Министерство образования и науки Российской Федерации

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования

САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ, МЕХАНИКИ И ОПТИКИ

Факультет систем управления и робототехники

Отчёт по лабораторной работе №3
«Исследование системы автоматического управления с дискретным ПИД-регулятором»
по дисциплине
«Дискретные системы управления»
Вариант 9

Выполнили: студенты потока 1.2

Дюжев В. Д.
Лалаянц К. А.

Преподаватель:

Краснов А.Ю.

Санкт-Петербург
2024

ОГЛАВЛЕНИЕ

Цель работы

Целью лабораторной работы является изучение одного из часто используемых алгоритмов цифрового управления, полученного путем аппроксимации непрерывного ПИД-регулятора.

Теоретическая часть

Дискретное преобразование Лапласа

Для решетчатой функции $y(m)$ дискретное отображение Лапласа $Y(z)$ поределяется:

$$Y(z) = Z[y(m)] = \sum_{m=0}^{\infty} y(m) z^{-m} \tag{1}$$

, где $z = e^{sT}$ — оператор дискретного преобразования Лапласа; s — оператор непрерывного преобразования Лапласа, T — интервал дискретности.

Если у функции есть непрерывный аналог и преобразование Лапласа $Y(s)$ представляет из себя дробно-рациональную функцию без кратных полюсов (s_i, $1 \leq i \leq n$), $Y(z)$ может быть найден следующим образом:

$$Y(z) = \sum_{i=1}^{n} [(s - s_i) \frac{Y(s)}{1 - e^{sT} z^{-1}}]_{s=s_i} \tag{2}$$

ПИД-регулятор

Алгоритм работы дискретного ПИД-регулятора может быть записан как:

$$u(k) = k_p e(k) + k_i T \sum_{m=0}^{k-1} e(m) + \frac{k_d}{T} \left(e(k) - e(k-1)\right) \tag{3}$$

, где k_p, k_i, k_d — соответствующие коэффициенты, e — ошибка управления.

Можно перейти к рекуррентной записи:

$$u(k) = u(k-1) + q_0 e(k) + q_1 e(k-1) + q_2 e(k-2) \tag{4}$$

, где $q_0 = k_p + \frac{k_d}{T}, \quad q_1 = -k_p + k_i T - 2\frac{k_d}{T}, \quad q_2 = \frac{k_d}{T}$.

Для соответствия параметрам непрерывного регулятора должны быть выполнены условия:

$$q_0 + q_1 < 0; q_0 + q_1 + q_2 > 0; q_0 - q_2 > 0 \tag{5}$$

Подействовав дискретным преобразованием Лапласа на 4, получим передаточную функцию регулятора:

$$W_c = \frac{q_0 z^2 + q_1 z + q_2}{z(z-1)} \tag{6}$$

Система управления для ЛР

В этой лабораторной работе будем рассматривать систему управления нагревательным элементом, с передаточной функцией:

$$W_o = \frac{1}{(T_1 s + 1)(T_2 s + 1)} \tag{7}$$

Дискретный образ Лапласа при последовательном соединении с экстраполятором нулевого порядка:

$$W_r = \frac{r_0 z + r_1}{(z-d_1)(z-d_2)} \tag{8}$$

, где $d_1 = e^{-\frac{T}{T_1}}$ и $d_2 = e^{-\frac{T}{T_2}}$.

Для упрощения динамики системы (путем компенсации полюсов) выберем регулятор 6 в виде:

$$W_c = q_0 \frac{(z-d_1)(z-d_2)}{z(z-1)} \tag{9}$$

В ходе работы используем полученные результаты для стабилизации системы.

Экспериментальная часть

Модель

Составим схему моделирования:

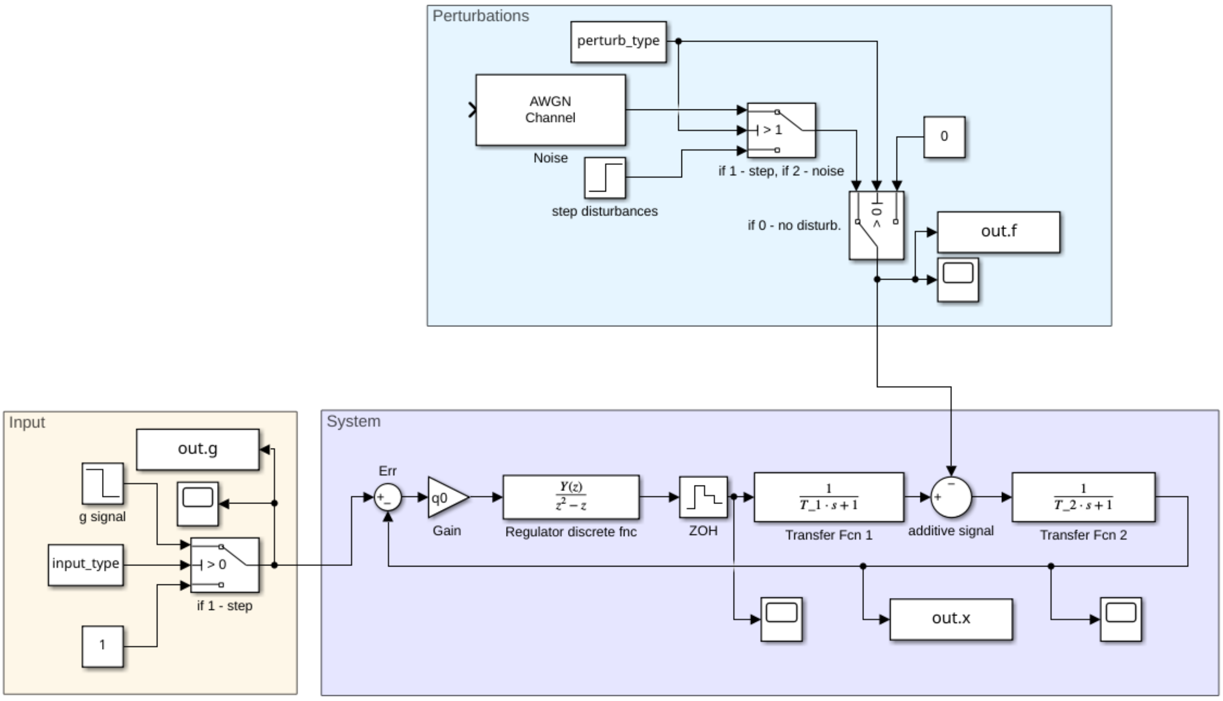

Рис. 1. Схема.

В качестве параметров системы согласно варианту возьмем $T_1 = 0.85$, $T_2 = 0.95$.

Подбор значения q_0

Установим значение $T = \frac{T_1}{2}$. Проведем моделирование для различных значений q_0 при $g = 1$, без внешних возмущений:

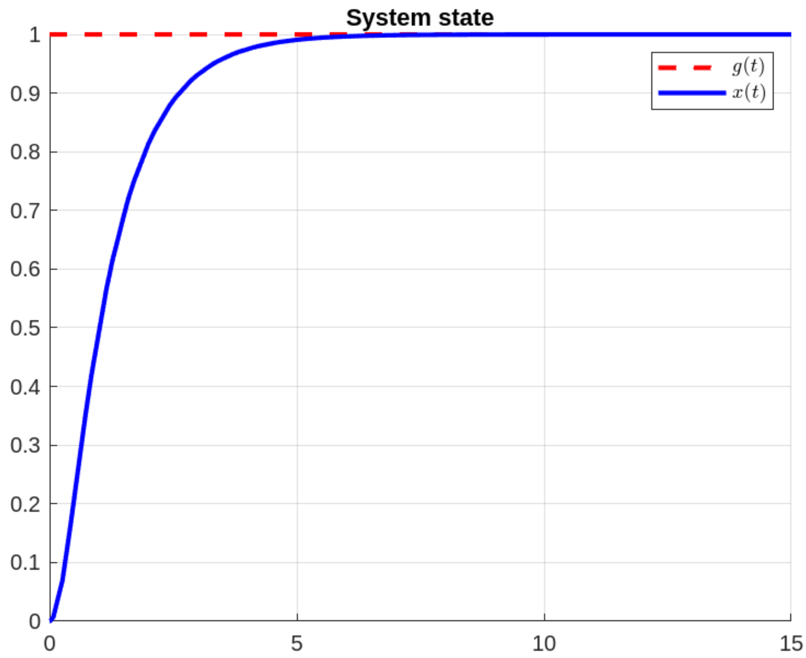

Рис. 2. Задание 2. Моделирование при $q_0 = 2$.

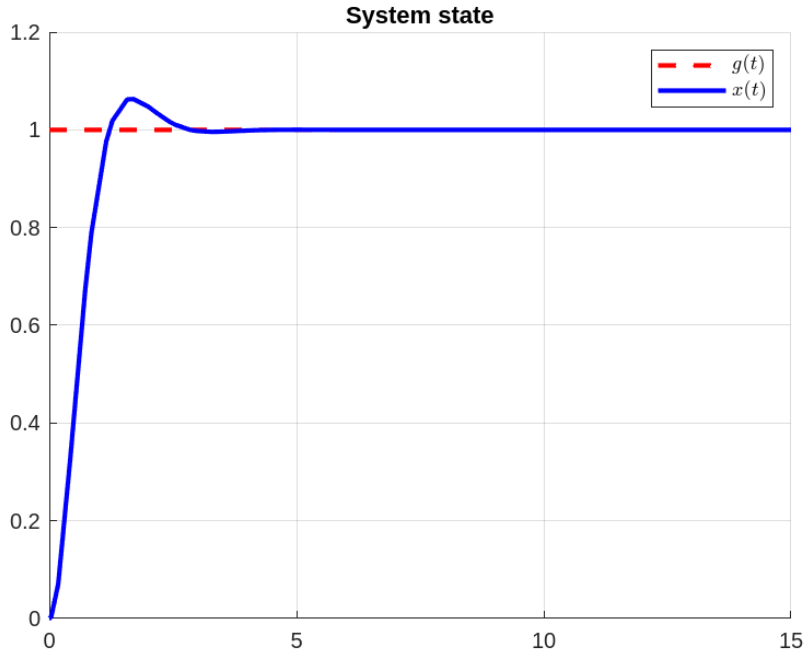

Рис. 3. Задание 2. Моделирование при $q_0 = 4$.

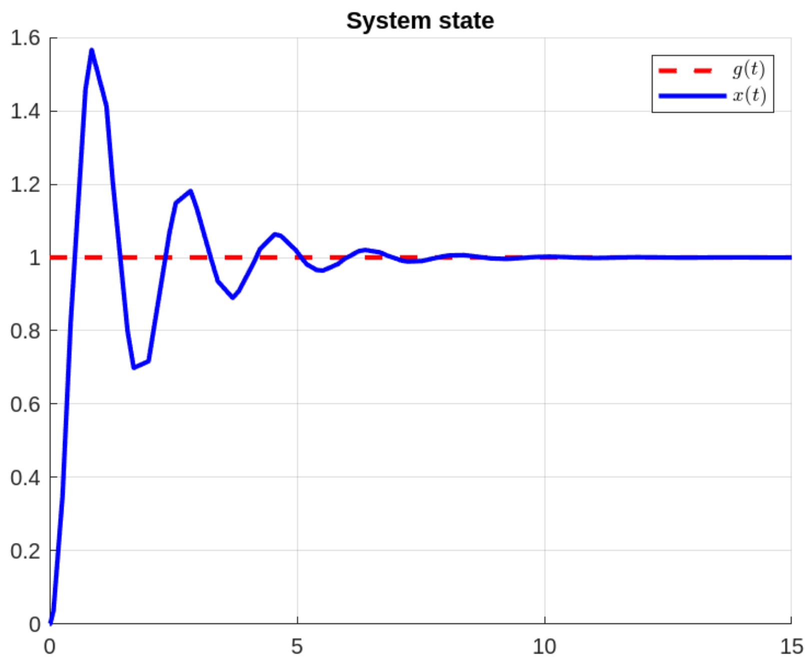

Рис. 4. Задание 2. Моделирование при $q_0 = 10$.

Заметим, что при $q_0 = 4$ система имеет слабоколебательный переходный процесс.

Исследование робастности системы

Зафиксировав q_0 =роведем моделирование системы при различных задающих воздействиях и внешних возмущениях:

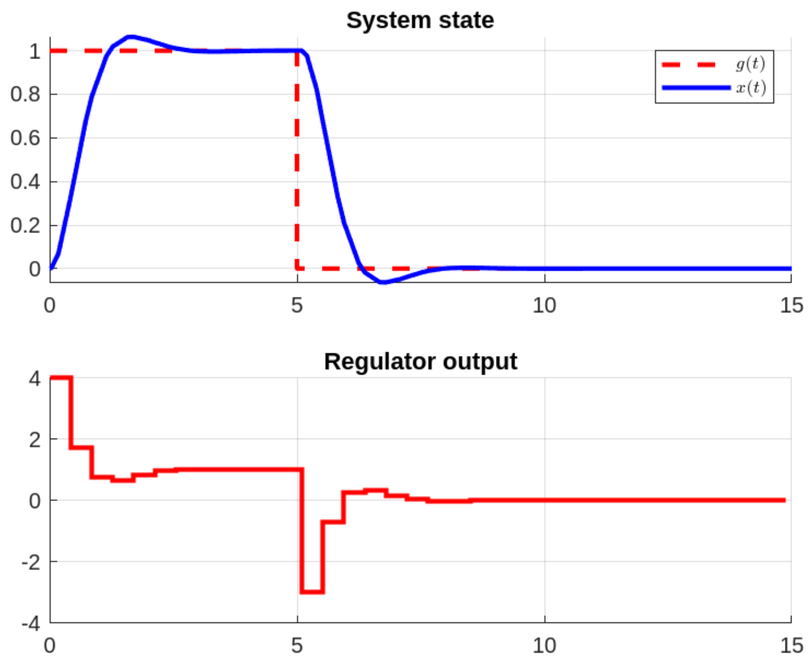

Рис. 5. Задание 3. Моделирование при ступенчатом изменении g, без возмущений.

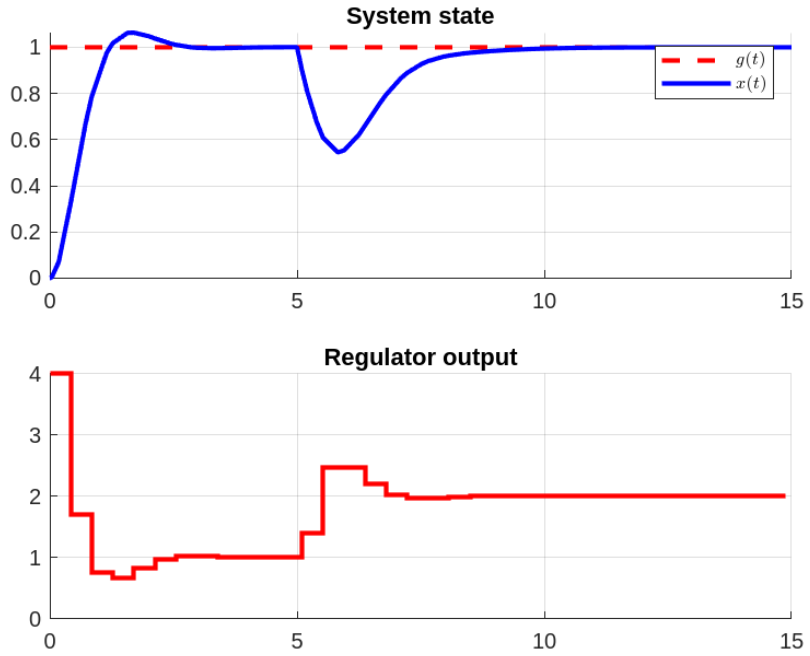

Рис. 6. Задание 3. Моделирование при $g = 1$, ступенчатое изменение возмущений.

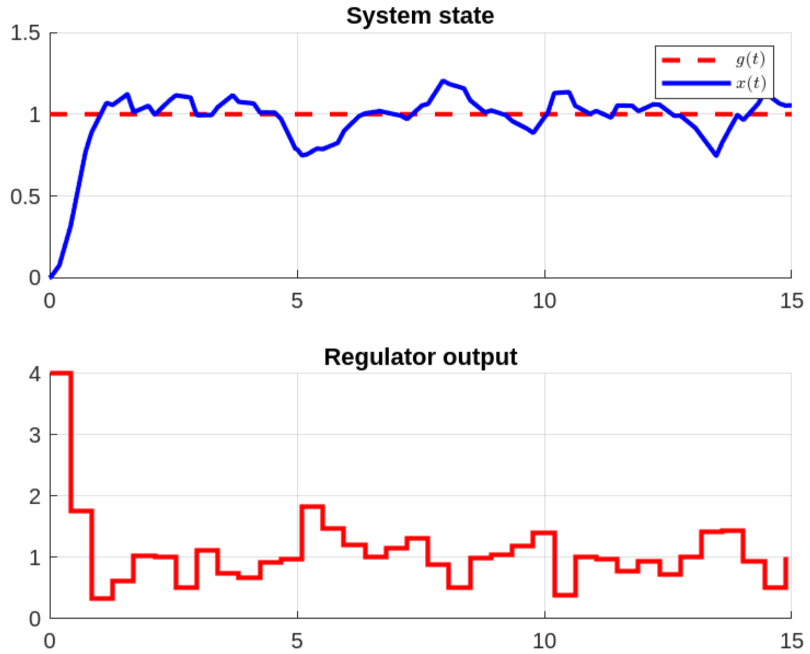

Рис. 7. Задание 3. Моделирование при $g = 1$, случайные возмущения.

Заметим, что система оказалась робастна в приведенных выше условиях эксперимента.

Исследование влияния периода дискретизации

Установим значение $T = \frac{T_1}{4}$. Проведем моделирование при ступенчатом изменении возмущения. Заметим, что колебательность исчезла:

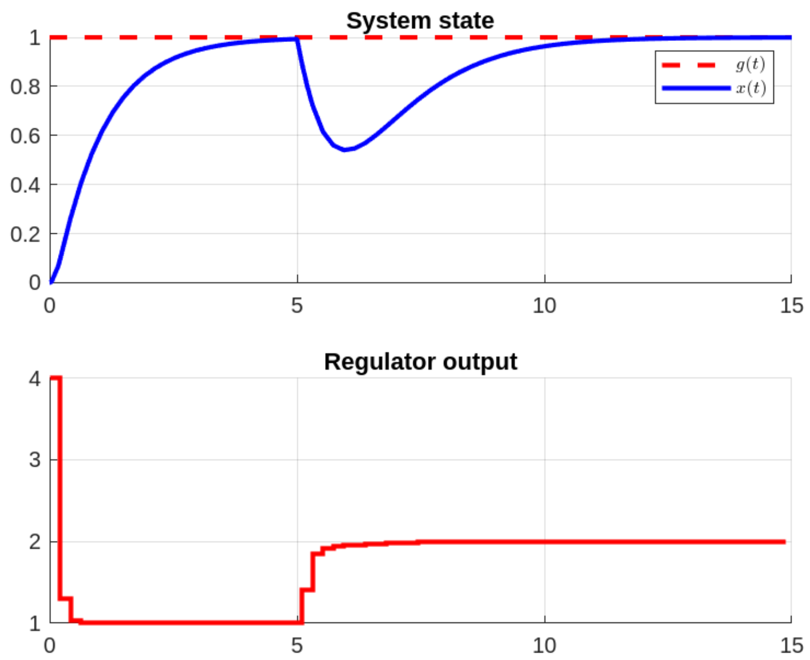

Рис. 8. Задание 4. Моделирование при $g = 1$, ступенчатое изменение возмущений.

Исследование влияния неточности компенсации полюсов

Проведем моделирование при увеличенном и уменьшенном значении T_2:

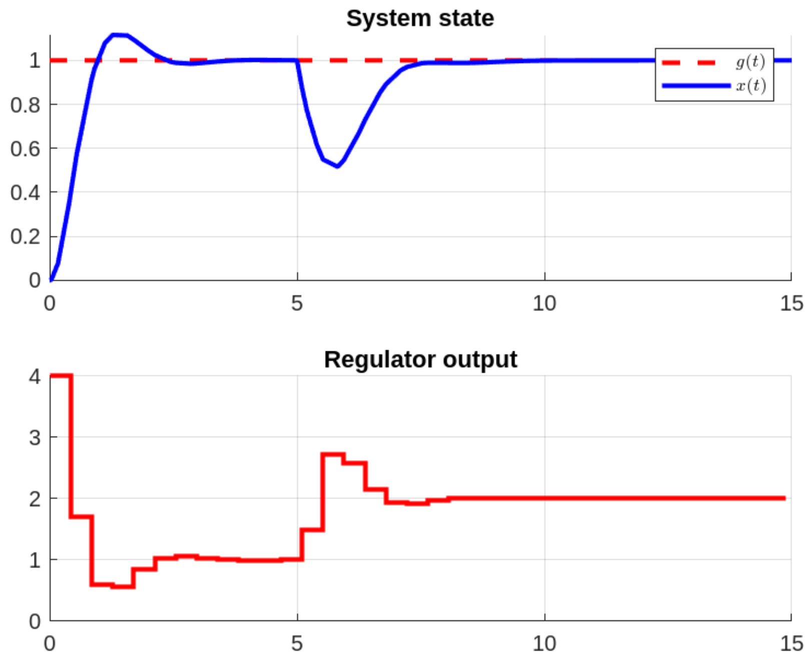

Рис. 9. Задание 5. Моделирование при уменьшенном значении T_2 (80%).

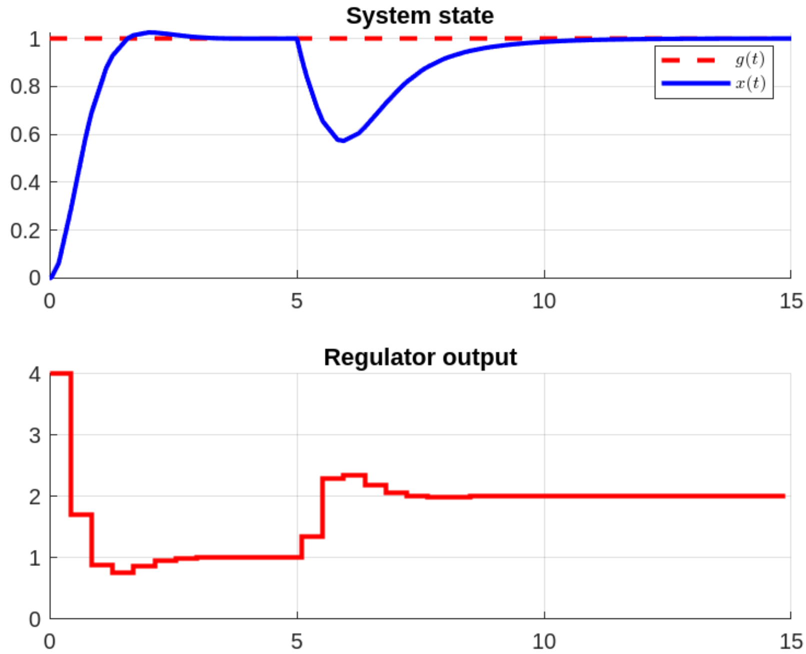

Рис. 10. Задание 5. Моделирование при увеличенном значении T_2 (120%).

Можем наблюдать усложнение динамики переходного процесса.

Выводы

В ходе выполнения лабораторной работы мы ознакомились с принципами синтеза ПИД-регулятора для дискретных систем. Можно выделить следующие замечания:

- Изменение коэффициента q_0 влияет на полюса замкнутой системы, что позволяет настраивать поведение системы;
- При правильном выборе параметров регулятора замкнутая система робастна к ступенчатым изменениям задающего воздействия, а также возмущений;
- При наличии случайных возмущений система остается в окрестности устойчивого положения (однако важна частота изменения — не должна сильно превышать $\frac{1}{T}$);
- Уменьшение интервала дискретизации увеличивает плавность переходных процессов и также оказывает влияние на полюса итоговой системы (в ходе эксперимента наблюдалось исчесновение слабоколебательного характера переходного процесса);
- При существовании неточности компенсации полюсов динамика замкнутой системы усложняется (за счет динамики изначальной), что может усложнить процесс настройки.