

## Лабораторная работа №2

### «Исследование характеристик типовых звеньев САУ»

Цель: изучить временные и частотные характеристики типовых звеньев САУ и оценить влияние значений параметров звена на них.

Задачи:

1. Собрать модель типовых звеньев САУ с помощью MATLAB Simulink (для безынерционного звена, апериодического звена первого и второго порядков, колебательного звена и идеального интегратора).

2. Построить временные и частотные характеристики смоделированных звеньев САУ с помощью инструментов анализа линейных систем управления (звено второго порядка исследовать при двух соотношениях значений параметров, см. теоретическую справку).

3. Для каждого из типовых звеньев построить переходную характеристику для трёх значений каждого из параметров передаточной функции звена.

4. По результатам построений сделать выводы о влиянии изменений каждого из параметров передаточной функции звена на переходный процесс.

5. Оформить отчет.

## ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

### 1 Типовые звенья систем автоматического управления

Системы автоматического управления (САУ) обычно разбиваются на отдельные динамические звенья для удобства анализа и синтеза. Такие звенья соответствуют различным устройствам любой физической природы, описанным дифференциальным уравнением. Очевидно, что дифференциальным уравнением одного и того же вида могут быть описаны устройство различных типов, однако при решении задач ТАУ они будут рассматриваться как звенья одного и того же типа. Наиболее часто встречающиеся на практике звенья были объединены в набор типовых звеньев САУ.

Среди типовых звеньев различают позиционные, интегрирующие и дифференцирующие звенья. Позиционные звенья связывают пропорционально входную и выходную величины в установившемся режиме; интегрирующие пропорционально связывают входную величину и производную выходной величины в установившемся режиме; дифференцирующие звенья связывают пропорционально производную входной величины и выходную величину. Обозначим входную величину звена как  $x$ , выходную – как  $y$ , коэффициент в пропорциональной зависимости – как  $k$ . В таком случае, учитывая вышесказанное, для установившихся режимов позиционных, интегрирующих и дифференцирующих звеньев получим уравнения (1), (2) и (3), соответственно:

$$y = k \cdot x, \quad (1)$$

$$\frac{d}{dt}y = k \cdot x, \quad (2)$$

$$y = k \cdot \frac{d}{dt}x. \quad (3)$$

Далее приведена таблица с наименованиями и передаточными функциями типовых звеньев САУ.

Таблица 1. Типовые звенья САУ

Позиционные звенья		
1	Безынерционное	$W(s) = k$
2	Апериодическое 1-го порядка	$W(s) = \frac{k}{T \cdot s + 1}$
3	Апериодическое 2-го порядка	$W(s) = \frac{k}{T_2^2 \cdot s^2 + T_1 \cdot s + 1}$ , при $T_1 > 2 \cdot T_2$
4	Колебательное	$W(s) = \frac{k}{T_2^2 \cdot s^2 + T_1 \cdot s + 1}$ , при $T_1 \leq 2 \cdot T_2$
5	Консервативное	$W(s) = \frac{k}{T^2 \cdot s + 1}$
Интегрирующие звенья		
6	Идеальное интегрирующее	$W(s) = \frac{k}{s}$
7	Интегрирующее с замедлением	$W(s) = \frac{k}{s \cdot (T \cdot s + 1)}$
8	Изодромное	$W(s) = \frac{k}{s} + k_1$
Дифференцирующие звенья		
9	Дифференцирующее	$W(s) = k \cdot s$
10	Дифференцирующее с замедлением	$W(s) = \frac{k \cdot s}{T \cdot s + 1}$

## 2 Временные и частотные характеристики систем автоматического управления

Различные характеристики звена позволяют качественно и количественно оценить его динамические свойства. Выделяют временные и частотные характеристики звена.

Временные характеристики звена: переходная и импульсная, показывают зависимость выходной величины звена от времени при единичном ступенчатом или единичном импульсном входном воздействии соответственно. При этом импульсная характеристика звена  $w(t)$ , называемая также весовой функцией, является оригиналом передаточной функции звена по Лапласу, то есть

$$W(s) = \int_0^{\infty} w(t) \cdot e^{-st} \cdot dt.$$

При этом импульсная характеристика звена является производной переходной характеристики звена  $h(t)$ , следовательно верно

$$W(s) = s \cdot \int_0^{\infty} h(t) \cdot e^{-st} \cdot dt.$$

Частотные характеристики звена САУ строятся на основе его частотной передаточной функции  $W(j\omega)$ , получаемой заменой  $s \rightarrow j\omega$ . На основе частотной передаточной функции звена можно получить амплитудно-фазовую частотную характеристику (АФЧХ), амплитудную частотную характеристику (АЧХ), фазовую частотную характеристику (ФЧХ) и логарифмические их варианты: логарифмическую амплитудную частотную характеристику (ЛАЧХ) и логарифмическую фазовую частотную характеристику (ЛФЧХ).

АФЧХ строится на комплексной плоскости путем вычисления комплексного коэффициента передачи звена на частотах от нуля до плюс бесконечности. Для нескольких частот из этого диапазона на комплексной плоскости наносятся точки, соответствующие значению комплексного коэффициента передачи. Затем такие точки соединяются кривой. В итоге АФЧХ является геометрическим местом концов векторов комплексной передаточной функции.

Вместо АФЧХ для некоторых задач достаточно построить АФХ  $A(\omega)$  или ФЧХ  $\varphi(\omega)$  по отдельности. Исходя из их определений, АЧХ представляет собой модуль комплексной передаточной функции ( $A(\omega) = |W(j\omega)|$ ), ФЧХ – ее аргумент ( $\varphi(\omega) = \arg[W(j\omega)]$ ). Для оценки запасов устойчивости удобнее использовать логарифмический вариант этих характеристик. ЛАЧХ строится по выражению  $L(\omega) = 20 \cdot \lg[A(\omega)]$ , затем для той же оси абсцисс откладываются значения сдвига по фазе на оси ординат.

## ХОД РАБОТЫ

Далее приведен пример исследования апериодического звена первого порядка в рамках лабораторной работы с помощью MATLAB R2020a (доступен через <http://vap.tpu.ru>). Цветом выделены примечания преподавателя, которые включать в отчет не нужно.

Апериодическое звено первого порядка задано следующей передаточной функцией:

$$W(s, K, T) = \frac{K}{T \cdot s + 1},$$

где  $s$  – оператор дифференцирования,  $K$  – передаточный коэффициент,  $T$  – постоянная времени. Построим временные и частотные характеристики апериодического звена первого порядка для следующих значений его параметров:  $K = 3; T = 1$ .

Для этого, используя MATLAB Simulink, составим модель исследуемого звена из блоков In, Out и Transfer Fcn. Структура модели представлена на рисунке 1.

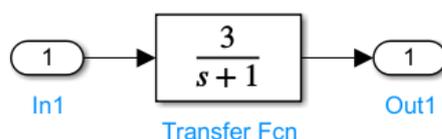


Рисунок 1 – Модель апериодического звена первого порядка в Simulink

Используя инструмент «Model linearizer» с вкладки «Apps» окна Simulink, построим переходную и импульсную характеристики исследуемого звена, выбрав для этого «Step response» и «Pulse response». Переходная и импульсная характеристики представлены на рисунке 2. При этом не забыть выбрать в меню «Analysis I/Os» пункт «Root level Inports and Outports».

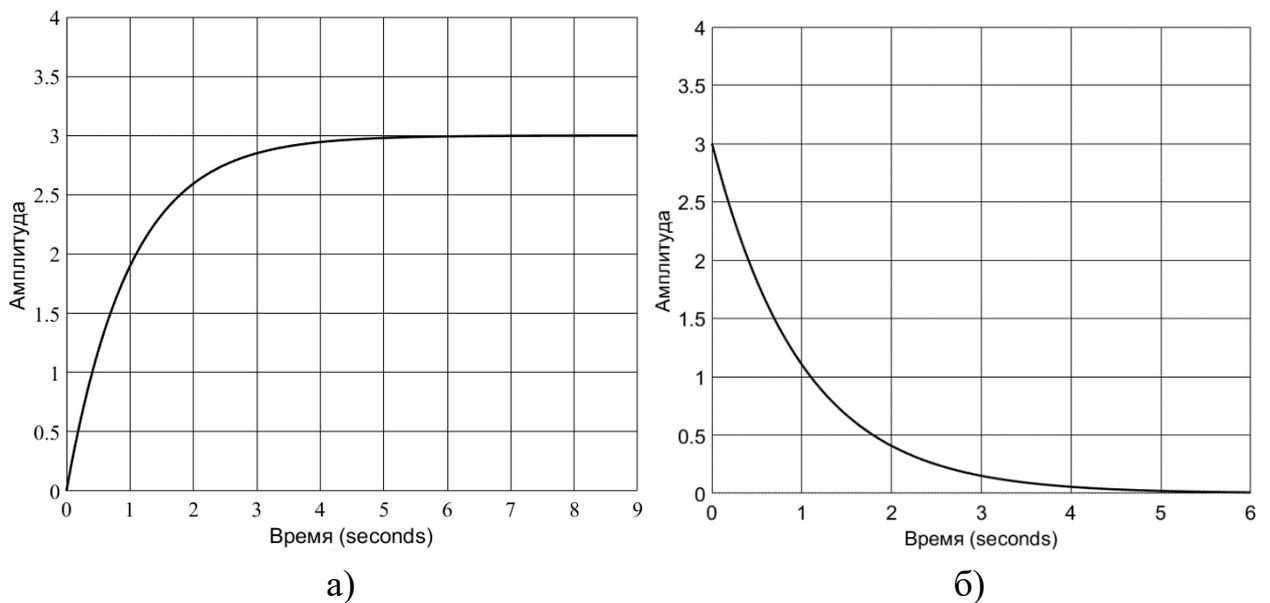


Рисунок 2 – Временные характеристики аperiodического звена первого порядка: а) переходная характеристика, б) импульсная характеристика

Аналогичным образом построим частотные характеристики звена: АФЧХ, ЛАЧХ и ЛФЧХ, выбрав в «Model linearizer» пункты «Nyquist diagram» и «Bode diagram» соответственно. Частотные характеристики исследуемого звена изображены на рисунке 3.

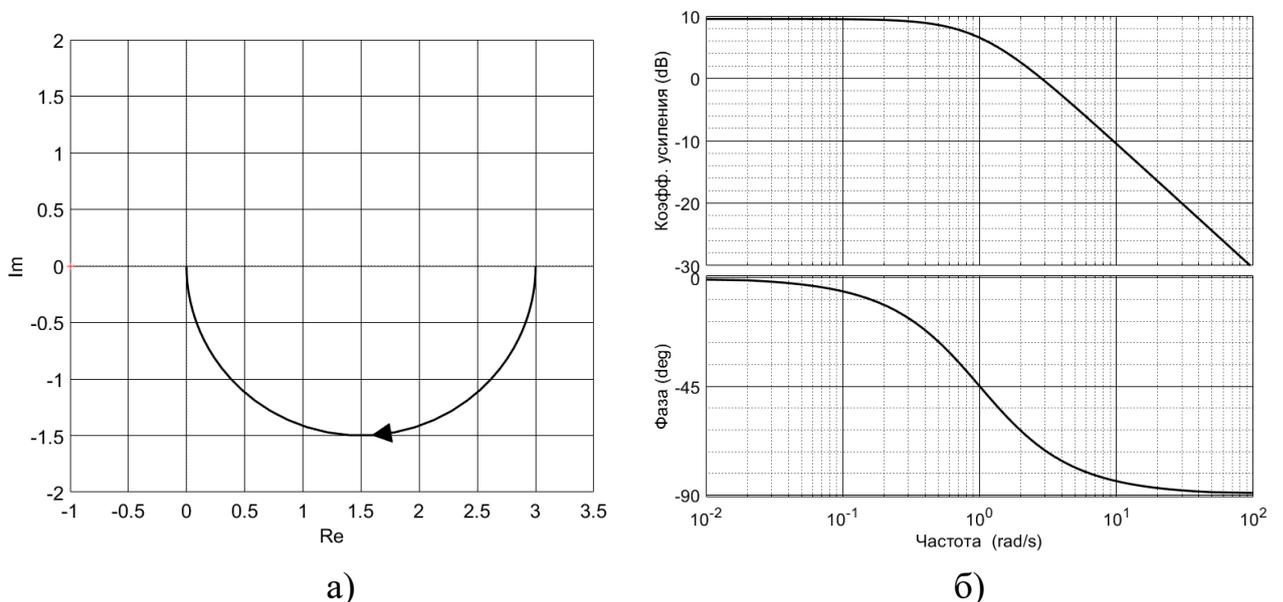


Рисунок 3 – Частотные характеристики аperiodического звена первого порядка: а) АФЧХ, б) ЛАЧХ и ЛФЧХ

Рассмотрим далее зависимость переходной характеристики исследуемого звена от значений параметров звена. Для этого построим переходную характеристику звена при  $K_1 = 1,5$ ;  $K_3 = 3$ ;  $K_3 = 6$  и  $T = 1$ ; а

также при  $K = 3$  и  $T_1 = 0.5$ ;  $T_2 = 1$  и  $T_3 = 2$ . Результаты первой серии расчетов представлены на рисунке 4.

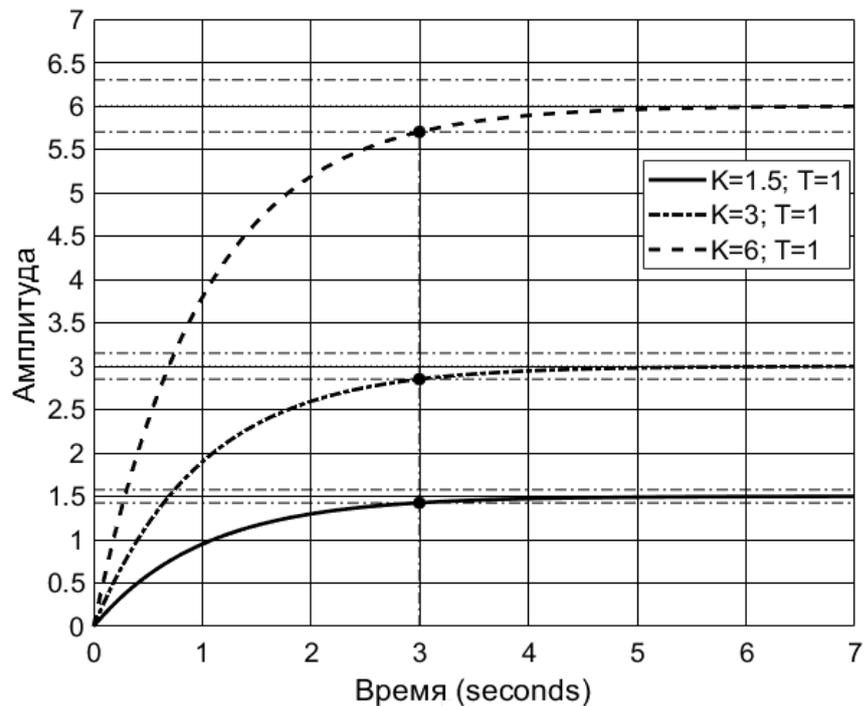


Рисунок 4 – Переходные характеристики аperiodического звена первого порядка для различных значений передаточного коэффициента

Исходя из переходных характеристик, изображенных на рисунке 4, можно сделать вывод, что увеличение передаточного коэффициента аperiodического звена первого порядка приводит к увеличению установившегося значения переходной характеристики равному 1,5; 3 и 6 для  $K_1 = 1,5$ ;  $K_3 = 3$ ;  $K_3 = 6$  соответственно. При этом время переходного процесса остается постоянным и во всех трех случаях равно 3 с.

Результаты второй серии расчетов представлены на рисунке 5.

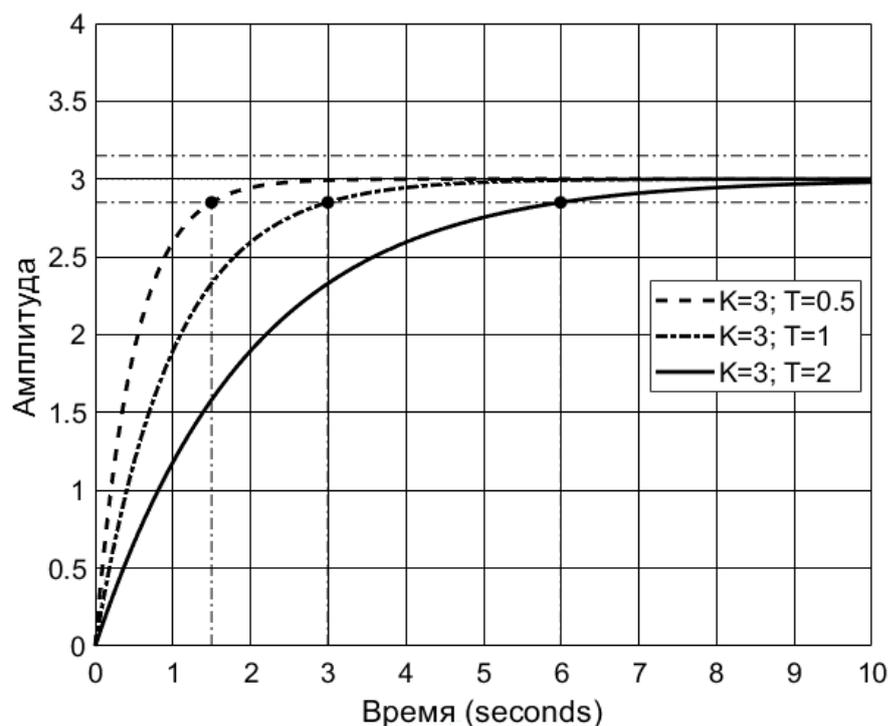
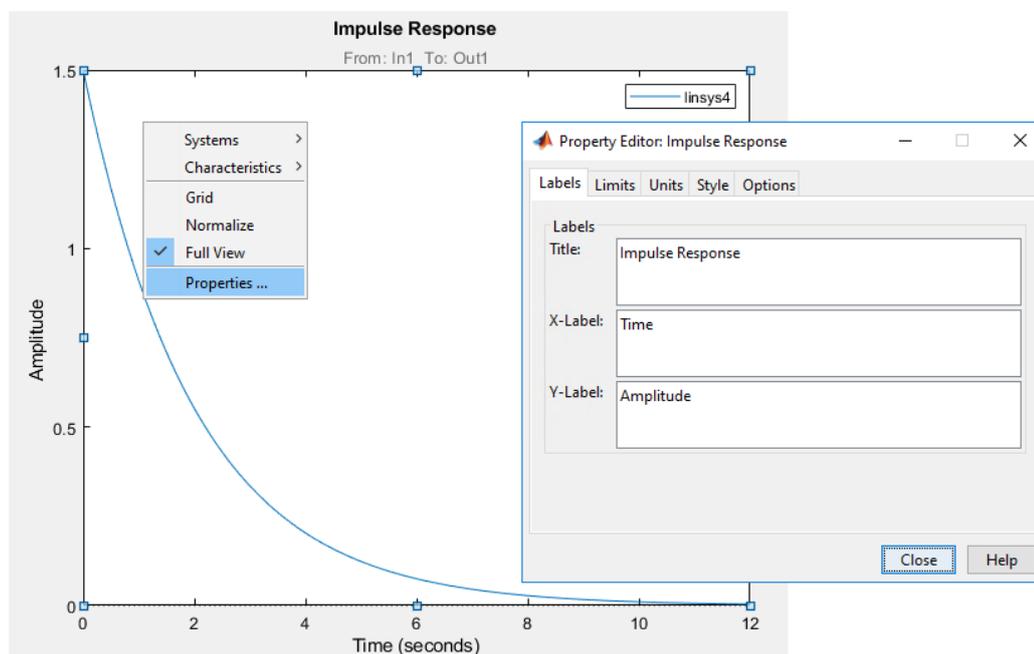


Рисунок 5 – Переходные характеристики аperiodического звена первого порядка для различных значений постоянной времени

Исходя из переходных характеристик, изображенных на рисунке 5, можно сделать вывод, что увеличение постоянной времени приводит к пропорциональному увеличению времени переходного процесса, которое составило 1,5 с, 3 с и 6 с для  $T_1 = 0.5$ ;  $T_2 = 1$  и  $T_3 = 2$ . Установившееся значение переходной характеристики при этом осталось постоянным и равно 3 для всех трех случаев.

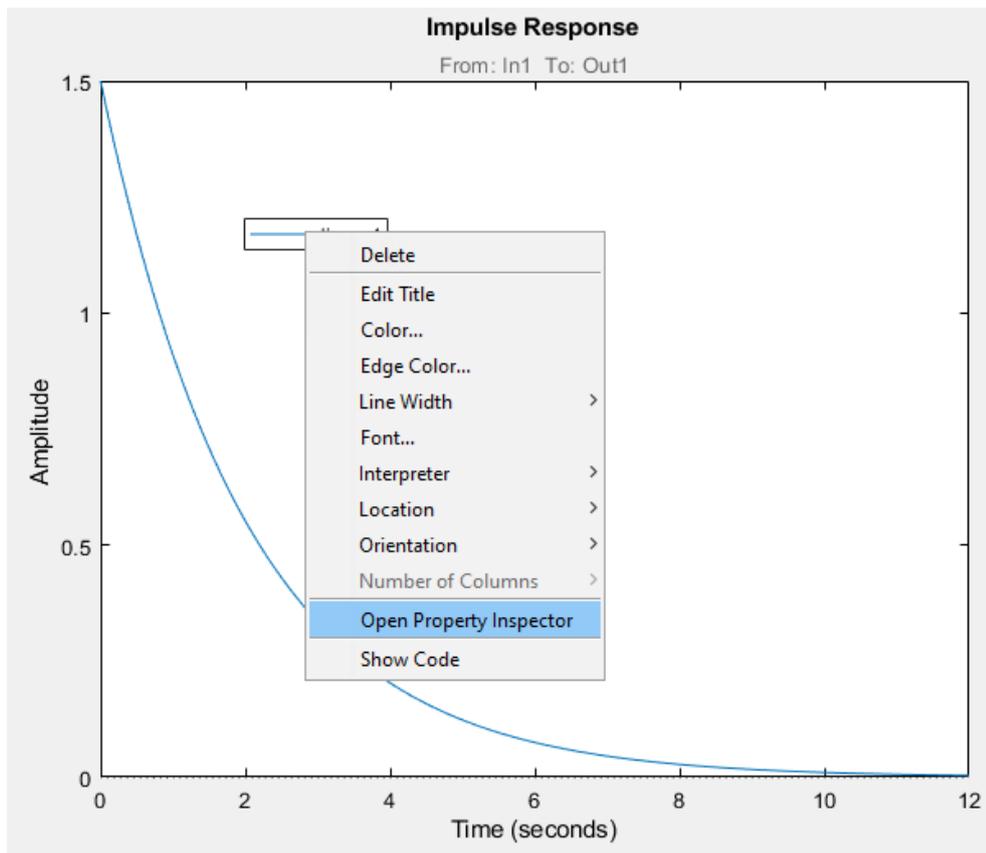
Обратите внимание, что все графики подготовлены для черно-белой печати (разные кривые обозначены не цветом, а начертанием линии); оси подписаны; присутствует сетка; пределы значений на осях настроены так, чтобы важные части графика были видны (например, если установившееся значение переходной характеристики равно шести и достигается на третьей секунде, то нужно показать часть графика выше шести и позже третьей секунды); легенда на графиках наглядно показывает соответствие кривых и наборов значений параметров и не перекрывает при этом части графика..

Грубая настройка графика выполняется с помощью пункта Properties контекстного меню графика, вызываемого щелчком ПКМ по нему. Окно свойств графика изображено ниже.



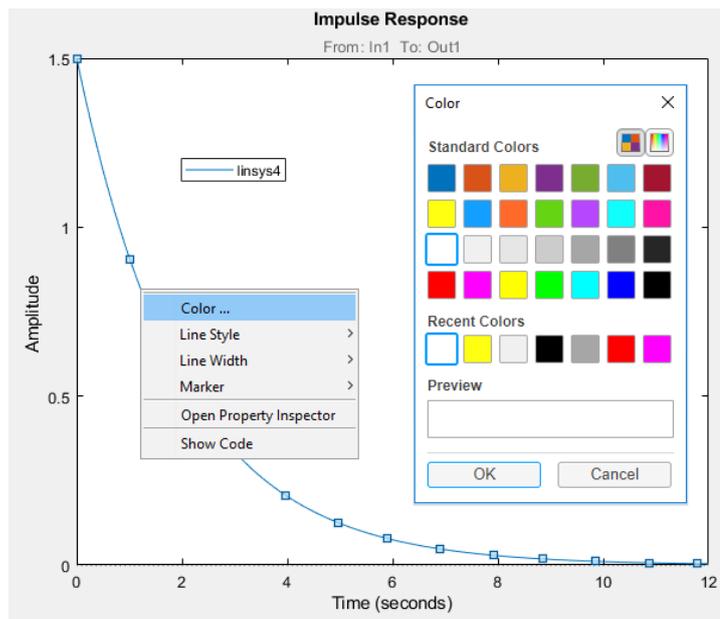
В этом окне на вкладке Labels вы можете настроить подписи к графику и осям; на вкладке Limits – пределы значений для осей; Units – единицы измерения для величин, откладываемых на осях; Style – наличие сетки, размеры и начертание шрифта подписей к графику, фоновый цвет области графика.

Тонкая настройка графика выполняется следующим образом. Необходимо щелкнуть правой кнопкой мыши по легенде графика и вызвать окно Property Inspector.



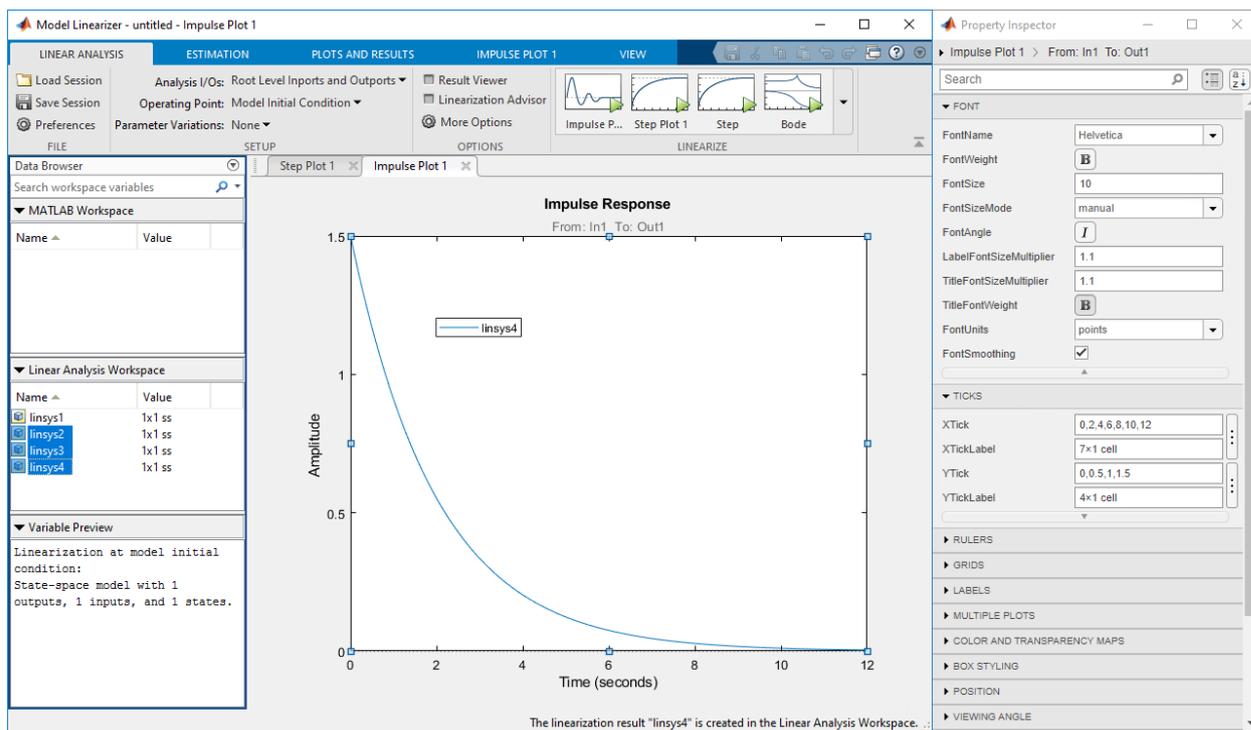
После этого у вас появится возможность щелкнуть ПКМ на любой элемент графика и, выбрав соответствующий пункт контекстного меню, настроить его.

Так, например, после щелчка ПКМ по линии графика появится меню, изображенное на рисунке ниже.



Из названий пунктов очевидно, что они позволяют настроить цвет, начертание (сплошная линия, пунктирная, штрих-пунктирная и т.д.), толщину линии и символ ее маркера.

Кроме пунктов контекстного меню, редактировать свойства объектов позволяет само окно Property Inspector. Так, например, в нем удобно настраивать параметры шрифта графика и сетки (см. рисунки ниже).



В окне Property Inspector, изображенном в правой части рисунка, в группе параметров Font приведены настройки гарнитуры, размера и начертания шрифта, используемого в графике; в группе параметров Ticks приведены настройки отметок на осях графика. Сама сетка, ее цвет, начертание ее линий и ее прозрачность настраивается в группе параметров Grids.