

ИНВАРИАНТНАЯ СИСТЕМА АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ НА БАЗЕ МОДИФИЦИРОВАННОГО ЛИНЕЙНОГО УПРЕДИТЕЛЯ СМИТА

Кулаков Г.Т., Шляхтович Н.А.

Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь

Двухконтурные системы автоматического регулирования (САР) получили широкое распространение в области автоматизации технологических процессов и производств. Это объясняется тем, что в системе имеется регулятор, который получает без запаздывания информацию о действии внутренних возмущений. Если объект регулирования с запаздыванием таков, что невозможно измерить никакой величины, не содержащей запаздывания, то используются специальные регуляторы Смита или Ресвика [1]. Это в наибольшей степени относится к тем объектам, у которых относительная постоянная времени передаточной функции по каналу регулирующего воздействия меньше единицы. В этом случае основной регулятор охвачен отрицательной обратной связью той части передаточной функции объекта, которая не содержит запаздывание, а также положительной обратной связью полной модели объекта с запаздыванием для компенсации сигнала главной обратной связи при отработке скачка задания. Однако при этом плохо отрабатывается внутреннее возмущение, так как сигнал о его появлении появился на входе в основной регулятор через промежуток времени, равный запаздыванию по каналу регулирующего воздействия. Для устранения этого недостатка предложено использовать модифицированный упредитель Смита, у которого выход основного регулятора поступает на вход неполной и полной модели объекта через передаточную функцию опережающего участка объекта [2]. В этом случае информация о появлении внутреннего возмущения поступает на вход основного регулятора без запаздывания через эквивалентную передаточную функцию как последовательное соединение опережающего участка и неполную модель объекта. При этом структуру основного регулятора определяют на основе эквивалентной передаточной функции с использованием передаточной функции регулятора при отработке скачка задания. В результате чего качество регулирования при отработке скачка задания приближается к запаздыванию по каналу регулирующего воздействия, а при отработке внешнего возмущения – к удвоенному значению условного запаздывания. Однако максимальная динамическая ошибка регулирования приближается к коэффициенту передачи передаточной функции крайнего внешнего возмущения. Для устранения этого недостатка предлагается использовать инвариантную САР с выделением эквивалентного внешнего возмущения, структурная схема которого приведена на рис. 1

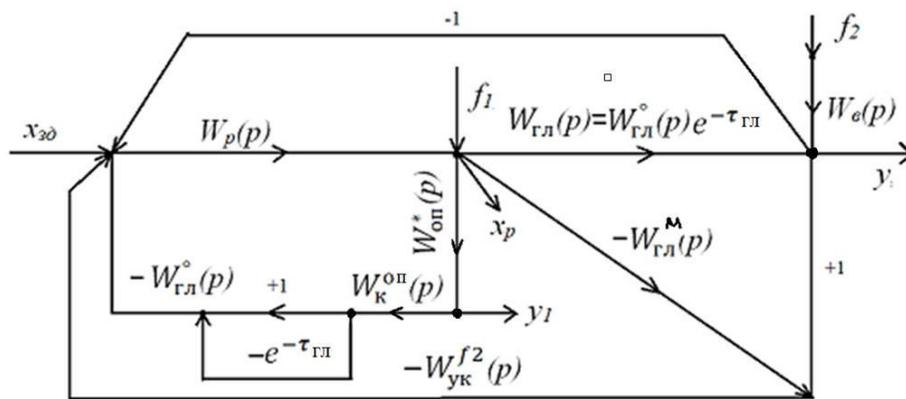


Рис. 1 Структурная схема САР на базе модифицированного линейного упредителя Смита: y , y_1 – соответственно основная и промежуточная регулируемые величины; x_p – регулирующие воздействие; f_1 , f_2 – соответственно внутреннее и крайнее внешнее возмущение; $x_{зд}$ – заданное значение регулируемой величины; передаточные функции: $W_{оп}^*(p)$ – опережающего участка; $W_{к}^{оп}(p)$ – компенсатора динамики опережающего участка; $W_{гл}(p)$ – главного участка; $\tau_{гл}$ – запаздывание по каналу регулирующего воздействия; $W_{гл}^o(p)$ – части передаточной функции главного участка, которая не содержит запаздывания; $W_{гл}^{мод}(p) = W_{гл}(p)$ – модели главного участка; $W_p(p)$ – регулятора; $W_{ук}^{f2}(p)$ – устройства компенсации внешнего возмущения; $W_е(p)$ – крайнего внешнего возмущения.

В отличие от САР, приведенной в [2], структуру основного регулятора и упредителя Смита определяют на основе функции только главного участка объекта регулирования, а не на основе передаточных функций инерционного и опережающего участков объекта. Для этого между выходом опережающего участка и входом в линейный упредитель Смита добавлена передаточная функция компенсатора динамики опережающего участка, а выход основного регулятора подаем не только на вход объекта, а также на вход нашей модели главного участка, выход которого сравниваем с сигналом основных регулируемых величин. Полученная при этом разность подается на вход устройства компенсации эквивалентного внешнего возмущения, выход которого с минусом подключаем к входу основного регулятора. Структуру основного регулятора определим на базе той части передаточной функции главного участка, которая не содержит запаздывания. При этом оптимальный основной регулятор может быть реализован на базе реального ПИД-регулятора с одним расчетным параметром динамической настройки, численное значение которого зависит от доли величины запаздывания по каналу регулирующего воздействия.

Передаточную функцию опережающего участка объекта регулирования представим в виде инерционного звена первого порядка:

$$W_{оп}^*(p) = k_{оп} / T_{оп}^* \cdot p + 1 \quad (1)$$

где $k_{оп}$ – коэффициент передачи; $T_{оп}^*$ – постоянная времени передаточной функции опережающего участка; p – оператор Лапласа.

Передаточная функция главного участка имеет вид инерционного звена второго порядка с условным запаздыванием:

$$W_{\text{гл}}(p) = k_{\text{гл}} \cdot e^{-\tau_{\text{гл}}} / [(T_{\text{гл}} \cdot p + 1)(\sigma_{\text{гл}} + 1)] \quad (2)$$

где $k_{\text{гл}}$ – коэффициент передачи главного участка объекта, $T_{\text{гл}}$, $\sigma_{\text{гл}}$ – большая и меньшая постоянные времени передаточной функции главного участка, $\tau_{\text{гл}}$ – условное запаздывание по каналу регулирующего воздействия [2].

С учетом передаточной функции (2), передаточная функция неполной модели внутреннего контура системы примет вид:

$$W_{\text{гл}}^{\circ}(p) = k_{\text{гл}} / [(T_{\text{гл}} \cdot p + 1)(\sigma_{\text{гл}} + 1)] \quad (3)$$

В результате заданная передаточная функция внутреннего контура примет вид:

$$W_{\text{зд}}(p) = 1 / [(T_{\text{зд}} \cdot p + 1)^2] \quad (4)$$

где $T_{\text{зд}}$ – заданная постоянная времени критерия оптимальности.

С учетом передаточной функции (3), передаточная функция оптимального регулятора примет вид реального ПИД-регулятора [3]:

$$W_{\text{р}}(p) = (T_{\text{гл}} \cdot p + 1)(\sigma_{\text{гл}} \cdot p + 1) / k_{\text{гл}} \cdot 2 \cdot T_{\text{зд}} \cdot p \left(\frac{T_{\text{зд}}}{z} p + 1 \right) \quad (5)$$

Здесь $T_{\text{зд}}$ – единственный расчетный параметр динамической настройки системы, численно равный доле γ от условного запаздывания по каналу регулирующего воздействия $T_{\text{зд}} = \gamma \cdot \tau_{\text{гл}}$

Предложенная САР не требует знания передаточной функции внешних возмущений и обеспечивает более высокую динамическую точность по сравнению с типовой САР на базе модифицированного линейного упредителя Смита.

1. Гурецкий. Х. Анализ и синтез систем управления с запаздыванием: Пер. с польского / Х. Гурецкий. – М.: Машиностроение, 1974. – 328 с.
2. Теория автоматического управления : учеб.-метод. пособие / Г. Т. Кулаков [и др.]; под ред. Г. Т. Кулакова. – Минск : БНТУ, 2017. – 133 с.
3. Теория автоматического управления теплоэнергетическими процессами : учеб. пособие / Г. Т. Кулаков [и др.]; под ред. Г. Т. Кулакова. – Минск: Вышэйшая школа, 2017. – 238 с.