



哈尔滨工业大学（深圳）
Harbin Institute of Technology, Shenzhen

实验报告

课程名称： 自动控制原理实

学生姓名： _____

学生学号： _____

学生专业： 自动

开课学期： 2023 秋

报告时间： 10 月

指导教师： _____

哈尔滨工业大学（深圳）

实验一 典型系统的时域响应实验

一、实验目的

1. 了解比例环节、积分环节、比例积分环节、惯性环节和典型二阶系统的模拟电路构成。
2. 掌握各种典型环节的理想阶跃响应曲线和实际阶跃响应曲线。
3. 了解各种参数变化对典型环节动态特性的影响。

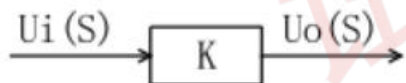
二、实验设备及元器件

1. PC 机一台
2. NI ELVIS III 一台
3. “Circuits Control Board - 1”(自动控制原理课程实验套件 1)
4. 导线 15 根

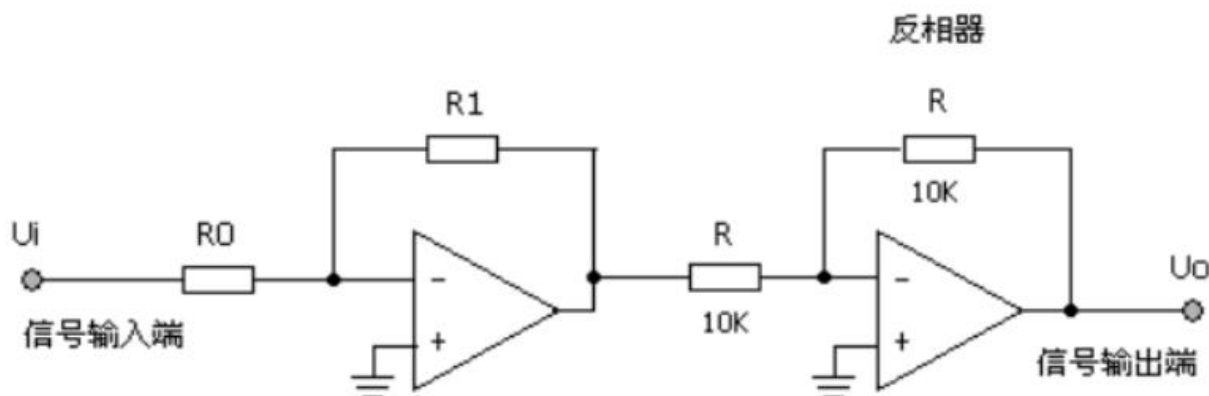
三、实验原理

（简述实验原理，画出模拟电路图）

比例环节方框图：

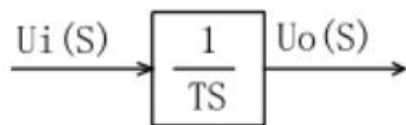


模拟电路图：

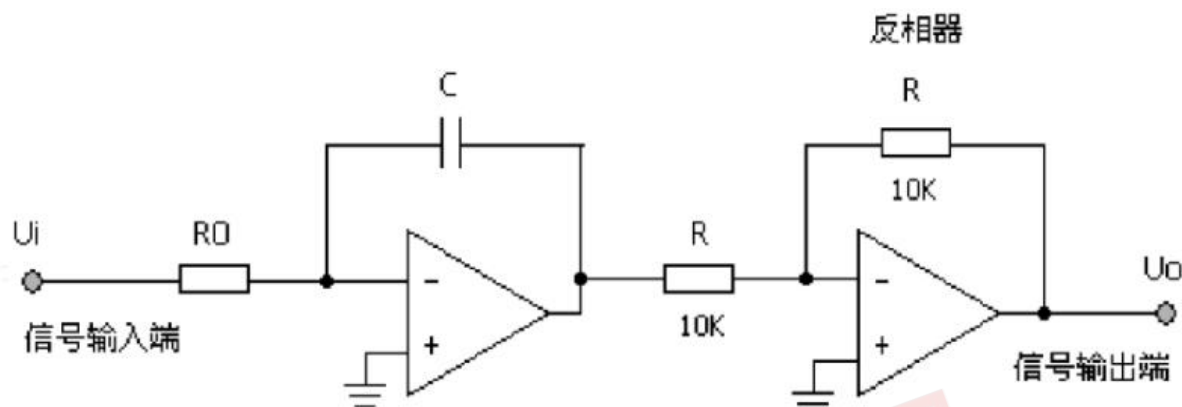


由运算放大器特性及电路知识，上述电路传递函数为
 $G(s) = R1/R0$, 阶跃响应特性为 $U_o(t) = K (t \geq 0)$

积分环节方框图：



积分环节模拟电路图：



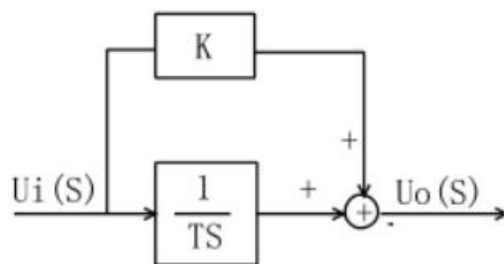
由电路知识，该模拟电路的传递函数为 $G(s)=1/Ts$, $T=R_0C$

$$U_o(t) = \frac{1}{T}t \quad (t \geq 0)$$

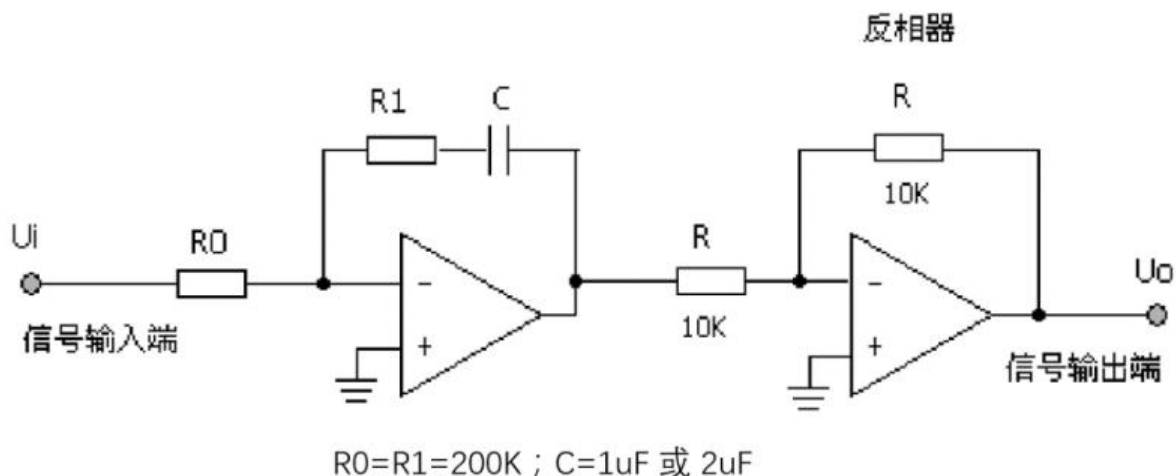
其中 $T = R_0C$

阶跃响应特性为

比例积分环节方框图：



模拟电路：



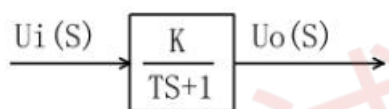
传递函数 $G(s)=K+1/Ts$; $K=R_1/R_0$ $T=R_0C$

阶跃响应特性为:

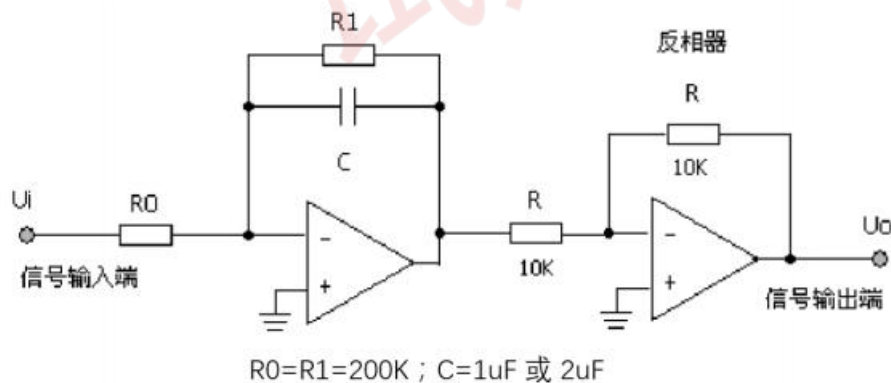
$$U_o(t) = K + \frac{1}{T}t \quad (t \geq 0)$$

其中 $K = R_1/R_0$; $T = R_0C$

惯性环节方框图:



模拟电路:



传递函数 $G(s)=K/(Ts+1)$

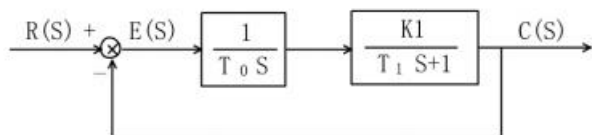
$K=R_1/R_0$ $T=R_1C$

$$U_o(t) = K(1 - e^{-\frac{t}{T}})$$

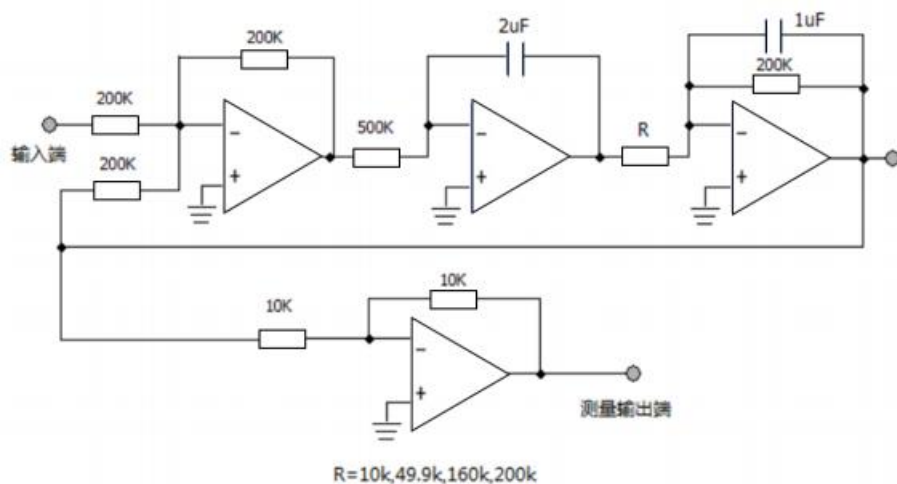
阶跃响应特性为

其中 $K = R_1/R_0$; $T = R_1C$

典型二阶系统: 方框图



模拟电路



系统开环传递函数：

$$G(s) = \frac{K_1}{T_0 S(T_1 S + 1)} = \frac{K_1/T_0}{S(T_1 S + 1)}$$

其中，开环增益为 $K = K_1/T_0$

在本实验中：

$$T_0 = 1s, \quad T_1 = 0.2s;$$

$$K_1 = 200/R \Rightarrow K = 200/R$$

系统闭环传递函数为：

$$W(S) = \frac{\omega_n^2}{S^2 + 2\zeta\omega_n S + \omega_n^2} = \frac{5K}{S^2 + 5S + 5K}$$

其中，自然振荡角频率为：

$$\omega_n = \sqrt{\frac{K}{T_1}} = 10 \sqrt{\frac{10}{R}}$$

阻尼比：

$$\zeta = \frac{5}{2\omega_n} = \frac{\sqrt{10R}}{40}$$

四、实验过程与实验数据及结果分析

（简述实验过程的步骤和方法，填写表格，并分析实验结果）

实验过程：

比例环节 (P)

积分环节 (I)

比例积分环节 (PI 环节)

惯性环节 (T)

启动计算机，并检查 ELVIS III 的 USB 线是否连接到电脑。

将“Circuits Control Board - 1”(自动控制原理课程实验套件 1)插入 ELVIS III 的插槽中；

打开 ELVIS III 电源

打开自动控制原理课程实验套件板子开关。

确认 NI ELVIS III 能够识别并显示实验板信息。

在计算机上运行名为“实验 1 典型系统的时域响应实验”的 LabVIEW 工程。

双击打开 Main.vi，并单击程序运行按钮

实验接线

将 P110 连接 A/AI1，使用 ELVIS III 的模拟信号输入端 A/AI1 采集电路的输出；

将 A/AO0 连接 A/AIO，跟踪输入信号，能够同时在计算机上清楚地看到电路的输入和输出；

实验接线完成后，再次检查电路接线是否正确，确认无误后上电。

软件设置 采样率采样长度等相关设置

运行程序并观察实验结果

更换电阻 R0 和 R1 的阻值，观察比例特性曲线

对不同环节重复上述操作，每次按照模拟电路图接线在每次进行实验之前都需要手动对电容进行放电

典型二阶系统的时域响应

实验接线

将 P110 连接 A/AI1，使用 ELVIS III 的模拟信号输入端 A/AI1 采集电路的输出；

将 A/AO0 连接 A/AIO，跟踪输入信号，能够同时在计算机上清楚地看到电路的输入和输出；

实验接线完成后，再次检查电路接线是否正确，确认无误后上电。

软件设置 采样率采样长度等相关设置

运行软件并观察实验结果

在每次进行实验之前都需要手动对电容进行放电

更换电阻 R 的阻值，观察系统阶跃信号曲线和响应曲线

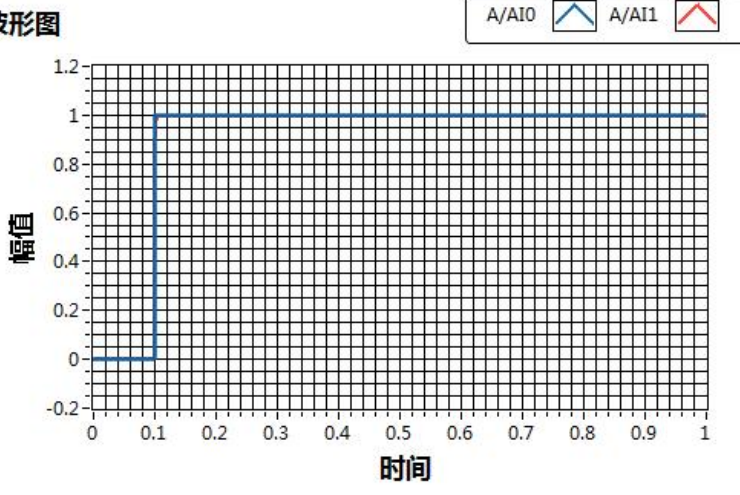
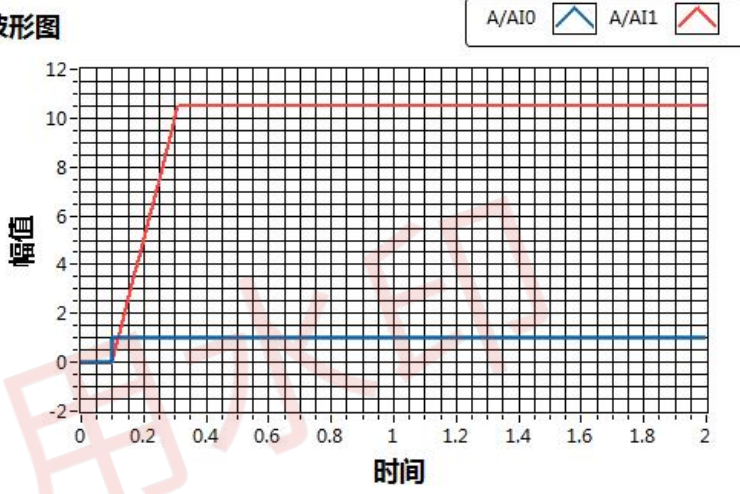
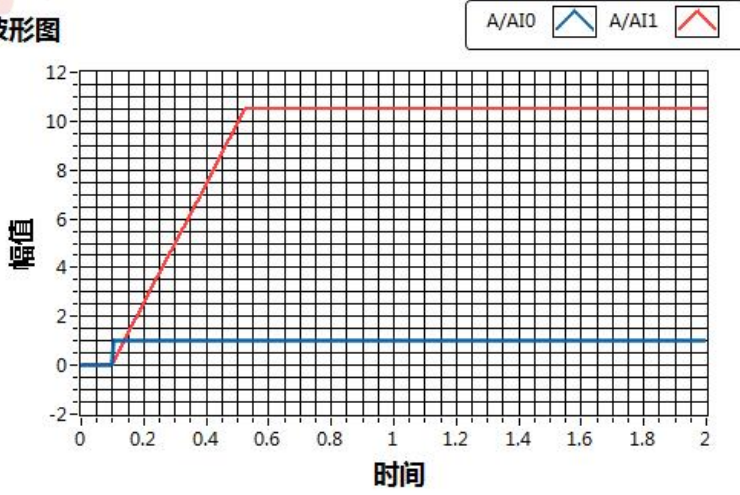
关闭 ELVIS III 试验台电源，并整理好导线。

表 1. 典型环节特征参数

典型环节	NO.	R_0	R_1	C	Solution
1. 比例环节	1.1	10k	100k	-	实测 $K=9.8$ 理论 $K=10$
	1.2	100k	100k	-	实测 $K=1.0$ 理论 $K=1.0$
	1.3	200k	100k	-	实测 $K=0.5$ 理论 $K=0.5$
2. 积分环节	2.1.1	20k	-	1uF	实测 $T=0.02s$ 理论 $T=0.02s$
	2.1.2	100k	-	1uF	实测 $T=0.1s$ 理论 $T=0.1s$
	2.1.3	200k	-	1uF	实测 $T=0.198s$ 理论 $T=0.2s$
	2.2.1	20k	-	2uF	实测 $T=0.04s$ 理论 $T=0.04s$
	2.2.2	100k	-	2uF	实测 $T=0.2s$ 理论 $T=0.2s$
	2.2.3	200k	-	2uF	实测 $T=0.422s$ 理论 $T=0.4s$
3. 比例积分环节	3.1.1	100k	200k	1uF	实测 $K=2$ 实测 $T=0.12s$ 理论 $K=2$ 理论 $T=0.1s$
	3.1.2	200k	200k	1uF	实测 $K=1$ 实测 $T=0.21s$ 理论 $K=1$ 理论 $T=0.2s$
	3.2.1	100k	200k	2uF	实测 $K=2$ 实测 $T=0.24s$ 理论 $K=2$ 理论 $T=0.2s$
	3.2.2	200k	200k	2uF	实测 $K=1$ 实测 $T=0.42s$ 理论 $K=1$ 理论 $T=0.4s$
4. 惯性环节	4.1.1	100k	200k	1uF	实测 $K=2$ 实测 $T=0.2s$ 理论 $K=2$ 理论 $T=0.2s$
	4.1.2	200k	200k	1uF	实测 $K=1$ 实测 $T=0.19s$ 理论 $K=1$ 理论 $T=0.2s$
	4.2.1	100k	200k	2uF	实测 $K=2$ 实测 $T=0.39s$ 理论 $K=2$ 理论 $T=0.4s$
	4.2.2	200k	200k	2uF	实测 $K=1$ 实测 $T=0.38s$ 理论 $K=1$ 理论 $T=0.4s$
5. 分析时间常数 T 对惯性环节响应速度的影响	由上述数据及阶跃响应曲线分析，时间常数越小，系统响应越慢，以阶跃响应为例， $U_o(t) = K(1 - e^{-\frac{t}{T}})$ 其中 $K = R_1/R_0$; $T = R_1C$, T 越小暂态分量 $\exp(-t/T)$ 收敛越慢，对应系统响应变慢				

表 2. 典型环节响应曲线截图

NO.	响应曲线
-----	------

比例环节	1.2	<p>波形图</p> 
积分环节	2.1.1	<p>波形图</p> 
积分环节	2.2.1	<p>波形图</p> 

比例积分环节	3.1.1	<p>波形图</p>
比例积分环节	3.2.1	<p>波形图</p>
惯性环节	4.1.1	<p>波形图</p>

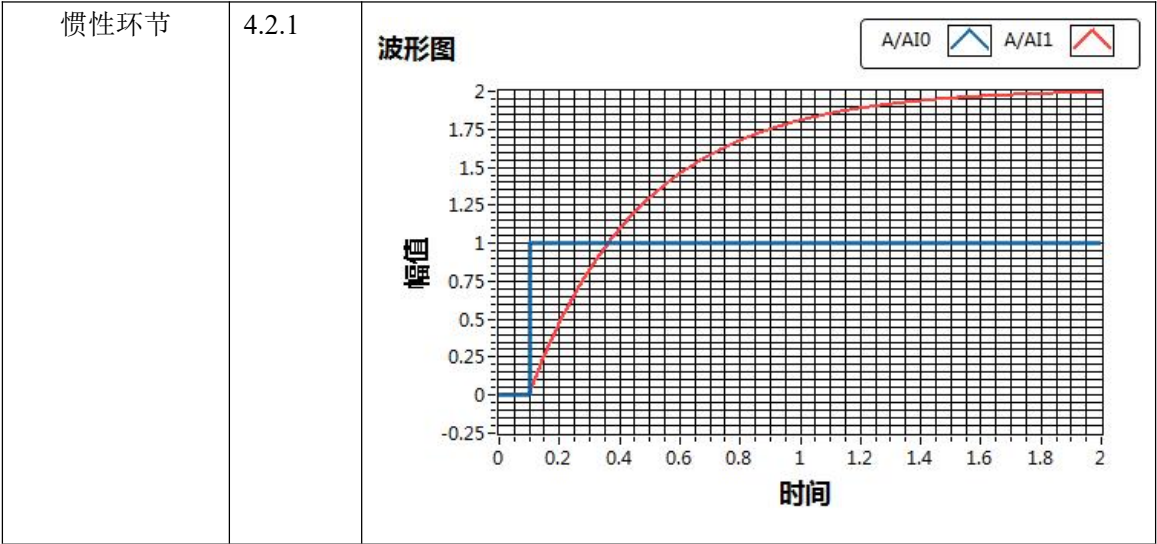
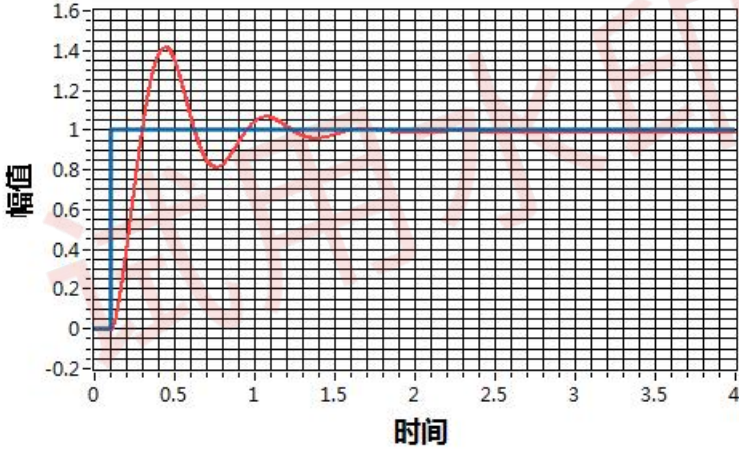
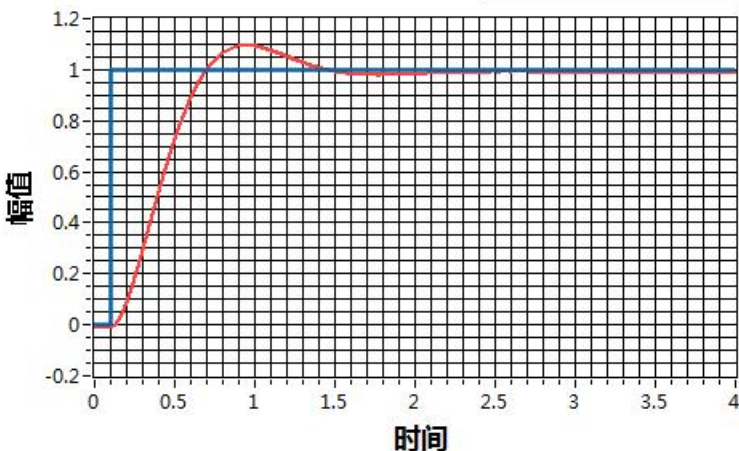


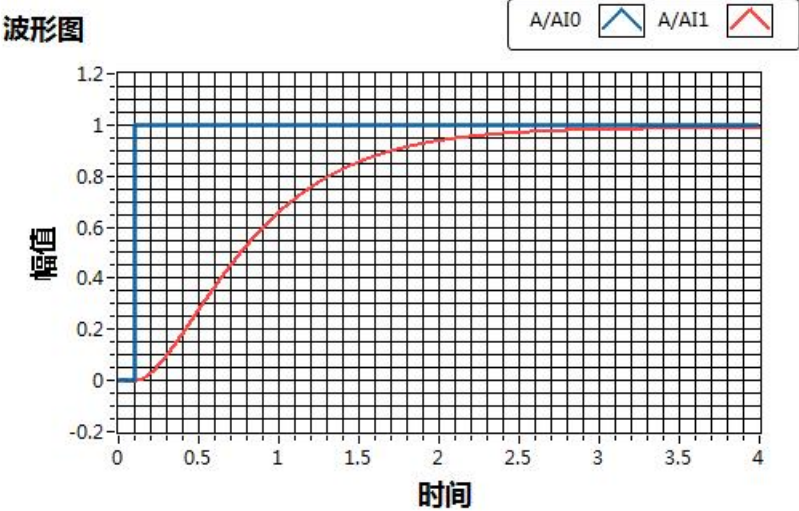
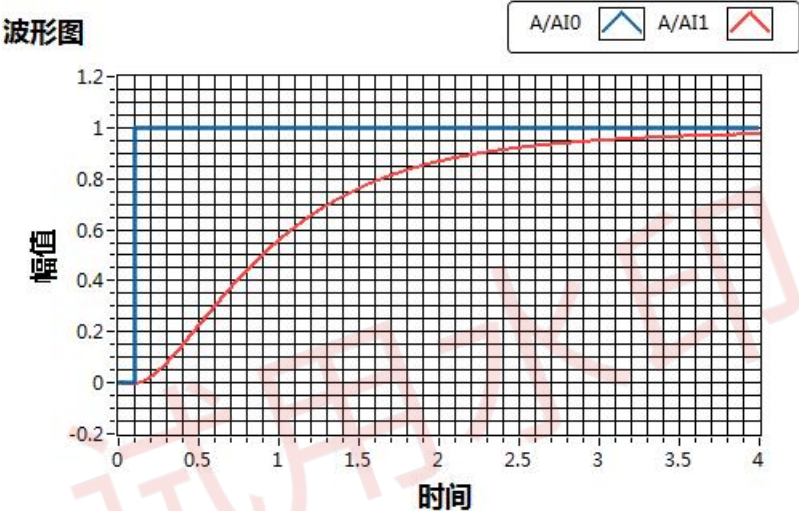
表 3. 典型二阶系统瞬态性能指标实验结果

	R(KΩ)	K	ω_n	ξ	$\sigma_p(\%)$		$t_p(s)$		$t_s(s)$		阻尼类型
					理论值	实测值	理论值	实测值	理论值	实测值	
典型二阶系统时域响应	10	20	10	0.25	44.4	43.2	0.32	0.33	1.6 1.2	1.6 1.3	欠阻尼
	50	4	4.47	0.56	12.0	10.0	0.84	0.85	1.60 1.19	1.7 1.15	欠阻尼
	160	1.25	2.5	1	\	\	\	\	\	\	临界阻尼
	200	1	2.24	1.12	\	\	\	\	\	\	过阻尼

注：K、 ω_n 、 ξ 的值需要根据二阶系统传函表达式计算。

表 4. 典型二阶系统时域响应曲线截图

序号	R(KΩ)	响应曲线图
1	10	<div><div>波形图</div><div><div>A/AI0</div><div><div></div></div><div>A/AI1</div><div><div></div></div><div></div><div><div></div></div></div></div>
2	50	<div><div>波形图</div><div><div>A/AI0</div><div><div></div></div><div>A/AI1</div><div><div></div></div><div></div><div><div></div></div></div></div>

3	160	<p>波形图</p>  <p>The graph displays two signals over a time interval from 0 to 4 seconds. The vertical axis represents the amplitude (A/AI0 and A/AI1) ranging from -0.2 to 1.2. The horizontal axis represents time (时间) in seconds. The blue line (A/AI0) is a step function that jumps from 0 to 1.0 at t=0. The red line (A/AI1) is a smooth curve that starts at 0 and asymptotically approaches 1.0, reaching approximately 0.95 at t=4.</p>
4	200	<p>波形图</p>  <p>The graph displays two signals over a time interval from 0 to 4 seconds. The vertical axis represents the amplitude (A/AI0 and A/AI1) ranging from -0.2 to 1.2. The horizontal axis represents time (时间) in seconds. The blue line (A/AI0) is a step function that jumps from 0 to 1.0 at t=0. The red line (A/AI1) is a smooth curve that starts at 0 and asymptotically approaches 1.0, reaching approximately 0.95 at t=4.</p>