



Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Московский государственный технический университет
имени Н.Э. Баумана
(национальный исследовательский университет)»
(МГТУ им. Н.Э. Баумана)

Факультет: «Специальное машиностроение»

Кафедра: «Робототехнические системы и мехатроника»

Лабораторная работа № 4

по курсу «Теория автоматического управления»

Вариант 3

Выполнил: Садовец Роман
Группа: СМ7-51Б

Проверил(а):

Москва, 2023 г.

I. Домашнее задание № 1 по курсу «Линейная ТАУ»

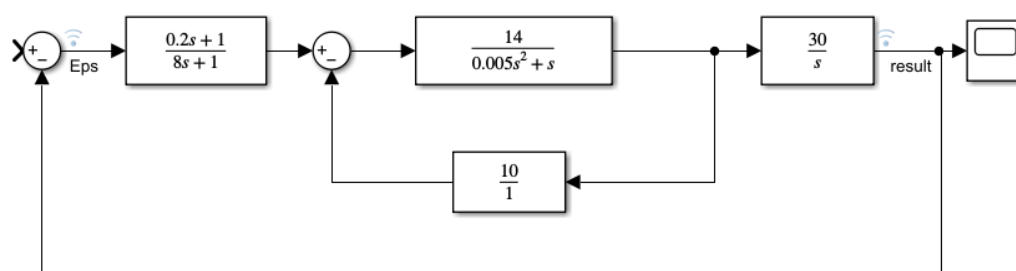


Рис. 1. Структурная схема в среде разработки Simulink

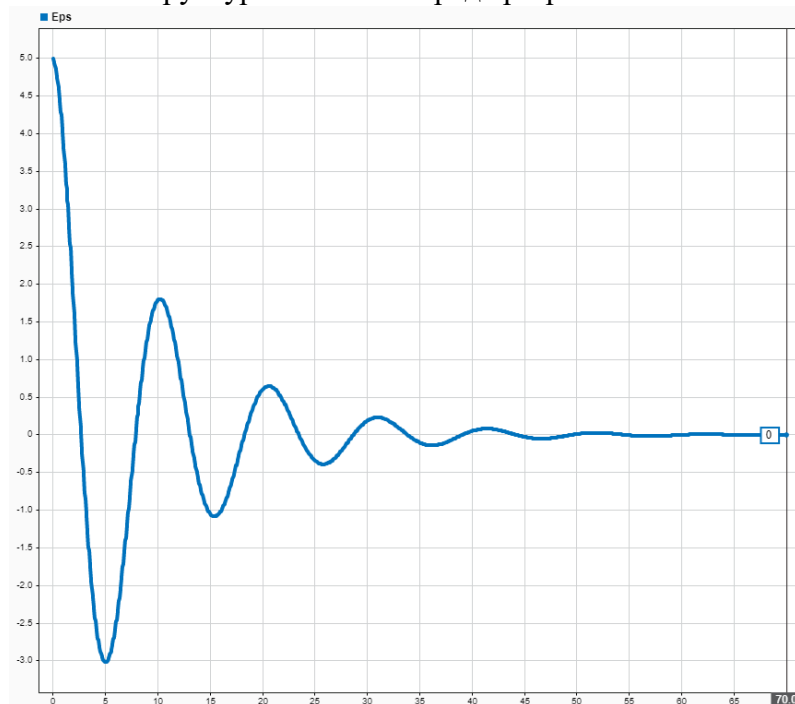


Рис. 2. График $\epsilon(t)$ при возбуждающем воздействии $g(t) = 5$

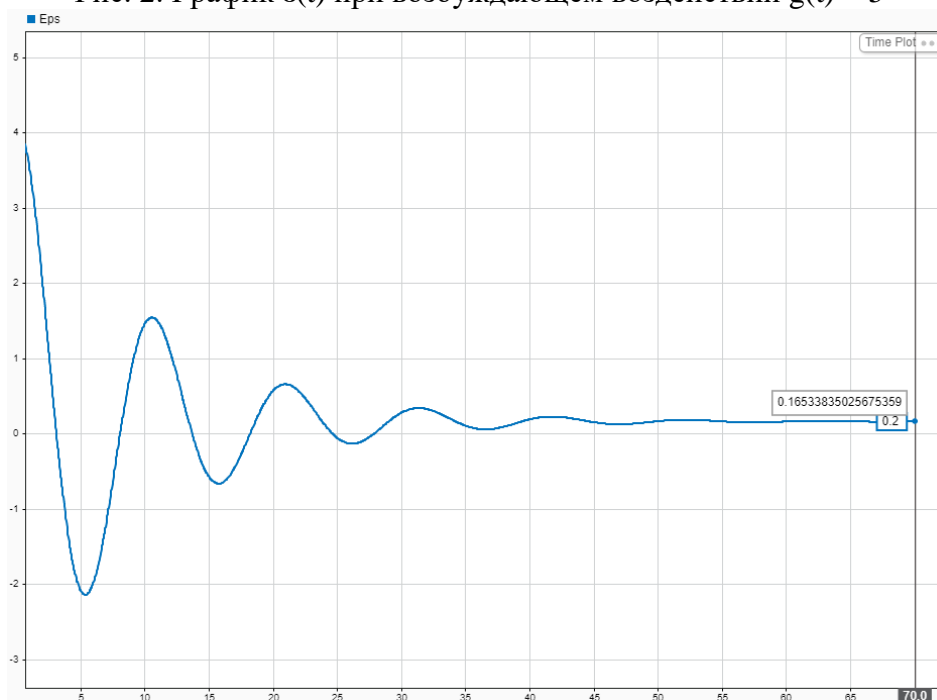


Рис. 3. График $\epsilon(t)$ при возбуждающем воздействии $g(t) = 4 + 0.5t$

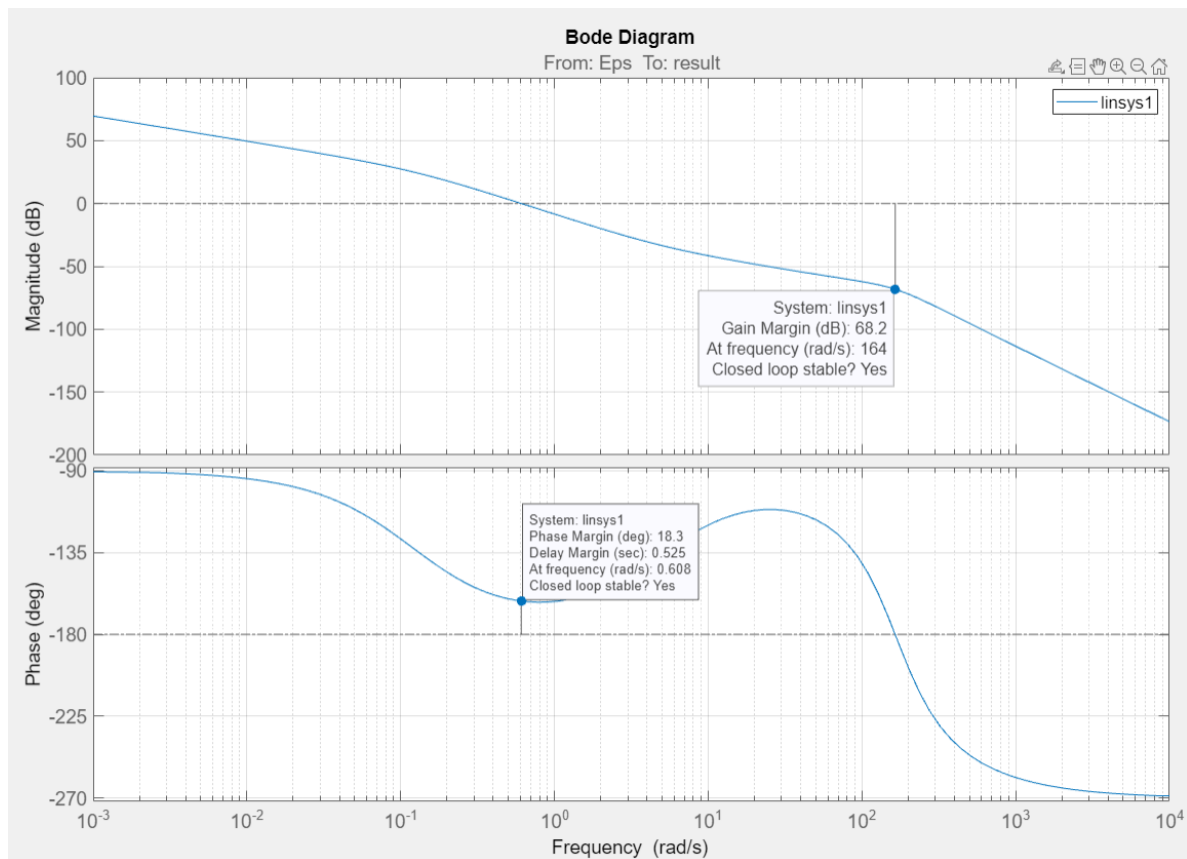


Рис. 4. Графики ЛАЧХ и ЛФЧХ разомкнутой системы в п.п.п. MATLAB

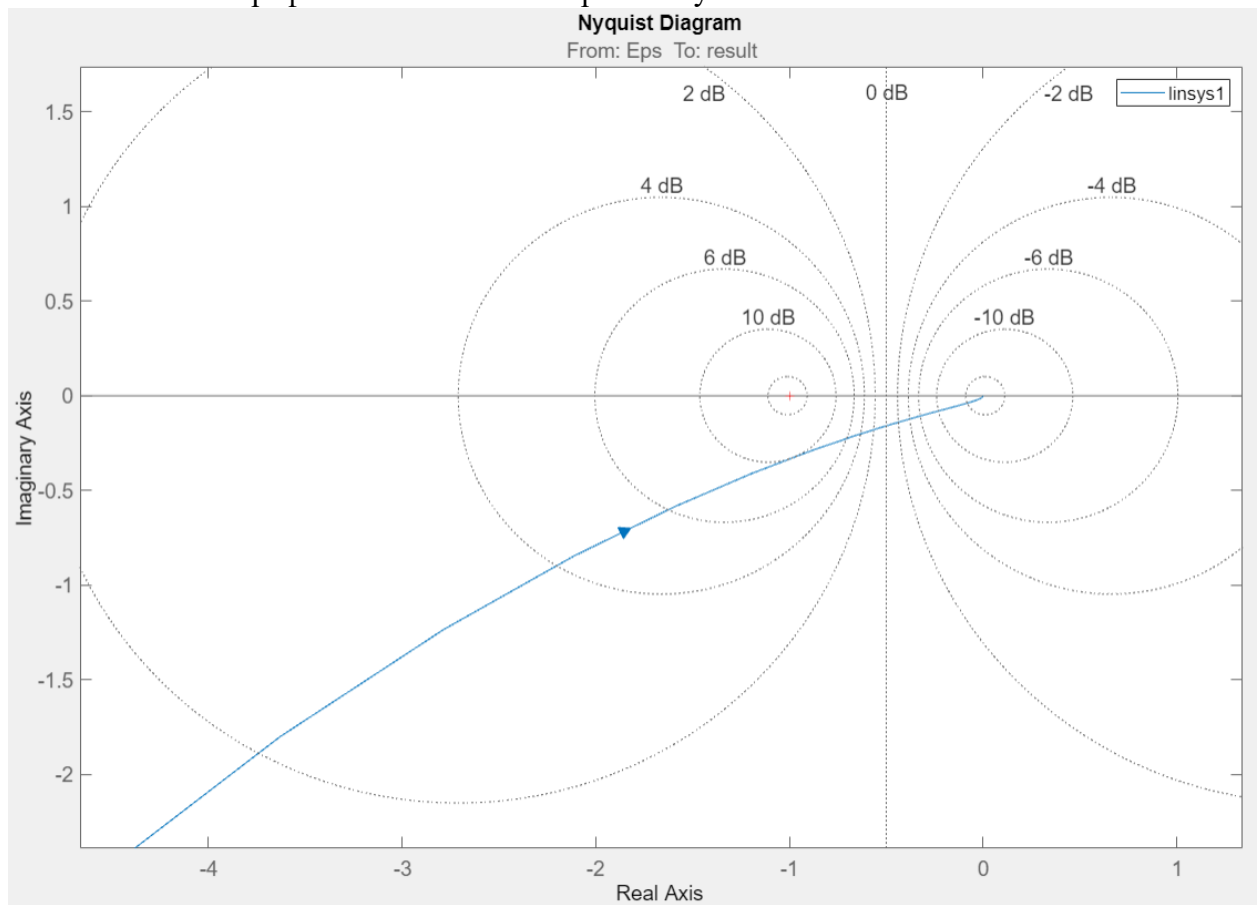


Рис. 5. Годограф АФЧХ разомкнутой системы в п.п.п. MATLAB

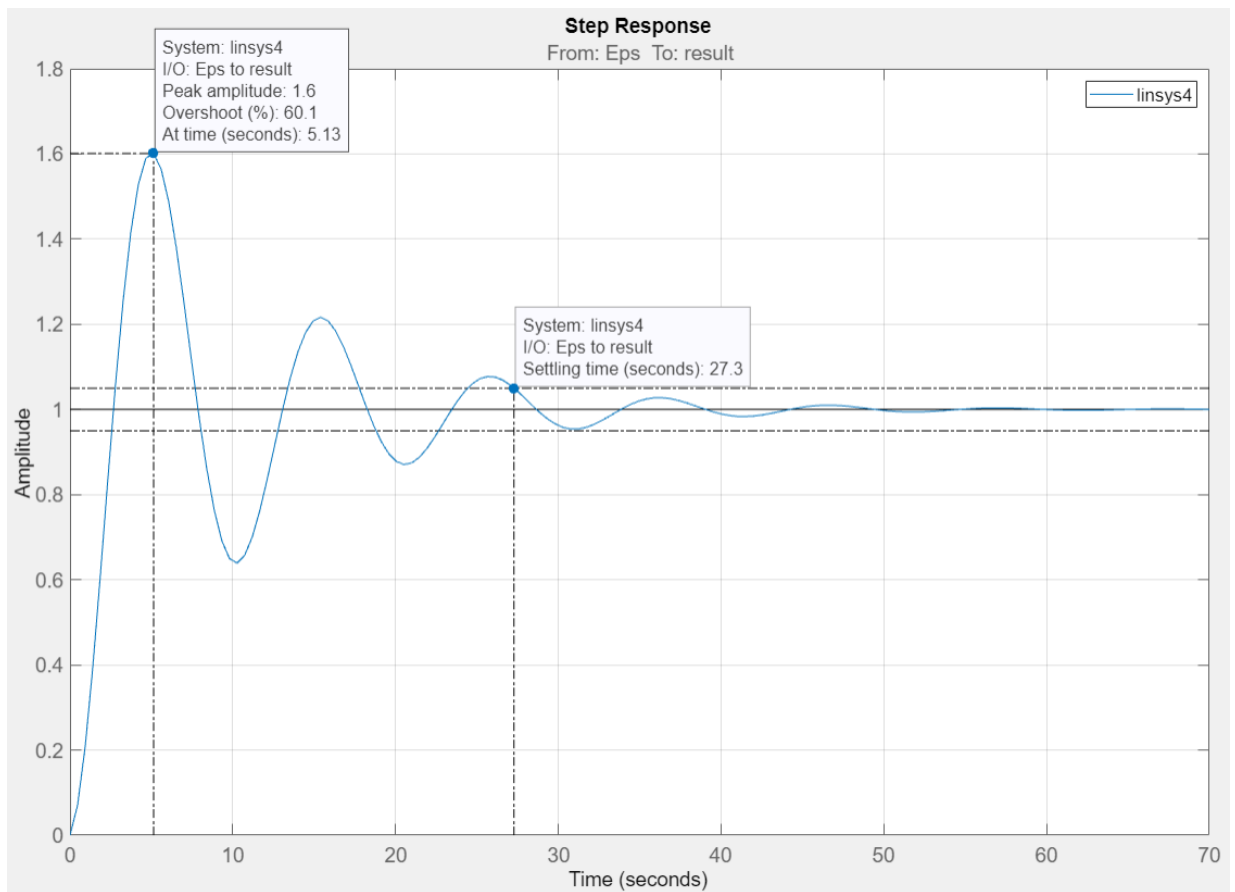


Рис. 6. Реакция замкнутой системы на переходную функцию $h(t)$ с указанием времени переходного процесса и перерегулирования

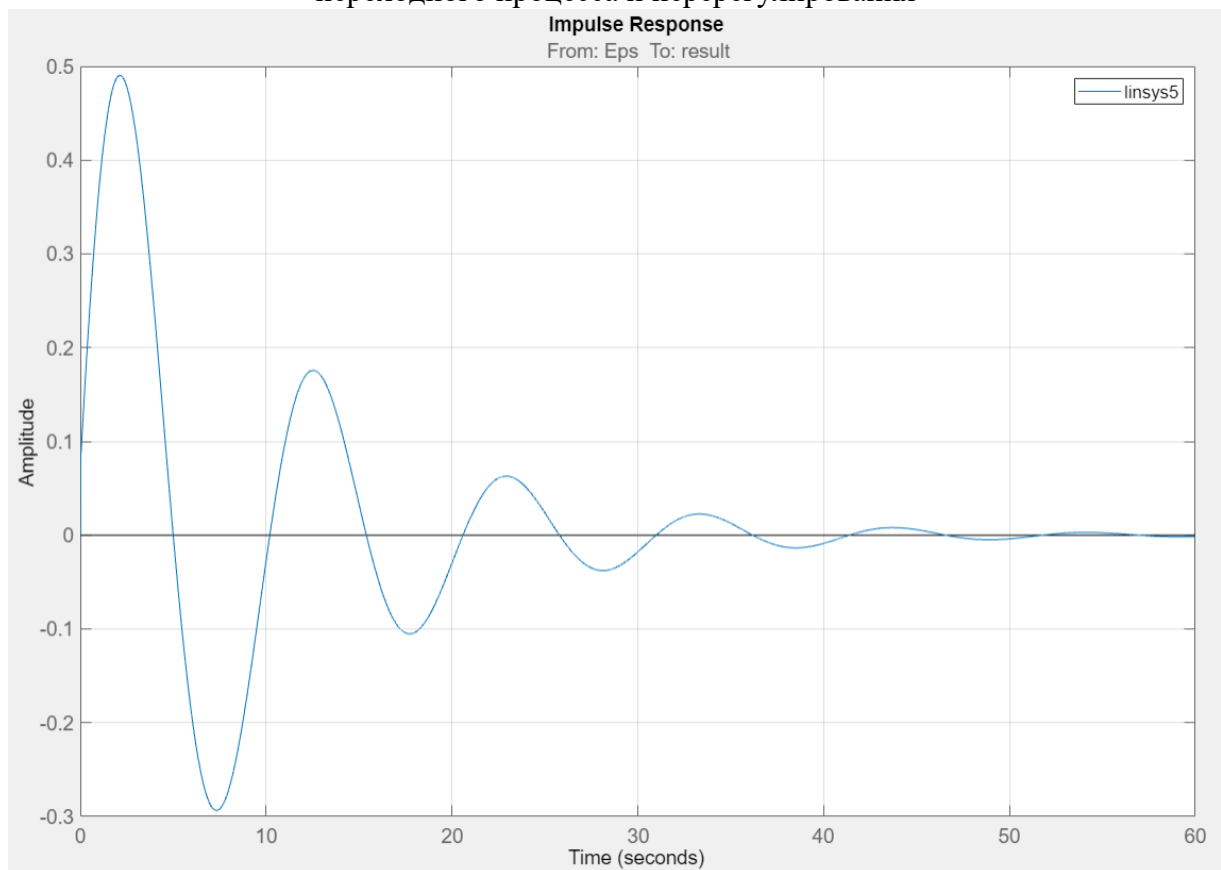


Рис. 7. Реакция замкнутой системы на импульсную переходную функцию $k(t)$

II. Дополнение к Домашнему заданию №1 по курсу «Линейная ТАУ»

В качестве дополнительного пункта к ДЗ №1 необходимо построить график АЧХ для замкнутой системы. Есть два способа решения данной задачи:

1) Для получения графика необходимо в настройках отображения убрать галочку с фазовой характеристики, а также изменить отображения частоты на линейное значение и также сменить отображение амплитуды с логарифмической шкалы на абсолютное значение. Полученный график представлен на рисунке 8.

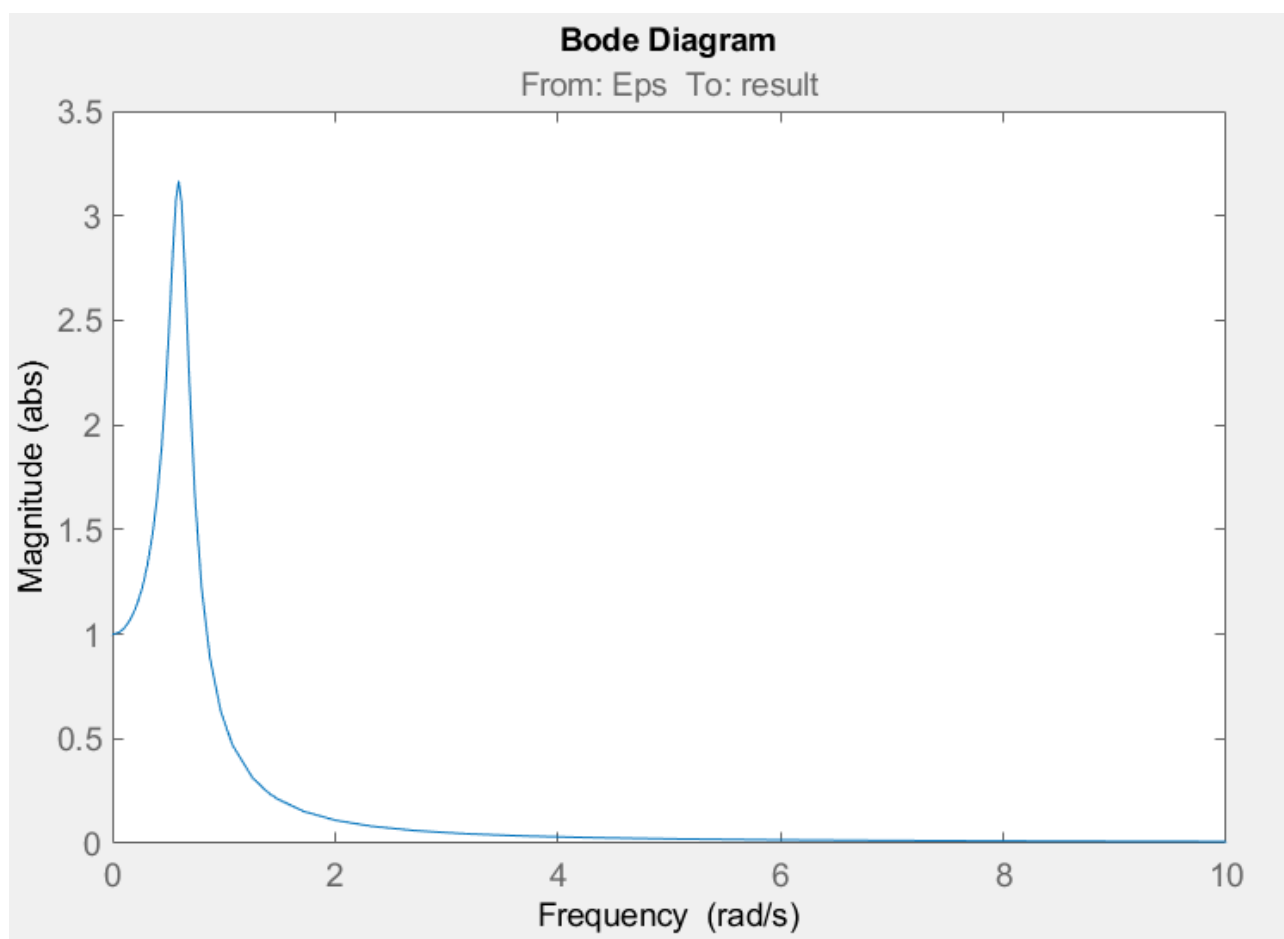


Рис. 8. АЧХ замкнутой системы

2) Второй способ решения – с помощью п.п.п. MATLAB с использованием символьного типа переменных (Symbolic Math Toolbox). В начале достанем передаточную функцию замкнутой системы из Simulink с использованием Model Linearizer (рис. 9). Выпишем числитель и знаменатель данной передаточной функции, запишем общую передаточную функцию $P(s)$.

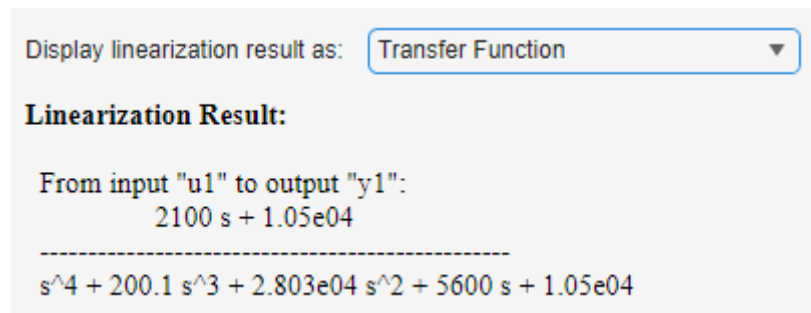


Рис. 9. Передаточная функция замкнутой системы
Общий программный код для вывода графика АЧХ:

```
syms A(s) B(s) P(s) w % объявляем символьные переменные

A(s) = 2100*s + 1.05 * 10^4; % задаем числитель замкнутой системы
B(s) = s^4 + 200.1 * s^3 + 2.803*10^4 * s^2 + 5600 * s + 1.05 * 10^4;
% задаем знаменатель замкнутой системы
P(s) = A(s)/B(s); % задаем общую передаточную ф-цию замкнутой с-мы

s = 1i*w; % s = j * w

figure("Name", "АЧХ", "NumberTitle","off");
axis([0 10 0 3.5]);
hold on;
% Значение амплитуды A (w) = sqrt( u(w)^2 + v(w)^2 )
fplot( sqrt(real(P(s))^2 + imag(P(s))^2) , [0, 10]); % строим АЧХ.
title("АЧХ");
grid on;
hold off;
```

Получим следующий график (рис. 10):

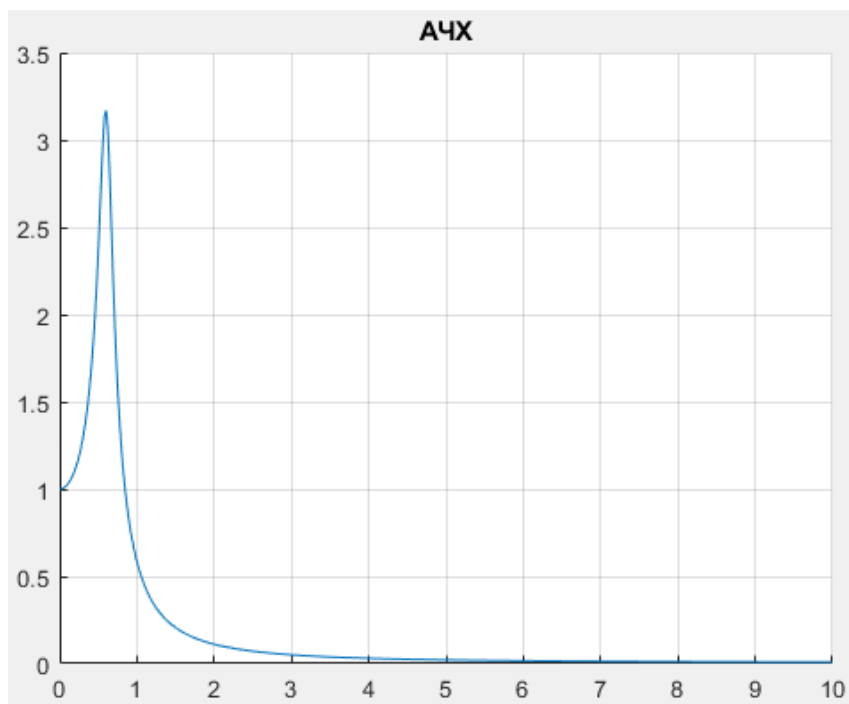


Рис. 10. АЧХ замкнутой системы

III. Параметрический синтез регулятора привода подъема люльки

Для заданного варианта лабораторной работы необходимо провести синтез привода подъема люльки по следующим критериям (табл. 1):

№	Разрабатываемая система	Архитектура контроллера
3	Система слежения за положением	ПИД-регулятор по ошибке

Табл. 1

Назначение системы: вертикальное перемещение малогабаритных сыпучих грузов, излишние колебания которых могут привести к рассыпанию.

В первую очередь, для разработки системы отслеживания положения люльки необходимо добавить обратную связь по положению. Следующим шагом является обработка и преобразование сигнала, являющимся разностью возбуждающего воздействия (входного напряжения) и обратной связи – ошибки. В нашем случае устройством обработки сигнала ошибки является ПИД-регулятор. В обобщенном случае схема ПИД-регулятора выглядит так, как продемонстрировано на рисунке 11.

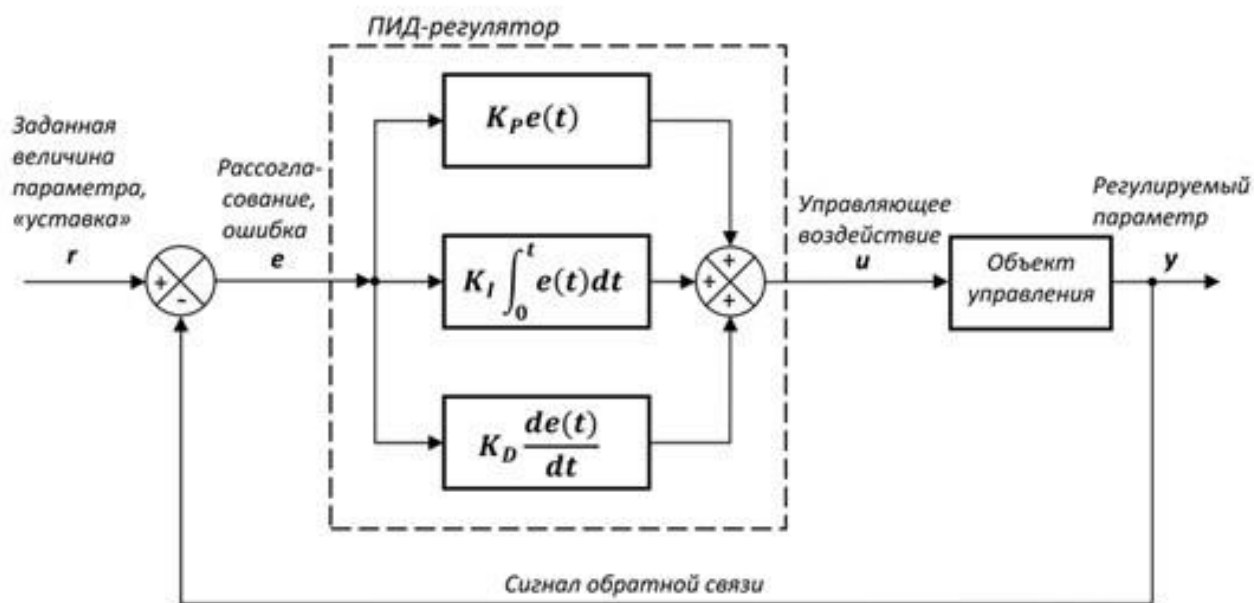


Рис. 11. Обобщенная структурная схема с ПИД-регулятором.

Зададим требования к системе с учётом того, что она должна работать максимально плавно, с отсутствием сильных скачков. Пусть:

$$\delta_{\text{стат}} = 0.1 \text{ м}$$

$$t_{\text{пп}} = 4 \text{ сек}$$

$$\sigma = 30\%$$

$$\Delta\varphi > 30^\circ$$

$$\Delta A > 10 \text{ дБ}$$

Для начала работы, запишем необходимые коэффициенты и составим структурную схему под заданную архитектуру контроллера (рис. 12)

```
ki = 1; % Коэф-т усиления интегрирующего звена ПИД-регулятора
kd = 1; % Коэф-т усиления дифференцирующего звена ПИД-регулятора
kp = 1; % Коэф-т усиления пропорционального звена ПИД-регулятора
```

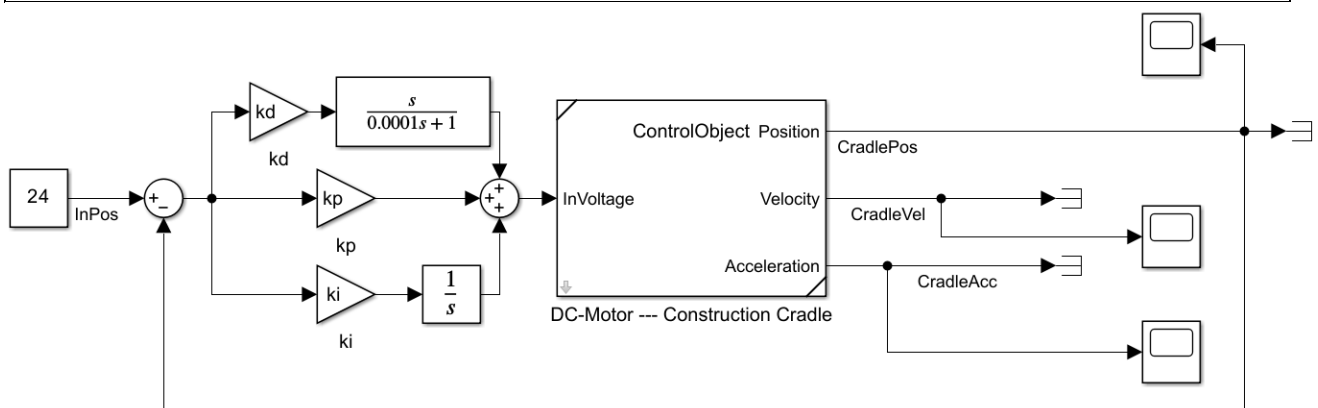


Рис. 12. Структурная схема системы с ПИД-регулятором в Simulink.

Синтез проведём, используя Control System Tuner (библиотека, находится в Apps). Внутри System Tuner-а заходим во вкладку Tuning и нажимаем Select blocks (рис. 13), после чего выбираем необходимые блоки (коэф-ты усиления k_i , k_p , k_d)

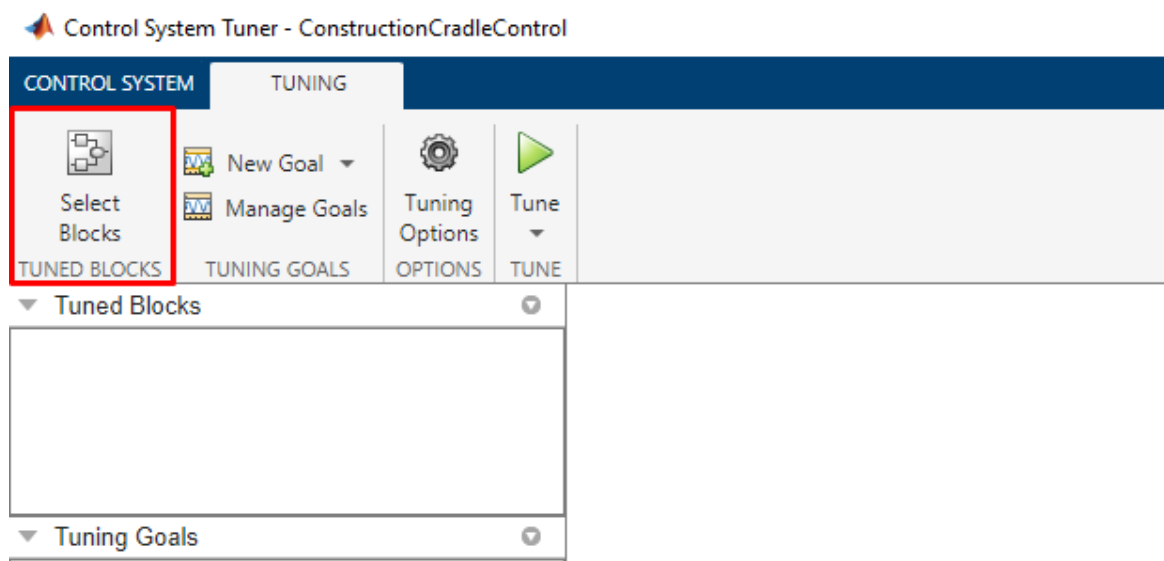


Рис. 13. Control System Tuner.

После выбора возвращаемся в главное меню и кликаем на выпадающее окно New Goal (рис. 14). В этом разделе можно задавать требуемые параметры синтеза системы. Для удовлетворения поставленных нами потребуются: *Tracking of step commands* (подбирается значение постоянной времени), *Minimum stability margins* (запасы устойчивости по фазе и амплитуде), *Maximum overshoot* (максимальное перерегулирование), *Reference tracking* (значение установившейся ошибки при прохождении определенного времени)

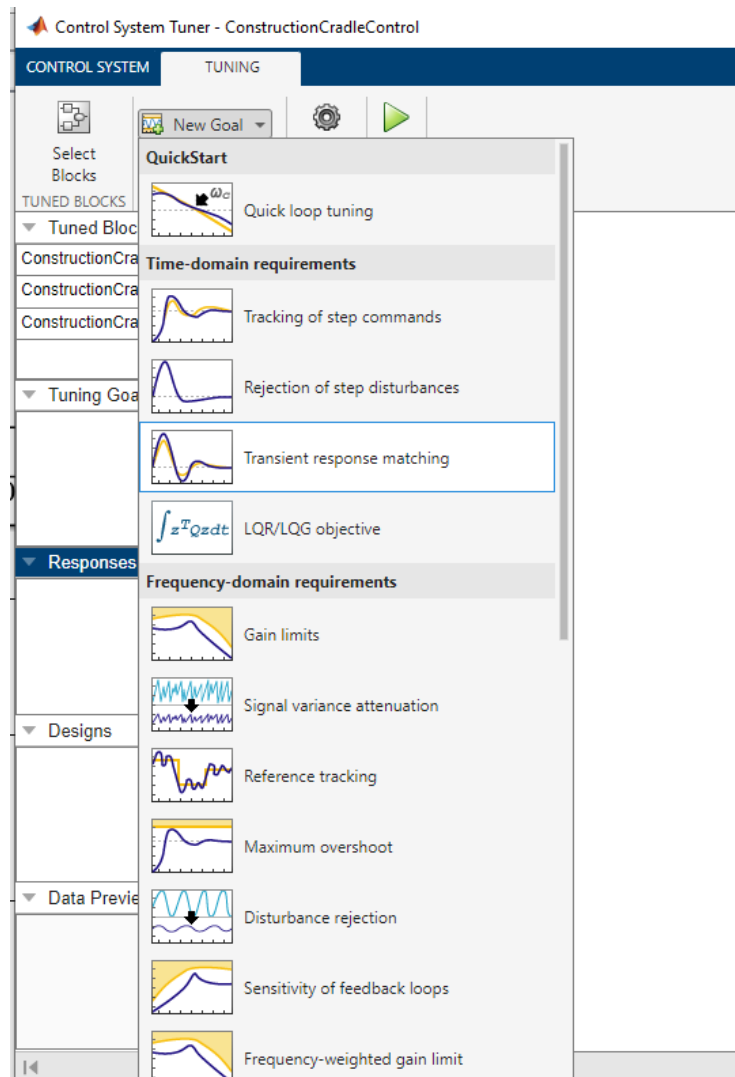


Рис. 14. New goal в Control System Tuner.

Исходя из поставленных требований появятся графики, отображающие реакции нынешней системы и системы с корректирующим устройством (рис. 15). Нажимаем Tune и Simulink автоматически подбирает коэффициенты усиления, удовлетворяющих условию (рис. 16, рис. 17).

Выведем полученные графики положения системы (рис. 18). Как видно из графика, система работает плавно и без резких скачков. Попробуем подать меньшее входное воздействие и проанализировать **меньший масштаб**. На рисунке 19 – график положения люльки при $g(t) = 1$.

Выводя график скорости, можно столкнуться с резкими скачками на графиках (рис. 20), связанные с неточностями решения диффузов. Эта проблема устраняется путем изменения солвера на другой. Для точности поставим ode15s

и выведем полученный график (рис. 21). Также выведем значение ошибки (рис. 22)



Рис. 15. Графики новой и актуальной реакции системы

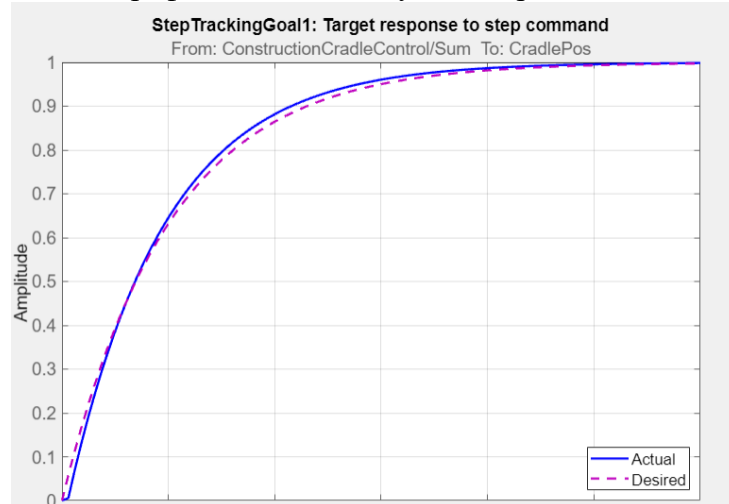


Рис. 16. Результат синтеза на ступенчатое воздействие

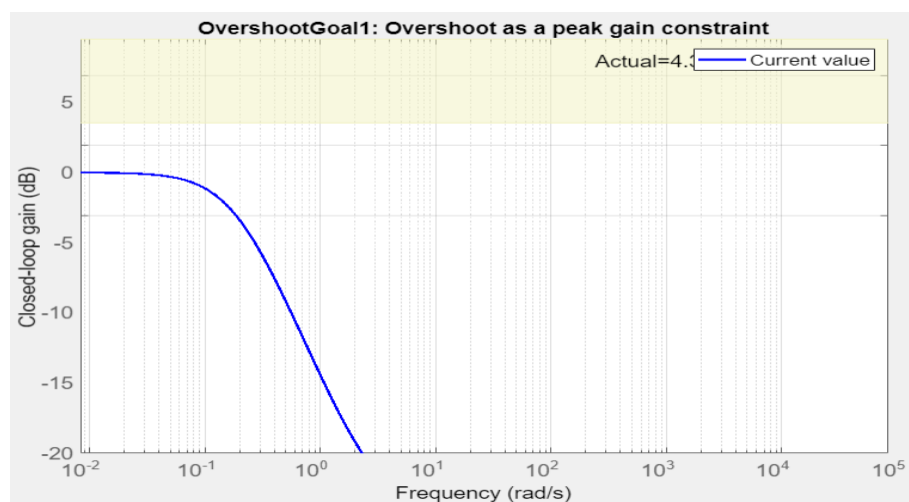


Рис. 17. Перерегулирование системы после синтеза

Дополним полученные графики ЛАЧХ, ЛФЧХ (рис. 22), ступенчатого воздействия (рис. 23) и значения ошибки (рис. 24) дабы убедиться, что синтезированная система удовлетворяет поставленным условиям задачи

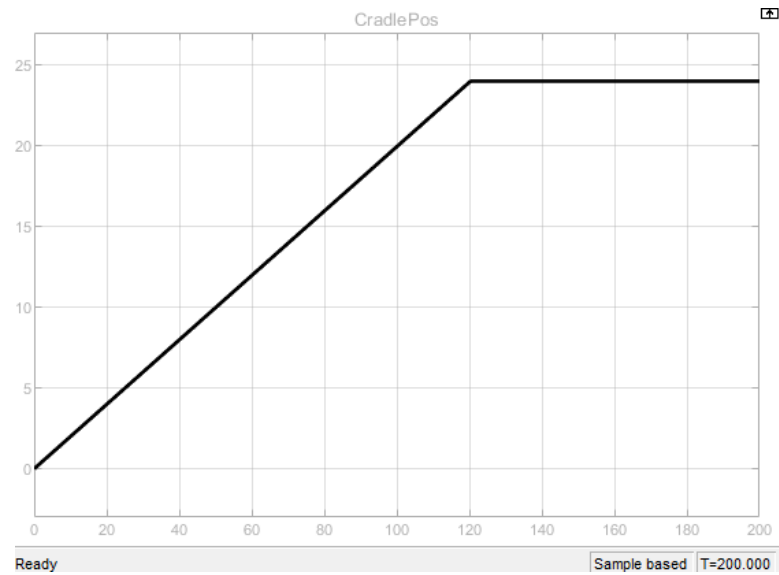


Рис. 18. Реакция синтезированной системы при подаче номинального напряжения

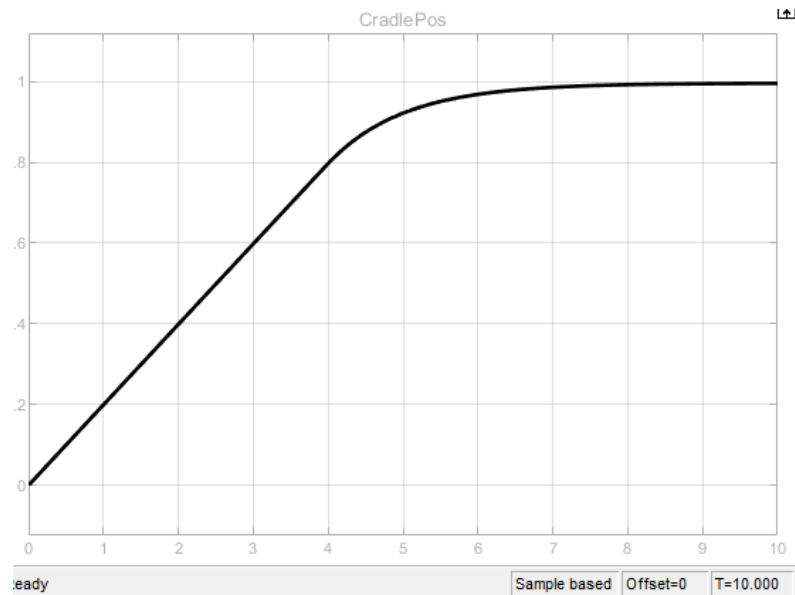


Рис. 19. Положение синтезированной системы при подаче $g(t) = 1$

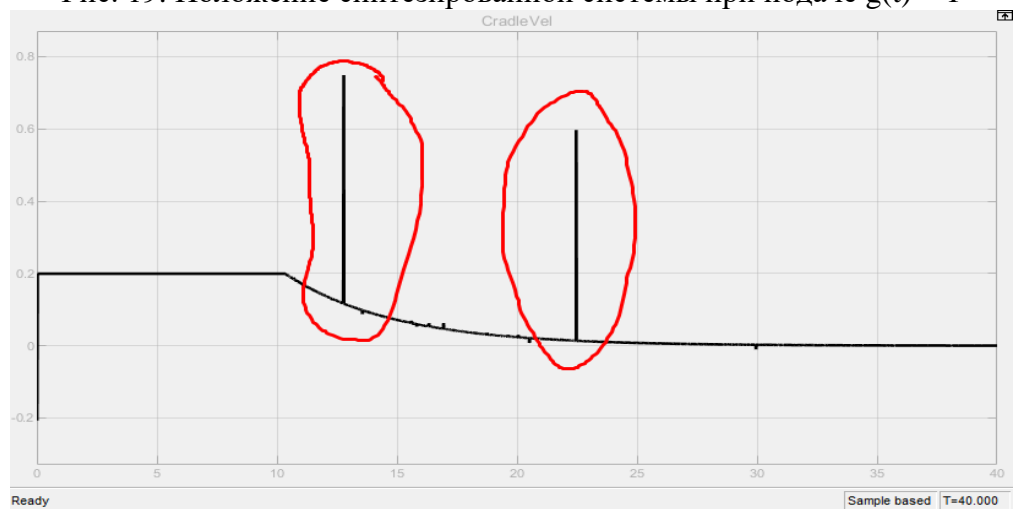


Рис. 20. Скорость произвольной системы и плохим солвером

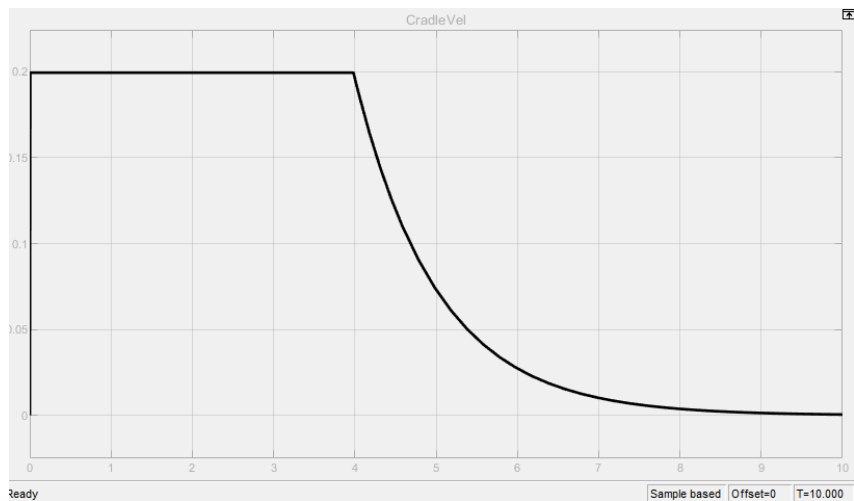


Рис. 21. Скорость синтезированной системы при подаче $g(t) = 1$ и солвером ode15s

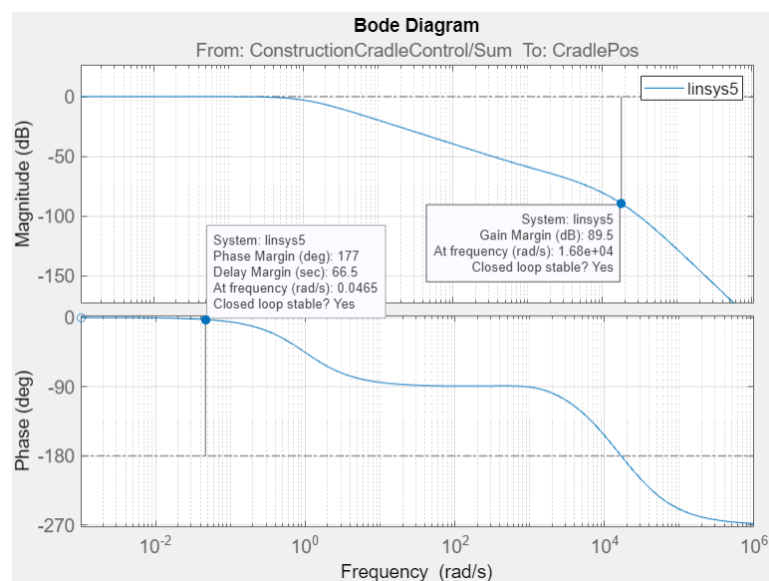


Рис. 22. ЛАЧХ, ЛФЧХ синтезированной системы

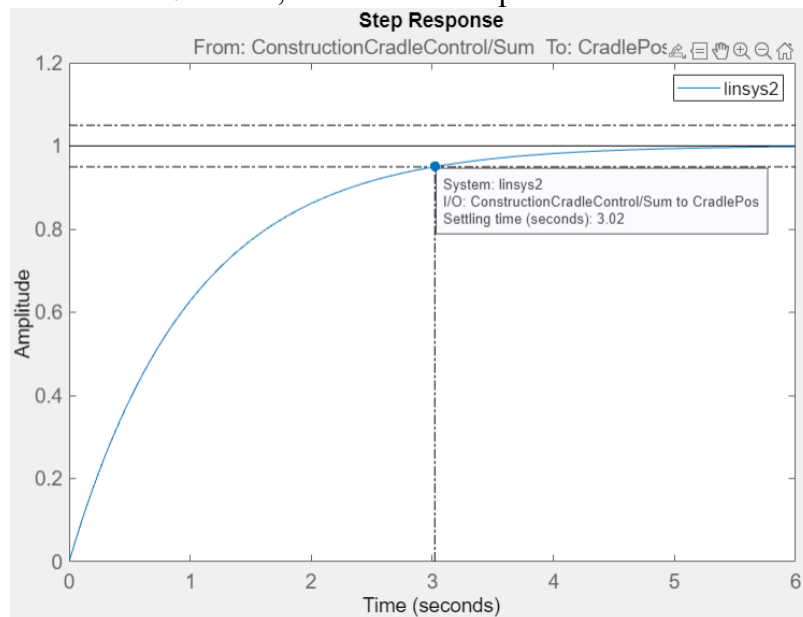


Рис. 23. Ступенчатое воздействие на синтезированную системы с указанием времени переходного процесса

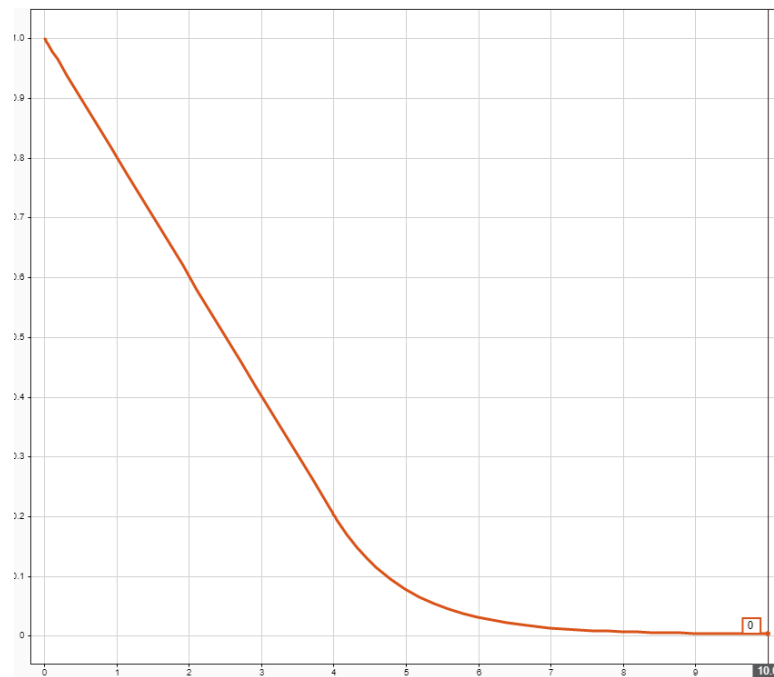


Рис. 24. Значение ошибки синтезированной системы

В скрипте с первоначальными коэффициентами усиления ПИД-регулятора будут введены новые, переработанные под заданные требования синтеза

```
saveVarsMat = load('PID_coef.mat');

kd = 0.0824380679349514;

ki = 0.12628634535922;

kp = 115.072226705239;

out = saveVarsMat.out; % <1x1 Simulink.SimulationOutput> unsupported
class

clear saveVarsMat;
```

Подводя итог можно сказать, что полученная система удовлетворяет требованиям синтеза и справляется с поставленными задачами.

Приложение

1. Публичный репозиторий для лабораторных работ по ТАУ // GitHub
URL: <https://github.com/RiXenGC/Control-Theory.git>