

МИНОБРНАУКИ РОССИИ
САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
«ЛЭТИ» ИМ. В.И. УЛЬЯНОВА (ЛЕНИНА)
Кафедра САПР

ОТЧЕТ
по лабораторной работе №2
по дисциплине «Основы теории управления»

Студент гр. 1302	_____	Новиков Г.В.
Студентка гр. 1302	_____	Марзаева В.И.
Студентка гр. 1302	_____	Романова О.В.
Преподаватель	_____	Черных Д.А.

Санкт-Петербург

2023

Цель работы

Выполнить поставленные задания с учетом вариантов в среде MATLAB/Simulink.

Задание

1. Построить систему управления с использованием ПИ и ПИД регулятор, который бы обеспечивал $e_{уст} \rightarrow 0$. Получить для с системы с каждым видом регулятора переходную характеристику и частотные характеристики. Сравнить полученные результаты и сделать выводы.

2. Определить параметры ПИД-регулятора при наименьшем перерегулировании в системе. При полученных параметрах определить запасы устойчивости по амплитуде и фазе, степень устойчивости и колебательности. Сделать выводы.

3. Определить параметры ПИД-регулятора при наименьшем времени регулирования в системе. При полученных параметрах определить запасы устойчивости по амплитуде и фазе степень устойчивости и колебательности.

4. Для объекта, который описывается следующей передаточной функцией:

$$W_{oy}=k/(s^2-a),$$

a, k выбрать из варианта задания.

Вычислить операторным методом параметры регулятора, с учетом следующих требований к процессу:

- 1.1 Запас устойчивости по фазе не менее 60° ;
- 1.2 Перерегулирование в системе не более 18%;
- 1.3 $e_{уст} \rightarrow 0$.

5. Построить систему без регулятора и систему с регулятором в среде Matlab/SIMULINK. Для каждой системы получить переходные характеристики и частотные характеристики.

Вариант 4:

Вариант	Задачи 1-3			Задачи 4-5	
	h	q	k	k	a
4	15	0.5	0.8	4	5

Основные теоретические положения

Объект управления – бак с водой;

В бак поступает вода (Q). Подача воды в бак регулируется насосом. Из бака вода (q) постоянно поступает для различных задач. Необходимо постоянно поддерживать заданный уровень (h) в баке.

h, [м] - уровень воды в баке, регулируемая величина;

Q, [$\frac{м^3}{с}$] – поток воды, поступающей в бак, сигнал управления;

q, [$\frac{м^3}{с}$] – поток воды, вытекающей из бака.

Модель объекта описывается следующим ДУ: $\frac{dh}{dt} = \frac{1}{S} (Q(t) - q(t))$

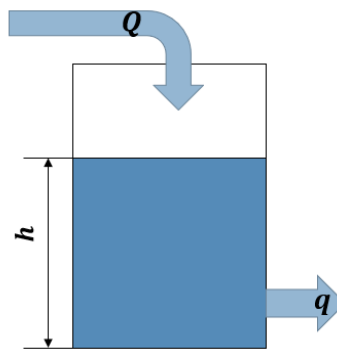


Рисунок 1 – Объект управления

Ход работы

1.

$$e_{уст} \rightarrow 0$$

$$ДУ: \frac{dh}{dt} = \frac{1}{S} (Q(t) - q(t))$$

$e_{уст}$ – установившаяся ошибка, разница между заданным значением и реальным в установившемся режиме.

$$H = 15$$

$$q = 0.5$$

$$k = 0.8$$

Система в Simulink без регулятора:

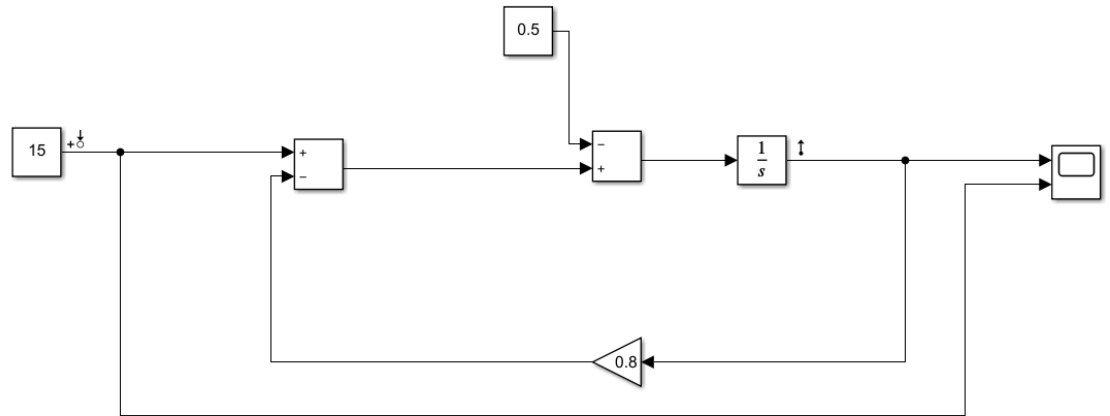


Рисунок 2 – Система без регулятора

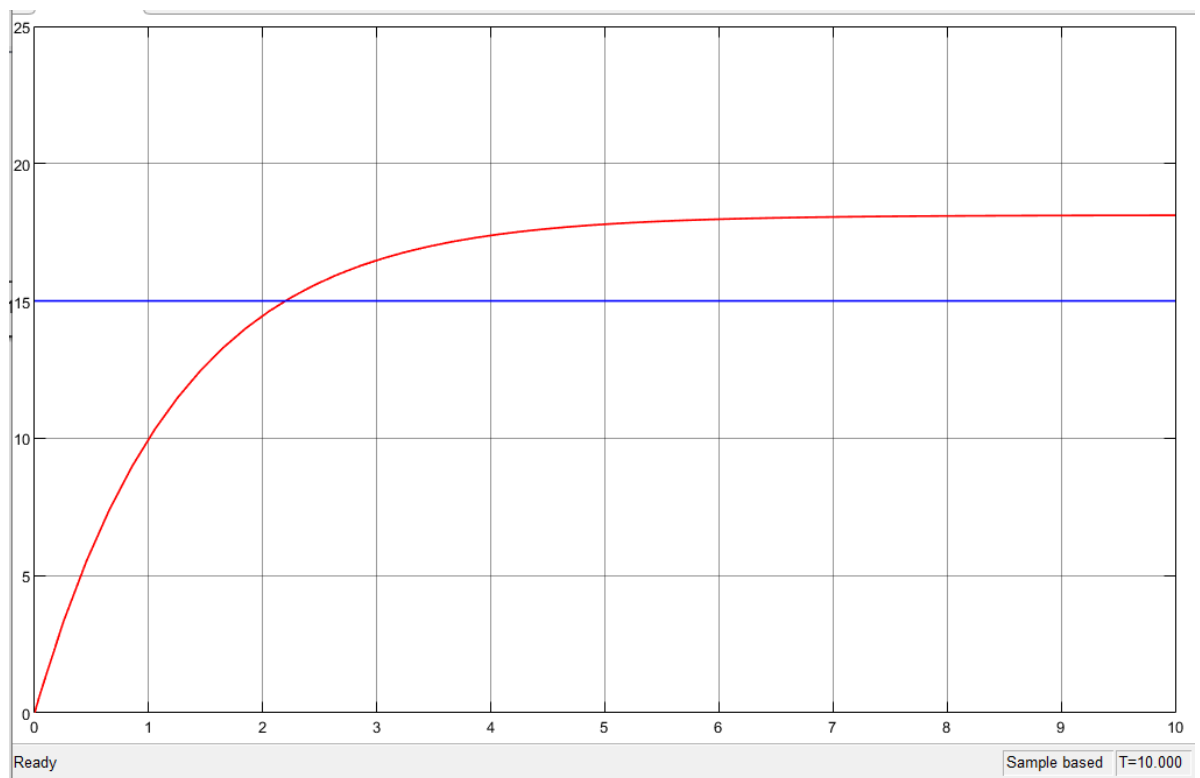


Рисунок 3 – ПХ СУ без регулятора (синяя – заданный уровень, красная – на выходе)

Построим системы в Simulink с использованием регулятора (ПИ и ПИД):

- Пропорционально-интегрирующий регулятор (ПИ-регулятор):

$$W_{\text{пи}}(s) = k_{\text{п}} + \frac{1}{T_{\text{и}}s}$$

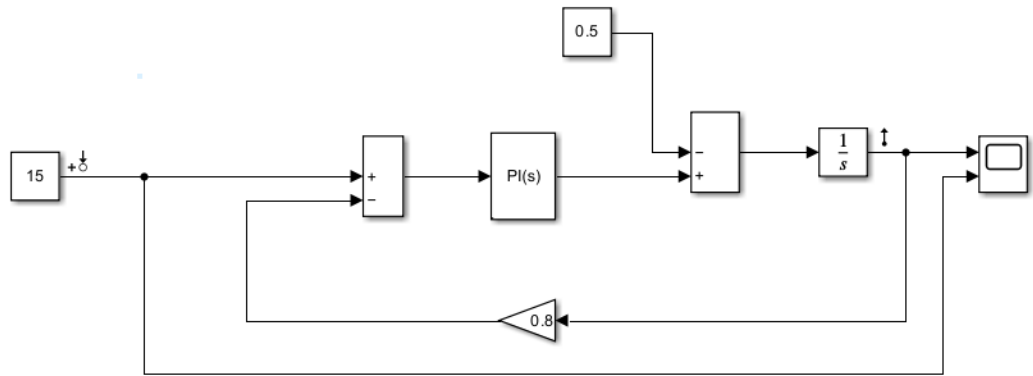


Рисунок 4 – Система в Simulink с ПИ-регулятором

Через Tune настраиваем параметры для системы с ПИ-регулятором. Получаем значения $k_p = 1.083$ и $k_i = 0.625$.

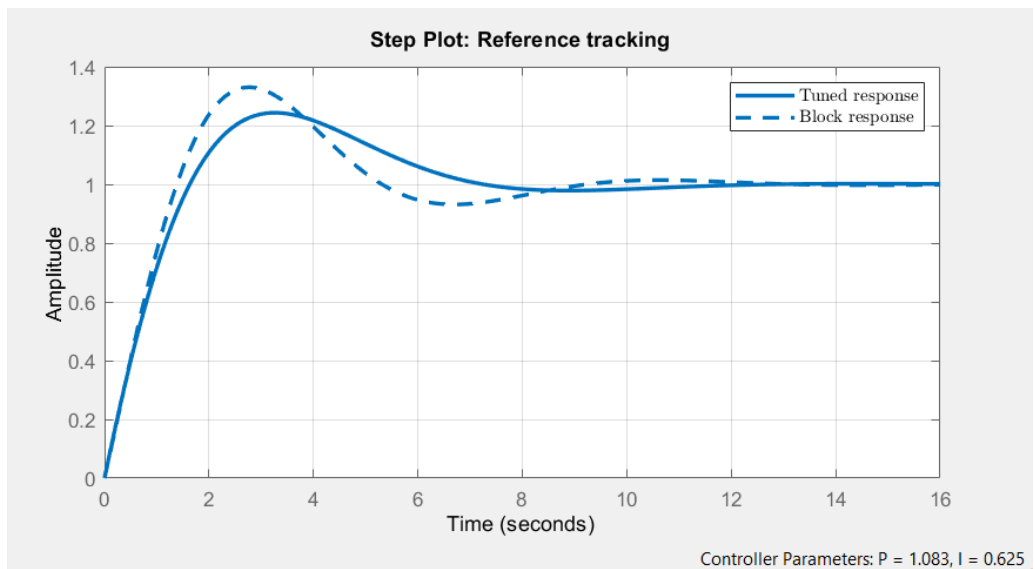


Рисунок 5 – Step Plot СУ с ПИ-регулятором с нужными параметрами

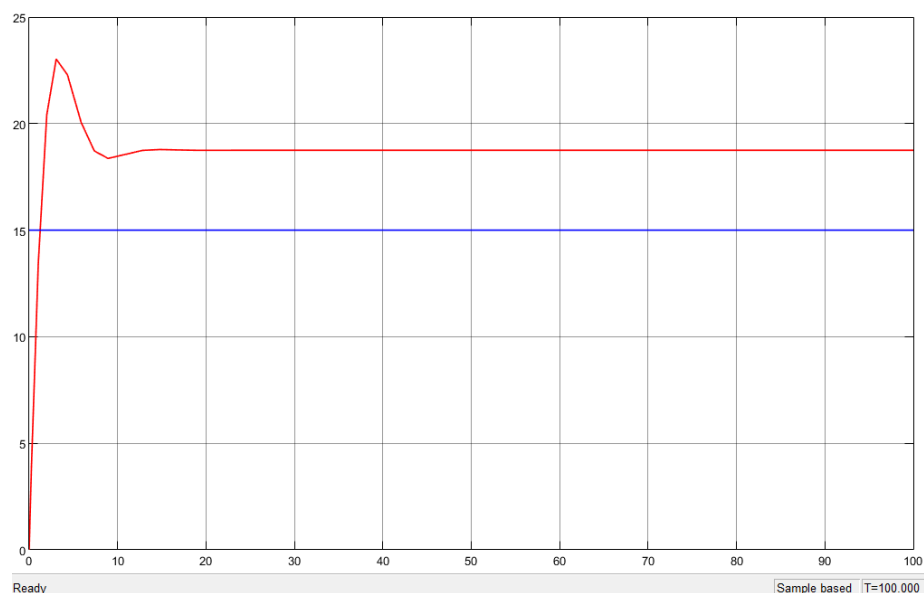


Рисунок 6 – ПХ СУ с ПИ-регулятором (красная – регулятор, синяя – заданный уровень)

Построим через Simulink ЛЧХ для системы с ПИ-регулятором.

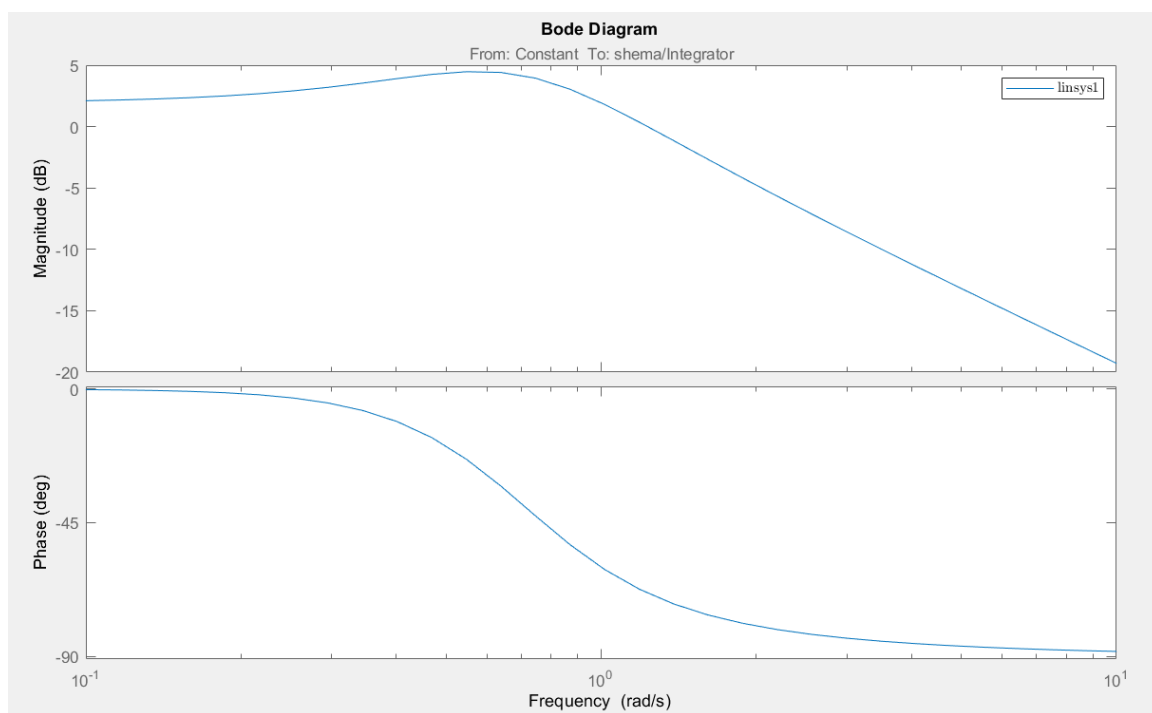


Рисунок 7 – ЛЧХ СУ с ПИ-регулятором

- Пропорционально-интегрирующий-дифференцирующий регулятор (ПИД-регулятор):

$$W_{\text{ПИ}}(s) = k_{\text{п}} + \frac{k_{\text{и}}}{s} + k_{\text{д}}s$$

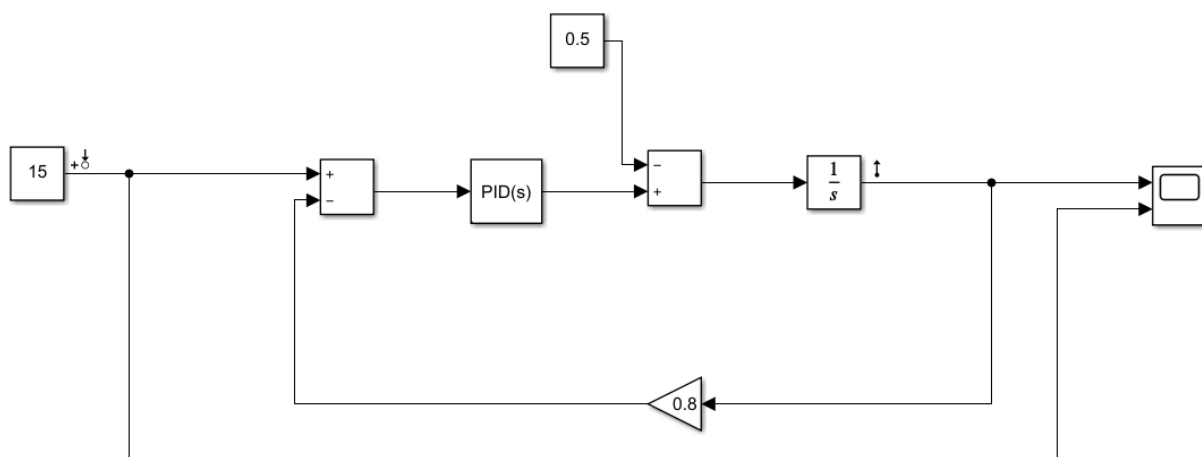


Рисунок 8 – Система в Simulink с ПИД-регулятором

Через Tune настраиваем параметры для системы с ПИД-регулятором. Получаем значения $k_P = 1.285$, $k_D = -0.2707$, $k_I = 0.2457$ и $N = 1.72$.

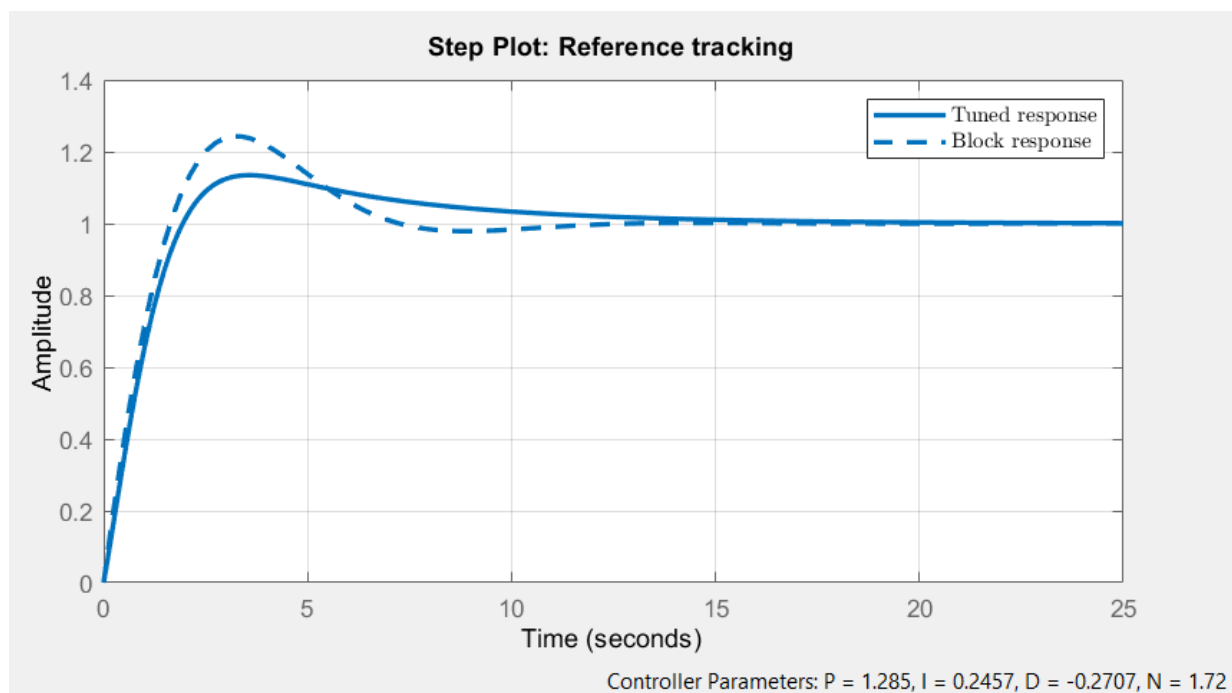


Рисунок 9 – Step Plot СУ с ПИД-регулятором с нужными параметрами

Для более наглядного предмета приведены примеры ПХ системы с ПИД-регулятором при 100 (рис. 10) и 10 сэмплах (рис. 11).

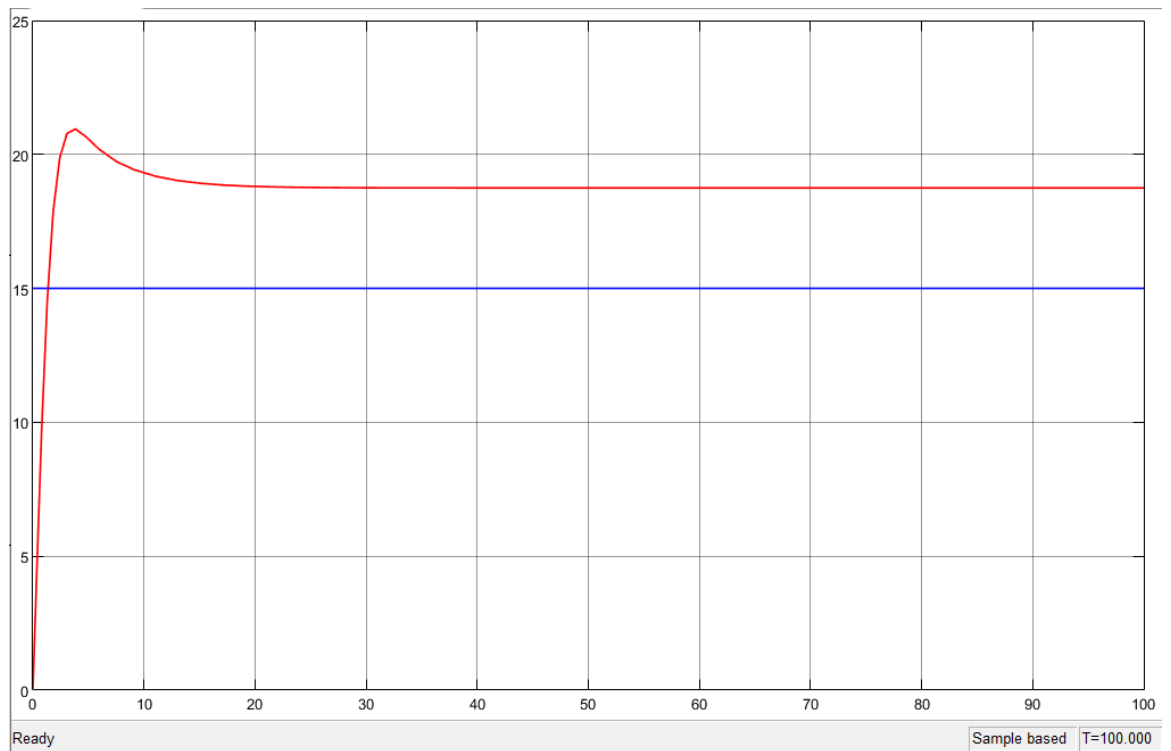


Рисунок 10 – ПХ СУ с ПИД-регулятором при 100 сэмплах (красная – регулятор, синяя – заданный уровень)

Построим через Simulink ЛЧХ для системы с ПИД-регулятором.

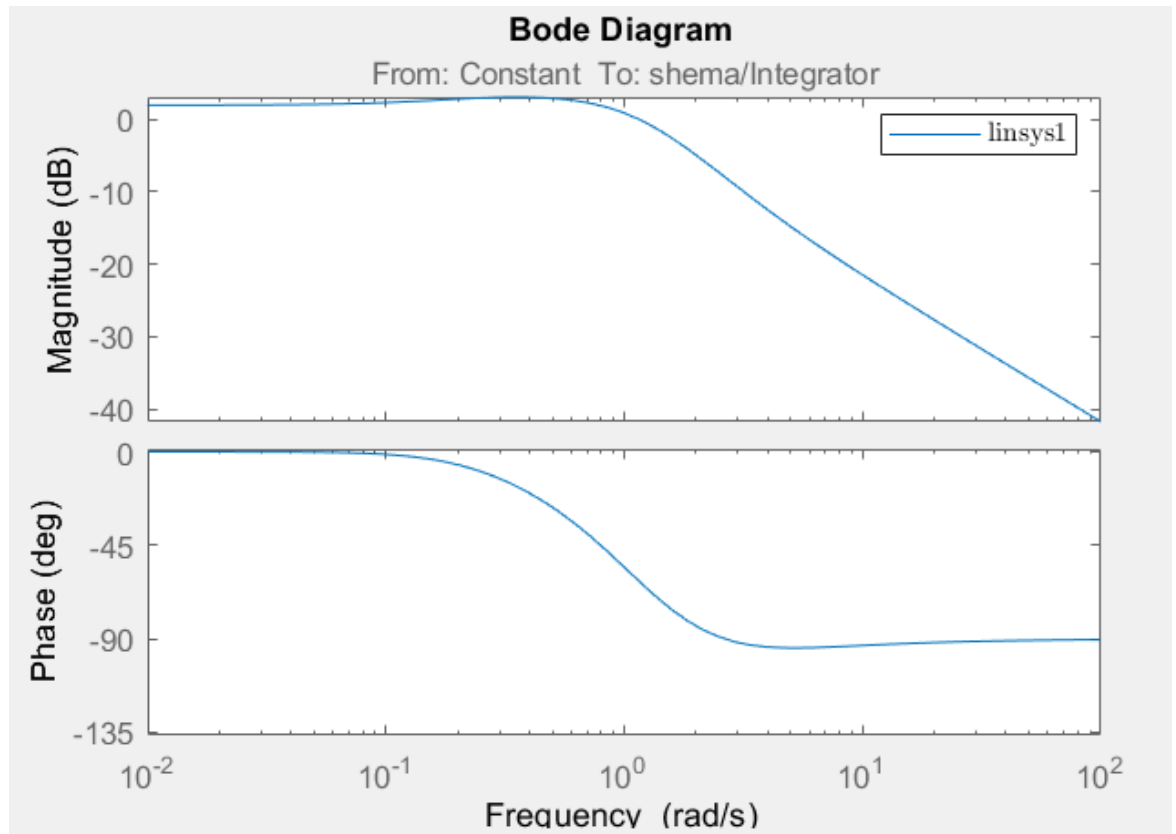


Рисунок 11 – ЛЧХ СУ с ПИД-регулятором

Выводы: оба регулятора обладают схожими частотными характеристиками. Исходя из переходных и частотных характеристик можно сказать, что при использовании ПИ-регулятора происходит колебательно-затухающий процесс, а при использовании ПИД-регулятора – аperiodический-затухающий.

2. Определим параметры ПИД-регулятора при наименьшем перерегулировании в системе.

С помощью PID-Tuner настроим регулятор (рисунок 13) для наименьшего перерегулирования.

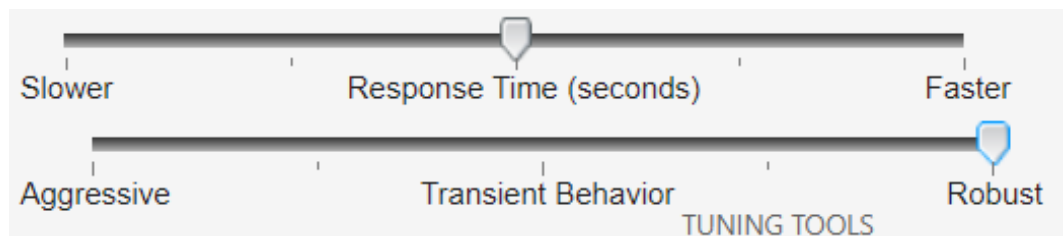


Рисунок 12 – Настройки ПИД-регулятора

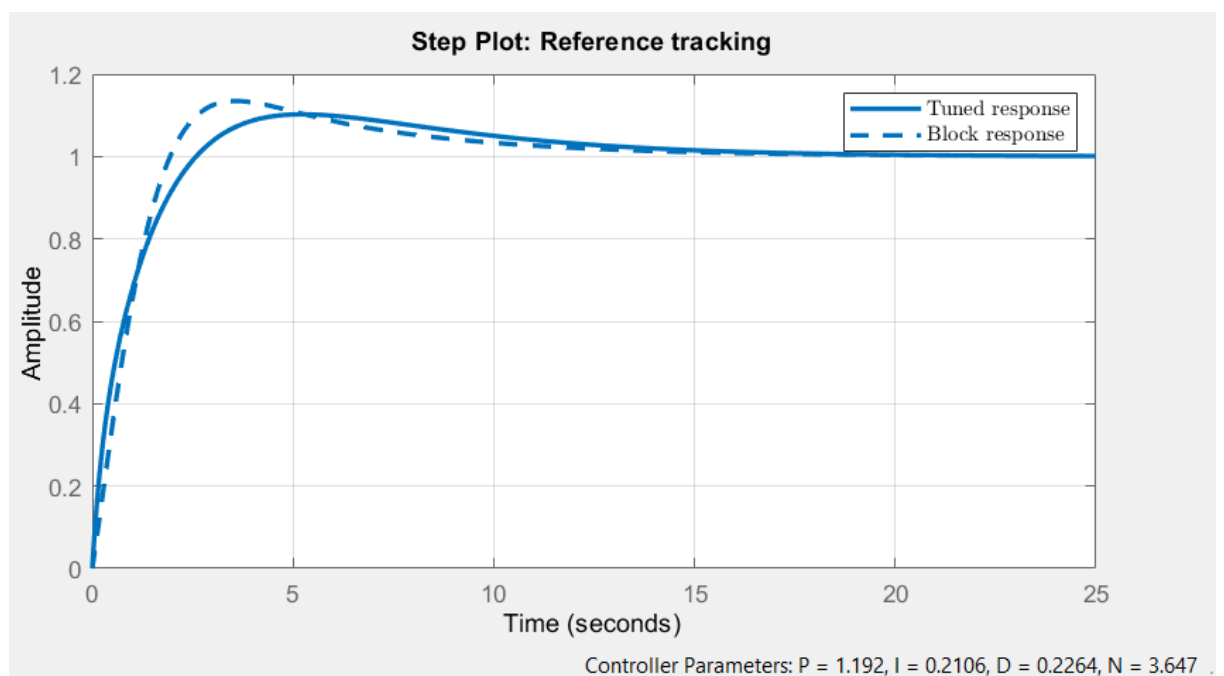


Рисунок 13 – Step Plot СУ с ПИД-регулятором при наименьшем перерегулировании

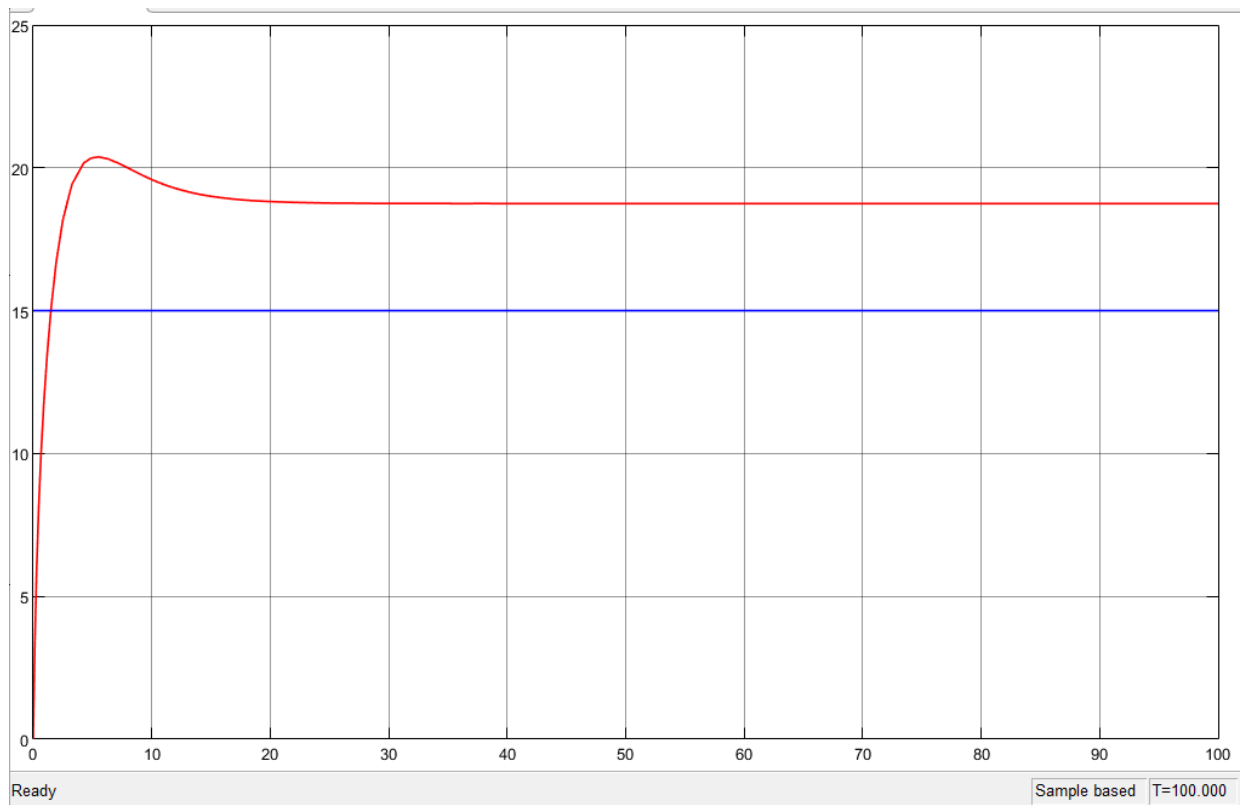


Рисунок 14 – ПХ СУ с ПИД-регулятором с наименьшим перерегулированием

Посмотрим параметры регулятора после настройки, где запасы по амплитуде – Gain margin, по фазе – Phase margin, Overshoot – перерегулирование в системе, Setting time – время регулирования:

Controller Parameters		
	Tuned	Block
P	1.1923	1.2845
I	0.21059	0.24571
D	0.22642	-0.2707
N	3.6468	1.7204
Performance and Robustness		
	Tuned	Block
Rise time	1.81 seconds	1.43 seconds
Settling time	13.9 seconds	12.2 seconds
Overshoot	10.2 %	13.5 %
Peak	1.1	1.13
Gain margin	-Inf dB @ 0 rad/s	-Inf dB @ 0 rad/s
Phase margin	90 deg @ 1 rad/s	69 deg @ 1 rad/s
Closed-loop stability	Stable	Stable

Рисунок 15 – Параметры ПИД-регулятора с наименьшим перерегулированием

Определим запасы устойчивости по фазе и амплитуде с помощью ЛЧХ:

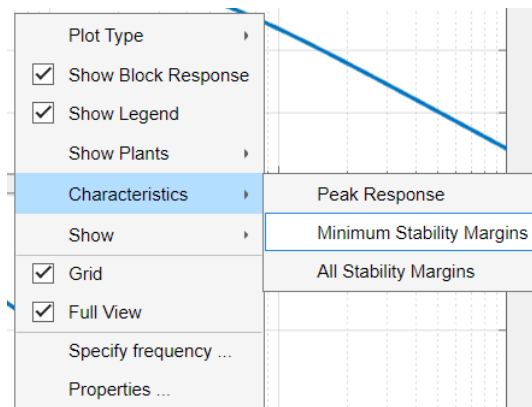


Рисунок 16 – Включение отображения характеристик на графике

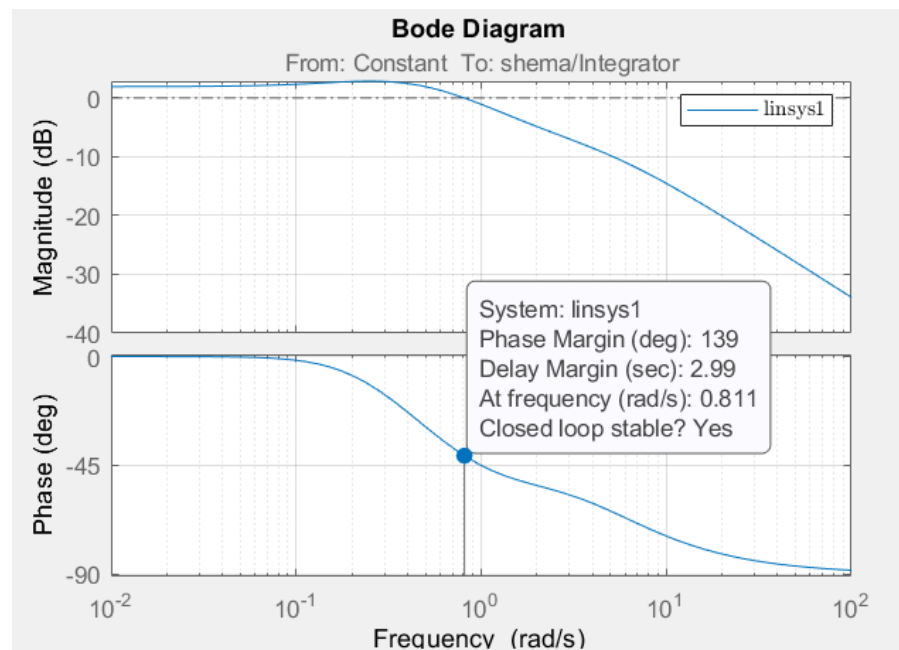


Рисунок 17 – ЛЧХ с ПИД-регулятором с наименьшим перерегулированием

Запас устойчивости по фазе = 139, запас устойчивости по амплитуде равен бесконечности.

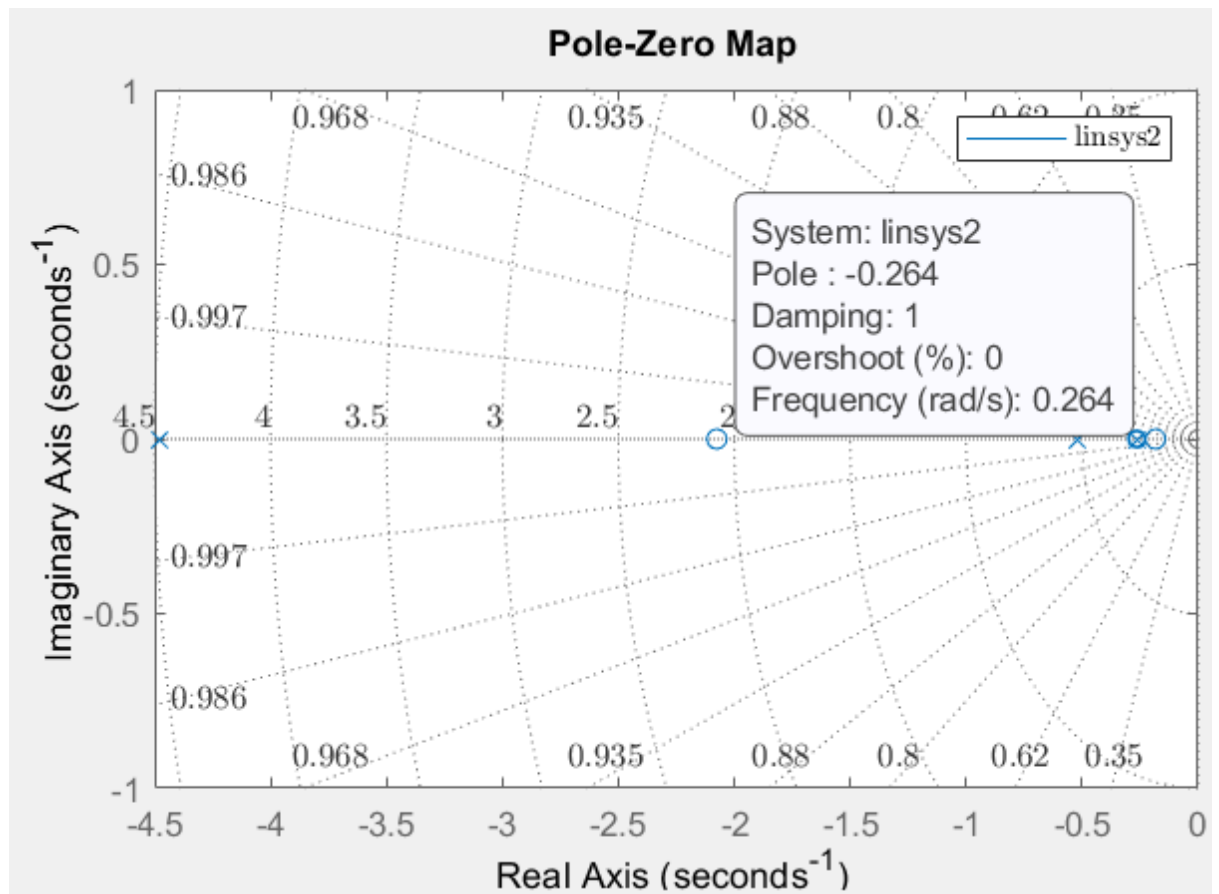


Рисунок 18 – Корневая плоскость ПИД-регулятора при наименьшем перерегулировании

Степень устойчивости $\eta = 0.264$, а степень колебательности равна $\mu = 0$ (т.к. мнимые корни отсутствуют).

3. Определим параметры ПИД-регулятора при наименьшем времени регулирования в системе.

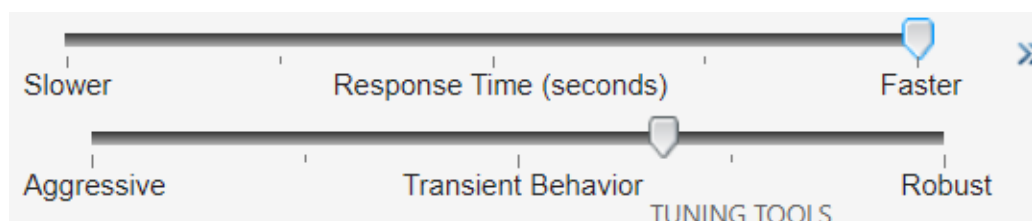


Рисунок 12 – Настройки ПИД-регулятора

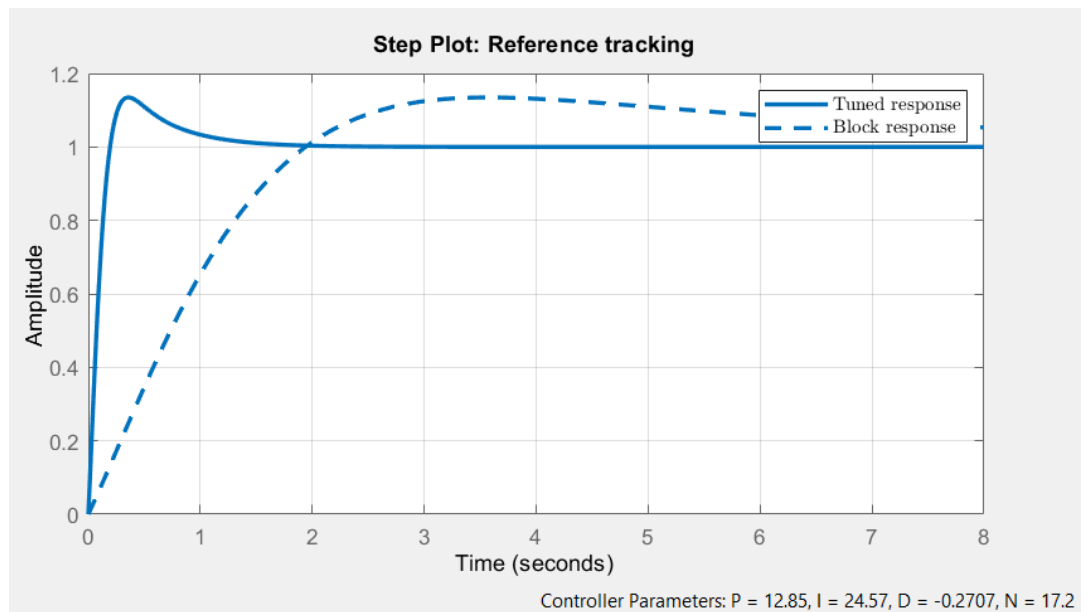


Рисунок 13 – Step Plot СУ с ПИД-регулятором при наименьшем времени регулирования в системе

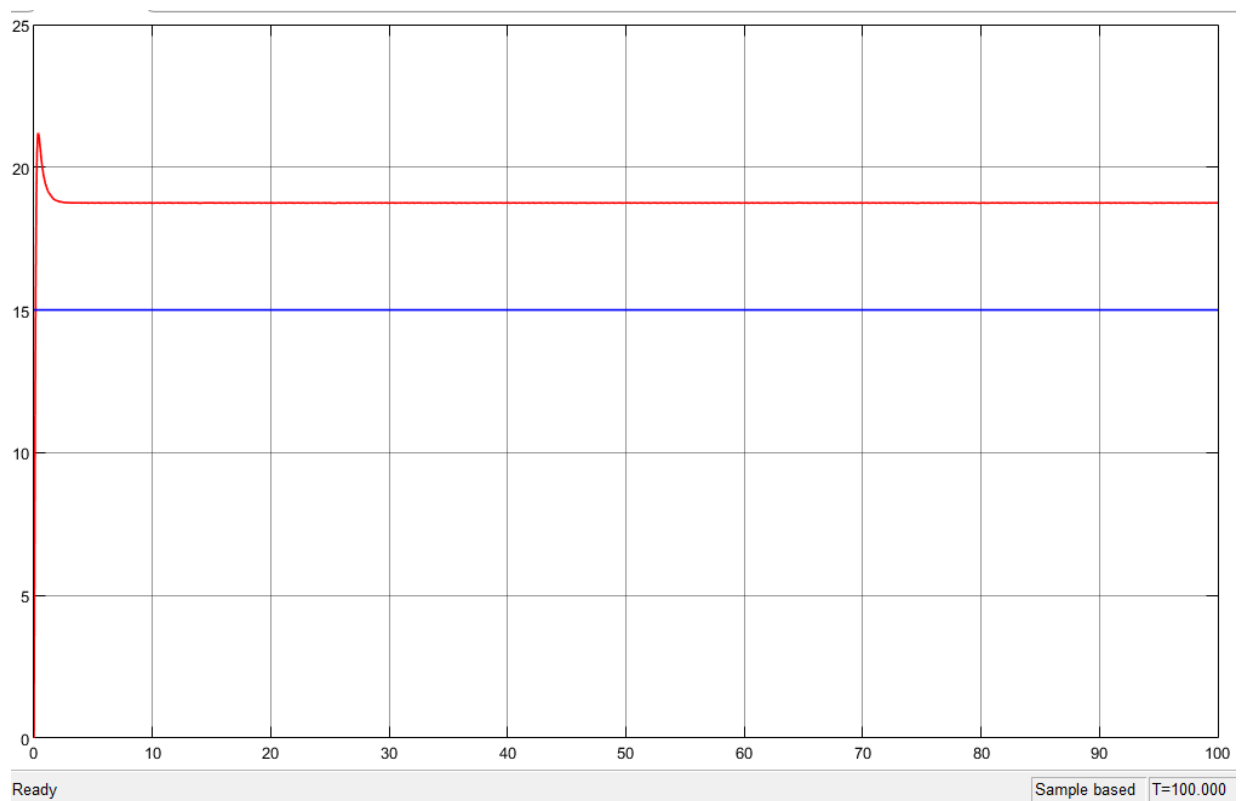


Рисунок 21 – ПХ СУ с ПИД-регулятором при наименьшем времени регулирования в системе

Посмотрим параметры регулятора после настройки, где запасы по амплитуде – Gain margin, по фазе – Phase margin, Overshoot – перерегулирование в системе, Setting time – время регулирования:

Controller Parameters		
	Tuned	Block
P	12.8455	1.2845
I	24.5712	0.24571
D	-0.2707	-0.2707
N	17.2044	1.7204

Performance and Robustness		
	Tuned	Block
Rise time	0.143 seconds	1.43 seconds
Settling time	1.22 seconds	12.2 seconds
Overshoot	13.5 %	13.5 %
Peak	1.13	1.13
Gain margin	-Inf dB @ 0 rad/s	-Inf dB @ 0 rad/s
Phase margin	69 deg @ 10 rad/s	69 deg @ 1 rad/s
Closed-loop stability	Stable	Stable

Рисунок 22 – Параметры ПИД-регулятора при наименьшем времени регулирования в системе

Определим запасы устойчивости по фазе и амплитуде с помощью ЛЧХ:

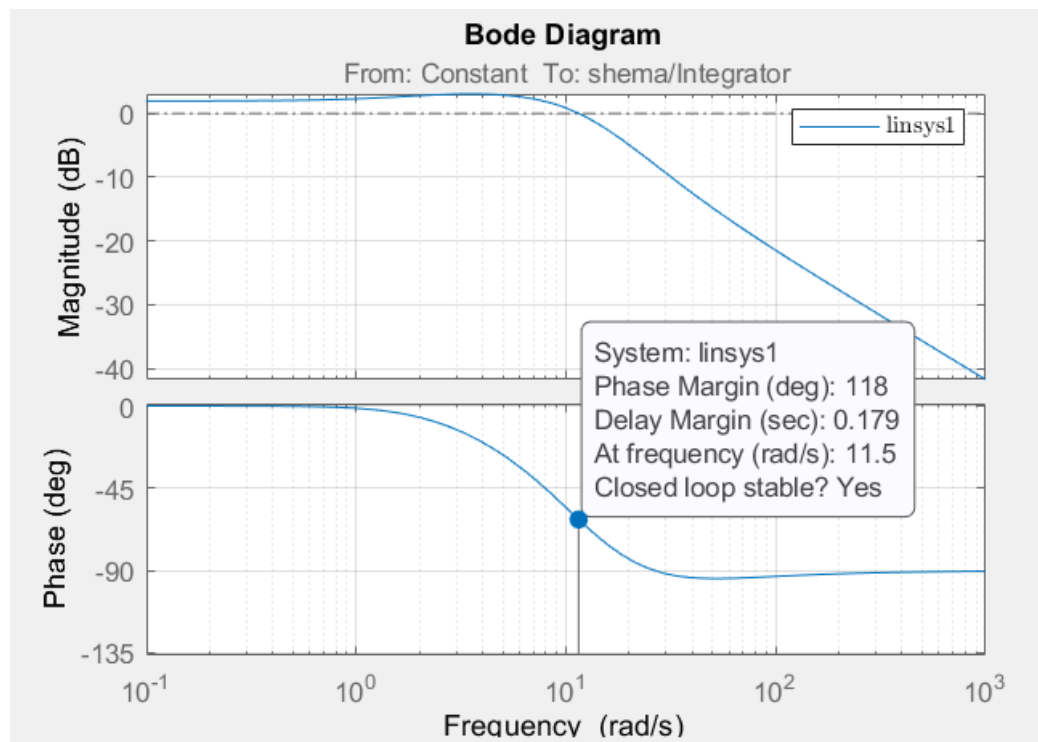


Рисунок 23 – ЛЧХ с ПИД-регулятором при наименьшем времени регулирования в системе

Запас устойчивости по фазе = 118, запас устойчивости по амплитуде равен бесконечности.

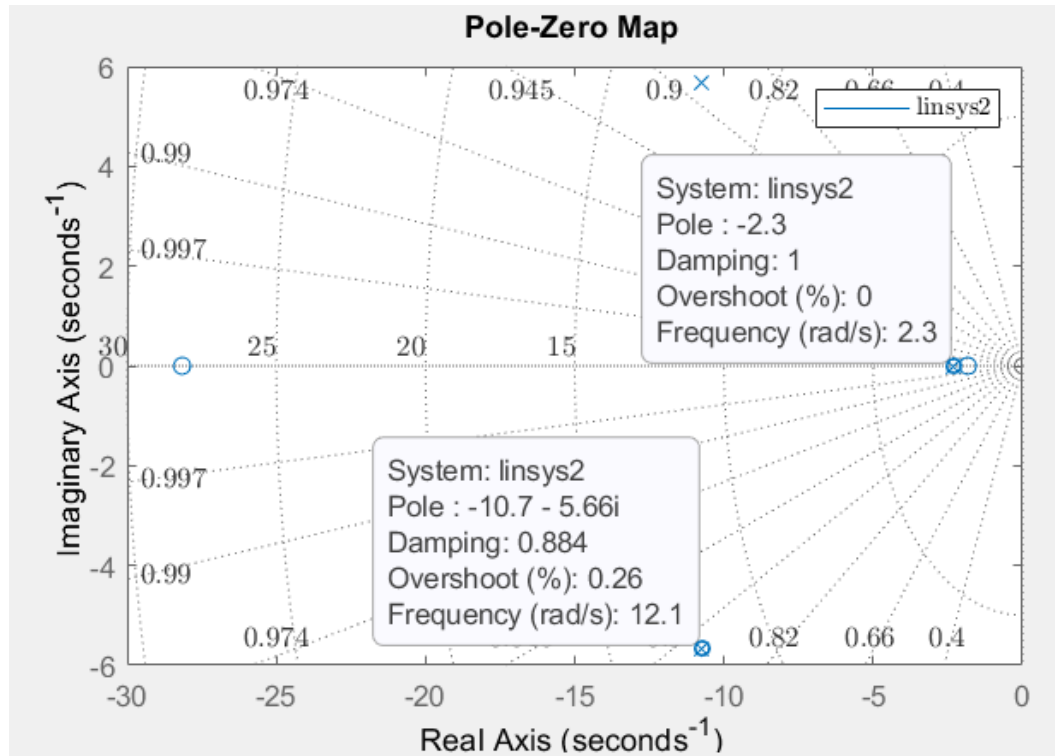


Рисунок 24 – Корневая плоскость ПИД-регулятора при наименьшем времени регулирования в системе

Степень устойчивости $\eta = 2,3$, а степень колебательности равна $\mu = \frac{\beta}{\alpha}$, значит, $\mu = \frac{5.66}{10.7}$, следовательно $\mu = 0,53$.

Выводы: с помощью ЛЧХ систем были определены запасы устойчивости по амплитуде и фазе, с помощью корневой плоскости были определены степени устойчивости и колебательности.

4. Вычислить операторным методом параметры регулятора.

$$W_{oy}(s) = \frac{4}{(s^2 - 5)}$$

$$W_p(s) = \frac{a_1 s + a_0}{b_1 s + b_0}$$

$$D_{ж} = s^3 + d_{2ж}s^2 + d_{1ж}s + d_{0ж}$$

$$(s^2 - 5)(b_1 s + b_0) + 4(a_1 s + a_0) = b_1 s^3 + b_0 s^2 - 5b_1 s - 5b_0 + 4a_1 s + 4a_0 =$$

$$= b_1 s^3 + b_0 s^2 + s(4a_1 - 5b_1) - 5b_0 + 4a_0$$

$$s^3 + d_{2ж} s^2 + d_{1ж} s + d_{0ж} = b_1 s^3 + b_0 s^2 + s(4a_1 - 5b_1) - 5b_0 + 4a_0$$

$$b_1 = 1$$

$$b_0 = d_{2ж}$$

$$4a_1 - 5b_1 = d_{1ж}$$

$$-5b_0 + 4a_0 = d_{0ж}$$

$$D_{ж} = (s + 1)(s + 4)(s + 3) = s^3 + 8s^2 + 19s + 12$$

$$b_1 = 1$$

$$b_0 = 8$$

$$4a_1 = 24$$

$$a_1 = 6$$

$$4a_0 = 52$$

$$a_0 = 13$$

Полученная ПФ регулятора:

$$W_p(s) = \frac{6s + 13}{s + 8}$$

С помощью Simulink построим схемы с регулятором и без регулятора:

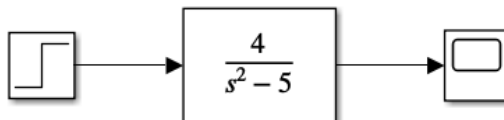


Рисунок 25 – Схема без регулятора

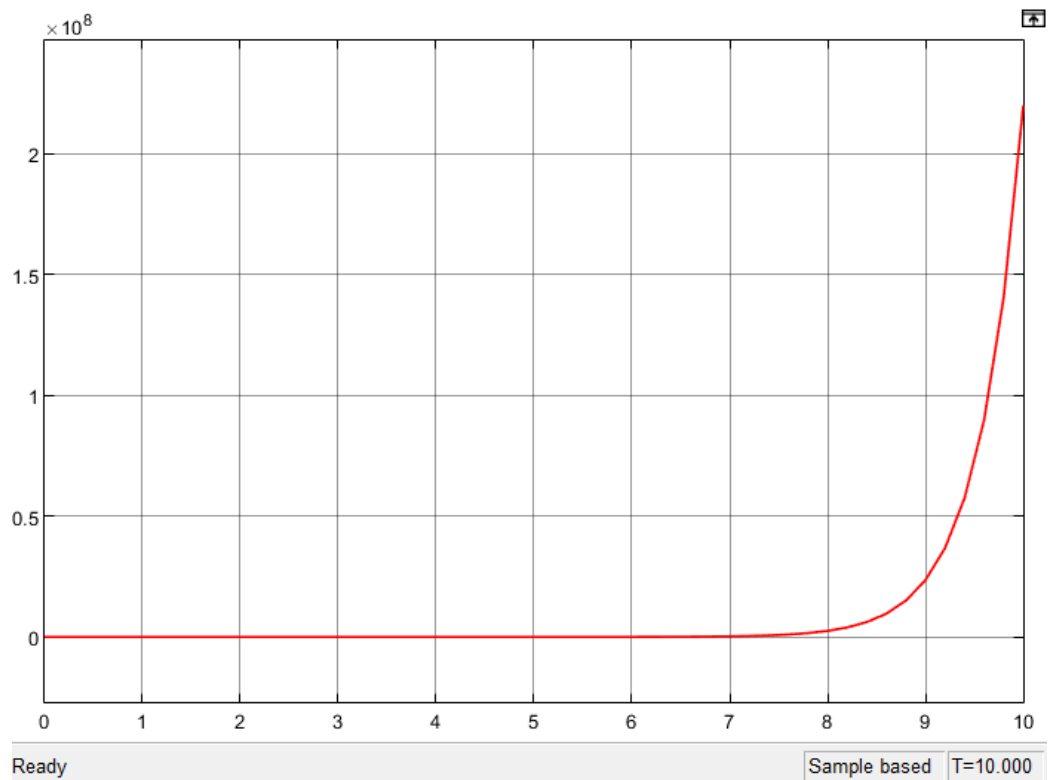


Рисунок 26 – ПХ схемы без регулятора

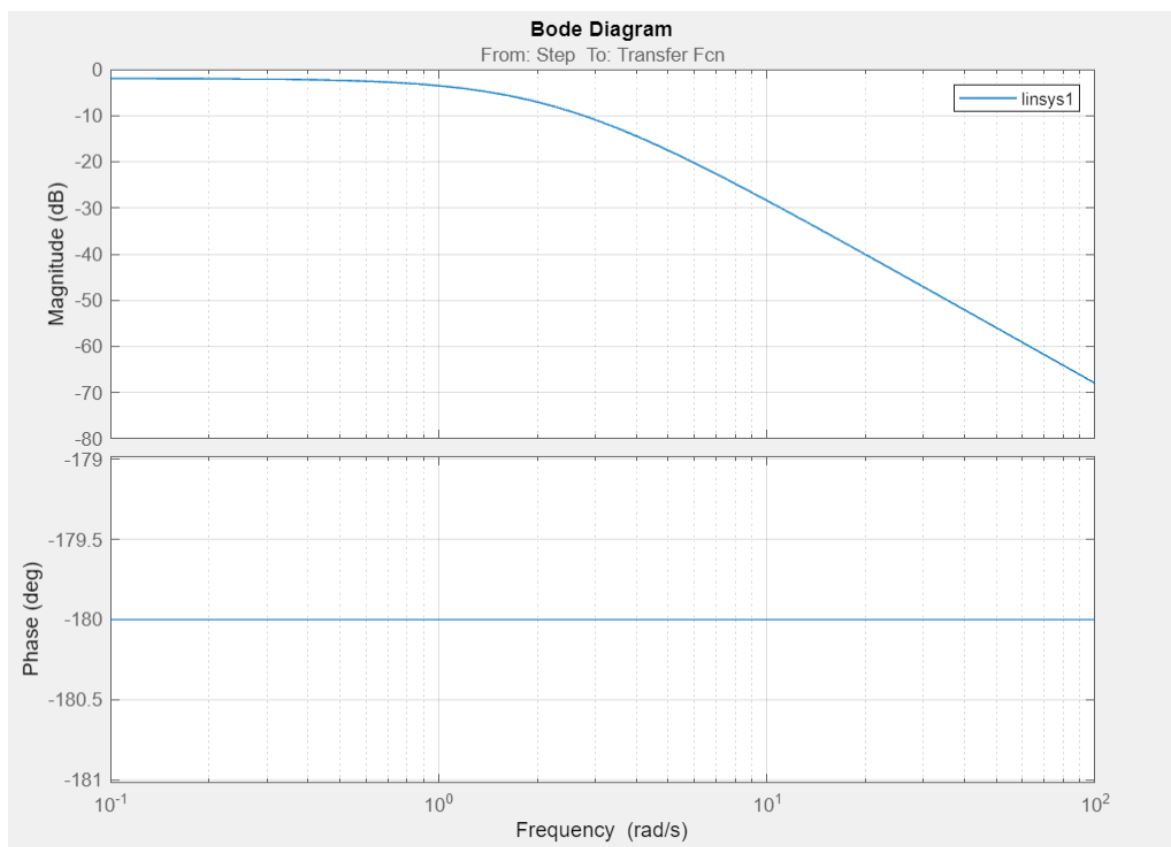


Рисунок 27 – ЛЧХ схемы без регулятора

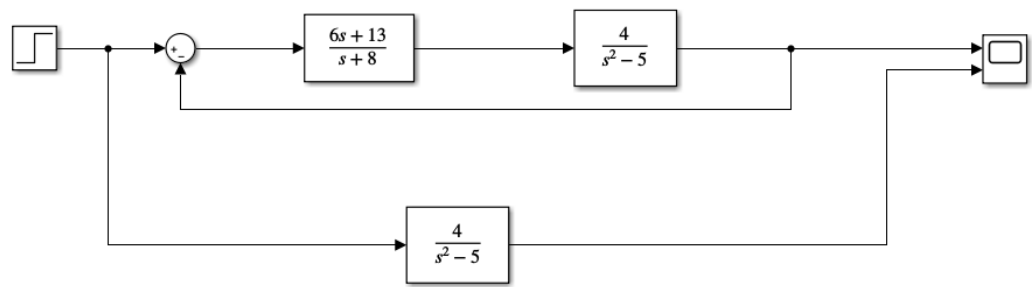


Рисунок 28 – Схема с регулятором

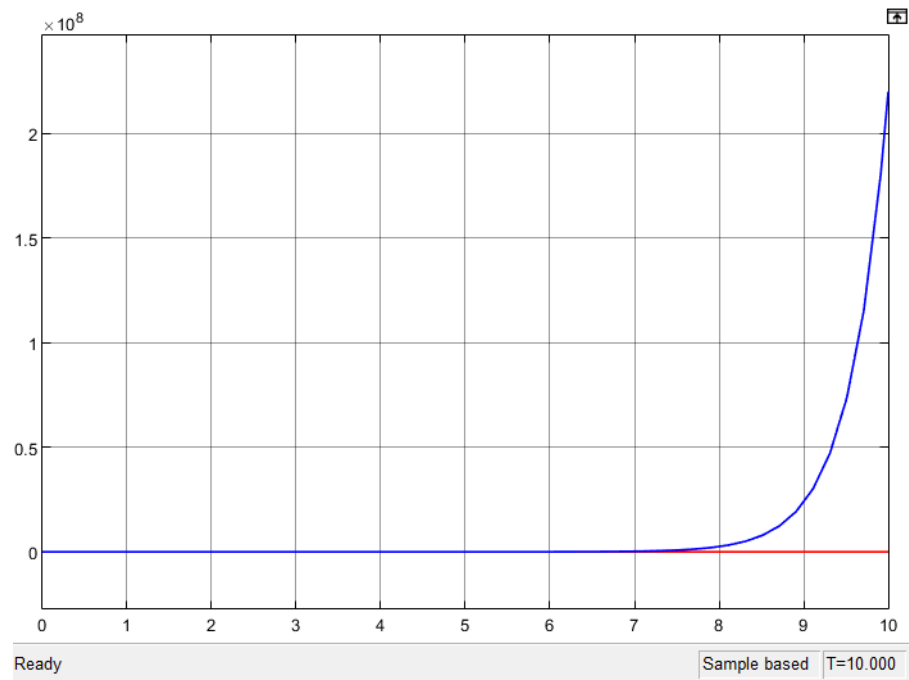


Рисунок 29 – ПХ для двух систем (синяя без регулятора, красная с регулятором)

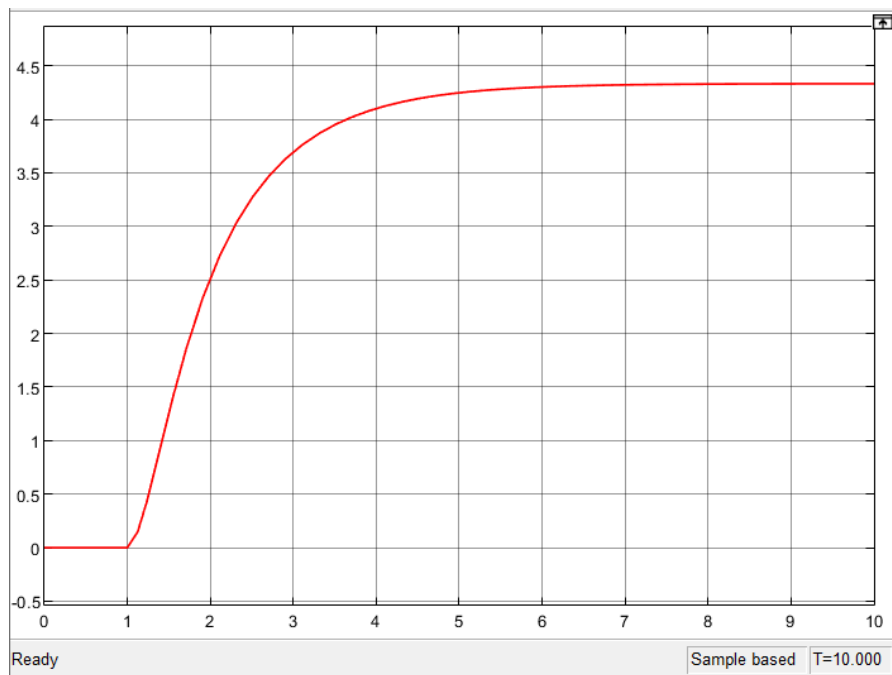


Рисунок 30 – ПХ системы с регулятором

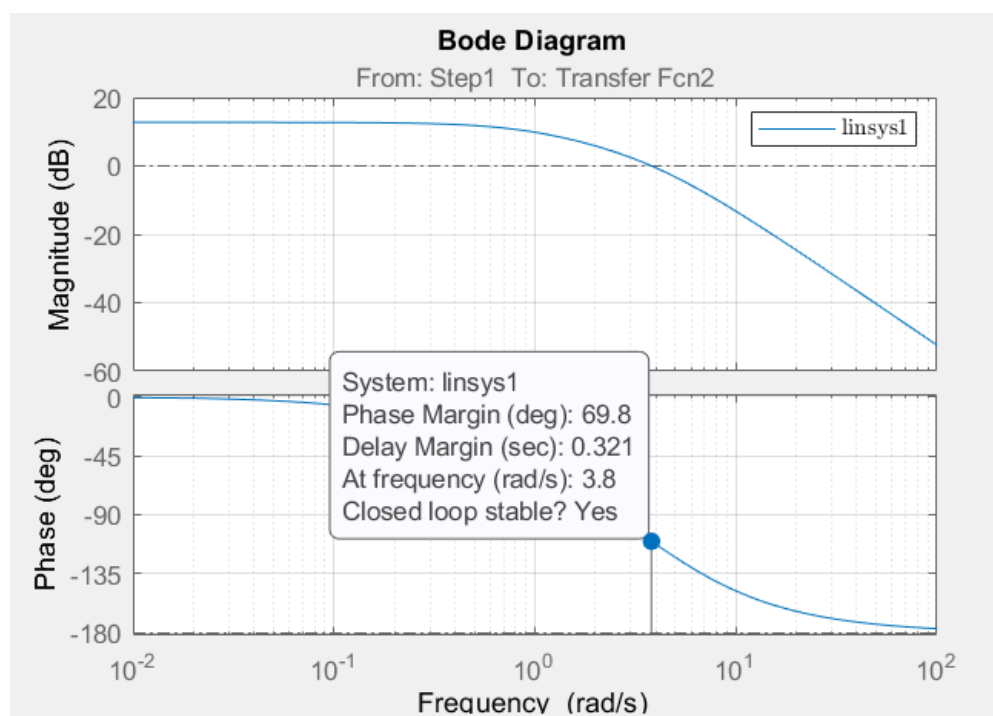


Рисунок 31 – ЛЧХ системы с регулятором, где запас устойчивости по фазе равен 69.8

Выводы: запас устойчивости в системе с регулятором больше 60, что видно из рисунка 31, также из рисунка 30 видно, что перерегулирование в системе не больше 18% т.к. y_{max} крайне близко к $y_{уст.}$. В результате выполнения были вычислены операторным методом параметры регулятора, с учетом заданных требований к процессу.

Общие выводы

В результате выполнения данной лабораторной работы мы ознакомились с регуляторами, их регулированием и синтезом регулятора с помощью операторного метода. В первом задании были построены схемы с ПИ и ПИД регуляторами и рассмотрены их переходные и частотные характеристики. С помощью второго и третьего задания мы поняли, что при наименьшем времени перерегулирования увеличивается степень устойчивости, в сравнении с процессом при наименьшем перерегулировании. В четвертом и пятом заданиях был рассмотрен операторный метод для расчета ПФ регулятора согласно заданным требованиям и построение переходной и частотной характеристик.