

**Интеллектуальные системы автоматического управления**

Лабораторная работа №1

**Исследование типовых звеньев автоматических приборных устройств**

## **Цель работы**

В результате выполнения лабораторной работы студенты будут уметь:

- Создавать выражение передаточной функции типовых звеньев следящей системы в tf формате;
- Моделировать динамические характеристики типовых звеньев автоматической системы регулирования следующего вида: реакция системы на единичное ступенчатое воздействие, реакция системы на импульсное воздействие, амплитудная и фазовая частотные характеристики, амплитудная и фазовая логарифмические частотные характеристики.
- Интерпретировать результаты, полученные в программе MATLAB;
- Оценивать влияние изменения коэффициентов передаточной функции на ЛАЧХ и ЛФЧХ;
- Устанавливать соответствие между ЛАЧХ и передаточной функцией;
- Прогнозировать, как влияют коэффициенты передаточной функции на систему.

В процессе выполнения лабораторной работы у студентов так же развивается информационно – коммуникационная компетенция.

## **Что нужно знать для выполнения лабораторной работы**

- Определение передаточной функции.
- Что такое амплитудные и фазовые логарифмически частотные характеристики, реакция системы на единичное ступенчатое воздействие, реакция системы на импульсное воздействие.
- Вид передаточных функций всех типовых элементарных звеньев.
- Принцип построения ЛАЧХ и ЛФЧХ.
- Основы имитационного моделирования в программе MATLAB.

## Содержание работы

1. Изучение способа построения передаточных функций в пакете MATLAB. Для выполнения этого задания необходимо прочитать раздел 1 «Основы имитационного моделирования в программе MATLAB».

2. Освоение программы путем построение логарифмических характеристик заданного звена  $W(s) = \frac{23 \cdot s^2 + s + 2}{7 \cdot s^4 + 4 \cdot s + 16}$  в программе MATLAB.

Для выполнения этого задания необходимо выполнить последовательность действий, указанных в разделе 2 «Работа с программой».

3. Исследование влияние изменения коэффициентов передаточной функции на динамические характеристики в программе MATLAB. Эта часть работы выполняется каждым студентом индивидуально. Информация по выполнению приведена в разделе 3 «Задание».

4. Обработка полученных результатов, составление отчета. Эта часть работы выполняется студентами в рамках самостоятельной работы во внеаудиторные часы. Требования к отчету предъявлены в разделе 3 «Задания».

## Типовые динамические звенья линейных систем регулирования

Таблица 1.1 – Типовые динамические звенья

Тип звена	Дифференциальное уравнение	Передаточная функция
безинерционные звенья и звеньев первого порядка		
1. Пропорциональное (безынерционное)	$y(t) = k \cdot x(t)$	$W(p) = k$
2. Инерционное (апериодическое 1-го порядка)	$T \frac{dy(t)}{dt} + y(t) = k \cdot x(t)$	$W(p) = \frac{k}{Tp + 1}$ , где $T$ – постоянная времени
3. Интегрирующее идеальное	$T \frac{dy(t)}{dt} = x(t)$	$W(p) = \frac{1}{T_{и}p} = \frac{k}{p}$ , где $T_{и} = T$ – постоянная интегрирования; $k = \frac{1}{T_{и}}$
4. дифференцирующее идеальное	$y(t) = T \frac{dx(t)}{dt}$	$W(p) = T_{д}p = kp$ , где $T_{д} = T$ – постоянная дифференцирования; $k = T_{д}$
5. Дифференцирующее 1-го порядка	$y(t) = k \cdot \left[ T \frac{dx(t)}{dt} + x(t) \right]$	$W(p) = k \cdot (T_{уп}p + 1) =$ $= T_{д}p + k$ , где $T_{д} = k \cdot T$

<b>Инерционные звенья 2-го порядка</b>		
6. Инерционное 2-го порядка	$T_2^2 \frac{d^2 y(t)}{dt^2} + T_1 \frac{dy(t)}{dt} + y(t) = k \cdot x(t)$	$W(p) = \frac{k}{T_2^2 p^2 + T_1 p + 1} = \frac{k}{T_2^2 p^2 + 2\xi T p + 1},$
6.1. Колебательное	$T_1 < 2 \cdot T_2; \quad 0 < \xi < 1$	где $T = T_2; \quad \xi = \frac{T_1}{2 \cdot T_2}$
6.2. Аperiodическое 2-го порядка (последовательное включение двух аperiodических звеньев)	$T_1 \geq 2 \cdot T_2; \quad \xi \geq 1;$ $T_3 \geq T_4$	$W(p) = \frac{k}{(T_3 p + 1)(T_4 p + 1)},$ где $T_{3,4} = \frac{T}{\xi \pm \sqrt{\xi^2 - 1}}$ или $T_{3,4} = \frac{T_1}{2} \pm \sqrt{\frac{T_1^2}{4} - T_2^2}$
6.3. Консервативное (вырожденное колебательное при $\xi = 0$ )	$T_2^2 \frac{d^2 y(t)}{dt^2} + y(t) = k \cdot x(t)$	$W(p) = \frac{k}{T^2 p^2 + 1},$ где $T = T_2$
7. Дифференцирующее 2-го порядка	$y(t) = k \cdot \left[ T_2^2 \frac{d^2 x(t)}{dt^2} + T_1 \frac{dx(t)}{dt} + x(t) \right]$ $T_1 < 2 \cdot T_2; \quad 0 < \xi < 1$	$W(p) = k \cdot (T_2^2 p^2 + T_1 p + 1) = k \cdot (T^2 p^2 + 2\xi T p + 1),$ где $T = T_2; \quad \xi = \frac{T_1}{2 \cdot T_2}$
8. Вырожденное дифференцирующее 2-го порядка ( $\xi = 0$ )	$y(t) = k \cdot \left[ T_2^2 \frac{d^2 x(t)}{dt^2} + x(t) \right]$	$W(p) = k \cdot (T_2^2 p^2 + 1) = k T^2 p^2 + k,$ где $T = T_2$

<b>Особые звенья</b>		
9	$y(t) = k \cdot \left[ -T \frac{dx(t)}{dt} + x(t) \right]$	$W(p) = k \cdot (-T_{yn}p + 1) =$ $= -T_{\Delta}p + k,$
10	$y(t) = k \cdot \left[ T \frac{dx(t)}{dt} - x(t) \right]$	$W(p) = k \cdot (T_{yn}p - 1) =$ $= T_{\Delta}p - k,$
11	$-T \frac{dy(t)}{dt} + y(t) = k \cdot x(t)$	$W(p) = \frac{k}{-Tp + 1}$
12	$T \frac{dy(t)}{dt} - y(t) = k \cdot x(t)$	$W(p) = \frac{k}{Tp - 1}$

# 1 ОСНОВЫ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ В ПРОГРАММЕ MATLAB

В теории проектирования систем автоматического управления важное место уделяется анализу и синтезу линейных систем автоматического проектирования с постоянными параметрами. Программа, позволяющая весьма эффективно решать эти задачи – пакет MATLAB содержащий в своем составе инструмент визуального моделирования Control Sistem Toolbox. Control Sistem Toolbox. - собрание функций для моделирования, анализа, и проекта автоматических систем управления.

При реализации этого пакета использованы принципы объектно-ориентированного программирования.

## 1.1 Модели линейных систем с постоянными параметрами

В Control Sistem Toolbox введён новый класс объектов: линейные системы с постоянными параметрами (lti - объекты). Этот класс включает в себя линейные непрерывные, дискретные, одномерные системы с одним входом и одним выходом (SISO- системы) и многомерные - со многими входами и выходами (MIMO – систем). Каждому объекту присваивается определённый идентификатор.

Lti - система в ППП Control Sistem Toolbox может быть представлена тремя подклассами:

- четвёркой матриц — это подкласс **ss-типа**;
- двумя векторами, составленными из коэффициентов числителя и знаменателя, что соответствует подклассу **tf-типа**;
- двумя векторами, составленными из нулей и полюсов передаточной функции, что соответствует подклассу **zpk-типа**.

В лабораторной работе предлагается использовать tf-форму передаточной (ПФ) системы.

**Математическая модель** стационарной непрерывной или дискретной системы в tf-форме задаётся передаточной функцией

$$W(s) = \frac{N_1 \cdot s^m + N_2 \cdot s^{m-1} + \dots + N_m \cdot s + N_{m+1}}{D_1 \cdot s^n + D_2 \cdot s^{n-1} + \dots + D_n \cdot s + D_{n+1}}; \quad m < n$$

При описании дискретных систем комплексная переменная  $s$  заменяется на  $z$ . Control System Toolbox обеспечивает создание структур данных для модели.

## 1.2 Формирование tf- объекта

Передаточная функция

$$W(s) = \frac{N_1 \cdot s^m + N_2 \cdot s^{m-1} + \dots + N_m \cdot s^1 + N_{m+1} \cdot s^0}{D_1 \cdot s^n + D_2 \cdot s^{n-1} + \dots + D_n \cdot s^1 + D_{n+1} \cdot s^0} = \frac{\text{num}(s)}{\text{den}(s)}$$

задаётся в командном окне MATLAB многочленом числителя  $\text{num}(s)$  и многочленом знаменателя  $\text{den}(s)$ .

Многочлены представляются как векторы- строки, составленные из коэффициентов многочленов в порядке убывания степеней переменной  $s$ . Последнему числу в векторе соответствует  $s^0$ , предпоследнему  $s^1$  и так далее. Поэтому формирование многочлена удобнее производить с его конца.

Например, многочлен  $f1(s) = 27s^4 + 30s^3 + 74s^2 + 58s + 2$  соответствует вектору  $[27 \ 30 \ 74 \ 58 \ 2]$ .

А вектору  $[4 \ 2 \ 10 \ 4 \ 8 \ 0]$  соответствует многочлен  $f2(s) = 4s^5 + 2s^4 + 10s^3 + 4s^2 + 8s + 0$ . Функция деления многочлена числителя  $\text{num}(s)$  и многочлена знаменателя  $\text{den}(s)$  представлена в MATLAB как функция `tf`.

Тогда запись в командном окне для передаточной функции будет следующая:

$$W = \text{tf}([\text{num}],[\text{den}])$$

Например, нам необходимо представить передаточную функцию

$$W(s) = \frac{s + 2}{3 \cdot s^4 + 5 \cdot s + 10}$$

в операторном виде для записи в командном окне MATLAB. Для этого представляем числитель и знаменатель дроби в виде векторов – строк.

Числитель запишется как [1 2], а знаменатель как [3 0 0 5 10]. В командном окне необходимо сделать запись:

$$W = tf([1 2],[3 0 0 5 10]).$$

При этом между цифрами ставится пробел, а между квадратными скобками запятая. После нажатия клавиши «Enter» в командном окне появляется выражение передаточной функции, а на рабочем поле – имя системы (рисунок 2.2). В программе MATLAB возможно сложение, вычитание, умножение и деление ранее заданных передаточных функций. Для осуществления этих алгебраических операций необходимо в командном окне сделать соответствующую запись. Например, если ранее заданы  $w_1$ ,  $w_2$ ,  $w_3$  то передаточная функция  $w$  может быть задана в командном окне как  $w = w_1/(w_2+w_3)$ . При этом программа MATLAB сама посчитает многочлен числителя  $num(s)$  и многочлен знаменателя  $den(s)$ .

## 2 РАБОТА С ПРОГРАММОЙ

Для того, чтобы освоить основы исследования показателей качества САУ, в программе MATLAB необходимо выполнить следующую последовательность действий:

### 1) Запустить программу MATLAB.

Если на рабочем компьютере не установлена программа MATLAB, тогда её нужно запустить через `var.tpu.ru`. Она находится в папке Математические.

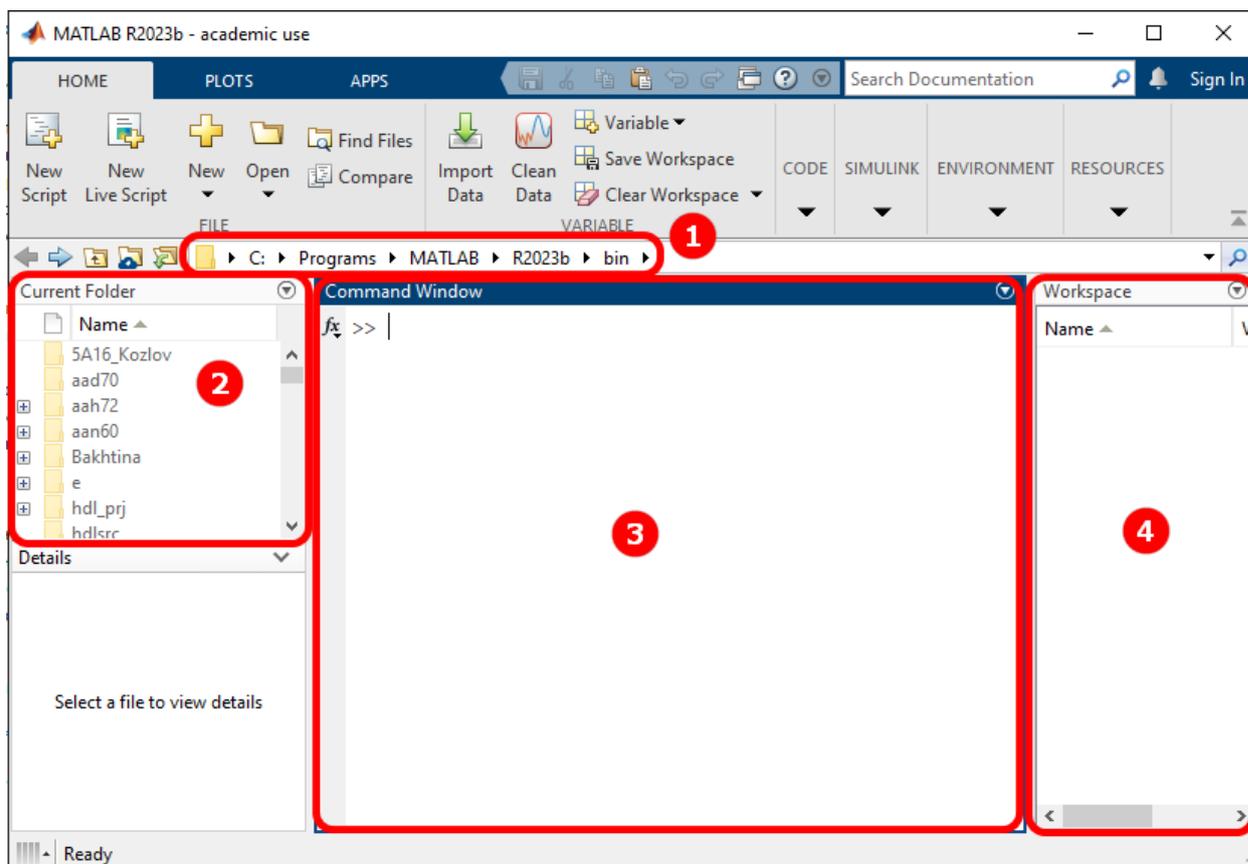


Рисунок 2.1 – Главное окно программы MATLAB

На рисунке 2.1 цифрами обозначено:

- 1 – Текущая открытая папка;
- 2 – Файлы, расположенные в открытой папке;
- 3 – Командное окно;
- 4 – Поле, в котором отображаются используемые в данный момент переменные и их значения.

## 2) Записать передаточную функцию в tf формате.

В командном окне напечатайте функцию  $W = \text{tf}([1 \ 2],[3 \ 0 \ 0 \ 5 \ 10])$  и нажмите клавишу «Enter». Результат показан на рисунке 2.2.

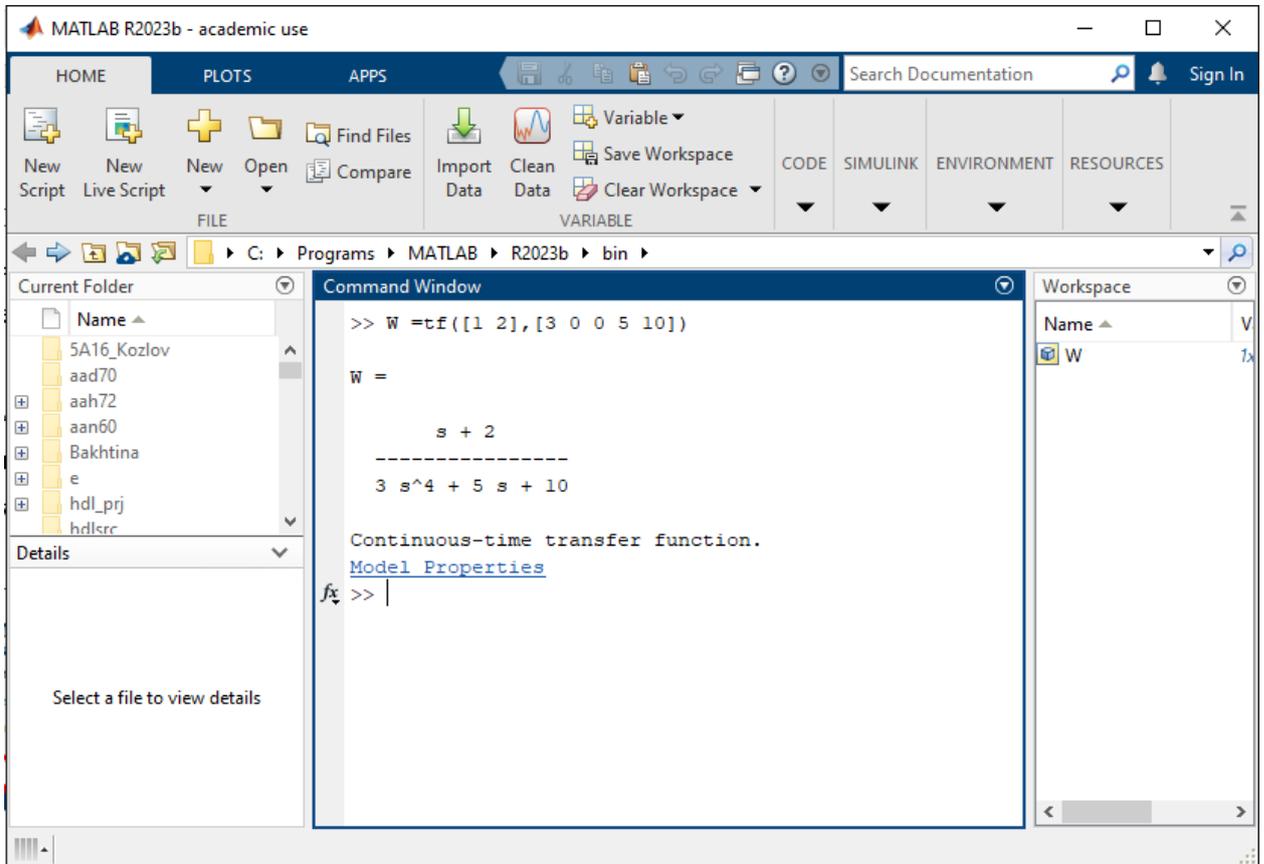


Рисунок 2.2 – Передаточная функция в tf формате

Для исследования автоматических систем необходимо построить логарифмические и переходные характеристики. В программе MATLAB существуют два способа построения логарифмических и переходных характеристик.

### 2.1 Первый способ: построение АЧХ и ФЧХ с помощью функций

В программе MATLAB возможно исследовать автоматические системы управления по функциям следующего вида:

**Step** – реакция системы на единичное ступенчатое воздействие;

**Bode** – амплитудная и фазовая логарифмические частотные характеристики;

**Pzmap** – полюсы и нули на комплексной плоскости. Также в программу MATLAB включены специальные функции для анализа динамических характеристик lti-моделей.

Таблица 2.1 – Функции для вычисления нулей и полюсов

Pole,eig(sys)	Вычислить полюсы lti-модели
Tzero(sys)	Вычислить нули lti-модели
Damp(sys)	Вычислить собственную частоту и коэффициенты демпфирования
Dcgain(sys)	Вычислить коэффициент передачи lti-модели
Ecort(sys)	Отсортировать полюсы и нули lti-модели в порядке убывания их действительных частей
Pzmap(sys)	Отобразить полюсы и нули lti-модели на комплексной плоскости

**Полюсы изображаются маркером x, нули – o.**

Таблица 2.2 – Функции для вычисления и построения частотных характеристик

Bode(sys)	Вычислить логарифмические частотные характеристики lti-модели
Evalfr(sys)	Вычислить частотные характеристики lti модели на заданной частоте
Margin(sys)	Вычисление запасов устойчивости по фазе и амплитуде
Norm(sys)	Вычисление максимального значения модуля частотной характеристики и соответствующей ему частоты

Таблица 2.3 – Функции для построения переходных процессов

Step(sys)	Переходная функция
Impuls(sys)	Импульсная переходная функция
Gensig(sys)	Генератор входного сигнала

Для построения нескольких графиков на одном экране применяется функция subplot(n,m,j), где n-количество строк, m-количество столбцов, j-номер ячейки (окна).

## Пример

subplot(3,1,1), step(W)

subplot(3,1,2), impulse(W)

subplot(3,1,3), bode(W).

## 2.2 Второй способ

Открыть окно для просмотра графиков, характеризующих показатели качества системы. Для его вызова необходимо выбрать вкладку APPS (рисунок 2.3).

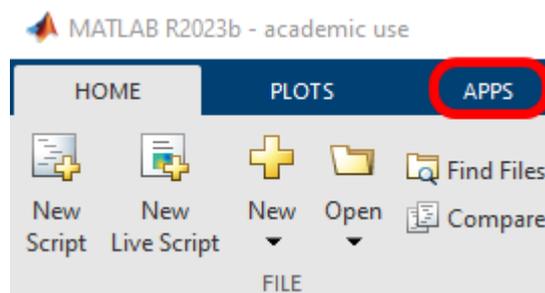


Рисунок 2.3 – Выбор вкладки APPS

Нажать на кнопку выпадающего меню и выбрать пиктограмму Linear System Analysis (рисунок 2.4).

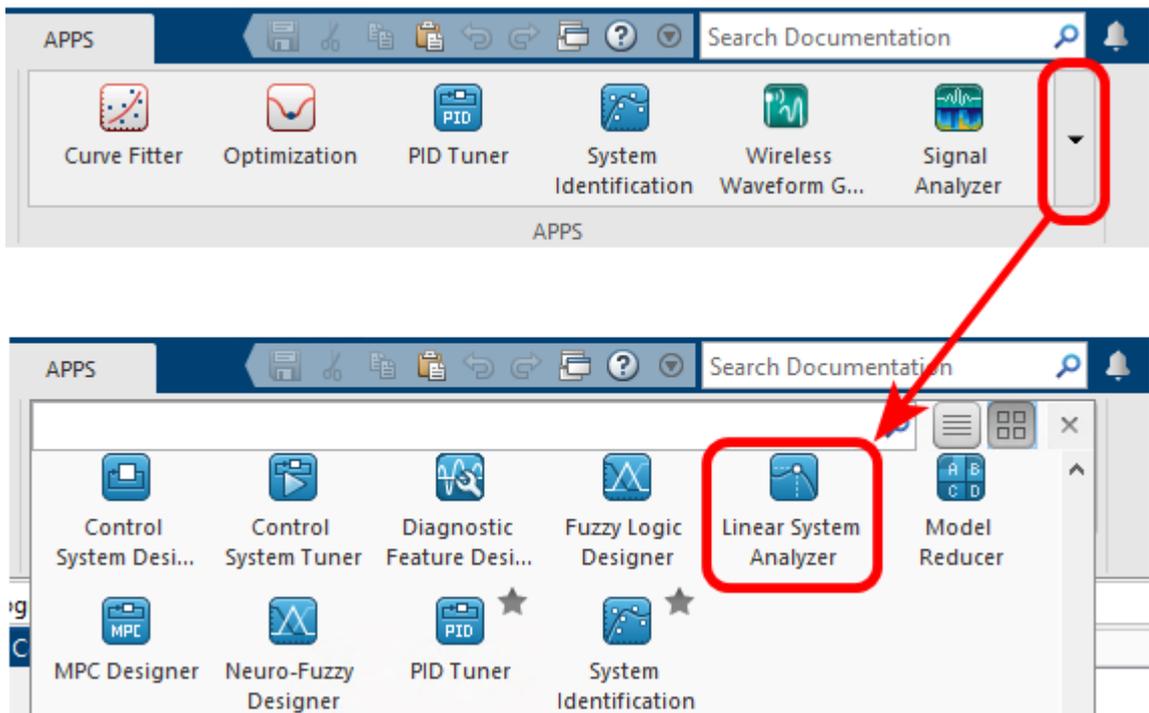


Рисунок 2.4 – Запуск Linear System Analysis

Выбрать конфигурацию разделения рабочего поля на требуемое количество отображаемых графиков. Для этого в открывшемся окне Linear System Analysis выполнить команду из меню **Edit/Plot Configuration** (конфигурация графика), после чего в открывшемся окне (рисунок 2.5) выбирается количество и виды графиков.

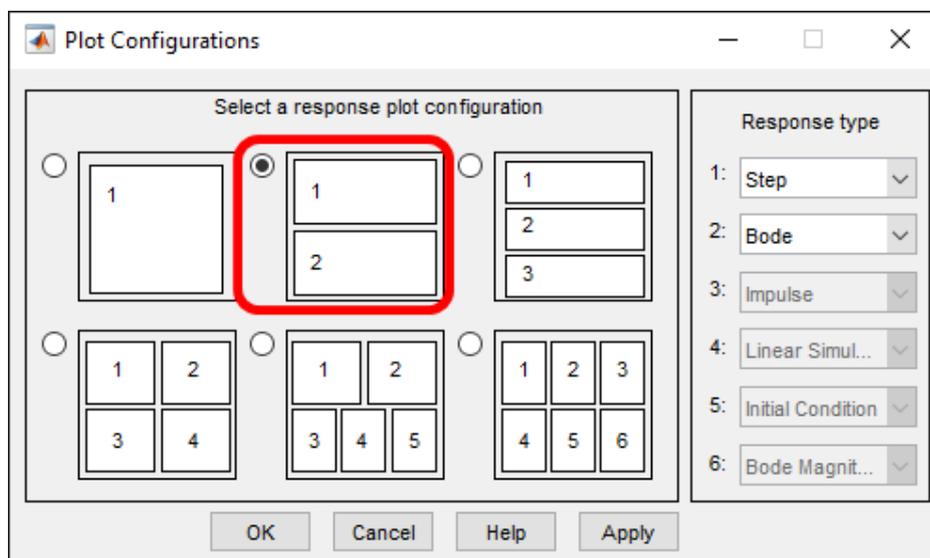


Рисунок 2.5 – Выбор конфигурации графиков

Затем из меню выбрать **File/ Import**, рисунок 2.6.

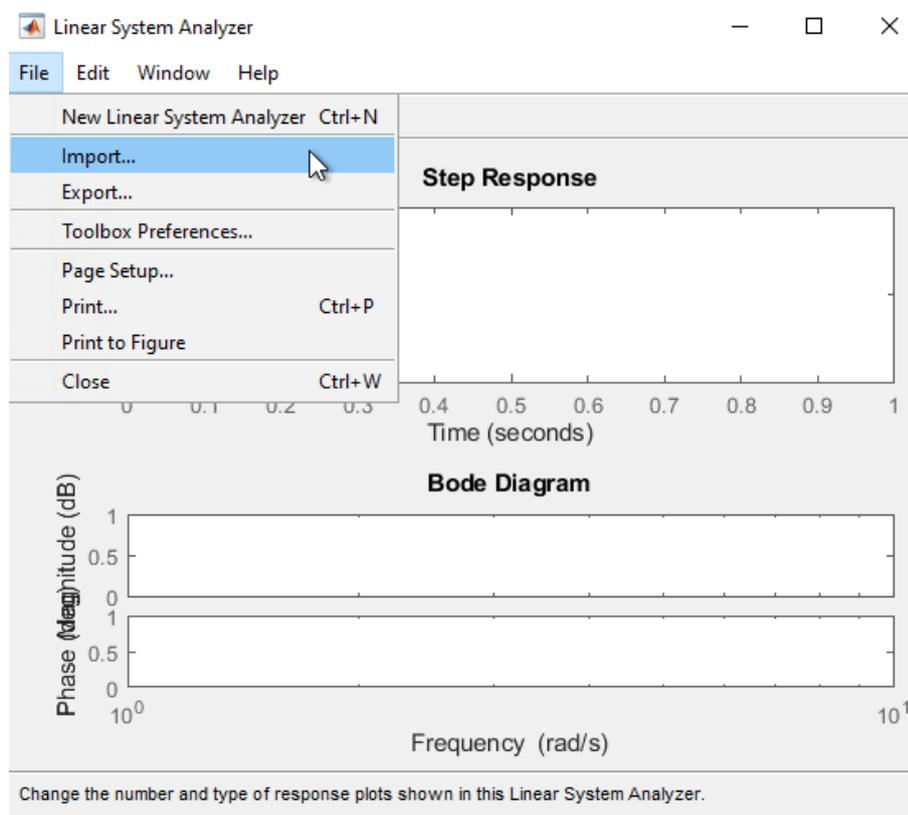


Рисунок 2.6 – Импорт исследуемой передаточной функции

Затем выберите передаточную функцию, для которой необходимо построить логарифмические и переходные характеристики, рисунок 2.7.

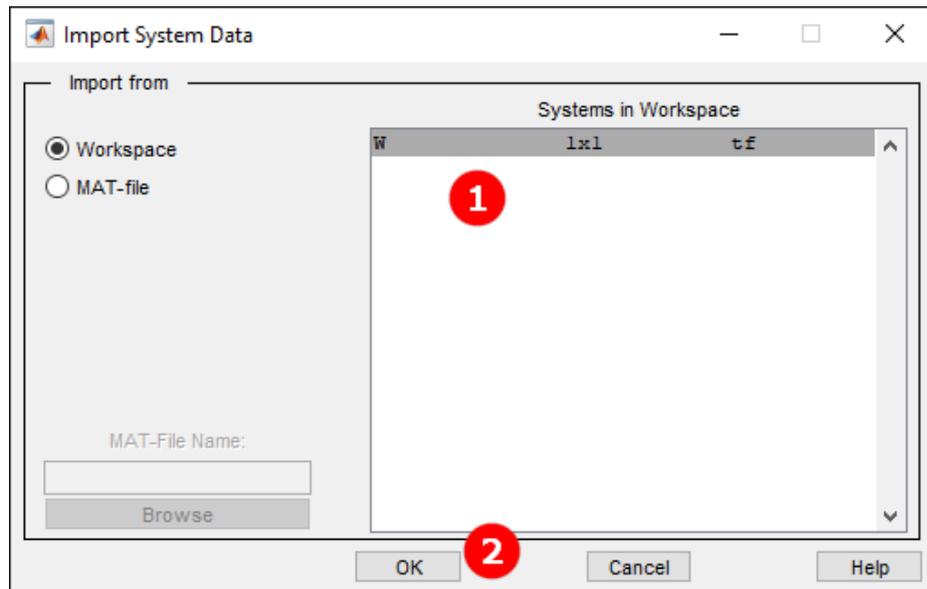


Рисунок 2.7 – Выбор передаточной функции для построения характеристик

В результате будут построены логарифмические и переходные характеристики выбранной функции, рисунок 2.8.

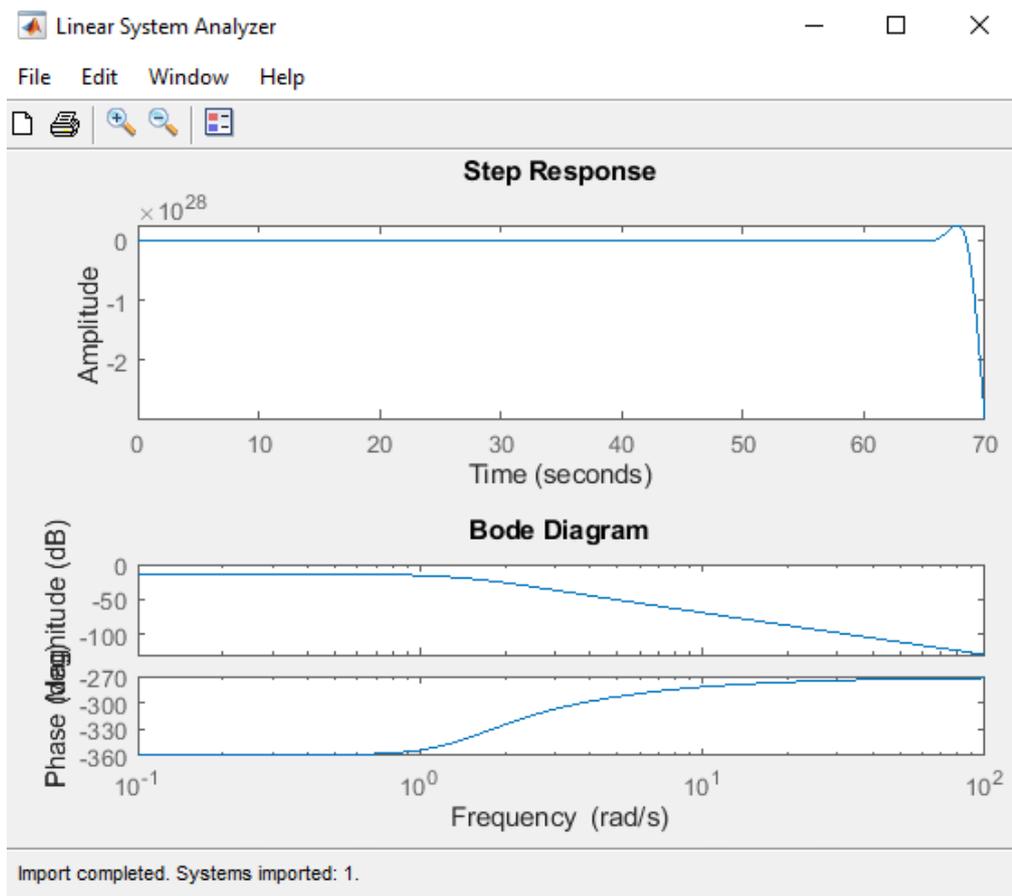


Рисунок 2.8 – Логарифмические и переходные характеристики

### 3 ЗАДАНИЕ

**Часть 1 лабораторной работы:** построить характеристики для безинерционных звеньев и звеньев первого порядка (2 часа).

**Часть 2 лабораторной работы:** построить характеристики для звеньев 2-го порядка (4 часа). Рассчитать диапазон изменения коэффициентов, при котором переходный процесс является сходящимся аperiodическим.

**Часть 3 лабораторной работы:** построить характеристики для особых звеньев (2 часа).

Для каждого звена (таблица 1.1) необходимо построить логарифмические и переходные характеристики с коэффициентом передачи  $K$ ,  $10K$ ,  $K/10$  (параметры звена указаны в таблице 3.1).

Определить, как меняется ЛАЧХ и ЛФЧХ при изменении коэффициента  $K$ , объяснить почему. Если в звене есть постоянная времени, то изменить их (увеличить и уменьшить в 10 раз). Проанализировать, как это влияет на ЛАЧХ и ЛФЧХ, и объяснить почему.

Таблица 3.1 – Параметры типовых звеньев

Параметры звеньев	Вариант											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
$K$	10	0.03	50	705	0.75	4	30	0.05	80	100	55	1
$T$	0.0005	0.75	0.09	0.05	0.62	0.56	0.82	0.006	0.06	1	3	10
$\xi$	0.006	0.06	0.1	0.09	0.007	0.5	0.06	0.005	0.001	0,2	0,01	0,07

#### Требования к отчету

Отчет является документом, свидетельствующим о выполнении студентом лабораторной работы, и должен включать:

1. Цель работы
2. Передаточная функция каждого типового звена
3. Логарифмические и переходные характеристики каждого типового звена с измененными параметрами

4. Выводы по каждому звену и по всей работе в целом
5. Ответы на контрольные вопросы

Оформление текста отчета по лабораторной работе выполняется в соответствии с общими требованиями СТО ТПУ 2.5.01-2006.

### Контрольные вопросы

1. Как возможно записать передаточную функцию

$$W(s) = \frac{s^5 + 9}{s \cdot (7 \cdot s + 9) \cdot (9 \cdot s^6 + 6 \cdot s + 85)} \text{ в MATLAB?}$$

2. Какие динамические характеристики звеньев вы знаете, и как они обозначаются в MATLAB?
3. Какое влияние на ЛАЧХ оказывает изменение коэффициента передачи системы, и почему?
4. Существуют ли зависимости между ЛАЧХ и ЛФЧХ?
5. Изменение каких коэффициентов приводит к изменению ЛФЧХ?