

实验名称：自动控制系统的动态校正

姓名：吴宇薇

班级：电气 74

学号：2173621848

一、实验目的

1. 为培养学生综合运用所学知识解决实际问题的能力，提高科研工作的能力，拟定了以下设计任务，要求学生先对系统进行设计，然后根据现有设备对系统予以实现，进而再通过实验研究系统的动态性能；
2. 掌握串联校正装置设计的方法；
3. 研究比例积分器（PI 调节器）对系统动态性能的影响。

二、实验设备

1. THKKL-4 型自动控制理论教学实验箱
2. 泰克 TDS210 实时示波器

三、实验内容

1. 未校正系统的模拟电路设计

已知未校正系统的结构如图 1 所示。

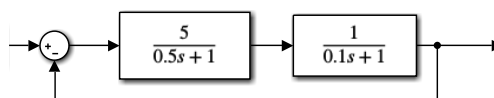


图 1 未校正系统的方框图

未校正系统的开环传递函数为

$$G_0(s) = \frac{5}{(0.5s + 1)(0.1s + 1)}$$

利用实验室现有的实验设备，设计相应的模拟电路，如图 2 所示。该模拟电路由一个反相器、两个一阶惯性环节串联而成，元件参数已在图中出标注出。

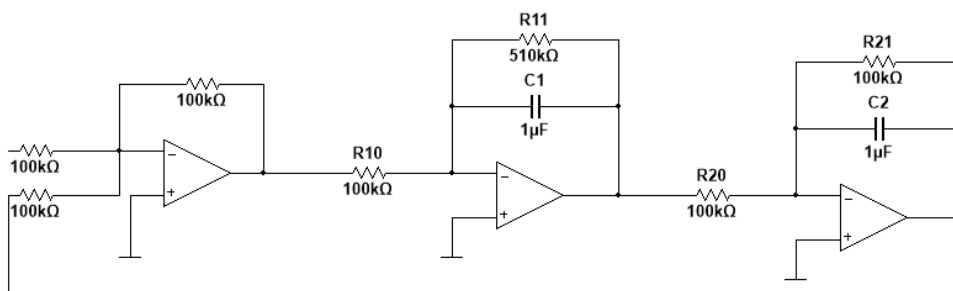


图 2 未校正系统的模拟电路

根据设计电路得到的开环传递函数为

$$G_0'(s) = \frac{5.1}{(0.51s + 1)(0.1s + 1)}$$

2. 未校正系统的阶跃响应

① 理论计算

a. 由 $G_1'(s)$ 知， $\xi = 0.557$ ， $\omega_n = 10.95 \text{ rad/s}$

b. $\sigma = e^{-\frac{\pi\xi}{\sqrt{1-\xi^2}}} = 12.77\%$

c. $t_p = \frac{\pi}{\omega_n \sqrt{1-\xi^2}} = 0.343 \text{ s}$

$$\text{d. } N = \frac{2}{\pi} \sqrt{\frac{1}{\xi^2} - 1} = 0.97$$

$$\text{e. } t_s = \frac{4}{\xi \omega_n} = 0.667 \text{ s}, \Delta = 0.02$$

$$\text{f. } e_{ss} = 0.1667$$

②仿真结果

利用 matlab 软件仿真，得到未校正系统的阶跃响应，如图 3 所示。（程序见附录 1）

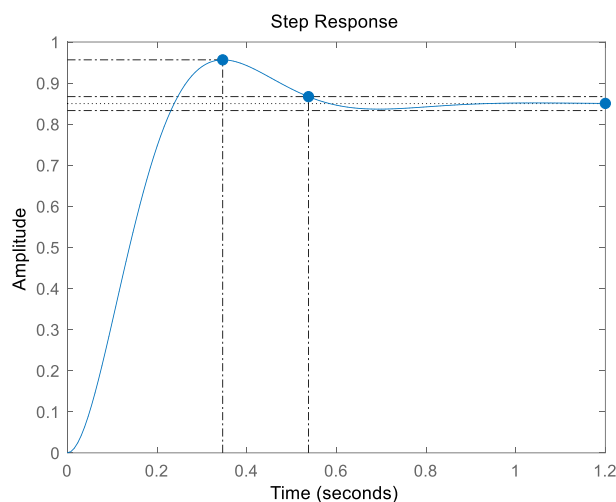
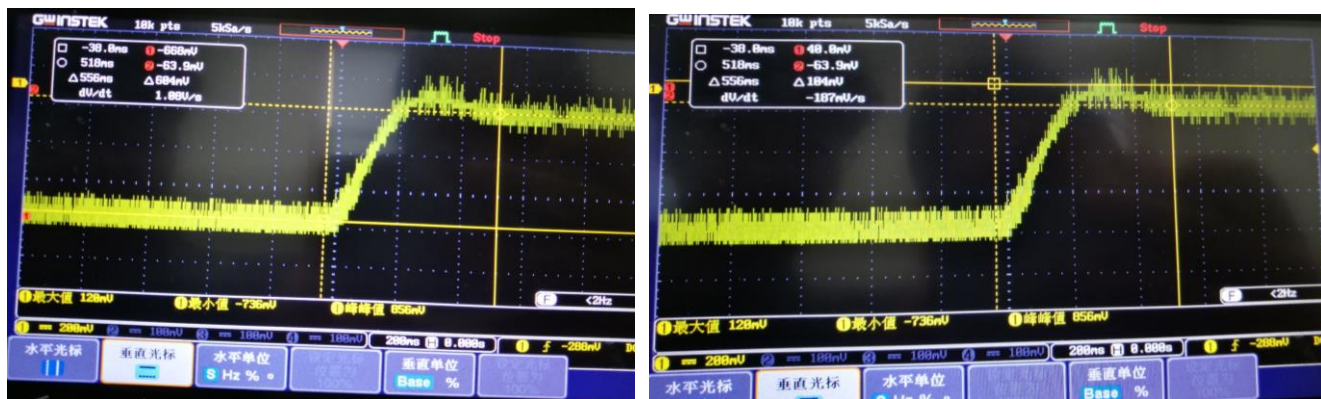


图 3 未校正系统阶跃响应的仿真结果

从仿真窗口可以读出相关动态指标。

③实测结果

按照图 2 搭建实验电路，在示波器中观察阶跃响应输出波形，如图 4 所示。



结合示波器的水平、竖直光标，可测量一些特征数值，由此计算出系统的动态指标。

理论计算、仿真与实测的动态指标及对比如表 1 所示。

表 1 未校正系统的动态指标

	σ	t_p	N	t_s	e_{ss}
理论值	12.77%	0.343	0.97	0.667	0.1667
仿真值	12.5%	0.347s	0.85	0.538s	0.15
实测值	17.2%	0.356s	1	0.556s	0.400
实测相对误差	34.7%	3.8%	3.8%	3.1%	16.6%

3.设计校正装置的设计

设计选取的最佳二阶系统的开环传递函数为

$$G_1(s) = \frac{5}{s(0.1s+1)}$$

为了将系统校正至上述最佳二阶系统，校正装置的开环传递函数应为

$$G_f(s) = \frac{G_1(s)}{G_0(s)} = \frac{0.5s+1}{s}$$

4.校正后系统的模拟电路设计

校正后系统的方框图如图 5 所示。

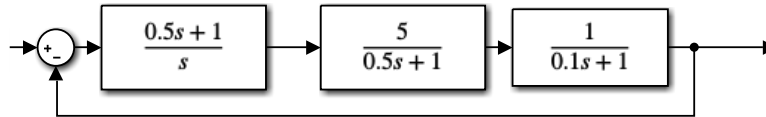


图 5 校正后系统的方框图

利用实验室现有的实验设备，设计相应的模拟电路如图 6，元件参数在图中出标注出。

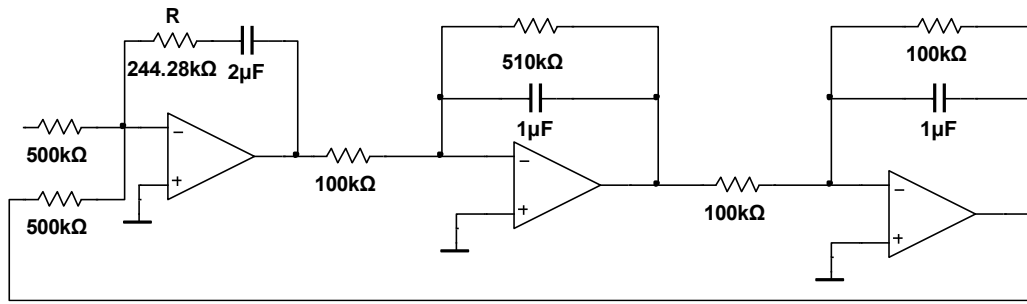


图 6 校正后系统的模拟电路

其中，电阻 R 是由 U11 单元中 $180\text{k}\Omega + 100 // 180\text{k}\Omega$ 得到。

根据设计电路得到的开环传递函数为

$$G_1'(s) = \frac{(0.49s+1)}{s} \frac{5.1}{(0.51s+1)(0.1s+1)} \approx \frac{5.1}{s(0.1s+1)}$$

5.校正后系统的阶跃响应

①理论计算

a. 由 $G_1'(s)$ 知， $\xi = 0.707$ ， $\omega_n = 7.1\text{rad/s}$

b. $\sigma = e^{-\frac{\pi\xi}{\sqrt{1-\xi^2}}} = 4.3\%$

c. $t_p = \frac{\pi}{\omega_n \sqrt{1-\xi^2}} = 0.62\text{s}$

d. $N = \frac{2}{\pi} \sqrt{\frac{1}{\xi^2} - 1} = 0.63$

e. $t_s = \frac{4}{\xi\omega_n} = 0.79\text{s}$, $\Delta = 0.02$

f. $e_{ss} = 0$

②仿真结果

利用 matlab 软件仿真，得到校正后系统的阶跃响应，如图 7 所示。（程序见附录 2）

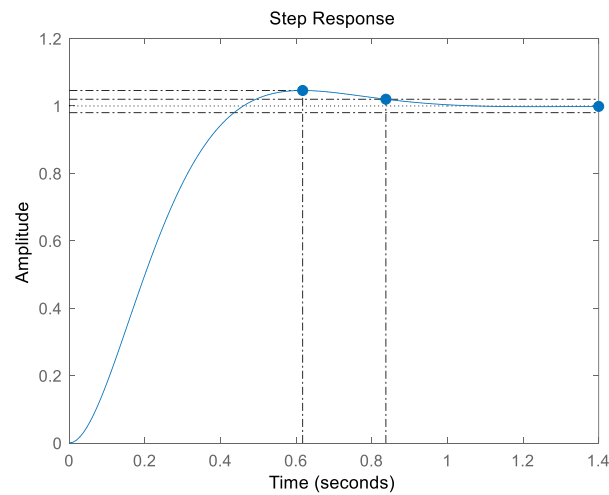


图 7 校正后系统阶跃响应的仿真结果

从仿真窗口可以读出相关动态指标。

③实测结果

按照图 6 搭接实验电路，在示波器中观察阶跃响应输出波形，如图 8 所示。

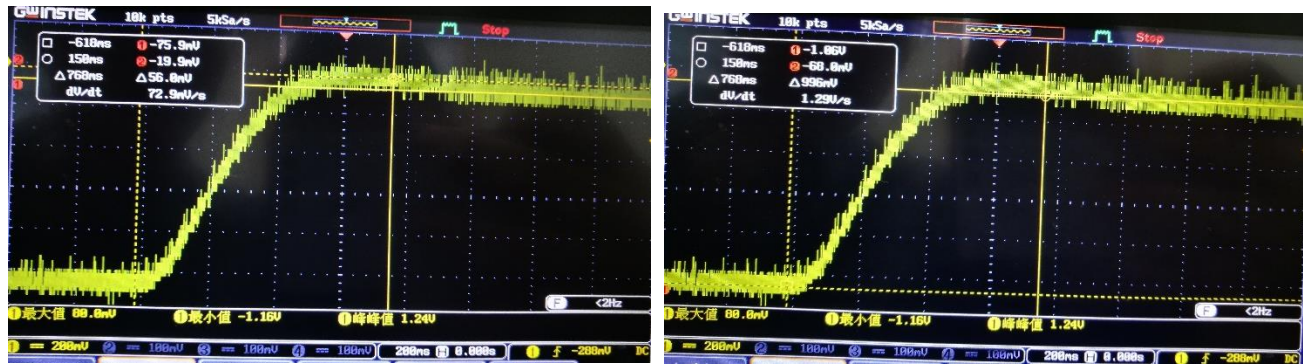


图 8 校正后系统阶跃响应的实验结果

结合示波器的水平、竖直光标，可测量一些特征数值，由此计算出系统的动态指标。
仿真与实测的动态指标及对比如表 2 所示。

表 2 校正后系统的动态指标

	σ	t_p	N	t_s	e_{ss}
理论值	4.3%	0.62s	0.63	0.79s	0
仿真值	4.59%	0.617s	/	0.837s	0
实测值	5.6%	0.6s	0.5	0.768s	0.004
实测相对误差	30.2%	3.2%	20.6%	2.8%	/

6.串联校正装置设计的一般方法与步骤（工程算法）

- ① 按照最佳二阶开环模型 $G_0(s) = \frac{K}{s(Ts+1)}$ 设计校正后系统的开环传递函数，利用校正装置的零点对消了对象的一个极点，一般选择对消大惯性，保留小惯性；
- ② 求解串联校正装置的开环传递函数 $G_j(s) = \frac{G_0(s)}{G_g(s)}$ ；
- ③ 根据 $G_j(s)$ 设计模拟电路，选择合适的电阻、电容参数。

附录1

```
a=[0 0 5.1];  
b=[0.051 0.61 6];  
g=tf(a,b);  
step(g)
```

附录2

```
a=[0 0 5.1];  
b=[0.1 1 5.1];  
g=tf(a,b);  
step(g)
```