

Система MatLAB/Simulink

Simulink - Инструмент моделирования динамических систем

Дисциплина

«Программные средства профессиональной деятельности»



1

Лектор: к.т.н.,

доцент кафедры «Электропривода и электрооборудования»

Воронина Наталья Алексеевна

Общая характеристика

- Среди бурно развивающихся систем компьютерной математики (СКМ), в первую очередь ориентированных на численные расчеты, особо выделяется матричная математическая система MATLAB.
- Система MATLAB вобрала в себя весь передовой опыт развития современной компьютерной математики.

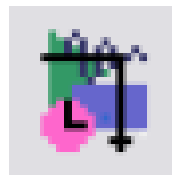
- MATLAB в новейшей своей реализации имеет большое число пакетов расширения.
- Самым известным из них стало расширение Simulink, обеспечивающее блочное имитационное моделирование различных систем и устройств.
- Пакет блочного имитационного моделирования Simulink является неразрывной частью системы MATLAB + Simulink.

Программа Simulink

- Simulink предназначен для моделирования динамических систем, модели которых состояются из отдельных блоков (компонентов).
- В нем реализованы принципы визуально-ориентированного программирования, что позволяет легко набирать нужные блоки и соединять их в виде модели системы или устройства.

Запуск Simulink

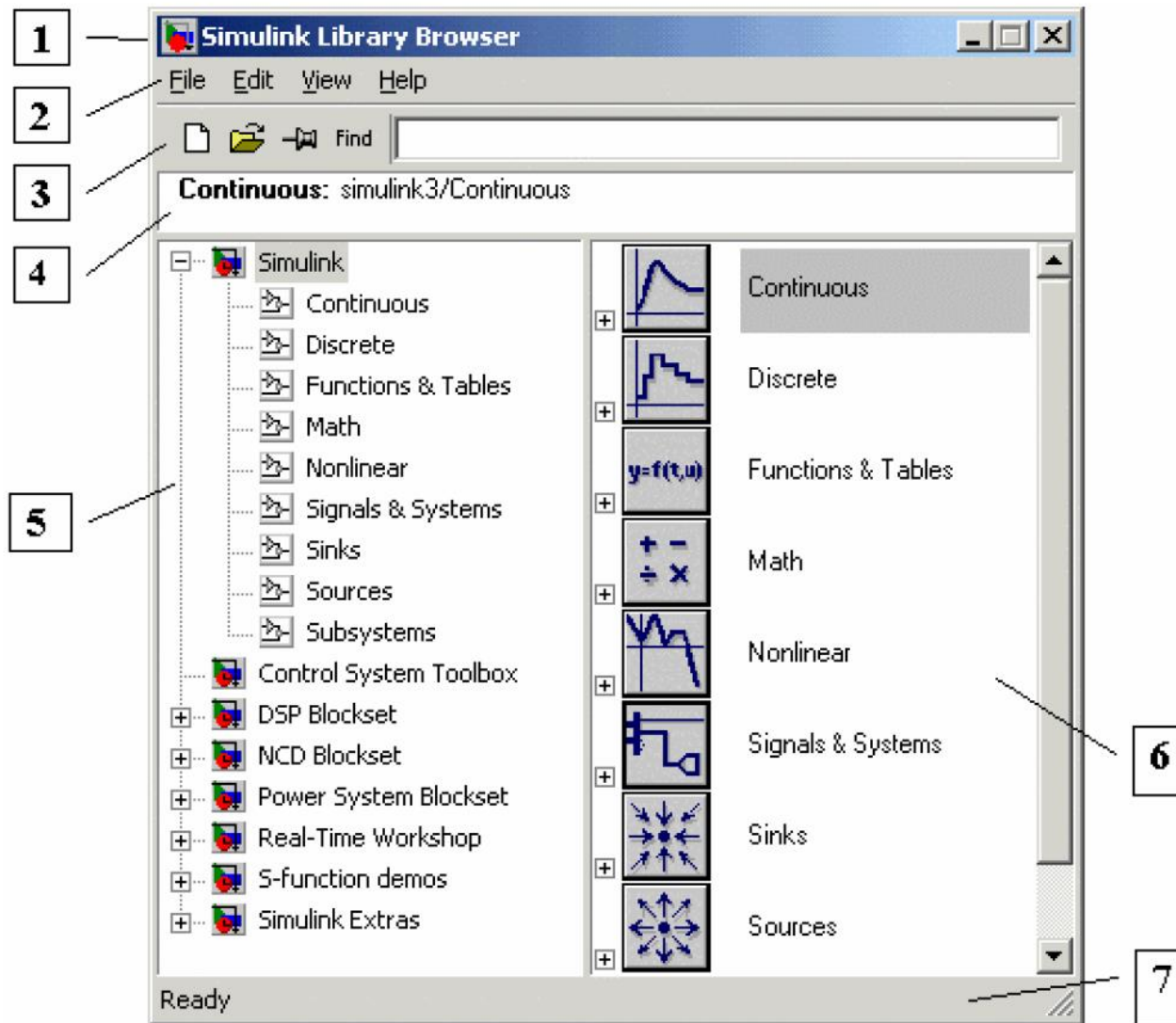
- Для запуска программы необходимо предварительно запустить пакет MATLAB.
- После открытия основного окна программы MATLAB нужно запустить программу Simulink. Это можно сделать одним из способов:
- Нажать кнопку (Simulink) на панели инструментов командного окна MATLAB.



При нажатии этой кнопки открывается окно интегрированного браузера библиотек, которое содержит:

- 1) панель с названием окна *Simulink Library Browser*;
- 2) панель меню;
- 3) панель инструментов с кнопками;
- 4) окно с названием выбранного раздела библиотеки;
- 5) левое окно со списком разделов библиотеки
- 6) правое окно для вывода содержания открытого раздела или подраздела библиотеки в виде пиктограмм;
- 7) строку состояния окна.

Окно браузера библиотеки *Simulink*



- Интерфейс Simulink полностью соответствует стилю интерфейса типичных приложений Windows 95/98/NT/2000 (для Simulink возможна работа и в Windows XP).

Библиотека *Simulink*

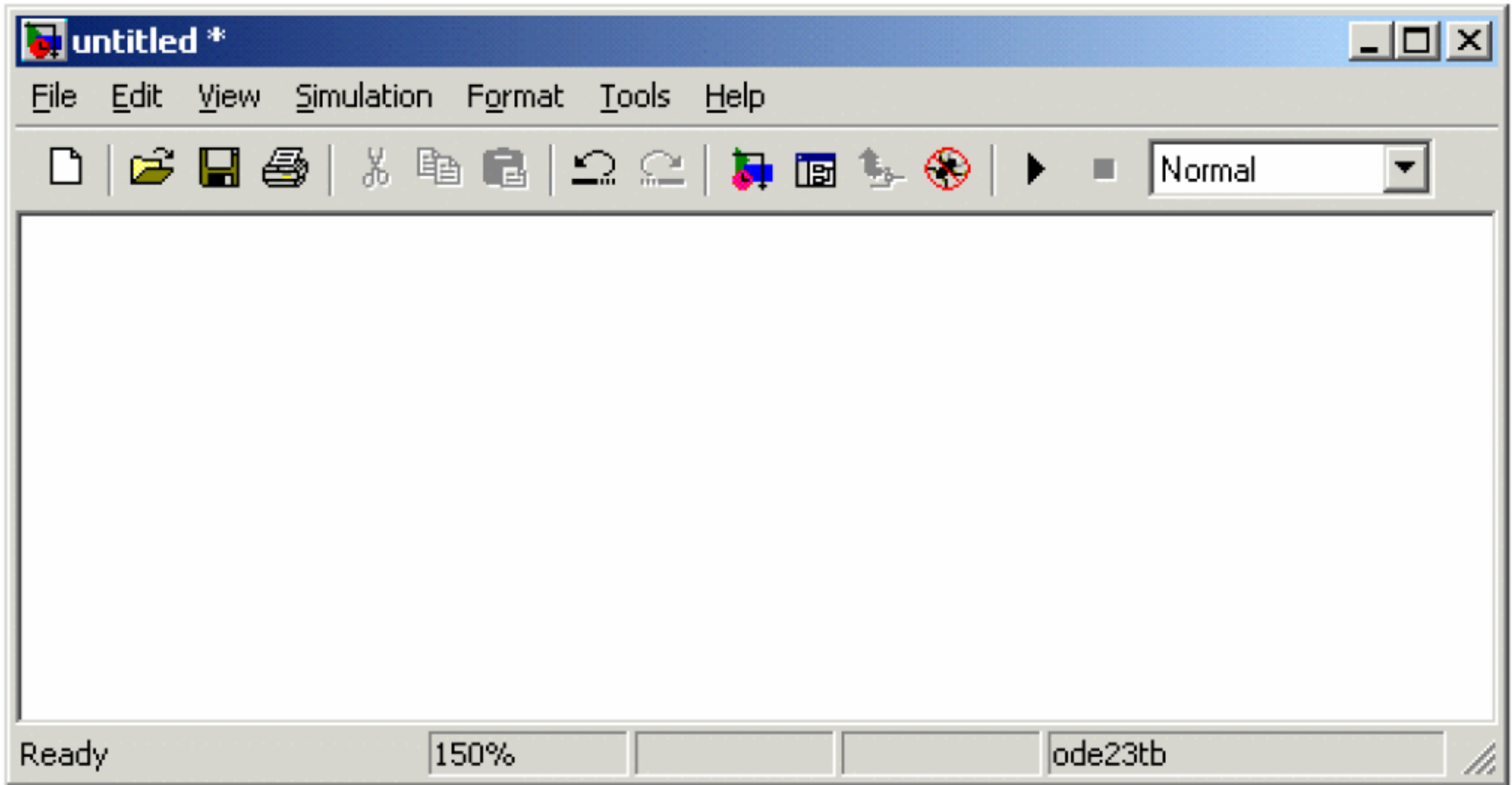
Вся библиотека *Simulink* разбита на девять разделов, а именно:

1. Continuous – линейные блоки.
2. Discrete – дискретные блоки.
3. Functions & Tables – функции и таблицы.
4. Math – блоки математических операций.
5. Nonlinear – нелинейные блоки.
6. Signals & Systems – сигналы и системы.
7. Sinks - регистрирующие устройства.
8. Sources — источники сигналов и воздействий.
9. Subsystems – блоки подсистем.

Создание модели

- Для создания модели в Simulink необходимо последовательно выполнить ряд действий:
 1. Создать новый файл модели с помощью команды File/New/Model, или используя кнопку на панели инструментов.

Вновь созданное окно модели имеет вид:



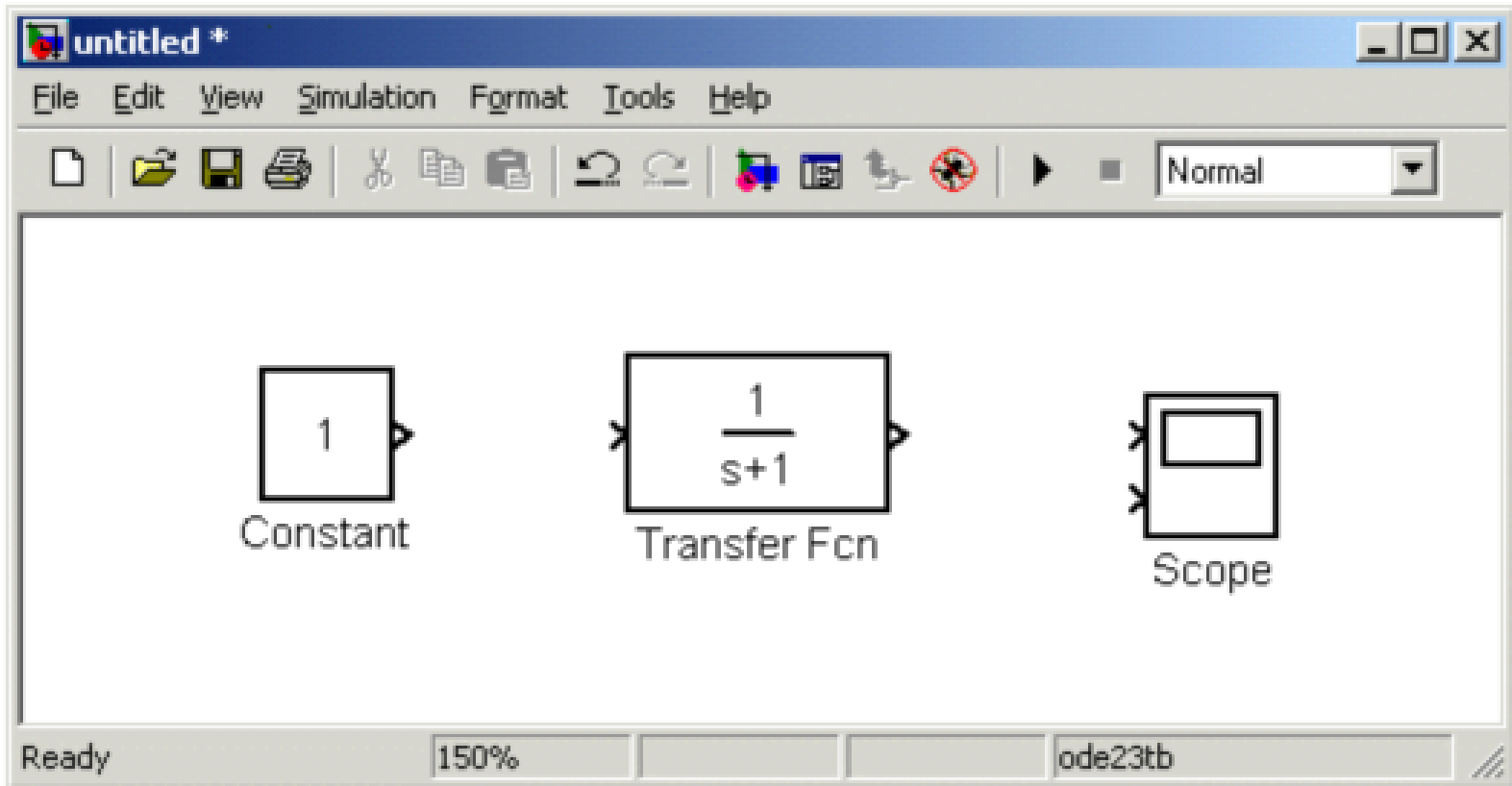
2. Расположить блоки в окне модели.

Для этого необходимо открыть соответствующий раздел библиотеки (Например, *Sources - Источники*).

Далее, указав курсором на требуемый блок и нажав на левую клавишу “мышь” - “перетащить” блок в созданное окно. *Клавишу мыши нужно держать нажатой.*

Для удаления блока необходимо выбрать блок (указать курсором на его изображение и нажать левую клавишу “мышь”), а затем нажать клавишу *Delete* на клавиатуре.

Окно модели, содержащее блоки имеет вид



Установка параметров компонентов модели

- Для того чтобы установить параметры компонента модели, нужно навести курсор мыши на изображение компонента и дважды щелкнуть левой кнопкой мыши.
- Откроется окно редактирования параметров. При задании численных параметров в качестве десятичного разделителя должна использоваться точка, а не запятая.
- После внесения изменений нужно закрыть окно кнопкой ОК.

Моделирование в MatLAB/ Simulink

Процесс формирования и создания визуальных и структурных моделей выполняется в Simulink в несколько этапов.

○ *На первом этапе* выполняется инициализация модели:

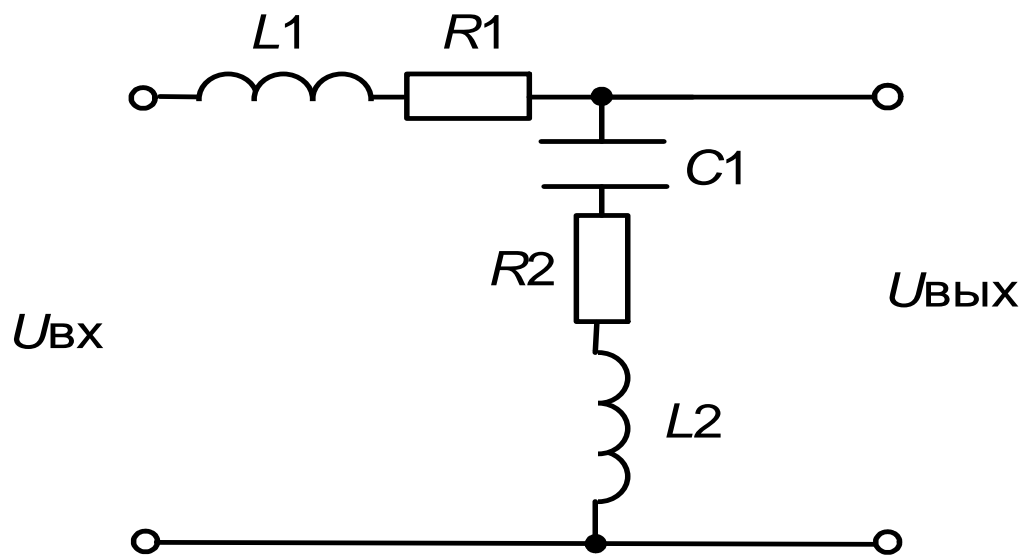
подключение библиотечных блоков к модели, определение размерностей сигналов, типов данных, величин шагов модельного времени, оценка параметров, а также определяется порядок подключения элементов модели и выделение памяти для проведения расчета

На втором этапе выполняется цикл моделирования, именно:

- На каждом цикле моделирования временном шаге происходит расчет блоков в порядке, определенном на этапе инициализации.
- Этот процесс продолжается пока моделирование не будет завершено.
- При моделировании в MatLAB можно исследовать как статические, так и динамические процессы с использованием одной визуальной модели.

Пример моделирования

Пусть задана электрическая схема



$L1=50$ мГн, $R1=1$ Ом, $C1=10$ мкФ, $L2=5$ мГн, $R2=100$ Ом

untitled *

File Edit View Simulation Format Tools Help

10.0 Normal

Series RLC Branch

Series RLC Branch1

Block Parameters: Series RLC Branch

Series RLC Branch (mask) (link)
Implements a series RLC branch.

Parameters

Resistance (Ohms):
100

Inductance (H):
1e-3

Capacitance (F):
inf

Measurements: None

OK Cancel Help Apply

Ready 156% ode45

untitled *

File Edit View Simulation Format Tools Help

10.0 Normal

Series RLC Branch

AC Voltage Source

Series RLC Branch1

Block Parameters: AC Voltage Source

AC Voltage Source (mask) (link)
Ideal sinusoidal AC Voltage source.

Parameters

Peak amplitude (V):
100

Phase (deg):
0

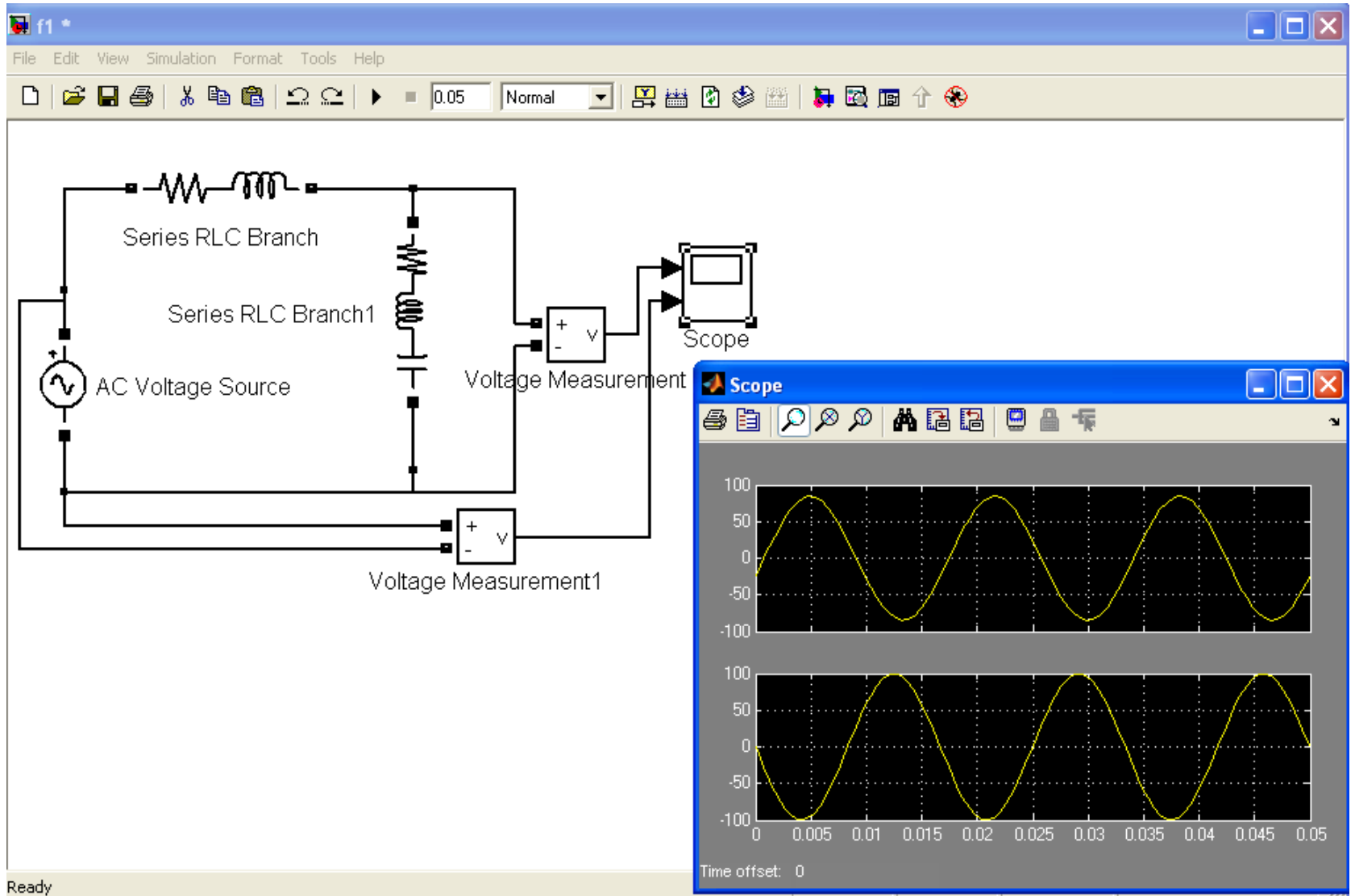
Frequency (Hz):
60

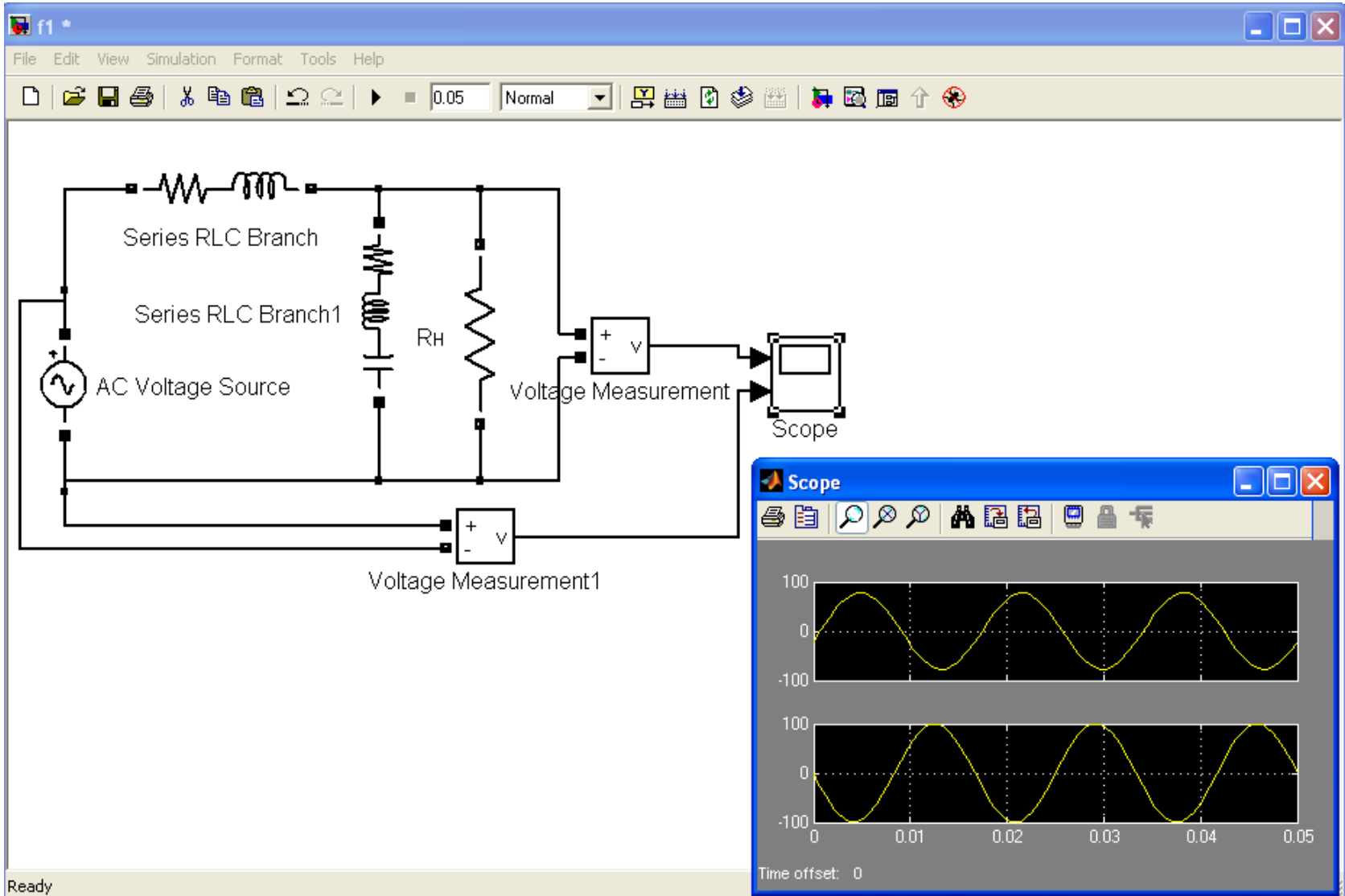
Sample time:
0

Measurements: None

OK Cancel Help Apply

Ready 155% ode45





Исследование переходных процессов

- Для исследования переходных процессов в сформированной схеме необходимо их математическое описание.
- В рассматриваемой схеме переходные процессы можно описать с помощью следующих дифференциальных уравнений.

$$\begin{cases} U_{\text{ВХ}}(t) = L_1 \cdot \frac{di(t)}{dt} + i(t) \cdot R1 + U_{\text{ВЫХ}}(t) \\ U_{\text{ВЫХ}}(t) = \frac{1}{C1} \cdot \int i(t) dt + i(t) \cdot R2 + L2 \cdot \frac{di(t)}{dt} \end{cases}$$

Дифференцируя второе уравнение системы получим:

$$\begin{cases} U_{\text{ВХ}}(t) = L_1 \cdot \frac{di(t)}{dt} + i(t) \cdot R1 + U_{\text{ВЫХ}}(t) \\ \frac{dU_{\text{ВЫХ}}(t)}{dt} = \frac{1}{C1} \cdot i(t) + \frac{di(t)}{dt} \cdot R2 + L_2 \cdot \frac{d^2i(t)}{dt^2} \end{cases} \quad (1)$$

Решение систем уравнений

Решение систем уравнений, описывающих процессы в исследуемом объекте (в данном случае в схеме) позволяет проанализировать протекающие процессы во времени или в частотной области.

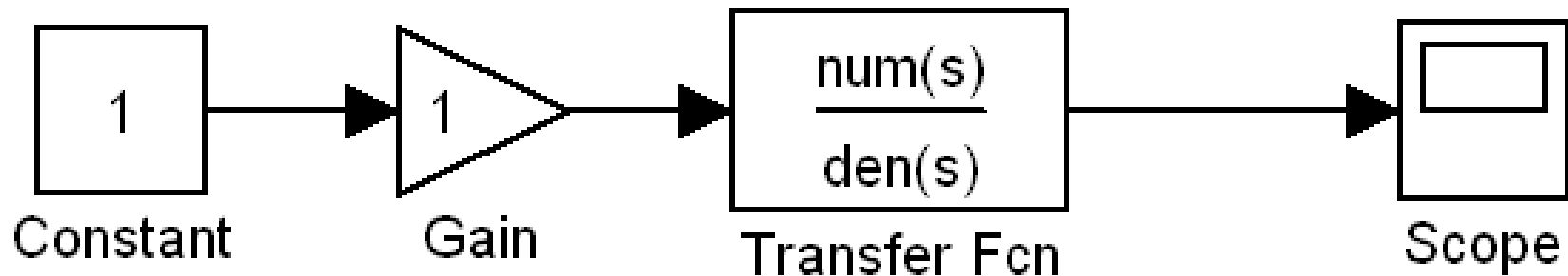
Для этого в Simulink пользуются встроенными моделями представленными в виде блоков, предназначенных для решения уравнений и систем уравнений

Simulink работает с линейными, нелинейными, непрерывными, дискретными и многомерными системами уравнений.

Основной принцип моделирования в Simulink – это принцип *блочного моделирования различных устройств и систем*. Он имеет обширную библиотеку блочных компонентов и удобный редактор блок – схем.

Пример блочного моделирования

При блочном моделировании составляется структурная схема (модель) системы (объекта исследования)



Где элемент *Constant*, формирующий входное единичное ступенчатого воздействия, выбирают из библиотеки

Simulink/Commonly Used Blocks.

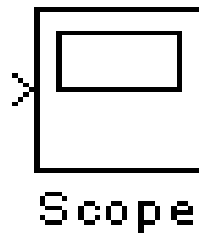
Моделирование непосредственно исследуемого объекта (решение уравнений) осуществляется с помощью блока *Transfer Fcn*, который выбирают из библиотеки *Simulink / Continuous / Transfer Fcn*.

В блоке *Transfer Fcn* в качестве исходных данных берется описание передаточной функции $W(p)$ системы в операторной форме.

Где *Numerator* – это значения коэффициентов числителя передаточной функции, а *Denominator* – значения коэффициентов знаменателя (коэффициенты вводятся через пробел, начиная с коэффициента с наибольшим индексом).

Для визуального просмотра сигналов используют блоки, которые при моделировании играют роль смотровых окон; к ним относится блок Scope (осциллограф) (*Simulink /Sinks/ Scope*).

Блок Scope позволяет в процессе моделирования наблюдать интересующие пользователя процессы. Чтобы просмотреть сигнал, нужно дважды щелкнуть мышью на пиктограмму



Основным параметром осциллографа является количество входов (т.е. количество отображаемых сигналов, одновременно в окне может отображаться до 30 сигналов). В зависимости от количества сигналов осциллограф может иметь несколько экранов.

Передаточная функции $W(p)$

- Передаточная функция - это отношение отображения по Лапласу выходной координаты к входной.
- Чтобы получить передаточную функцию исследуемой схемы, необходимо записать систему уравнений (1) в операторной форме, используя преобразования Лапласа.

Преобразования Лапласа

После преобразования Лапласа система уравнений будет выглядеть следующим образом:

$$\begin{cases} U_{\text{ВХ}}(p) = L_1 \cdot i(p) \cdot p + i(p) \cdot R1 + U_{\text{ВЫХ}}(p) \\ U_{\text{ВЫХ}}(p) = \frac{1}{C1 \cdot p} \cdot i(p) + i(p) \cdot R2 + L_2 \cdot i(p) \cdot p \end{cases}$$

После некоторых преобразований получим передаточную функцию заданной схемы, которая имеет следующий вид:

$$W(p) = \frac{1 + p \cdot R2 \cdot C1 + L2 \cdot C1 \cdot p^2}{L1 \cdot C1 \cdot p^2 + p \cdot R1 \cdot C1 + 1 + p \cdot R2 \cdot C1 + L2 \cdot C1 \cdot p^2}$$

Сгруппировав переменные получаем:

$$W(p) = \frac{L2 \cdot C1 \cdot p^2 + p \cdot R2 \cdot C1 + 1}{p^2 \cdot (L1 \cdot C1 + L2 \cdot C1) + p \cdot (R1 \cdot C1 + R2 \cdot C1) + 1}$$

введем обозначения

$$T1 = L2 \cdot C1, \quad T2 = R2 \cdot C1,$$

$$T3 = L1 \cdot C1, \quad T4 = R1 \cdot C1.$$

В окончательном виде передаточную функцию схемы можно представить:

$$W(p) = \frac{T1 \cdot p^2 + p \cdot T2 + 1}{p^2 \cdot (T3 + T1) + p \cdot (T4 + T2) + 1}$$

Получив передаточную функцию приступают к расчету переходных и частотных характеристик исследуемой схемы.

Построение переходных и частотных характеристик

Переходная характеристика - это реакция системы на единичное входное воздействие.

Объектом исследования, в данном случае, является передаточная функция, которая задается с помощью звена *Transfer Fcn* из библиотеки *Simulink/Continuous*.

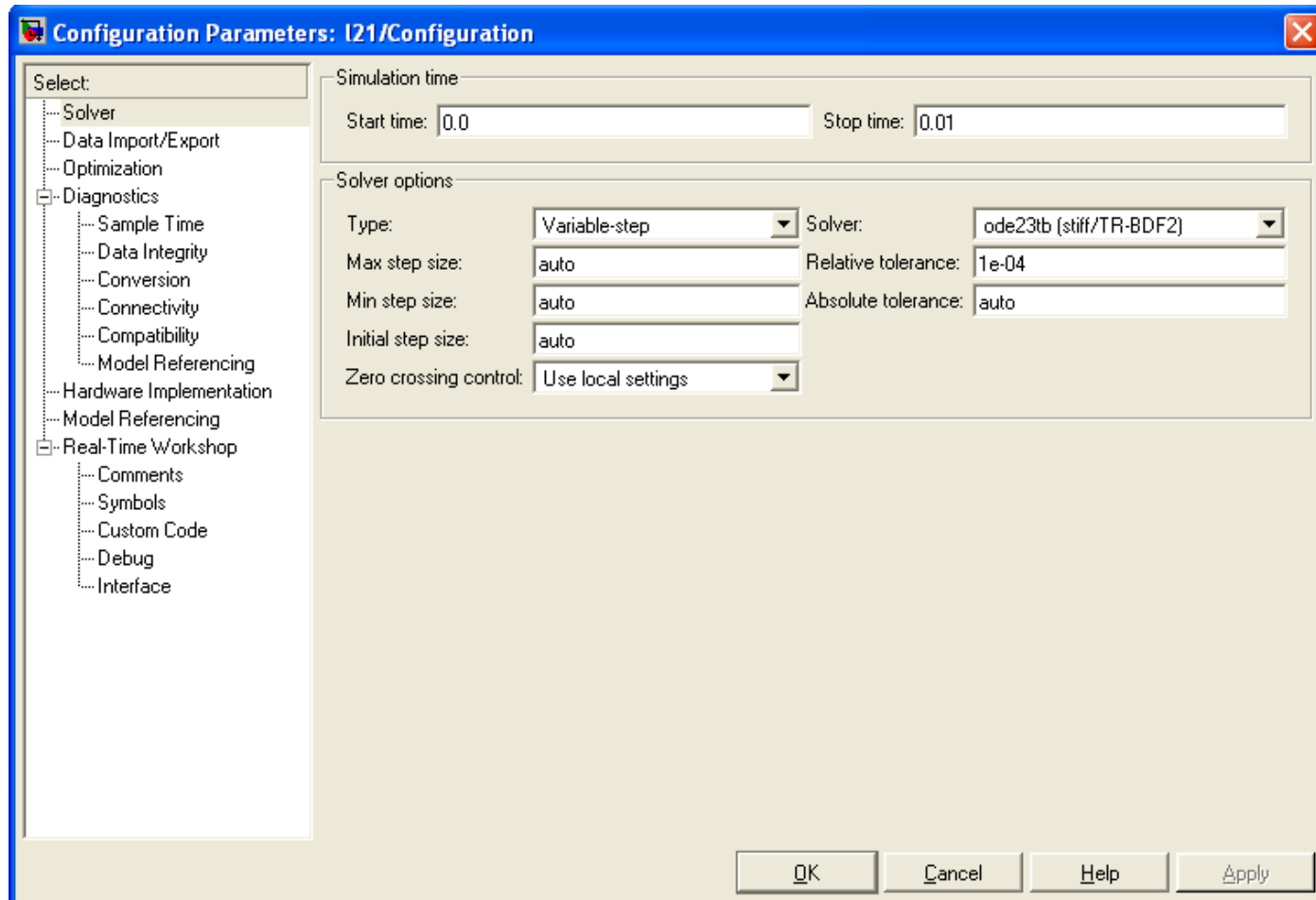
Входное воздействие на передаточную функцию подается с помощью элемента *Constant* из библиотеки *Simulink/Commonly Used Blocks*, а выходной сигнал регистрируется осциллографом *Simulink/Sinks/Scope*

Решение задачи

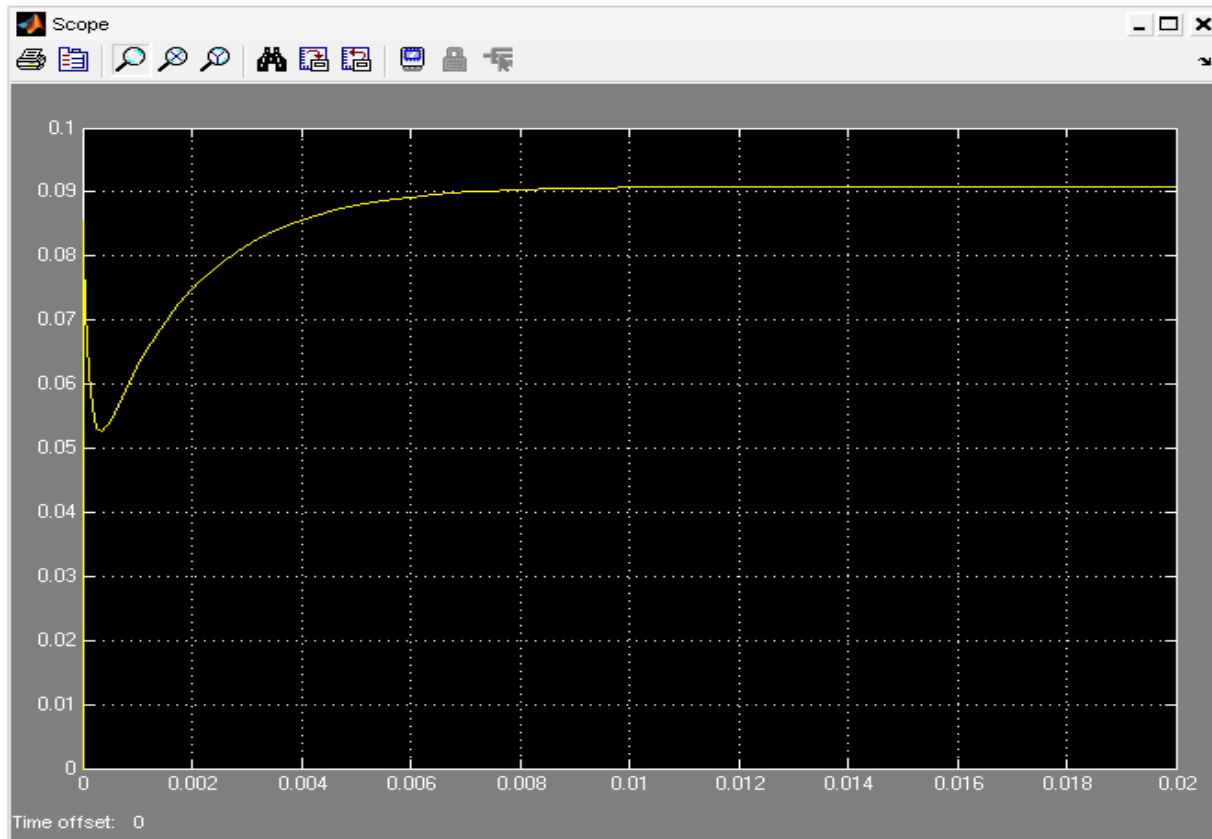
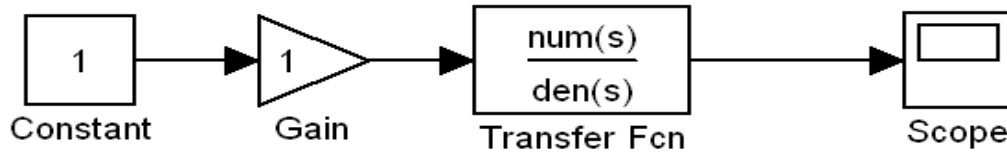
- Для решения любой задачи в MatLAB/Simulink необходимо управлять режимом моделирования, а именно:
изменять многие важнейшие параметры модели, такие, например, как способ изменения модельного времени, алгоритм расчета и формат представления результатов моделирования.

Это осуществляется с помощью *SIMULATION – CONFIGURATION PARAMETERS*

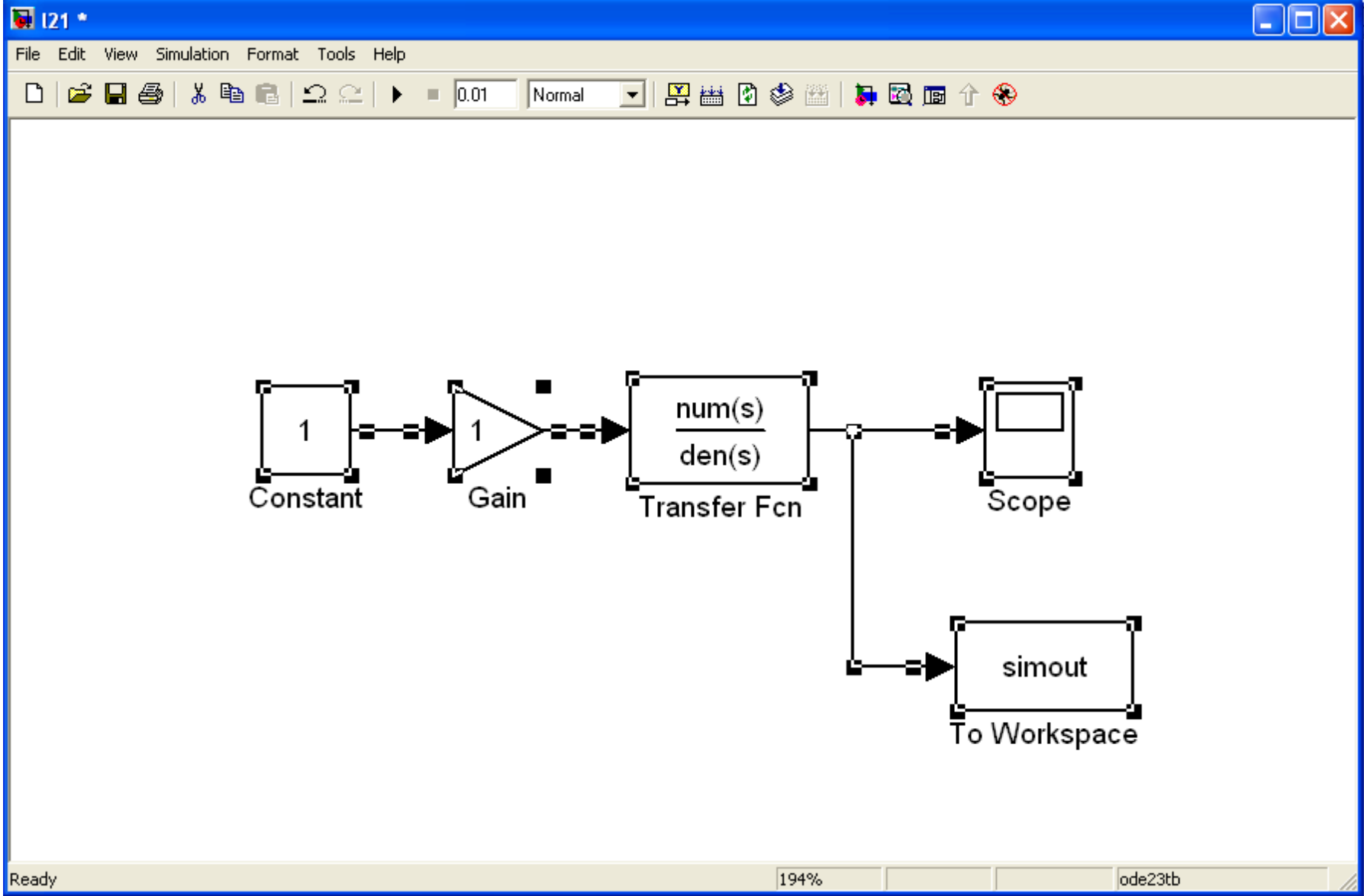
ПАРАМЕТРЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ SIMULATION – CONFIGURATION PARAMETERS



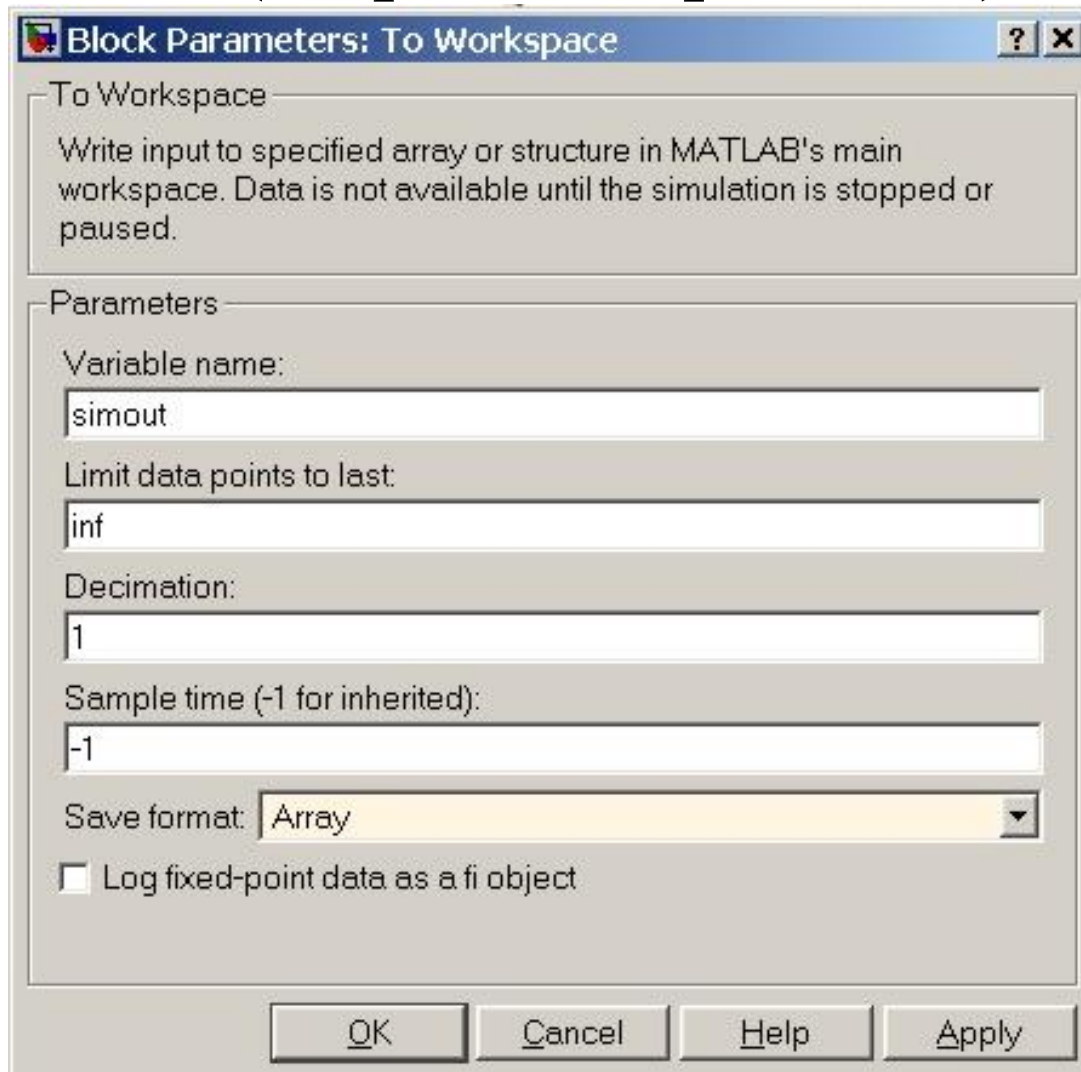
Модель и переходная характеристика



Для получения графика переходного процесса в виде удобном для обработки в графических редакторах, а также получение графиков частотных характеристик необходимо подключить к выходу передаточной функции компонента *«Simulink/Sinks/To Workspace»*.



В настройках нового компонента следует обязательно указать «Array» (Массив) в поле «Save Format» (Формат сохранения).



После этого повторяют расчёт переходных процессов, затем переходят в окно диспетчера *MATLAB* и далее с помощью команды «Window\Workspace» в окно «Workspace» где отображаются переменные текущего проекта.

Workspace

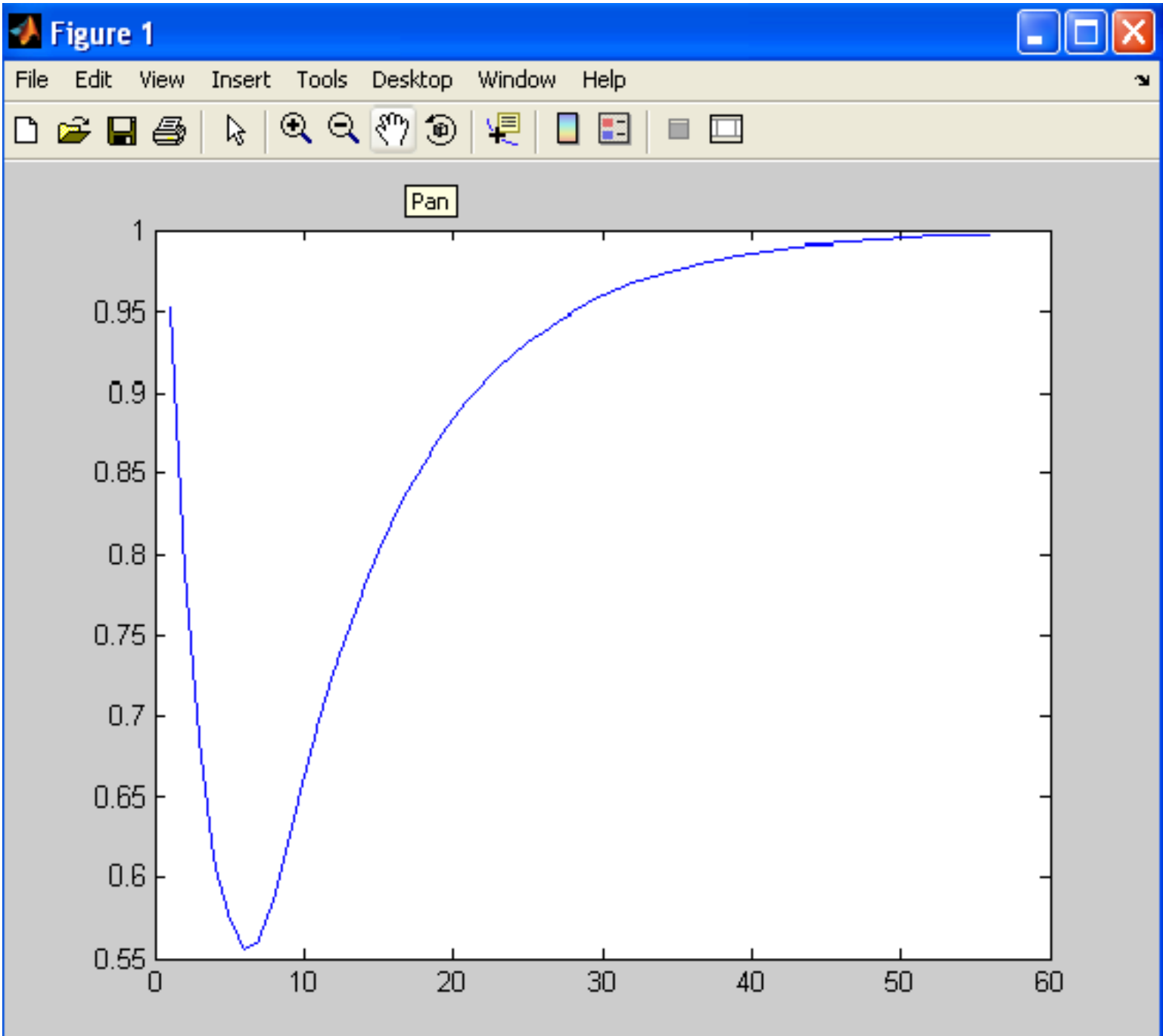
Stack: Base

Name	Value	Class
simout	<56x1 double>	dcube
tout	<56x1 double>	dcube

В окне «Workspace» выделяют переменную «Simout» и выполняют построение графика с помощью команды «Graphics\Plot all columns».

В окне построения графика можно наблюдать переходный процесс при отработки входного единичного воздействия.

С помощью команды «Edit\Copy Figure» отправляют график в буфер обмена для дальнейшей обработки в графическом редакторе.



Частотные характеристики

Сущность метода частотных характеристик заключается в том, что на вход исследуемой системы подается гармонический сигнал (синусоидальные колебания) в широком диапазоне частот. Реакция системы при разных частотах позволяет судить о ее динамических свойствах.

Пусть входной сигнал системы имеет

амплитуду a и частоту ω , т. е. описывается формулой

$$x = a \cdot \sin(\omega t)$$

Выходной сигнал будет иметь амплитуду $A1$ и отличаться от входного по фазе на величину ψ

$$y = A1 \cdot \sin(\omega t + \psi)$$

В этом случае усиление по амплитуде

$$A = \frac{A1}{a}$$

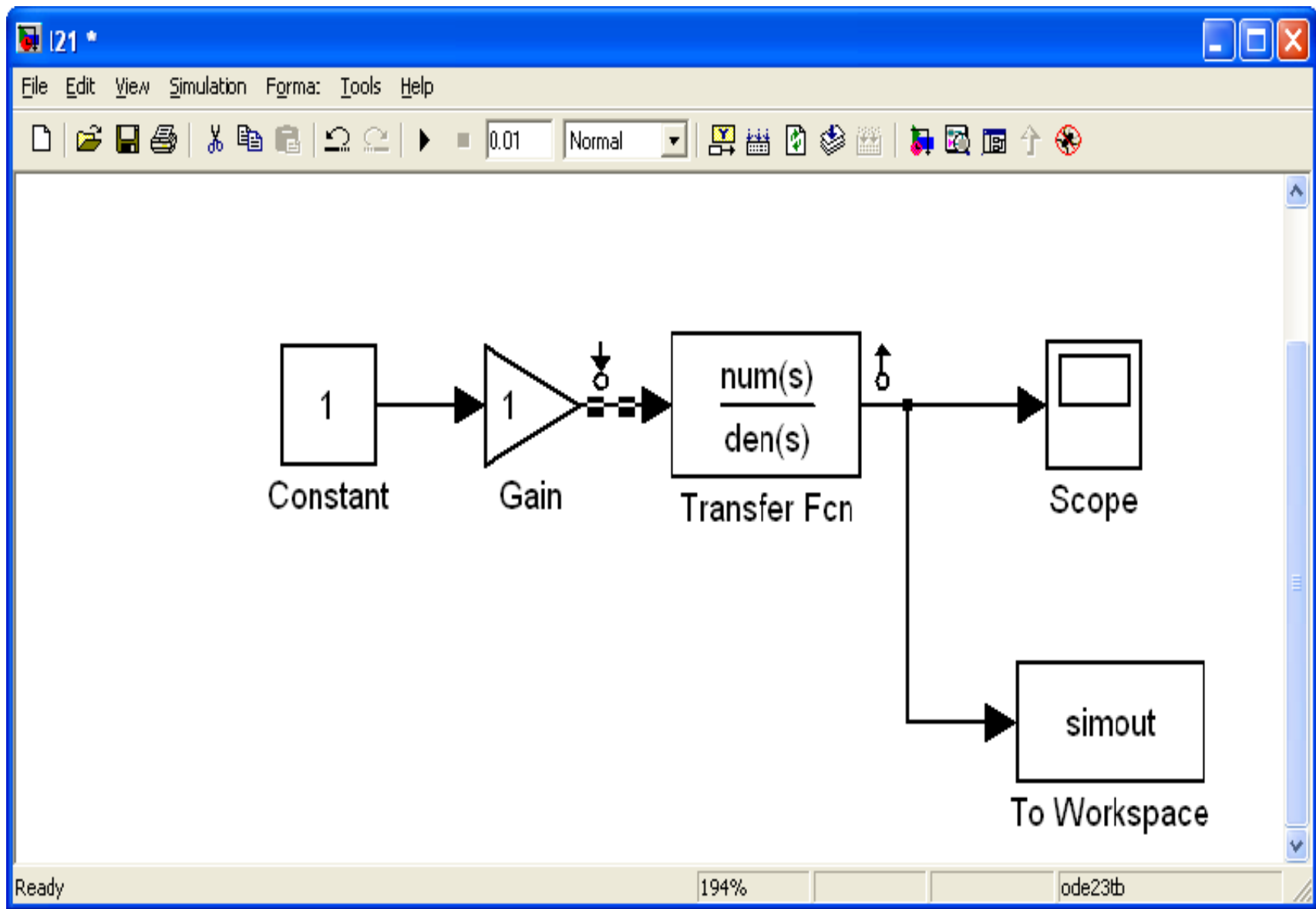
Для каждой частоты входного сигнала ω будут свои A и ψ .

Формально для получения частотной передаточной функции необходимо в $W(p)$ осуществить подстановку $p = j\omega$, и тогда, полученная $W(j\omega)$ является комплексным выражением, которое можно представить в виде:

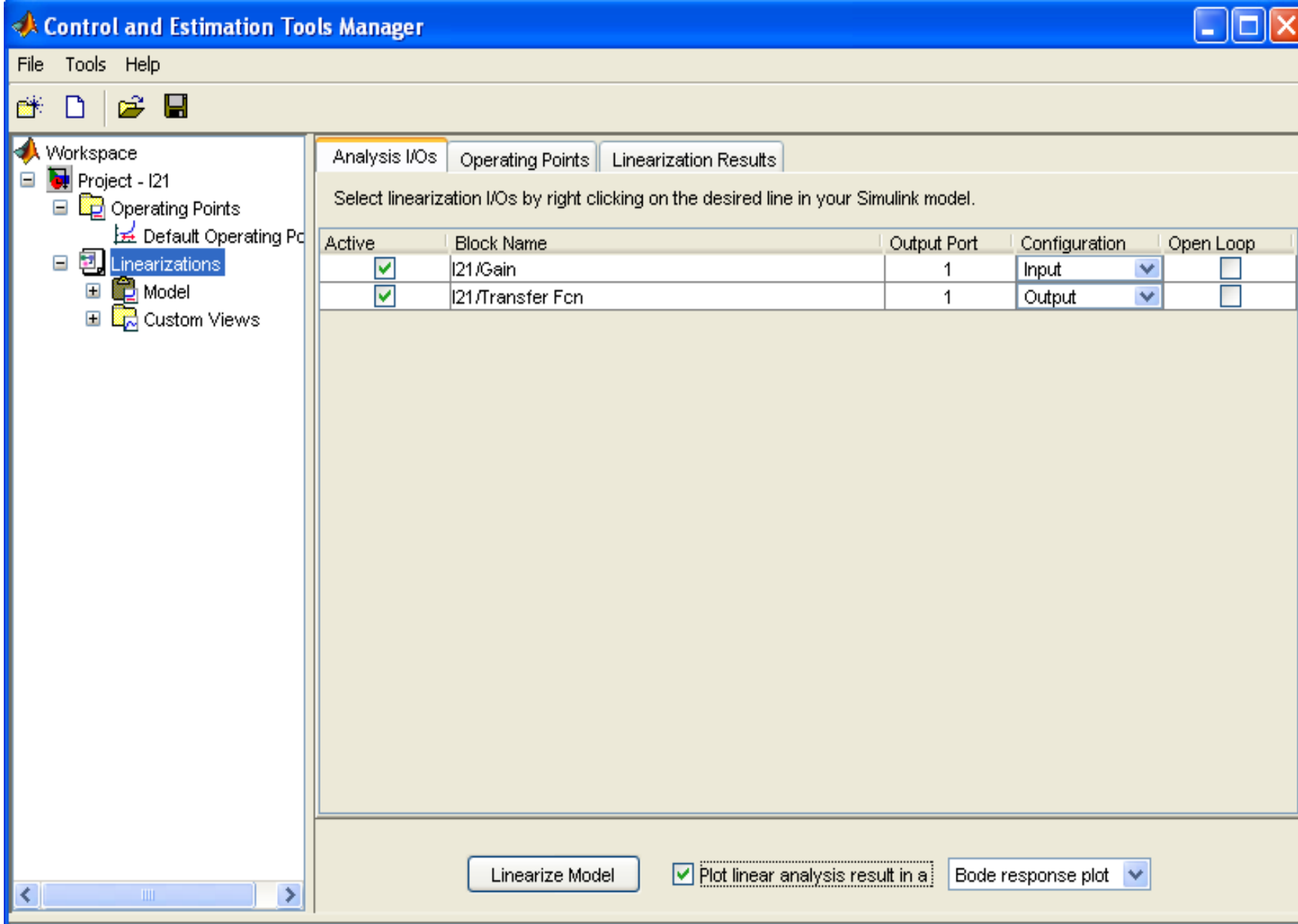
$$W(j\omega) = \frac{T1 \cdot (j\omega)^2 + T2 \cdot (j\omega) + 1}{(j\omega)^2 \cdot (T3 + T1) + (j\omega) \cdot (T4 + T2) + 1}$$

Чтобы построить частотные характеристики, нужно задать вход и выход передаточной функции с помощью команды «*Linear Analysis*»/«*Input Point*» и «*Linear Analysis*»/«*Output Point*» из выпадающего меню, при щелчке правой кнопки на входе и выходе передаточной функции.

После назначения входа и выхода передаточной функции модель принимает вид:



В открывшемся окне настройки «*Control and Estimation Tools Manager*» выбираем «*Bode Response Plot*» для построения частотных характеристик и нажимаем на «*Linearize Model*».



Графики частотных характеристик

В окне построения графика можно наблюдать в верхней части амплитудно-частотную характеристику $A(\omega)$

В нижней части окна фазовую частотную характеристику $\psi(\omega)$

После выполнения команд «*File\Print to Figure*» и «*Edit\Copy Figure*» можно отправить графики частотных характеристик в буфер обмена для дальнейшей обработки в графическом редакторе.

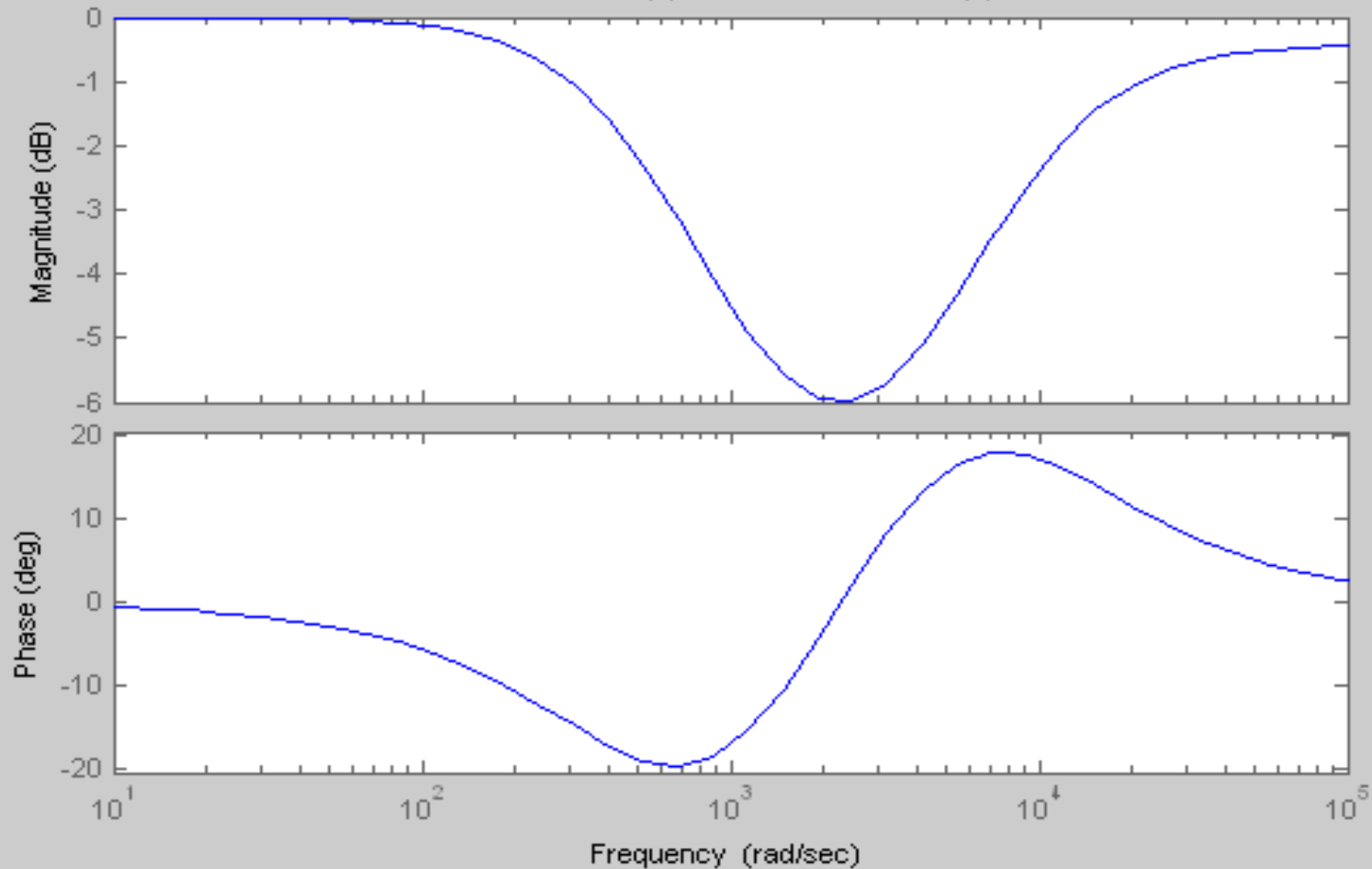
LTI Viewer: Linearization Quick Plot

File Edit Window Help



Bode Diagram

From: I21/Gain (1) To: I21/Transfer Fcn (1)



Change the line styles shown in this LTI Viewer.

Спасибо за внимание!