УДК 621.181.6

Г.Т. КУЛАКОВ, д.т.н., профессор, (БНТУ)
А.Т. КУЛАКОВ, к.т.н., доцент (БНТУ)
А.Л. БУРОВ, м.т.н., старший преподаватель (БНТУ)
г. Минск

МЕТОДИКА СТРУКТУРНО-ПАРАМЕТРИЧЕСКОЙ ОПТИМИЗАЦИИ ДИНАМИЧЕСКИХ СИСТЕМ ДЛЯ ОБЪЕКТОВ С ЗАПАЗДЫВАНИЕМ

Метод структурно-параметриченской оптимизации динамических систем с использованием типовых регуляторов на основе передаточной функции оптимального регулятора, учитывающего динамику объекта регулирования и заданную передаточную функцию системы в качестве критерия оптимальности рассмотрен в [1-3].

В работе [4] рассмотрены недостатки классических типовых регуляторов, структура которых структура которых во многих случаях не соответствует динамике сложных теплоэнергетических объектов регулирования с запаздыванием, и предложено вместо параметрической оптимизации типовых регуляторов использовать в начале методы синтеза оптимальных структур контуров многоконтурных САР, а затем приступить к параметрической оптимизации регулирующих устройств системы.

В связи с этим актуальной является задача дальнейшего совершенствования методов структурно-параметрической оптимизации САР теплоэнергетических объектов с запаздыванием на основе передаточной функции оптимального регулятора с использованием модифицированного линейного упредителя Смита.

Передаточную функцию объектов регулирования с запаздыванием в общем виде можно представить в следующем виде:

$$W_{об}(p)=\frac{b_m p^m+b_{m-1}p^{m-1}+\ldots+b_1 p^{\square}+b_0}{a_n p^n+a_{n-1}p^{n-1}+\ldots+a_1 p^{\square}+a_0} \quad , \qquad (1)$$

где $n \geq m$.

Для синтеза оптимальной структуры САР необходимо выбрать промежуточную регулируемую величину объекта, которая не содержит запаздывания по каналу регулирующего воздействия, например в виде инерционного звена первого порядка:

$$W_{об1}(p)=\frac{\kappa_1}{T_1 p+1} \quad , \qquad (2)$$

где κ_1 - коэффициент передачи, T_1 - постоянная времени опережающего участка объекта регулирования.

Передаточную функцию инерционного участка примем в виде инерционного звена второго порядка с запаздыванием:

$$W_{об2}(p)=\frac{\kappa_2}{(T_2 p+1)(T_3 p+1)}e^{-\tau p}, \qquad (3)$$

где κ_2 - коэффициент передачи; T_2, T_3 - постоянные времени инерционного участка.

В качестве критерия оптимальности принимаем заданную передаточную функцию внутреннего контура или в целом по задающему воздействию:

$$W_{зд i}(p)=\frac{e^{-\tau p}}{(T_{зд i} p+1)^{n-m}}, \qquad (4)$$

где $T_{зд i}$ - постоянная времени критерия оптимальности при отработке скачка задания, одновременно являющаяся параметром оптимальной динамической настройки регулятора.

С учетом (2) и (4) критерий оптимальности внутреннего контура примет вид:

$$W_{зд1}(p)=\frac{1}{T_{зд1} p+1}, \qquad (5)$$

где $T_{зд1}$ - постоянная времени критерия оптимальности первого внутреннего контура или отработка промежуточной регулируемой величины скачка задания $X_{зд1}$.

В общем виде передаточная функция оптимального регулятора $W_{Pi}(p)$ равна произведению инверсий передаточной функции участка или эквивалентного объекта регулирования на заданную передаточную функцию разомкнутой системы $W_{зд}^{рс}(p)$:

$$W_{Pi}(p)=\left[W_{об i}(p)\right]^{-1}\cdot W_{зд}^{рс}(p). \qquad (6)$$

Если передаточная функция объекта регулирования не содержит запаздывания, то оптимальная структура заданной передаточной функции разомкнутой системы примет следующий вид:

- для n=1 $$W_{зд i}(p)=\frac{1}{T_{зд i}p} \quad ; \qquad (7)$$

- для n=2 $$W_{зд i}(p)=\frac{1}{3T_{зд i}p\left(\frac{T_{зд 2}}{2}p+1\right)} \quad ; \qquad (8)$$

- для n=3 $$W_{зд i}(p)=\frac{1}{2T_{зд i}p\left(\frac{T_{зд i}^{2}}{3}p+T_{зд i}p+1\right)} \quad , \qquad (9)$$

где n - порядок передаточной функции объекта.

С учетом передаточных функций (2), (5), (6) и (7) структура оптимального регулятора стабилизации промежуточной регулируемой величины примет вид

$$W_{P1}(p)=\frac{T_1 p+1}{\kappa_1 T_{зд1}p} \quad , \qquad (10)$$

где $T_{зд1}$ - параметр оптимальной динамической настройки с учетом допустимого значения максимальной величины регулирующего воздействия, выбираемый их ряда чисел правила золотого сечения, приняв за целое T_1 , рассчитывают по формуле:

$$T_{зд1}=\gamma_i T_1 \quad . \qquad (11)$$

Здесь $\gamma_i \in [0{,}618;0{,}56;0{,}44;0{,}382;0{,}236 \, ит.д.]$.

Для выбора структуры оптимального корректирующего регулятора используем идею модифицированного линейного упредителя Смита (рис. 1).

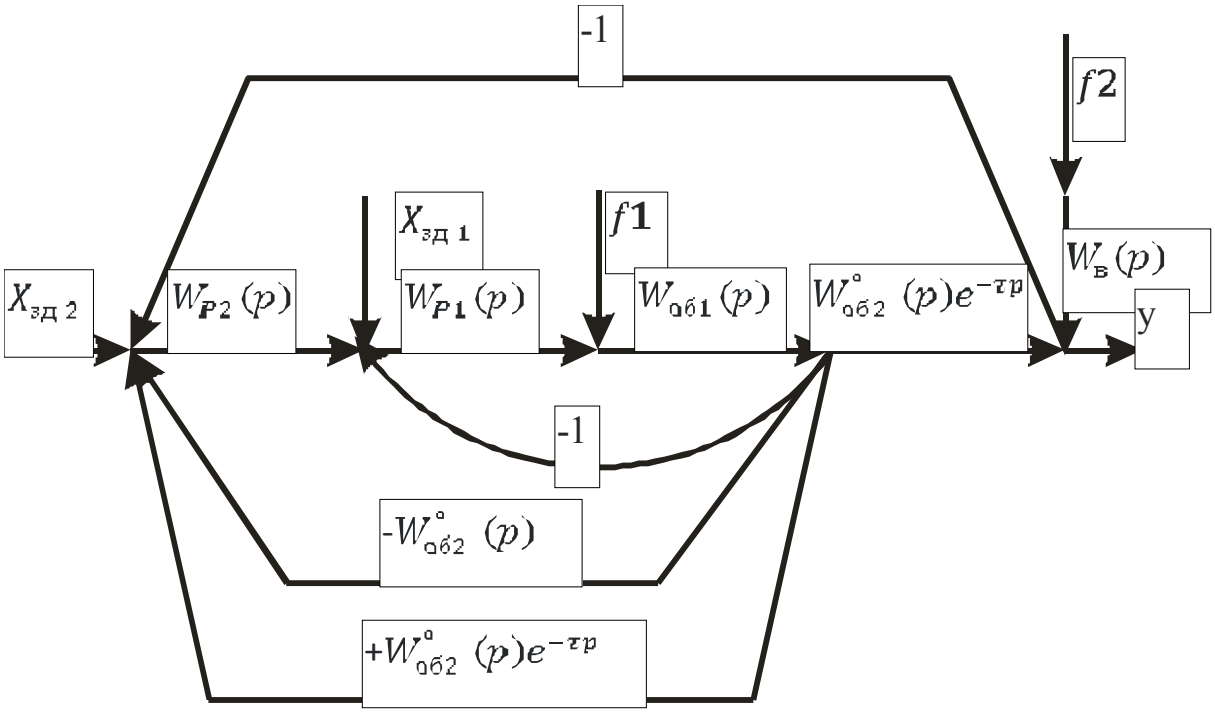

Рис. 1. Схема моделирования переходных процессов оптимальной САР: y - основная регулируемая величина; $y1$ - промежуточная регулируемая величина; $X_{зд1}, X_{зд2}$ - соответственно задание промежуточной и основной регулируемым величинам; $f1$ - внутреннее возмущение; $f2$ – внешнее возмущение; $W_{об1}(p)$ - передаточная функция опережающего участка; $W_{об2}(p)$ - передаточная функция инерционного участка; $W_{P1}(p)$ - передаточная функция стабилизирующего регулятора; $W_{P2}(p)$ - передаточная функция корректирующего регулятора; $W^{\circ}_{об2}(p)$ - та часть передаточной функции инерционного участка (3), которая не содержит запаздывания по каналу регулирующего воздействия:

$$W^{\circ}_{об2}(p)=\frac{K_2}{(T_2 p+1)(T_3 p+1)} \quad . \qquad (12)$$

Передаточная функция объекта регулирования второго внутреннего контура с учетом (5) и (12) примет вид

$$W^{\square}_{экв}(p)=W_{зд1}(p)\cdot W^{\circ}_{об2}(p)=\frac{K_2}{(T_2 p+1)(T_3 p+1)(T_{зд1} p+1)} \quad . \qquad (13)$$

Подставив передаточную функцию (13) в (6) с учетом (9), получим оптимальную структуру корректирующего регулятора:

$$W_{экв}^{\square}(p)=\frac{(T_2 p+1)(T_3 p+1)(T_{зд1} p+1)_{\square}}{3\kappa_{ин} T_{зд2} p\left(\frac{T_{зд2}^{\ 2}}{3} p^2+T_{зд2} p+1\right)}\ , \qquad (14)$$

где $T_{зд2}$ - параметр оптимальной динамической настройки, равный:

$$T_{зд2}=\gamma_i \cdot \tau\ . \qquad (15)$$

Предложенная структура САР с двумя параметрами динамической настройки позволяет существенно улучшить качество регулирования при основных воздействиях по сравнению с типовой каскадной САР с четырьмя-пятью параметрами динамической настройки. Так, например, при отработке сигнала задания $X_{зд2}$ полное время регулирования приближается к τ, а при отработке внешнего возмущения к 2τ.

Список литературы:

1. Кулаков, Г.Т. Методика структурно-параметрической оптимизации каскадных систем автоматического регулирования на основе модифицированного упредителя Смита / Г.Т. Кулаков, А.Т. Кулаков, В.В. Кравченко // Энергетика… (Изв. высш. учеб. заведений и энерг. объединений СНГ). – 2012. - №2. – С. 40-45.
2. Структурно-параметрическая оптимизация систем автоматического регулирования с дифференцированием промежуточного сигнала / Г.Т. Кулаков [и др.] // Энергетика… (Изв. высш. учеб. заведений и энерг. объединений СНГ). – 2012. - №3. – С. 64-71.
3. Кулаков, Г.Т. Структурно-параметрическая оптимизация динамических систем как основа внедрения базисных инноваций в области автоматизации технологических процессов и производств / Г.Т. Кулаков // Трансфер технологий от науки к бизнесу: материалы V Международн. симпозиума, Алушта, 15-20 сентября 2013 г. - Киев; Симферополь; Алушта: НАН Украины, Центр исслкед. научн.-техн. потенциала и истории науки имени Г.М. Доброва, 2013. – С. 27-31.
4. Кулаков, Г.Т. Структурно-параметрическая оптимизация динамических систем теплоэнергетических процессов ТЭС и АЭС / Г.Т. Кулаков // Доклады БГУИР. – 2015. - №2 (88). – С. 144-147.