

УДК 621.184.64

ОПТИМИЗАЦИЯ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ ПЕРЕГРЕТОГО ПАРА ЗА КОТЛОМ

Авхутская В.О.

Научный руководитель – к.э.н., доцент Кравченко В.В.

В наше время актуальной является проблема модернизации существующих систем автоматического регулирования на ТЭС в связи с устаревшими схемами и оборудованием в данных системах.

Целью является выявление недостатков типовой САР с дифференциатором. Временно отказаться от типовых регуляторов и использовать передаточную функцию регулируемого устройства, порядок которого будет тем выше, чем выше структура объекта регулирования. Затем параметрически оптимизируем САР, т.е. рассчитываем параметры оптимальной динамической настройки, исходя из максимально допустимого значения, регулирующего и корректирующего воздействий. При этом основной целью является существенное (в разы) улучшение прямых показателей качества при отработке прямых воздействий (отработка задания основной регулируемой величины, внутреннего крайнего внешнего возмущения).

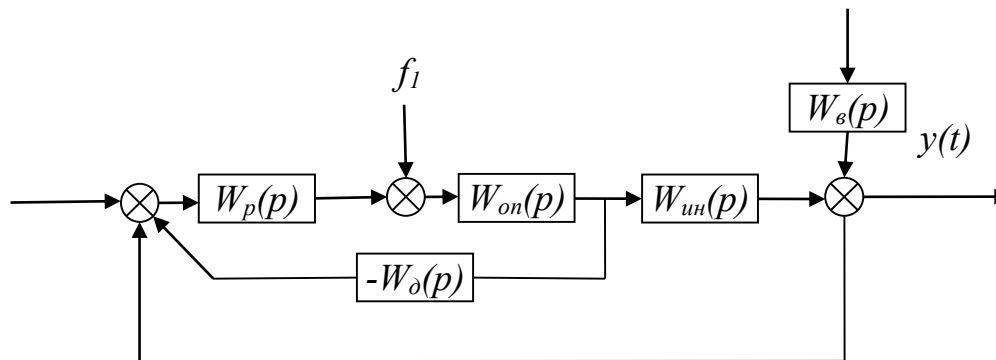


Рисунок 1. Структурная схема САР с дифференциатором

Передаточные функции:

Основной регулятор:

$$W_p(p) = \frac{K_p(T_{иp} + 1)}{T_{иp}} \quad (1)$$

Дифференциатор:

$$W_d(p) = \frac{K_d T_d p}{T_d p + 1} \quad (2)$$

Опережающий участок объекта регулирования:

$$W_{оп}(p) = \frac{K_{оп}}{(T_{оп}p + 1)(\sigma_{оп}p + 1)} \quad (3)$$

Инерционный участок объекта регулирования:

$$W_{ин}(p) = \frac{K_{ин} e^{-\tau_y p}}{(T_{ин}p + 1)(\sigma_{ин}p + 1)} \quad (4)$$

Крайнее внешнее возмущение:

$$W_B(p) = \frac{K_B}{T_B p + 1}. \quad (5)$$

Нам необходимо провести оптимизацию САР с дифференциатором. Для этого необходимо разбить двухконтурную САР на две одноконтурные. Оптимизацию начнем с дифференциатора. Внутренний контур по правилу преобразования схем представим в виде одной передаточной функции

$$W_I(p) = W_{y_1, x_{зд}}(p) = \frac{W_p(p) \cdot W_{оп}(p)}{1 + W_p(p) \cdot W_{оп}(p) \cdot W_d(p)} = \frac{1}{W_d(p)} = \frac{T_d p + 1}{K_d T_d p}. \quad (6)$$

Видно, что равенство соответствует виртуальному ПИ-регулятору:

$$W_I(p) = W_p^B(p) = \frac{K_p^B (T_i^B p + 1)}{T_i^B p}. \quad (7)$$

Виртуальный регулятор настраиваем по методу полной компенсации в частном виде (МПК в ЧВ) на оптимальную обработку крайнего внешнего возмущения f_2 по передаточной функции инерционного участка $W_{ин}(p)$ [1]:

$$T_i^B = T_k; \quad (8)$$

$$K_p^B = \frac{T_k}{2K_{ин}\tau_y}, \text{ при } \xi = \frac{1}{\sqrt{2}}; \quad (9)$$

$$K_p^B = \frac{T_k}{4K_{ин}\tau_y}, \text{ при } \xi = 1. \quad (10)$$

Перейдем от виртуального ПИ-регулятора к реальному дифференциатору:

$$T_d = T_k; \quad (11)$$

$$K_d = \frac{2K_{ин}\tau_y}{T_k}, \text{ при } \xi = \frac{1}{\sqrt{2}}; \quad (12)$$

$$K_d = \frac{4K_{ин}\tau_y}{T_k}, \text{ при } \xi = 1. \quad (13)$$

Оптимальные настройки основного ПИ-регулятора производят на основе передаточной функции опережающего участка с учетом численного значения K_d [1].

В этом случае регулятор настраивают по методу частичной компенсации (МЧК) для оптимальной обработки внутреннего возмущения f_1 [1]:

$$K = (K_p \cdot K_{оп} \cdot K_d) = 0,7395 \cdot T \left(1 + \frac{1}{T}\right)^2 - 1, \text{ где } T = \frac{T_{оп}}{\sigma_{оп}}; \quad (14)$$

$$K_p = \frac{K}{K_d \cdot K_{оп}} \quad (15)$$

$$I = \left(\frac{T_{и}}{\sigma_{оп}}\right) = \frac{6.36 \cdot K}{T \left(1 + \frac{1}{T}\right)^3}; \quad (16)$$

$$T_{и} = I \cdot \sigma_{оп}. \quad (17)$$

Для улучшения прямых показателей качества при основных воздействиях, проведем оптимизацию типовой САР, путем превращения её в инвариантную САР. При этом, вместо САР с дифференциатором используем эквивалентную ей каскадную САР.

Структурная схема инвариантной САР при плановом изменении нагрузки с измерением крайнего внешнего возмущения приведена на рисунке 2, методика выбора структурных передаточных функций стабилизирующего (СР) и корректирующего регуляторов (КР) приведена в [2].

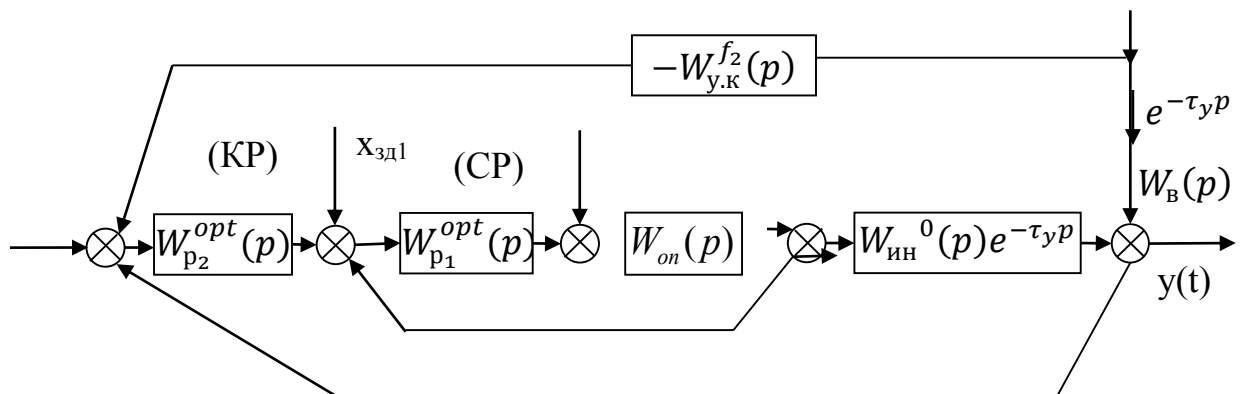


Рисунок 2. Структурная схема инвариантной САР при плановом изменении нагрузки (ПИИ)

Здесь передаточная функция стабилизирующего регулятора имеет вид:

$$W_{p1}^{opt}(p) = [W_{оп}^*]^{-1} \cdot W_{зд1}^{PC(n=1)}(p) = \frac{T_{оп}^* + 1}{K_{оп} T_{зд1} p}, \quad (18)$$

$$\text{где } T_{оп}^* = T_{оп} + \sigma_{оп}; \quad (19)$$

$T_{зд1} = \gamma \cdot T_{оп}^*$ — параметр динамической настройки СР, где γ — численные значения ряда чисел Золотого сечения [2];

$W_{зд1}^{PC(n=1)}(p)$ — заданная передаточная функция разомкнутой системы, равна

$$W_{зд1}^{PC(n=1)}(p) = \frac{1}{T_{зд1} p}. \quad (20)$$

При этом заданная передаточная функция замкнутой системы внутреннего контура с СР имеет вид:

$$W_{зД1}^{3C}(p) = \frac{1}{T_{зД1}p + 1}. \quad (21)$$

С учетом передаточных функций (4), (21) находим передаточную функцию эквивалентного объекта регулирования [2]:

$$W_{ЭКВ}(p) = W_{зД1}^{3C(n=1)}(p) \cdot W_{ИН}(p) = \frac{K_{ИН} e^{-\tau_y p}}{(T_{ИН}p + 1)(\sigma_{ИН}p + 1)(T_{зД1} + 1)}. \quad (22)$$

Передаточная функция корректирующего (КР) с учетом (22) примет вид:

$$W_{p2}^{opt}(p) = [W_{ЭКВ}(p)]^{-1} \cdot \frac{W_{зД2}^{3C}(p)}{1 - W_{зД2}^{3C}(p)} = W_{\Phi}(p) \frac{1}{1 - W_{зД2}^{3C}(p)}. \quad (23)$$

$$W_{зД2}^{3C}(p) = W_{y1,зД2}(p) = \frac{e^{-\tau_y p}}{(T_{зД2}p + 1)^3}. \quad (24)$$

где $T_{зД2} = \gamma \cdot \tau_y$ – параметр динамической настройки КР. (25)

При этом передаточная функция фильтра с учетом (22) и (24) имеет вид:

$$W_{\Phi}(p) = \frac{W_{ЭКВ}(p)}{W_{зД2}^{3C}(p)} = \frac{(T_{ИН}p + 1)(\sigma_{ИН}p + 1)(T_{зД1} + 1)}{K_{ИН} \cdot (T_{зД2} + 1)^2}. \quad (26)$$

Условие инвариантности при изменении f_2 :

$$W_{y,к}^{f_2}(p) \cdot W_{зД2}^{3C}(p) = e^{-\tau_y p} \cdot [1 - W_{зД2}^{3C}(p)]. \quad (27)$$

$$W_{y,к}^{f_2}(p) = \frac{W_B(p)[1 - W_{зД2}^{3C}(p)]}{W_{зД2}^{3C}(p)} = \frac{K_B \cdot (T_{зД2}p + 1)^3 \cdot [1 - W_{зД2}^{3C}(p)]}{(T_Bp + 1) \cdot (T_{зД3}p + 1)^2}, \quad (28)$$

которая при $T_{зД2} = T_{зД3}$ примет вид:

$$W_{y,к}^{f_2}(p) = \frac{K_B}{(T_Bp + 1)(T_{зД2}p + 1)} \cdot \left[1 - \frac{e^{-\tau_y p}}{T_{зД2}p + 1} \right]. \quad (29)$$

После моделирования всех переходных процессов САР при основных воздействиях получили следующие результаты:

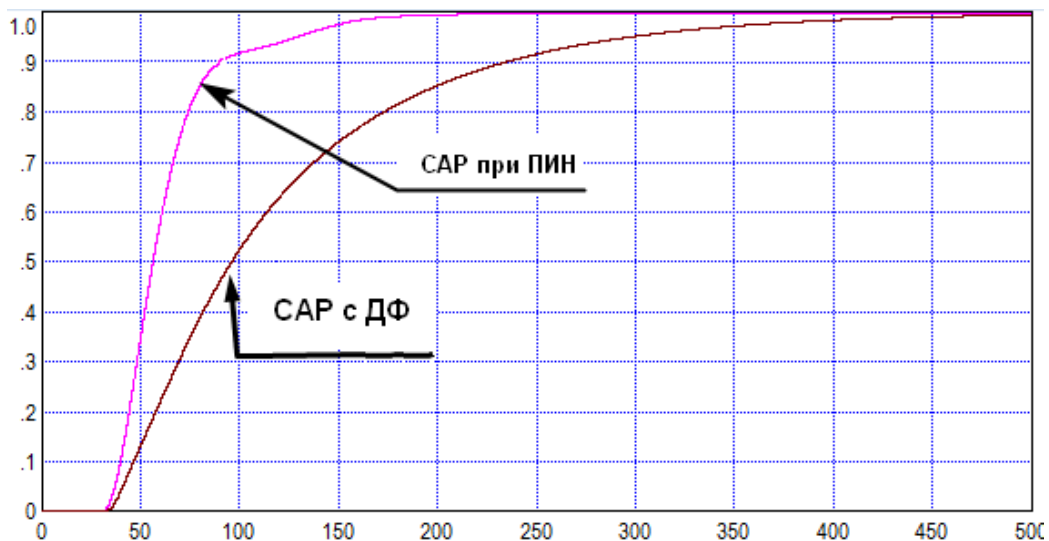


Рисунок 3. Графики отработки задающего воздействия $x_{зД2}$

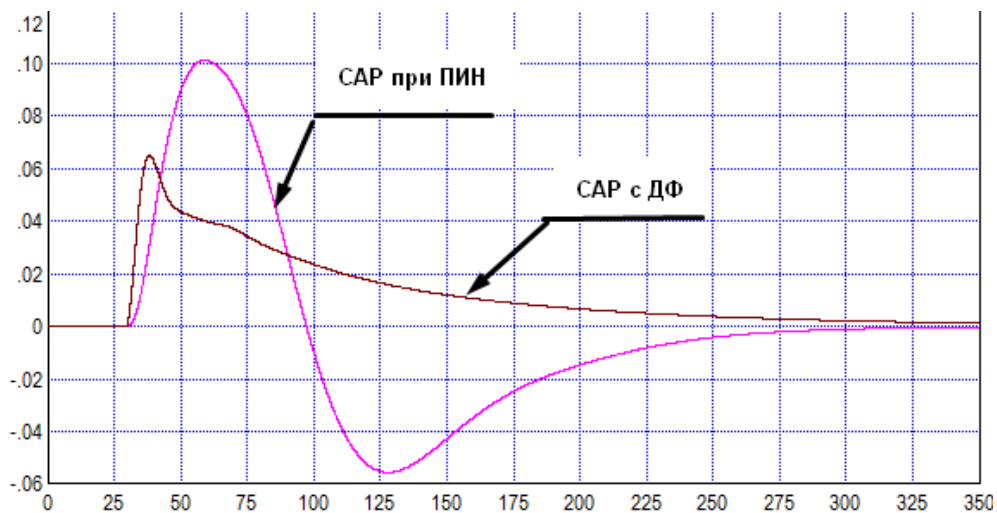


Рисунок 4. Графики отработки внутреннего возмущения f_1

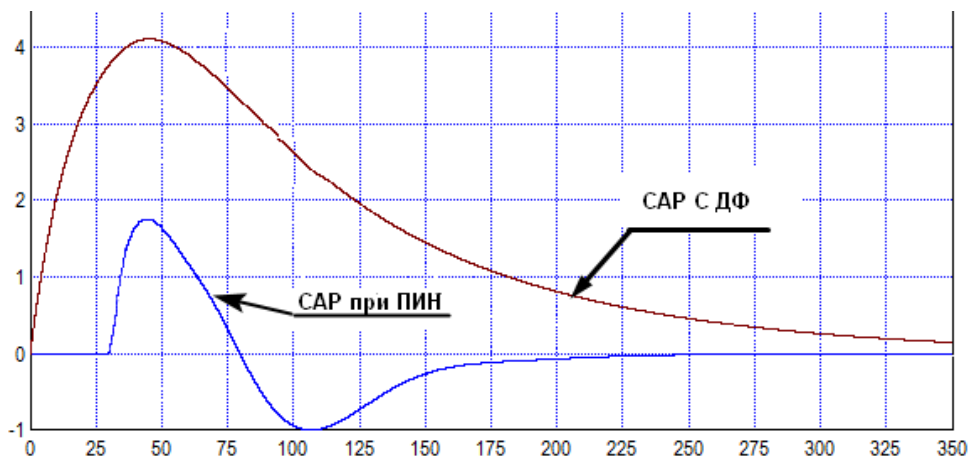


Рисунок 5. Графики отработки крайнего внешнего возмущения f_2

Таблица 1

Прямые показатели качества переходных процессов

Метод	$X_{зд}$			f_1			f_2		
	$\sigma_m, \%$	ψ	$t_{п}$	A_m	ψ	$t_{п}$	A_m	ψ	$t_{п}$
САР с ДФ	-	1	475	0,086	1	550	4.12	1	610
САР при ПИН	-	1	225	0.1	0,92	325	1.75	0,92	250

Из графиков и таблицы прямых показателей качества видно, что инвариантная САР при плановом изменении нагрузки является оптимальным методом при всех воздействиях.

Обработка скачка задания $X_{зд}$:

Время регулирования t_p у инвариантной САР при ПИН составляет 225с, что в 2,11 раза меньше чем у САР с ДФ.

Обработка внутреннего возмущения f_1 :

Максимальная динамическая ошибка регулирования у инвариантной САР при ПИН составляет 0.1, но у САР с ДФ ошибка регулирования меньше и равна 0.086.

Время регулирования t_p у инвариантной САР при ПИН составляет 325с, что в 1,69 раза меньше чем у САР с ДФ.

Отработка крайнего внешнего возмущения f_2 :

Максимальная динамическая ошибка регулирования наименьшая у инвариантной САР при ПИН и составляет 1.75, что в 2.35 раза меньше, чем у САР с ДФ;

Время регулирования t_p у инвариантной САР при ПИН составляет 250с, что в 2.44 раза меньше, чем у САР с ДФ.

Литература

1. Кулаков Г.Т. Инженерные экспресс-методы расчёта промышленных систем регулирования. – М.: Высшэйшая школа, 1984. – 192 с.
2. Кулаков Г.Т. Теория автоматического управления теплоэнергетическими процессами. – М.: Высшэйшая школа, 2017. – 238 с.