

Исследования показали, что переходная характеристика канала ТРМ может быть представлена инерционно-дифференцирующим звеном.

Выводы

1. Моделирование типовой САУМБ при обработке задающего воздействия $N_{зд}$ и упрощенной схемы САУМБ показало допустимость оценки предельных возможностей типовой САУМБ по ее упрощенной модели.

2. Передаточная функция корректора $W_{кор}(p)$ в типовой схеме САУМБ может быть представлена только усилительным звеном $W_{кор}(p) = \alpha$.

Однако в этом случае при увеличении значения параметра α получаем приемлемый рост мощности на начальном этапе переходного процесса, но время регулирования велико (переходной процесс затянут).

3. Существенно повысить возможности типовой САУМБ можно только при «компенсации» передаточной функции $W_{p_0, \mu_k}(p)$. Это устраняет взаимозависимость каналов КРМ и ТРМ и позволяет применять более сложные виды передаточных функций корректора $W_{кор}(p)$, что позволяет существенно улучшить качество переходных процессов в системе автоматического управления мощностью энергоблока.

Список использованных источников

1. Теория автоматического управления теплоэнергетическими процессами: учеб. Пособие / Г.Т. Кулаков [и др.]; под ред. Г.Т. Кулакова. – Минск: Вышэйшая школа, 2017. – 238 с.: ил.

УДК 621.1:681.51.01 (075.8)

ПРОПОРЦИОНАЛЬНО-ИНТЕГРАЛЬНЫЙ РЕГУЛЯТОР С ЗАДЕРЖКОЙ ПОДКЛЮЧЕНИЯ ИНТЕГРАЛЬНОЙ СОСТАВЛЯЮЩЕЙ ДЛЯ ОБЪЕКТОВ С ЗАПАЗДЫВАНИЕМ

*Г.Т. Кулаков, А.Т. Кулаков, В.В. Кравченко, К.И. Артёменко
Белорусский национальный технический университет*

Для качественного регулирования теплоэнергетических объектов с большим запаздыванием применяют предиктивные пропорционально-интегральные (ППИ) регуляторы, являющиеся модификацией предиктора Смита, а также ПИ-регуляторы с динамическим корректором [1].

Для повышения качества регулирования теплоэнергетических объектов и уменьшения влияния интегрального накопления предлагается использовать ПИ-регулятор с задержкой подключения интегральной составляющей для объектов с запаздыванием, передаточная функция которого имеет следующий вид:

$$W_p^{ПИ} = \frac{e^{-\tau_p p}}{T_i p} + k_p, \quad (1)$$

где k_p – коэффициент передачи;

T_i – время интегрирования регулятора, являющегося модификацией предиктивного ПИ-регулятора;

τ_p – время задержки подключения интегральной составляющей регулятора.

Пусть передаточная функция объекта равна:

$$W_{об} = \frac{K_{об} \cdot e^{-\tau_y p}}{T_k p + 1}, \quad (2)$$

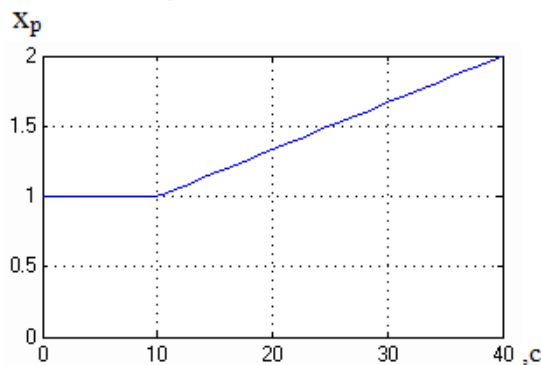
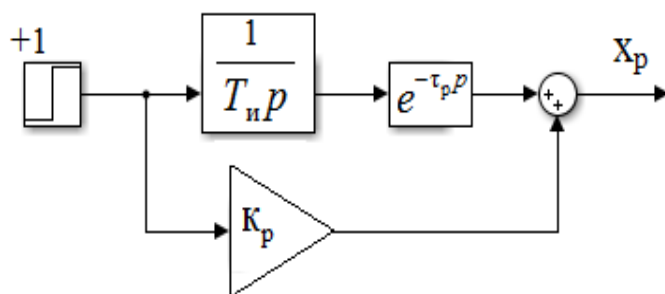
где $K_{об}$ – коэффициент передачи;

T_k – постоянная времени;

τ_y – условие запаздывания по каналу регулирующего воздействия [1].

Целесообразно время задержки подключения интегральной составляющей регулятора τ_p принять равной условному запаздыванию τ_y .

Построим переходную характеристику регулятора (1):



а)

б)

Рисунок 1 – Характеристики предиктивного регулятора:
а – схема моделирования; б – график переходной функции

Запаздывание $e^{-\tau_p p}$ в передаточной функции регулятора (1) представим в виде ряда Тейлора, ограничившись в разложении лишь двумя первыми членами [2]:

$$e^{-\tau_p p} \approx 1 - \tau_p p. \quad (3)$$

Передаточная функция регулятора (1) с учетом (3) принимает вид:

$$W_p^{\text{ПИ}}(p) = \frac{e^{-\tau_p p}}{T_i p} + K_p = \frac{e^{-\tau_p p} + K_p T_i p}{T_i p} = \frac{1 - \tau_p p + K_p T_i p}{T_i p} = \frac{(K_p T_i - \tau_p)p + 1}{T_i p}. \quad (4)$$

Это ПИ-регулятор с независимыми параметрами динамической настройки. Передаточная функция разомкнутой системы с учетом (1), (2) и (3) примет вид:

$$W_{\text{pc}}(p) = W_p^{\text{ПИ}}(p)W_{\text{об}}(p) = \frac{e^{-\tau_p p} + K_p T_i p}{T_i p} \cdot \frac{K_{\text{об}} \cdot e^{-\tau_y p}}{T_k p + 1} \approx \frac{(K_p T_i - \tau_p)p + 1}{T_i p} \cdot \frac{K_{\text{об}} \cdot e^{-\tau_y p}}{T_k p + 1}. \quad (5)$$

Выбор параметров динамической настройки регулятора выполним из условия получения монотонного переходного процесса в замкнутой системе при отработке скачка задания, чтобы передаточная функция разомкнутой системы представляла собой интегрирующее звено с запаздыванием.

Передаточная функция разомкнутой системы (5) превращается в интегрирующее звено с запаздыванием:

$$W_{\text{pc}}(p) = \frac{K_{\text{об}} \cdot e^{-\tau_y p}}{T_i p} = \frac{e^{-\tau_y p}}{T_i^* p}, \quad (6)$$

$$\text{где } T_i^* = \frac{T_i}{K_{\text{об}}}, \quad (7)$$

$$\text{если выполняется условие: } K_p T_i - \tau_p = T_k. \quad (8)$$

Из формулы (8) следует, что коэффициент усиления предиктивного ПИ-регулятора рассчитывают по формуле:

$$K_p = \frac{T_k + \tau_p}{T_i}. \quad (9)$$

Запишем с учетом (6) и (7), передаточную функцию замкнутой системы по задающему воздействию:

$$W_{\text{зс}}(p) = \frac{W_{\text{pc}}(p)}{1 + W_{\text{pc}}(p)} = \frac{\frac{e^{-\tau_y p}}{T_i^* p}}{1 + \frac{e^{-\tau_y p}}{T_i^* p}} = \frac{e^{-\tau_y p}}{T_i^* p + e^{-\tau_y p}} \approx \frac{e^{-\tau_y p}}{(T_i^* - \tau_y)p + 1} = \frac{e^{-\tau_y p}}{T_{\text{зд}} p + 1}. \quad (10)$$

Из формулы (10) следует, что постоянная интегрирования $T_{и}^*$ должна быть больше времени запаздывания объекта, т. е. $T_{и}^* > \tau_y$ или с учетом (7):

$$T_{и} > K_{об} \cdot \tau_y. \quad (11)$$

Из передаточной функции (10) с учетом (7) получим:

$$T_{зд} = T_{и}^* - \tau_y = \frac{T_{и}}{K_{об}} - \tau_y. \quad (12)$$

Из (12) формула для расчета постоянной интегрирования $T_{и}$ предиктивного регулятора имеет следующий вид:

$$T_{и} = K_{об}(T_{зд} + \tau_y). \quad (13)$$

Задавшись численным значением постоянной времени $T_{зд}$, рассчитываем по формуле (13) постоянную интегрирования $T_{и}$ предиктивного ПИ-регулятора и далее по формуле (9) – значение коэффициента усиления K_p .

Обычно численное значение $T_{зд}$ рекомендуют выбирать с учетом следующего неравенства:

$$T_{зд} \geq 0,5 \cdot T_k. \quad (14)$$

Пусть объект регулирования (1) имеет следующие параметры: $k_p = 2$, $T_k = 20$ с, $\tau_y = 10$ с.

Рекомендуемое минимальное значение $T_{зд}$ согласно (14) равно:

$$T_{зд} \geq 0,5 \cdot T_k = 0,5 \cdot 20 = 10 \text{ с}. \quad (15)$$

В этом случае время регулирования примерно равно:

$$t_p \approx \tau_y + 4 \cdot T_{зд} = 10 + 4 \cdot 10 = 50 \text{ с}.$$

С учетом (15) минимальная постоянная интегрирования согласно (13) будет равна:

$$T_{и} = K_{об}(T_{зд} + \tau_y) = 2 \cdot (10 + 10) = 40 \text{ с}.$$

Согласно формуле (9) соответствующее значение коэффициента усиления будет равно:

$$K_p = \frac{T_k + \tau_p}{T_i} = \frac{20 + 10}{40} = 0,75.$$

Проверим полученные результаты моделированием, сравнив переходные процессы в САР с предиктивным ПИ-регулятором и эталонной моделью замкнутой системы.

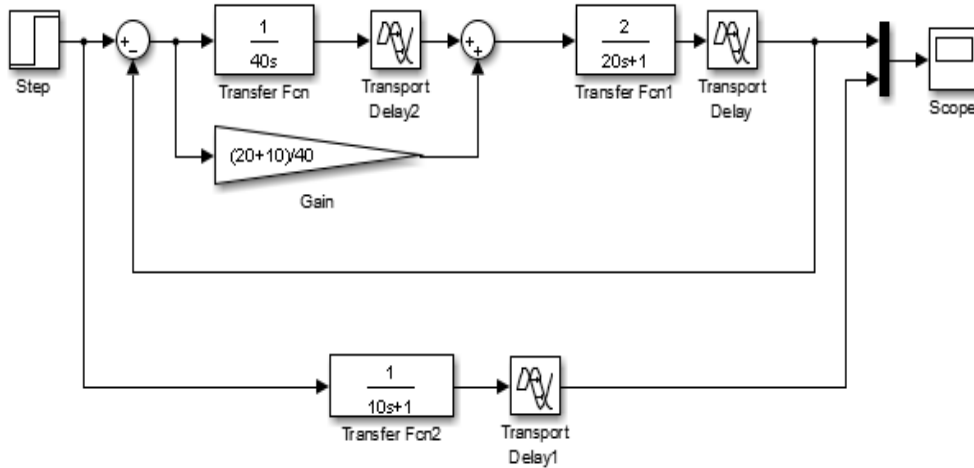


Рисунок 2 – Схема моделирования замкнутой системы с предиктивным ПИ-регулятором (1) и его расчетными параметрами динамической настройки и эталонной моделью

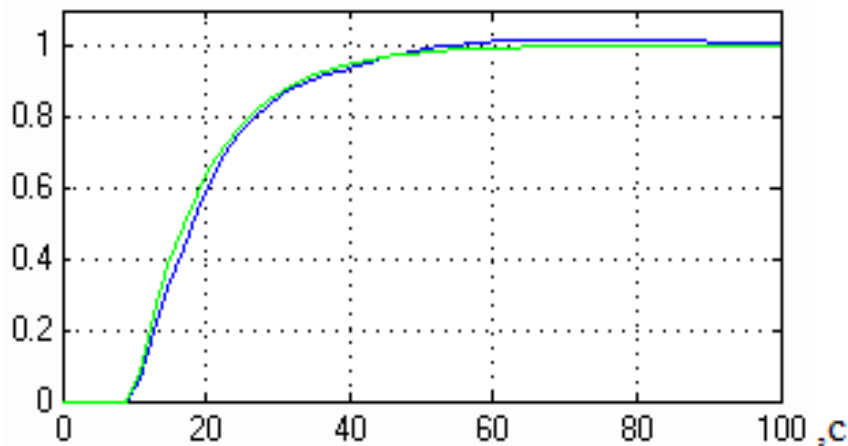


Рисунок 3 – Переходные процессы в замкнутой САР с предиктивным ПИ-регулятором и эталонной моделью

Сравнение графиков на рис. 3 показывает хорошее совпадение переходных процессов.

Сравним переходные процессы в САР с предиктивным ПИ-регулятором и минимальным значением $T_{зд}$ для монотонного переходного процесса и САР, настроенной по методу модального оптимума для объекта с запаздыванием [3]:

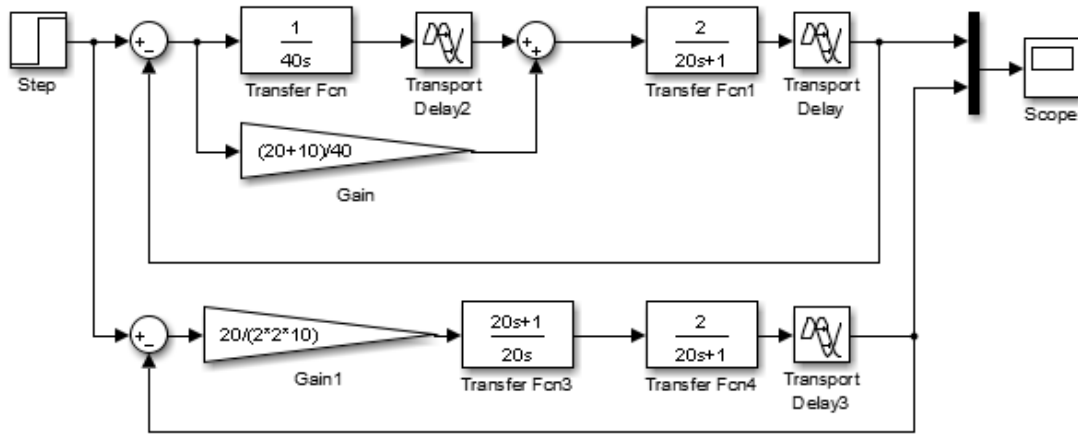


Рисунок 4 – Схема моделирования САР с предиктивным ПИ-регулятором и САР, настроенной методом оптимального модуля

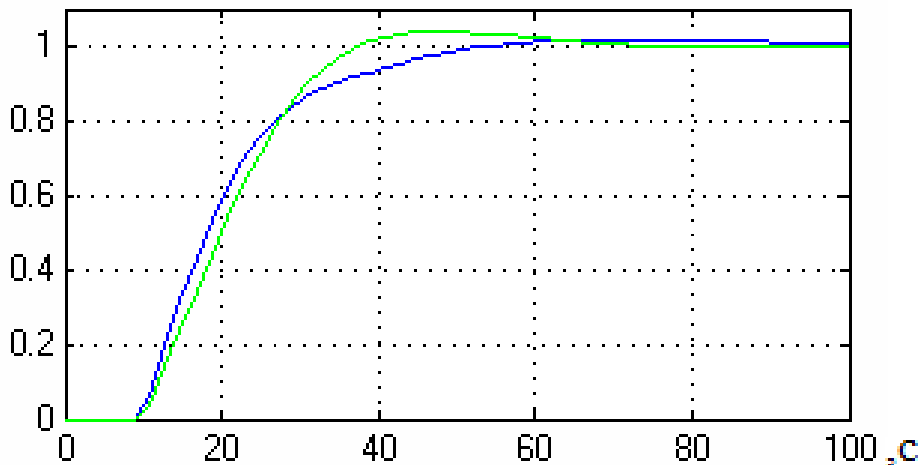


Рисунок 5 – Переходные процессы в САР с предиктивным ПИ-регулятором и САР, настроенной методом оптимального модуля

Сравнение графиков показывает, что оба регулятора обеспечивают примерно одинаковое время регулирования, но оптимальный модуль дает перерегулирование, примерно равное 4,3%.

Список использованных источников

1. Теория автоматического управления теплоэнергетическими процессами: учеб. пособие / Г.Т. Кулаков [и др.]; под ред. Г.Т. Кулакова. – Минск: Вышэйшая школа, 2017. – 238 с.: ил.
2. Ротач В.Я. Расчёт динамики промышленных автоматических систем регулирования / В.Я. Ротач. – М.: Энергия, 1973. – 440 с.: ил.
3. Кузьмицкий И.Ф. Теория автоматического управления / И.Ф. Кузьмицкий, Г.Т. Кулаков. – Минск: БГТУ, 2010. – 576 с.: ил.