北京航空航天大學
BEIHANG UNIVERSITY

# 自动控制原理实验 A(1) 实验报告


| | |
|---|---|
| 院(系)名称 | 高等理工学院 |
| 学　　号 | 16231235 |
| 姓　　名 | 李谨杰 |
| 指 导 教 师 | 崔老师 |


2018 年 10 月 23 日

# 实验一　二阶系统的电子模拟及时域响应的动态测试

实验时间：2018. 11. 23　实验编号：　　　　同组同学：无

## 一、实验目的

1. 精通在电子模拟机上建立典型环节系统的方法。
2. 掌握阶跃响应的测试方法。
3. 理解一、二阶系统阶跃响应及其性能指标与参数之间的关系。

## 二、实验内容

1. 建立一阶系统的电子模型,观测并记录在不同时间常数 T 时的跃响应曲线,并测定其过渡过程时间 TS，填写表格。

2. 建立二阶系统的电子模型,观测并记录在不同阻尼比ζ时的跃响应曲线,并测定其超调量 σ%及过渡过程时间 TS，填写表格。

## 三、实验原理

一阶系统：　系统传递函数为：　$\emptyset(S)=\frac{C(S)}{R(S)}=\frac{K}{TS+1}$

模拟运算电路如图 1- 1 所示：

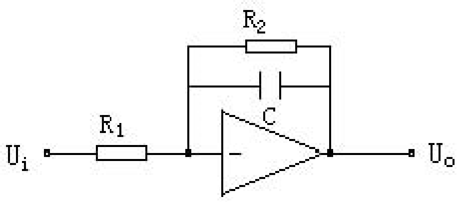



图 1- 1

由图 1-1 得　$\frac{U_0(S)}{U_i(S)}=\frac{R2/R1}{R_2CS+1}=\frac{K}{TS+1}$

在实验当中始终取 R2= R1，则 K=1，T= R2C 取不同的时间常数 T 分别为：0.25、 0.5、1

2．二阶系统:

其传递函数为：　$\phi(S)=\frac{C(S)}{R(S)}=\frac{\omega_n^2}{S^2+2\zeta\omega_n S+\omega_n^2}$

令$\omega_n$=1 弧度/秒，则系统结构如图 1-2 所示：

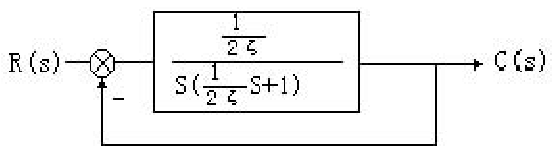



图 1-2

根据结构图，建立的二阶系统模拟线路如图 1-3 所示：

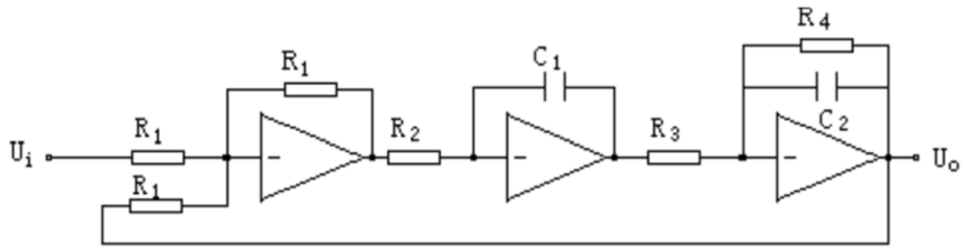



图 1-3

取 R2C1=1 ，R3C2 =1，则 $\frac{R_4}{R_3}=R_4C_2=\frac{1}{2\xi}$ 及　$\xi=\frac{1}{2R_4C_2}$

ζ 取不同的值 ζ =0.25 ，ζ =0.5 ，ζ =0.707，ζ =1

## 四、实验设备

1. 数字计算机
2. 电子模拟机
3. 万用表
4. 测试导线

## 五、实验步骤

1. 熟悉 HHMN-1 型电子模拟机的使用方法，将各运算放大器接成比例器，通电调零。

2. 断开电源，按照实验说明书上的条件和要求，计算电阻和电容的取值，按照模拟线路图搭接线路。

3. 谨慎连接输入、输出端口，不可接错（参见注意事项 1）。线路接好后，经教师检查后再通电。

4. 在 Windows 桌面用鼠标双击“MATLAB”图标后进入，在命令行处键入“autolab”进入实验软件系统。

5. 在系统菜单中选择实验项目，选择“实验一”，在窗口左侧选择“实验模型”，其它步骤察看概述 3.2 节内容。

6. 观测实验结果，记录实验数据（参见注意事项 2），及时绘制实验结果图形（参见注意事项 3），填写实验数据表格，完成实验报告。

7. 研究性实验方法。

实验者可自行确定典型环节传递函数，并建立系统的 SIMULINK 模型，验证自动控制理论相关的理论知识。实现步骤可察看概述 3.3 节内容。

## 六、实验结果

**1.** 一阶系统

| T | 0.25 | 0.5 | 1 |
|---|---|---|---|
| R2 | 250kΩ | 500Ω | 1MΩ |
| C | 1uF | 1uF | 1uF |
| Ts 实测/s | 0.78 | 1.77 | 3.21 |
| Ts 理论/s | 0.75 | 1.50 | 3.00 |
| 阶跃响应曲线 | 图 1-4 | 图 1-5 | 图 1-6 |

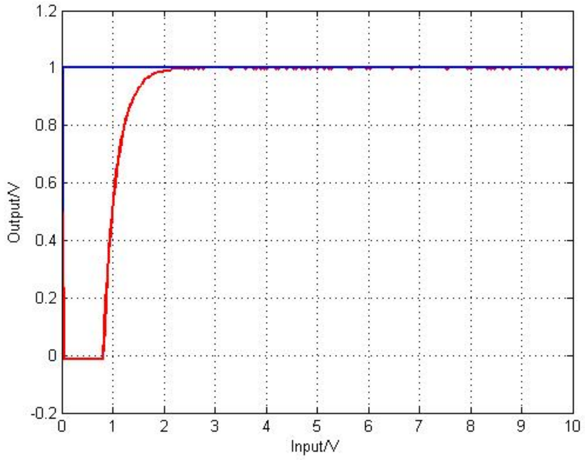



图 1-4 一阶系统阶跃响应 T=0.25 实测曲线

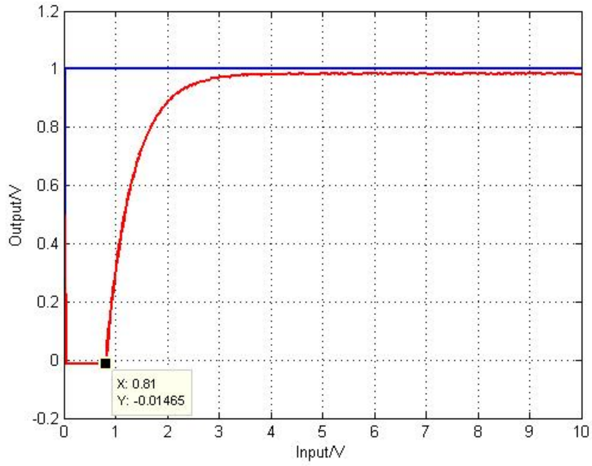



图 1-5 一阶系统阶跃响应 T=0.50 实测曲线

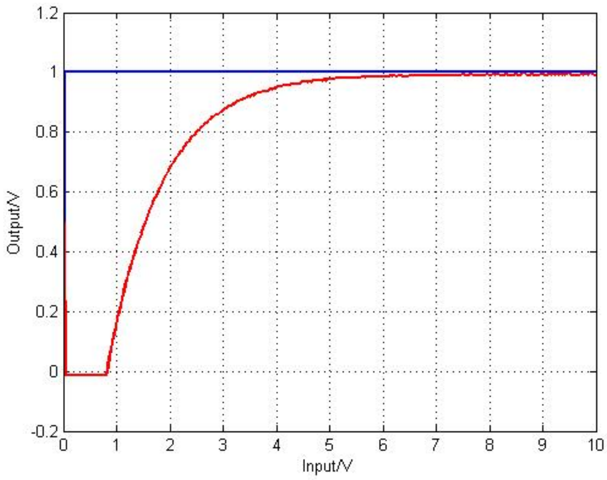



图 1-6 一阶系统阶跃响应 T=1.00 实测曲线

**2. 二阶系统：**

| ς | 0.250 | 0.500 | 0.707 | 1.000 |
|---|---|---|---|---|
| R4 | 2MΩ | 1MΩ | 707kΩ | 500kΩ |

| C2 | 1uF | 1uF | 1uF | 1uF |
|---|---|---|---|---|
| σ%实测 | 44% | 15.2% | 4.0% | 0% |
| σ%理论 | 44.5% | 16.3% | 4.3% | 0 |
| Ts 实测/s | 11.1 | 5.31 | 3.09 | 5.25 |
| (5%)Ts 理论/s | 10.8 | 5.30 | 2.95 | 4.75 |
| 阶跃响应曲线 | 图 1-7 | 图 1-8 | 图 1-9 | 图 1-10 |

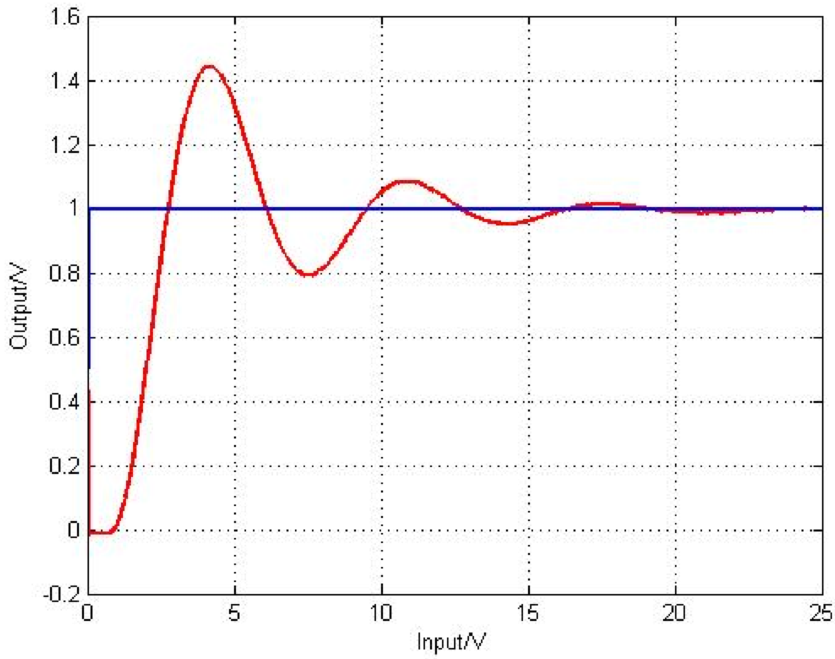



图 1-7 二阶系统阶跃响应ξ=0.25 实测曲线

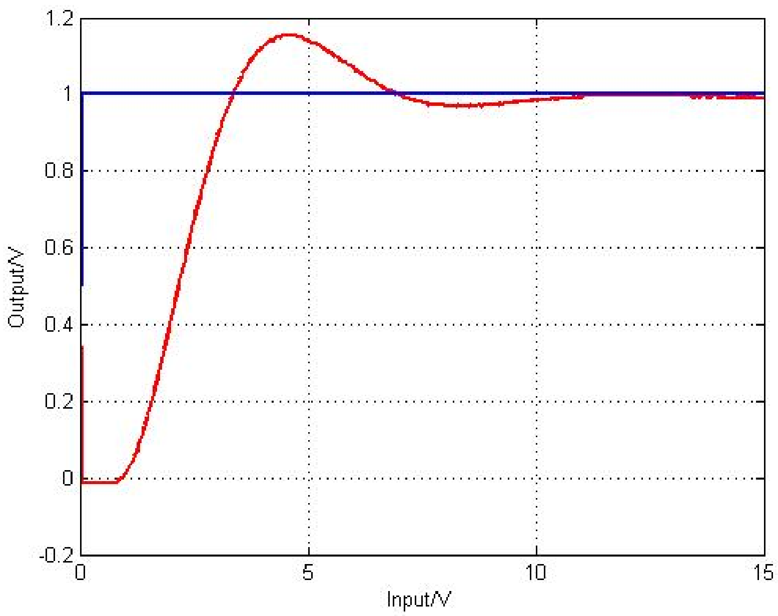



图 1-8 二阶系统阶跃响应ξ=0.5 实测曲线

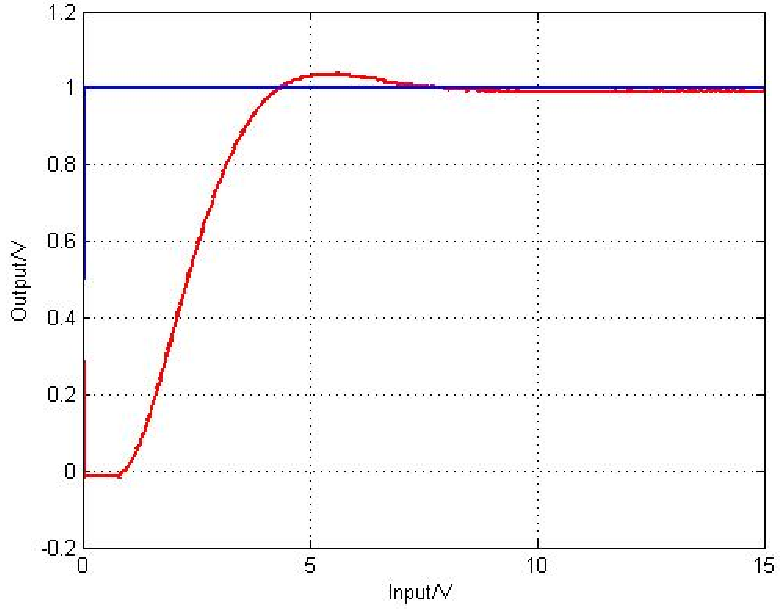



图 1-9 二阶系统阶跃响应ξ=0.707 实测曲线

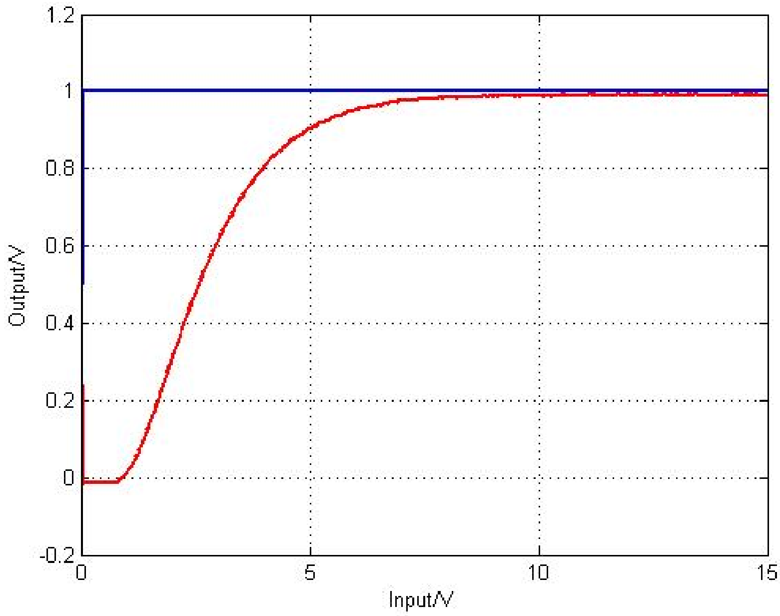



图 1-10 二阶系统阶跃响应ξ=1 实测曲线

## 七、结果分析

### 1. 误差分析

一阶系统：

计算调节时间误差的公式为：$\frac{\left|T_{s理}-T_{s实}\right|}{T_{s理}}\times 100\%$

经计算：

| T/s | 0.25 | 0.5 | 1 |
|---|---|---|---|

| | | | |
|---|---|---|---|
| 误差 | 4% | 18% | 7% |

二阶系统：

计算调节时间误差的公式为：$\frac{\left|T_{s理}-T_{s实}\right|}{T_{s理}}\times 100\%$

计算超调量误差的公式为：$\frac{\left|\sigma_{理}-\sigma_{实}\right|}{\sigma_{理}}\times 100\%$

经计算，结果为：

| ς | 0.250 | 0.500 | 0.707 | 1.000 |
|---|---|---|---|---|
| Ts 误差 | 2.78% | 0.19% | 4.75% | 10.53% |
| 超调量 σ 误差 | 1.12% | 6.75% | 6.98% | |

从实验结果可以看出，无论是一阶系统还是二阶系统，均有不同程度的误差。可能的原因有以下几点：

1. 实际电路电阻、电感的值与理想值有出入，造成随机误差。
2. matlab 横坐标与游标的精度不够，造成读数时存在约等的情况，造成误差。
3. 实际电路产生阶跃信号有一定的延迟时间，对延迟时间长度的判断会造成误差。
4. 运放的放大倍率有限，与理想的无限放大倍率不同。
5. 实验 AD 转换时可能造成误差。

## 2. 性能指标分析

（1）一阶系统

1. 单位阶跃响应是单调上升曲线。
2. 曲线特性由 T 唯一决定，T 越小，过渡过程进行的越快，系统的快速性越好。
3. 没有稳态误差。

（2）二阶系统

1. 平稳性：由曲线可以看出，阻尼比 ς 越大，超调量 σ 越小，响应的振荡倾向越弱，平稳性越好。反之阻尼比 ς 越小，超调量 σ 越大，振荡越强，平稳性越差。
2. 快速性：由曲线的对比可以看出，ς 过大，如接近于 1，系统响应迟钝，调节时间 Ts 长，快速性差；ς 过小，虽然响应的起始速度较快，但因为振荡强烈，衰减缓慢，所以调节时间 Ts 也长，快速性差。从实验中可以看到 ς=0.707 时，Ts 最短，即快速性最好，此时的平稳性也让人满意。
3. 稳态精度：对于欠阻尼和临界阻尼的情况下，单位阶跃响应是不存在稳态误差的。

# 八、收获、体会及建议

第一次自控实验让我充分了解了自控实验的实验流程，加深了对一二阶系统阶跃响应的认识。通过这次实验我明白，只有经过充分的预习与 MATLAB 仿真，才可以高效率，高精度地完成实验。

# 附录 MATLAB 代码

```
clc;
clear;
k=1;
t=0:0.05:20;
G=tf(1,[1,2*k,1]);
step(G,t);
title('二阶曲线');
xlabel('t/s');
ylabel('c(t)');
```

# 实验二　高阶系统性能分析与数值仿真实验

实验时间：2018.11.6　实验编号：　　　　同组同学：无

## 一、实验目的

通过本实验掌握利用四阶龙格—库塔法进行控制系统数字仿真的方法，并分析系统参数改变对系统性能的影响。

## 二、实验内容

1、高阶系统稳定性分析

已 知 系 统 结 构 图 如 图 2.1 所 示 。

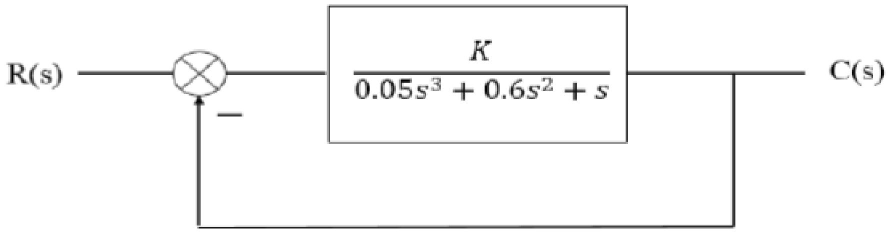
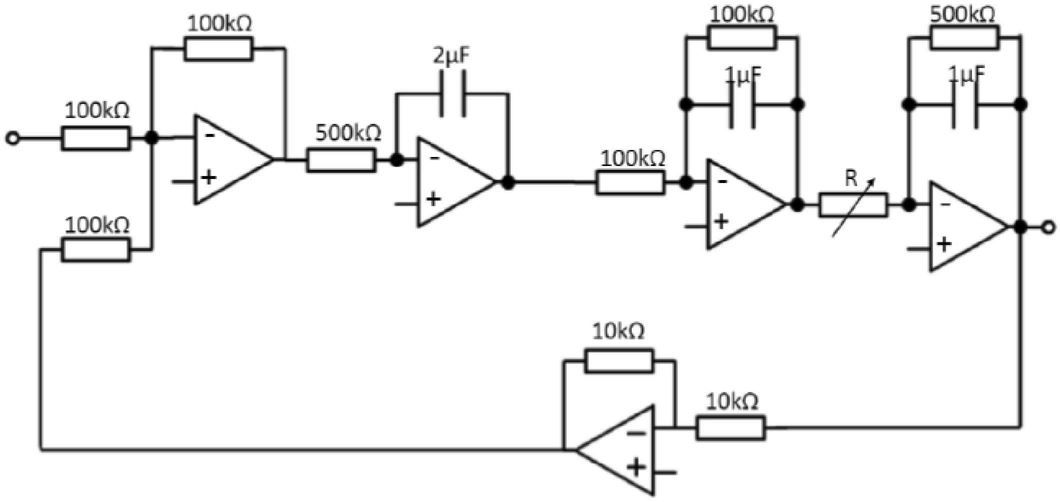



图 2.1 系统结构图 1

计算闭环系统的临界稳定增益 K。分别采用劳斯（Routh）判据和根轨迹法求解。

分别取 3 个 K 值，使系统产生衰减振荡、等幅振荡、发散振荡。（采用 Matlab 进行仿真，得到三种情况下的响应曲线）

搭建实验电路实现上述传递函数。




开环增益 K=500kΩ/R，调整可变电阻 R 可以改变 K 值

2、控制系统数值仿真

已知系统结构图如图 2.2 所示。

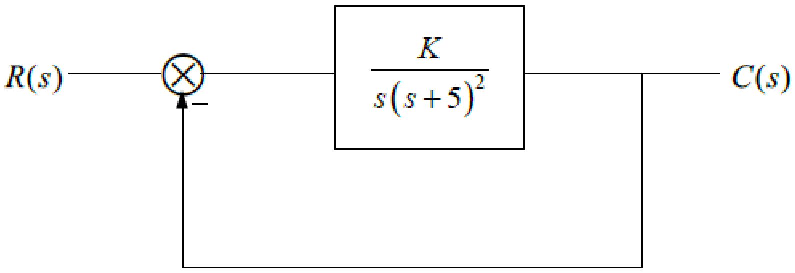



图 2.2  系统结构图 2

若输入为单位阶跃信号，计算当超调量分别取为 5%、25%和 50%时 K 的取值（用主导极点方法估算），并根据确定的 K 值在计算机上进行数字仿真。

## 三、实验原理

1. 四阶—龙格库塔法

若一阶微分方程如下：

$$\begin{cases} \dot{y}(t) = f\left(t, y(t)\right) \\ y(t_0) = y_0 \end{cases} \tag{2-4-1}$$

则在 $t_{n+1}(t_{n+1} > t_0)$ 处，$y(t_{n+1})$ 的近似值为

$$y_{n+1} = y_n + \frac{h}{6}(k_1 + 2k_2 + 2k_3 + k_4) \tag{2-4-2}$$

式中：

$$\begin{aligned} & h = t_{n+1} - t_n \\ & k_1 = f(t_n, y_n) \\ & k_2 = f(t_n + \frac{1}{2}h, y_n + \frac{1}{2}hk_1) \\ & k_3 = f(t_n + \frac{1}{2}h, y_n + \frac{1}{2}hk_2) \\ & k_4 = f(t_n + h, y_n + hk_3) \\ & n = 0, 1, 2, \ldots\ldots \end{aligned}$$

如果微分方程是如下形式的向量微分方程：

$$\begin{cases} \dot{X}(t) = F\left(t, X(t), u(t)\right) \\ X(0) = X_0 \end{cases} \tag{2-4-3}$$

其中，$X(t)$是 $m$ 维向量，$t$ 和 $u(t)$均为标量，则在 $t_{n+1}(t_{n+1} > t_0)$ 处，$X(t_{n+1})$的近似值为：

$$X_{n+1} = X_n + \frac{h}{6}(K_1 + 2K_2 + 2K_3 + K_4) \tag{2-4-4}$$

式中：

$$
\begin{aligned}
&h = t_{n+1} - t_n \\
&K_1 = F(t_n, X_n, u(t_n)) \\
&K_2 = F(t_n + \frac{h}{2}, X_n + \frac{h}{2}K_1, u(t_n)) \\
&K_3 = F(t_n + \frac{h}{2}, X_n + \frac{h}{2}K_2, u(t_n)) \\
&K_4 = F(t_n + h, X_n + hK_3, u(t_n)) \\
&n = 0,1,2,\ldots\ldots
\end{aligned}
$$

2. 控制系统仿真

设系统的闭环传递函数为：

$$\varphi(s) = \frac{y(s)}{u(s)} = \frac{c_1 s^{n-1} + c_2 s^{n-2} + \cdots + c_{n-1}s + c_n}{s^n + a_1 s^{n-1} + \cdots + a_{n-1}s + a_n} \tag{2-4-5}$$

引入中间变量 $v(s)$，则上式可化为$\frac{y(s)}{u(s)} = \frac{y(s)}{v(s)} \cdot \frac{v(s)}{u(s)}$。

令：

$$\frac{v(s)}{u(s)} = \frac{1}{s^n + a_1 s^{n-1} + \cdots + a_{n-1}s + a_n} \tag{2-4-6}$$

$$\frac{y(s)}{v(s)} = c_1 s^{n-1} + c_2 s^{n-2} + \cdots + c_{n-1}s + c_n \tag{2-4-7}$$

由以上两式可得如下两个微分方程

$$v^{(n)}(t) + a_1 v^{(n-1)}(t) + \cdots + a_{n-1}\dot{v}(t) + a_n v(t) = u(t) \tag{2-4-8}$$

$$y(t) = c_1 v^{(n-1)}(t) + c_2 v^{(n-2)}(t) + \cdots + c_{n-1}\dot{v}(t) + c_n v(t) \tag{2-4-9}$$

令：

$$
\begin{aligned}
&v^{(n-1)}(0) = v^{(n-2)}(0) = \cdots = \dot{v}(0) = v(0) = 0 \\
&x_1(t) = v(t), x_2(t) = \dot{v}(t), \cdots, x_n(t) = v^{(n-1)}(t)
\end{aligned}
$$

则式(2-4-8)可化为如下一阶微分方程组：

$$
\begin{cases}
\dot{x}_1(t) = x_2(t) \\
\dot{x}_2(t) = x_3(t) \\
\quad \vdots \\
\dot{x}_{n-1}(t) = x_n(t) \\
\dot{x}_n(t) = -a_n x_1(t) - a_{n-1}x_2(t) - \cdots - a_1 x_n(t) + u(t)
\end{cases} \tag{2-4-10}
$$

式(2-4-9)可写成：

$$y(t) = c_n x_1(t) + c_{n-1}x_2(t) + \cdots + c_1 x_n(t) \tag{2-4-11}$$

方程(2-4-10)和(2-4-11)可写成如下向量形式：

$$
\begin{cases}
\dot{X}(t) = AX(t) + bu(t) \\
y(t) = cX(t) \\
X(0) = 0
\end{cases} \tag{2-4-10}
$$

这里 $X(t)$为 $n$ 维列向量，$u(t)$为标量，$A$ 为$n \times n$常数矩阵，$b$ 为 $n$ 维列向量，$c$ 为 $n$ 维行向量，并分别具有如下形式：

$$X(t)=\begin{bmatrix}x_1(t)\\x_2(t)\\\vdots\\x_n(t)\end{bmatrix}\qquad b=\begin{bmatrix}0\\0\\\vdots\\1\end{bmatrix}\qquad A=\begin{bmatrix}0&1&0&\cdots&0\\0&0&1&\cdots&0\\\vdots&\vdots&\vdots&\vdots&\vdots\\0&0&0&\cdots&1\\-a_n&-a_{n-1}&-a_{n-2}&\cdots&-a_1\end{bmatrix}\qquad c=\left[c_n,c_{n-1},\cdots,c_1\right]$$

对比式(2-4-3)可得， $F\left(t,X(t),u(t)\right)=AX(t)+bu(t)$

## 四、实验设备

1. 数字计算机
2. 模拟机

## 五、实验步骤

### 高阶系统稳定性分析

1. 分别采用劳斯判据和绘制根轨迹方法计算 K 值（要写出计算过程）；

2. 根据结果选取 3 种情况下的 K 值，代入系统进行 Matlab 仿真；

3. 将三种情况的响应曲线记录保存。

### 控制系统数值仿真

1. 绘制系统根轨迹。

2. 参照系统根轨迹，分析系统性能，并确定主导极点，适当简化系统。

3. 计算系统阶跃响应超调量分别取为 5%、25%和 50%时 K 的取值。

4. 根据图 2.4.2，编写数值仿真程序。源程序代码附在报告里，并进行必要的注释。若选取计算步长为 h，输出打印步长为 mh（m 为正整数），共计算 N 步，则程序框图如下：

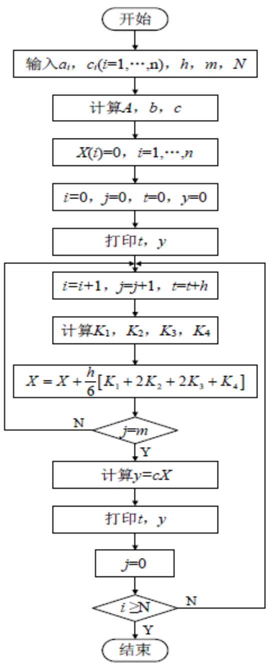



图 2.4.1 程序框图

5. 根据确定的 K 值在计算机上进行数字仿真，绘制不同 K 值下的系统阶跃响应曲线。

6. 分析系统阶跃响应曲线，计算性能指标与设计要求进行比较。

# 六、实验结果

## 6.1 高阶系统稳定性分析

1. 分别采用劳斯判据和绘制根轨迹方法计算 K 值（要写出计算过程）；

**1）劳斯判据法**

系统的闭环特征方程为

$$D(s)=0.05\times s^3+0.6\times s^2+s+K$$

列出劳斯表为：

| | | |
|---|---|---|
| $S^3$ | 0.05 | 1 |
| $S^2$ | 0.6 | K |
| S | $\dfrac{0.6-0.05K}{0.6}$ | 0 |
| 0 | 0.05 | 0 |

若使临界稳定，则有

$$0.6-0.05*K=0$$

所以 K=12。

**2）根轨迹法**

用 matlab 绘制根轨迹为：

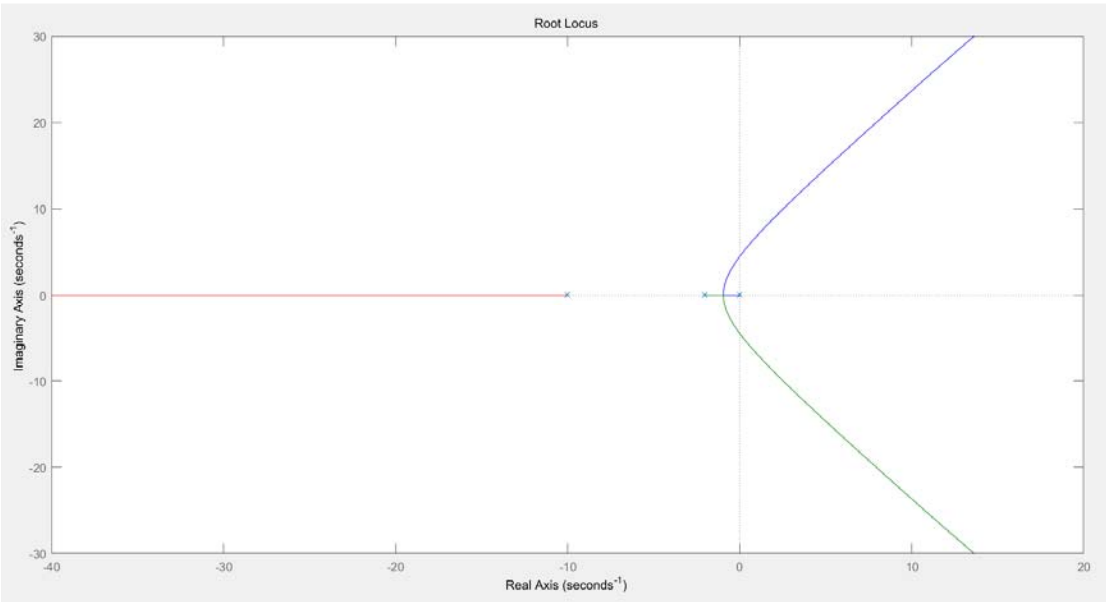


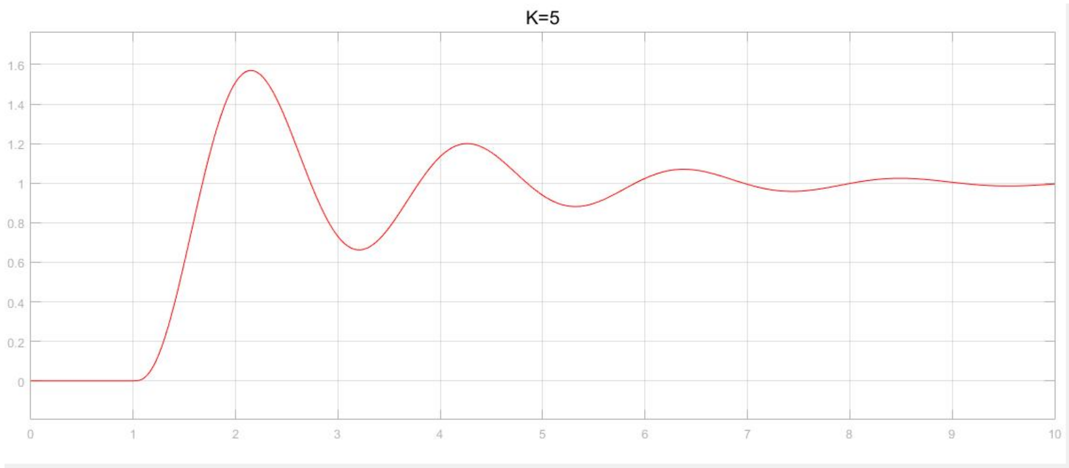
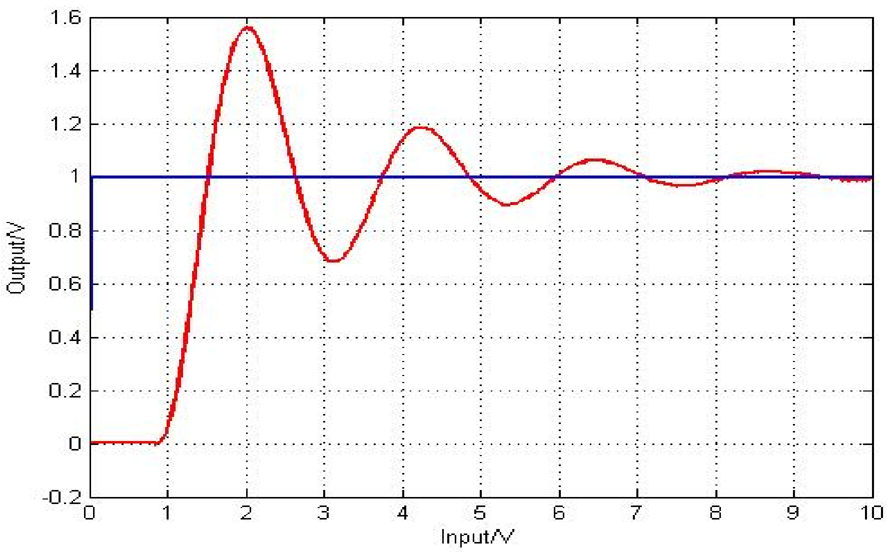

图 6.1 系统根轨迹图

求得临界增益 K=12。

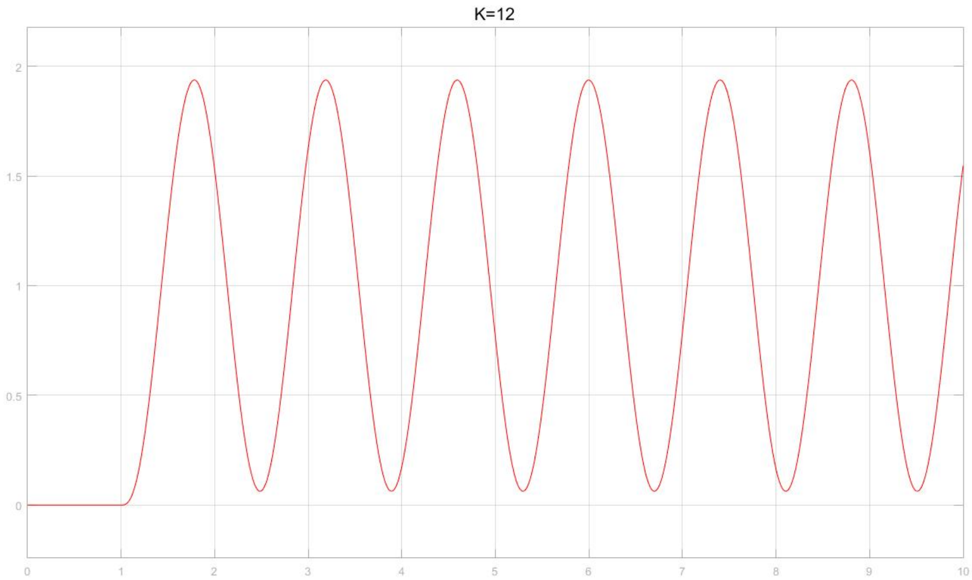
或者将 s=jw 代入闭环特征方程，实部虚部分别等于零，解得 K=12。

2. 仿真与实验

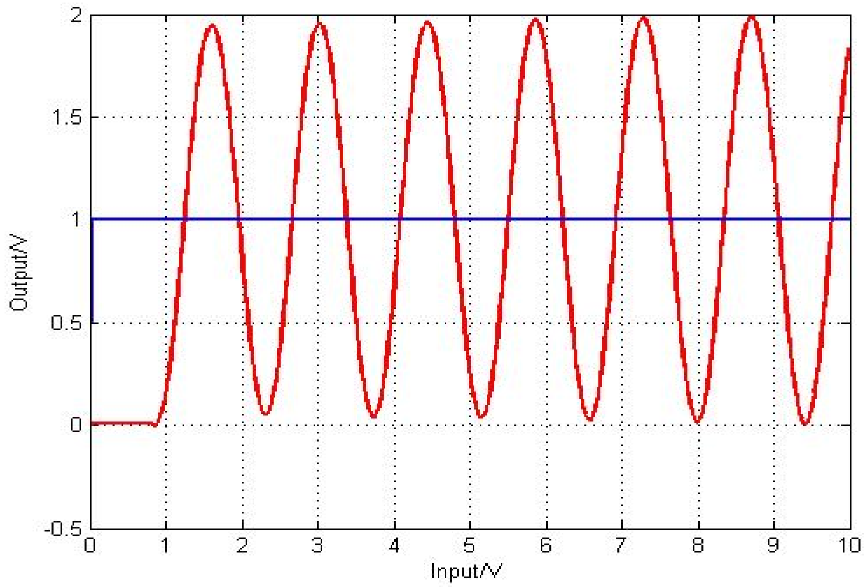
选取的 K 值分别为 K=5，K=12，K=20。仿真与实际结果记录如下：

| K=5　R=100kΩ |
| --- |
|  仿真曲线 |
|  实验曲线 |

| K=12　R=38kΩ |
| --- |

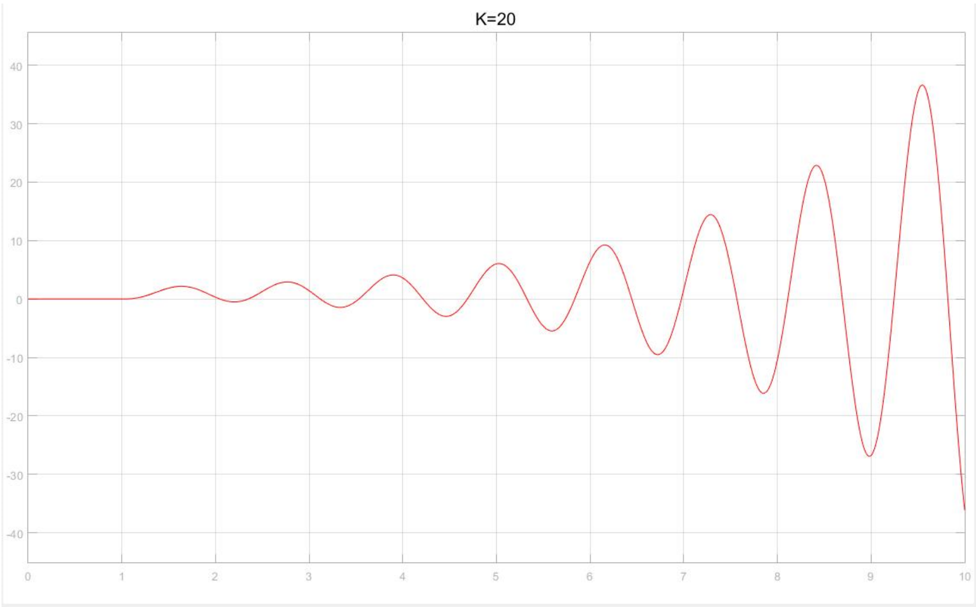



仿真曲线

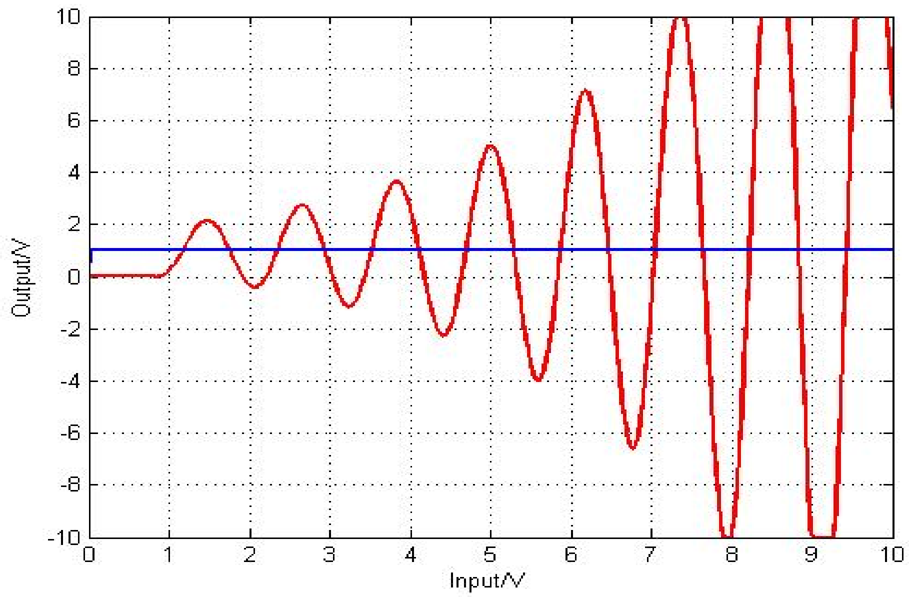



实验曲线

| K=20 R=25kΩ |
|---|

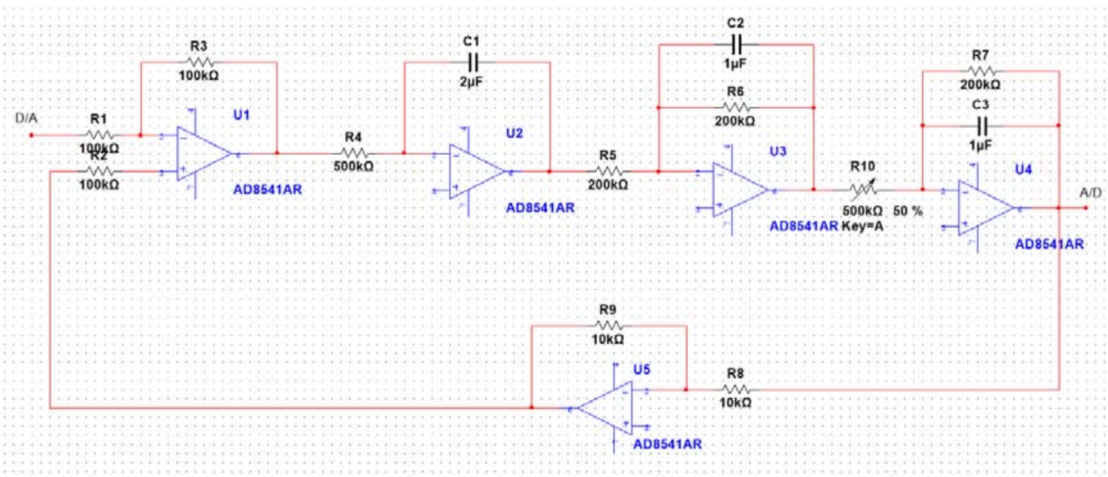



仿真曲线



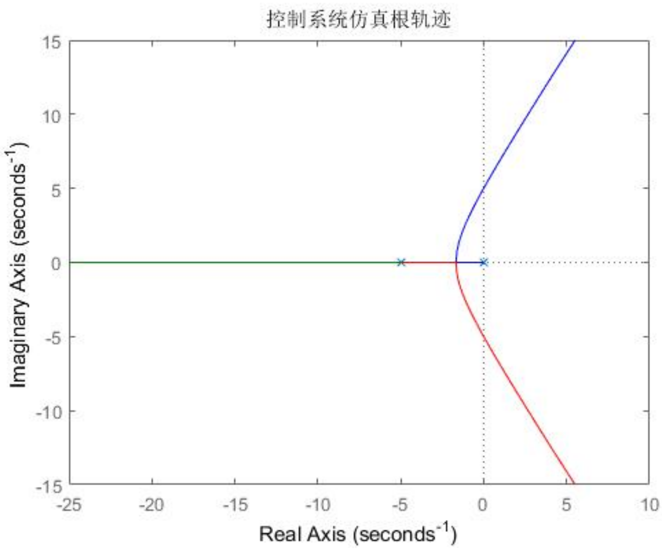

实验曲线

## 6.2 控制系统数值仿真



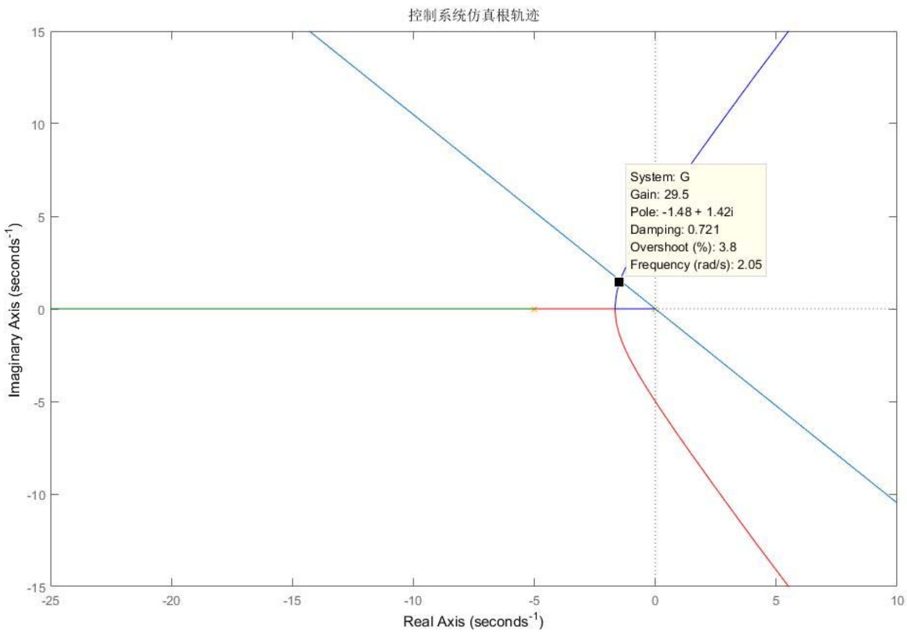

**实验电路图**

1. 绘制系统根轨迹。




2. 参照系统根轨迹，分析系统性能，并确定主导极点，适当简化系统。

主导极点为闭环传递函数中的离虚轴较远的极点。根轨迹里，做一条过原点，与负实轴夹角的余弦为阻尼比的直线，交点即为该阻尼比下的零点。以超调量 5% 为例，经计算知阻尼比为 0.690，画直线如下：




直线与根轨迹交于上下两点以及零点，距离虚轴最近的有上下两个点，故主导极点有两个，可以用二阶系统近似研究该系统。

3. 计算系统阶跃响应超调量分别取为 5%、25%和 50%时 K 的取值。

1）计算 K 值

二阶系统单位阶跃响应的超调量

$$\sigma\% = e^{\frac{-\pi\zeta}{\sqrt{1-\zeta^2}}} \times 100\%$$

1）当σ%=5%时

解得 ζ=0.690

设主导极点

$$S_{1,2}=\zeta a+j\sqrt{1-\zeta^2}a=0.69a+j0.72a$$

代入 D（s）= $s^3+10s^2+25s+K$=0 中，

$$(0.69a+j0.72a)^3+10(0.69a+j0.72a)^2+25(0.69a+j0.72a)+K=0$$

解得 K=31.3，a=-2.10

即 $s_{1,2}=-1.45\pm j1.52$

与前一问用根轨迹图求得的交点坐标较为接近。

2）当σ%=25%时

解得 ζ=0.403

设主导极点

$$S_{1,2}=\zeta a+j\sqrt{1-\zeta^2}a=0.403a+j0.915a$$

代入 D（s）= $s^3+10s^2+25s+K$=0 中，

$$(0.403a+j0.915a)^3+10(0.403a+j0.915a)^2+25(0.403a+j0.915a)+K=0$$

解得 K=59.5，a=-2.75

即 $s_{1,2}=-1.11\pm j2.53$

3）当 σ %=50%时

解得 ζ =0.215

设主导极点

$S_{1,2}$= ζ a+j$\sqrt{1-\zeta^2}$a=0.215a+j0.977a

代入 D（s）= $s^3+10s^2+25s+K$=0 中，

$$(0.215a+j0.977a)^3+10(0.215a+j0.977a)^2+25(0.215a+j0.977a)+K=0$$

解得 K=103，a=-3.48

即 $s_{1,2}=-0.75\pm j3.4$

附 matlab 解方程代码：

由超调量求 ζ：

```
clc;
clear;
th=0.05;
syms kesai
kesai=solve(th==exp(-pi*kesai/((1-kesai^2)^(1/2))));
```

由主导极点值代入特征方程求 K，a：

```
>> s1=0.69+0.72*1i;
>> s2=0.69-0.72*1i;
>> syms a k
>>[a,k]=solve((s1*a)^3+10*(s1*a)^2+25*(s1*a)==-k,(s2*a)^3+10*(s2*a)^2+25*(s2*a)==-k);
>> vpa(a,2)
>>vpa(k,2)
```

4. 根据图 2.4.2，编写数值仿真程序。源程序代码附在报告里，并进行必要的注释。若选取计算步长为 h，输出打印步长为 mh（m 为正整数），共计算 N 步，则程序框图如下：

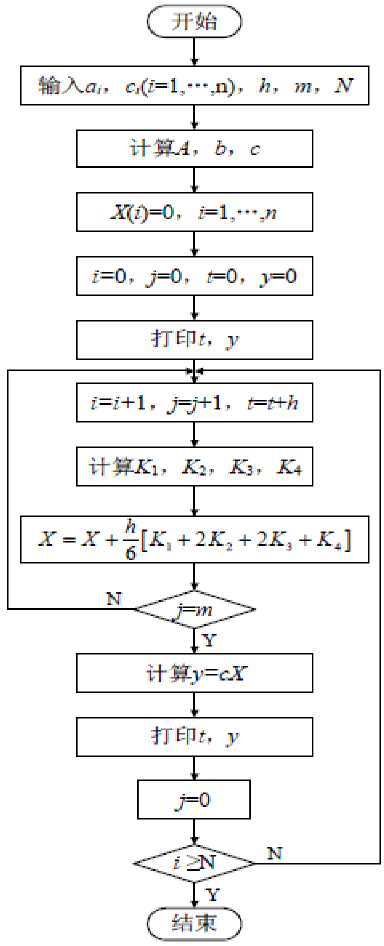
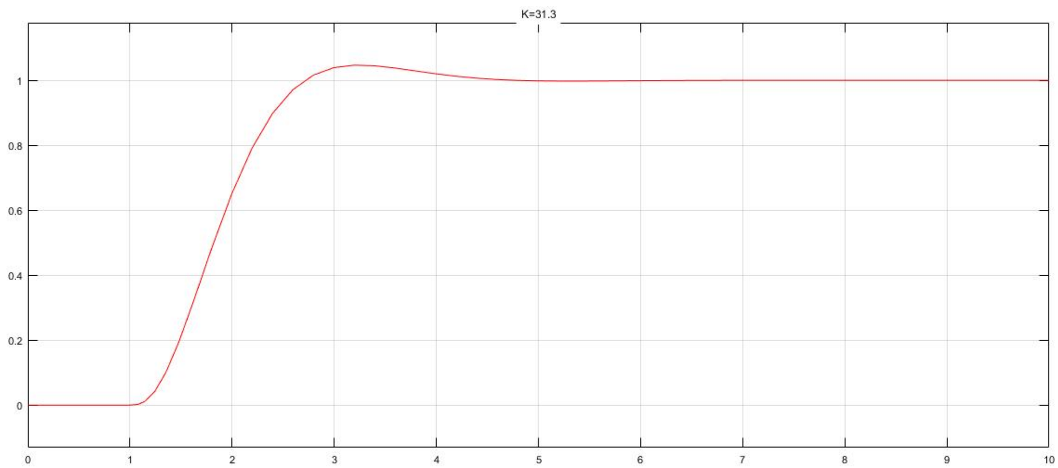
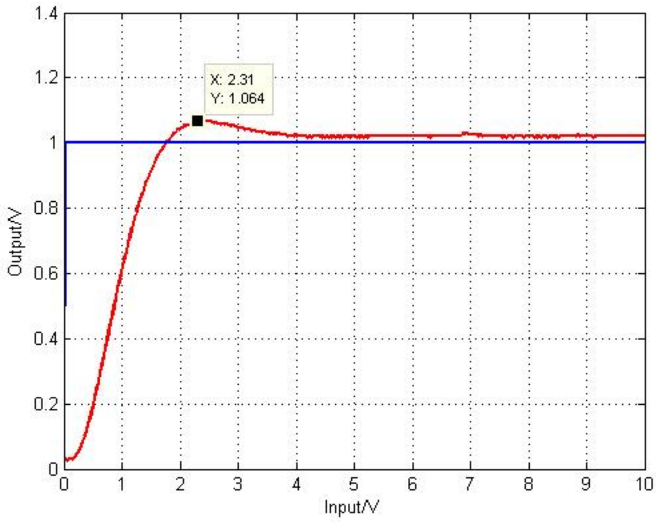



图 2.4.1 程序框图

程序附录在末尾。

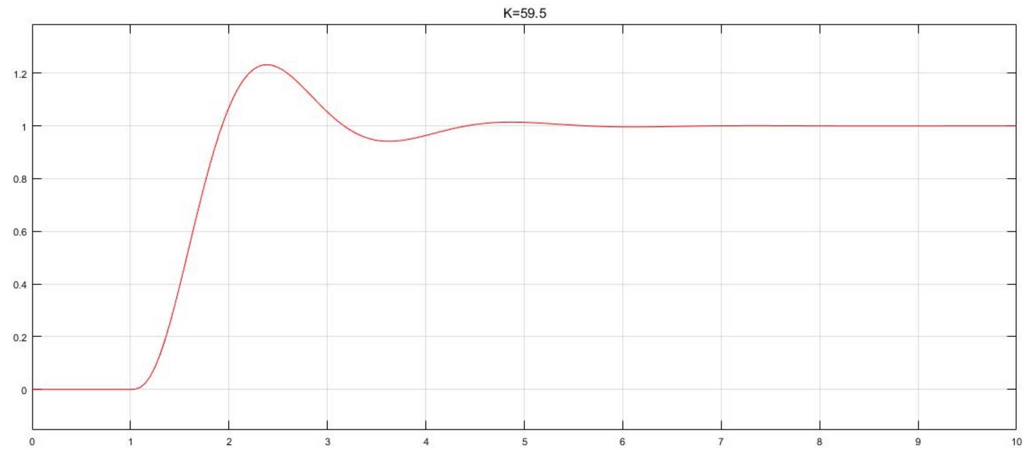
5. 根据确定的 K 值在计算机上进行数字仿真，绘制不同 K 值下的系统阶跃响应曲线。仿真与实际测得图像记录如下：

| σ=5%，K=31.3 |
| --- |
| 仿真图，测量超调量为 4.7%   |
| 实验图，测量超调量为 6.4% |

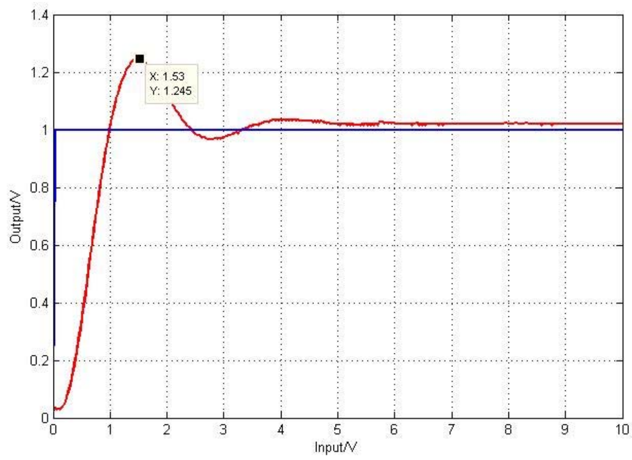



σ=25%，K=59.5

仿真图，测量超调量为 23.3%

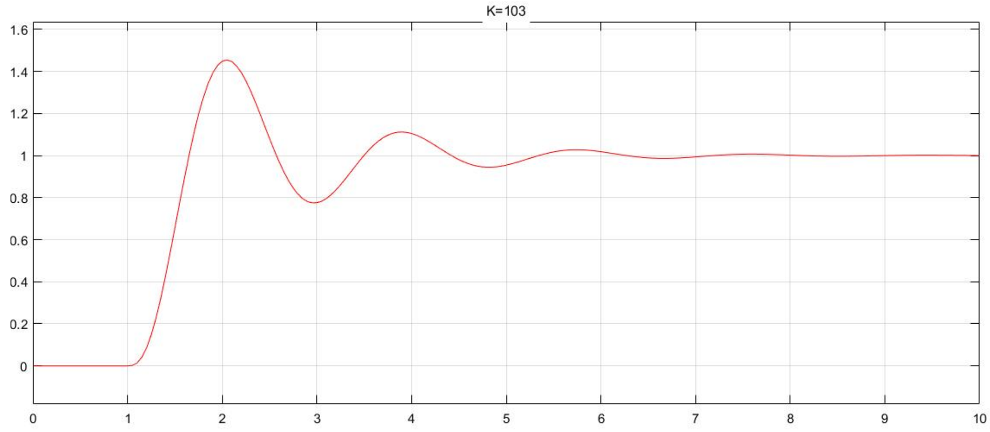



实验图，超调量为 24.5%

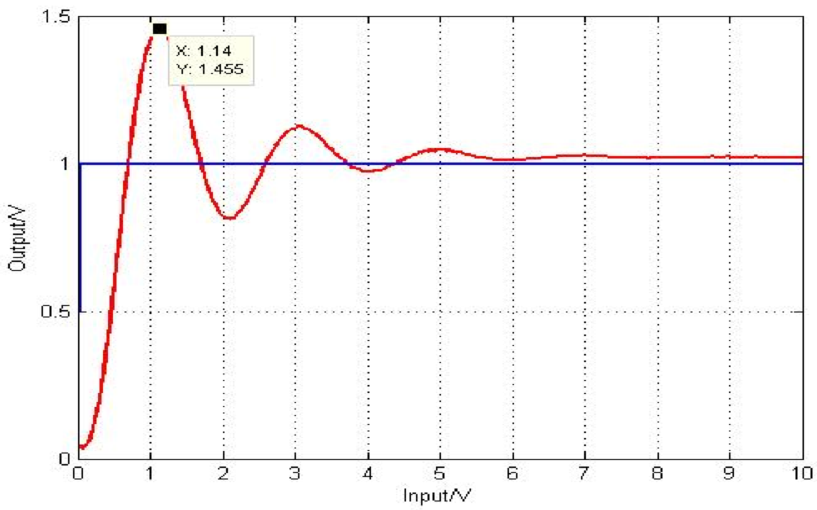



σ=50%，K=103

仿真图，测量超调量为 45.5%




实验图，超调量为 45.5%




6. 分析系统阶跃响应曲线，计算性能指标与设计要求进行比较。

## 七、结果分析

整理数据如下：

| 超调量理想值 | 5% | 25% | 50% |
|---|---|---|---|
| 仿真值 | 4.7% | 23.3% | 45.5% |
| 实际值 | 6.4% | 24.5% | 45.5% |
| 仿真误差 | 6.0% | 6.8% | 9.0% |
| 实际误差 | 28.0% | 2.0% | 9.0% |

由仿真曲线和实验曲线可知，最终结果与理想的设计值之间有一定的偏差。仿真值的偏差在于，求 K 值时，是将传递函数用主导极点法近似看成二阶系统传递函数进行的求解，这就导致距离真实的 K 值有一定的误差。因此，虽然用龙格库塔仿真时，输入的传递函数是真实的传递函数，但由于 K 值的偏差，导致最终结果产生差异，这属于固有误差。

而实际的误差属于固有误差加随机误差。固有误差来自于理论误差，随机误差主要来自于实验器材的误差，如：电阻、电容值与理论计算值存在误差，运算放大器的放大倍率有限，电线有电阻等等；也来自于操作，比如采样的时候可能

电容没有完全放电。另外，当超调量很小时，一定的绝对误差就会造成很大的相对误差，因而出现 28%误差的实验结果。

总的来说，主导极点法简化了计算，可以在一定误差范围内得到实际传递函数的近似特性，因而在工程上得到广泛应用。同时，四阶龙格库塔法可以用递归的方式得到复杂函数曲线的近似值，也在工程上得到广泛应用。

## 八、收获、体会及建议

通过本次实验，与理论课结合，我进一步加深了对高阶系统性能分析的理解。最重要的是，我初步掌握了用 matlab simulation 功能进行仿真的技能，同时编写龙格库塔数值仿真程序，锻炼了 matlab 编程技巧。

我希望以后在实验书上，可以对实验的检查点规定得更加细致，这样预习的时候就知道应该预习到什么程度了。

**附：龙格库塔 MATLAB 仿真程序：**

```
clc;
clear;

prompt1='Please input k\n'; %输入 K 值
k=input(prompt1);

a=[10 25 k];   %得到 a

c=[0 0 k];      %得到 c

prompt3='Please input h\n';
h=input(prompt3);

prompt4='Please input m\n';
m=input(prompt4);

prompt5='Please input N\n';   %输入 h,m,N
N=input(prompt5);

n=length(a);             %得到矩阵大小

A=zeros(n);              %求得 A
for i=1:n-1
    A(i,i+1)=1;
end
for i=1:n
    A(n,n+1-i)=-a(i);
end

b=zeros(n,1);           %求 b
b(n)=1;

for i=1:floor(n/2)                %求得 c
    temp=c(i);
    c(i)=c(n+1-i);
    c(n+1-i)=temp;
end

X=zeros(n,1); %列向量

i=0;j=0;t=0;t1=zeros(N/m,1);y=zeros(N/m,1); %t 作为每次生成的时间，t1 存储 y 输出时对应
的时间
```

```
t1(1)
y(1)   %打印 t，y

while (i<N)

    while(j~=m)
        i=i+1;j=j+1;t=t+h;
        K1=A*X+b;
        K2=A*(X+(h/2)*K1)+b;
        K3=A*(X+(h/2)*K2)+b;
        K4=A*(X+h*K3)+b;
        X=X+(h/6)*(K1+2*K2+2*K3+K4);
    end
    y(i/m)=c*X;
    t1(i/m)=t     %打印 t，y
    y(i/m)
    j=0;
end
plot(t1,y);
title(['K=',num2str(k),' 时的系统阶跃响应曲线']);
xlabel('时间 t/s'),ylabel('响应 y');
```