

УДК 621.18-5

САР НА БАЗЕ МЛУС

Якимович А.А.

Научный руководитель – д.т.н., профессор Кулаков Г.Т.

Двухконтурные системы автоматического регулирования (САР) с дифференцированием промежуточного сигнала получили максимальное распространение в области автоматизации технологических процессов и производств в теплоэнергетике. Так, регулирование температуры перегретого пара в барабанных и прямоточных котлов осуществляется двухимпульсной схемой: с основным сигналом по отклонению температуры перегретого пара на выходе котла и дополнительным исчезающим сигналом по температуре пара после охладителя.

Качество регулирования технологических параметров САР определяет экономичность, надежность и долговечность работы теплоэнергетического оборудования. Вместе с тем планируемый ввод в Белорусскую энергосистему двух блоков АЭС ужесточает требования к качеству регулирования энергоблоков, которые будут работать в полупиковой и пиковой частях графика электрической нагрузки энергосистемы.

Структурная схема моделирования типовой САР с дифференциатором приведена на рисунке 1.

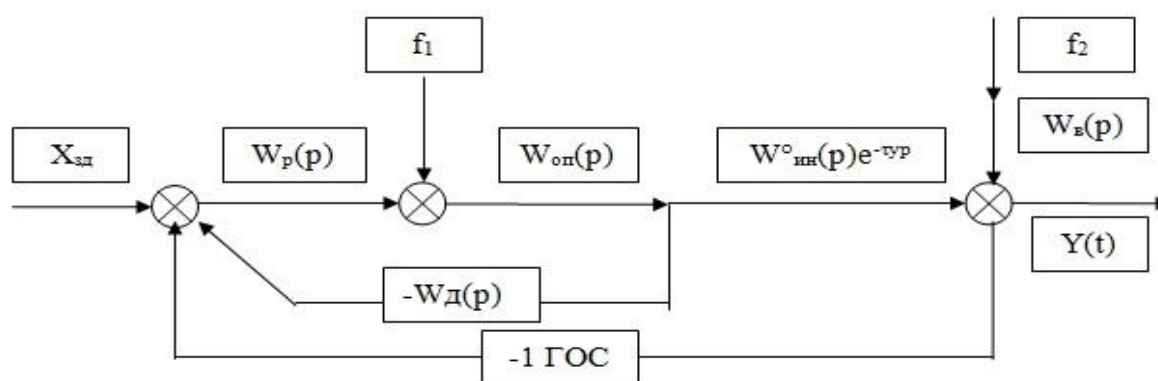


Рисунок 1. Структурная схема САР с Д

$y(t)$ – основная регулируемая величина; $X_{зд}$ – заданное значение регулируемого параметра; $W_p(p)$ – передаточная функция регулятора; $W_д(p)$ – передаточная функция дифференциатора; $W_{оп}(p)$ – передаточная функция опережающего участка; $W_{ин}(p)$ – передаточная функция инерционного участка; f_1 – внутреннее возмущение; f_2 – крайнее внешнее возмущение.

Методика оптимизации типовой САР с дифференциатором.

Дифференциатор настраиваем по передаточной функции инерционного участка на оптимальную обработку внешнего возмущения f_2 по МПК в Ч.В. с критериями оптимальности через коэффициент демпфирования: $\xi = 1$ и $\xi = \frac{1}{\sqrt{2}}$.

Регулятор настраиваем по передаточной функции опережающего участка на оптимальную обработку внутреннего возмущения f_1 по МЧК с критериями оптимальности: минимум интеграла квадрата ошибки регулирования за время регулирования t_p при заданной степени затухания переходного процесса $\Psi \leq 0,95$.

Расчёт настройки типовой САР с Дф.

Расчёт динамической настройки Дифференциатора по МПК в ЧВ:

$$T_d = T_k = T_{ин} + \sigma_{ин} = 111,36 + 35,8 = 147,2 \text{ с}$$

$$k_d = \frac{1}{k_p}$$

$$k_d = \frac{2 \cdot k_{ин} \cdot \tau_y}{T_k} = \frac{2 \cdot 2,6 \cdot 154}{147,2} = 5,35 \frac{^\circ\text{C}}{\text{т/ч}}$$

Расчёт динамической настройки ПИ-регулятора по МЧК с коэффициентами A_1 и A_2 , выбранными по методу «Золотого Сечения»:

$$A_1 = 2.539$$

$$A_2 = 1.853$$

$$K = \frac{A_1}{A_2^2} \cdot T \left(1 + \frac{1}{T}\right)^2 - 1$$

$$\frac{A_1}{A_2^2} = 0.7395$$

$$T = \frac{T_{оп}}{\sigma_{оп}} = \frac{27,6}{6,4} = 4,31$$

$$K = (k_p \cdot k_{оп}) = 0.7395 \cdot T \left(1 + \frac{1}{T}\right)^2 - 1 = 0.7395 \cdot 4,31 \left(1 + \frac{1}{4,31}\right)^2 - 1 = 3,84 \Rightarrow$$

$$\Rightarrow k_p = \frac{K}{k_{оп} \cdot k_d} = \frac{3,84}{11,6 \cdot 5,35} = 0,06 \frac{\tau/\text{ч}}{^\circ\text{C}}$$

$$I = \left(\frac{T_{и}}{\sigma_{оп}}\right) = \frac{6.36 \cdot K}{T \left(1 + \frac{1}{T}\right)^3} = \frac{6.36 \cdot 3,84}{4,31 \left(1 + \frac{1}{4,31}\right)^3} = 3,03 \Rightarrow$$

$$\Rightarrow T_{и} = I \cdot \sigma_{оп} = 3,03 \cdot 6,4 = 19,39 \text{ с}$$

Таблица 1 – Исходные данные базовой САР с Д

Опережающий участок				Инерционный участок		
$K_{оп}, \frac{^\circ\text{C}}{\tau/\text{ч}}$	$T_{оп}, \text{с}$	$\sigma, \text{с}$	$T, \text{с}$	$K_{ин}, \frac{^\circ\text{C}}{\tau/\text{ч}}$	$T_k, \text{с}$	$\tau_y, \text{с}$
11,6	27,6	6,4	4,3	2,6	147,2	154
Основной регулятор				Дифференциатор		
K	$K_p, \frac{\tau/\text{ч}}{^\circ\text{C}}$	I	$T_{и}, \text{с}$	K_d	$T_d, \text{с}$	$T_\phi, \text{с}$
-	0,06	-	19,39	5,35	147,2	-
$W_p(p) = \frac{0,06(19,39p + 1)}{19,39p}$ $W_{оп}(p) = \frac{11,6}{(27,55p + 1)(6,4p + 1)}$				$W_d(p) = \frac{5,35 * 147,2p}{147,2p + 1}$ $W_{ин}(p) = \frac{2,56 * e^{-154p}}{147,2p + 1}$		

В качестве наиболее опасного возмущения принято внешнее возмущение, так как оно сразу проходит на выход системы и может привести к появлению статической ошибки регулирования, обусловленной выходом из расчётного диапазона регулирующего органа. Поэтому в данной работе будем улучшать обработку САР внешнего возмущения. Добьемся улучшения качества регулирования за счет модифицированного линейного упредителя Смита.

Модифицированный линейный упредитель Смита

Для существенного улучшения качества обработки скачка задания для объектов с большим запаздыванием целесообразно использовать линейный упредитель Смита, который охватывает основной регулятор полной моделью объекта регулирования с запаздыванием с

помощью положительной обратной связи, а также не полной моделью (та часть передаточной функции объекта, которая содержит запаздывания) с использованием отрицательной обратной связи на входе в регулятор. Основным недостатком такого упредителя является плохая отработка внутреннего возмущения, т.к. регулятор узнаёт о его появлении после времени запаздывания по каналу регулирующего воздействия. Для устранения этого недостатка точку отбора входа неполной и полной моделей необходимо перенести с выхода регулятора в точку промежуточной регулируемой величины, т.е. использовать модифицированный линейный упредитель Смита. (МЛУС).

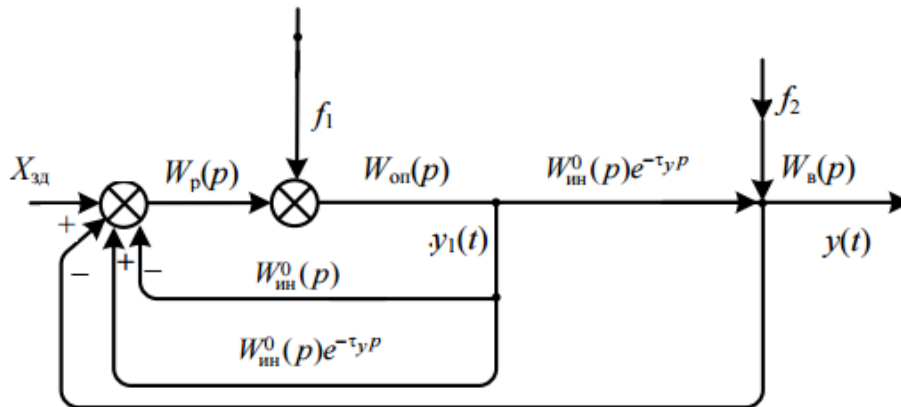


Рисунок 2. Схема МЛУС

Для улучшения отработки скачка при крайнем внешнем возмущении используем схему МЛУС с устройством компенсации по крайнему внешнему возмущению $W_{ук}^{f_2}$.

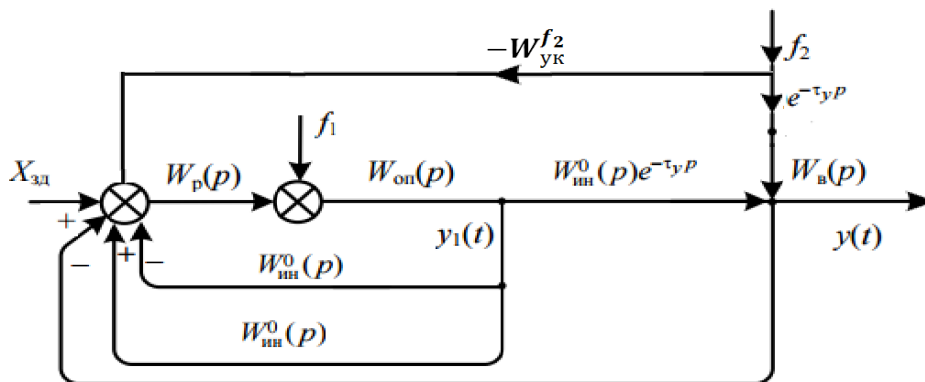


Рисунок 3. Схема МЛУС с устройством компенсации по крайнему внешнему возмущению $W_{ук}^{f_2}$

Передаточная функция устройства компенсации будет равна:

$$W_{ук}^{f_2} = [1 - W_{зд}] * \frac{K_в (\tau_{зд} p + 1)}{\tau_2 p + 1},$$

где $\tau_{зд} = j\tau_y$,

j принимаем по правилу золотого сечения равным 0.09

Графики переходных процессов.

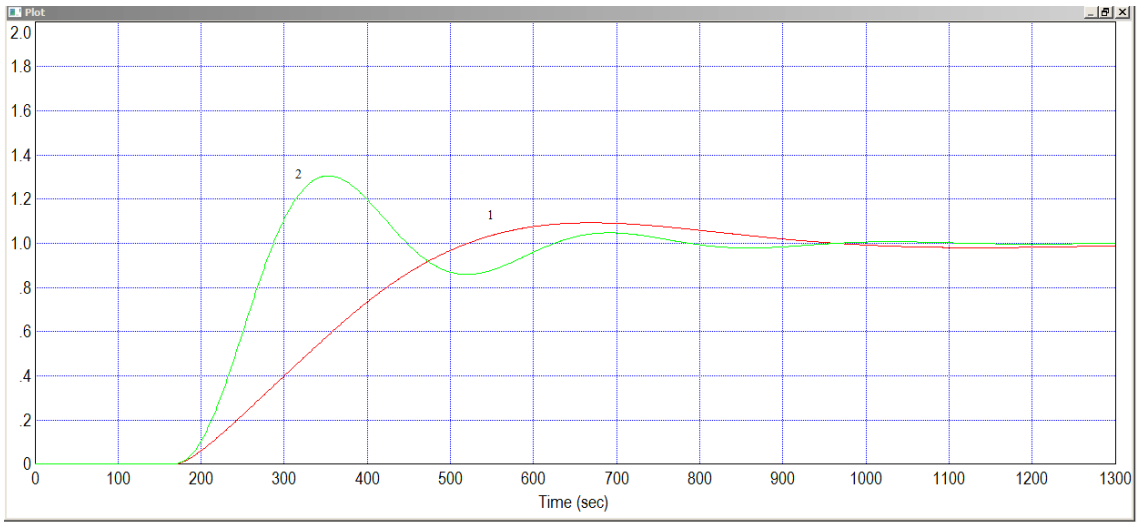


Рисунок 4. Графики переходных процессов при отработке задающего воздействия $X_{зд}$.
1-типовая САР; 2-предлагаемая САР с МЛЮС

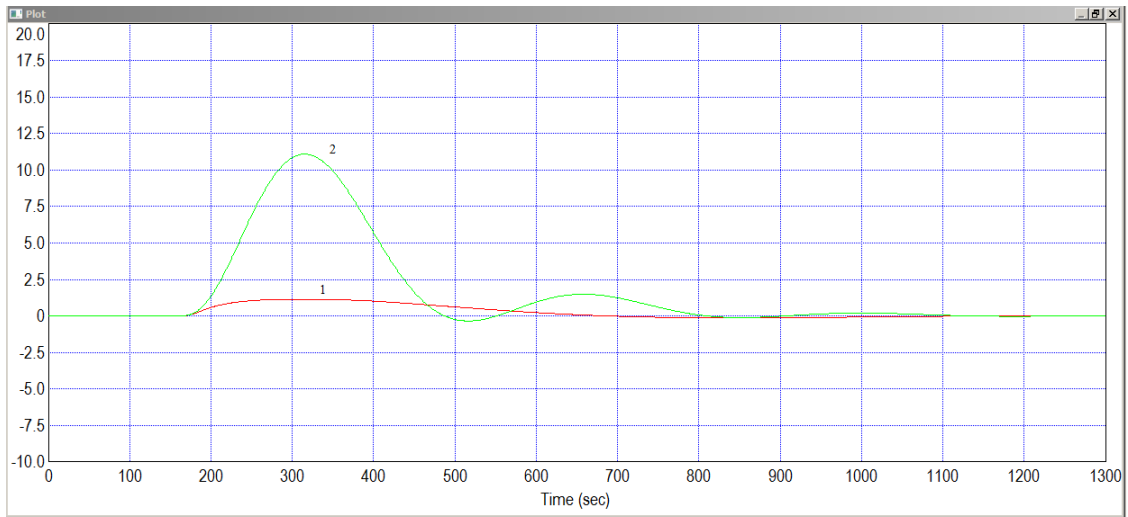


Рисунок 5. Графики переходных процессов при отработке внутреннего возмущения f_1
1-типовая САР; 2-предлагаемая САР с МЛЮС

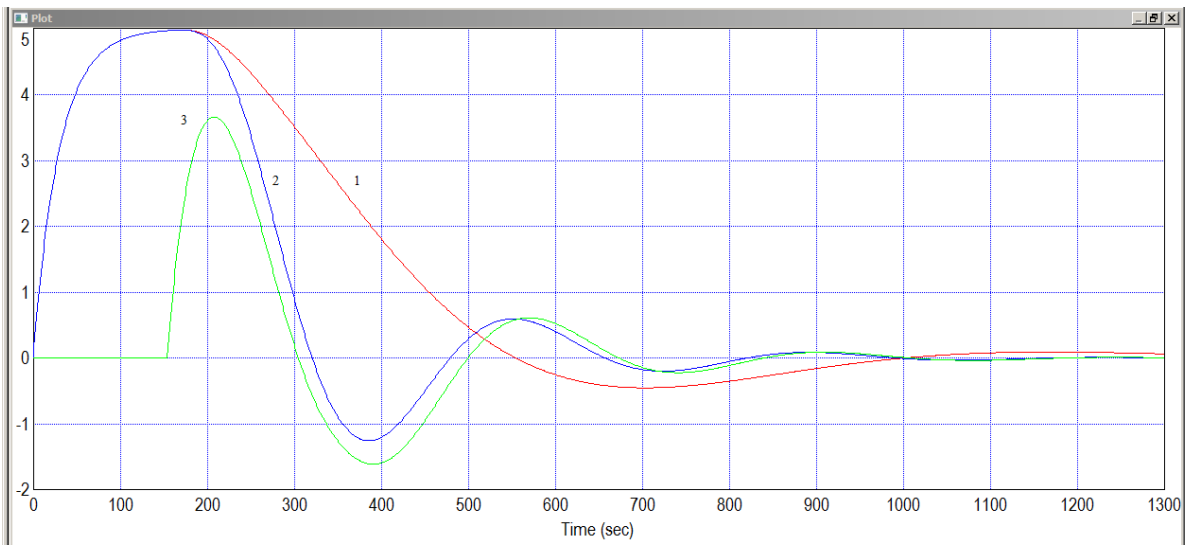


Рисунок 6. Графики переходных процессов при отработке крайнего внешнего возмущения f_2 .
1 — типовая САР; 2 — САР с МЛЮС; 3 — САР с использованием устройства компенсации по
крайнему внешнему возмущению $W_{ук}^{f_2}$

Выводы

Совершенство типовой двухконтурной САР путем замены дифференциатора промежуточной регулируемой величины на разность неполной и полной моделей инерционного участка объекта регулирования и дополнительного устройства компенсации внешнего возмущения позволяет улучшить качество регулирования при отработке скачка задания и при отработке крайнего внешнего возмущения.

Предложенные методы оптимизации основного регулятора и устройства компенсации внешнего возмущения, позволяют значительно повысить качество регулирования переходных процессов.

Литература

1. Плетнев, Г.П. Автоматизация технологических процессов и производств в теплоэнергетике: учеб. для студентов вузов / Г. П. Плетнев – 4-е изд. – М.: Изд-во МЭИ, 2004. – 295 с.
2. Кузьмицкий, И.Ф. Теория автоматического управления: учеб. пособие для студентов специальности «Автоматизация технологических процессов и производств» / И.Ф. Кузьмицкий, Г.Т. Кулаков. – Минск: БГТУ, 2006. – 486с.
3. Кулаков, Г.Т. Инженерные экспресс-методы расчета промышленных систем регулирования: спр. пособие / Г.Т. Кулаков. – Минск: Вышэйш. шк., 1984. – 192 с.
4. Смит, О. Дж. Автоматическое регулирование: пер. с англ. / О. Дж. Смит; под ред. Е.П. Попова. – М.: Физматгиз, 1962. – 848 с.