

## 【实验名称】

Simulink 建模与仿真

## 【实验目的】

1. 学习 SIMULINK 软件工具的使用方法；
2. 用 SIMULINK 仿真线性系统；

## 【实验内容】

### 1. SIMULINK 简介

SIMULINK 是 MATLAB 软件的扩展，它是实现动态系统建模和仿真的一个软件包，它与 MATLAB 语言的主要区别在于，其与用户交互接口是基于 Windows 的模型化图形输入，其结果是使得用户可以把更多的精力投入到系统模型的构建，而非语言的编程上。

所谓模型化图形输入是指 SIMULINK 提供了一些按功能分类的基本的系统模块，用户只需要知道这些模块的输入输出及模块的功能，而不必考察模块内部是如何实现的，通过对这些基本模块的调用，再将它们连接起来就可以构成所需要的系统模型（以 .mdl 文件进行存取），进而进行仿真与分析。

### 2. SIMULINK 的启动

进入 SIMULINK 界面，只要你在 MATLAB 命令窗口提示符下键入 ' SIMULINK '，按回车键即可启动 SIMULINK 软件。在启动 SIMULINK 软件之后，SIMULINK 的主要方块图库将显示在一个新的 Windows 中。

如图 8-1 所示：

在 MATLAB 命令窗口中输入 `simulink`：

结果是在桌面上出现一个称为 Simulink Library Browser 的窗口，在这个窗口中列出了按功能分类的各种模块的名称。

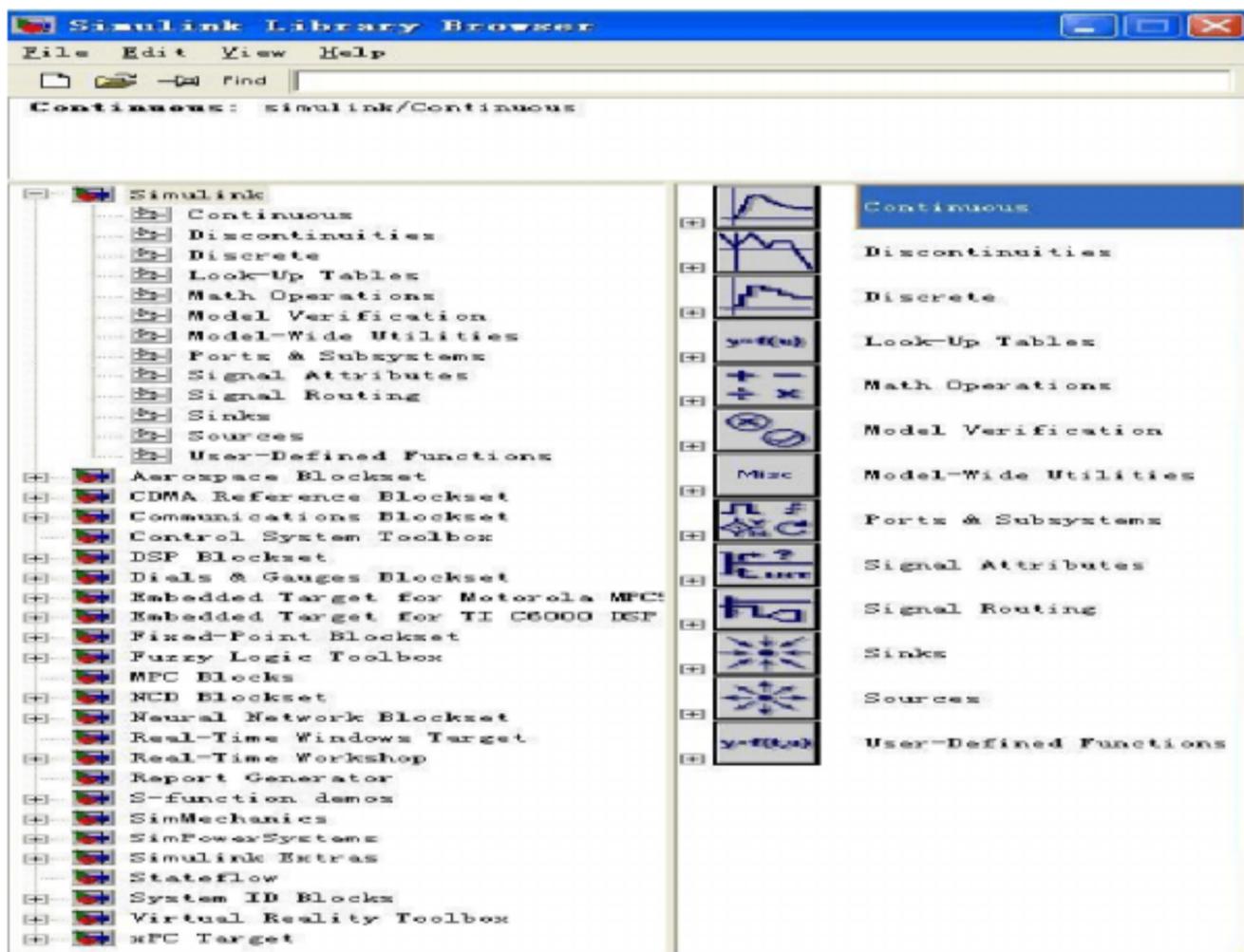


图 8-1 SIMULINK 的主要方块图库

### 3. SIMULINK 的模块库介绍

? SIMILINK 模块库按功能进行分为以下 8 类子库：

Continuous (连续模块)

Discrete (离散模块)

Function&Tables (函数和平台模块)

Math (数学模块)

Nonlinear (非线性模块)

Signals&Systems (信号和系统模块)

Sinks (接收器模块)

Sources (输入源模块)

### 4. SIMULINK 简单模型的建立

(1) 建立模型窗口

(2) 将功能模块由模块库窗口复制到模型窗口

(3) 对模块进行连接，从而构成需要的系统模型

### 5. SIMULINK 功能模块的处理

(1) 模块库中的模块可以直接用鼠标进行拖曳(选中模块，按住鼠标左键不放)而放到模型窗口中进行处理。

(2) 在模型窗口中，选中模块，则其 4 个角会出现黑色标记。此时可以对模块进行以下的基本操作：

移动：选中模块，按住鼠标左键将其拖曳到所需的位置即可。若要脱离线而移动，可按住 shift 键，再进行拖曳；

复制：选中模块，然后按住鼠标右键进行拖曳即可复制同样的一个功能模块；

删除：选中模块，按 Delete 键即可。若要删除多个模块，可以同时按住 Shift 键，再用鼠标选中多个模块，按 Delete 键即可。也可以用鼠标选取某区域，再按 Delete 键就可以把该区域中的所有模块和线等全部删除；

转向：为了能够顺序连接功能模块的输入和输出端，功能模块有时需要转向。在菜单 Format 中选择 Flip Block 旋转 180 度，选择 Rotate Block 顺时针旋转 90 度。或者直接按 Ctrl+F 键执行 Flip Block，按 Ctrl+R 键执行 Rotate Block。

改变大小：选中模块，对模块出现的 4 个黑色标记进行拖曳即可。

模块命名：先用鼠标在需要更改的名称上单击一下，然后直接更改即可。名称在功能模

块上的位置也可以变换 180 度，可以用 Format 菜单中的 Flip Name 来实现，也可以直接通过鼠标进行拖曳。 Hide Name 可以隐藏模块名称。

颜色设定：Format 菜单中的 Foreground Color 可以改变模块的前景颜色， Background Color 可以改变模块的背景颜色；而模型窗口的颜色可以通过 Screen Color 来改变。

参数设定：用鼠标双击模块，就可以进入模块的参数设定窗口，从而对模块进行参数设定。参数设定窗口包含了该模块的基本功能帮助，为获得更详尽的帮助，可以点击其上的 help 按钮。通过对模块的参数设定，就可以获得需要的功能模块。

属性设定：选中模块，打开 Edit 菜单的 Block Properties 可以对模块进行属性设定。包括 Description 属性、Priority 优先级属性、Tag 属性、Open function 属性、Attributes format string 属性。其中 Open function 属性是一个很有用的属性，通过它指定一个函数名，则当该模块被双击之后，Simulink 就会调用该函数执行，这种函数在 MATLAB 中称为回调函数。

模块的输入输出信号：模块处理的信号包括标量信号和向量信号；标量信号是一种单一信号，而向量信号为一种复合信号，是多个信号的集合，它对应着系统中几条连线的合成。缺省情况下，大多数模块的输出都为标量信号，对于输入信号，模块都具有一种“智能”的识别功能，能自动进行匹配。某些模块通过对参数的设定，可以使模块输出向量信号。

## 6. SIMULINK 应用举例

以具有双积分环节的系统  $G(S)$  为例，该系统的开环是不稳定的，为了使系统稳定，使用超前校正环节  $K(S)$  进行串联校正，见图 8-2。

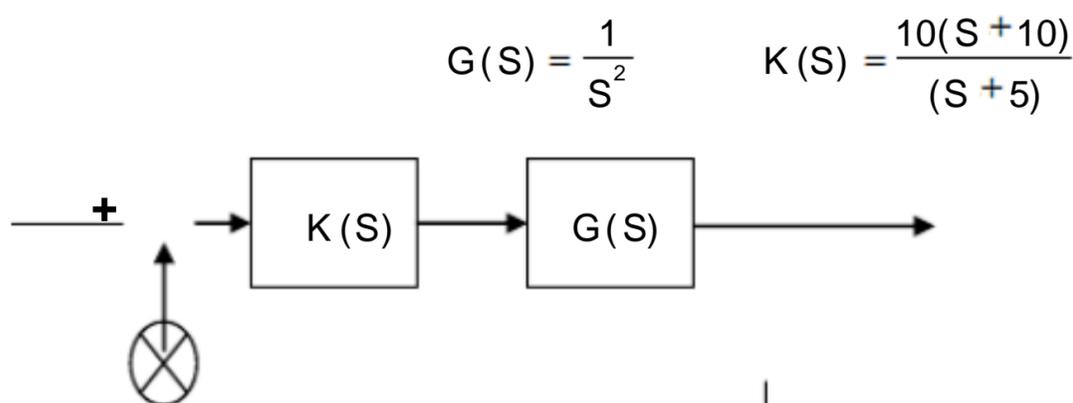


图 8-2 系统结构框图

在建模之前，你需要创建一个工作区域。创建一个工作区域的方法为，选择 File 项，然后再选择 New，这将开始一个新的窗口，其窗口名为“Untitled1”，可以在该窗口内构造系统模型，并称这个窗口为工作窗口。

为了得到这个系统的阶跃响应，可以由两个传递函数、一个求和点、一个输入源及两个输出观测点等 6 个部分组成这个系统。

输入源的元件位于 Sources 库；传递函数与综合点方块都位于线性部分 ( Linear ) 库中。用同样方法，可将该库中的 Transfer Fcn 与 Sum 图形拖曳到工作空间，然后关闭 Linear 库；

如何得到其仿真的输出结果。在 Sinks 库中有三个功能方块可用于显示或存储输出结果。Scope 功能块可以像一台示波器，实时地显示任何信号的仿真结果。To Workspace 功能块可以把输出值以矢量的形式存储在 MATLAB 工作空间中，这样可以在 MATLAB 环境下分析与绘制其输出结果。To File 功能块可以把数据存储到一个给定名字的文件中。用同样方法，将 Scope 拖曳到工作空间，并关闭 Sinks 库窗口。

打开 Sum 功能块，在 List of Signs 处输入“+”、“-”符号。如果综合点超过了两个输入点，只要简单地输入其正、负号，即可自动地增加其相应地输入点。

打开 StepFcn 功能块，有三个空白框可以填入参数。StepTime 是阶跃响应的初始时间。此项可填 0，即零时刻开始阶跃响应。另外两项为初始值 ( Initial value ) 和终值 ( Final value )。这两项可分别输入 0 和 1。

打开工作空间功能块。输入 y 作为变量名 ( Variable name )，对应最大行数项 ( Maximum number of rows )，输入 100。每一行对应一个时间间隔。在系统仿真过程中，可以输入 0 到 9.9，间隔为 0.1，生成 100 个点。

最后，要将这些方块连接起来。除 Sources 与 Sinks 功能块外，所有其他方块中至少有一个输出点，即在方块旁有一个符号 > 指向外面，也至少有一个输入点，即在方块旁有一个符号 < 指向里面，Sources 功能块没有输入点，只有输出点，而 Sinks 功能块没有输出点，因此它仅有一个输入点。系统的仿真方块图见图 8-3。

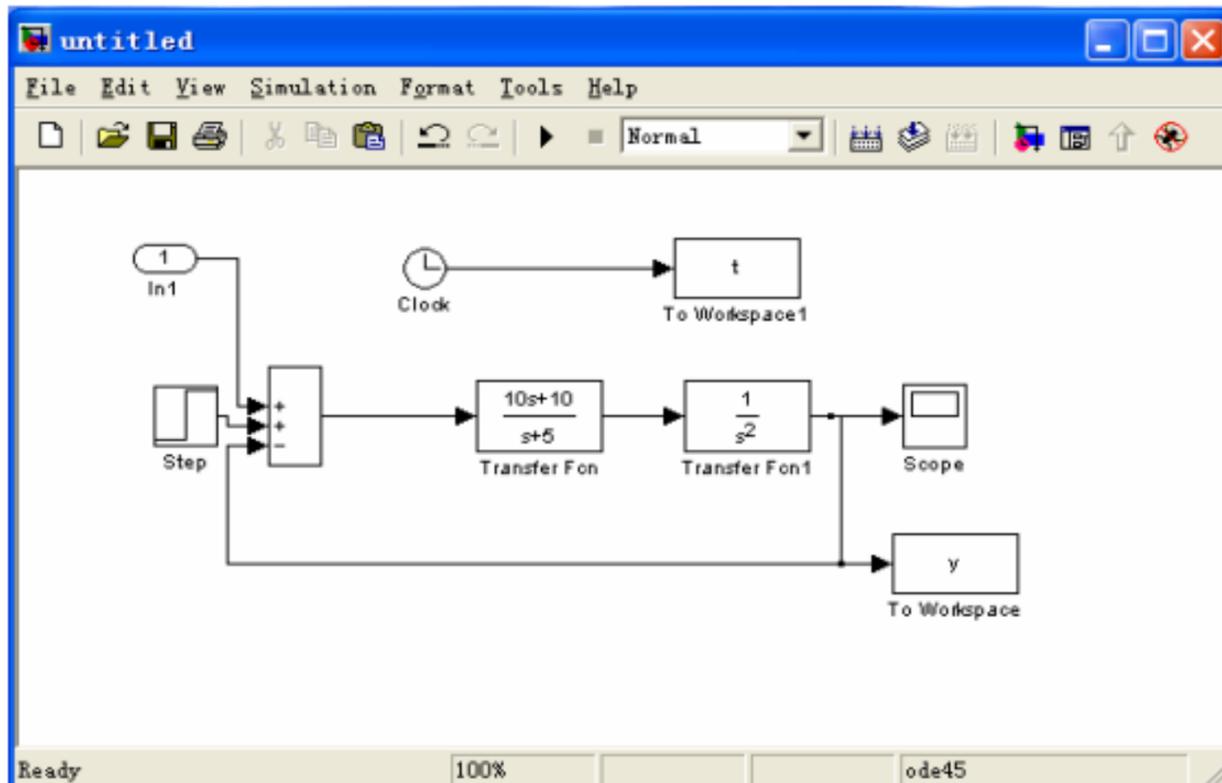


图 8-3 系统的仿真方块图

## 7. SIMULINK 仿真的运行

构建好一个系统的模型之后，接下来的事情就是运行模型，得出仿真结果。运行一个仿真的完整过程分成三个步骤：设置仿真参数、启动仿真和仿真结果分析。

### (1) 设置仿真参数和选择解法器

设置仿真参数和选择解法器，选择 Simulation 菜单下的 Parameters 命令，就会弹出一个仿真参数对话框，它主要用三个页面来管理仿真的参数。

I. Solver 页，它允许用户设置仿真的开始和结束时间，选择解法器，说明解法器参数及选择一些输出选项。

仿真时间：注意这里的时间概念与真实的时间并不一样，只是计算机仿真中对时间的一种表示，比如 10 秒的仿真时间，如果采样步长定为 0.1，则需要执行 100 步，若把步长减小，则采样点数增加，那么实际的执行时间就会增加。一般仿真开始时间设为 0，而结束时间视不同的因素而选择。总的说来，执行一次仿真要耗费的时间依赖于很多因素，包括模型的复杂程度、解法器及其步长的选择、计算机时钟的速度等等。

仿真步长模式：用户在 Type 后面的第一个下拉选项框中指定仿真的步长选取方式，可供选择的有 Variable-step (变步长) 和 Fixed-step (固定步长) 方式。变步长模式可以在仿真的过程中改变步长，提供误差控制和过零检测。固定步长模式在仿真过程中提供固定的步长，不提供误差控制和过零检测。用户还可以在第二个下拉选项框中选择对应模式下仿真所采用

II. Workspace I/O 页，作用是管理模型从 MATLAB 工作空间的输入和对它的输出。

III. Diagnostics 页，允许用户选择 Simulink 在仿真中显示的警告信息的等级。

### (2) 启动仿真

I. 设置仿真参数和选择解法器之后，就可以启动仿真而运行。

选择 Simulink 菜单下的 start 选项来启动仿真，如果模型中有些参数没有定义，则会出现错误信息提示框。如果一切设置无误，则开始仿真运行，结束时系统会发出一鸣叫声。

II. 除了直接在 SIMULINK 环境下启动仿真外，还可以在 MATLAB 命令窗口中通过函数进行，格式如下：

$[t,x,y]=sim(\text{模型文件名}, [to\ tf], simset(\text{参数 1 '参数值 1, 参数 2 '参数值 2, ...}))$   
 其中  $to$  为仿真起始时间,  $tf$  为仿真终止时间。  $[t,x,y]$  为返回值,  $t$  为返回的时间向量值,  $x$  为返回的状态值,  $y$  为返回的输出向量值。  $simset$  定义了仿真参数, 包括以下一些主要参数:

- AbsTol: 默认值为  $1e-6$  设定绝对误差范围。
- Decimation: 默认值为 1, 决定隔多少个点返回状态和输出值。
- Solver: 解法器的选择。

最后一步是仿真 (Simulation), 可以通过选择仿真菜单 (Simulation Menu) 执行仿真命令。有两个可供选择的项: Start (开始执行) 与 Parameters (参数选择)。在参数选择中, 可以有几种积分算法供选择。对于线性系统, 可以选择 Linsim 算法。对应项分别输入如下参数:

|                   |       |             |
|-------------------|-------|-------------|
| Start Time        | 0     | (开始时间)      |
| Stop Time         | 9.9   | (停止时间)      |
| Relative Error    | 0.001 | (积分一步的相对误差) |
| Minimum Step Size | 0.1   | (最小步长)      |
| Maximum Step Size | 0.1   | (最大步长)      |

在 Return Variable 方框中, 还可以输入要返回的变量参数。如在此方框中填入  $t$ , 在仿真之后可以在 MATLAB 工作空间中得到两个变量, 即  $t$  与  $y$ 。参数选择完毕后, 关闭该窗口。

此时, 你可以选择 Start 启动仿真程序, 在仿真结束时, 计算机会用声音给予提示。阶跃响应图如图 8-4 所示。

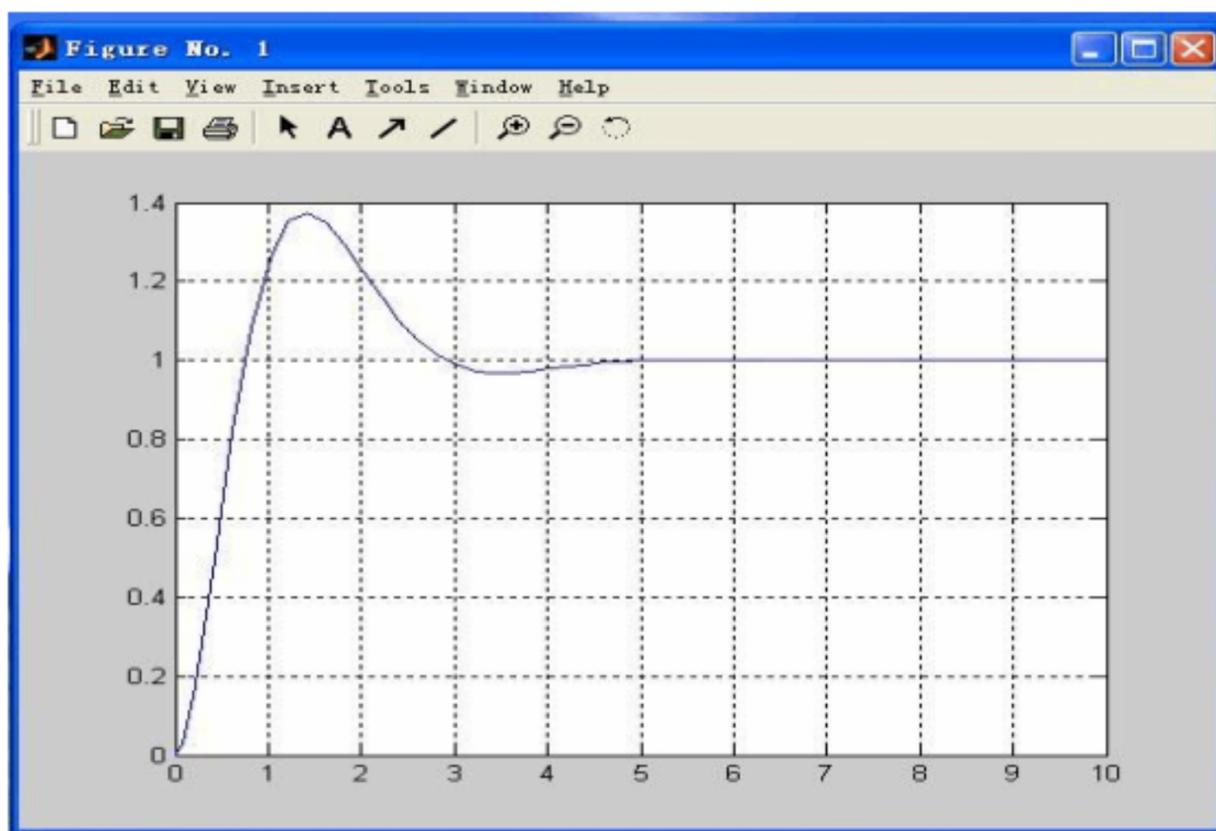
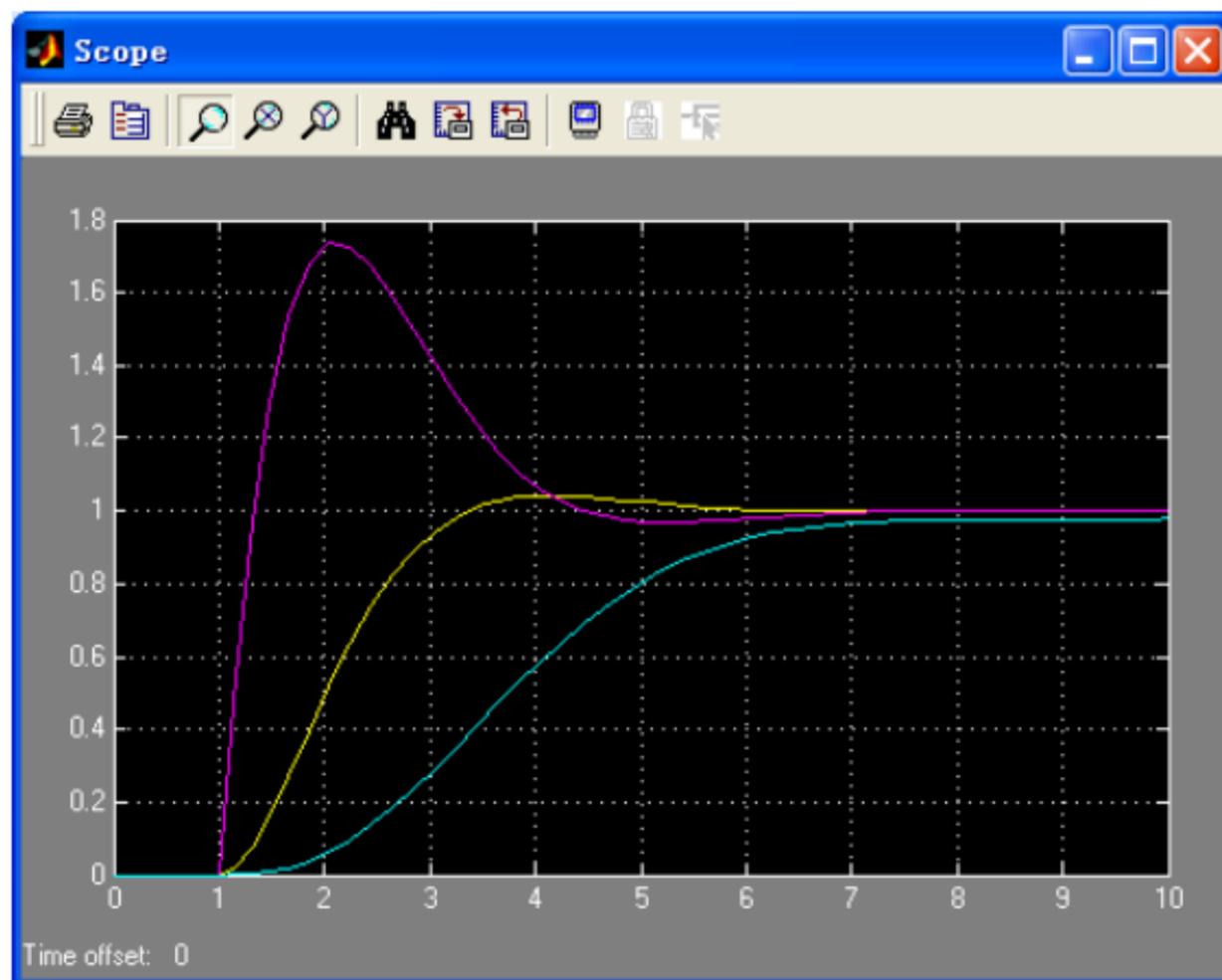
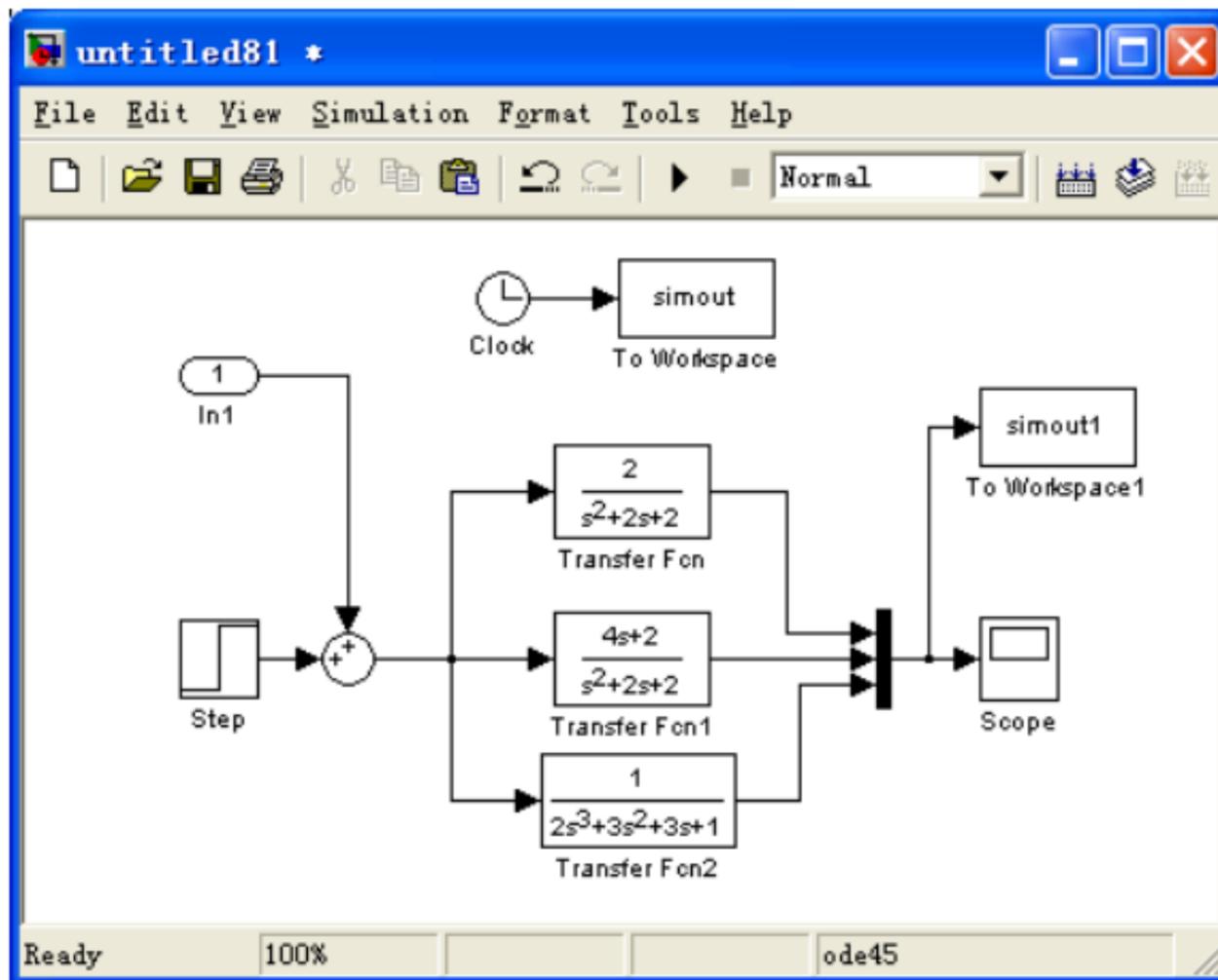


图 8-4 阶跃响应图

练习 8-1 在 SIMULINK 环境下, 作  $T_1$ 、 $T_2$ 、 $T_3$  系统的阶跃响应;

$$T_1 = \frac{2}{s^2 + 2s + 2} \quad T_2 = \frac{4s + 2}{s^2 + 2s + 2} \quad T_3 = \frac{1}{2s^3 + 3s^2 + 3s + 1}$$

将 T1、T2、T3 系统的阶跃响应图在同一 Scope 中显示。  
解：系统图和阶跃响应图如下：



练习 8-2 典型二阶欠阻尼系统的传递函数为：

$$G(S) = \frac{\omega_n^2}{s^2 + 2\zeta\omega_n s + \omega_n^2} = \frac{(\omega_a^2 + \sigma^2)}{s^2 + 2\sigma s + (\omega_a^2 + \sigma^2)}$$

极点位置：

$$S = -\sigma \pm j\omega_a$$

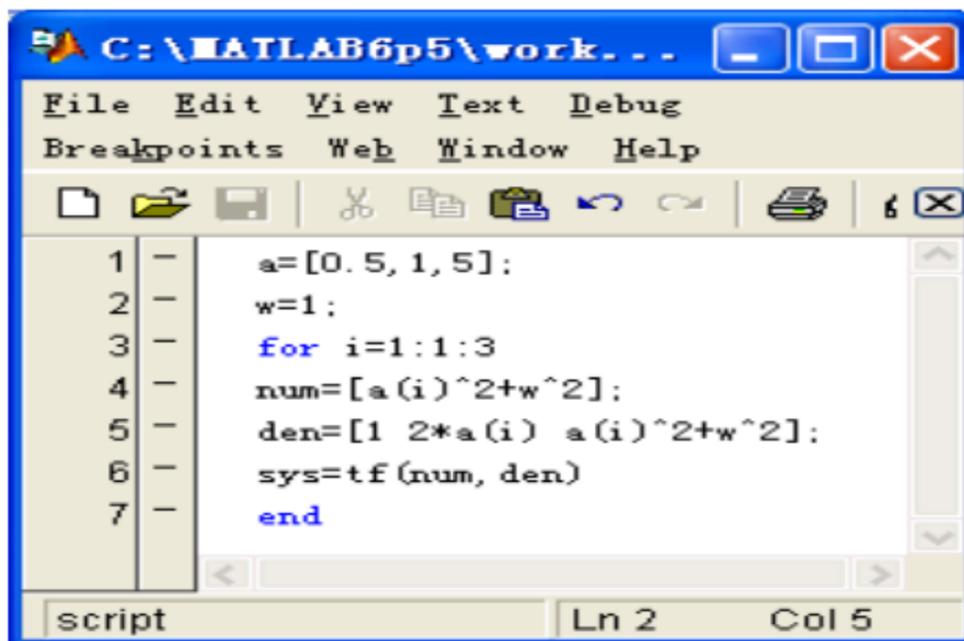
式中：

$$\sigma = \zeta\omega_n ; \omega_a = \omega_n\sqrt{1-\zeta^2} ; \zeta = \cos(\theta)$$

在 SIMULINK 环境下，作该系统在以下参数时的仿真：

设  $a=1, \quad =0.5, 1, 5$ , 求阶跃响应，（用同一 Scope 显示）；

解：先计算系统在此参数下的传递函数，如下



```

C:\MATLAB6p5\work...
File Edit View Text Debug
Breakpoints Web Window Help
[Icons]
1 - a=[0.5, 1, 5];
2 - w=1;
3 - for i=1:1:3
4 - num=[a(i)^2+w^2];
5 - den=[1 2*a(i) a(i)^2+w^2];
6 - sys=tf(num, den)
7 - end
script Ln 2 Col 5
    
```

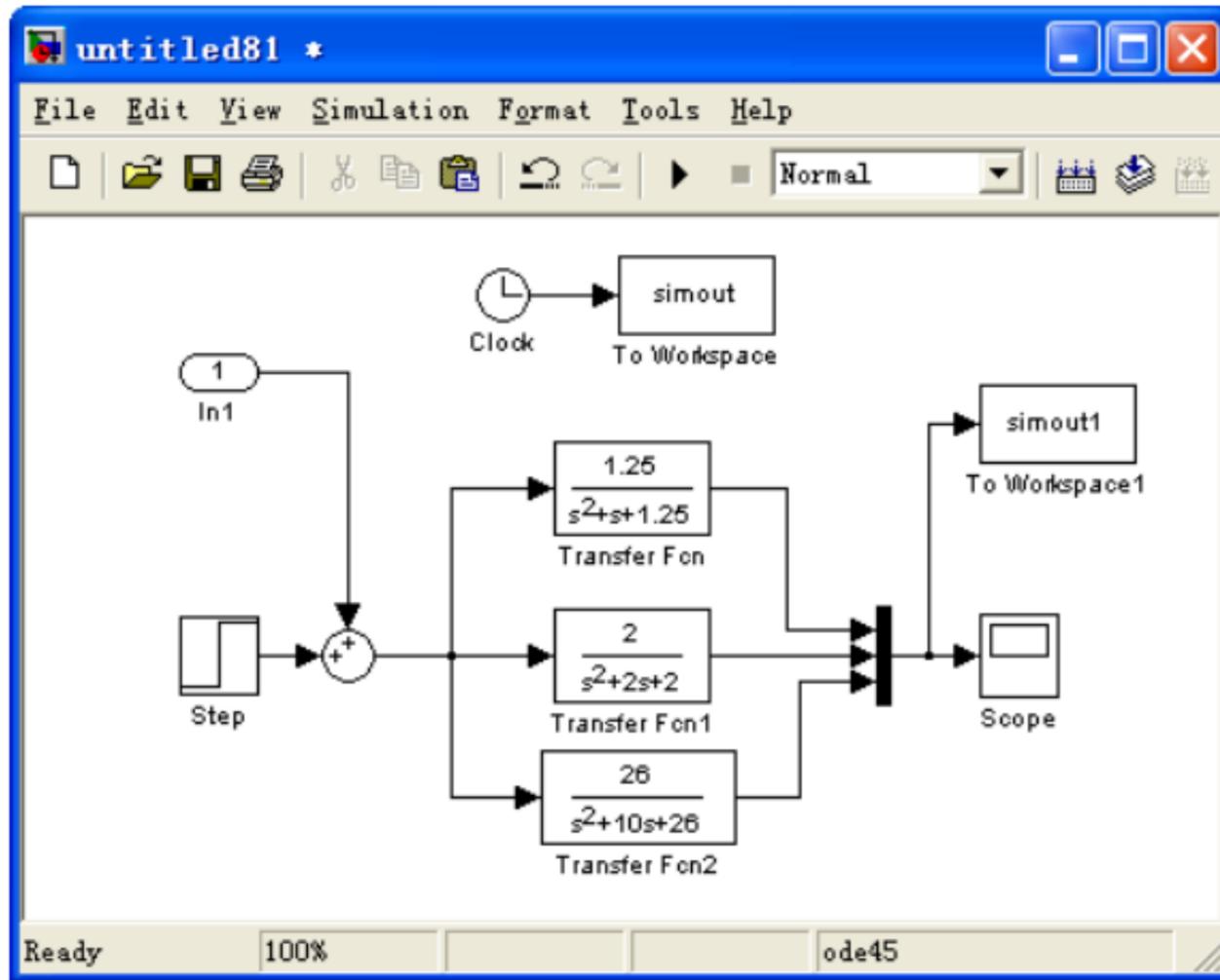
```

>>
Transfer function:
    1.25
-----
s^2 + s + 1.25

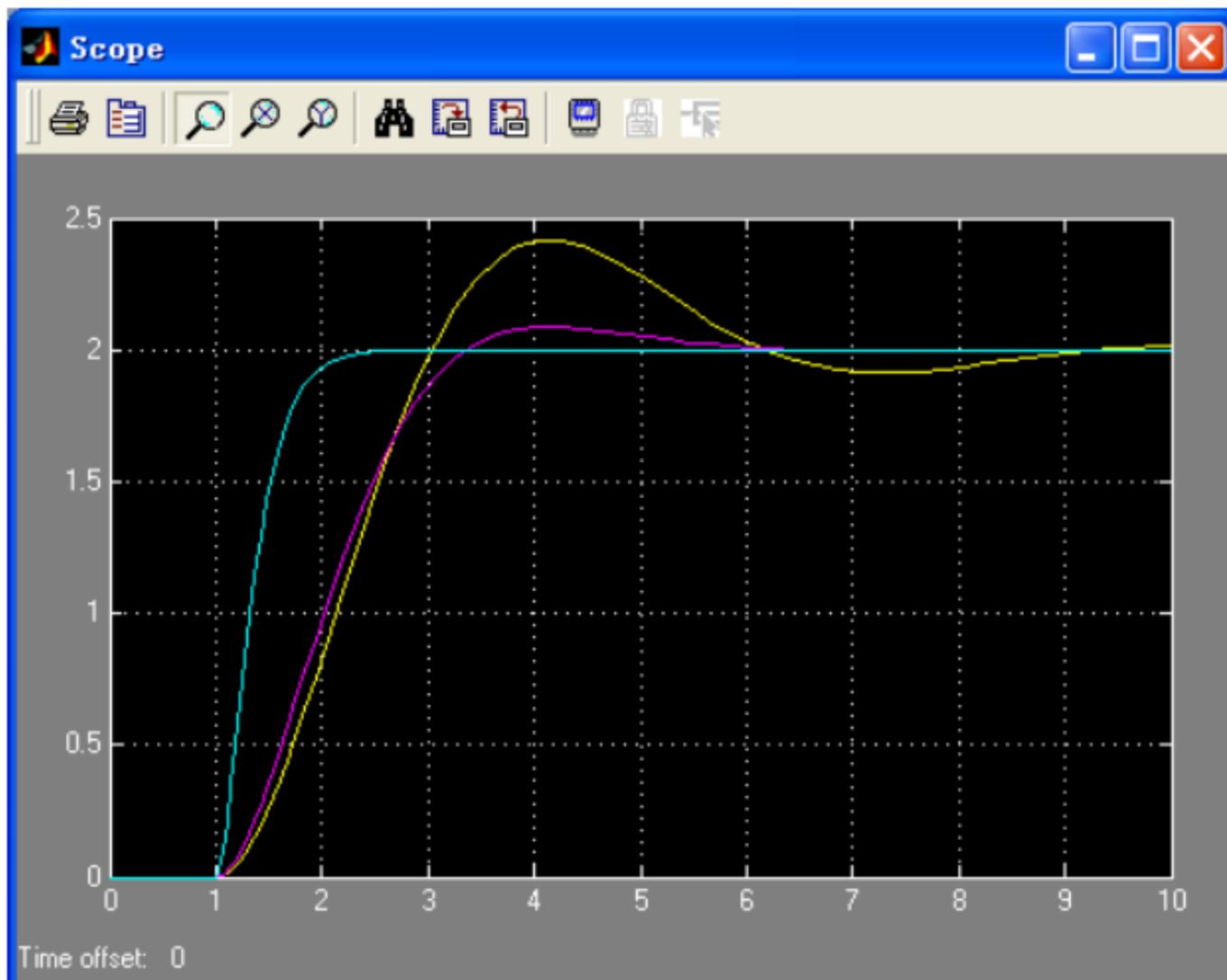
Transfer function:
    2
-----
s^2 + 2 s + 2

Transfer function:
    26
-----
s^2 + 10 s + 26
    
```

构造系统框图：



系统阶跃响应：



分析参数变化（增加、减少与不变）对阶跃响应的影响：设  $a=1$ ,  $\zeta=0.5, 1.5$ 。说明  $a$  一定， $\zeta$  增大，则系统的响应速度减慢，超调量增加。

设  $\zeta=1$ ,  $a=0.5, 1.5$ ，求阶跃响应在（用同一 Scope 显示）；

先计算系统在此参数下的传递函数，如下

```

C:\MATLAB6p5\work...
File Edit View Text Debug
Breakpoints Web Window Help
[Icons]
1 - w=[0.5, 1, 5];
2 - a=1;
3 - for i=1:1:3
4 - num=[w(i)^2+a^2];
5 - den=[1 2*a w(i)^2+a^2];
6 - sys=tf(num, den)
7 - end
script Ln 5 Col 11
    
```

```

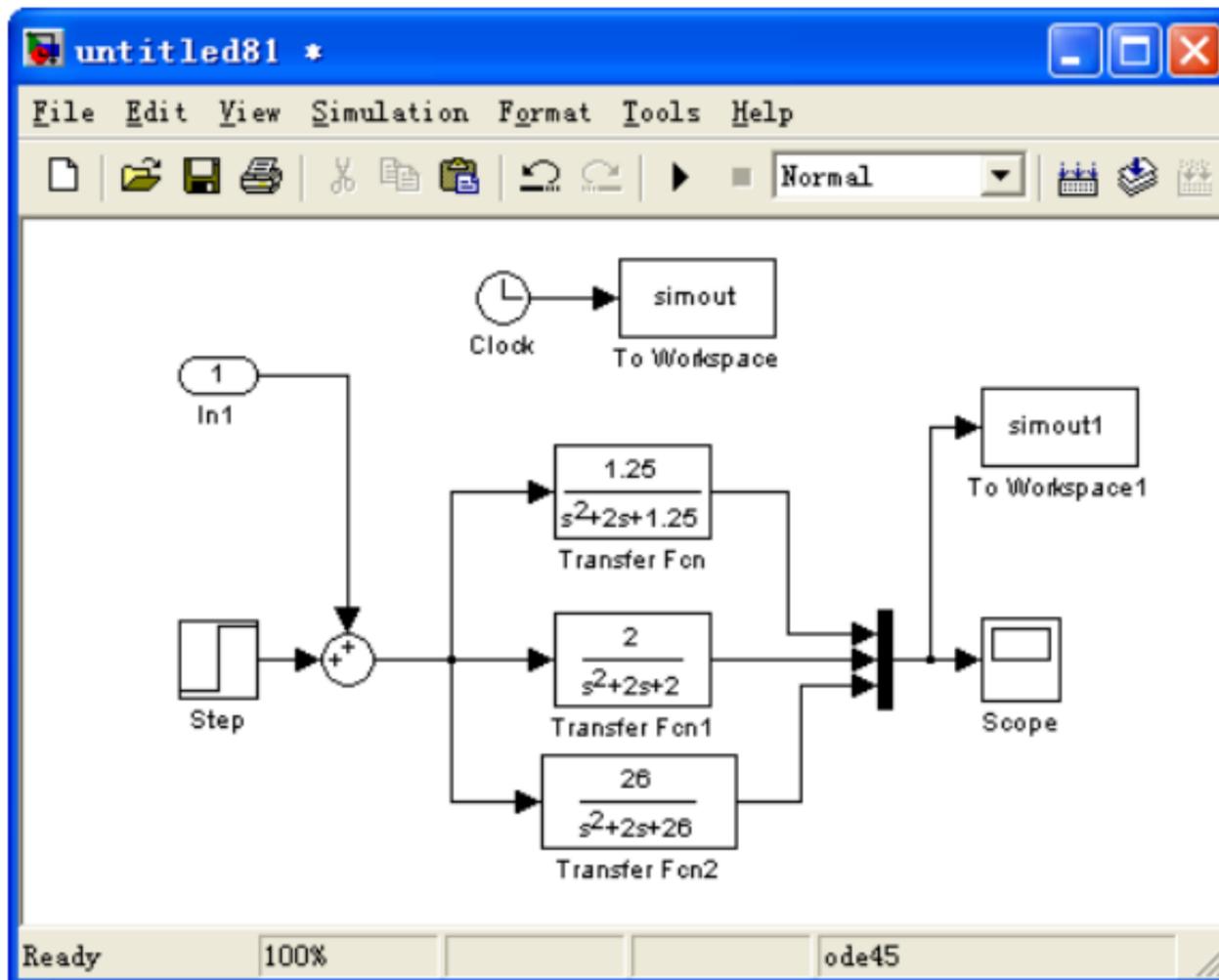
>>
Transfer function:
      1.25
-----
s^2 + 2 s + 1.25

Transfer function:
      2
-----
s^2 + 2 s + 2

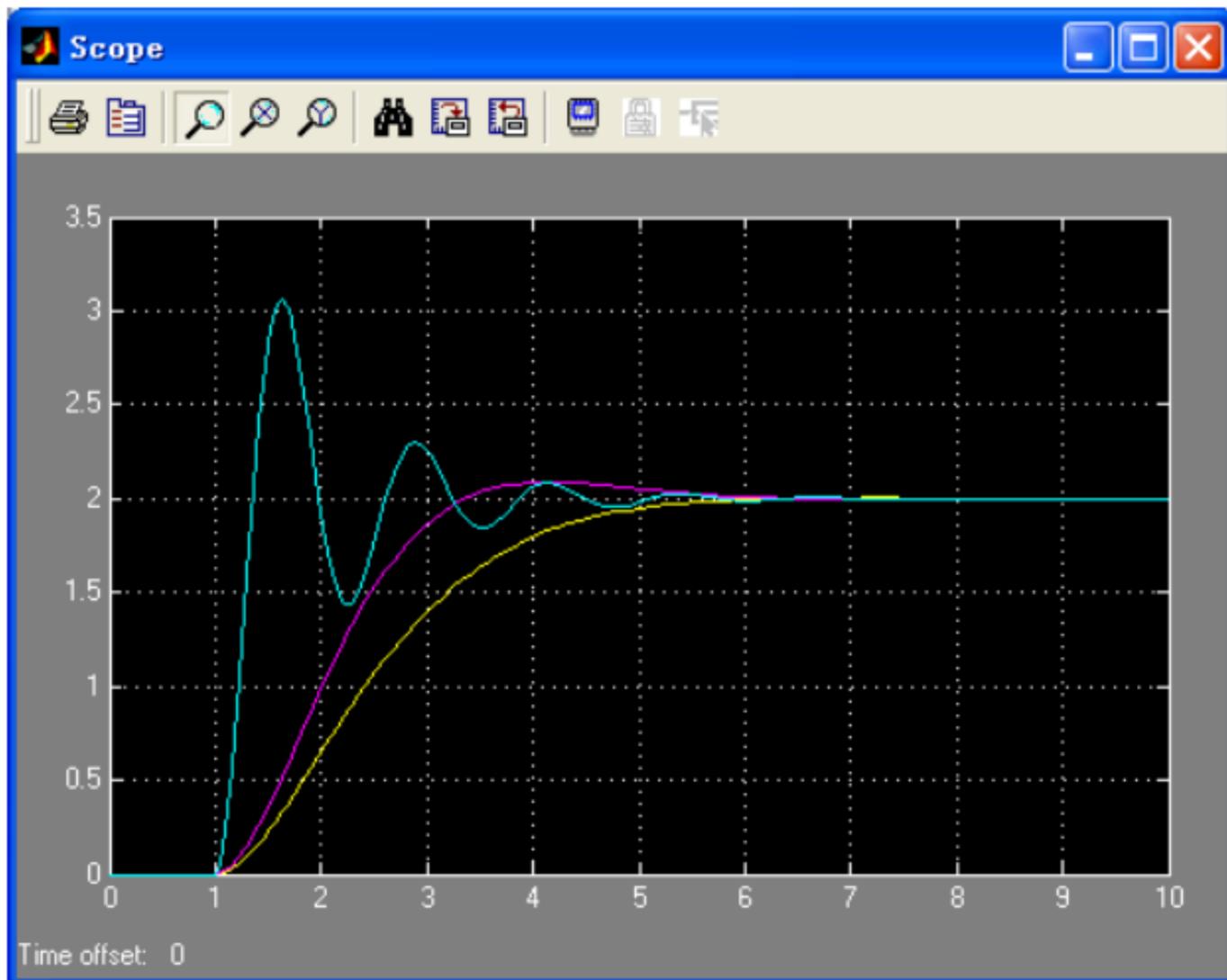
Transfer function:
      26
-----
s^2 + 2 s + 26

>>
    
```

构造系统框图：



系统的节约响应为：



分析参数变化（增加、减少与不变）对阶跃响应的影响：设  $\xi=1$ ， $a=0.5,1,5$ 。说明一定， $a$  增大，则系统的响应速度不变，但是振荡减弱，超调量减少。

设：

$$\xi = \frac{1}{\sqrt{2}}, \quad \omega_n = \sqrt{2}/2, \sqrt{2}, 5/\sqrt{2}$$

求阶跃响应（用同一 Scope 显示）；

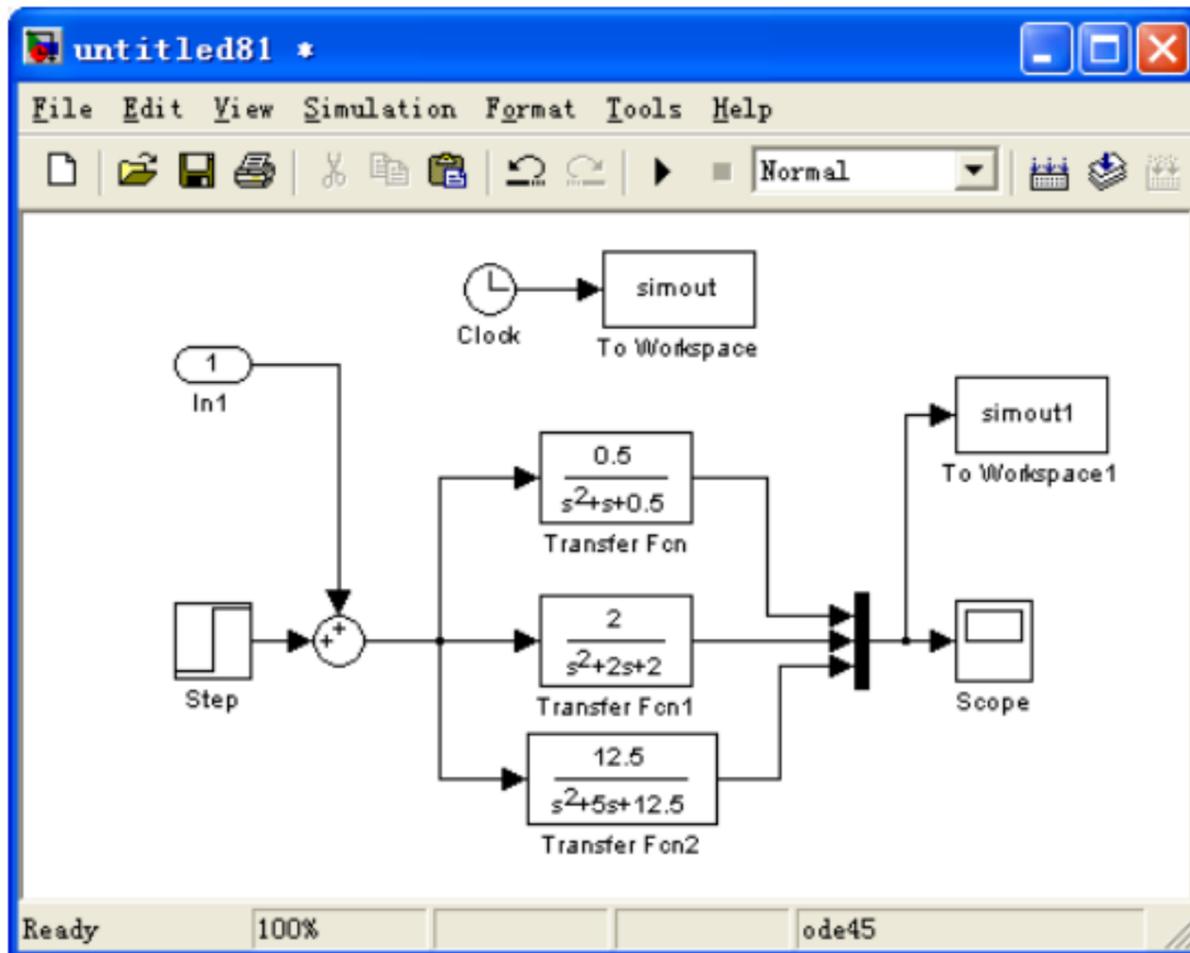
根据参数计算系统的传递函数：

$$G(S)_1 = \frac{\omega_n^2}{s^2 + 2\xi\omega_n s + \omega_n^2} = \frac{1/2}{s^2 + s + 1/2}$$

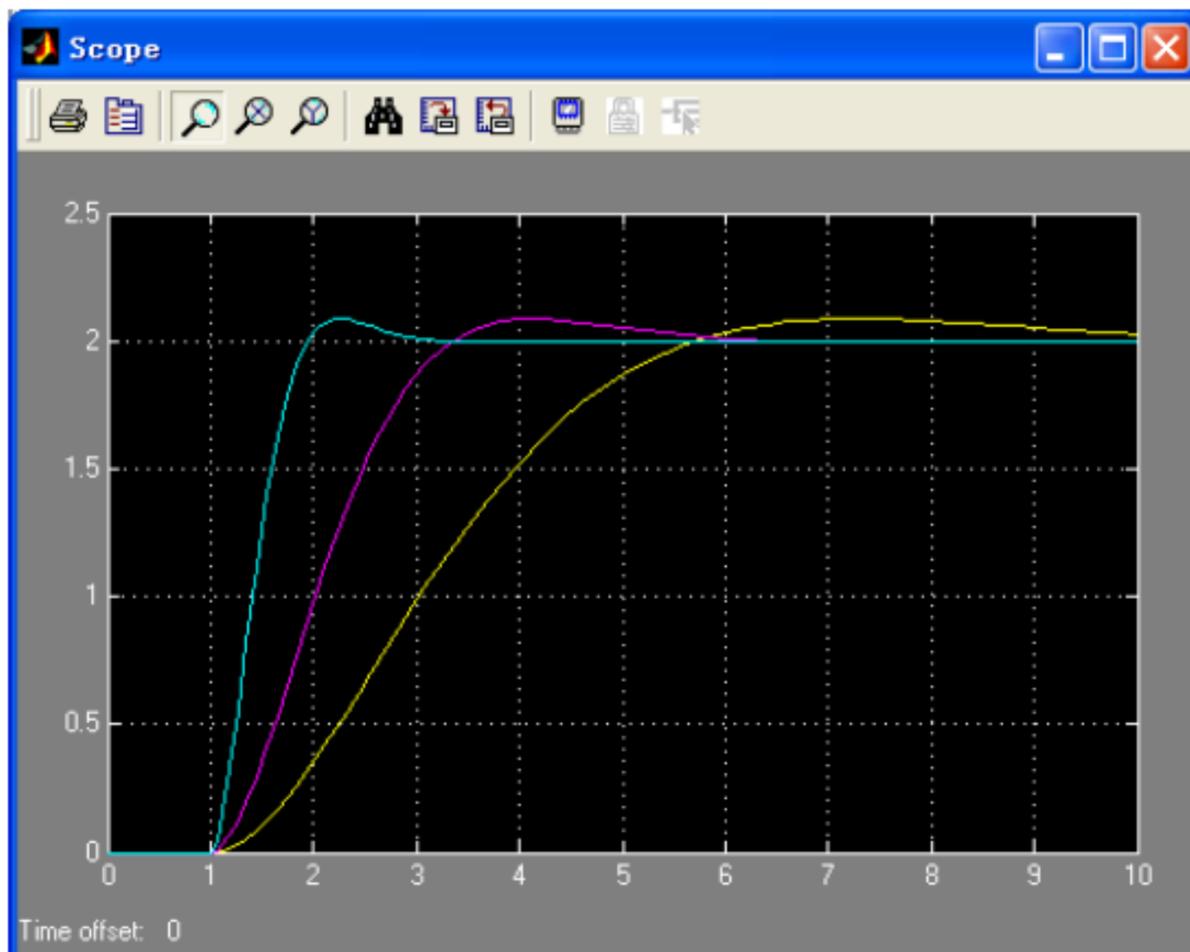
$$G(S)_1 = \frac{\omega_n^2}{s^2 + 2\xi\omega_n s + \omega_n^2} = \frac{2}{s^2 + 2s + 2}$$

$$G(S)_1 = \frac{\omega_n^2}{s^2 + 2\xi\omega_n s + \omega_n^2} = \frac{25/2}{s^2 + 5s + 25/2}$$

构造系统框图：



系统阶跃响应：



分析参数变化（增加、减少与不变）对阶跃响应的影响：设

$\xi = 1/\sqrt{2}$ ， $\omega_n = \sqrt{2}/2$ ， $\sqrt{2}$ ， $5/\sqrt{2}$ 。说明 一定， $n$  增大，则系统的响应速度减慢，但

是超调量不变。

设

$$\omega_n = \sqrt{2} \quad \theta = 30^\circ \quad 45^\circ \quad 60^\circ$$

求阶跃响应，（用同一 Scope 显示）；

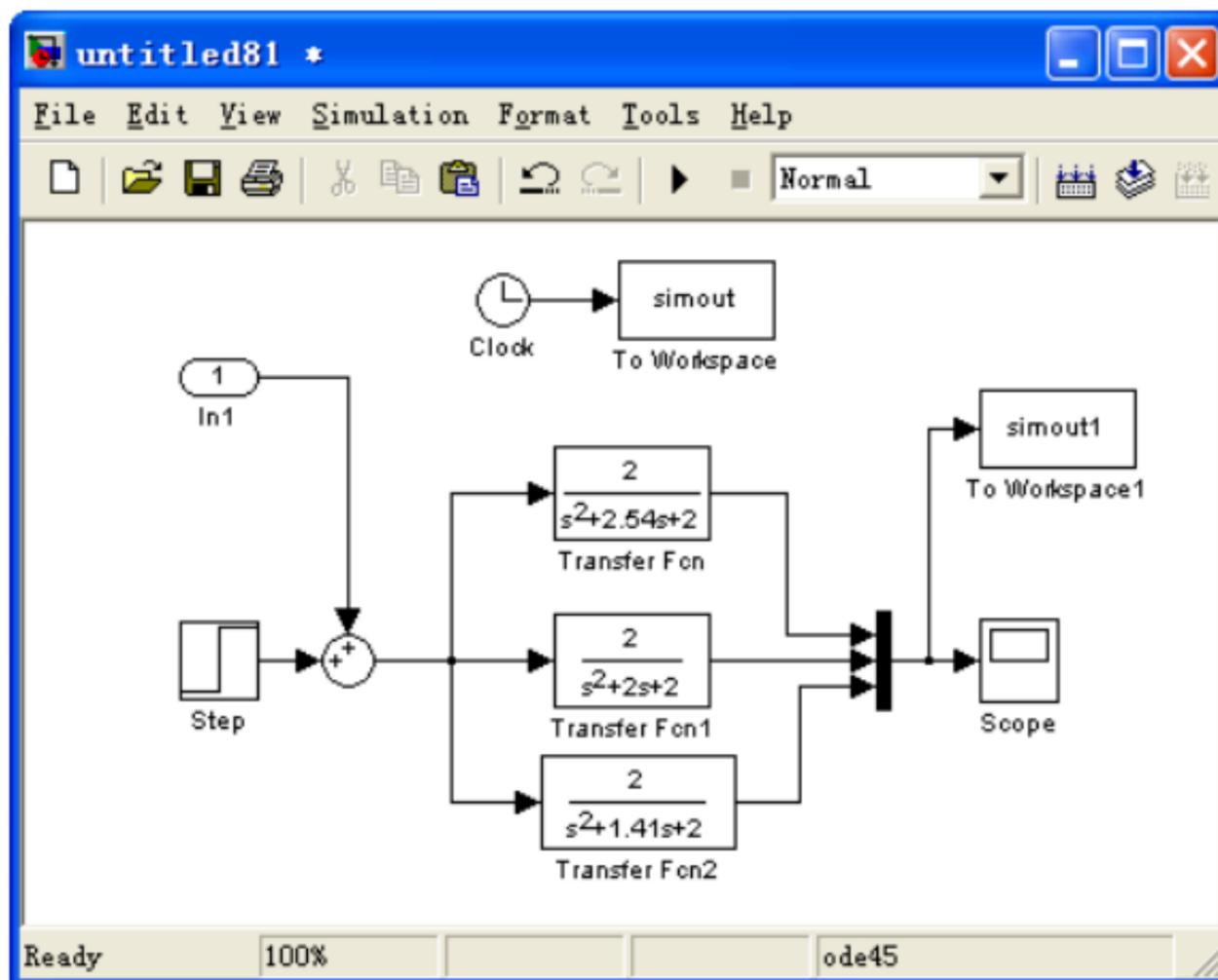
阶跃响应的时间：0 t 10，阶跃信号幅值为 +2V。分析参数变化（增加、减少与不变）对阶跃响应的影响。

根据参数计算系统的传递函数：

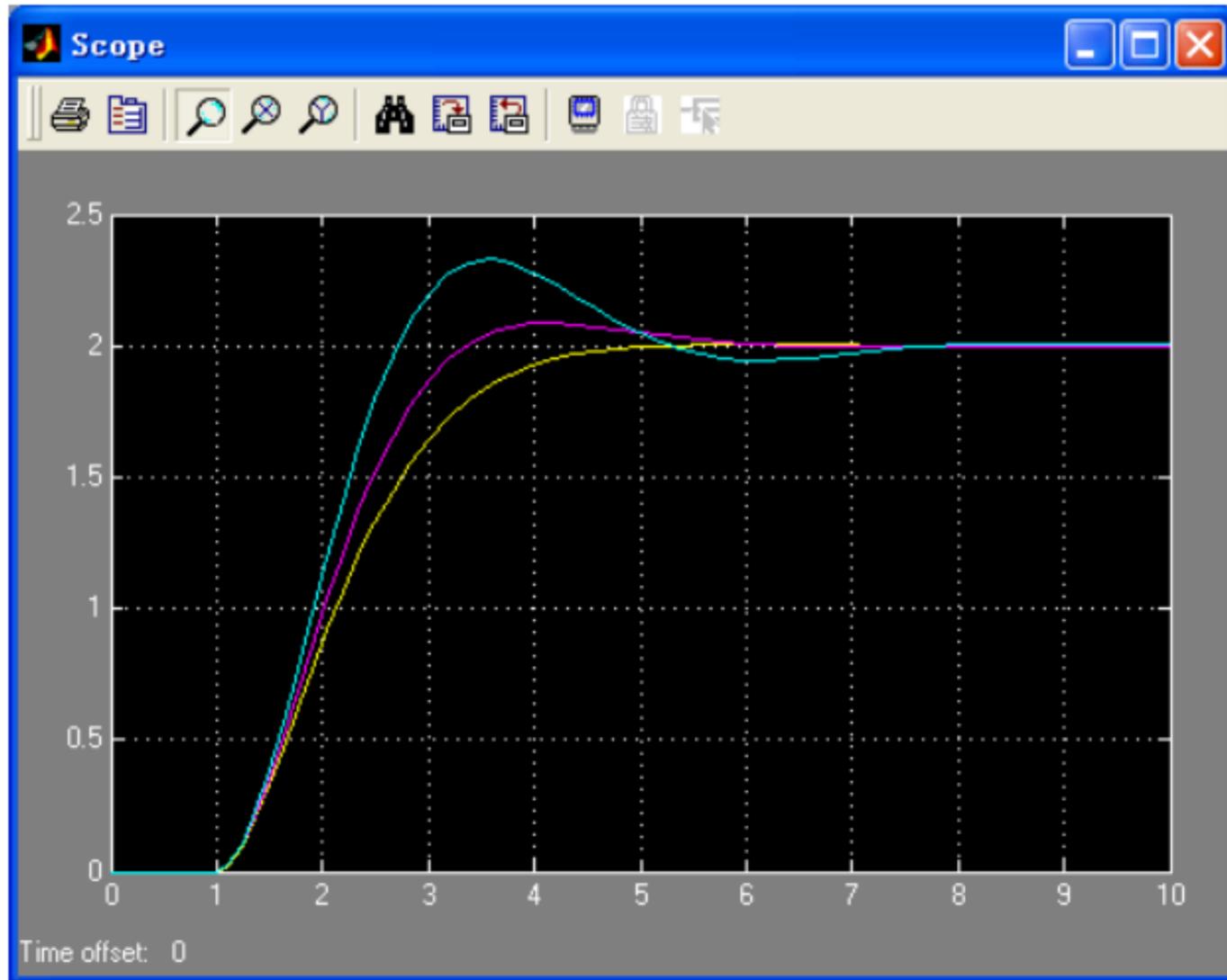
$$G(S)_1 = \frac{\omega_n^2}{s^2 + 2\zeta\omega_n s + \omega_n^2} = \frac{2}{s^2 + 2.45s + 2}$$

$$G(S)_1 = \frac{\omega_n^2}{s^2 + 2\zeta\omega_n s + \omega_n^2} = \frac{2}{s^2 + 2s + 2}$$

$$G(S)_1 = \frac{\omega_n^2}{s^2 + 2\zeta\omega_n s + \omega_n^2} = \frac{2}{s^2 + 1.41s + 2}$$



系统的阶跃响应：



分析参数变化（增加、减少与不变）对阶跃响应的影响：设

$\omega_n = \sqrt{2}$   $\theta = 30^\circ$   $45^\circ$   $60^\circ$ 。说明  $n$  一定，增大，则系统响应时间不变，但是系统的超调量减少。