



北京航空航天大学
BEIHANG UNIVERSITY

自动控制原理实验 A(1)

实验报告

院系名称: 自动化科学与电气工程学院-自动化系

学 号: 16711094

姓 名: 李翰韬

指导教师: 王 薇

2018 年 10 月 31 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：10月31日下午8/9节 实验编号：无 同组同学：无

一、实验目的

- 1、了解一、二阶系统阶跃响应及其性能指标与系统参数之间的关系。
- 2、学习在电子模拟机上建立典型环节系统模型的方法。
- 3、学习阶跃响应的测试方法。

二、实验过程与结果

1、一阶系统：

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 T_s 。

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

模拟运算电路如图 1- 1 所示：

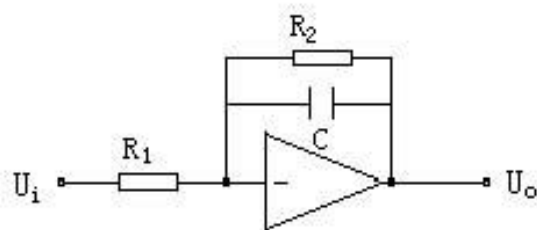


图 1- 1

由图 1-1 得
$$\frac{U_o(S)}{U_i(S)} = \frac{R_2/R_1}{R_2CS+1} = \frac{K}{TS+1}$$

在实验当中始终取 $R_2 = R_1$, 则 $K=1$, $T = R_2C$ 取不同的时间常数 T 分别为：0.25、0.5、1。

元件参数取值如下表所示：

一阶系统阶跃响应			
T	0.25	0.5	1
R ₂	250K	500K	1M
C	1uF	1uF	1uF
T _s 理论	0.750s	1.500s	3.000s
T _s 实际	0.885s	1.486s	3.450s
误差	18%	-0.93%	15%

其中理论值 $T_s = 3T$

图像如下：

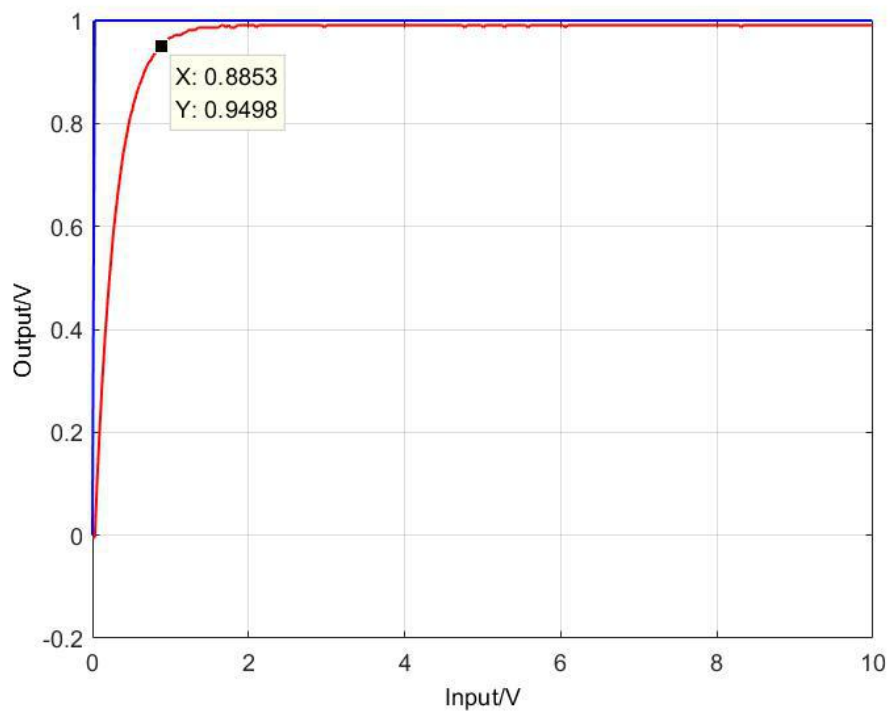


图 1-5 一阶系统阶跃响应曲线 $T=0.25\text{s}$

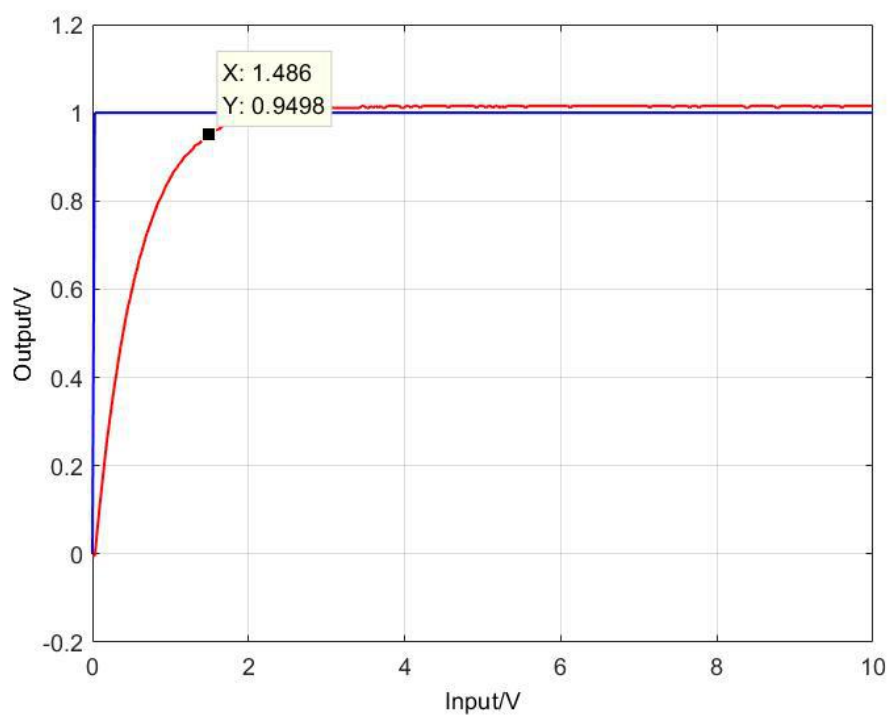


图 1-6 一阶系统阶跃响应曲线 $T=0.5\text{s}$

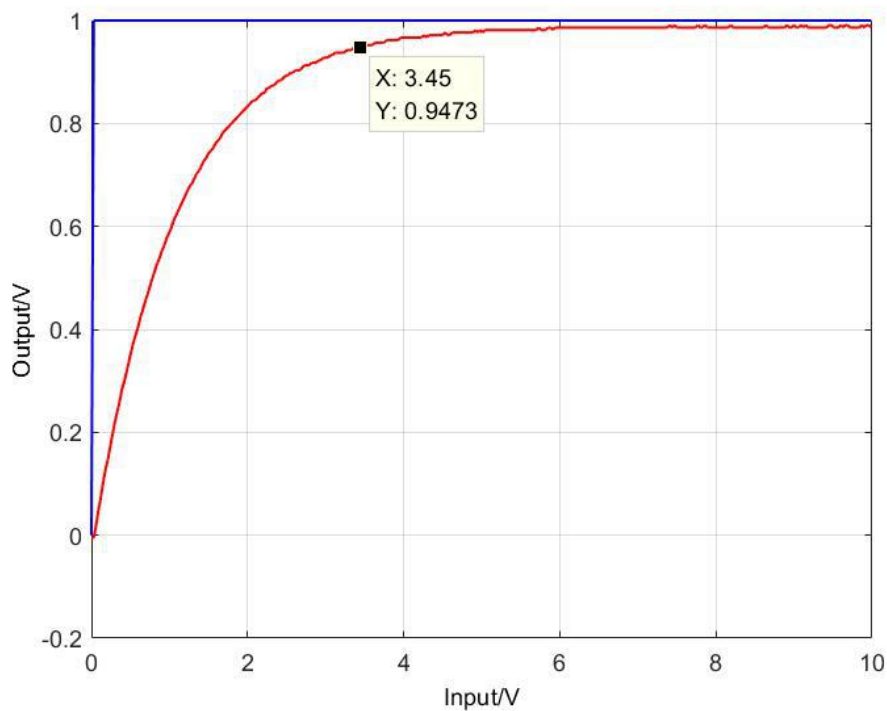


图 1-7 一阶系统阶跃响应曲线 $T=1s$

2、二阶系统：

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 $\sigma\%$ 及过渡过程时间 T_S 。

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

令 $\omega_n=1$ 弧度/秒, 则系统结构如图 1-2 所示:

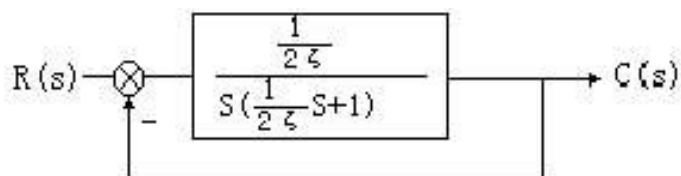


图 1-2

根据结构图, 建立的二阶系统模拟线路如图 1-3 所示:

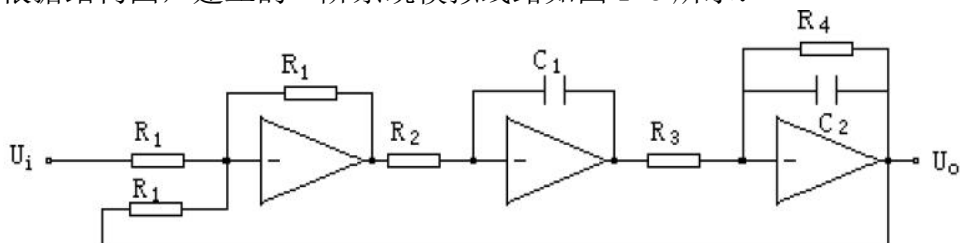


图 1-3

取 $R_2C_1=1$, $R_3C_2=1$, 则 $\frac{R_4}{R_3} = R_4C_2 = \frac{1}{2\zeta}$ 及 $\xi = \frac{1}{2R_4C_2}$

ζ 取不同的值 $\zeta=0.25$, $\zeta=0.5$, $\zeta=0.707$, $\zeta=1$

元件参数取值如下表所示:

二阶系统阶跃响应				
ζ	0.25	0.5	0.707	1
R4	2M	1M	707K	500K
C2	1uF	1uF	1uF	1uF
$\sigma\%$ 理论	0.444	0.163	0.043	
$\sigma\%$ 实际	0.445	0.152	0.045	
误差	0.22%	-6.75%	4.65%	

其中理论值 $\sigma\% = e^{-\pi\zeta\sqrt{1-\zeta^2}} \times 100\%$

对于调节时间, 可用近似公式 $T_s = \frac{3.5}{\zeta\omega_n}$ 计算:

ζ	0.25	0.5	0.707
T_s 理论	14s	7s	4.95s
T_s 实际	11.22s	5.55s	4.77s

但显然与实际测量结果差距较大, 故在此不做误差表示。
实验图像如下:

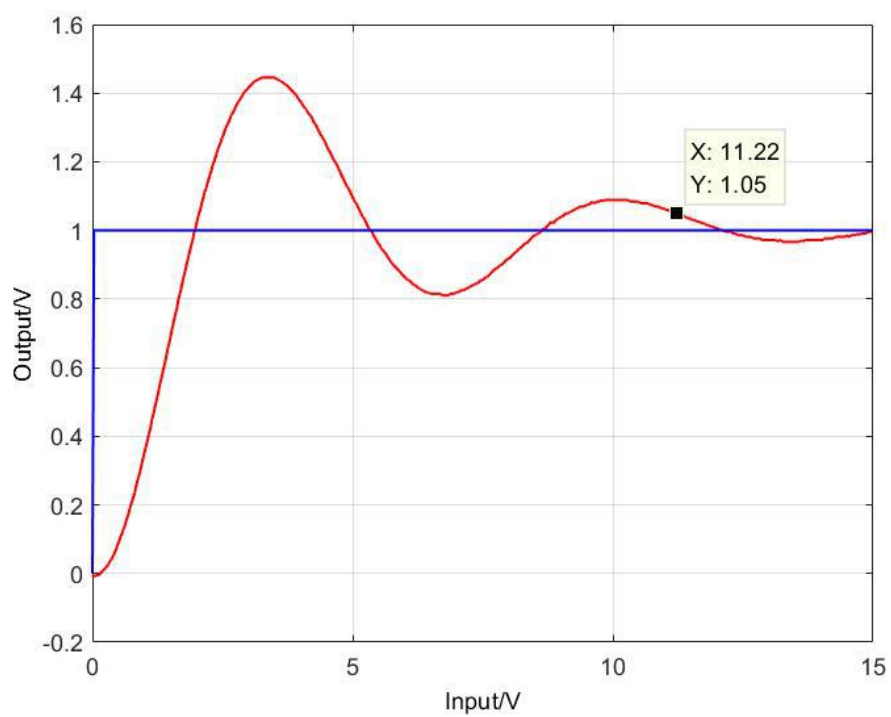
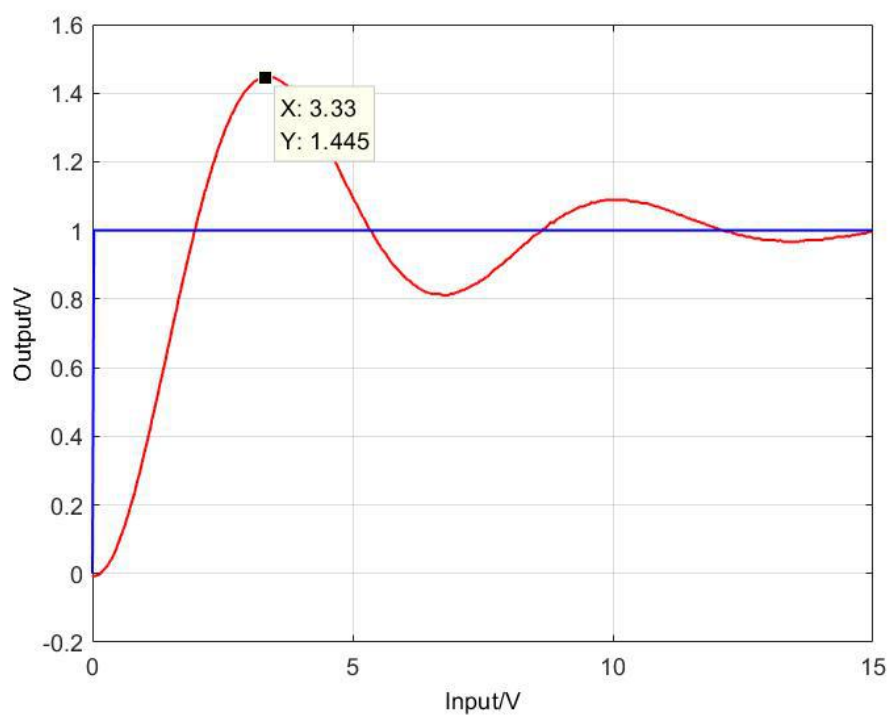


图 1-10 二阶系统阶跃响应 $\xi = 0.25$
其中 $T_s = 11.22s$

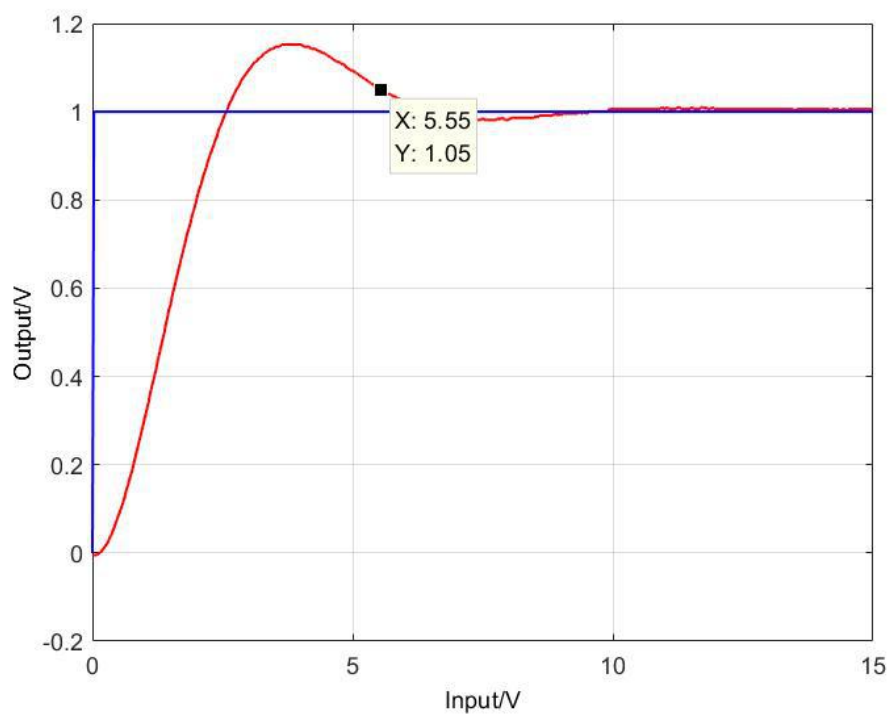
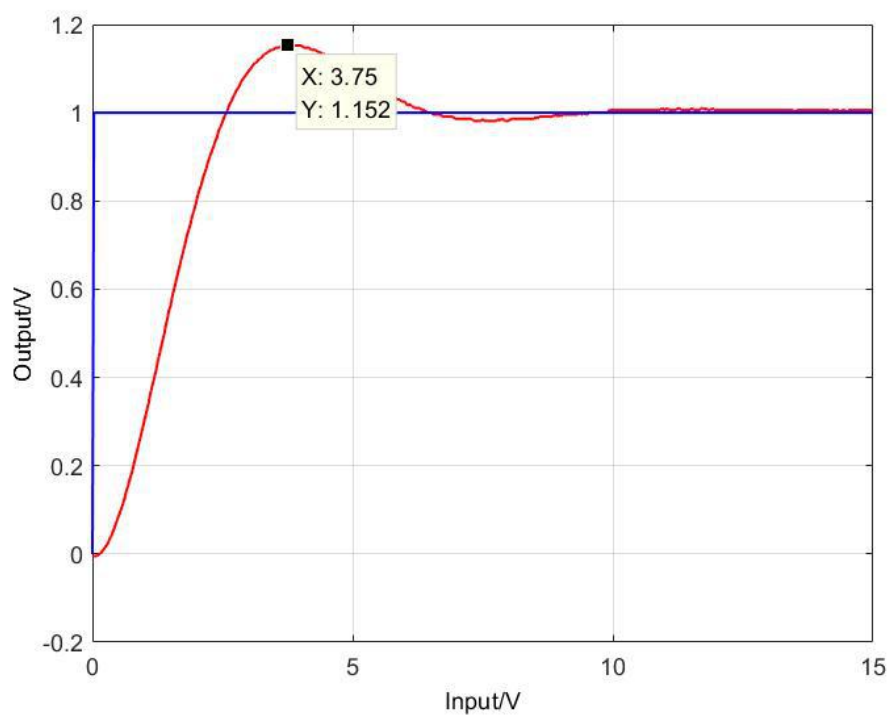


图 1-11 二阶系统阶跃响应 $\xi = 0.5$
其中 $T_s = 5.55s$

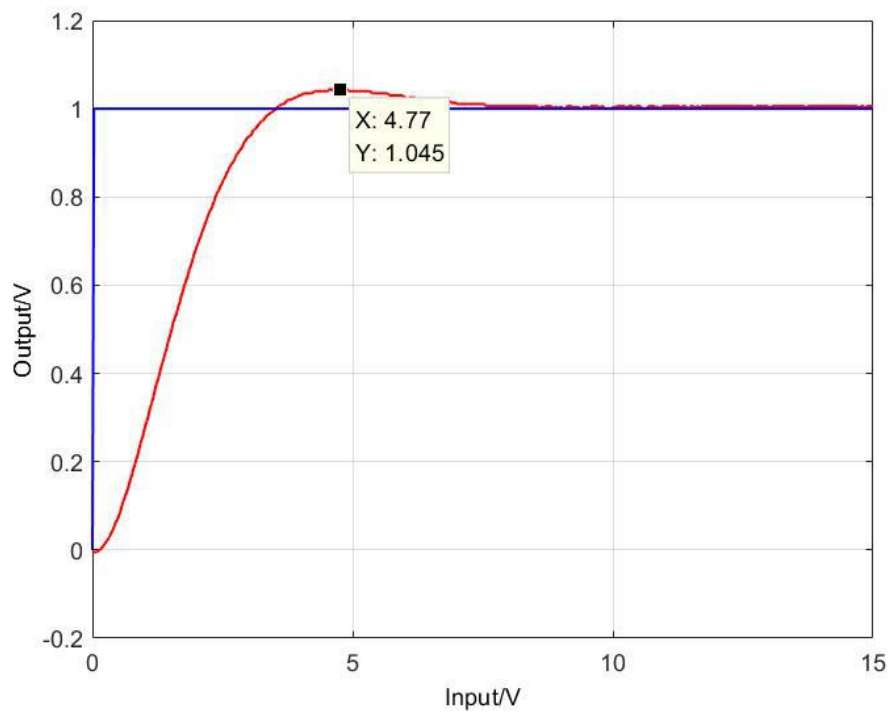


图 1-12 二阶系统阶跃响应 $\xi = 0.707$
其中 $T_s = 4.77s$

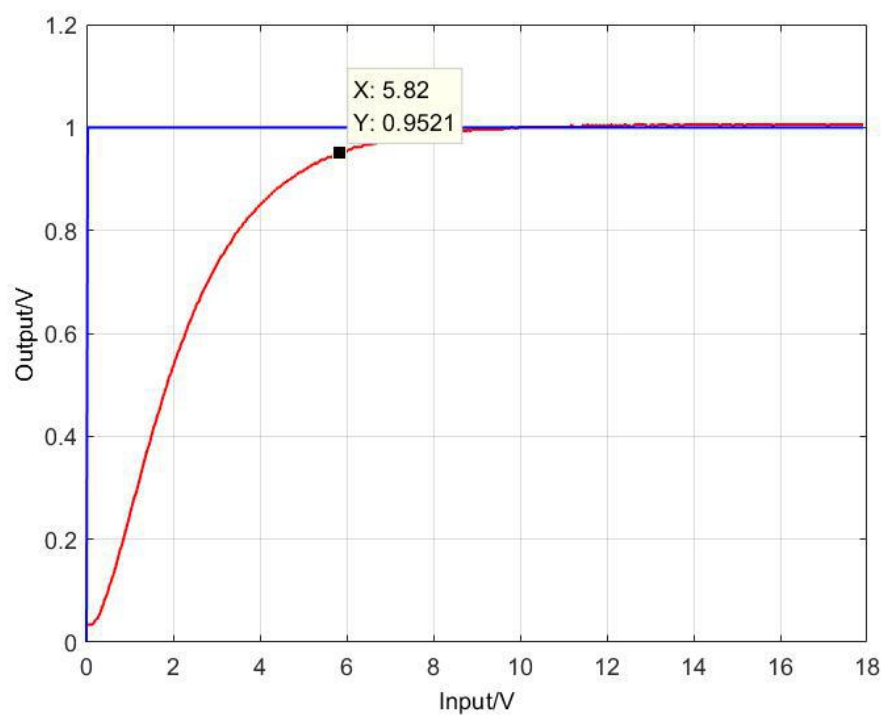


图 1-13 二阶系统阶跃响应 $\xi = 1.0$
其中 $T_s = 5.82s$

三、结果分析

1、一阶系统

单位阶跃响应是单调上升曲线，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。但应当注意到，在实验中 T 太小的时候对外界条件更加敏感，将导致外界的扰动对系统的输出特性有较大干扰，会使其输出特性曲线发生波动。一阶系统的单位阶跃响应是没有稳态误差的，这是因为： $e_{ss} = 1 - h(\infty) = 1 - 1 = 0$ ，这一点从实验结果的曲线图中也可以反映出来。

2、二阶系统

①平稳性：由曲线可以看出，阻尼比 ξ 越大，超调量越小，响应的振荡倾向越弱，平稳性越好。反之阻尼比 ξ 越小，振荡越强，平稳性越差。

②快速性：由曲线的对比可以看出， ξ 过大，例如接近 1，系统响应迟钝，调节时间 t_s 长，快速性差； ξ 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 t_s 也长，快速性差。从实验中可以看到 $\xi = 0.8$ 时， t_s 最短，即快速性最好，此时的平稳性也让人满意。

③稳态精度：可以看出，稳态分量随着 t 的增长衰减到 0，而稳态分量等于 1，因此从实验结果中我们可以看到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。

四、收获、体会与建议

从得到的数据可以看出，不论是一阶还是二阶系统，实测值均与理论值有着或多或少的偏差。从实验的过程、原理分析可能的原因有以下几条：

1、电容电阻的标称值和实际值一般都有误差，所以依次搭接的电路的传递函数和理论不完全一致。

2、运放带来的误差：一方面，实验中的运放的正极没有接补偿电阻，这有可能造成零点漂移以致结果不准确。另一方面，理想运放的放大倍数是无穷大的，而理论运放不一定是无穷大，这也会对传递函数的参数造成一定影响。

3、实验箱 A/D 转换时有误差。

4、理论公式计算的 T_s 和超调量也是经验估计公式，并不完全准确，所以实测值与理论值出现误差也是情理之中的。