

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ МЕТОДОВ НАСТРОЙКИ ПИД-РЕГУЛЯТОРОВ

Лю Фан

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

Аннотация: в настоящей работе рассмотрены методы настройки коэффициентов ПИД-регулятора, основанные на анализе передаточной функции объекта, без каких-либо экспериментов. В сравнении с методом Циглера-Никольса [1, с. 759], который, в частности, предполагает вывод системы на границу устойчивости, исследуемые метод не требуют этого. Использование предложенных методов дает хорошие результаты.

Ключевые слова: ПИД-регулятор, регулятора с внутренней моделью, амплитудно-фазовой запас, Циглера-Никольса.

Пропорционально-интегрально-дифференциальные (ПИД) регуляторы и их различные комбинации является наиболее часто используемыми алгоритмами в промышленных системах регулирования. Благодаря универсальной структуре, в которой сочетаются прошлое настоящее и будущее, ПИД-регуляторы предлагают самые простые, эффективное и интуитивно понятные решение многих проблем автоматизации. Вместе с тем процесс настройки параметров ПИД-регулятора является важной технической задачей, от которой напрямую зависит стабильность и производительность объекта управления.

Структурная схема системы с ПИД-регулятором

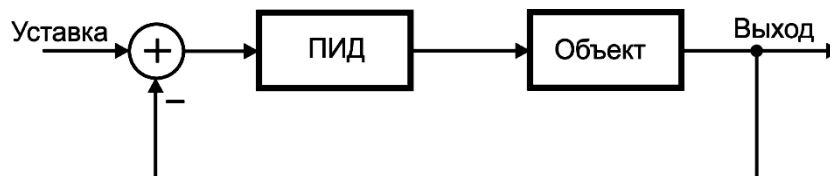


Рис. 1. Структурная схема замкнутой системы

Пропорционально-интегрально-дифференциальный выходной сигнал регулятора $U(s)$ определяется тремя слагаемыми:

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

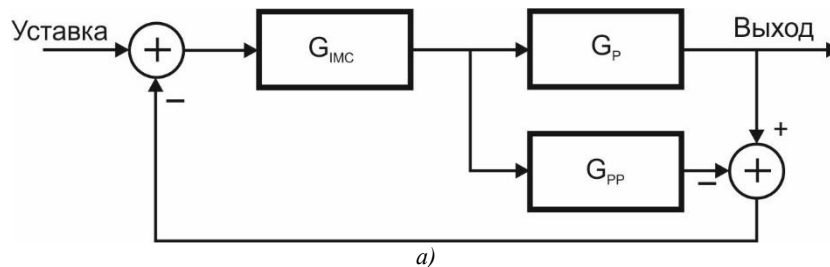
Передаточная функция реального теплового объекта управления по результатам идентификации графическим методом получена в виде апериодического звена первого порядка с чистым запаздыванием

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

Расчёт параметров настройки ПИД-регулятора

Метод настройки параметров ПИД-регулятора на основе регулятора с внутренней моделью (ИМС).

Структурная схема системы на основе регулятора с внутренней модели представлена на рисунке 2а, преобразование системы представлено на рисунке 2б [2, с. 78].



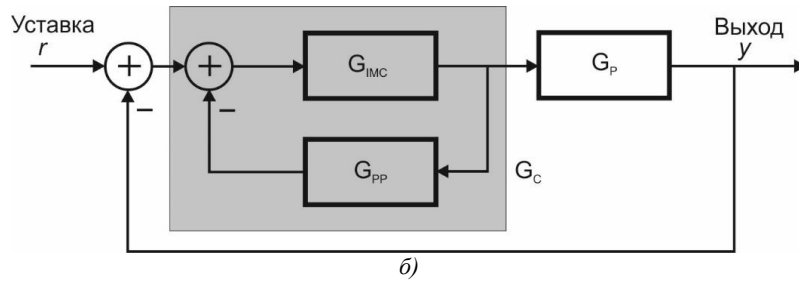


Рис. 2. Структурная схема на основе регулятора с внутренней моделью

$$G_c(s) = \frac{G_{IMC}(s)}{1 - G_{IMC}(s)G_{pp}(s)} \quad (3)$$

Если математическая модель объекта управления точная $G_{pp}(s) = G_p(s)$, тогда

$$W(s) = \frac{k_m}{Ts + 1} * e^{-\tau*s} = \frac{1,92}{180s + 1} * e^{-15*s}$$

$$\frac{Y(s)}{r(s)} = \frac{G_c(s)G_p(s)}{1 + G_c(s)G_p(s)} \quad (4)$$

где $G_{IMC}(s)$ - регулятор с внутренней моделью;

$G_p(s)$ - объект управление;

$G_{pp}(s)$ - математическая модель объекта управления;

Заменяем задержку $e^{-\tau*s}$ Паде – аппроксимацией первого порядка

$$e^{-\tau*s} \approx \frac{1 - \frac{\tau*s}{2}}{1 + \frac{\tau*s}{2}} \quad (5)$$

и поставить формулу (5) в формулу (2):

$$G_p(s) = \frac{K}{Ts+1} * \frac{1 - \frac{\tau*s}{2}}{1 + \frac{\tau*s}{2}} \quad (6)$$

Представим (6) в следующем виде

$$G_p(s) = G_{M+}(s) * G_{M-}(s), \quad (7)$$

где $G_{M-}(s)$ - минимальная фазовая часть объекта

$$G_{M-}(s) = \frac{K}{Ts+1} * \frac{1}{1 + \frac{\tau*s}{2}};$$

$G_{M+}(s)$ – часть объекта с положительным корнем

$$G_{M+}(s) = 1 - \tau * \frac{s}{2}$$

Тогда конструкция регулятора IMC будет выглядеть следующим образом:

$$G_{IMC}(s) = \frac{F(s)}{G_{M-}(s)} \quad (8)$$

где $F(s) = \frac{1}{(\lambda s + 1)^\nu}$ - фильтр нижних частот, λ параметр фильтра, выбираемый экспериментально.

Перейдём к традиционной схеме ПИД-регулятора (рисунок 1), из которой следует, что

$$K_p \left(1 + \frac{1}{T_i s} + T_d * s \right) = G_c(s) = \frac{G_{IMC}(s)}{1 - G_{IMC}(s)G_{pp}(s)} \quad (9)$$

Приведём правую часть выражения (9) к виду левой части

$$K_p = \frac{T + \frac{\tau}{2}}{k_m(\lambda + \frac{\tau}{2})};$$

$$T_i = T + \frac{\tau}{2};$$

$$T_D = \frac{T * \tau}{2(T + \frac{\tau}{2})}.$$

На рисунке 4 представлен переходный процесс для $\lambda = 30$, при этом значении постоянной фильтра

$$K_p = 2,6, T_i = 187,5, T_D = 1,065.$$

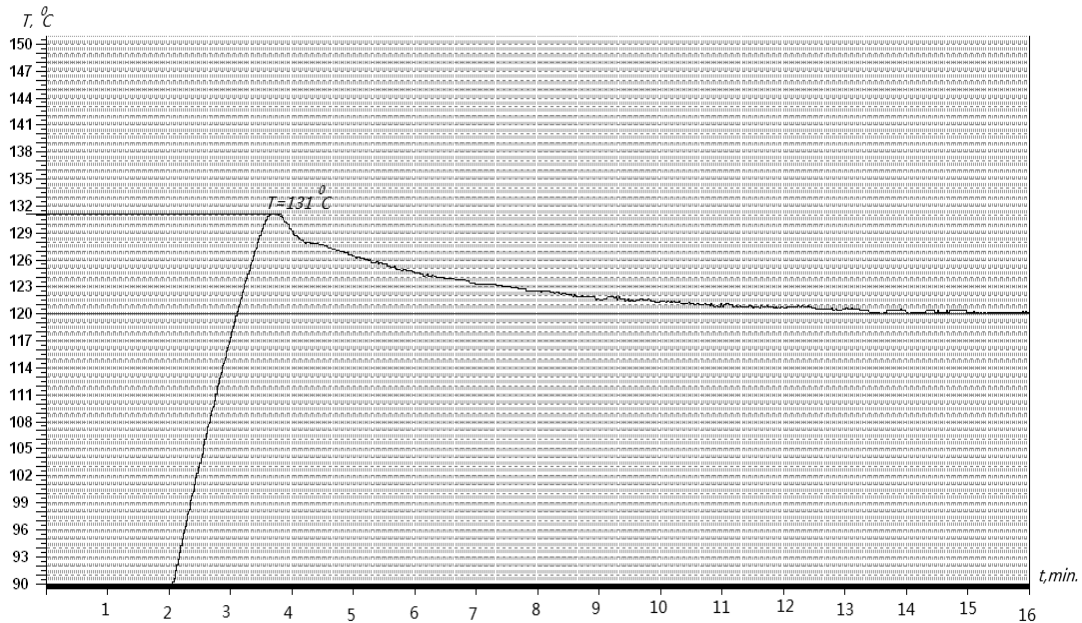


Рис. 4. Переходные процессы на реальном объекте в системе с ПИД-регулятором, коэффициенты которого получены на основе регулятора с внутренней моделью

Как видно из рисунка 4, ПИД-регулятор, коэффициенты которого получены на основе внутренней модели, даёт достаточно хороший результат. Несмотря на то, что процесс колебательный, он достаточно быстро заужает. Перерегулирование составляет 8,3%.

Метод настройки параметров ПИД-регулятора на основе амплитудно-фазового запаса

Представим выражение для ПИД-регулятора в следующем виде

$$U(s) = K_p + K_i \frac{1}{s} + K_d * s = k * \left(\frac{A * s^2 + B * s + C}{s} \right),$$

где $A = \frac{K_d}{k}, B = \frac{K_p}{k}, C = K_i/k.$

Необходимо выбрать такие значения A, B, C, чтобы компенсировать отрицательный полюс в W (s)

$$A=0; B=T/k_m; C=1/k_m$$

В результате получим

$$W(s)U(s) = k * e^{-\tau*s} / s \quad (10)$$

Значение k зависит от амплитудно-фазового запаса. Рассмотрим амплитудный запас A_m и фазовый запас Φ_m и соответствующие им частоты ω_g , ω_p соответственно

$$\arg[W(j\omega_g)G(j\omega_g)] = -\pi; \quad (11)$$

$$A_m |W(j\omega_g)G(j\omega_g)| = 1; \quad (12)$$

$$|W(j\omega_p)G(j\omega_p)| = 1; \quad (13)$$

$$\pi + \arg[W(j\omega_p)G(j\omega_p)] = \Phi_m \quad (14)$$

из уравнений (11) - (14) следует

$$\omega_g \tau = \frac{\pi}{2};$$

$$A_m = \frac{\omega_g}{k};$$

$$k = \omega_p;$$

$$\Phi_m = \frac{\pi}{2} - \omega_p \tau;$$

$$\Phi_m = \frac{\pi}{2} \left(1 - \frac{1}{A_m}\right)$$

Обычно рекомендуемый запас по амплитуде $2 \sim 5$, а запас по фазе в диапазоне, $30 \sim 60$. Примем $A_m=3$, а $\Phi_m=60^\circ$. Из простых вычислений получим

$$k = \frac{\pi}{2 * A_m * \tau} = \frac{\pi}{6\tau}$$

и соответствующие заданным значениям A_m и Φ_m параметры ПИД-регулятора

$$K_p = \frac{\pi}{6\tau} * T; \quad K_i = \frac{\pi}{6\tau}; \quad K_d = 0.$$

Численные значения коэффициентов $K_p = 3,27, K_i = 0,018 (Ti = 181,6), K_d = 0$.

На рисунке 4 представлен переходный процесс для объекта с ПИД-регулятором, коэффициенты которого получены на основе амплитудно-фазового запаса.

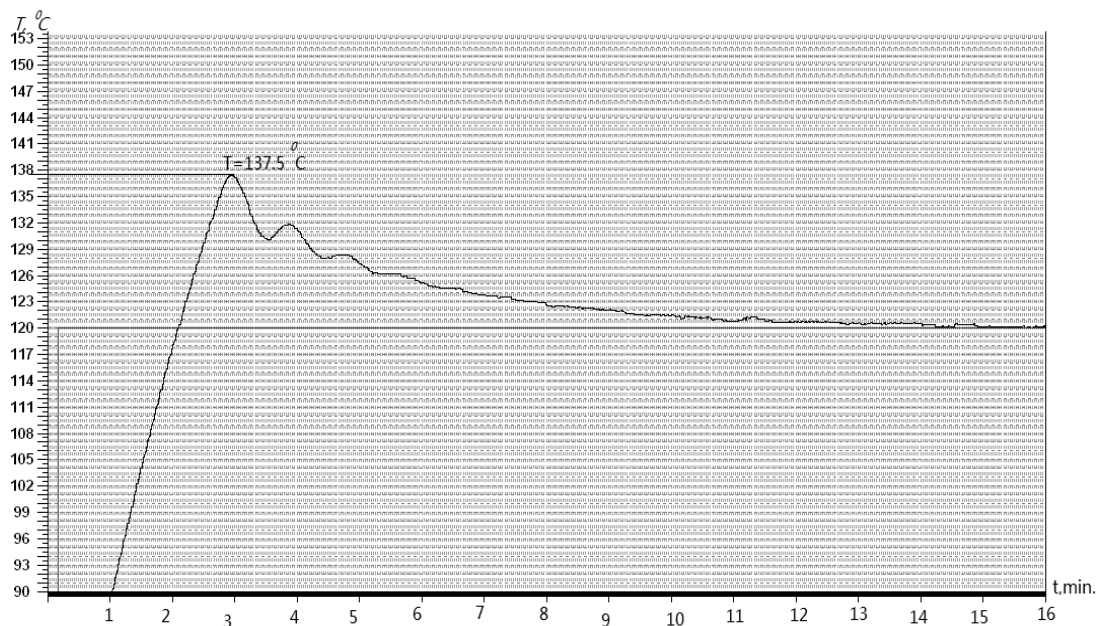


Рис. 5. Переходные процессы в системе с ПИД-регулятором на основе амплитудно-фазового запаса

Из рисунка следует, что для ПИД-регулятора метод на основе амплитудно-фазового запаса даёт также хороший результат. Перерегулирование составляет 14,16%.

Заключение

В работе рассмотрены методы настройки ПИД-регулятора на основе регулятора с внутренней моделью (ИМС) и амплитудно-фазового запаса. Оба метода дают практически одинаковые достаточно хорошие для теплового объекта результаты.

Список литературы

1. Ziegler J.G., Nichols N.B. Optimum settings for automatic controllers // Trans. ASME. 1942. Vol. 64. P. 759–768.
2. Денисенко В. ПИД-регуляторы: принципы построения и модификации. СТА №1/2007, с. 78-88.