

Лабораторная работа: Система MATLAB для научных и инженерных расчетов

Описание методики работы с системой MATLAB, операторы и функции, необходимые для выполнения лабораторной работы, представлены в конспекте лекций «Основы работы с вычислительной системой Matlab и пакетом визуального моделирования Simulink», который входит в состав методического обеспечения дисциплины «Расчет и конструирования систем с использованием ЭВМ» (Рис на ЭВМ), читаемой на кафедре ИУ-2.

Цели работы : Ознакомление с принципами работы системы MATLAB, матричными операциями, функциональным программированием.

Лабораторный практикум включает следующие разделы:

Основы работы с Matlab

Программирование в Matlab

ЛТИ-системы

Основы работы с Simulink

Литература	Полезные ссылки
<ol style="list-style-type: none"> 1. Cleve Moler. Numerical Computing with MATLAB, Electronic edition: The MathWorks, Inc., Natick, MA, 2004. http://www.mathworks.com/moler, Print edition: SIAM, Philadelphia, 2004. 336 pages /ISBN: 978-0-898716-60-3 2. Дьяконов В. П. MATLAB 7.*/R2006/R2007: Самоучитель. – М.: ДМК Пресс, 2008. – 768 с.: ил. 3. Дьяконов В. П. Matlab и Simulink для радиоинженеров. – М.: ДМК Пресс, 2011. – 976 с.: ил. 4. Черных И.В. Моделирование электротехнических устройств в Matlab, SimPowerSystems и Simulink. – СПб.: Питер, 2008. – 290.: ил. 5. Дьяконов В. П. MATLAB и SIMULINK для радиоинженеров. – М.: ДМК ПРЕСС МиМ. 2011. 976 с. ил.2 6. Черных И. В. Моделирование электротехнических устройств в MATLAB, SimPowerSystems и Simulink. – М.:ДМК Пресс; СПб.: Питер, 2008 г. – 288 с. ил. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. http://www.mathworks.com – сайт компании The MathWorks 2. http://www.mathtools.net/ – научный портал, поддерживаемый компанией MathWorks 3. http://www.exponenta.ru – образовательный математический сайт 4. http://sl-matlab.ru/ – центр компетенций MathWorks 5. http://softline.ru/ – учебный центр Softline

Справочная система (HELP)

Для обращения к справочной системе необходимо в командном окне MATLAB набрать команду

» **help**

При этом будет представлен перечень разделов (HELP topics) справочной системы. Ниже приведены разделы, на которые следует обратить внимание в первую очередь.

- » **help matlab\ops** - выводит перечень операторов и специальных символов, используемых в системе.
- » **help arith** - об арифметических операторах,
- » **help punct** - об использовании специальных символов в командах,
- » **help colon** - о применении специального символа **:** (двоеточие), который управляет выполнением ряда важных операций с матрицами.
- » **help matlab\lang** - описание языка системы для работы в режиме интерпретации команд и программирования (написания М- файлов).
- » **help matlab\elmat**- простые матрицы и базовые операции с матрицами.

- » **help matlab\elfun** - элементарные, базовые функции системы, в том числе тригонометрические, экспоненциальные, обработки комплексных чисел и т.д.
- » **help matlab\matfun** - функции линейной алгебры и матричного анализа.
- » **help matlab\polyfun** - функции работы с полиномами и интерполяции.
- » **help matlab\plotxy** - построение графиков по двум координатным осям.

Полезные команды и функции

- >> **clear** - очистка Workspace
- >> **clear var** - очистка переменной **var**
- >> **clear globals** - очистка глобальных переменных
- >> **clc** - очистка командного окна
- >> **home** - возврат курсора в ВЛУ
- >> **clf reset** - очистка окна графика
- >> **who** - просмотр переменных рабочего пространства в процессе решения задач

ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ № 1: рабочая среда системы MATLAB, вычислительные операторы, задание векторов и матриц, функциональное программирование, построение графиков.

ЗАДАНИЕ НА ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ

1. Изучить ввод данных в системе MATLAB, рассмотреть примеры, приведенные в конспекте лекций.
2. Выполнить операции с векторами (исходные данные взять из таблицы 1).

Для заданных векторов **a** и **b** длины **n**:

- вычислить их сумму, разность и скалярное произведение;
- образовать вектор $c = [a_1, a_2, \dots, a_n, b_1, b_2, \dots, b_n]$, определить его максимальный и минимальный элементы и поменять их местами;
- упорядочить вектор **c** по возрастанию и убыванию;
- переставить элементы вектора **c** в обратном порядке и записать результат в новый вектор;
- найти векторное произведение $u = [a_1, a_3, a_4]$ и $v = [b_2, b_3, b_4]$.

3. Вычислить значение заданного выражения, заданного в виде функции $f(x)$ для всех элементов заданной таблицы чисел — матрицы **A**: задать $x = A$, записать формулу - оператор вычисления заданного выражения, см. пояснения по использованию оператора умножения (деления, возведения в степень) при выполнении матричных и табличных вычислений, получить результат в виде матрицы того же размера, что и исходная матрица, варианты заданий см. ниже.

4. Выполнить аппроксимацию данных полиномом и построить графики.

Задать два вектора **x** и **y** одинаковой размерности с координатами десяти точек графика некоторой функциональной зависимости и построить график **y(x)** (функция **plot(x,y)**).

Выполнить аппроксимацию заданных точек функции по методу наименьших квадратов полиномом заданной степени ($n = 2 - 5$) (функция **polyfit**).

Выполнить вычисление значений аппроксимирующего полинома в точках, определяемых аргументом - вектором **x** и занести полученные значения в вектор **z** (функция **polyval**). Построить график **z(x)** и сравнить его с заданным графиком **y(x)**.

Графики строить в одном окне (**plot(x,y, x,z)**). На рисунок графика нанести сетку командой **grid**.

Оценить качество приближения по разности $y(x_i) - z(x_i)$.

Задать вектор **x1** с мелким шагом и оценить характер поведения аппроксимирующего полинома при увеличении степени в промежутках между заданными значениями аргумента **x**.

Таблица 1 (варианты данных к п. 2 задания)

$a = [0.5 \ 3.7 \ 6.0 \ -4.3 \ 1.2 \ -2.7 \ 2.4 \ 2.2];$	$b = [3.6 \ 7.0 \ 7.0 \ 5.4 \ 2.6 \ -2.7 \ -6.4 \ 0.3].$
$a = [-4.8 \ -1.3 \ -1.0 \ 0.7 \ 4.0 \ 5.8 \ 4.3 \ -8.0];$	$b = [-1.1 \ -1.9 \ 7.1 \ -2.1 \ 6.8 \ 2.8 \ 0.3 \ 1.6].$
$a = [1.0 \ -3.9 \ -2.3 \ -3.3 \ -1.7 \ 2.2 \ -0.6 \ 1.8];$	$b = [2.7 \ -2.7 \ -2.2 \ 4.4 \ 0.4 \ -6.0 \ -3.4 \ -5.2].$
$a = [-2.4 \ 3.3 \ -0.1 \ 3.6 \ 7.4 \ -2.8 \ 0.3 \ 2.2];$	$b = [6.3 \ 0.6 \ 4.3 \ -3.7 \ -7.0 \ 3.7 \ 3.7 \ 8.0].$
$a = [8.4 \ -5.9 \ -6.5 \ -0.9 \ 6.9 \ -1.7 \ 1.7 \ 0.8];$	$b = [-0.0 \ 2.0 \ -1.5 \ 7.5 \ -4.0 \ -3.0 \ -6.2 \ 0.0].$
$a = [5.3 \ 6.8 \ -7.1 \ 6.8 \ -4.0 \ -2.3 \ -4.4 \ -0.2];$	$b = [7.5 \ -1.5 \ -4.9 \ -4.6 \ -2.3 \ -5.3 \ 5.5 \ 2.3].$
$a = [1.2 \ -4.1 \ -0.8 \ -0.7 \ -2.2 \ 1.7 \ 3.3 \ -6.1];$	$b = [-1.5 \ 2.2 \ 1.0 \ -4.3 \ -0.0 \ -1.8 \ -1.5 \ 2.4].$
$a = [6.6 \ -5.0 \ -2.7 \ 8.3 \ 3.8 \ 1.9 \ 1.1 \ 2.7];$	$b = [-1.0 \ 3.2 \ 4.2 \ -6.4 \ 1.9 \ -6.5 \ -6.2 \ -8.1].$
$a = [-1.9 \ 0.4 \ 1.8 \ 4.2 \ -3.8 \ -4.7 \ 4.0 \ -2.1];$	$b = [-8.7 \ -4.2 \ -1.4 \ 2.8 \ -2.2 \ 7.8 \ 0.0 \ -0.1].$
$a = [0.9 \ 1.7 \ -3.2 \ -3.8 \ 7.3 \ 6.0 \ -0.2 \ 8.6];$	$b = [0.6 \ -0.4 \ -6.9 \ -2.2 \ 1.6 \ 3.8 \ -3.2 \ 0.4].$

Таблица 2 (варианты данных к п. 3 задания)

$$1. f(x) = x^3 - 2x^2 + \sin x - 4, \quad A = \begin{bmatrix} 9.33 & -4.01 & 8.19 & 2.64 \\ 0.55 & 3.81 & 3.32 & 5.07 \end{bmatrix}.$$

$$2. f(x) = \frac{e^x - x}{e^x + x}; \quad A = \begin{bmatrix} 9.32 & 0.21 & -9.89 & 3.11 \\ 0.54 & 4.99 & 5.01 & -0.03 \end{bmatrix}.$$

$$3. f(x) = \sqrt{1 + \sqrt{|x|^3 + 1}}; \quad A = \begin{bmatrix} -1.54 & 0.49 & 3.11 & 2.99 \\ 4.05 & -5.85 & 3.72 & 0.11 \end{bmatrix}.$$

$$4. f(x) = e^x \sin x - e^{-x} \cos x; \quad A = \begin{bmatrix} -9.04 & 3.36 & 3.09 & -2.49 \\ -4.33 & -5.09 & 9.74 & 1.65 \end{bmatrix}.$$

$$5. f(x) = \ln(|x|) \sin \pi x; \quad A = \begin{bmatrix} 0.33 & 0.95 & 7.12 & -9.22 \\ -0.64 & 3.76 & 1.34 & -0.03 \end{bmatrix}.$$

$$6. f(x) = e^{x^2+x+1}; \quad A = \begin{bmatrix} -4.53 & -2.12 & -6.54 & -3.21 \\ 3.43 & 7.43 & -0.25 & 1.64 \end{bmatrix}.$$

$$7. f(x) = \frac{\sqrt[3]{x^2 - 1}}{|x| + 3}; \quad A = \begin{bmatrix} 0.23 & 3.89 & -4.23 & -7.25 \\ 5.84 & 5.13 & -0.89 & 3.55 \end{bmatrix}.$$

$$8. f(x) = \frac{1}{1 + \frac{1+x}{1-x^2}}; \quad A = \begin{bmatrix} -5.84 & 9.84 & 0.23 & 1.59 \\ -9.25 & -0.25 & 1.54 & 0.43 \end{bmatrix}.$$

$$9. f(x) = \frac{x^3 + \sin x}{x^3 - \cos x} \sqrt{e^x + 1}; \quad A = \begin{bmatrix} 0.64 & 6.34 & 0.32 & -4.23 \\ 1.19 & 3.23 & 1.54 & 0.43 \end{bmatrix}.$$

$$10. f(x) = \arcsin(\cos x^2); \quad A = \begin{bmatrix} \pi & 2.2\pi & -2\pi & 0.3\pi \\ 3\pi & -\pi & 0.1\pi & 5\pi \end{bmatrix}.$$

Часть 2. Анализ динамических объектов с использованием программных средств системы MATLAB и SIMULINK

Цели работы: Ознакомление с пакетом прикладных программ Control System Toolbox системы MATLAB, предназначенным для работы с линейными стационарными системами и интерактивным пакетом SIMULINK, предназначенным для моделирования нелинейных динамических систем.

ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ № 2: анализ линейных стационарных систем в MATLAB, обработка передаточных функций, создание и анализ моделей динамических объектов в Simulink.

ЗАДАНИЕ НА ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ

1. Анализ динамической системы с использованием функций Matlab

Изучить способы задания параметров линейных стационарных систем (LTI) в MATLAB. Задать параметры передаточных функций блоков из схемы гиросtabilизатора (прибор из курсового проекта) или передаточная функция из табл.3, сформировать передаточную функцию разомкнутой системы и замкнутой с отрицательной обратной связью.

2. Выполнить анализ свойств динамической системы: найти корни характеристического полинома передаточной функции (**roots**), построить ЛАХ, корневой годограф, переходный процесс, использовать Linear System Analyzer (ltiviewer).

3. Выполнить анализ свойств динамической системы с использованием Simulink (Control Design, вызов из меню Simulink). Параметры переходного процесса вывести в рабочую среду MATLAB.

4. Выполнить анализ свойств объекта на основании представления системы в пространстве состояний (модель – длиннопериодическое движение ЛА)

5. Выполнить настройку и анализ свойств динамической системы ЛА-САУ с использованием Simulink. Сформировать подсистему из блоков эталонной модели в прямой цепи системы.

Построить графики переходных процессов для заданной системы.

Определить:

- время регулирования;
- перерегулирование.

Таблица 3 (варианты данных к п. 5 задания)

1.	$W(p) = \frac{5p + 2}{p^3 + 3p + 1}$
2.	$W(p) = \frac{4p^2 + 1}{p^3 + 3p^2 + p + 1}$
3.	$W(p) = \frac{p^2 + 2}{p^3 + 4p + 1}$
4.	$W(p) = \frac{p + 0.3}{p^3 + 3p^2 + 1}$
5.	$W(p) = \frac{p - 1}{p^3 + p^2 + p + 1}$
6.	$W(p) = \frac{3p^2 + p}{p^3 + 4p + 1}$
7.	$W(p) = \frac{p^2 - p + 1}{p^3 + 4p^2 + 4p + 1}$
8.	$W(p) = \frac{-3p^2 + p}{p^2 + 4p + 1}$
9.	$W(p) = \frac{p^2 + p + 1}{p^4 + p^2 + p + 1}$
10.	$W(p) = \frac{p^2 - 3p - 3}{p^4 + p^2 + p + 1}$

Подбор параметров передаточной функции по корням характеристического уравнения

```
nomin = [1 2];
denom = poly([-0.5000 + 0.8660i -0.5000 - 0.8660i -2 -3])
w = tf(nomin, denom)
wz = zpk(w)
step(w)
```

```
nomin = [1 2];
denom = poly([-0.5 + 0.8i
             -0.5 - 0.8i
             -2.0
             -3.0          ]')
w = tf(nomin, denom)
wz = zpk(w)
step(w)
```

Анализ свойств динамической системы

При анализе системы, состоящей из нескольких блоков, возникает задача получения передаточной функции для всей системы или для подсистемы, включающей в себя ряд блоков. Для выполнения преобразований целесообразно задать передаточные функции всех блоков системы, а затем выполнять расчеты для подсистем и системы в целом.

Например, для расчета параметров передаточной функции силового гиросtabilизатора можно написать следующую программу.

```
% исходные данные
H = 2000; Jp = 0.8;
Jst = 125; Dst = 300; Dp = 0;
Kr = 50000;
% расчет параметров
Omega = H * sqrt(1+Dst*Dp/H^2)/sqrt(Jst * Jp);
t0 = 1/Omega;
dzeta = ((Dp/(2*H))/sqrt(Jst/Jp) + (Dst/(2*H))*sqrt(Jp/Jst)) * (1/sqrt(1+(Dst*Dp)/H^2));

t1 = 2*t0;
% формирование передаточных функций
w1 = tf([Kr/H],[1 0]);
w2 = tf([1],[t0^2 2*t0*dzeta 1]);
w3 = tf([1],[t1 1])*tf([1],[t1 1]); % корректирующее звено
% передаточная функция гиросtabilизатора с коррекцией
W = w1 * w2 * w3;
```

В результате получена передаточная функция

```
>> W
Transfer function:
                25
-----
2.5e-009 s^5 + 5.06e-007 s^4 + 0.0001262 s^3 + 0.02006 s^2 + s
```

Или, в форме **zpk**:

```
>> zpk(W)

Zero/pole/gain:
      10000000000
-----
s (s+100)^2 (s^2 + 2.4s + 4e004)
```


Ц. 4 Расчет параметров длиннопериодического движения самолета. Исходные данные

```

% Initial Data -- model AH-140
%% This script saves model coefficients
% C, E, R and constant gc to MAT-file Table02_A140
%
% To Load data from MAT-file into workspace type command: load ('table02_AN_140')
% or operator: load table02_AN_140
clear
gc = 9.8; % constant of gravitation
%% table02_AN_140 - Koeff AH-140 c11 = 0, gc
% C1 C2 C3 C4 C5 C6 C7 C8 C9 E1 E2 E3
C = [
0.560 1.635 1.468 0.765 0.160 0.989 0.171 -.082 0 0.025 0.246 -.379
0.496 1.272 1.142 0.868 0.168 0.873 0.171 -.083 0 0.029 0.466 -.329
0.670 1.864 2.570 1.053 0.195 1.240 0.171 -.118 0 0.013 0.171 -.200
0.590 1.200 2.071 0.944 0.107 1.092 0.171 -.102 0 0.014 0.318 +.289
1.100 1.864 7.827 1.122 0.314 2.319 0.171 -.113 0 0.006 0.074 -.085
0.940 2.259 5.975 0.962 0.269 2.050 0.171 -.115 0 0.006 0.059 -.086
0.790 2.640 5.617 0.864 0.226 2.380 0.171 -.117 0 0.005 0.073 -.054
0.880 3.337 7.028 0.987 0.251 2.640 0.171 -.008 0 0.006 0.061 -.131
0.668 1.742 4.496 0.671 0.191 2.260 0.171 -.077 0 0.008 0.083 -.167
0.793 2.980 6.340 0.875 0.226 2.680 0.171 -.076 0 0.007 0.050 -.121];
c11 = 0; % for DPD
save table02_AN_140 C gc c11

clear

```

Расчет параметров длиннопериодического движения самолета на основании представления системы в пространстве состояний

```

%% Load data
load('table02_AN_140.mat')% La -- Linear Model
for i = 1 : 10;
c1 =C(i,1); c2 =C(i,2); c3 =C(i,3);
c4 =C(i,4); c5 =C(i,5); c6 =C(i,6);
c7 =C(i,7); c8 =C(i,8); c9 =C(i,9);
e1 =C(i,10); e2 =C(i,11); e3 =C(i,12);
%% SS - model
Ass = [ %Om_z      alfa      V      H      Tang
      -(c1+c5)  -(c2-c4*c5)  -(e3-e2*c5)  0  0
          1      -c4      -e2      0  0
          0      -c8      -e1      0 -c7
          0      -c6      c11     0  c6
          1          0          0      0  0];

Bss = [(c3-c5*c9)
        c9
         0
         0
         0 ];
Css = eye(5,5); Dss = zeros(5,1);

Sys_DPD = ss(Ass,Bss,Css,Dss, ...
'statename',{'Om_z' 'alfa' 'V'      'H'  'Tang'}, ...
'inputname',{'elevator'},...
'outputname',{'Om_z' 'alfa' 'V'      'H'  'Tang'});
%% Transfer Functions
W = tf(Sys_DPD);
[num, den] = tfdata(W(1),'v');
disp(i)
roots(den)
end

```

Методические указания к п. 5

Задача: выполнить настройку канала управления угловой скоростью тангажа самолета с адаптивным алгоритмом управления на основе эталонной модели в прямой цепи.

Модель объекта управления – самолета, задана в виде передаточной функции

$$W_{\omega_z}(p) = \frac{b_1 p + b_0}{p^2 + a_1 p + a_0} = \frac{\omega_z(p)}{\delta_B(p)} \quad (1)$$

Где ω_z и δ_B – приращения угловой скорости тангажа и угла отклонения руля высоты;

a_0, a_1, b_0, b_1 – коэффициенты, определяемые аэродинамическими свойствами самолета.

Алгоритм управления построен на основе эталонной модели, динамические свойства которой определены дифференциальным уравнением второго порядка:

$$\ddot{\omega}_z^* + g_1 \dot{\omega}_z^* + g_0 \omega_z^* = g_0 \omega_z^0 \quad (2)$$

Числовые значения параметров g_0 и g_1 назначаются такими, чтобы динамические параметры системы самолет–САУ соответствовали заданным требованиям к качеству переходных процессов, протекающих при поступлении на вход заданного сигнала $\omega_z^0 = const$.

Структурная схема системы ЛА–САУ представлена на рис. 12

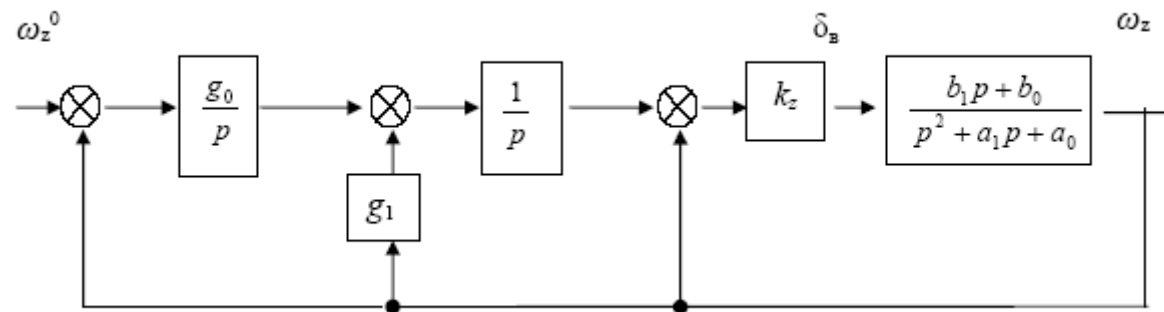


Рис. 12

Параметры g_0 и g_1 эталонной модели рассчитываются по заданным значениям времени регулирования $t_{\text{рег}}$ и коэффициента демпфирования ξ (постоянная времени $T \approx t_{\text{рег}}/3$, собственная частота $\omega = 1/T$, время регулирования $t_{\text{рег}}$ выбирается большим, чем постоянная времени объекта регулирования, в данном случае $t_{\text{рег}} = 1.5 - 5$ с, $\xi = 0.5 - 1$).

Величину коэффициента k_z следует уточнить экспериментально. Теоретически, при $k_z \rightarrow \infty$, переходный процесс в системе ЛА-САУ в точности соответствует заданным параметрам эталонной модели. Но большие значения коэффициентов невозможно реализовать средствами

аналоговой техники, а в цифровом вычислителе усложняется алгоритм контроля. Приемлемое качество регулирования в системе данного вида достигается при $k_z = 1 - 10$.

Модель системы для данного примера, сформированная в среде Matlab-Simulink, приведена на рис. 13.

Варианты задания

Номер режима полета	a_0	a_1	b_0	b_1
1.	5.36	2.27	5.7	7.4
2.	89.48	6.9	159.0	57.0
3.	121.4	4.66	96.6	42.0
4.	8.52	1.66	7.78	13.8
5.	18.11	0.65	3.4	10.0

Вариант	Номер режима полета	коэффициент демпфирования ξ	время регулирования $t_{рег}$
1.	1	0.4, 0.7, 1.0	3 с
2.	1	0.4, 0.7, 1.0	4 с
3.	1	0.4, 0.7, 1.0	6 с
4.	2	0.4, 0.7, 1.0	3 с
5.	2	0.4, 0.7, 1.0	4 с
6.	2	0.4, 0.7, 1.0	6 с
7.	3	0.4, 0.7, 1.0	3 с
8.	3	0.4, 0.7, 1.0	4 с
9.	3	0.4, 0.7, 1.0	6 с
10.	4	0.4, 0.7, 1.0	3 с
11.	4	0.4, 0.7, 1.0	4 с
12.	4	0.4, 0.7, 1.0	6 с
13.	5	0.4, 0.7, 1.0	3 с
14.	5	0.4, 0.7, 1.0	4 с
15.	5	0.4, 0.7, 1.0	6 с

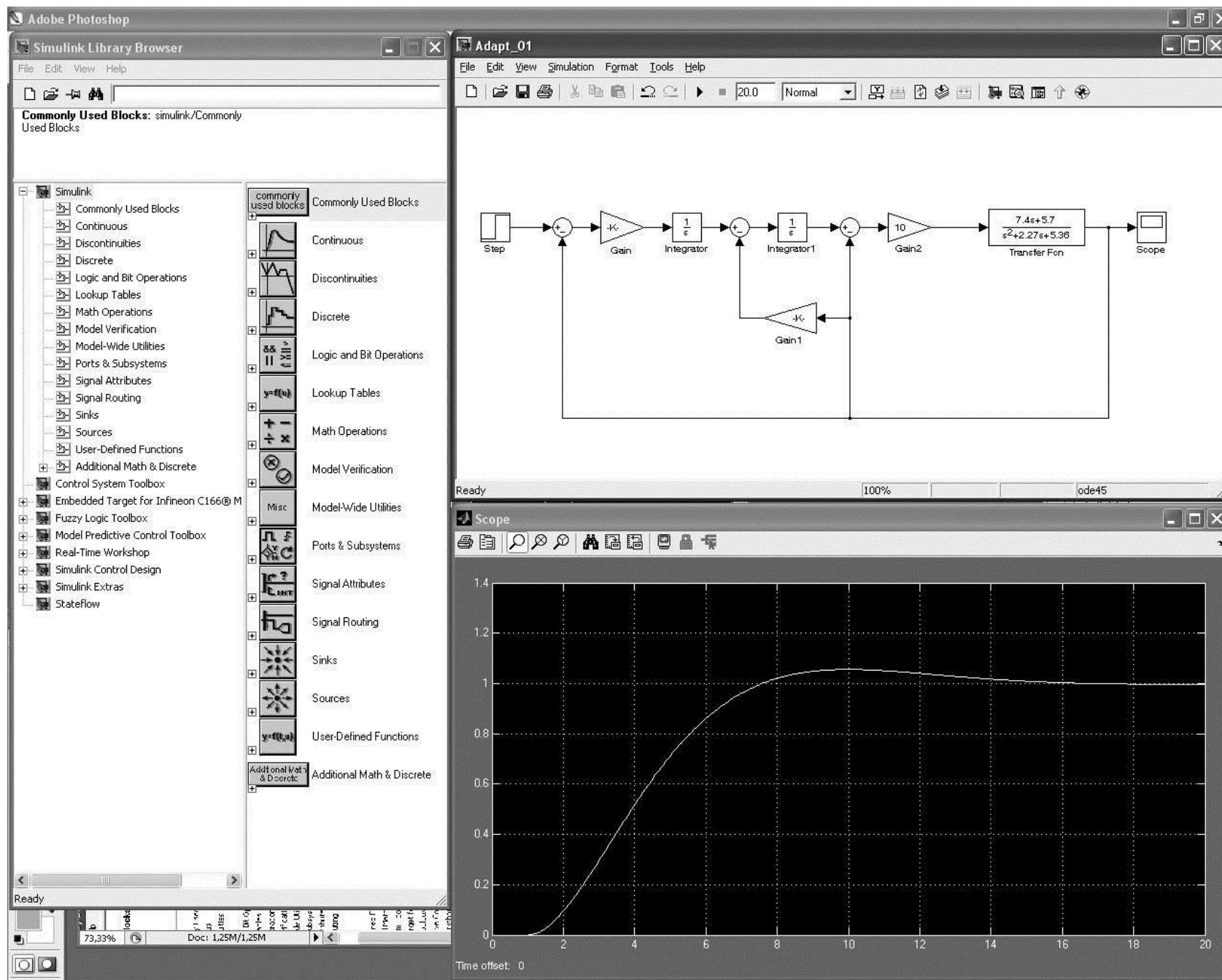


Рис. 13