

МЕТОД НАСТРОЙКИ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ С ДИФФЕРЕНЦИАТОРОМ НА БАЗЕ ОБОБЩЕННОГО РЕГУЛЯТОРА

Кулаков А.Т.¹, Кулаков Г.Т.¹, Ковалев В.А.²

1). Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь;

2). Белорусский государственный аграрный технический университет
Минск, Республика Беларусь.

В отечественной практике для регулирования многих тепловых процессов, в частности температуры перегретого пара энергетических паровых котлов, начиная с 40-х годов прошлого века, типовыми являются двухконтурные системы автоматического регулирования с дифференцированием промежуточной регулируемой величины (САРД).

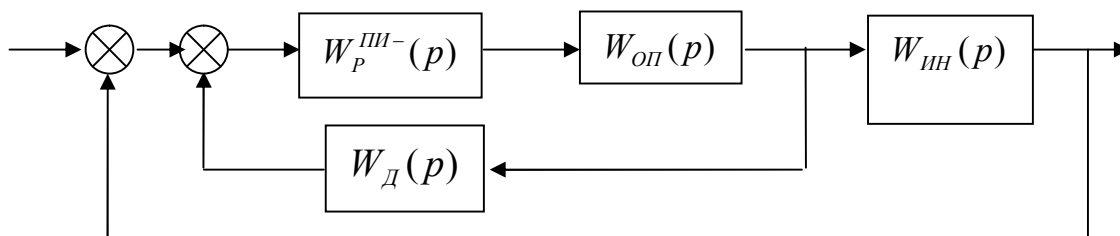


Рис. 1. Структурная схема автоматической системы регулирования с дифференциатором

Штатный регулятор $W_P^{III-}(p)$ САРД представляет собой ПИ-регулятор с взаимозависимыми параметрами настройки:

$$W_P^{III-}(p) = \frac{K_P(T_I p + 1)}{T_I p}. \quad (1)$$

Передаточная функция дифференциатора представлена реальным дифференцирующим звеном:

$$W_{д}(p) = \frac{K_{д} T_{д} p}{T_{д} p + 1}. \quad (2)$$

Одна из первых работ по настройке систем регулирования с дифференциатором датируется 1948 годом [1].

Методы настройки САРД подробно изложены в известных монографиях Ротача В.Я. [2,3,4]. К настоящему времени наибольшее распространение получили метод многоуровневого сканирования [4] и метод на основе генетических алгоритмов [5] которые являются поисковыми и требуют специального программного обеспечения.

В предлагаемой работе представлен аналитический метод настройки системы регулирования с дифференциатором на базе обобщенного регулятора.

Передаточные функции модели объекта регулирования:

$$W_{оп}(p) = \frac{K_{оп}}{T_{оп}p + 1} \text{ - опережающего участка;} \quad (3)$$

$$W_{ин}(p) = \frac{K_{ин}e^{-\tau}}{T_{ин}p + 1} \text{ - инерционного участка.} \quad (4)$$

Часть структурной схемы, включающую регулятор $W_p^{III-}(p)$, модель опережающего участка $W_{оп}(p)$ и дифференциатор $W_d(p)$ можно рассматривать как обобщенный регулятор теперь уже одноконтурной системы регулирования, для которой объектом регулирования является модель инерционного участка $W_{ин}(p)$.

Выполним расчет настроек ПИ-регулятора (1) с использованием передаточной функции оптимального регулятора [6] по заданной передаточной функции замкнутой системы вида:

$$W_{зд}(p) = \frac{1}{T_{зд}p + 1} \quad (5)$$

по модели (3) опережающего участка по следующим формулам:

$$T_{и} = T_{оп}; \quad (6)$$

$$K_p = \frac{T_{оп}}{K_{оп}T_{зд}}. \quad (7)$$

где $T_{зд} = \lambda T_{оп}$. Значение коэффициента λ выбирается из диапазона $0 < \lambda < 1$.

Тогда передаточная функция обобщенного регулятора $W_p^{OB}(p)$ принимает следующий вид:

$$W_p^{OB}(p) = \frac{W_p^{III-}(p)W_{оп}(p)}{1 + W_p^{III-}(p)W_{оп}(p)W_d(p)} = \frac{K_p^{OB}(T_{и}^{OB}p + 1)}{T_{и}^{OB}} * \frac{1}{T_{\phi}^{OB}p + 1}, \quad (8)$$

$$\text{где } K_p^{OB} = \frac{T_d}{T_{зд} + K_d T_d}, \quad (9)$$

$$T_{и}^{OB} = T_d, \quad (10)$$

$$T_{\phi}^{OB} = \frac{T_{зд}T_d}{T_{зд} + K_d T_d}. \quad (11)$$

Из формул (9) – (10) получим следующие искомые формулы взаимосвязи параметров настройки дифференциатора и обобщенного регулятора:

$$T_d = T_{и}^{OB}; \quad (12)$$

$$K_d = \frac{T_d - K_p^{OB}T_{зд}}{K_p^{OB}T_d} = \frac{1}{K_p^{OB}} - \frac{T_{зд}}{T_{и}^{OB}}. \quad (13)$$

Для настройки обобщенного ПИ-регулятора с фильтром (8) предложен следующий метод.

Настроим стабилизирующий ПИ-регулятор $W_{CT}(p)$ внутреннего контура двухконтурной каскадной системы регулирования (КСАР), по тому же методу, как и ПИ-регулятор системы с дифференциатором по модели опережающего участка.

Поскольку передаточная функция настроенного внутреннего контура будет инерционным звеном первого порядка (5) то, приняв $W_{\phi}^{OB}(p) = W_{3д}(p)$, каскадная система регулирования, становится эквивалентной одноконтурной системе с обобщенным регулятором, где регулятор и объект представлены следующими передаточными функциями соответственно:

$$- W_P^{OB}(p) = \frac{K_P^{OB} (T_I^{OB} p + 1)}{T_I^{OB}} * \frac{1}{T_{3д1} p + 1}; \quad - W_O(p) = W_{инн}(p) = \frac{K_{инн} e^{-\varphi}}{T_{инн} p + 1}.$$

Обобщенный регулятор настроим методом модального оптимума [7] модифицированным для объектов с запаздыванием по передаточной функции расчетной модели объекта вида:

$$W_O^{PACЧ}(p) = W_{\phi}^{OB}(p) W_{инн}(p) = \frac{1}{T_{3д1} p + 1} * \frac{K_{инн} e^{-\varphi}}{T_{инн} p + 1} \approx \frac{K_{инн}}{(T_1 p + 1)(\delta p + 1)}, \quad (14)$$

$$\text{где } T_1 = T_{инн}, \quad \delta = T_{3д1} + \tau$$

по следующим формулам:

$$T_I^{OB} = T_1 = T_{инн}; \quad (15)$$

$$K_P^{OB} = \frac{T_1}{2K_{инн} * \delta} = \frac{T_{инн}}{2K_{инн}(T_{3д1} + \tau)}. \quad (16)$$

Тогда искомые формулы расчета настроек дифференциатора (12) и (13) с учетом формул (15) и (16) принимаю следующий вид:

$$T_D = T_I^{OB} = T_{инн}; \quad (17)$$

$$K_D = \frac{1}{K_P^{OB}} - \frac{T_{3д}}{T_I^{OB}} = \frac{2K_{инн}(T_{3д1} + \tau) - T_{3д}}{T_{инн}}. \quad (18)$$

На рисунке 2 показаны графики переходных процессов при отработке задающего воздействия в одноконтурной системе с обобщенным регулятором, САРД и КСАР при следующих параметрах модели объекта

$$W_{оп}(p) = \frac{K_{оп}}{T_{оп} p + 1} = \frac{2}{17.3 p + 1}; \quad W_{инн}(p) = \frac{K_{инн} e^{-\varphi}}{T_{инн} p + 1} = \frac{1.29 e^{-25p}}{84 p + 1}.$$

Значения параметров настройки систем регулирования при значении заданной постоянной времени $T_{3д} = \lambda T_{оп} = 0.5 * 17.3 = 8.65$:

- система с обобщенным регулятором - $T_I^{OB} = 84$, $K_P^{OB} = 0.968$, $T_{\phi}^{OB} = 8.65$;

- САРД - $T_I = 17.3$, $K_P = 1.0$, $T_D = 84$, $K_D = 0.93$;

- КСАР - $T_I^{CT} = 17.3$, $K_P^{CT} = 1.0$, $T_I^{KOP} = 84$, $K_P^{KOP} = 0.968$.

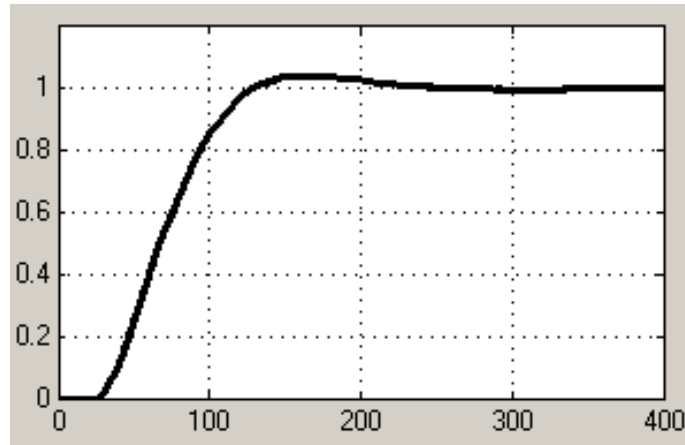


Рис.2. Графики переходных процессов при обработке единичного ступенчатого задающего воздействия

Графики переходных процессов при обработке задающего воздействия во всех трех системах регулирования практически совпадают.

Предложенный метод настройки системы регулирования с дифференциатором не требует специального программного обеспечения и проверочного моделирования переходных процессов по результатам настройки, поскольку базируется на модификации известного метода модального оптимума.

1. Миронов В.Д. Регулирование с опережающим импульсом. – «Известия ВТИ», 1948, №8
2. Ротач В.Я. Расчет настройки промышленных систем регулирования. – М.: Госэнергоиздат, 1961.- 344с.
3. Ротач В.Я. Расчет динамики промышленных автоматических систем регулирования.- М.: Энергия, 1973.- 270с.
4. Ротач В.Я. Теория автоматического управления: учебник для вузов. 5-е изд., перераб. и доп. – М.: Издательский дом МЭИ, 2008.- 396с.
5. Смирнов Н.И., Сабанин В.Р., Репин А.И. Оптимизация настроек автоматических систем регулирования с дифференциатором. Сборник трудов конференции Control 2003. – М.: Издательство МЭИ, 2003. –С.159-165.
6. Теория автоматического управления теплоэнергетическими процессами: учебное пособие/ Г.Т. Кулаков [и др.]; под ред. Г.Т. Кулакова. – Минск: Вышэйшая школа, 2017. – 238 с.
7. Фрер Ф., Орттенбургер Ф. Введение в электронную технику регулирования; пер. с нем. – М.: Энергия, 1973. – 192с.