

## 实验二、二阶系统瞬态响应及稳态误差分析

姓名： 岳博 学号： 517021910825  
同组成员： 张弛 任课教师： 李少远  
实验地点： SEIEE 4-402/404 实验日期： 2019/12/08

一个能用二阶常微分方程来描述的系统，则称它为二阶系统。系统中若包括两个惯性环节或者一个积分环节、一个惯性环节经过反馈后都可看作是二阶系统，有时称之为振荡环节。当阶跃信号输入到一个二阶系统，其输出可以按系统参数的不同而得到不同的波形。包括单调，衰减振荡和等幅振荡等过程。因此，二阶系统具有相当的代表性。

### [实验目的]

通过对二阶系统阶跃反应的测定，掌握二阶系统的一些动态特性，以及系统参数对特性的影响；以 1 型系统为例，测定阶跃、斜坡和抛物线不同输入信号下系统的稳态误差，掌握单位闭环系统稳态误差系数的概念。

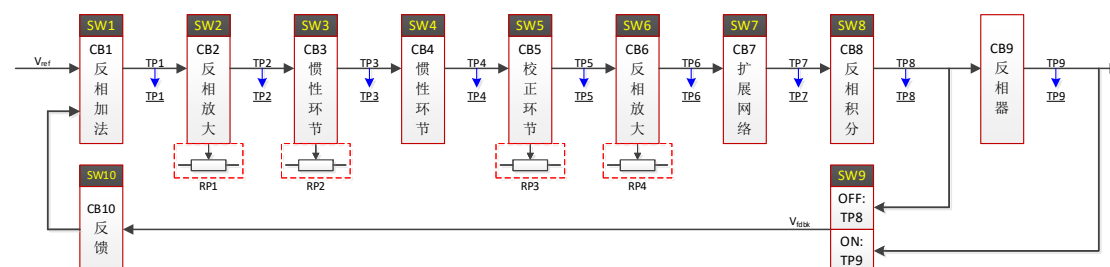
### [实验原理]

当对一个二阶系统外加一个阶跃输入时，二阶系统即有一个输出，其输出随着系统参数的变化而变化，决定一个二阶系统特性的主要参数有两个。一个为阻尼比  $\xi$ ，一个为无阻尼自然频率  $\omega_n$ 。当两个参数变化时，可以引起系统的过渡过程时间、过渡过程的超调量、振荡次数的变化。在系统其它参数不变时，可通过改变系统放大倍数  $K$  来实现  $\xi$ 、 $\omega_n$  的变化。

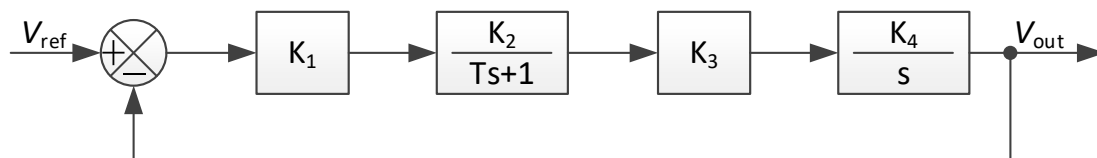
本实验可以用一个比例环节、一个惯性环节#1 和一个积分器串联，并进行负反馈闭环连接，一次构成二阶系统实验对象。

### [实验内容]

#### 1. 电路组态



按照以下系统框图搭建实验对象：

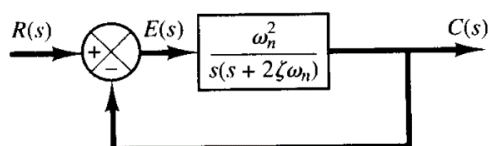


电路模块使用说明：

反比例放大器#1	$K_1$
反相惯性环节#1	$K_2/(Ts + 1)$
反比例放大器#2	$K_3$
反相积分器	$K_4/s$

## 2. 系统传递函数分析

按照以上要求搭建电路，确保系统处于负反馈状态。若将系统等效表达为如下形式：



则闭环系统的传递函数为：

$$\frac{C(s)}{R(s)} = \frac{\omega_n^2}{s^2 + 2\zeta\omega_n s + \omega_n^2}$$

在以下实验中，根据具体电路参数，推导出实际实验对象的传递函数。

## 3. 动态特性测试

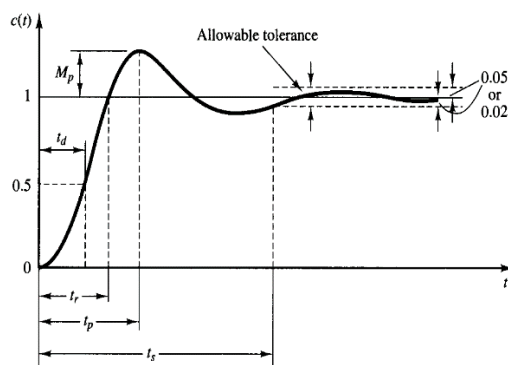
1) 输入信号选择：阶跃输入。

$$\text{传递函数是: } \frac{C(s)}{R(s)} = \frac{RP1 * RP2 * RP4/T}{s^2 + \left(\frac{1}{T}\right) * s + RP1 * RP2 * RP4/T}$$

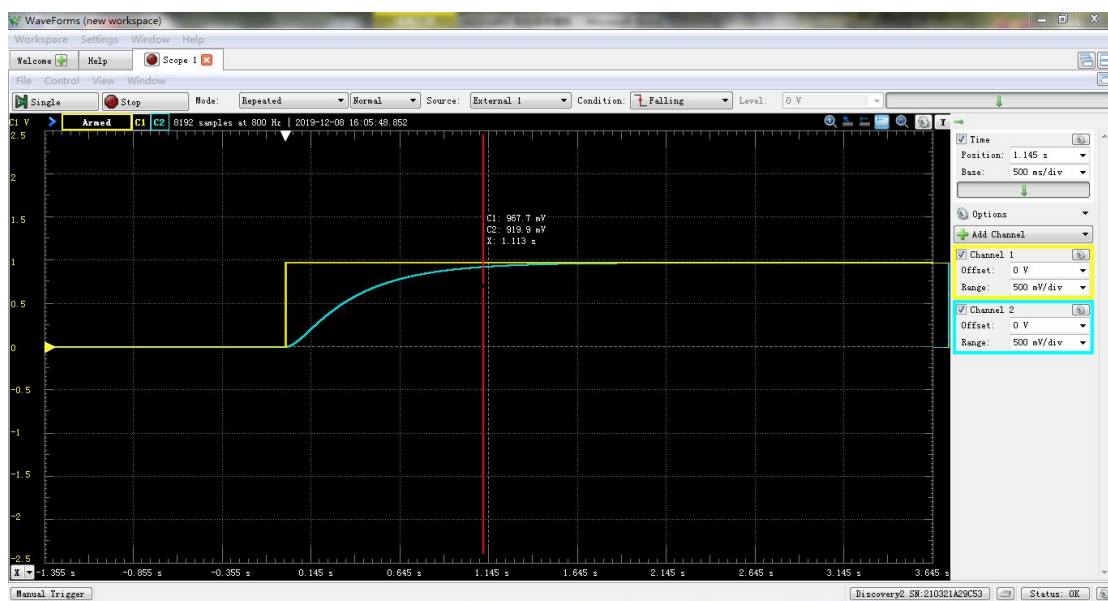
$$T = 0.2$$

2) 在以下不同参数组合下，测试系统相应输出过程，并测算相关参数。

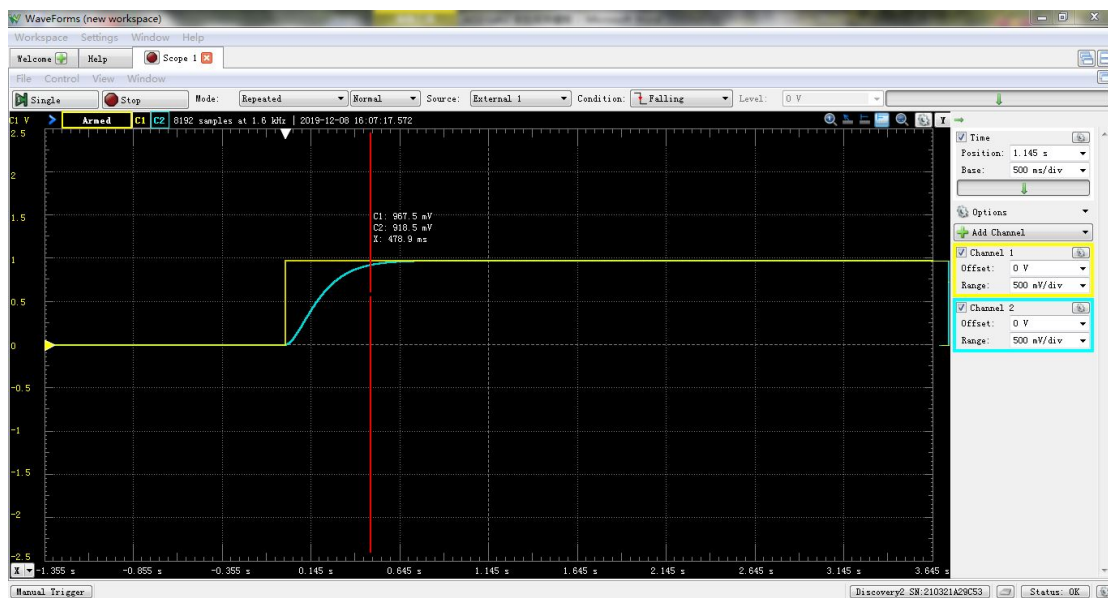
序号	RP1 刻度值	RP2 刻度值	RP4 刻度值	参数测算 $M_p, t_s$
1	5	5	1	0.0;1.113s
2	5	5	2	0.0;478.9ms
3	5	5	6	11.81%;326.6ms



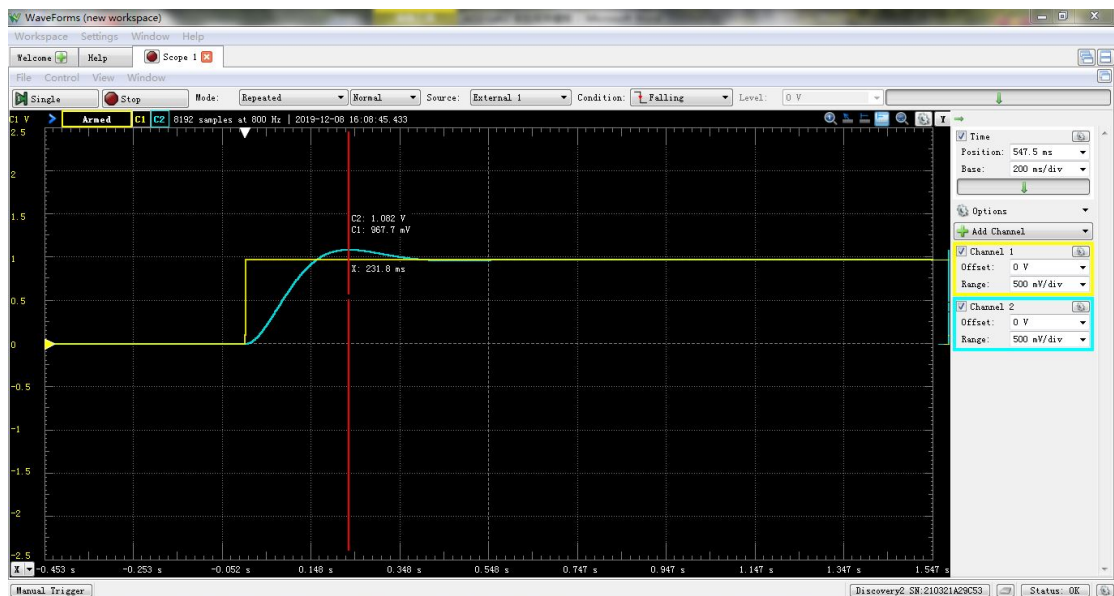
1



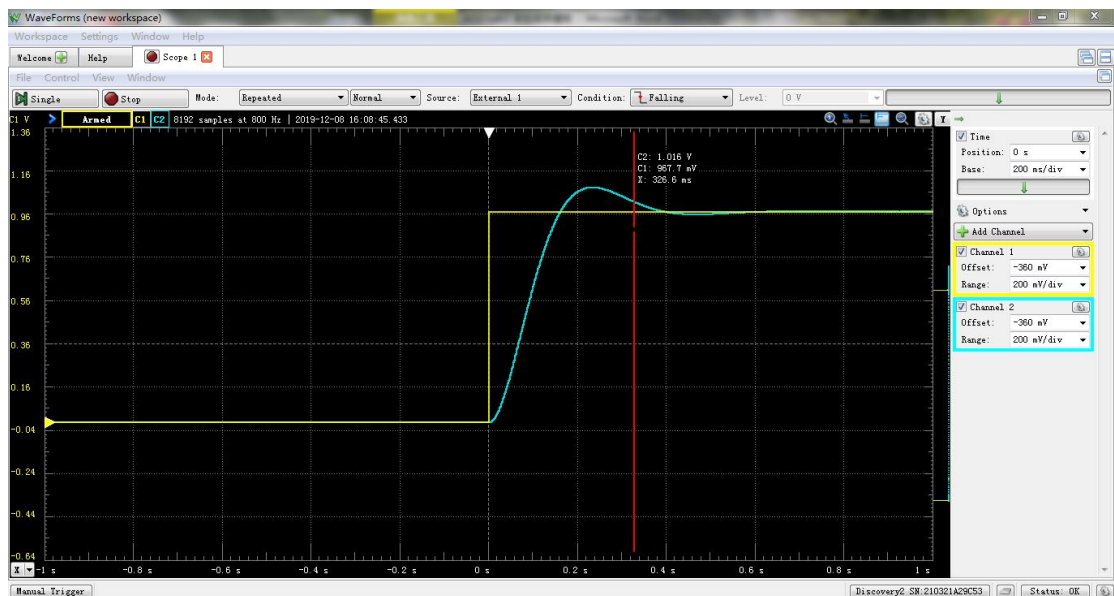
2



3-最大超调量



### 3-调整时间



#### 4. 稳态误差分析

1) 分析说明实验电路对象的类型（型次）。

答：仅有一个积分环节，所以是一阶。

2) 输入信号选择：分别使用阶跃、斜坡和抛物线输入信号进行测试。

答：

$$\text{传递函数是: } \frac{C(s)}{R(s)} = \frac{RP1 * RP2 * RP4 / T}{s^2 + \left(\frac{1}{T}\right) * s + RP1 * RP2 * RP4 / T}$$

$$T = 0.2$$

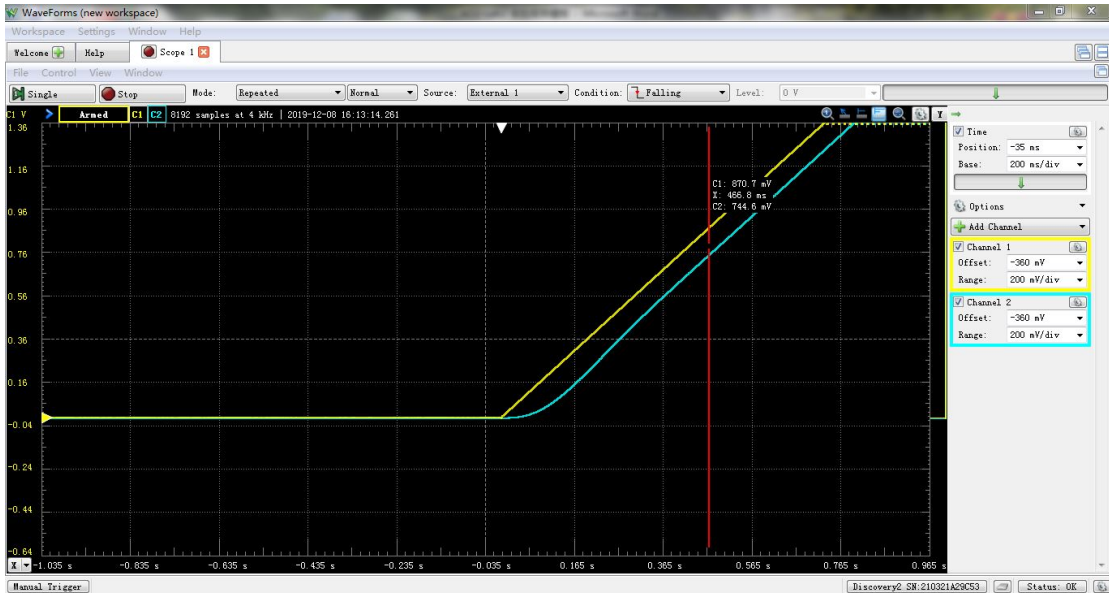
3) 在不同输入信号下，分别选择 2 组不同开环增益值进行测试，分析开环增

益对稳态误差系数的影响。

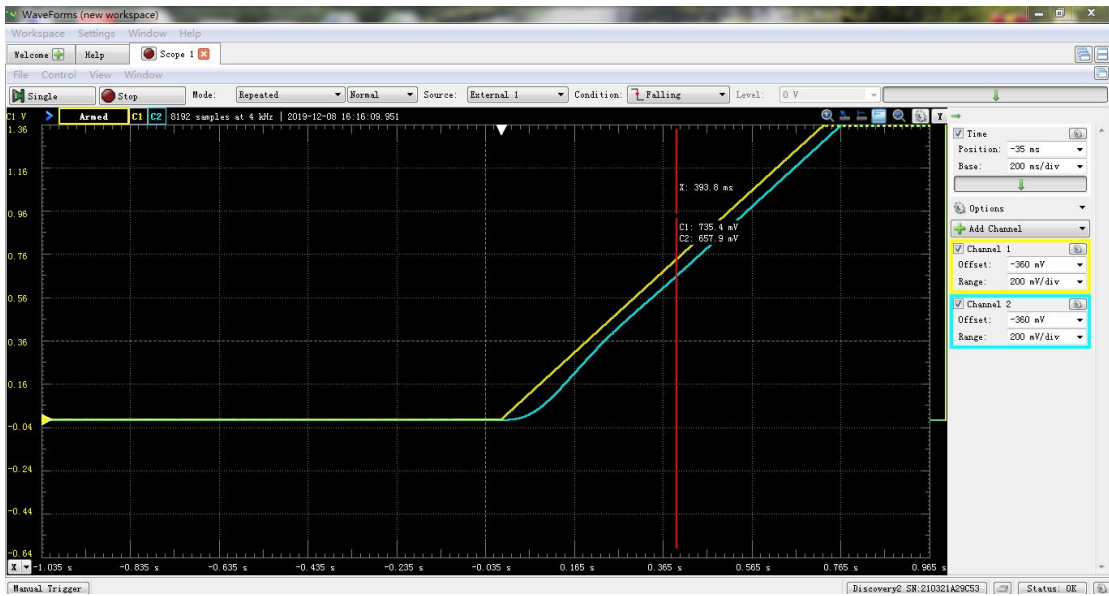
Steady-State Error in Terms of Gain *K*

	Step Input	Ramp Input	Acceleration Input
Type 0 system	$\frac{1}{1 + K}$	$\infty$	$\infty$
Type 1 system	0	$\frac{1}{K}$	$\infty$
Type 2 system	0	0	$\frac{1}{K}$

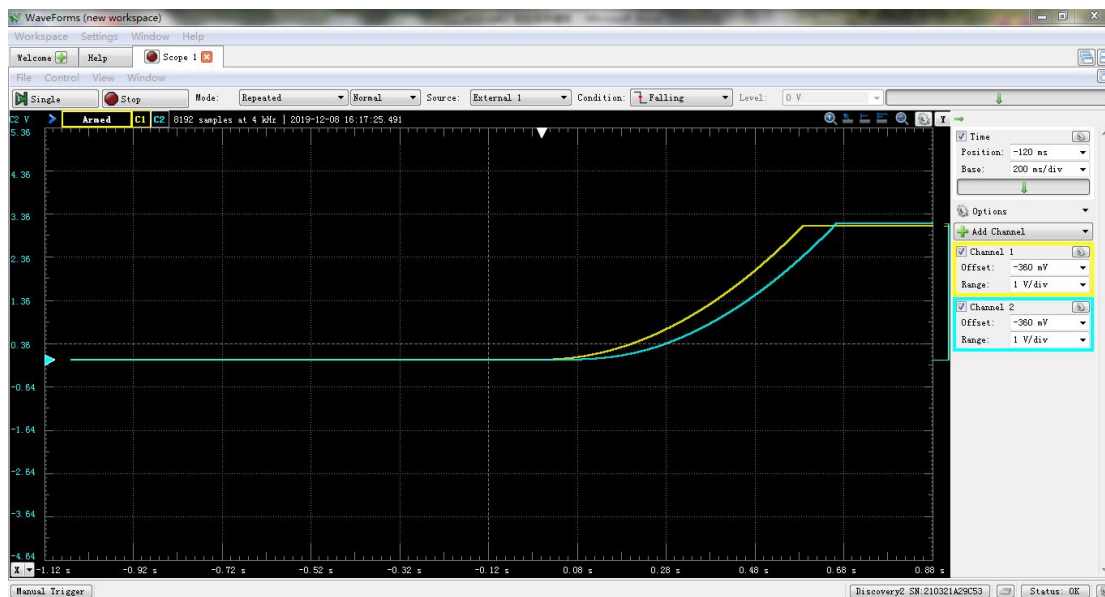
1 型系统斜坡输入，稳态误差为一定值(RP1=5,RP2=5,RP4=6)



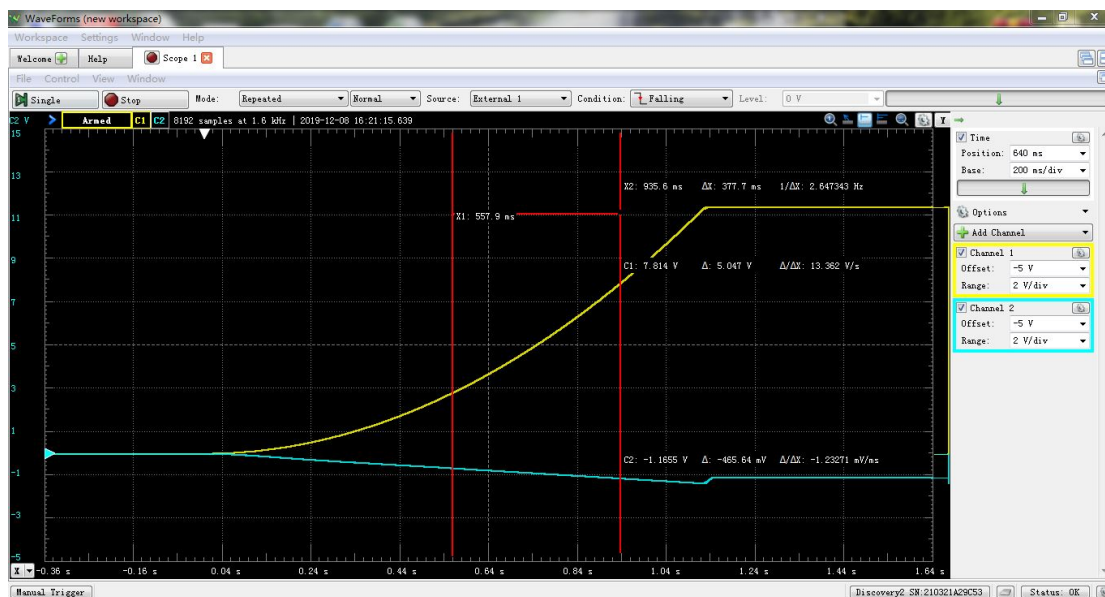
1 型系统斜坡输入，稳态误差为一定值(RP1=5,RP2=5,RP4=10)



1 型系统加速度输入，稳态误差为无穷大(RP1=5,RP2=5,RP4=6)，无法实现跟踪



1 型系统加速度输入，稳态误差为无穷大(RP1=5,RP2=5,RP4=6)，无法实现跟踪



### [实验报告要求]

1、在不同电路参数条件下，推导二阶系统的传递函数。

答：见上对应题目。

2、测定各实验参数下超调量  $M_p$ 、调整过程时间  $t_s$ ，画出过渡过程曲线并与理论值作比较，分析开环增益对动态特性的影响。

答：开环增益越大，调整时间越小，但是超调量会增大。即：加快系统的稳定过程，但是增加系统的不稳定性风险。

3、通过实验结果说明 1 型系统对阶跃（位置）、斜坡（速度）、抛物线（加速度）信号的跟随能力，分析开环增益对各误差系数的影响。



**答：**1 型系统对阶跃信号，稳态误差为零，跟随能力很强，开环增益对误差系数无影响。

1 型系统对斜坡信号，稳态误差为常数，跟随能力一般，开环增益越大，稳态误差系数越大。

1 型系统对加速度信号，稳态误差为无穷大，跟随能力最差，开环增益不影响误差系数。

4、实验结果与理论分析如果有偏差，请分析产生误差的原因。

**答：**（1）实验装置本身存在误差，例如理论值是 1V 的阶跃输入，在示波器上实测为 967.7mV。

（2）实验读数存在误差，比如在确定调整时间和最大超调量的时候，需要确定最值，会存在一定误差。

### [讨论与思考]

1、改变系统参数，除了改变 K 之外，还可改变什么？有什么影响？

**答：**还可以改变时间常数 T，T 越大，系统的稳定性越差，最大超调量越大，动态调整时间也越长。

2、当把运放的放大倍数调到无穷大时，会有什么情况发生？

**答：**系统将会不稳定，达到可能的最大限值后，变成非线性状态。

3、一般情况下，在保持乘积不变的情况下，实验电路中的两个比例放大器增益是否可以随意调节？

**答：**只要不超过各自的最大值和最小值而且满足精度要求，可以随意调节。

### [评价与建议]

1、对新旧实验设备作简单对比和评价：

**答：**其实，本次实验并没有见到旧设备。但是从老师的讲述中以及之前数电和模电的实验设备来看，本次新实验设备具有模块化，集成化的特点，让我们学生不再纠结于电路内部设计，从整体上对各个环节有了认知。我对此表示欢迎，自动控制原理强调的是系统，我们在意的是对各个模块之间关系的分析，而非各个模块内部的搭建。

2、对新实验设备和实验内容有何建议？包括操作使用方式、电路模块的功能配置、实验内容的设置等。

**答：**从系统的角度来讲，新实验设备已经非常完善了。但是还有可以改进的地方，比如老师提到的 USB 接线不牢固的现象以及可以做一定的倾斜，方便学生舒服地坐着操作。实验内容可以增添一些各个环节院里的温习，模电有些内容淡忘了。