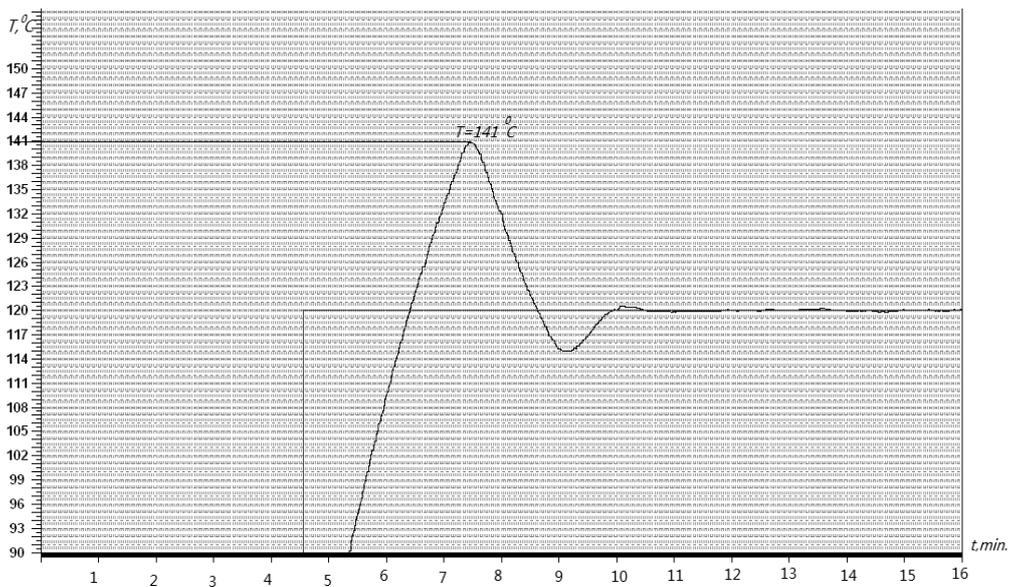


Рис. 7. Переходный процесс в системе с ПИД-регулятором

Заключение

Метод настройки коэффициентов на основе реле с обратной связью, хоть и являются более сложными и не всегда реализуемыми на реальном объекте, даёт достаточный хороший результат.

Список литературы

1. Åström K.J. Revisiting the Ziegler-Nichols step response method for PID control [Text] / K.J. Åström, T. Hägglund // Journal of process control. 2004. Vol. 14. N 6. P. 636-650.
2. Денисенко В. ПИД-регуляторы: вопросы реализации. СТА №1/2008, С. 87-99.