

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования



**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Инженерная школа информационных технологий и робототехники
Отделение информационных технологий
Направление подготовки 09.04.04 Программная инженерия

Отчёт по лабораторной работе №4
СИНТЕЗ РЕГУЛЯТОРОВ СИСТЕМ АВТОМАТИЧЕСКОГО
УПРАВЛЕНИЯ
по дисциплине Основы теории управления автономными системами

Выполнил студент гр. 8ПМ4Л

Подпись

Дата

Сокуров Р.Е.
Фамилия И.О.

Проверил доцент ОАР

Подпись

Дата

Хожаев И.В.
Фамилия И.О.

Томск 2024 г.

Цель

Освоить основы работы с типовыми и модальными регуляторами систем автоматического управления.

Задачи

– Синтез типовых регуляторов:

1) задать на свое усмотрение передаточную функцию неизменяемой части исследуемой системы четвертого порядка;

2) настроить ПИД-регулятор для исследуемой системы любым известным методом;

3) увеличить и уменьшить каждый из коэффициентов ПИД-регулятора, построить переходные характеристики системы, оценить влияние изменения коэффициентов регулятора на время переходного процесса, перерегулирование и время нарастания переходной характеристики;

4) скорректировать полученные ранее настройки регулятора на основе найденных в предыдущем пункте закономерностей, привести переходную характеристику системы со скорректированным регулятором;

– Синтез модального регулятора полного порядка:

1) задать модель объекта управления в форме передаточной функции третьего порядка, преобразовать модель к форме Коши, получить передаточную функцию системы с модальным регулятором полного порядка;

2) задать желаемое значение времени переходного процесса;

3) рассчитать коэффициенты регулятора с помощью составления желаемого характеристического полинома;

4) рассчитать коэффициенты регулятора с помощью характеристического полинома, нормированного по распределению Баттерворта;

5) рассчитать коэффициенты регулятора с помощью характеристического полинома, нормированного по биномиальному распределению.

Ход работы

1. Аппроксимация объекта управления апериодическим звеном первого порядка с транспортной задержкой.

Предположим, что объект управления описан следующей передаточной функцией: $W(s) = \frac{100}{24s^4 + 50s^3 + 35s^2 + 10s + 1}$. Построим переходную характеристику исследуемого объекта и аппроксимируем этот объект моделью первого порядка.

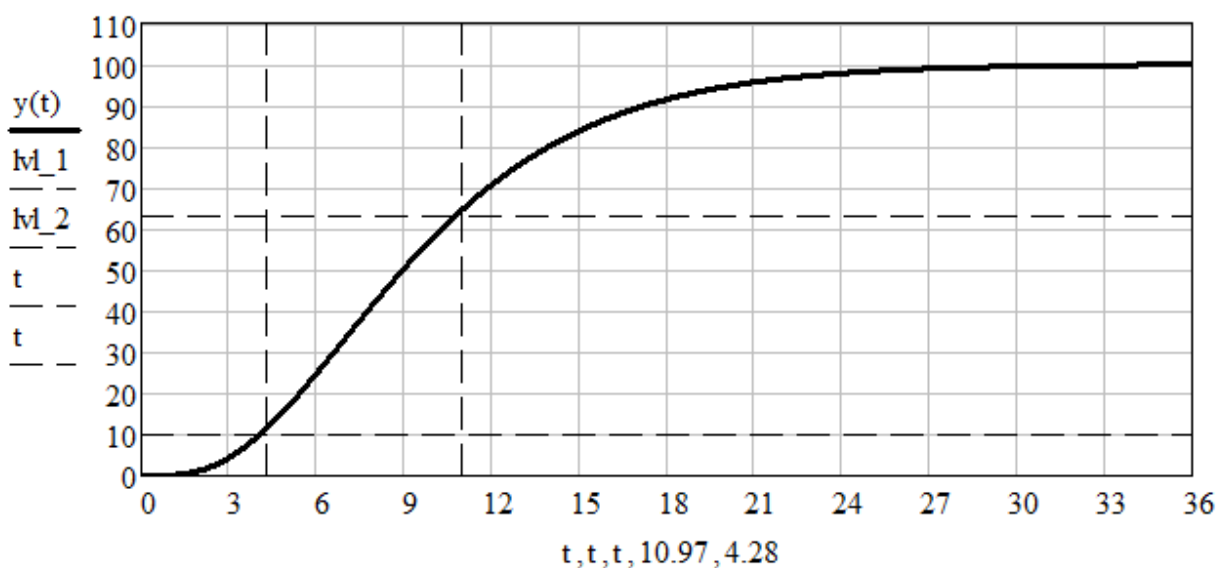


Рисунок 1 – Переходная характеристика модели

По итогам анализа рисунка 1 получили, что

$$L = 4.28 \text{ с.}$$

$$T + L = 10.97 \text{ с.}$$

$$T = 10.97 - 4.28 = 6.69 \text{ с.}$$

$$K = 100$$

В таком случае изображение аппроксимированной переходной характеристики имеет вид: $H(s) = \frac{100 \cdot e^{-4.28s}}{s(6.69s + 1)}$. Точность аппроксимации можно оценить, построив в одних координатах исходную и аппроксимированную переходные характеристики (см. рисунок 2).

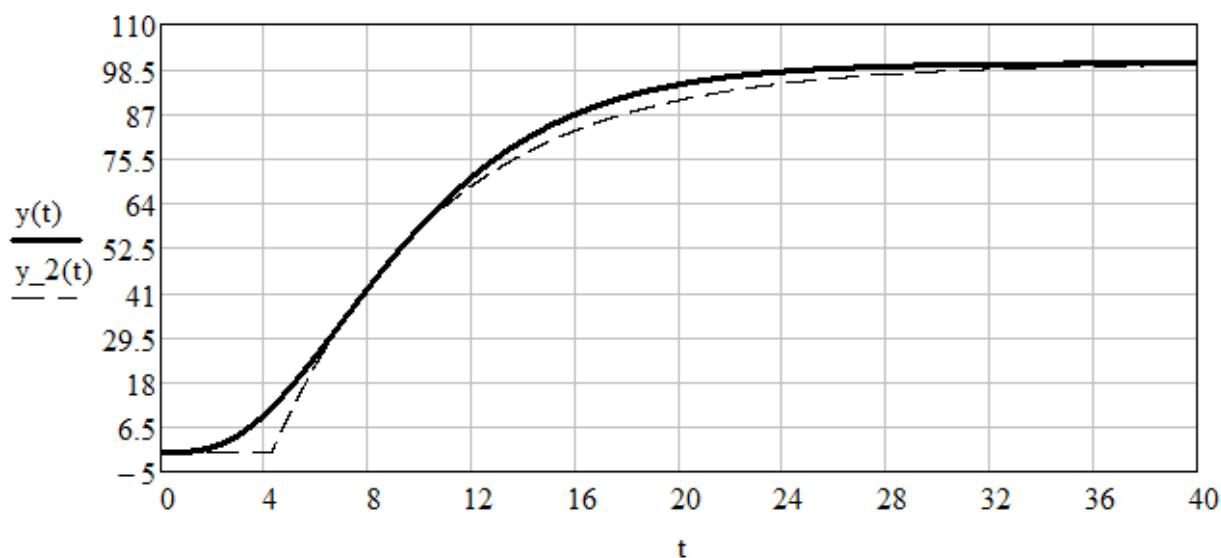


Рисунок 2 – Исходная и аппроксимированная переходные характеристики исследуемого объекта

Рассмотрим далее настройку ПИД-регулятора для управления данным объектом с помощью метода Циглера-Никольса и метода Чина-ХронесаРесвика. Выполним дополнительные построения на переходной характеристике объекта (см. рисунок 3).

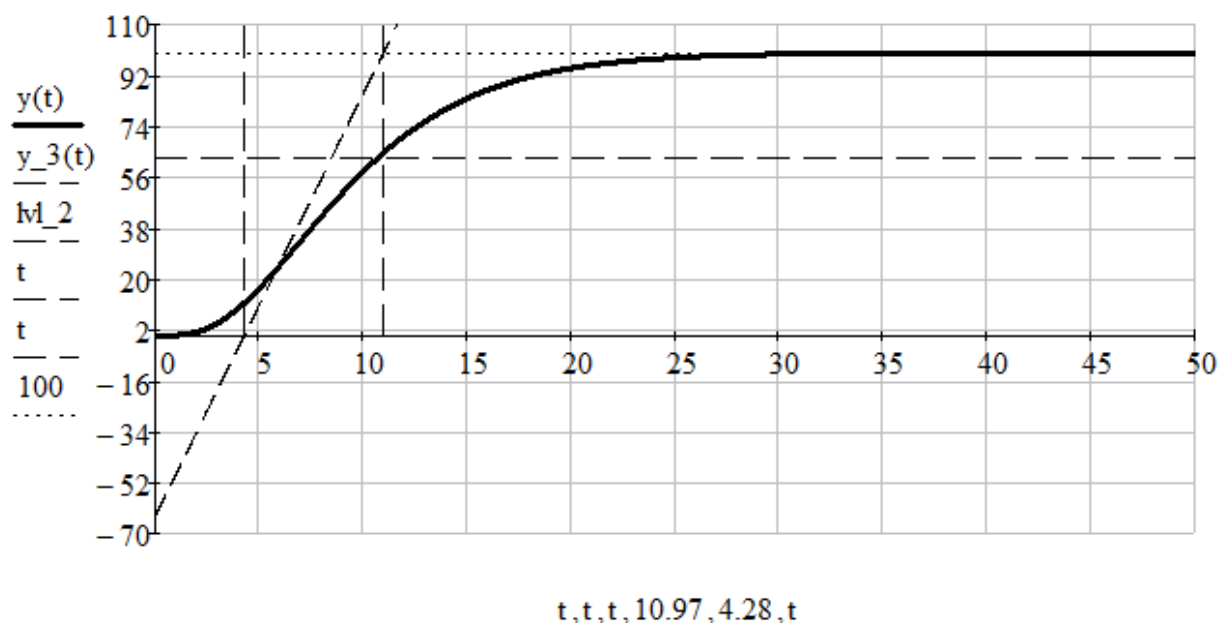


Рисунок 3 – Дополнительные построения на переходной характеристике объекта управления

Исходя из рисунка 3, можно утверждать, что параметр a равен 63.9761. С учетом того, что время запаздывания L найдено ранее и принятого равным

4.28 с, можно утверждать, что все необходимые параметры для настройки ПИД-регулятора найдены. Найдем значения параметров регулятора:

$$a := 63.9761 \quad L = 4.28$$

$$W_{PID}(s, K_p, T_i, T_d) := K_p \cdot \left(1 + \frac{1}{T_i \cdot s} + T_d \cdot s \right)$$

$$W_{ZN}(s) := W_{PID}\left(s, \frac{1.2}{a}, 2 \cdot L, 0.5 \cdot L\right) \text{ float}, 6 \rightarrow 0.04014 \cdot s + \frac{0.00219124}{s} + 0.018757$$

Рисунок 4 – Расчет параметров регулятора и его передаточной функции средствами Mathcad

Для оценки качества регулирования построим переходную характеристику исследуемой системы с синтезированным регулятором:

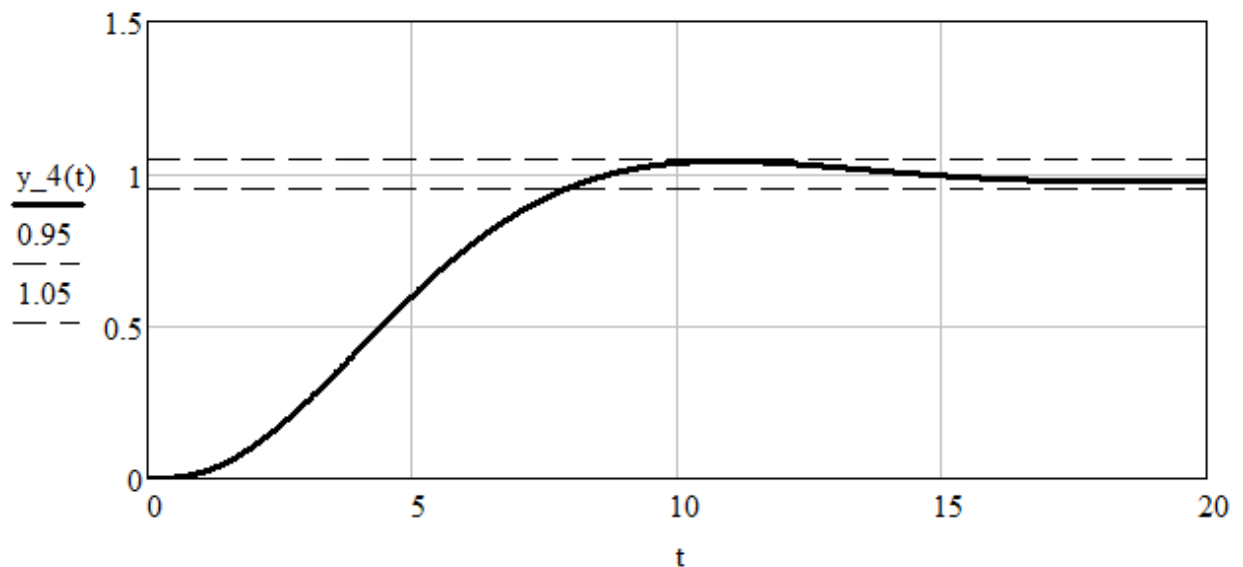


Рисунок 5 – Переходная характеристика системы с синтезированным ПИД регулятором

Скорректируем вручную найденные значения параметров регулятора для улучшения динамических свойств системы, а именно для уменьшения времени переходного процесса. Увеличим пропорциональный коэффициент регулятора до 0.021, а интегральный коэффициент – до 0.07, дифференциальный – до 0.00319124. переходная характеристика системы с ним отображена пунктирной линией:

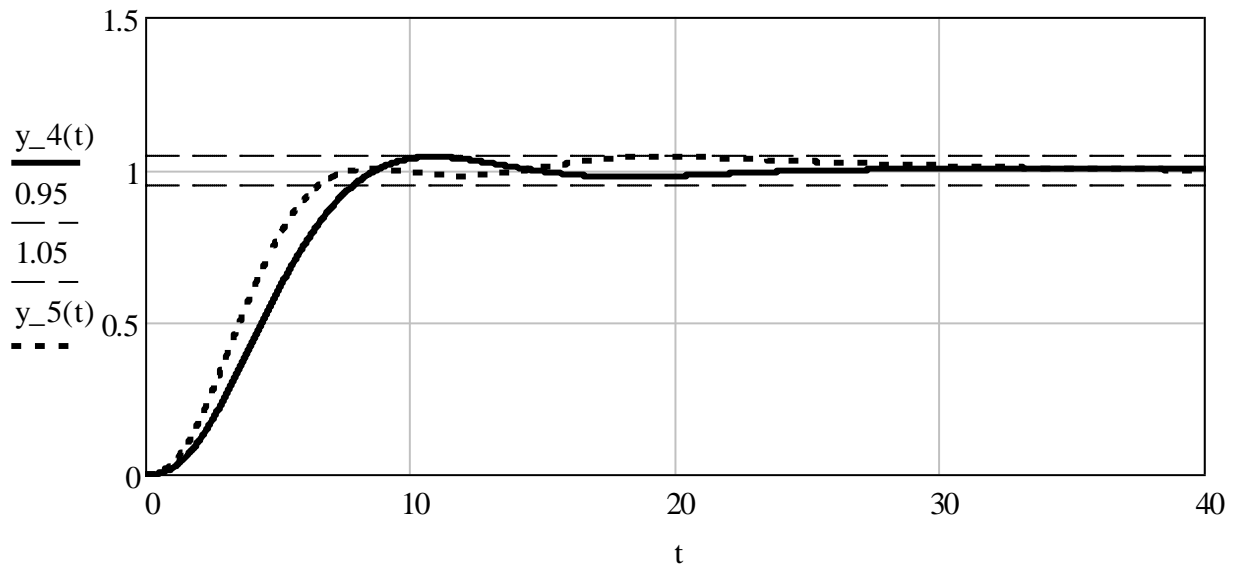


Рисунок 6 – Переходная характеристика системы со скорректированным ПИД-регулятором

Исходя из рисунка 1.6, можно утверждать, что за счет корректировки параметров ПИД-регулятора удалось сократить время переходного процесса.

2. Синтез модального регулятора полного порядка

Известно, что обобщенный объект управления исследуемой системы описывается следующей передаточной функцией:

$$W(s) = \frac{10}{0.01s^3 + 0.17s^2 + 0.8s + 1}$$

Представим эту ПФ так, чтобы коэффициент при s^3 стал равным единице, а к остальным коэффициентам добавим настраиваемый параметр:

$$W(s, k_1, k_2, k_3) = \frac{1000}{s^3 + (17 + k_3)s^2 + (80 + k_2)s + (100 + k_3)}$$

Пусть нужно обеспечить в синтезируемой системе перерегулирование 15% и переходной процесс длительностью в 5 секунд. Тогда, поскольку $t_n \approx \frac{4}{\eta}$

и $\sigma \leq e^{-\frac{\pi}{\mu}}$, значит $\eta \approx 0.800, \mu \leq 1,656$. Зададим желаемый характеристический полином, обеспечивающий найденные значения корневых показателей качества:

$$D(s) = (s + 0.8 + j \cdot 0.8)(s + 0.8 - j \cdot 0.8)(s + 10) =$$

$$= s^3 + 11.6s^2 + 17.28s + 12.8$$

С учетом того, что характеристический полином исследуемой системы имеет следующий вид:

$$D(s, k_1, k_2, k_3) = s^3 + (17 + k_3)s^2 + (80 + k_2)s + (100 + k_3)$$

То можем найти значения коэффициентов модального регулятора, обеспечивающего желаемое расположение полюсов:

$$k_1 = -87.2$$

$$k_2 = -67.72$$

$$k_3 = -5.4$$

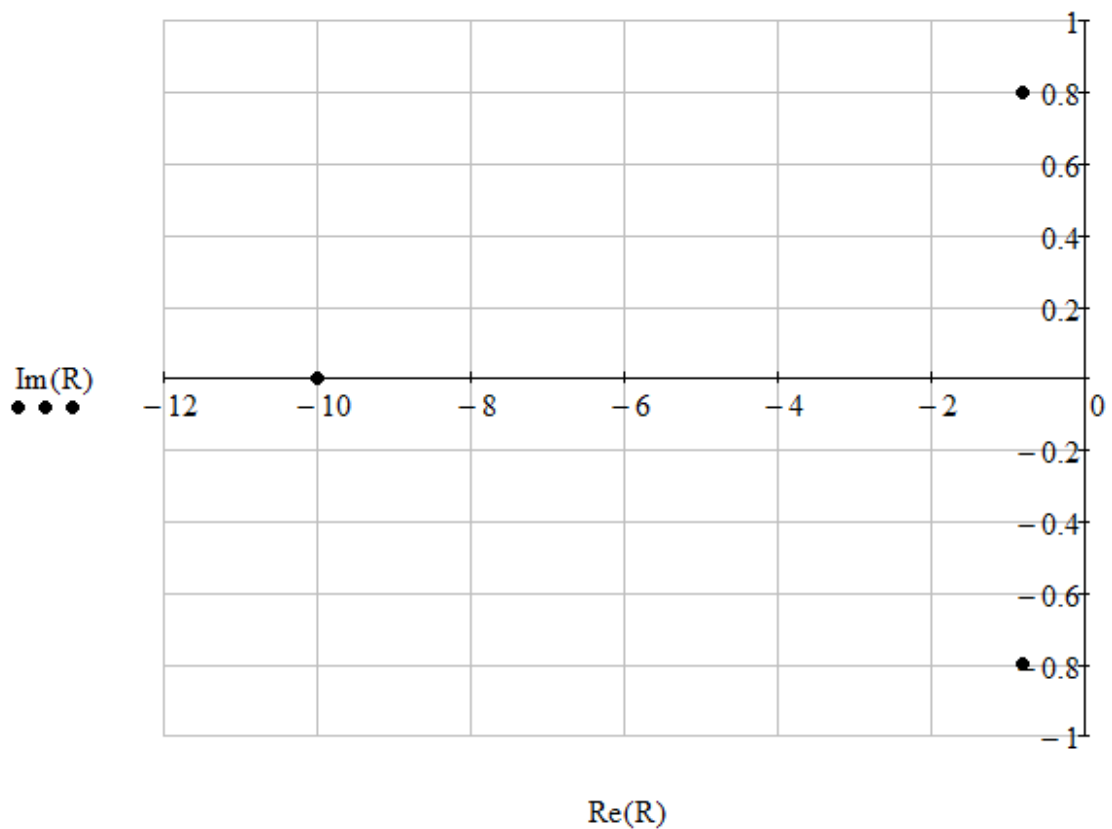


Рисунок 7 – Расположение полюсов системы с регулятором, синтезированным по желаемому характеристическому полиному

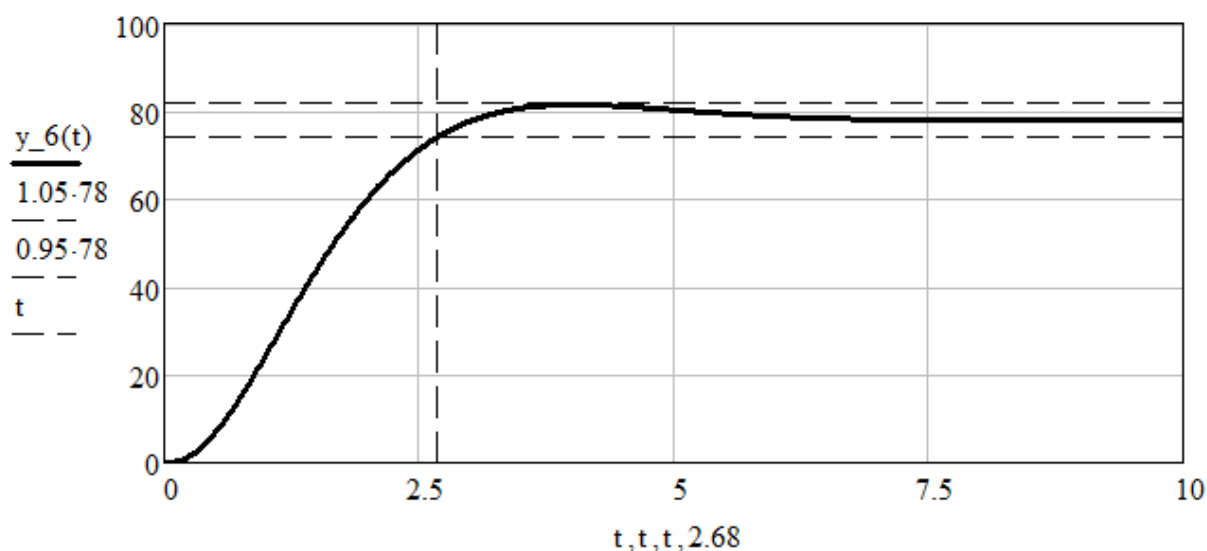


Рисунок 8 – Переходная характеристика исследуемой системы

3. Синтез модального регулятора по Баттерворту

Нормированный полином Баттерворта для системы третьего порядка выглядит следующим образом: $D(s) = s^3 + 2 \cdot \omega_0 \cdot s^2 + 2 \cdot \omega_0^2 \cdot s + \omega_0^3$. Значения коэффициентов полинома выбираются в соответствии со значением среднегеометрического корня ω_0 , которое в свою очередь рассчитывается по формуле $\omega_0 = \frac{\tau_n}{t_n}$, где τ_n – безразмерная величина, характеризующая время переходного процесса; t_n – желаемое время переходного процесса. Для системы третьего порядка $\tau_n = 6, \sigma = 8.1\%$. Пусть требуется создать систему с временем регулирования 10 секунд, тогда $\omega_0 = 0.63$, а характеристический полином $D(s) = s^3 + 1.2s^2 + 0.72 \cdot s + 0.216$. Для обеспечения найденных значений коэффициентов характеристического полинома коэффициенты регулятора должны принять следующие значения:

$$k_1 = -99.784$$

$$k_2 = -79.28$$

$$k_3 = -15.8$$

Расположение полюсов синтезированной системы показано на рисунке ниже.

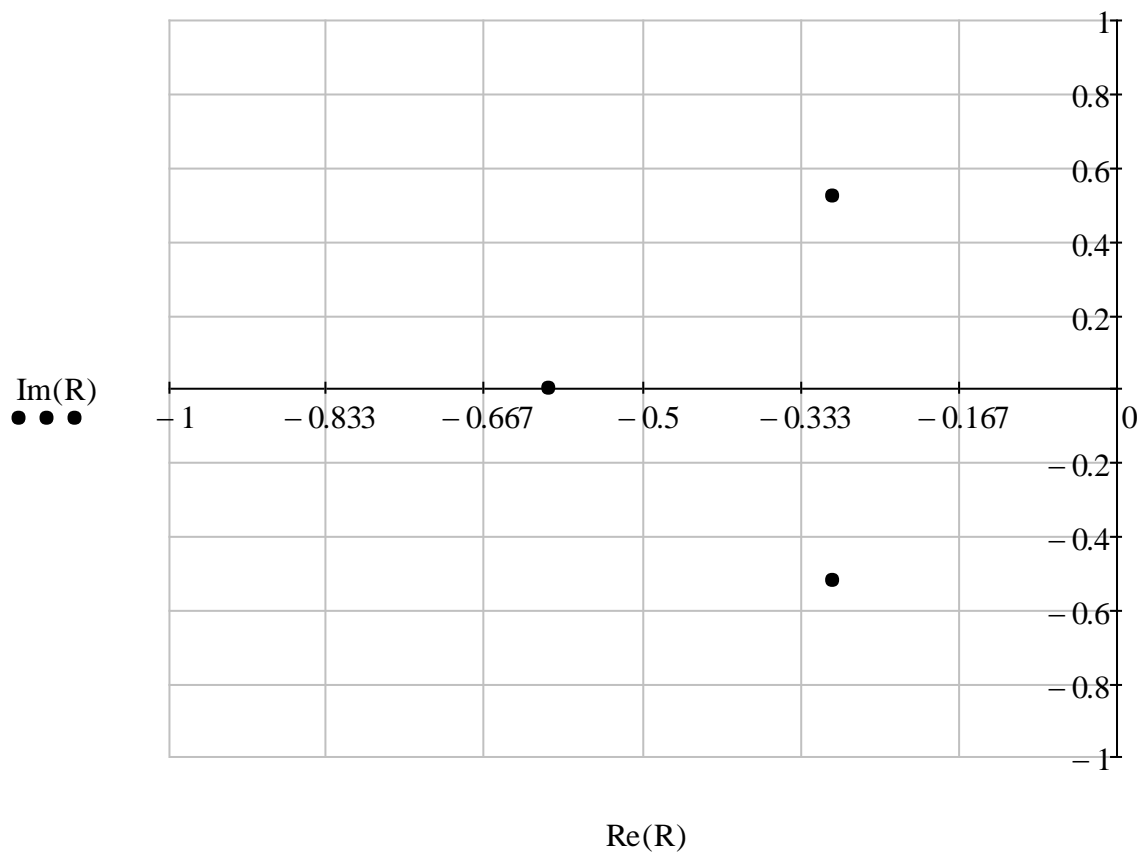


Рисунок 9 – Расположение полюсов системы с модальным регулятором, синтезированным по распределению Баттерворта

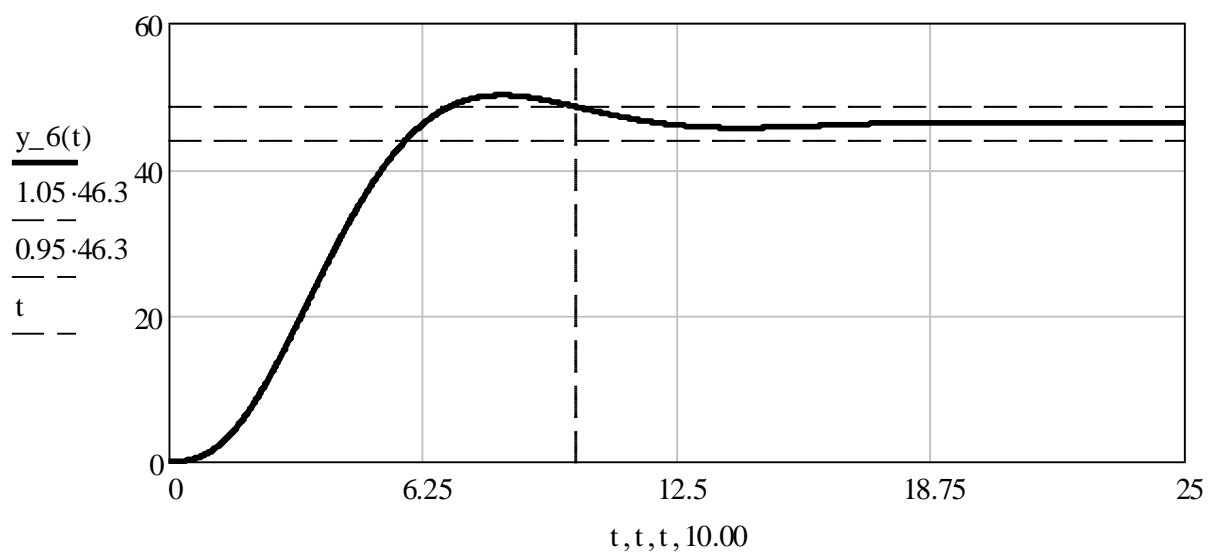


Рисунок 10 – Переходная характеристика системы с модальным регулятором, синтезированным по распределению Баттерворта

4. Синтез модального регулятора полного порядка по биномиальному распределению

Полиномы с биномиальным распределением задаются следующим выражением $D(s) = (s + \omega_0)^n$. Пусть потребуется создать систему с временем регулирования равным 5 секунд, тогда $\omega_0 = \frac{6.3}{5} = 1.26$, а значит полином выглядит следующим образом: $D(s) = s^3 + 3.78s^2 + 4.7628 \cdot s + 2.000376$. Для обеспечения таких значений коэффициентов характеристического полинома значения коэффициентов регулятора должны принять следующие значения:

$$k_1 = -97.999624$$

$$k_2 = -75.2372$$

$$k_3 = -13.22$$

Синтезированная система имеет три кратных полюса, расположение которых показано на рисунке 11. Переходная характеристика такой системы показана на рисунке 12.

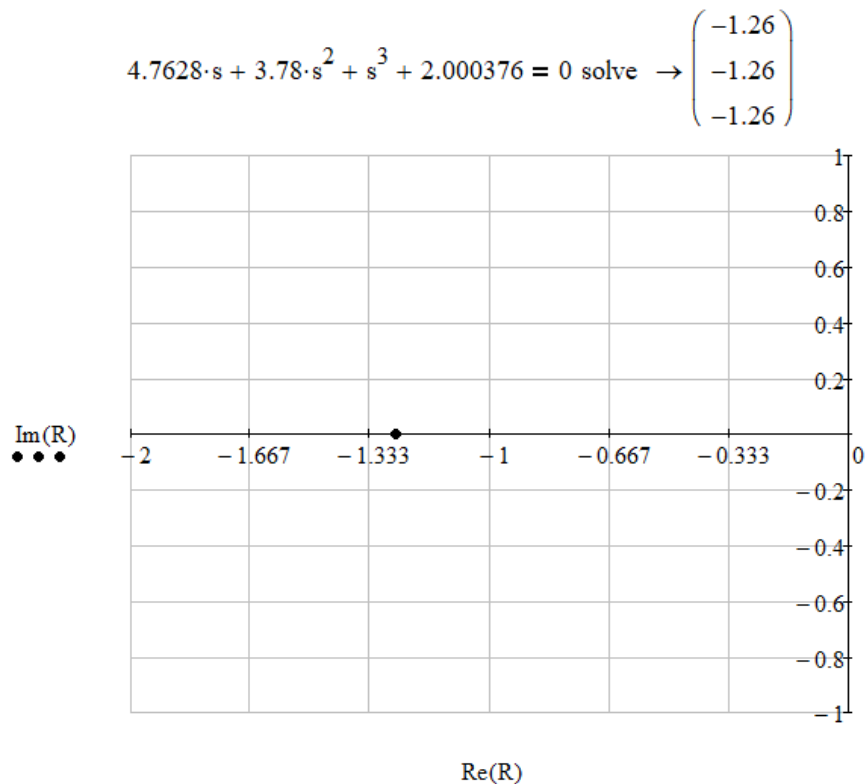


Рисунок 11 – Расположение полюсов системы с модальным регулятором, синтезированным по биномиальному распределению

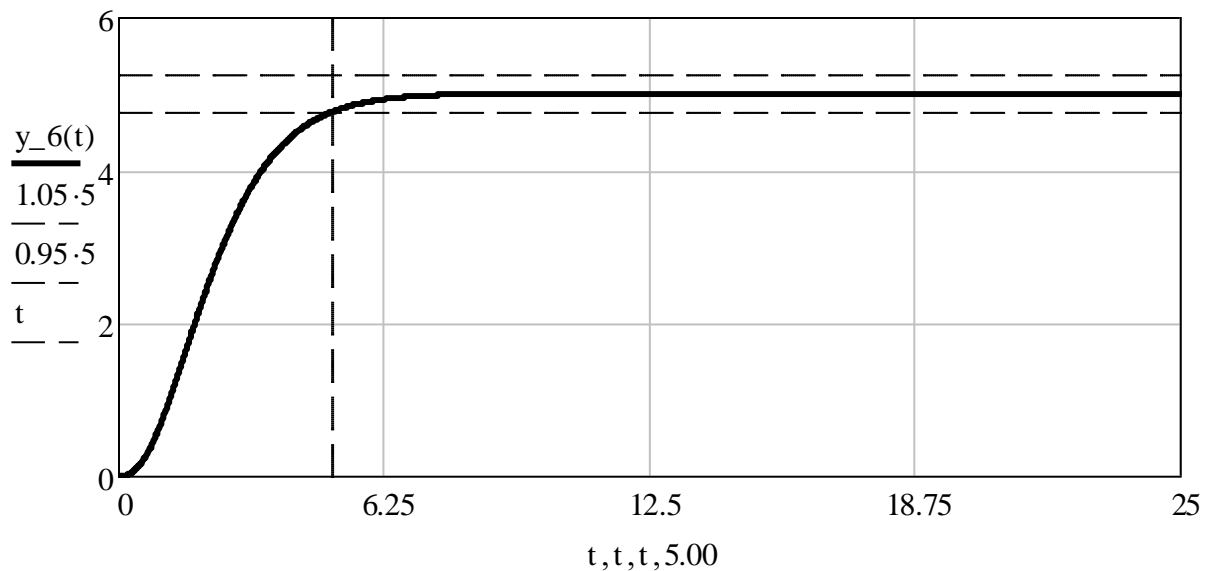


Рисунок 12 –Переходная характеристика системы с модальным регулятором, синтезированным по биномиальному распределению

Заключение

В ходе первой части данной лабораторной работы были успешно синтезирован ПИД регулятор для исследуемой системы, обеспечивший необходимые показатели качества. После этого коэффициенты регулятора были подрегулированы с целью уменьшения времени регулирования системы.

В ходе второй части работы был выполнен синтез модального регулятора полного порядка с помощью составления желаемого характеристического полинома, характеристического полинома нормированного по распределению Баттерворта и характеристического полинома, нормированному по биномиальному распределению.