

## 实验一

实验项目名称：一阶和二阶系统的特性研究

实验项目性质：上机

所属课程名称：控制工程

实验计划学时：2

### 一、 实验目的与要求

- 1、研究一阶惯性环节的运动规律，改变其时间常数，观察阶跃信号作用下的过渡过程的变化。
- 2、研究二阶系统的运动规律，了解其参数  $\xi$  和  $\omega_n$  对系统动态特性的影响以及系统响应的性能指标。
- 3、掌握 Matlab 的 Simulink 工具包。

### 二、 实验方案与结果处理

- 1、一阶系统的单位阶跃响应

一阶惯性环节的传递函数为：
$$G(s) = \frac{K}{Ts + 1}$$

表 1 参数具体值

<b>K</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1</b>
<b>T</b>	<b>0.5</b>	<b>1</b>	<b>2</b>

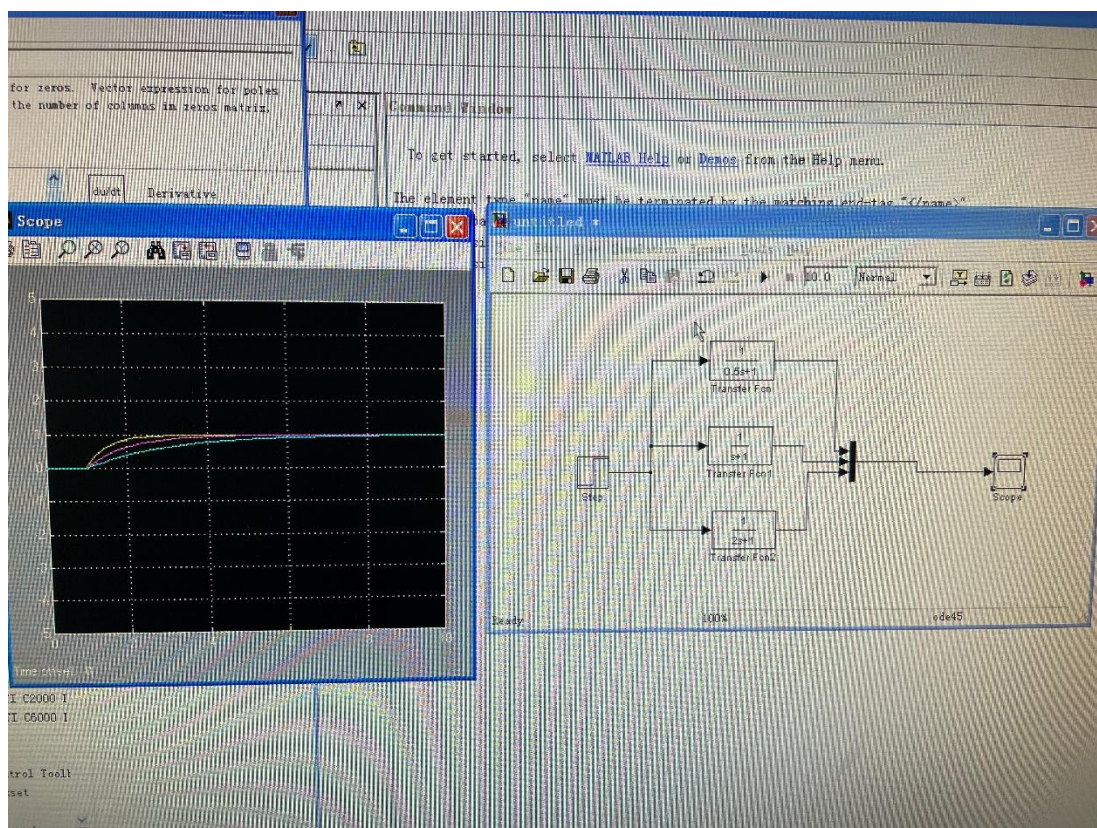


图 1: T=0.5、1、2 时的响应曲线 (运行窗口截图)

问题 1: 比较三条仿真曲线, 说明一阶系统 T 与响应速度的关系。

T 越小, 响应越快。

## 2、二阶系统的单位阶跃响应

二阶振荡环节的传递函数为:  $G(s) = \frac{\omega_n^2}{s^2 + 2\xi\omega_n s + \omega_n^2}$

表 2 参数具体值

$\omega_n$	<b>3.16</b>	<b>3.16</b>	<b>3.16</b>	<b>3.16</b>
$\xi$	<b>0.1</b>	<b>0.5</b>	<b>1</b>	<b>1.5</b>

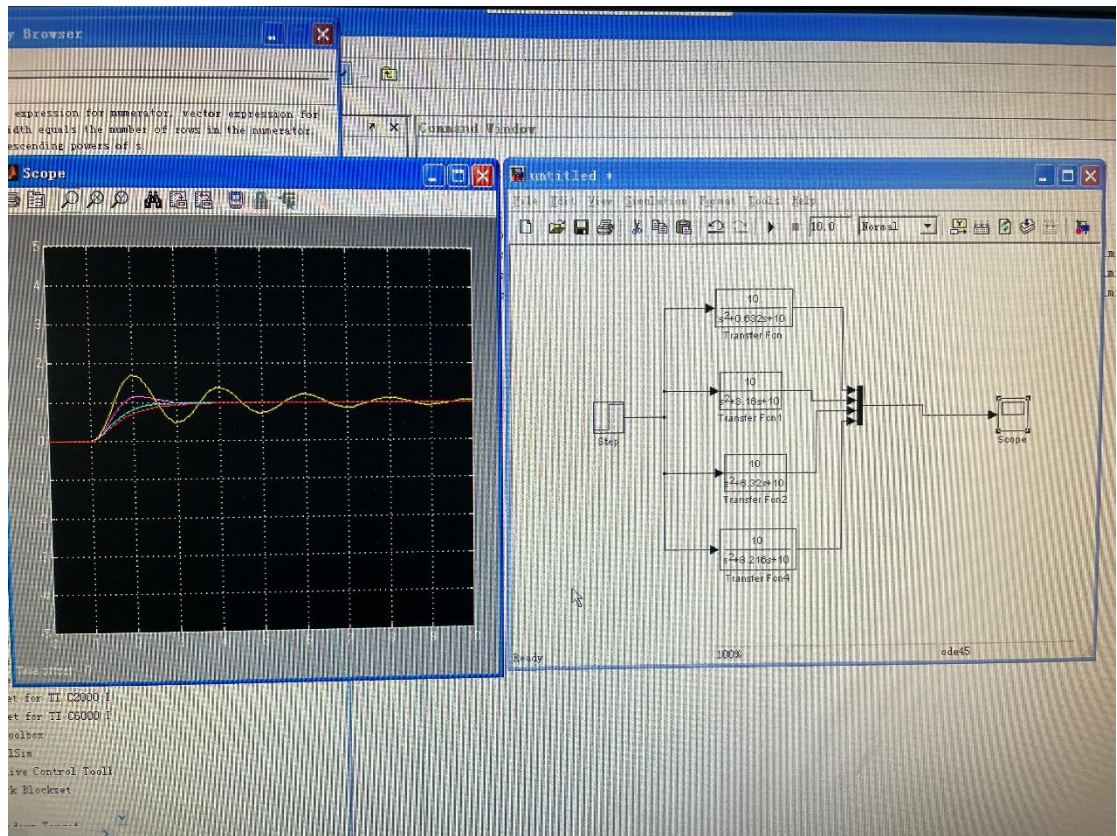


图 2：系统运行响应曲线

问题 2: 分析系统在欠阻尼、临界阻尼以及过阻尼三种情况下的单位阶跃响应。

临界阻尼情况下的单位阶跃响应既无超调，也无振荡。过阻尼情况下响应既无超调，又无振荡，上升时间和调整时间均比临界阻尼的长。欠阻尼情况下响应呈现衰减振荡过程，阻尼比越小，振荡越大。

表 3 参数具体值

$\omega_n$	<b>2</b>	<b>4</b>
$\xi$	<b>0.5</b>	<b>0.5</b>



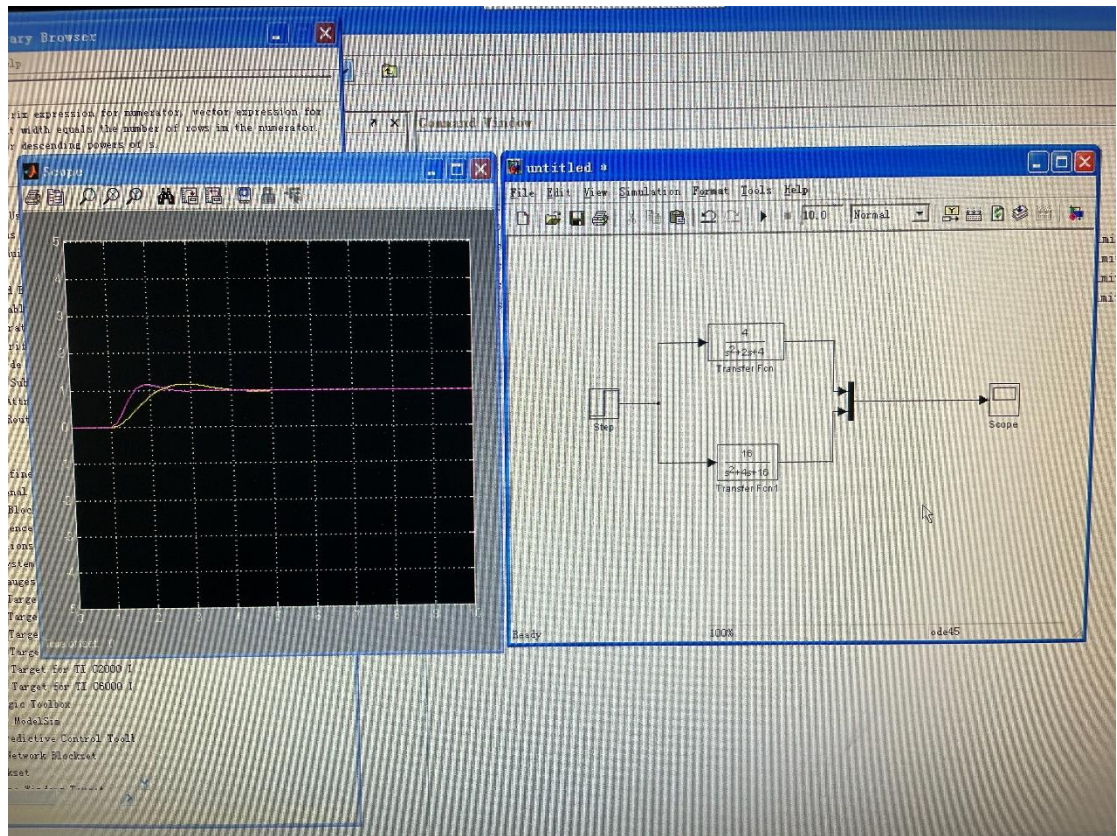


图 3：系统运行响应曲线

问题 3: 分析  $\omega_n$  对系统动态特性的影响

保持阻尼比不变而增大  $\omega_n$ ，则对最大超调量无影响，却可以使上升时间  $t_r$ 、峰值时间  $t_p$  和调整时间  $t_s$  变小，可以提高系统的快速性。

### 3、二阶系统响应的性能指标

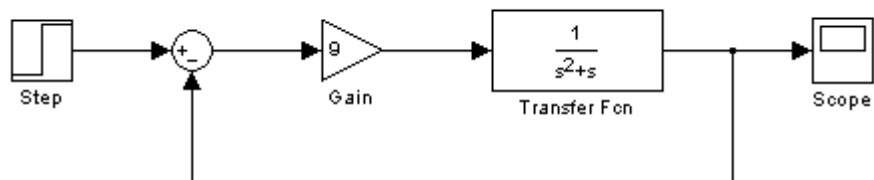


图 4 实验模型

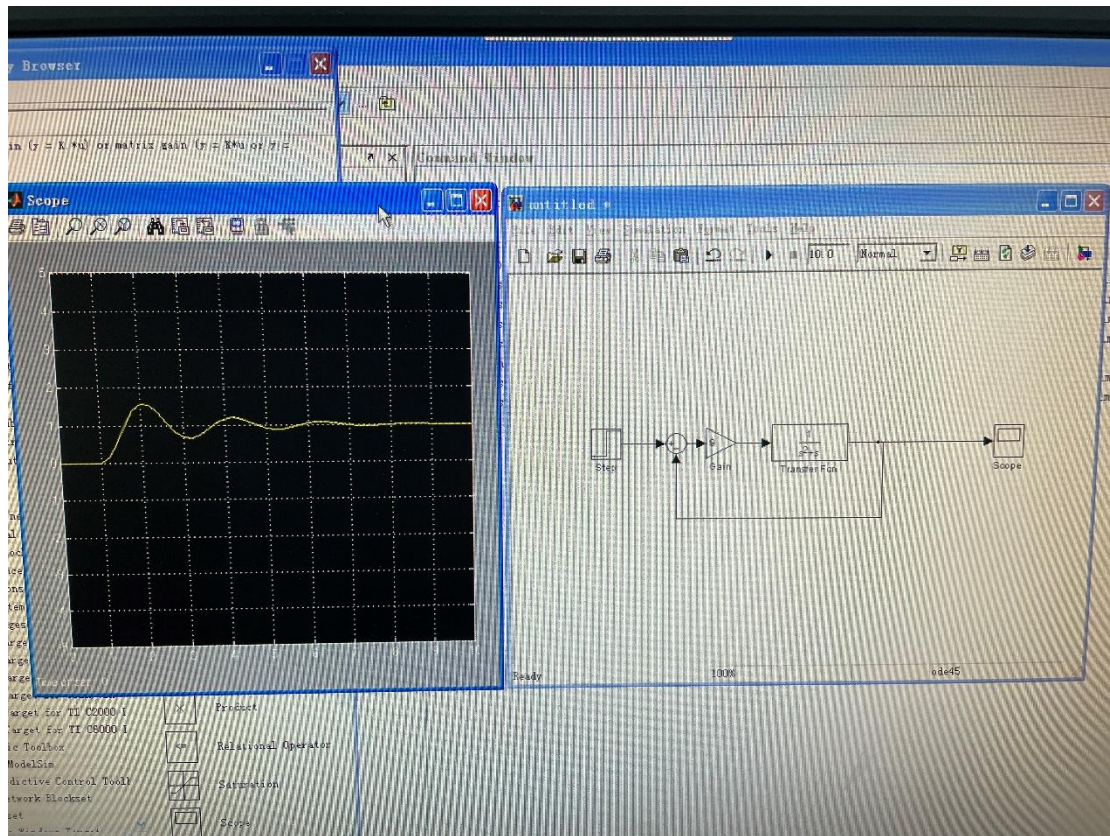


图 5 系统运行响应曲线

问题 4: 求计算阻尼比  $\xi$  及无阻尼固有频率  $\omega_n$

该系统的闭环传递函数为  $\frac{9}{s^2 + s + 9}$ , 则  $\omega_n = 3$ ,  $\xi = 0.167$

问题 5: 求该系统的  $M_p$ ,  $t_p$ ,  $t_s$  和 N;

由  $M_p = \exp\left(-\frac{\xi\pi}{\sqrt{1-\xi^2}}\right)$  得  $M_p = 0.587$

由  $t_p = \frac{\pi}{\omega_n \sqrt{1-\xi^2}}$  得  $t_p = 1.043s$

取  $\Delta = 5\%$ , 由  $t_s = \frac{3}{\xi\omega_n}$  得  $t_s = 6s$

由图可知振荡次数 N 为 3 次

思考题: 在欠阻尼二阶系统的阶跃响应实验中, 如果系统的性能指标不理想, 思考如何改善其性能指标。

取阻尼比  $\xi = 0.4 - 0.8$ , 这时系统的相对稳定性和快速性较好, 得到的性能指标也较

好, 当  $\xi = \frac{\sqrt{2}}{2} = 0.707$  时, 为最佳阻尼比。

## 实验二

实验项目名称：控制系统稳定性研究

实验项目性质：上机

所属课程名称：控制工程

实验计划学时：2

### 一、 实验目的与要求

- 1、熟练使用 Matlab 的 Simulink 工具包；
- 2、研究改变系统的开环增益对闭环系统稳定性的影响；
- 3、掌握 Routh 稳定判据。

### 二、 实验方案与结果处理

1. 单位负反馈系统的开环传递函数为：

$$G_k(s) = \frac{K}{s(s+1)(s+2)}$$

问题 1:用 Routh 稳定判据确定系统稳定时，开环放大系数  $K$  值的范围。

该系统特征方程为  $1+G_k(s)=0$ ，即  $s^3+3s^2+2s+k=0$ ，由三阶系统稳定的充要条件得

$$0 < K < 6$$

表 4(根据计算结果填写下表数据)

稳定性	临界稳定下限-1	临界稳定下限	稳定	临界稳定上限	临界稳定上限+1
K	-1	0	3	6	7



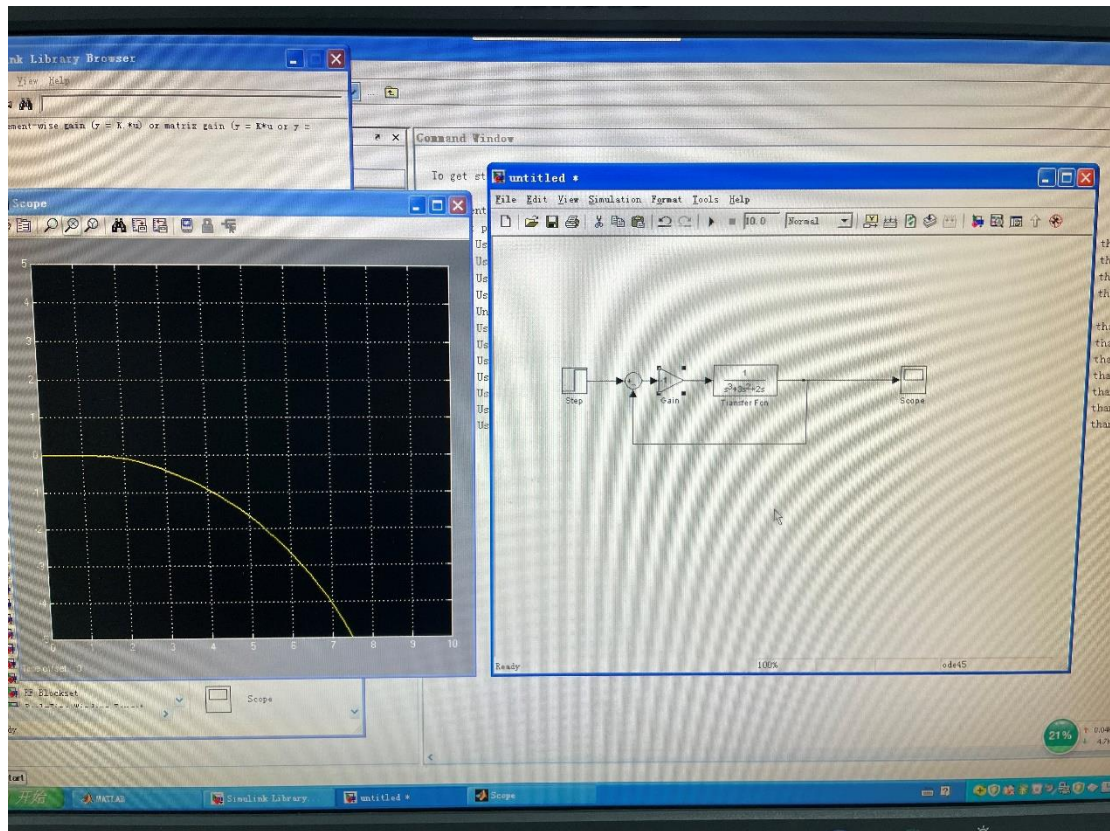


图 6 K=临界稳定下限-1 时响应曲线截图

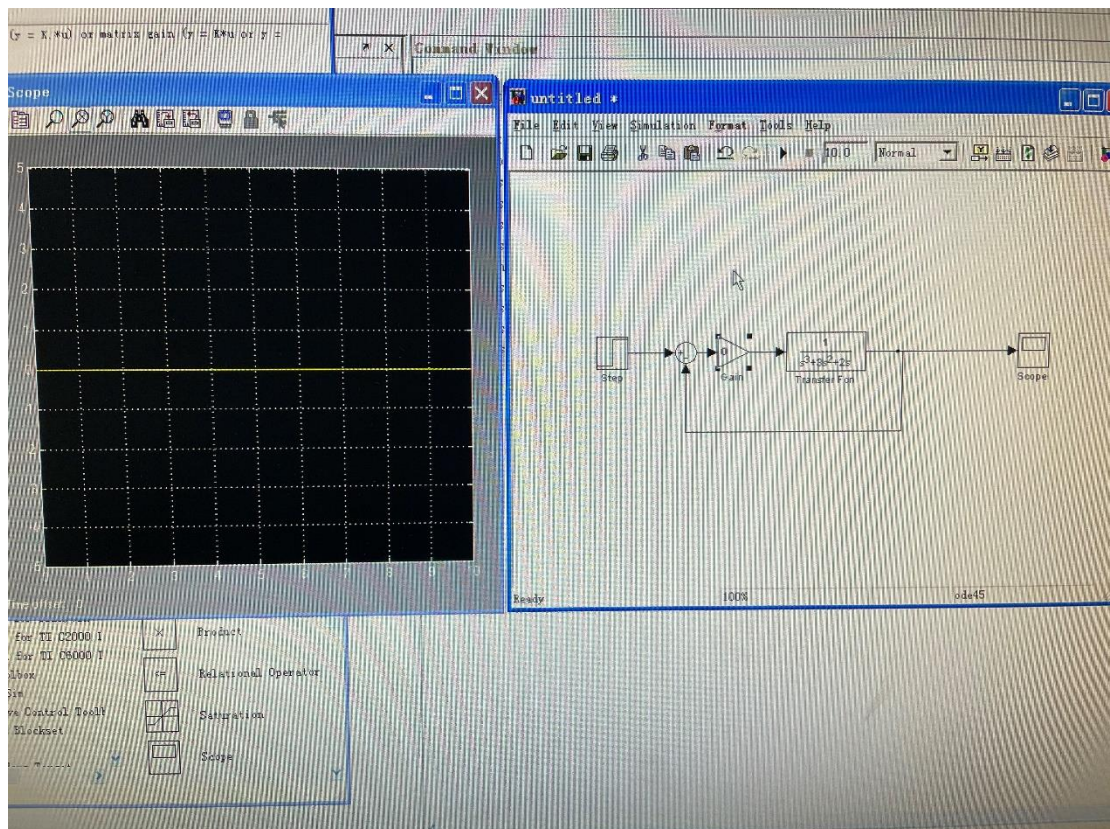


图 7 K=临界稳定下限值时响应曲线截图



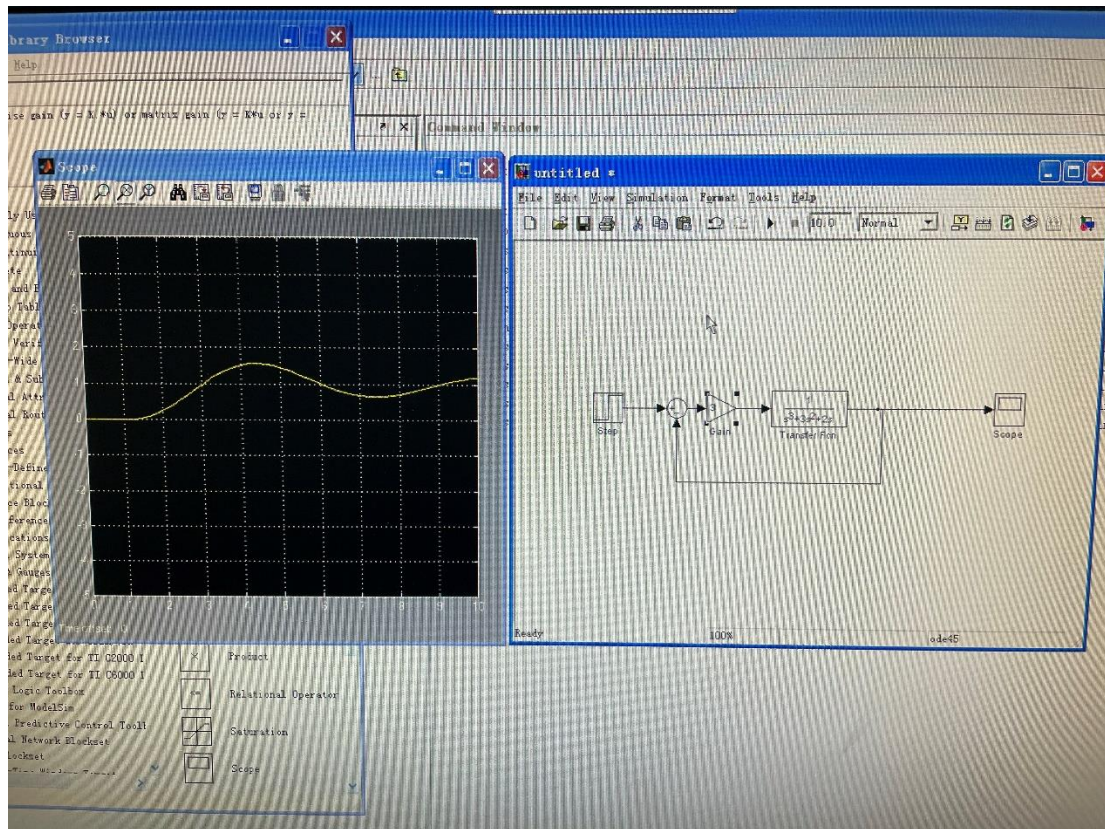


图 8 K=稳定值时响应曲线截图

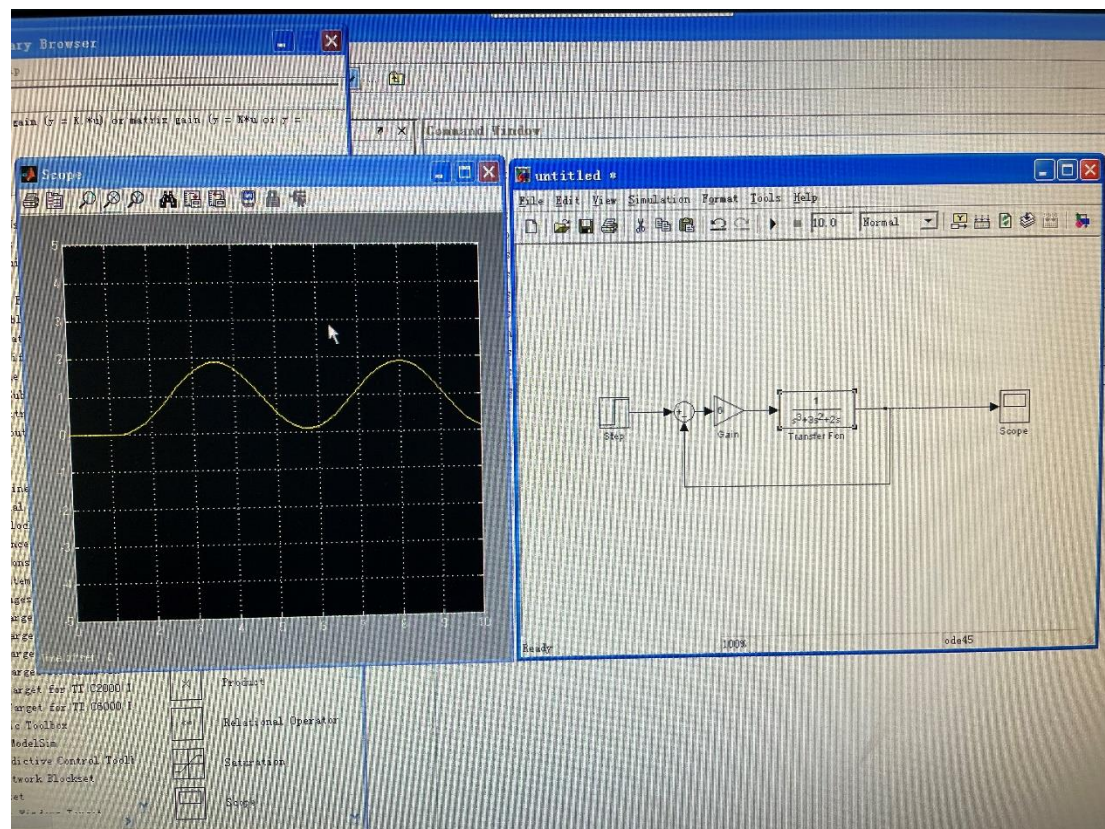


图 9 K=临界稳定上限值时响应曲线截图



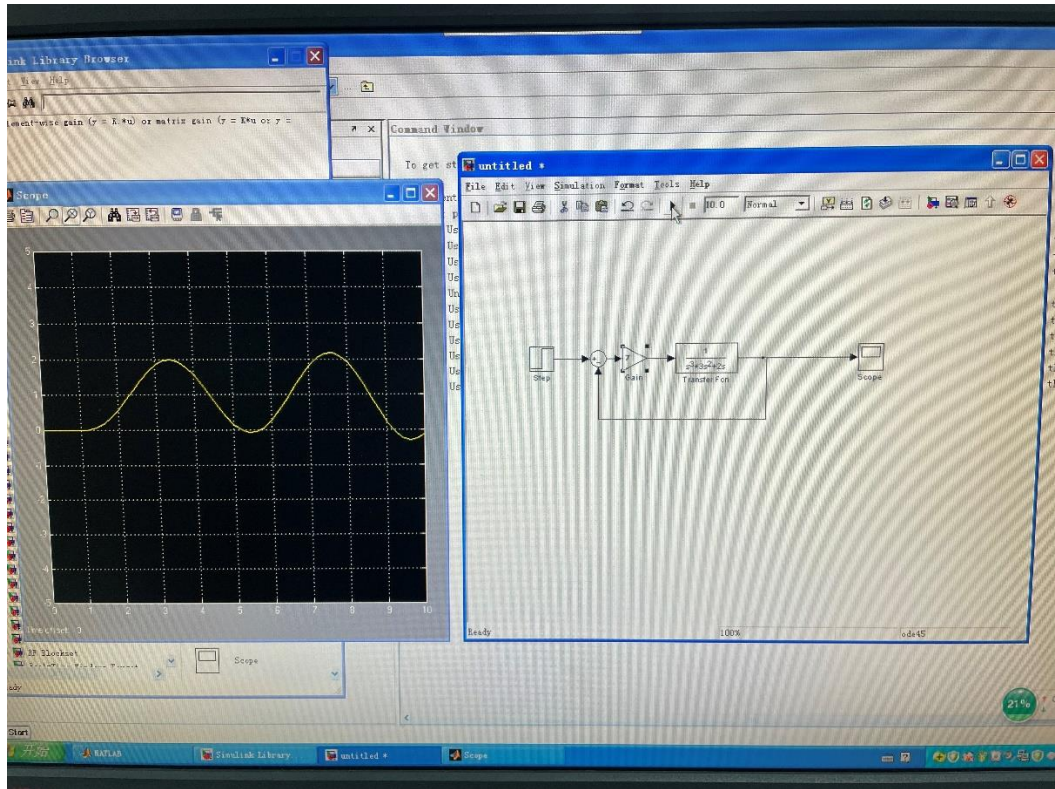


图 10 K=临界稳定上限+1 时响应曲线截图

问题 2:运用 MATLAB 的 margin 函数求系统的幅值裕度与相位裕度，分析系统的相对稳定性。（表 1 稳定、临界和不稳定三种情况各选取一种）

	Margin 函数调用上下文	幅值裕度	相位裕度
稳定	sys=tf(3,[1 3 2 0]) margin(sys)	3.52dB	11.4o
临界	sys=tf(6,[1 3 2 0]) margin(sys)	5.79e-15dB	2.34e-05o
不稳定	sys=tf(7,[1 3 2 0]) margin(sys)	-1.34dB	-4.09o
上下文：在 Matlab 中操作，输入命令参数,输出结果的文本			

若相位裕度小于 0，幅值裕度（dB）小于 0，则系统不稳定，若相位裕度大于 0，幅值裕度（dB）大于 0，则系统稳定。

思考题：评定系统的相对稳定性，幅值裕度与相位裕度是否需要同时考虑？在工程控制中，幅值裕度与相位裕度的取值范围是什么？

评定系统的相对稳定性，幅值裕度与相位裕度需要同时考虑；在工程控制中，相位裕度 0-45 度，一般取 35 度左右；幅值裕度大于 0，无穷大最好。

## 实验三

实验项目名称：基于 Matlab 的 PID 控制器设计、编程与分析

实验项目性质：上机

所属课程名称：控制工程

实验计划学时：2

### 一、实验目的与要求

#### 1.1 实验目的

- 1、熟练使用 Matlab 进行控制系统仿真的基本过程；
- 2、掌握 PID 控制的基本规律；
- 3、掌握 PID 控制中三个参数的影响。

#### 1.2 实验要求

- (1) 在 Matlab 平台上，构建模拟 PID 仿真控制模型；
- (2) 分析参数  $K_p$ 、 $T_i$  和  $T_d$  的影响。

### 二、实验方案与结果处理

1. 实验原理图如图所示。其中， $G(s) = \frac{1}{s^3 + 2s^2 + 2s + 1}$ 。

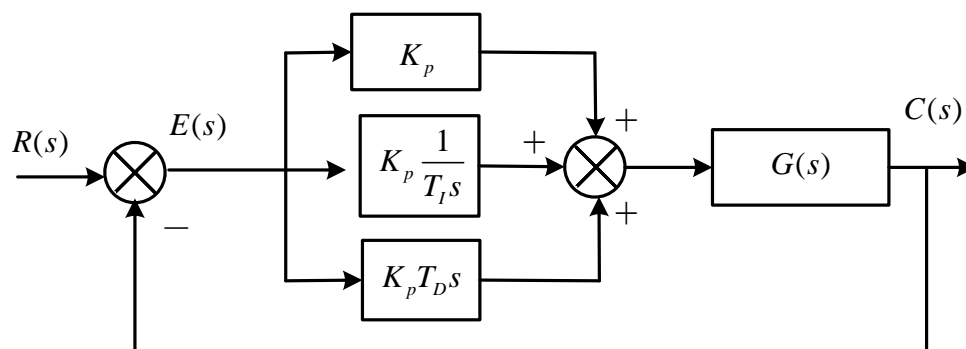


图 11 实验原理图



源代码 1:

```
/*在格子里复制 M 文件源代码 PID 控制器仅为比例控制器，没有积分和微分  
环节，Kp 取[0.1 1]中的 5 组数据*/  
  
%创建被控对象的传递函数  
G=tf(1,[1 2 2 1]);  
%设定 PID 的参数  
kp=0.2 : 0.2 : 1.0;  
ti=0;  
td= 0;  
Index_Str={};  
for i=1:length(kp)  
    %比例积分微分控制器的传递函数  
    Gc_PID=kp(i);  
    %求取单位负反馈闭环传递函数  
    Gcc_PID=feedback(Gc_PID*G, 1);  
    %计算单位阶跃响应，并绘图  
    step(Gcc_PID)  
    %图形叠加  
    hold on  
    %编写每条曲线的注释字符串  
    Index_Str{i}=strcat('kp=',num2str(kp(i)));  
end  
%右上角标注各曲线注释  
legend(Index_Str)
```

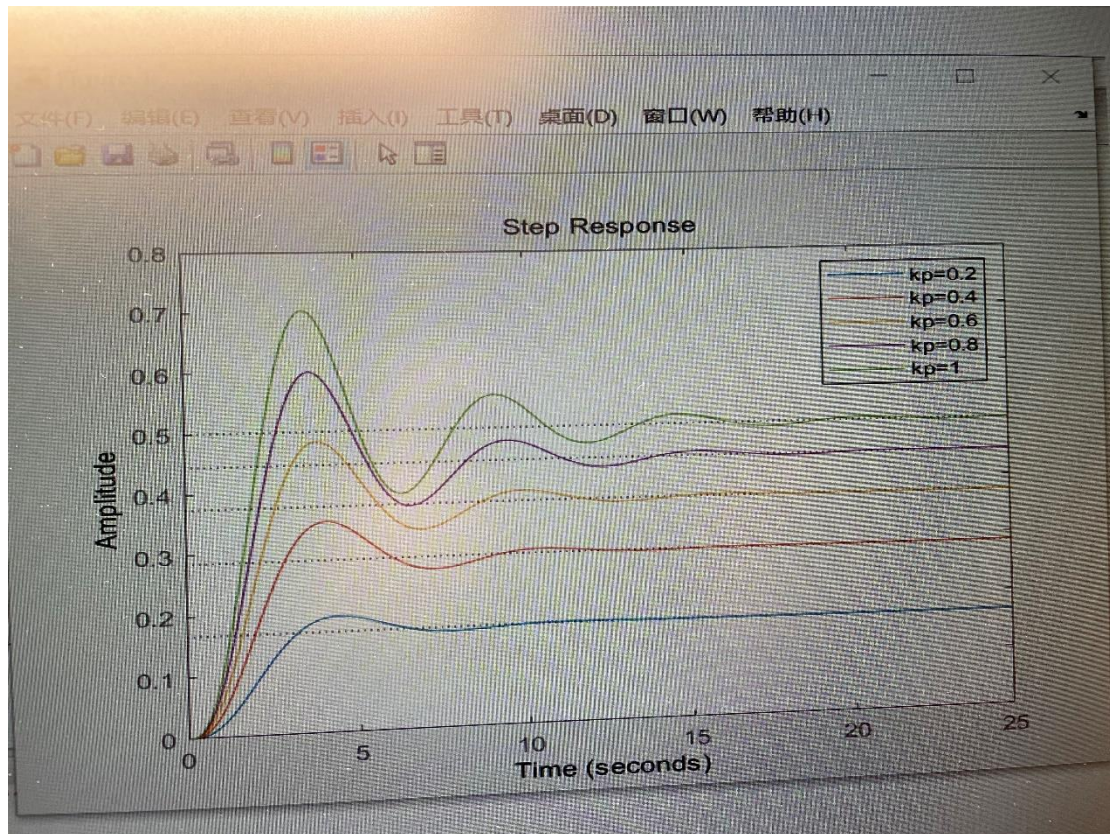


图 12 对应源代码 1 的响应曲线

问题 1: 分析  $K_p$  参数的影响

$K_p$  越大, 偏差减小的越快, 但很容易引起振荡,  $K_p$  减小, 发生振荡的可能性减小, 但调节速度也会变慢。

源代码 2:

```
//在格子里复制 M 文件源代码 PID 控制器为比例积分控制, 没有微分环节。
设定  $K_p=1$ ,  $T_i$  取[1.5 2.5]中的 5 组数据
```

```
%创建被控对象的传递函数
```

```
G=tf(1,[1 2 2 1]);
```

```
%设定 PID 的参数
```

```
kp=1;
```

```
td=1;
```

```
% $T_i$  取[1.5 2.5]中的 5 组数据
```

```
ti=[1.5 : 0.2 : 2.5];
```



```

for i=1:5

    %比例积分微分控制器的传递函数
    Gc_PID=tf(kp*[ti(i)*td ti(i) 1], [ti(i) 0]);

    %求取单位负反馈闭环传递函数
    Gcc_PID=feedback(Gc_PID*G, 1);

    %计算单位阶跃响应，并绘图
    step(Gcc_PID)

    %图形叠加
    hold on

    %编写每条曲线的注释字符串
    Index_Str(i,:)=strcat('kp=1,ti=',num2str(ti(i)),',td=1');

end

%右上角标注各曲线注释
legend(Index_Str)

```

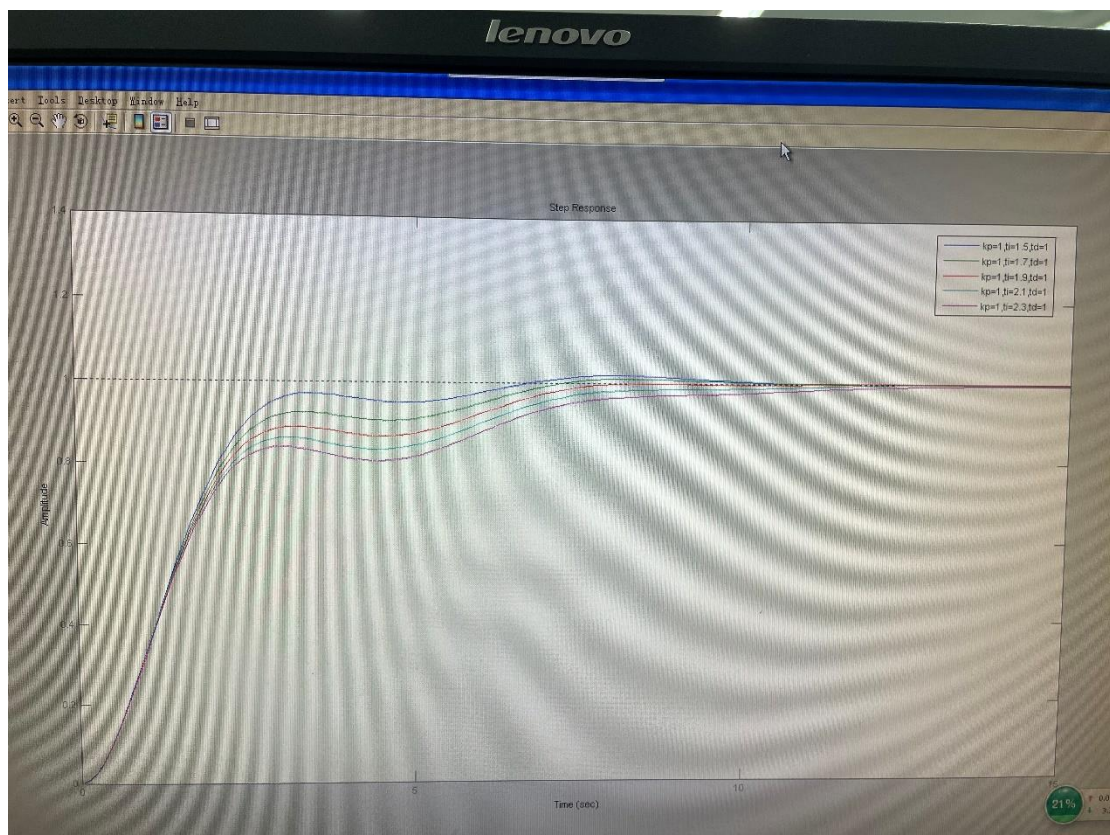


图 13 对应源代码 2 的响应曲线

## 问题 2: 分析 $T_i$ 参数的影响

积分时间常数  $T_i$  越小, 消除系统的稳态误差能力越强, 系统抗高频干扰能力越强, 但  $T_i$  过小会使系统的稳定性下降。

源代码 3:

```
//在格子里复制 M 文件源代码 PID 控制器为标准的比例积分微分控制器。设定  $K_p=1$ ,  $T_i=1$ ,  $T_d$  取[0.5 1.3]中的 5 组数据
```

```
%创建被控对象的传递函数
G=tf(1,[1 2 2 1]);
%设定 PID 的参数
kp=1.0;
ti=1.0;
td=0.5:0.2:1.3;
Index_Str={};
for i=1:length(td)
    %比例积分微分控制器的传递函数
    Gc_PID=tf(kp*[ti*td(i) ti 1], [ti 0]);
    %求取单位负反馈闭环传递函数
    Gcc_PID=feedback(Gc_PID*G, 1);
    %计算单位阶跃响应, 并绘图
    step(Gcc_PID)
    %图形叠加
    hold on
    %编写每条曲线的注释字符串
    Index_Str{i}=strcat('kp=1.0,ti=1.0,td=',num2str(td(i)));
end
%右上角标注各曲线注释
legend(Index_Str)
```



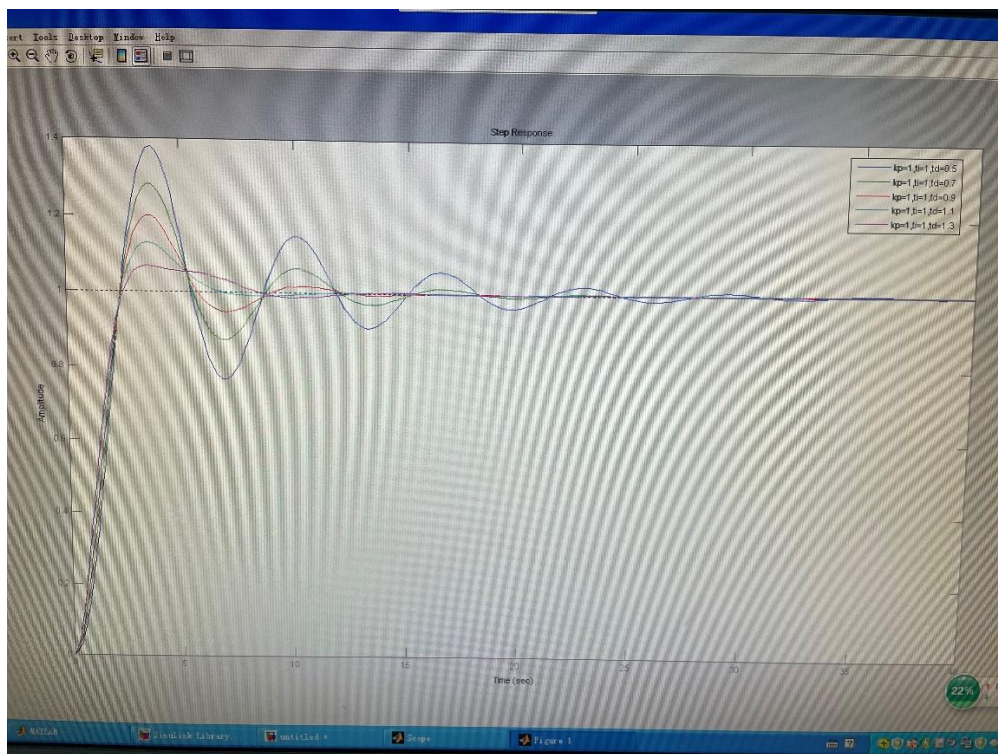


图 14 对应源代码 3 的响应曲线

### 问题 3: 分析 $T_d$ 参数的影响

$T_d$  增大会使截止频率和相角裕度进一步增大, 从而进一步减小超调量和调节时间, 以此提高系统的快速性和平稳性。