

АНАЛИТИЧЕСКОЕ КОНСТРУИРОВАНИЕ СИСТЕМ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ НА БАЗЕ ПЕРЕДАТОЧНЫХ ФУНКЦИЙ ОПТИМАЛЬНЫХ РЕГУЛЯТОРОВ

Кулаков Г.Т., Кулаков А.Т., Воюш Н.В.

Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь

Современная теория автоматического управления позволяет создавать высококачественные автоматические системы аналитическими методами [1,2]. Достоинства формирования оптимальных структур систем автоматического регулирования (САР) аналитическими методами покажем на примере формирования инвариантной каскадной системы автоматического регулирования (ИКСАР) с использованием передаточных функций оптимальных регуляторов.

На рисунке 1 приведены структурные схемы ИКСАР сформированной с использованием аналитических экспресс-методов структурно-параметрической оптимизации динамических систем [2] и типовой САР с дифференциатором (САРД) со штатными параметрами первого впрыска котла №2 ТГМП-114 Лукомльской ГРЭС ($k_p = 1^{T/4}/0C$; $T_n = 6c$; $k_d = 1,5$; $T_d = 99c$).

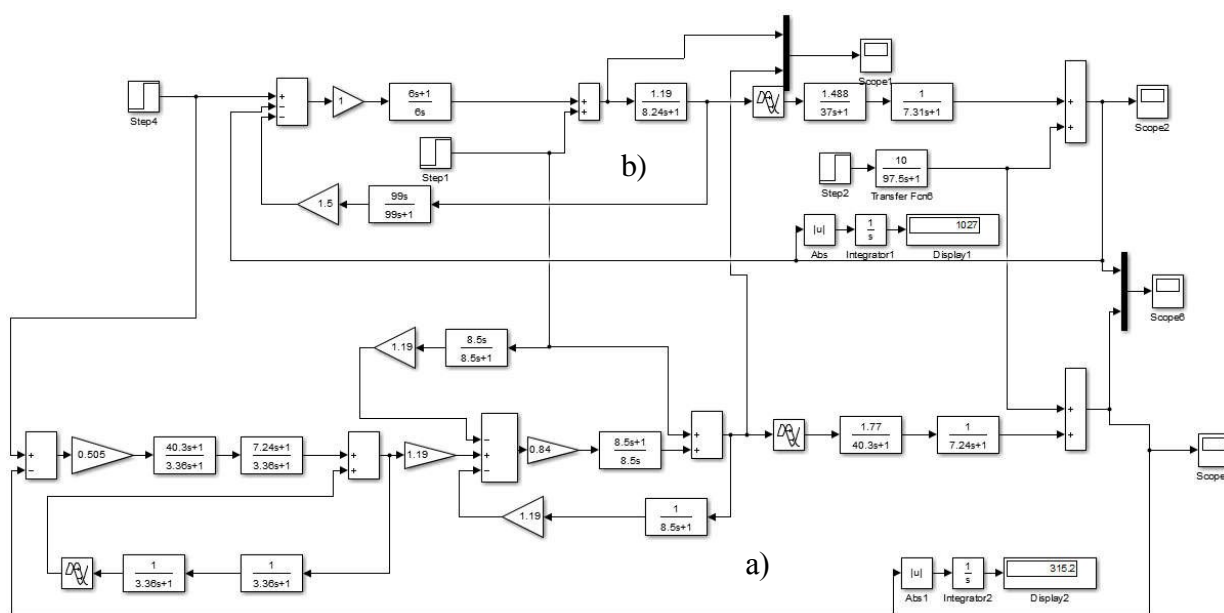


Рисунок 1 – Структурные схемы моделирования переходных процессов ИКСАР (а) и типовой САРД (б) в пакете Simulink

Формирование структурной схемы ИКСАР начинаем с выбора оптимальной структуры стабилизирующего регулятора (СР) на основе передаточной функции опережающего участка:

$$W_{оп}(s) = \frac{1,19}{8,5s+1}, \quad (1)$$

где $k_{оп}$ – коэффициент передачи, °C/Т/ч; $T_{оп}=8,5$ – постоянная времени, с.

Так как передаточная функция опережающего участка (1) не содержит запаздывания, то передаточная функция оптимального СР примет вид [2]:

$$W_{p1}^{opt}(s) = \frac{T_{оп}s+1}{k_{оп}T_{зд1}s} = \frac{k_{p1}(T_{н1}s+1)}{T_{н1}s}, \quad (2)$$

где численное значение коэффициента передачи стабилизирующего регулятора:

$$k_{p1} = \frac{T_{оп}}{k_{оп}T_{зд1}} = \frac{1}{k_{оп}} = 0,84 \text{ Т/ч/}^{\circ}\text{C}, \quad \text{а время интегрирования } T_{н1} = T_{оп} = T_{зд1} = 8,5 \text{ с.}$$

Если между корректирующим (КР) и стабилизирующим регуляторами установить дополнительный усилитель с коэффициентом передачи опережающего участка $k_{оп}$ (рис. 1), то внутренний контур САР превратится в усилитель с коэффициентом передачи, равным единице. Это позволяет определить структуру КР только по передаточной функции главного участка объекта:

$$W_{гл}(s) = \frac{k_{гл}e^{-\tau_y s}}{(T_{гл}s+1)(\sigma_{гл}s+1)} = \frac{1,77e^{-21,2s}}{(40,3s+1)(7,24s+1)}, \quad (3)$$

где $k_{гл}$ – коэффициент передачи главного участка объекта, °C/Т/ч; $T_{гл}$, $\sigma_{гл}$ – соответственно большая и меньшая постоянные времени передаточной функции (3), с; τ_y – условное запаздывание по каналу регулирующего воздействия, с.

Так как передаточная функция (3) содержит запаздывание, то передаточная функция оптимального КР примет следующий вид [2]:

$$W_{p2}^{opt}(s) = [W_{гл}(s)]^{-1} \frac{W_{зд2}^{3C}(s)}{1-W_{зд2}^{3C}(s)} = W_{\phi}(s) \frac{1}{1-W_{зд2}^{3C}(s)}, \quad (4)$$

где $[W_{гл}(s)]^{-1}$ – обратная передаточная функция главного участка объекта; $W_{зд2}^{3C}(s) = \frac{e^{-\tau_y s}}{(T_{зд2}s+1)^2}$ – заданная передаточная функция замкнутой

системы при отработке скачка задания; $W_{\phi}(s) = \frac{W_{3C}(s)}{W_{гл}(s)}$.

Здесь $T_{зд2}$ – заданное значение единственного расчетного параметра оптимальной динамической настройки КР, которое определяют по формуле $T_{зд2} = \gamma\tau_y = 0,382 * 21,3 = 8,34$ [2].

В результате передаточная функция фильтра $W_{\phi}(s)$ будет равна:

$$W_{\phi}(s) = \frac{(T_{гл}s+1)(\sigma_{гл}s+1)}{k_{гл}(T_{зд2}s+1)^2} = \frac{(40,35s+1)(7,24s+1)}{1,77(0,382 \cdot 21,3s+1)^2}. \quad (5)$$

Таким образом, корректирующий регулятор ИКСАР реализован в виде последовательного соединения фильтра (5) и усилителя с единичным коэффициентом передачи, охваченного положительной обратной связи с заданной передаточной функцией $W_{зд2}^{3C}(s)$ замкнутой системы.

На рисунке 2 приведены графики переходных процессов в типовой САР с дифференциатором (кривая 1) и предлагаемой инвариантной относительно внутреннего возмущения каскадной системы автоматического регулирования (кривая 2).

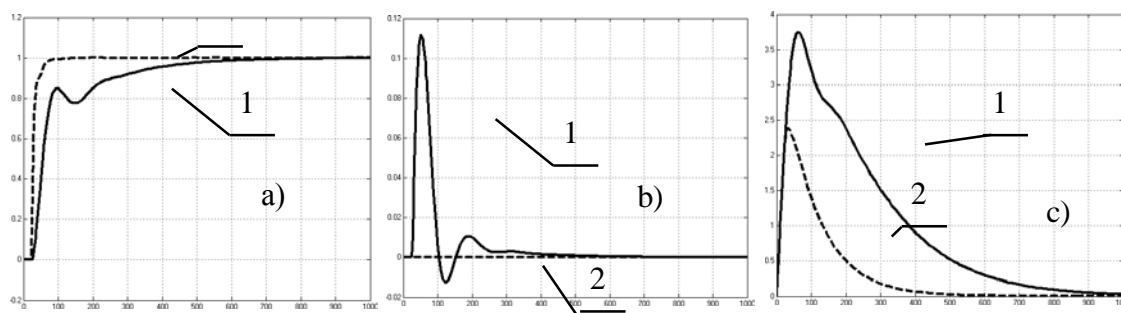


Рисунок 2 – Графики переходных процессов предлагаемой и типовой САРД температуры перегретого пара парового котла при отработке скачка задания

ИКСАР обеспечила полную инвариантность по отношению к внутреннему возмущению (прямая 2, рис. 2, *b*). Это достигается за счет ввода в систему регулирования дифференциатора инвариантности, передаточная функция которого обратно пропорциональна передаточной функции стабилизирующего регулятора.

При отработке наиболее опасного внешнего возмущения инвариантная каскадная система автоматического регулирования обеспечивает существенное повышение качества регулирования по сравнению с типовой САР с дифференциатором.

Таким образом, предлагаемая инвариантная каскадная система автоматического регулирования может быть использована при модернизации типовых систем автоматического управления теплоэнергетическими процессами.

1. Теория автоматического управления теплоэнергетическими процессами: учебное пособие / Г.Т. Кулаков [и др.]; под ред. Г.Т. Кулакова. – Минск: Вышэйшая школа, 2017 – 238 с.

2. Теория автоматического управления: учебное пособие для студентов специальности 1-53 01 04 “Автоматизация и управление теплоэнергетическими процессами”, 1-43 01 04 “Тепловые электрические станции”, 1-43 01 08 “Паротурбинные установки атомных электрических станций”, 1-53 01 01 “Автоматизация технологических процессов и производств” / Г.Т. Кулаков [и др.]; под общ. ред. Г.Т. Кулакова. – Минск: БНТУ, 2017. – 133 с.