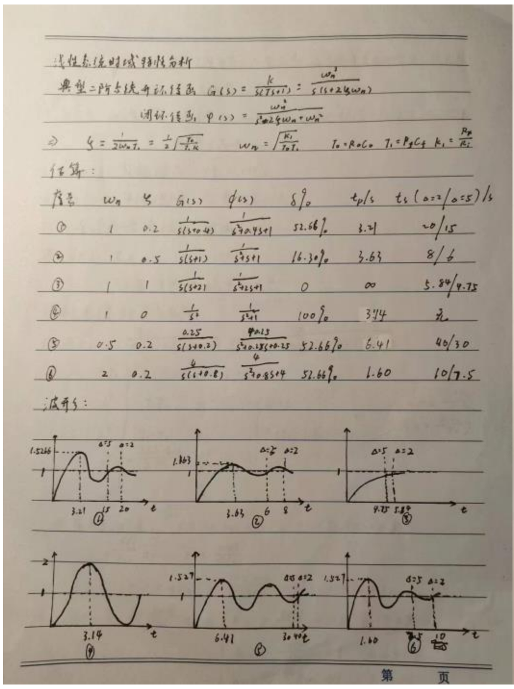
姓 名：张晓宇、白柯渊
班 级：自动化 2101
日 期：2023 年 11 月 13 日

西 安 交 通 大 学

自动控制原理实验
第一次实验报告

1 预习报告

1.1 预习报告——张晓宇



线性系统时域特性分析

典型二阶系统开环传函 $G(s)=\frac{k}{s(Ts+1)}=\frac{\omega_n^2}{s(s+2\xi\omega_n)}$

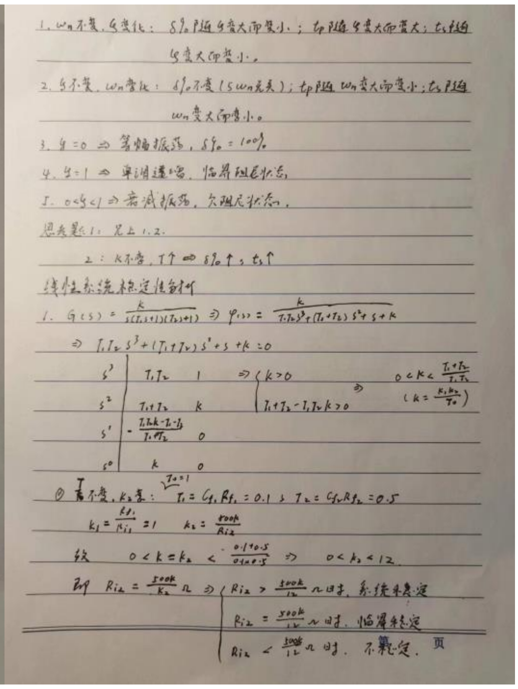
闭环传函 $\varphi(s)=\frac{\omega_n^2}{s^2+2\xi\omega_n s+\omega_n^2}$

$\Rightarrow \xi=\frac{1}{2\omega_n T_1}=\frac{1}{2}\sqrt{\frac{T_0}{T_1 k}}$ $\omega_n=\sqrt{\frac{k_1}{T_0T_1}}$ $T_0=R_0C_0$ $T_1=R_fC_f$ $k_1=\frac{R_f}{R_i}$

估算：

序号	ω_n	ξ	$G(s)$	$\varphi(s)$	$\delta\%$	t_p/s	$t_s(\Delta=2/\Delta=5)/s$
①	1	0.2	$\frac{1}{s(s+0.4)}$	$\frac{1}{s^2+0.4s+1}$	52.66%	3.21	20/15
②	1	0.5	$\frac{1}{s(s+1)}$	$\frac{1}{s^2+s+1}$	16.30%	3.63	8/6
③	1	1	$\frac{1}{s(s+2)}$	$\frac{1}{s^2+2s+1}$	0	∞	5.84/4.75
④	1	0	$\frac{1}{s^2}$	$\frac{1}{s^2+1}$	100%	3.14	无
⑤	0.5	0.2	$\frac{0.25}{s(s+0.2)}$	$\frac{0.25}{s^2+0.2s+0.25}$	52.66%	6.41	40/30
⑥	2	0.2	$\frac{4}{s(s+0.8)}$	$\frac{4}{s^2+0.8s+4}$	52.66%	1.60	10/7.5

波形：



1. ω_n不变，ξ变化：$\delta\%$随ξ变大而变小；t_p随ξ变大而变大；t_s随ξ变大而变小。

2. ξ不变，ω_n变化：$\delta\%$不变（与ω_n无关）；t_p随ω_n变大而变小；t_s随ω_n变大而变小。

3. $\xi=0\Rightarrow$等幅振荡，$\delta\%=100\%$

4. $\xi=1\Rightarrow$单调递增，临界阻尼状态

5. $0<\xi<1\Rightarrow$衰减振荡，欠阻尼状态。

思考题1：见上1.2.

2：k不变，$T\uparrow\Rightarrow\delta\%\uparrow$，$t_s\uparrow$

线性系统稳定性分析

1. $G(s)=\frac{k}{s(T_1s+1)(T_2s+1)}\Rightarrow\varphi(s)=\frac{k}{T_1T_2s^3+(T_1+T_2)s^2+s+k}$

$\Rightarrow T_1T_2s^3+(T_1+T_2)s^2+s+k=0$

s^3 T_1T_2 1 $\Rightarrow\begin{cases}k>0\\T_1+T_2-T_1T_2k>0\end{cases}\Rightarrow 0<k<\frac{T_1+T_2}{T_1T_2}$ $(k=\frac{k_1k_2}{T_0})$

s^2 T_1+T_2 k

s^1 $-\frac{T_1T_2k-T_1-T_2}{T_1+T_2}$ 0

s^0 k 0

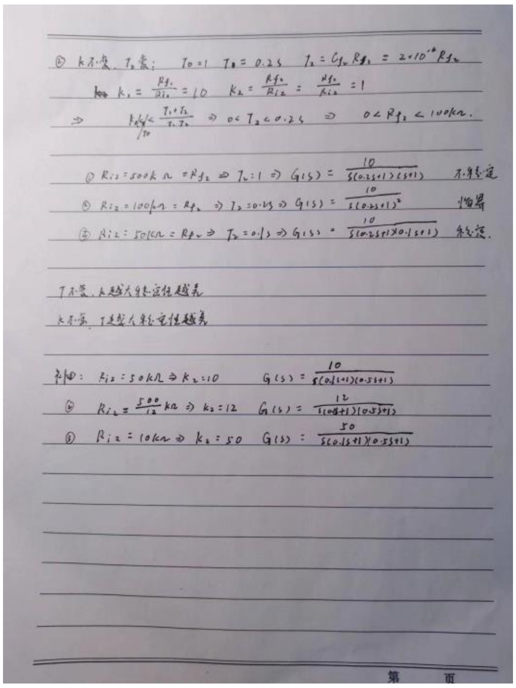
① T不变，k_2变：$T_0=1$ $T_1=C_{f1}R_{f1}=0.1$，$T_2=C_{f2}R_{f2}=0.5$

$k_1=\frac{R_{f1}}{R_{i1}}=1$ $k_2=\frac{500k}{R_{i2}}$

故 $0<k=k_2<\frac{0.1+0.5}{0.1\times0.5}\Rightarrow 0<k_2<12$

即 $R_{i2}=\frac{500k}{k_2}\Omega\Rightarrow\begin{cases}R_{i2}>\frac{500k}{12}\Omega\text{时，系统稳定}\\R_{i2}=\frac{500k}{12}\Omega\text{时，临界稳定}\\R_{i2}<\frac{500k}{12}\Omega\text{时，不稳定}\end{cases}$

第 页



② k不变，T_2变：$T_0=1$ $T_1=0.25$ $T_2=C_{f2}R_{f2}=2\times10^{-6}R_{f2}$

$k_1=\frac{R_{f1}}{R_{i1}}=10$ $k_2=\frac{R_{f2}}{R_{i2}}=\frac{R_{f2}}{R_{i2}}=1$

$\Rightarrow \frac{k_1k_2}{T_0}<\frac{T_1+T_2}{T_1T_2}\Rightarrow 0<T_2<0.25\Rightarrow 0<R_{f2}<100k\Omega$.

① $R_{i2}=500k\Omega=R_{f2}\Rightarrow T_2=1\Rightarrow G(s)=\frac{10}{s(0.25s+1)(s+1)}$ 不稳定

② $R_{i2}=100k\Omega=R_{f2}\Rightarrow T_2=0.25\Rightarrow G(s)=\frac{10}{s(0.25s+1)^2}$ 临界

③ $R_{i2}=50k\Omega=R_{f2}\Rightarrow T_2=0.1\Rightarrow G(s)=\frac{10}{s(0.25s+1)(0.1s+1)}$ 稳定.

T不变，k越大稳定性越差

k不变，T越大稳定性越差

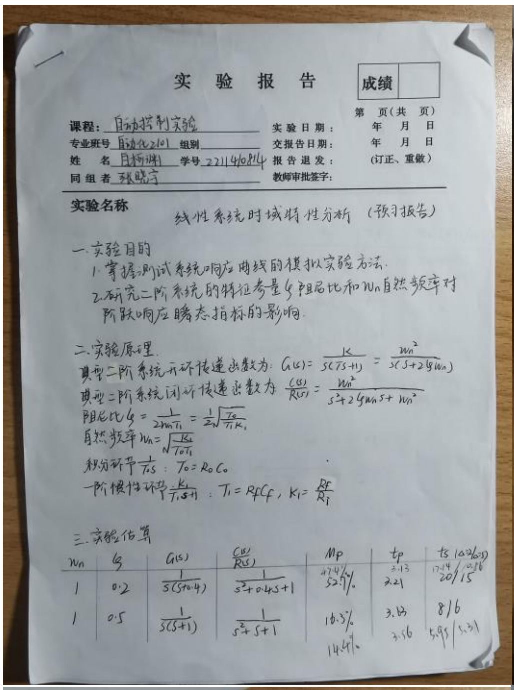
补四：$R_{i2}=50k\Omega\Rightarrow k_2=10$ $G(s)=\frac{10}{s(0.1s+1)(0.5s+1)}$

② $R_{i2}=\frac{500}{12}k\Omega\Rightarrow k_2=12$ $G(s)=\frac{12}{s(0.1s+1)(0.5s+1)}$

③ $R_{i2}=10k\Omega\Rightarrow k_2=50$ $G(s)=\frac{50}{s(0.1s+1)(0.5s+1)}$

第 页

1.2 预习报告——白柯渊



实 验 报 告　成绩

第　页（共　页）

课程：自动控制实验　实验日期：　年　月　日

专业班号 自动化2101 组别　交报告日期：　年　月　日

姓　名 白柯渊　学号 2211410814　报告退发：（订正、重做）

同组者 张晓宁　教师审批签字：

实验名称　线性系统时域特性分析（预习报告）

一、实验目的

1. 掌握测试系统响应曲线的模拟实验方法.
2. 研究二阶系统的特征参量 ζ 阻尼比和 ω_n 自然频率对阶跃响应瞬态指标的影响.

二、实验原理.

典型二阶系统开环传递函数为：$G(s)=\frac{K}{s(Ts+1)}=\frac{\omega_n^2}{s(s+2\zeta\omega_n)}$

典型二阶系统闭环传递函数为 $\frac{C(s)}{R(s)}=\frac{\omega_n^2}{s^2+2\zeta\omega_n s+\omega_n^2}$

阻尼比 $\zeta=\frac{1}{2\omega_n T_1}=\frac{1}{2}\sqrt{\frac{T_0}{T_1K_1}}$

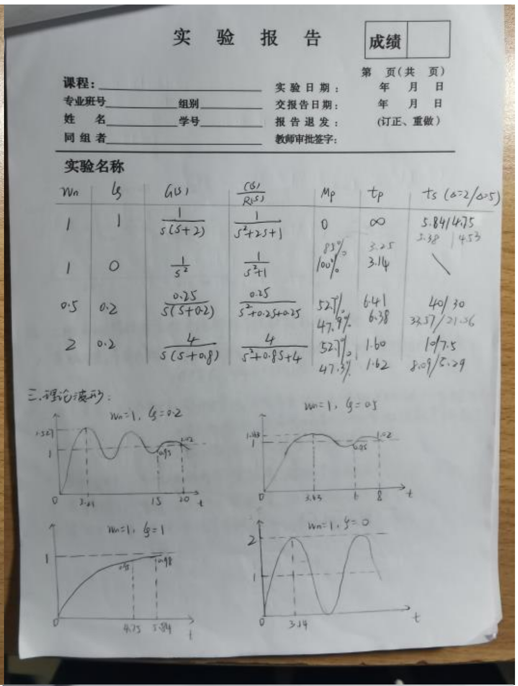
自然频率 $\omega_n=\sqrt{\frac{K_1}{T_0T_1}}$

积分环节 $\frac{1}{T_0 s}$：$T_0=R_0C_0$

一阶惯性环节 $\frac{K_1}{T_1s+1}$：$T_1=R_fC_f$，$K_1=\frac{R_f}{R_1}$

三、实验估算

ω_n	ζ	$G(s)$	$\frac{C(s)}{R(s)}$	Mp	tp	ts (0.02/0.05)
1	0.2	$\frac{1}{s(s+0.4)}$	$\frac{1}{s^2+0.4s+1}$	47.4% 52.7%	3.13 3.21	17.14/10.86 20/15
1	0.5	$\frac{1}{s(s+1)}$	$\frac{1}{s^2+s+1}$	16.3% 14.4%	3.63 3.56	8/6 5.95/3.31



实 验 报 告　成绩

第　页（共　页）

课程：　实验日期：　年　月　日

专业班号　组别　交报告日期：　年　月　日

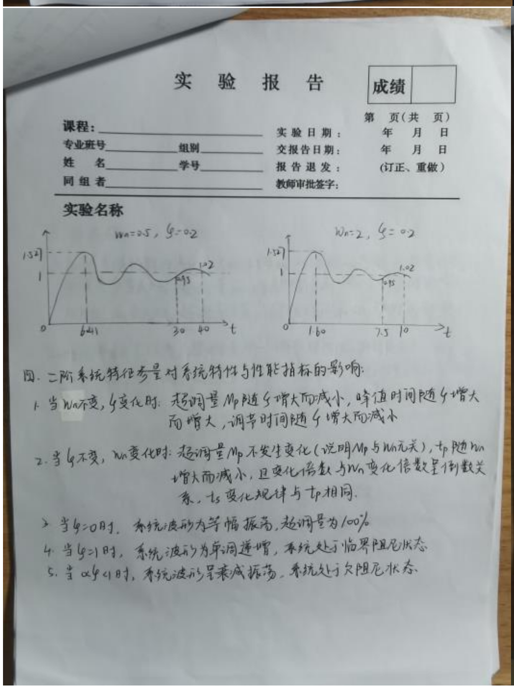
姓　名　学号　报告退发：（订正、重做）

同组者　教师审批签字：

实验名称

ω_n	ζ	$G(s)$	$\frac{C(s)}{R(s)}$	Mp	tp	ts (0.02/0.05)
1	1	$\frac{1}{s(s+2)}$	$\frac{1}{s^2+2s+1}$	0	∞	5.84/4.75 5.38/4.53
1	0	$\frac{1}{s^2}$	$\frac{1}{s^2+1}$	83% 100%	3.25 3.14	\
0.5	0.2	$\frac{0.25}{s(s+0.2)}$	$\frac{0.25}{s^2+0.2s+0.25}$	52.7% 47.9%	6.41 6.38	40/30 33.57/21.56
2	0.2	$\frac{4}{s(s+0.8)}$	$\frac{4}{s^2+0.8s+4}$	52.7% 47.3%	1.60 1.62	10/7.5 8.09/5.29

三、理论波形：



实 验 报 告　成绩

第　页（共　页）

课程：　实验日期：　年　月　日

专业班号　组别　交报告日期：　年　月　日

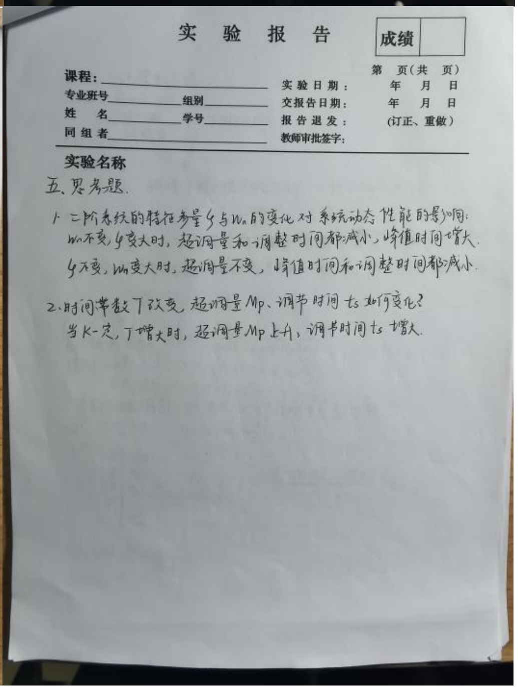
姓　名　学号　报告退发：（订正、重做）

同组者　教师审批签字：

实验名称

四、二阶系统特征参量对系统特性与性能指标的影响.

1. 当 ω_n 不变，ζ 变化时：超调量 Mp 随 ζ 增大而减小，峰值时间随 ζ 增大而增大，调节时间随 ζ 增大而减小
2. 当 ζ 不变，ω_n 变化时：超调量 Mp 不发生变化（说明 Mp 与 ω_n 无关），tp 随 ω_n 增大而减小，且变化倍数与 ω_n 变化倍数呈倒数关系．ts 变化规律与 tp 相同.
3. 当 $\zeta=0$ 时．系统波形为等幅振荡，超调量为100%
4. 当 $\zeta=1$ 时，系统波形为单调递增，系统处于临界阻尼状态
5. 当 $0<\zeta<1$ 时，系统波形呈衰减振荡．系统处于欠阻尼状态.



实 验 报 告　成绩

第　页（共　页）

课程：　实验日期：　年　月　日

专业班号　组别　交报告日期：　年　月　日

姓　名　学号　报告退发：（订正、重做）

同组者　教师审批签字：

实验名称

五、思考题.

1. 二阶系统的特征参量 ζ 与 ω_n 的变化对系统动态性能的影响：
   ω_n 不变，ζ 变大时，超调量和调整时间都减小，峰值时间增大.
   ζ 不变，ω_n 变大时，超调量不变，峰值时间和调整时间都减小.
2. 时间常数 T 改变，超调量 Mp、调节时间 ts 如何变化?
   当 K 一定，T 增大时，超调量 Mp 上升，调节时间 ts 增大.

实 验 报 告

成绩

第 页（共 页）

课程：自动控制实验　　实验日期：　年　月　日

专业班号 自动化2101 组别　　交报告日期：　年　月　日

姓　名 白柯渊 学号 2211410814　报告退发：（订正、重做）

同组者 张晓宇　　教师审批签字：

实验名称

线性系统稳定性分析（预习报告）

一.实验目的

1. 熟悉劳斯判据，用劳斯判据对三阶系统进行稳定性分析

2. 研究线性系统的开环比例系数K与时间常数T对稳定性的影响

二.实验原理

开环传递函数 $G(s)=\dfrac{K}{T_0 S(T_1 S+1)(T_2 S+1)}$

特征方程 $T_0 S(T_1 S+1)(T_2 S+1)+K=0$

即 $T_1T_2 S^3+(T_1+T_2)S^2+S+\frac{K}{T_0}=0$

劳斯判据推算三阶系统K与T的稳定范围过程：

1° $T_1T_2>0$，$T_1+T_2>0$，$\frac{K}{T_0}>0$

2°

$$\begin{array}{c|cc} S^3 & T_1T_2 & 1 \\ S^2 & T_1+T_2 & \frac{K}{T_0} \\ S^1 & \frac{(T_1T_2)\frac{K}{T_0}-(T_1+T_2)}{-(T_1+T_2)} & 0 \\ S^0 & \frac{K}{T_0} & \end{array}$$

$$\frac{(T_1T_2)\frac{K}{T_0}-(T_1+T_2)}{-(T_1+T_2)}>0$$

积分环节 $\frac{1}{T_0 S}$：$T_0=R_0C_0$

惯性环节 $\frac{K_i}{T_i S+1}$：$T_i=R_{fi}C_{fi}$，$K_i=\frac{R_{fi}}{R_{1i}}$

实 验 报 告

成绩

第 页（共 页）

课程：　　实验日期：　年　月　日

专业班号　组别　　交报告日期：　年　月　日

姓　名　学号　　报告退发：（订正、重做）

同组者　　教师审批签字：

实验名称

100K

稳定：$\frac{C(s)}{R(s)}=\frac{K_2}{0.05S^3+0.6S^2+S+K}=\frac{20K_2}{S^3+12S^2+20S+20K_2}$，$0<K_2$

临界稳定：$\frac{C(s)}{R(s)}=\frac{240}{S^3+12S^2+20S+240}$

不稳定：$\frac{C(s)}{R(s)}=\frac{20K_2}{S^3+12S^2+20S+20K_2}$，$K_2>12$

三.实验估算

10K

①T不变时，改变K：$T_0=R_0C_0=1$　$T_1=R_{f1}C_{f1}=0.1$　$T_2=R_{f2}C_{f2}=0.5$

$K_1=\frac{R_{f1}}{R_{i1}}=1$　$K_2=\frac{R_{f2}}{R_{i2}}=\frac{500K}{R_{i2}}$

特征方程：$0.05S^3+0.6S^2+S+K=0$

劳斯阵列

$$\begin{array}{c|cc} S^3 & 0.05 & 1 \\ S^2 & 0.6 & K \\ S^1 & \frac{0.05K-0.6}{-0.6} & 0 \\ S^0 & K & 0 \end{array}$$

$\therefore \begin{cases} K>0 \\ 0.05K-0.6<0 \end{cases} \Rightarrow 0<K<12$

$\because K_2=\frac{K}{K_1}=K$

$\therefore 0<K_2<12$

由于 $K_2=\frac{500K}{R_{i2}}$　$\therefore R_{i2}>41.7k$

②K不变时，改变T：

$T_0=R_0C_0=1$　$T_1=R_{f1}C_{f1}=0.2$　$T_2=R_{f2}C_{f2}=2\times10^{-6}R_{f2}$

$K_1=\frac{R_{f1}}{R_{i1}}=10$　$K_2=\frac{R_{f2}}{R_{i2}}=1$　$K=K_1K_2=10$

特征方程：$0.2T_2S^3+(0.2+T_2)S^2+S+10=0$

劳斯阵列

$$\begin{array}{c|cc} S^3 & 0.2T_2 & 1 \\ S^2 & 0.2+T_2 & 10 \\ S^1 & \frac{0.2T_2\times10-(0.2+T_2)}{-(0.2+T_2)} & 0 \\ S^0 & 10 & \end{array}$$

$\therefore \begin{cases} 0.2T_2>0 \\ 0.2+T_2>0 \\ 0.2T_2\times10-(0.2+T_2)<0 \end{cases} \Rightarrow 0<T_2<0.2$

$\because T_2=2\times10^{-6}R_{f2}$

$\therefore R_{f2}<10^5\Omega$

50K

实 验 报 告

成绩

第 页（共 页）

课程：　　实验日期：　年　月　日

专业班号　组别　　交报告日期：　年　月　日

姓　名　学号　　报告退发：（订正、重做）

同组者　　教师审批签字：

实验名称

K不变时，改变T

稳定：$\frac{C(s)}{R(s)}=\frac{10}{0.2T_2S^3+(0.2+T_2)S^2+S+10}$，$0<T_2<0.2$

临界稳定：$\frac{C(s)}{R(s)}=\frac{10}{0.04S^3+0.4S^2+S+10}=\frac{250}{S^3+10S^2+25S+250}$

不稳定：$\frac{C(s)}{R(s)}=\frac{10}{0.2T_2S^3+(0.2+T_2)S^2+S+10}$，$T_2>0.2$

K与T对系统稳定性的影响：

K越大，系统稳定性越差。

T越大，系统稳定性越差。

2 实验内容

2.1 实验一、线性系统时域特性分析

1. 已知系统的模拟电路，在 NI ELVIS Ⅱ 教学实验板上，利用运算放大器、电阻、电容自行搭建二阶模拟闭环系统。阶跃信号由实验板模拟量输出口 AO0 输出，接到二阶系统输入端。将二阶系统的输入端与输出端分别接实验板模拟量输入接口 AI0(+)与 AI1(+)，采样阶跃输入信号与二阶系统的阶跃响应信号。搭建模拟电路时，应当注意：运算放大器的 Vcc 与 Vee 分别接实验板+15V 与-15V，正输入端 IN+应接实验板的 GROUND 端。
2. 写出下面二阶系统 6 组参数的开环传递函数，测量并记录每组参数的阶跃响应曲线，标出各组曲线的超调量M_p 、峰值时间t_p 、调整时间$t_s(\Delta=2/\Delta=5)$ 的测量值，与理论值进行比较。将 156 组曲线进行对比分析。

1） $\omega_n=1$ 不变，取$\zeta=0.2$

$R_i=200k\Omega, R_f=500k\Omega, C_f=5\mu F, R_0=500k\Omega, C_0=2\mu F$

2） $\omega_n=1$ 不变，取$\zeta=0.5$

$R_i=200k\Omega, R_f=200k\Omega, C_f=5\mu F, R_0=500k\Omega, C_0=2\mu F$

3） $\omega_n=1$ 不变，取$\zeta=1$

$R_i=200k\Omega, R_f=100k\Omega, C_f=5\mu F, R_0=500k\Omega, C_0=2\mu F$

4） $\omega_n=1$ 不变，取$\zeta=0$

$R_i=200k\Omega, R_f=\infty, C_f=5\mu F, R_0=500k\Omega, C_0=2\mu F$

5） $\zeta=0.2$不变，取$\omega_n=0.5$

$R_i=800k\Omega, R_f=1M\Omega, C_f=5\mu F, R_0=500k\Omega, C_0=2\mu F$

6） $\zeta=0.2$ 不变，取$\omega_n=2$

$R_i=50k\Omega, R_f=250k\Omega, C_f=5\mu F, R_0=500k\Omega, C_0=2\mu F$

2.2 实验一记录图表

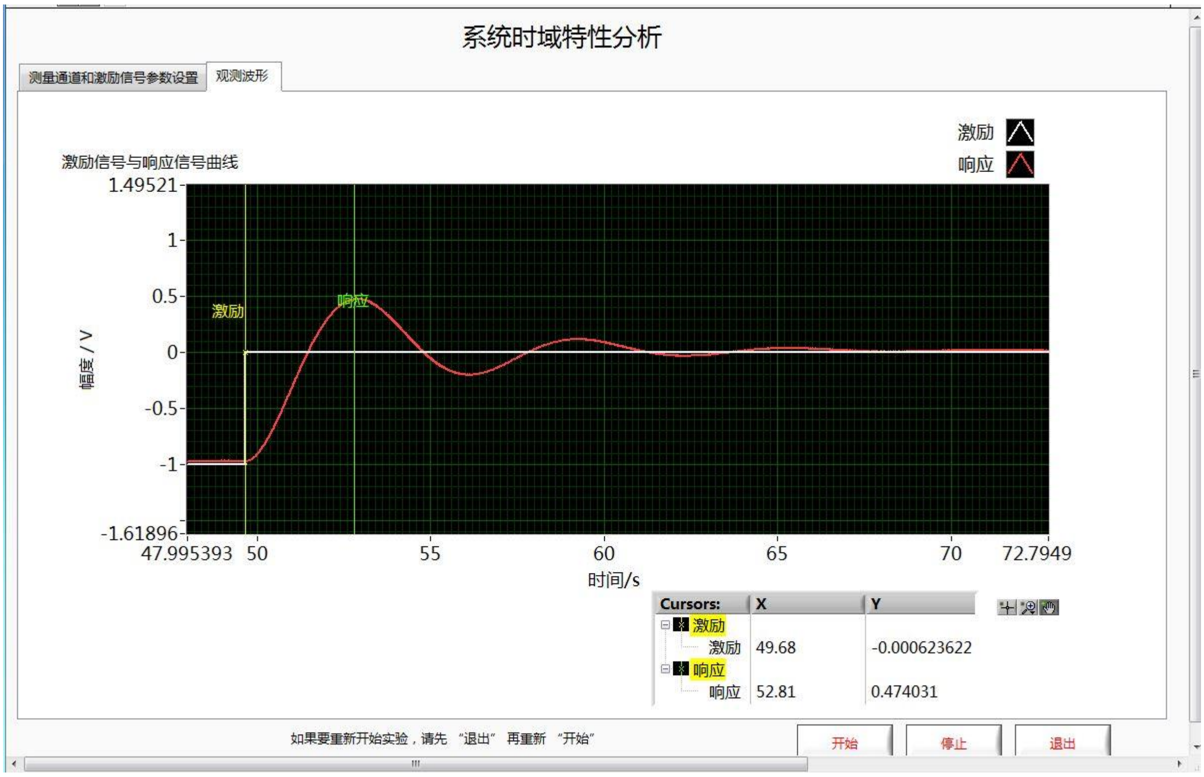


图 2-1 组 1 超调量M_p 、峰值时间t_p

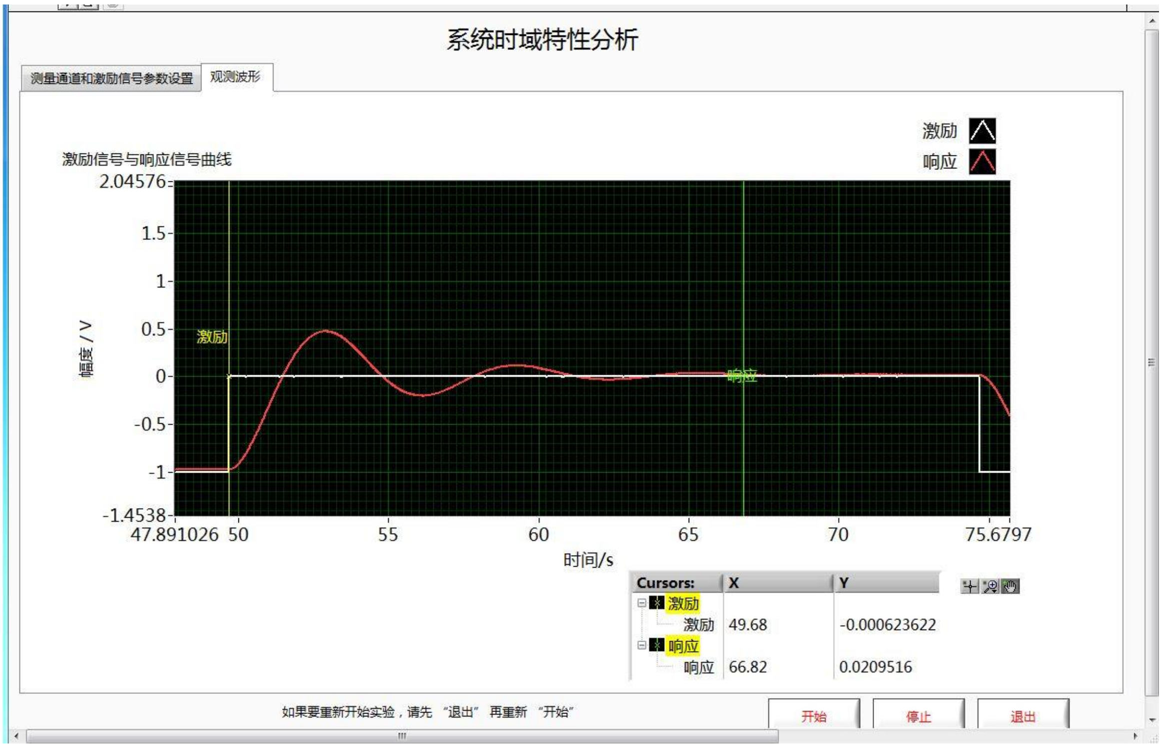


图 2-2 组 1 调整时间$t_s - \Delta = 2$

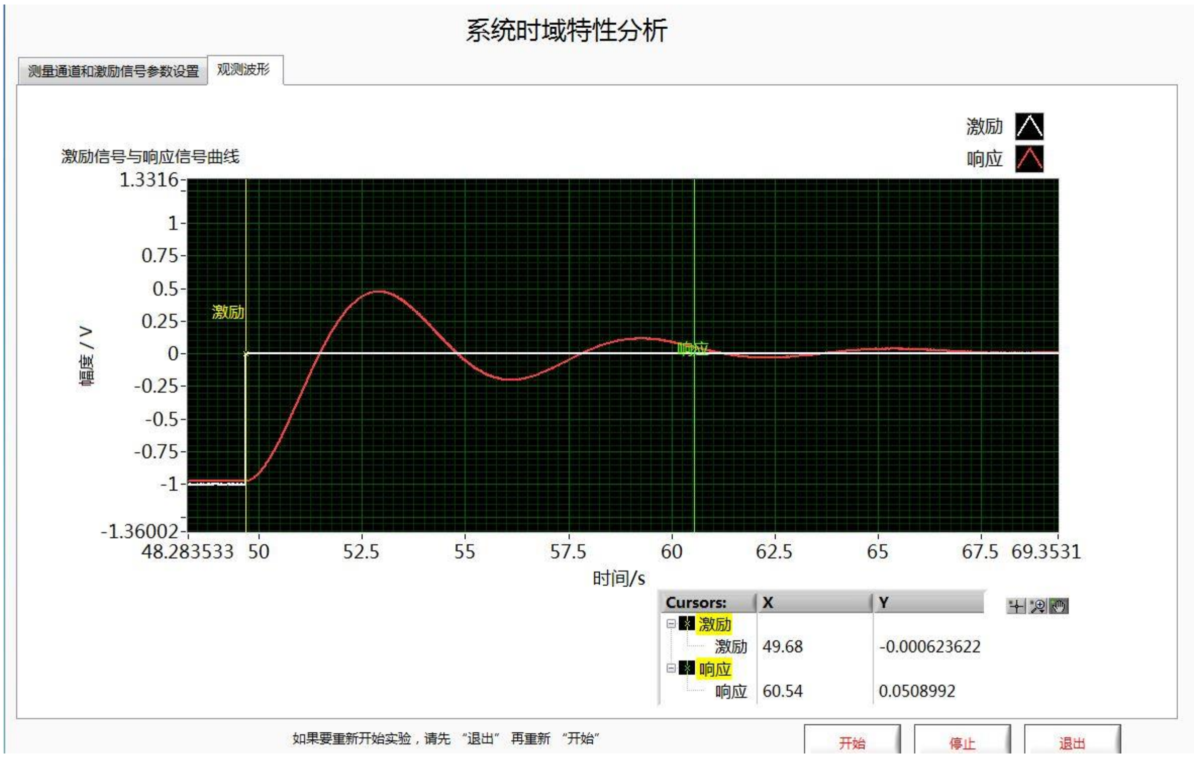


图 2-3 组 1 调整时间$t_s-\Delta=5$

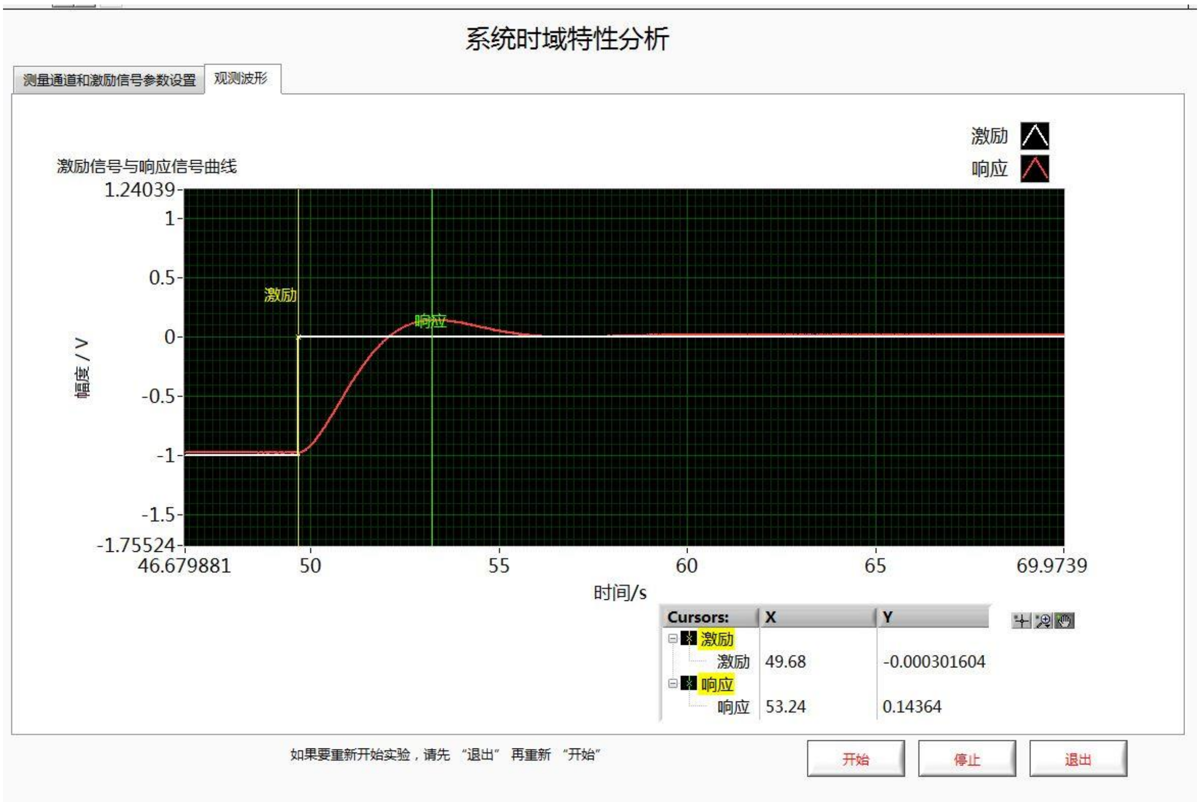


图 2-4 组 2 超调量M_p 、峰值时间t_p

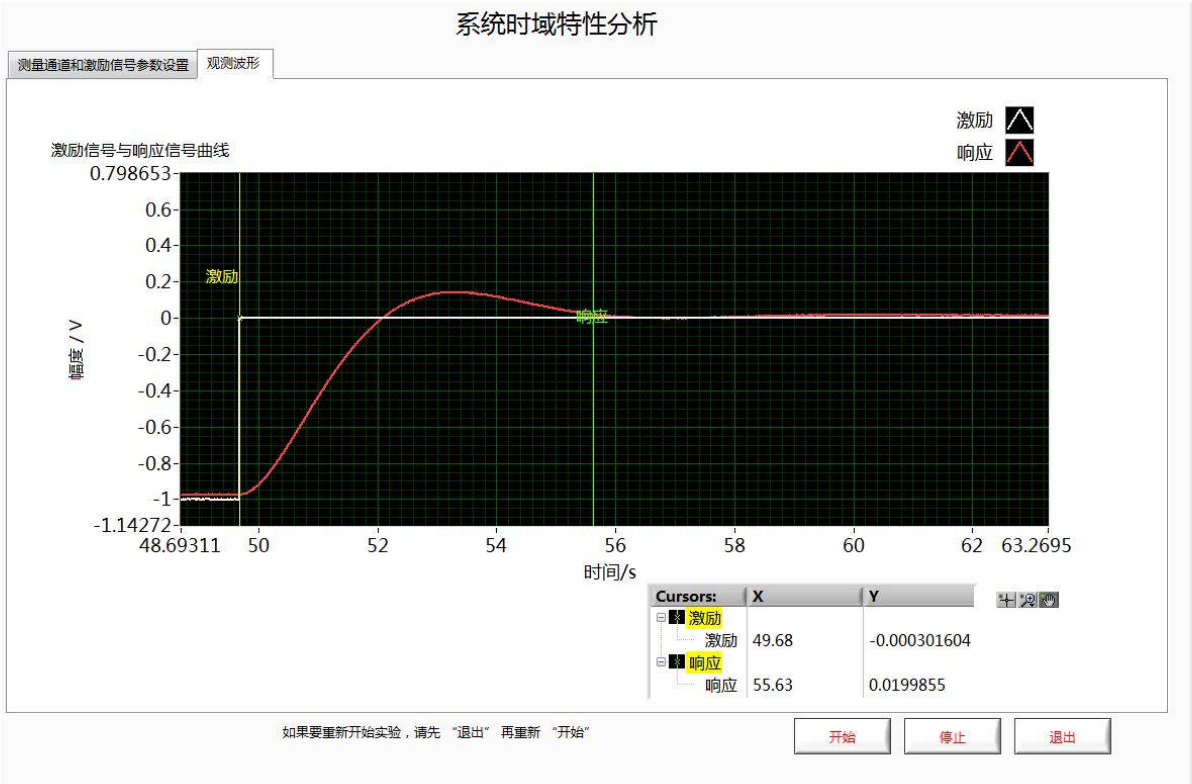


图 2-5 组 2 调整时间$t_s-\Delta=2$

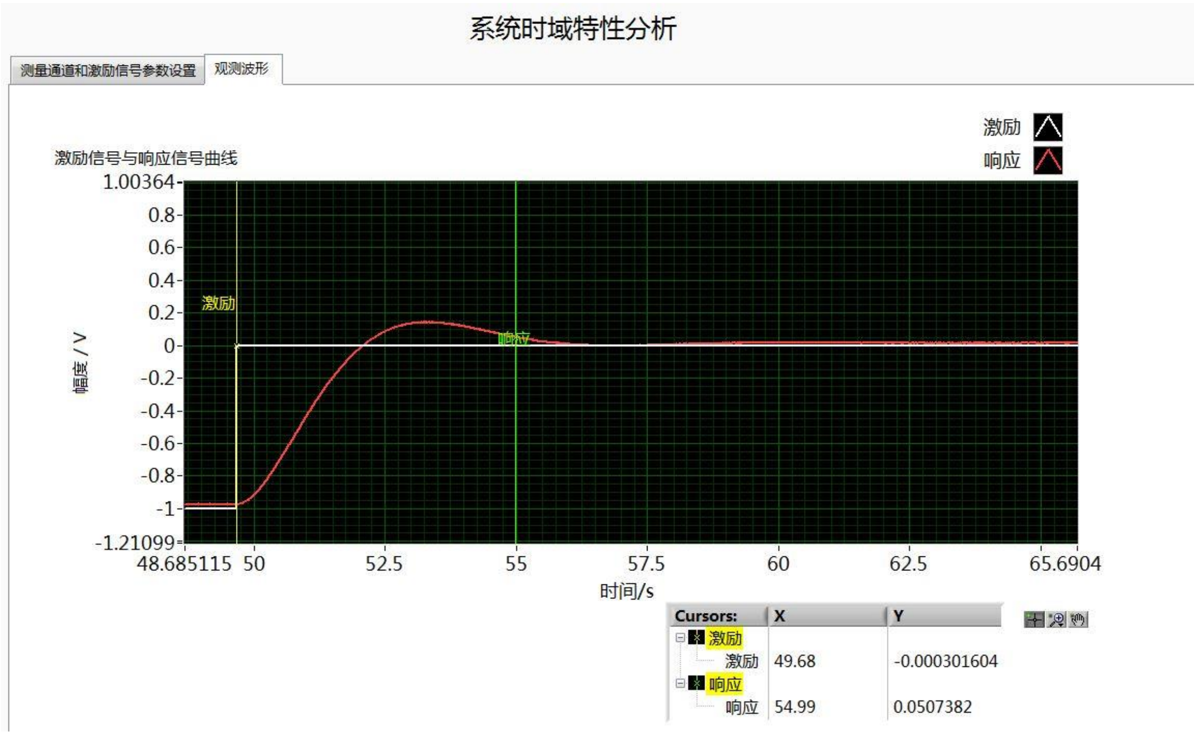


图 2-6 组 2 调整时间$t_s-\Delta=5$

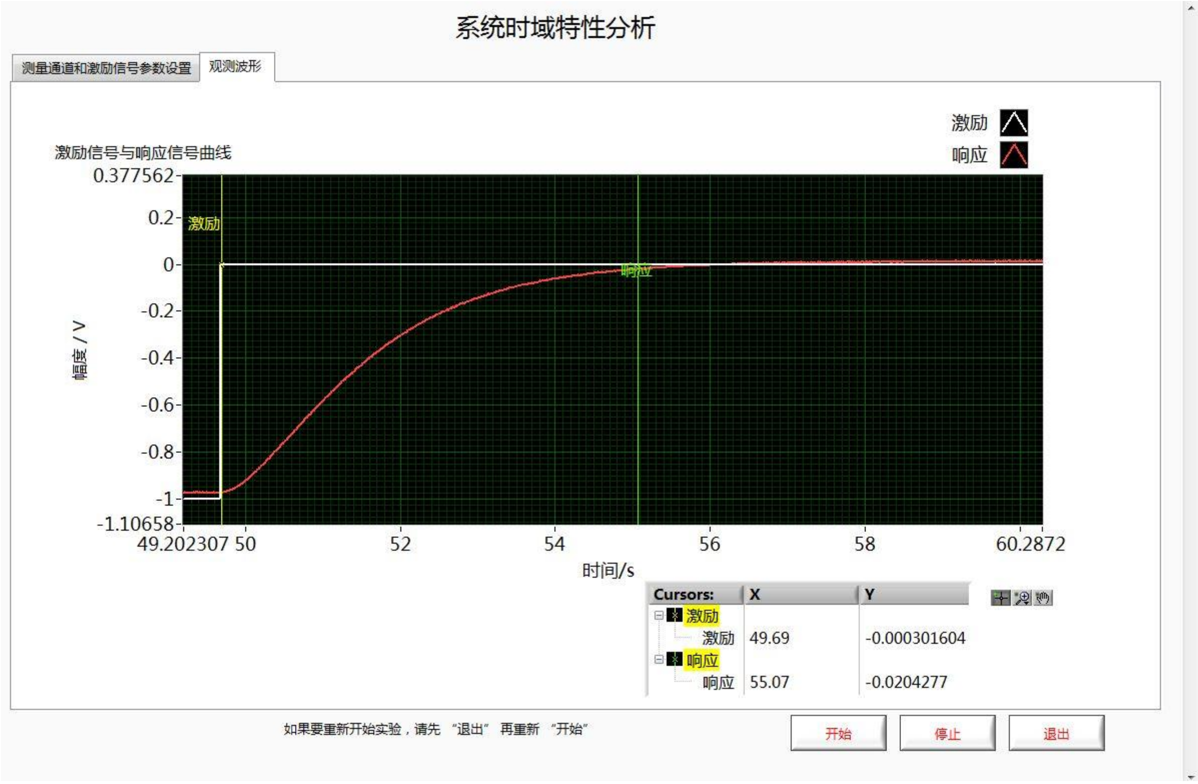


图 2-7 组 3 调整时间$t_s - \Delta = 2$

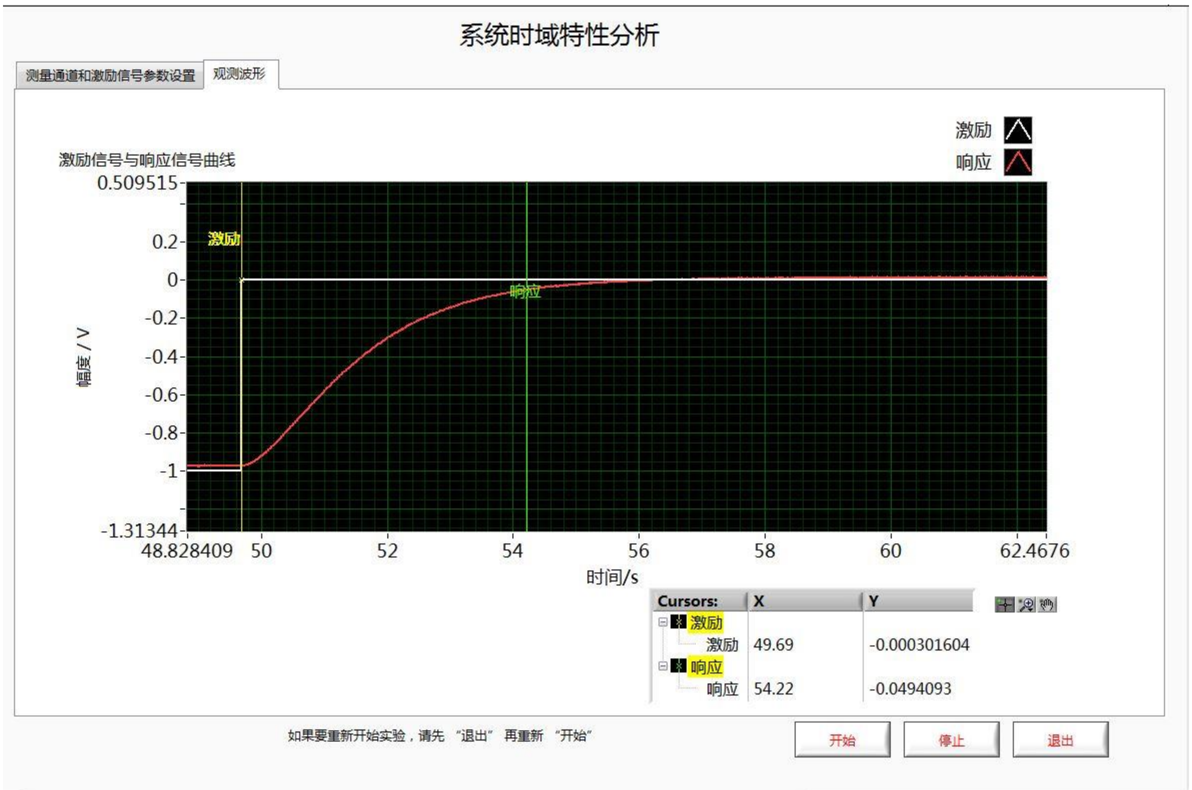


图 2-8 组 3 调整时间$t_s - \Delta = 5$

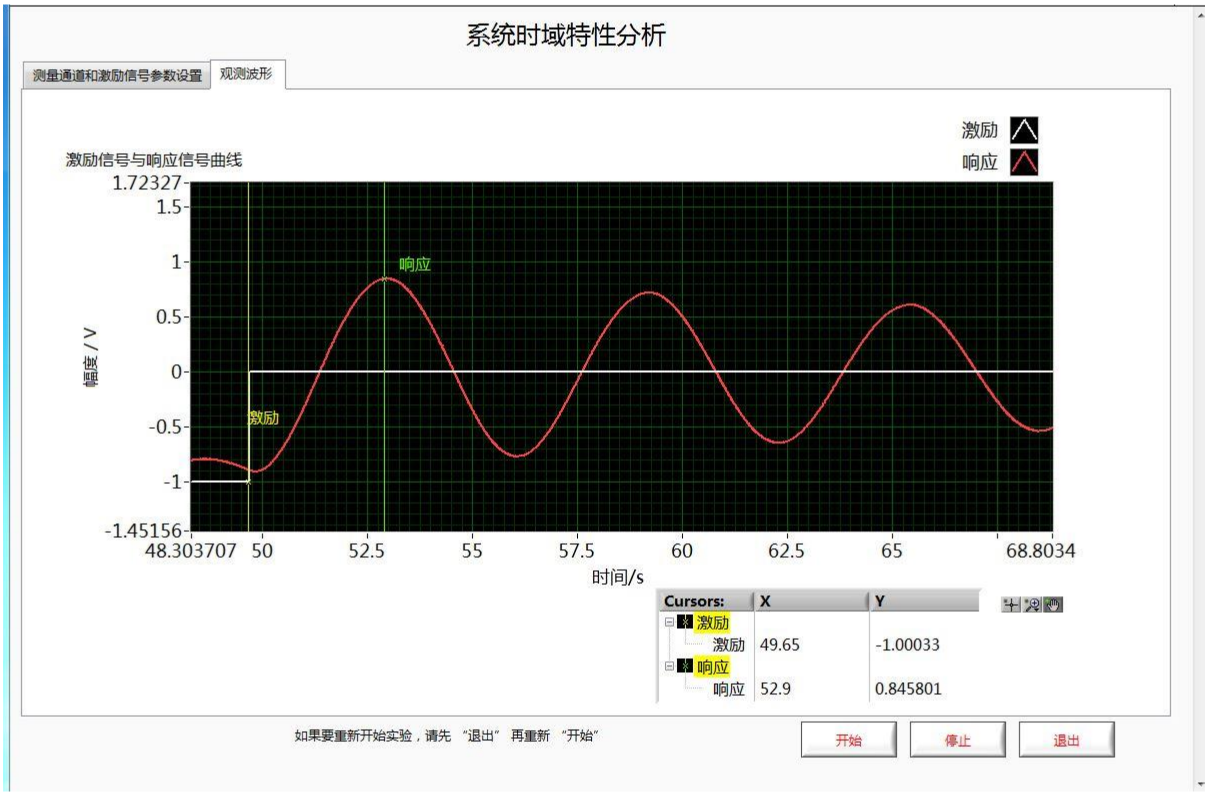


图 2-9 组 4 超调量M_p 、峰值时间t_p

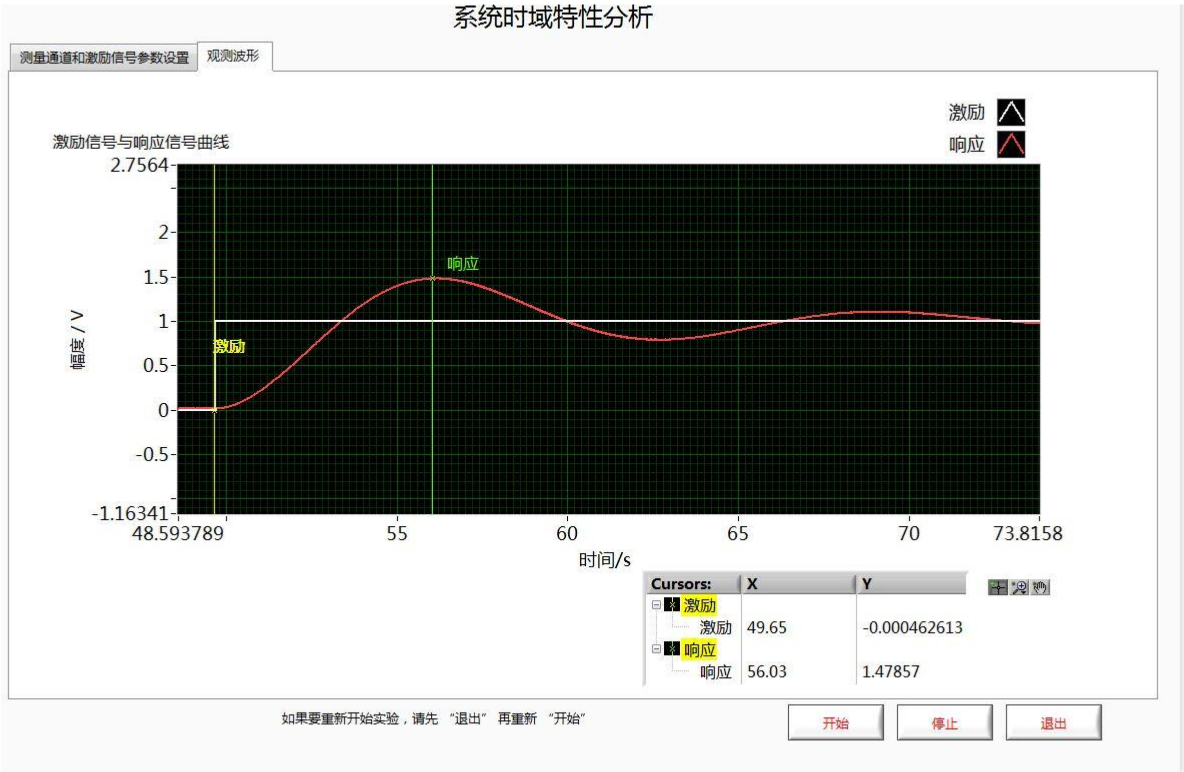


图 2-10 组 5 超调量M_p 、峰值时间t_p

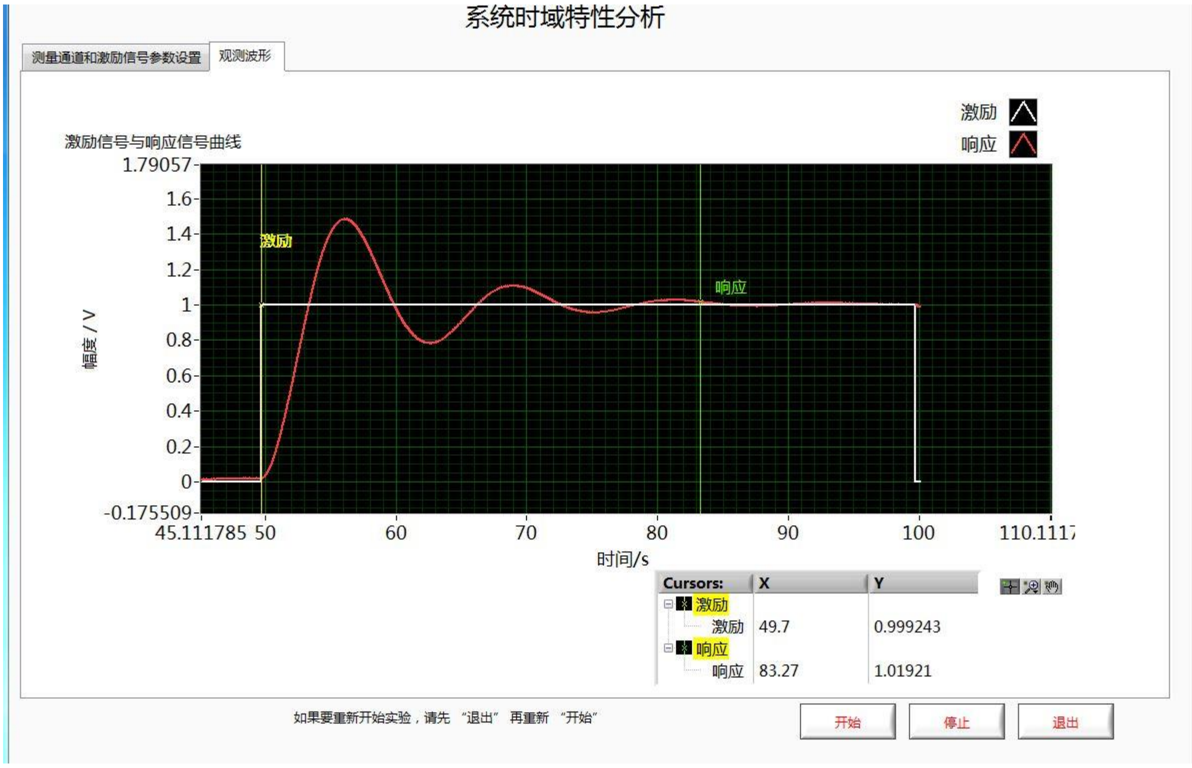


图 2-11 组 5 调整时间$t_s-\Delta=2$

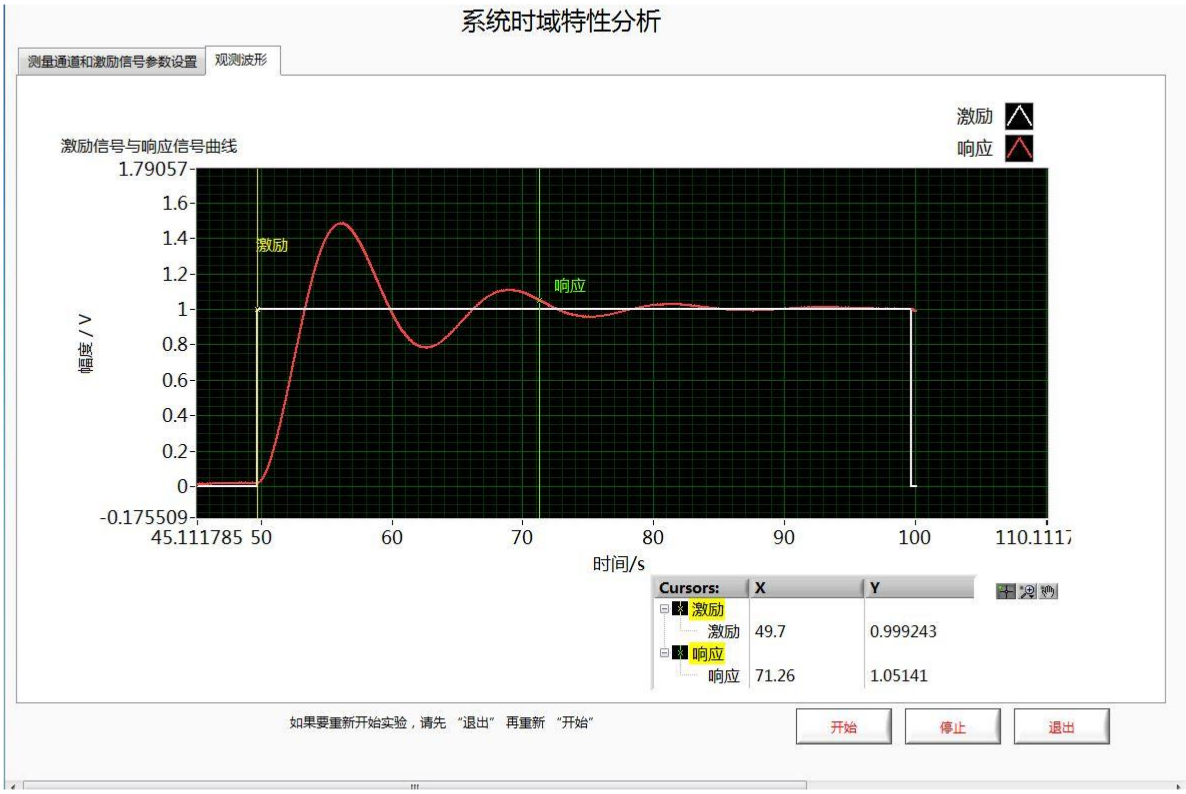


图 2-12 组 5 调整时间$t_s-\Delta=5$

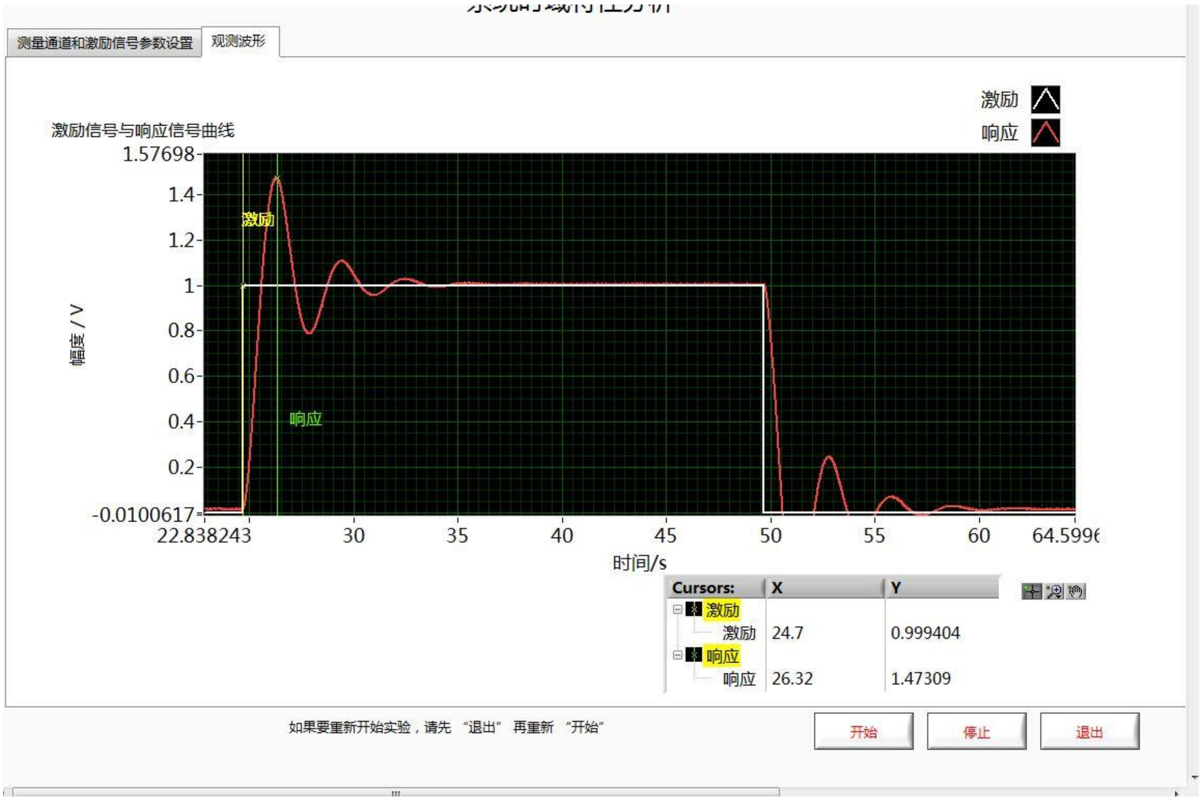


图 2-13 组 6 超调量M_p 、峰值时间t_p

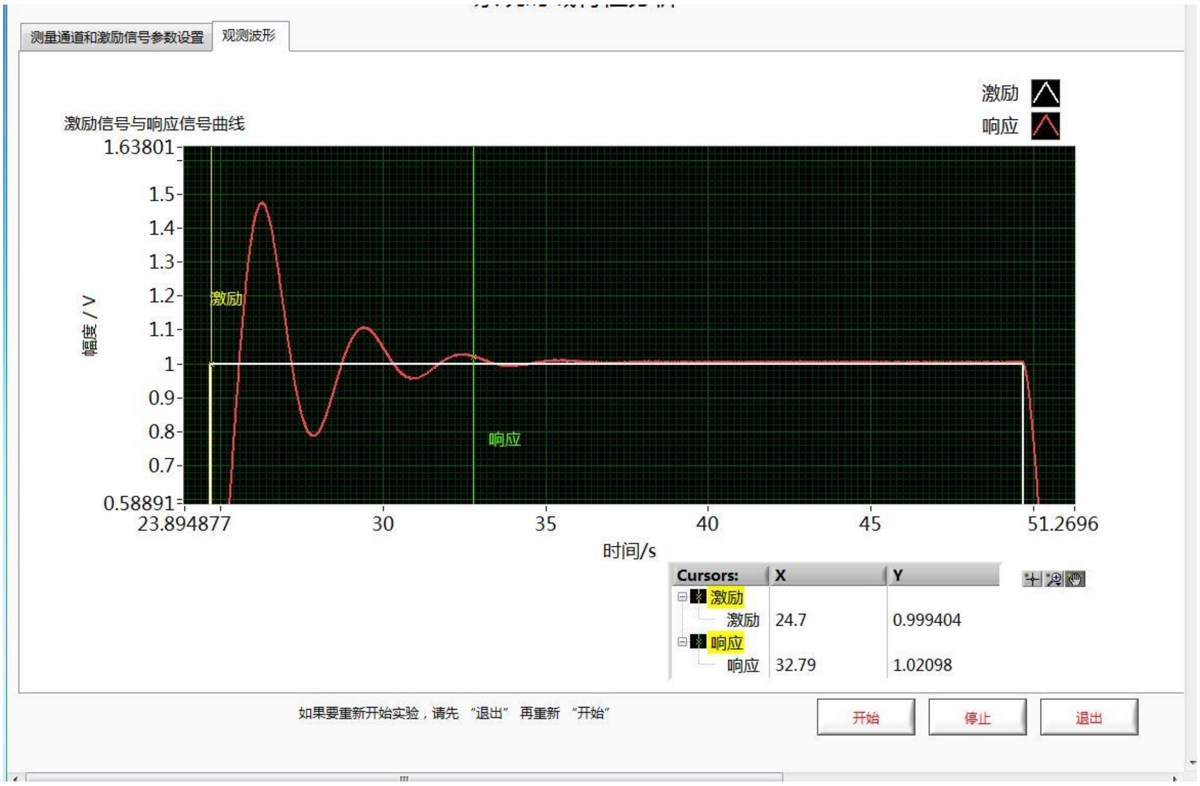


图 2-14 组 6 调整时间$t_s-\Delta=2$

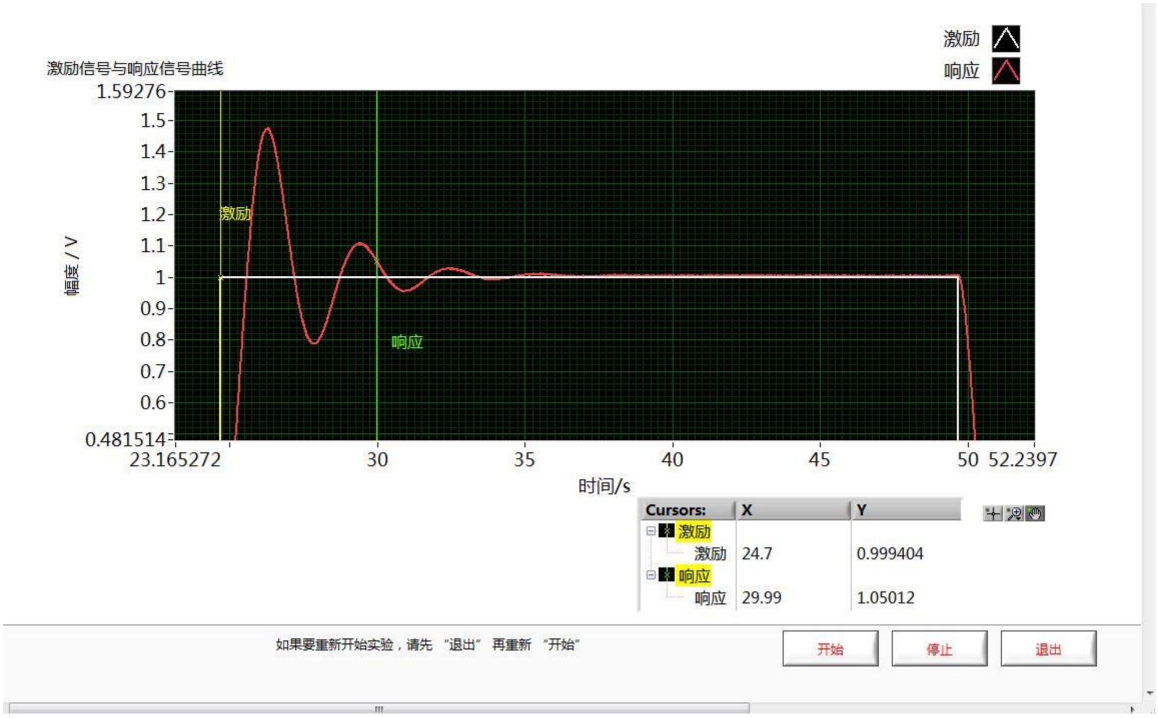


图 2-15 组 6 调整时间$t_s-\Delta=5$

2.3 实验二、线性系统稳定性分析

1. 利用劳斯判据，分析三阶系统开环比例系数K与时间常数T对稳定性的影响，判别开环比例系数与时间常数的稳定范围。
2. 已知系统的模拟电路，在 NI ELVIS II 教学实验板上，利用运算放大器、电阻、电容自行搭建三阶模拟闭环系统。阶跃信号由实验板模拟量输出口 AO0 输出，接到二阶系统输入端。将二阶系统的输入端与输出端分别接实验板模拟量输入接口 AI0(+)与 AI1(+)，采样阶跃输入信号与二阶系统的阶跃响应信号。搭建模拟电路时，应当注意：运算放大器的 Vcc 与 Vee 分别接实验板+15V 与-15V，正输入端 IN+应接实验板的 GROUND 端。
3. 在时间常数不变条件下，改变开环比例系数 K。三阶系统的阻容参数如下：
$R_{f2}=500k\Omega,C_{f2}=1\mu F,R_{i1}=100k\Omega,C_{f1}=1\mu F,R_0=500k\Omega,C_0=2\mu F$
求取开环比例系数 K 的稳定范围，选取三组不同 K 值，分别使三阶系统处于稳定、临界稳定、不稳定状态，写出对应的系统开环传递函数，记录曲线。
4. 在开环比例系数不变的条件下，改变时间常数。阻容参数如下：
$R_{f1}=100k\Omega,C_{f2}=2\mu F,R_{i1}=10k\Omega,C_{f1}=2\mu F,R_0=500k\Omega,C_0=2\mu F$
写出下面三组参数的系统开环传递函数，记录曲线，进行对比分析。
1） $R_{i2}=500k\Omega,R_{f2}=500k\mathrm{O}$

2） $R_{i2}=100k\Omega, R_{f2}=100k\mathrm{O}$

3） $R_{i2}=50k\Omega, R_{f2}=50k\Omega$

2.4 实验二记录图表

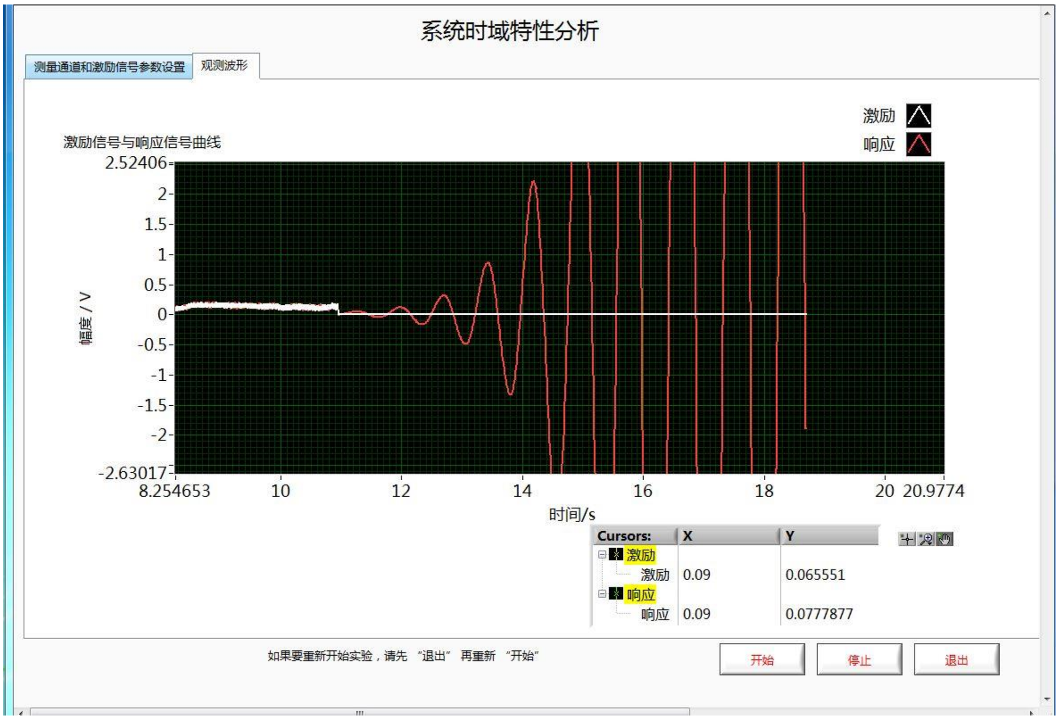


图 2-16 K 变化、$R_{i2}=10k\Omega$、系统不稳定状态

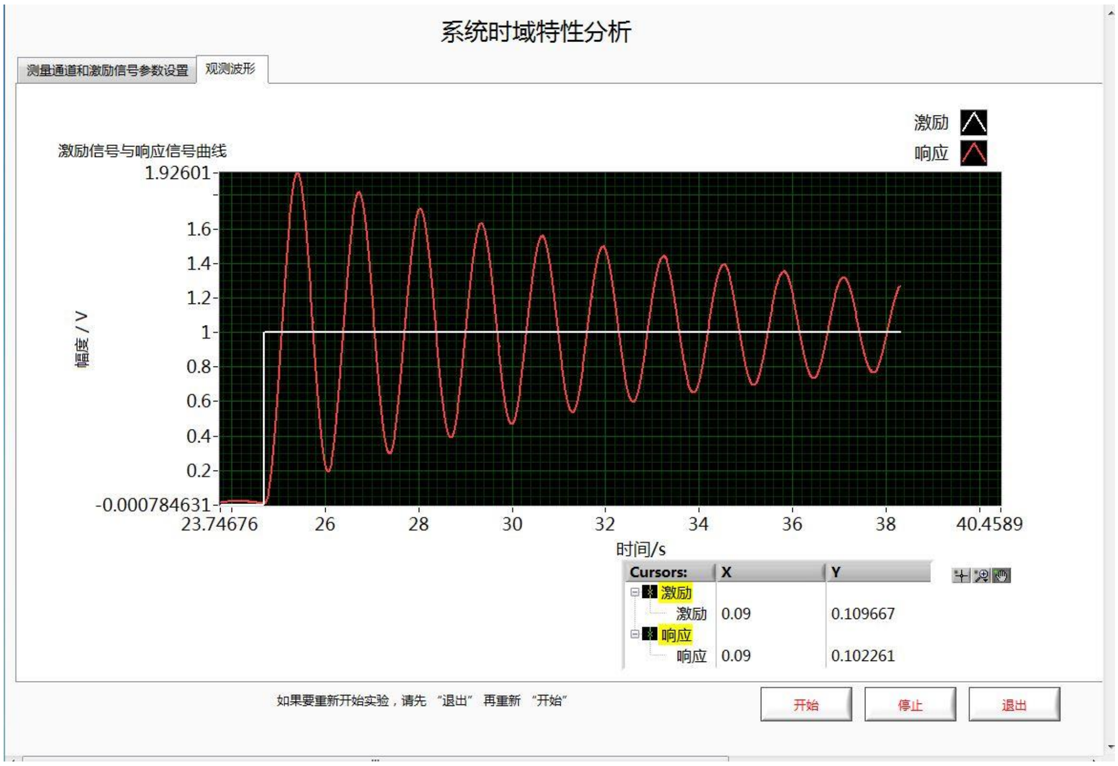


图 2-17 K 变化、$R_{i2}=41k\Omega$、系统临界稳定状态

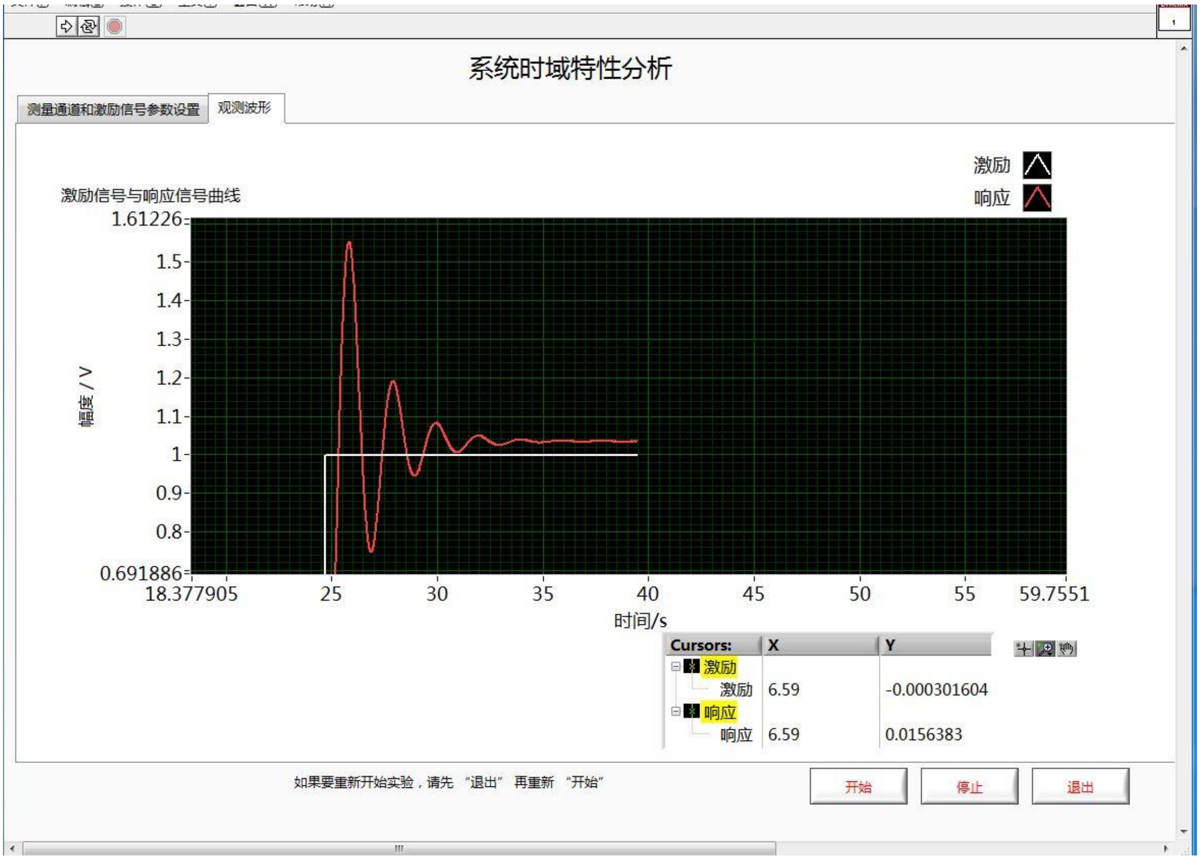


图 2-18　K 变化、$R_{i2}=100k\Omega$ 、系统稳定状态

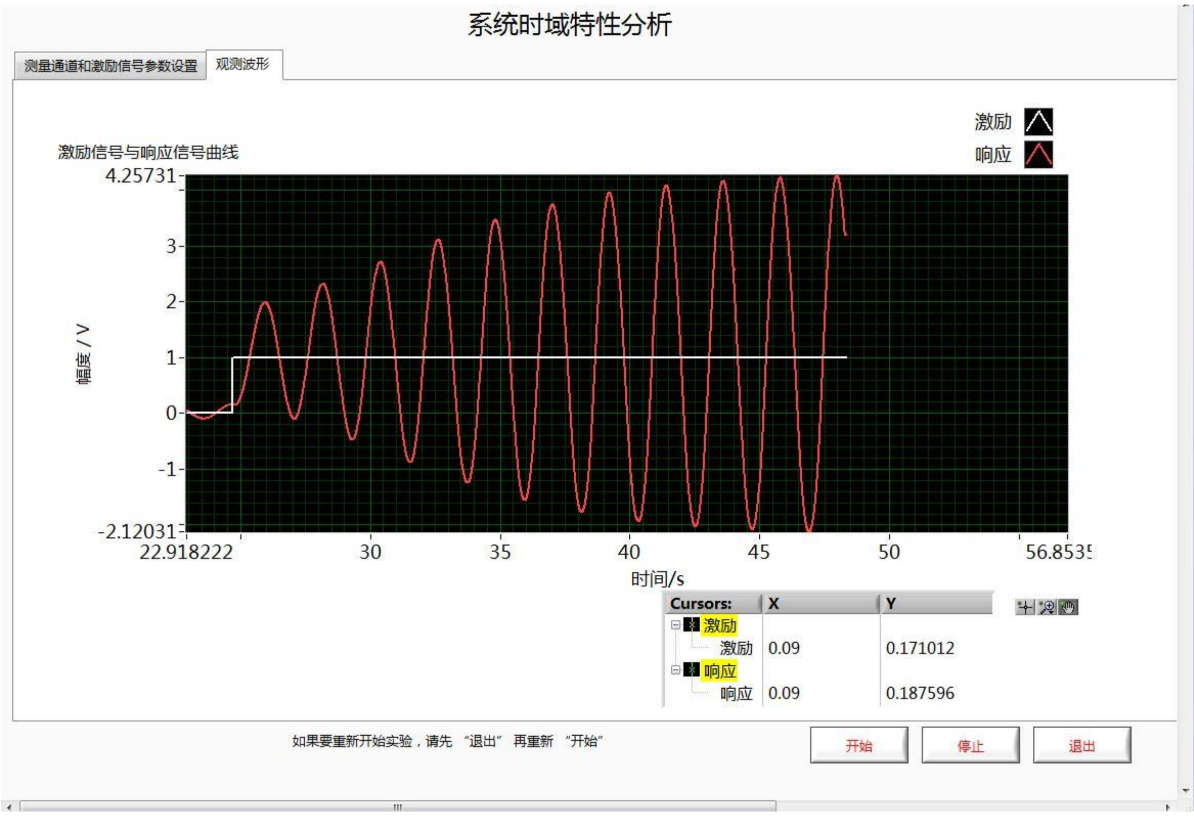


图 2-19　T 变化、$R_{i2}=R_{f2}=500k\Omega$ 、系统不稳定状态

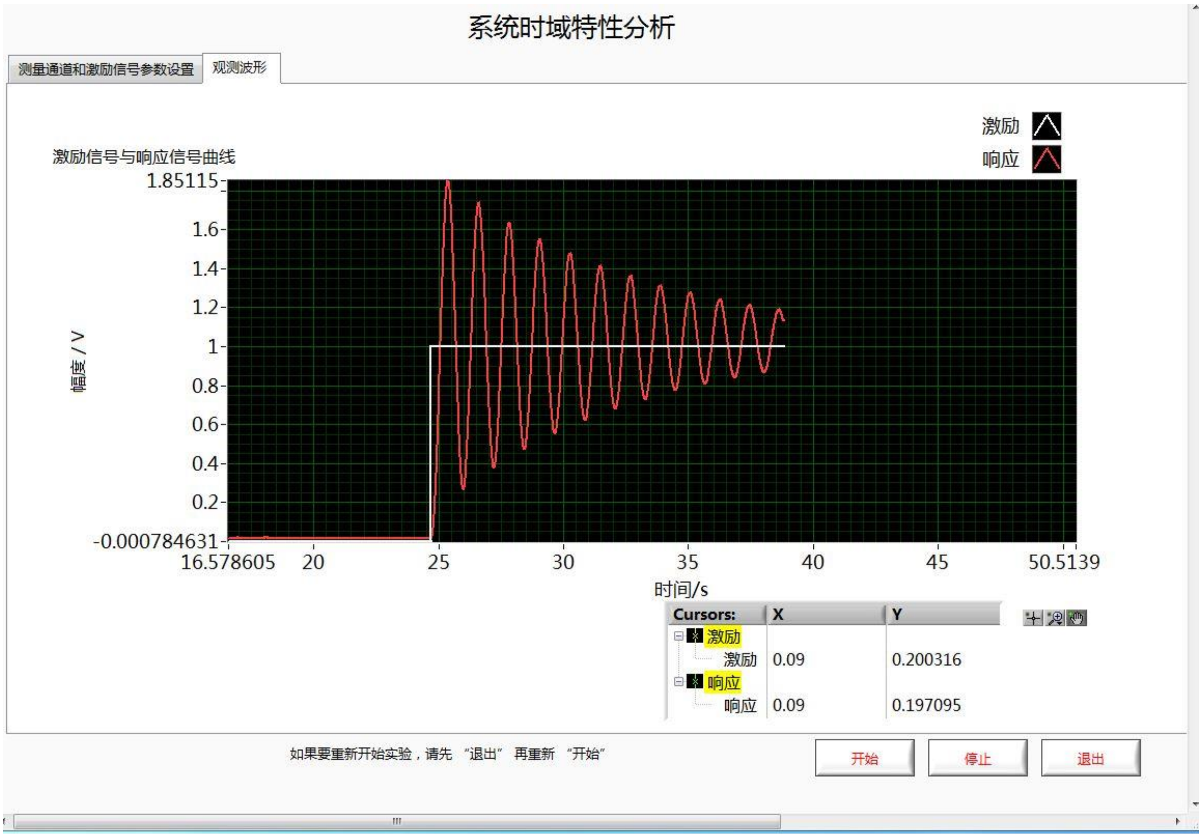


图 2-20 T 变化、$R_{i2}=R_{f2}=100k\Omega$、系统临界稳定状态

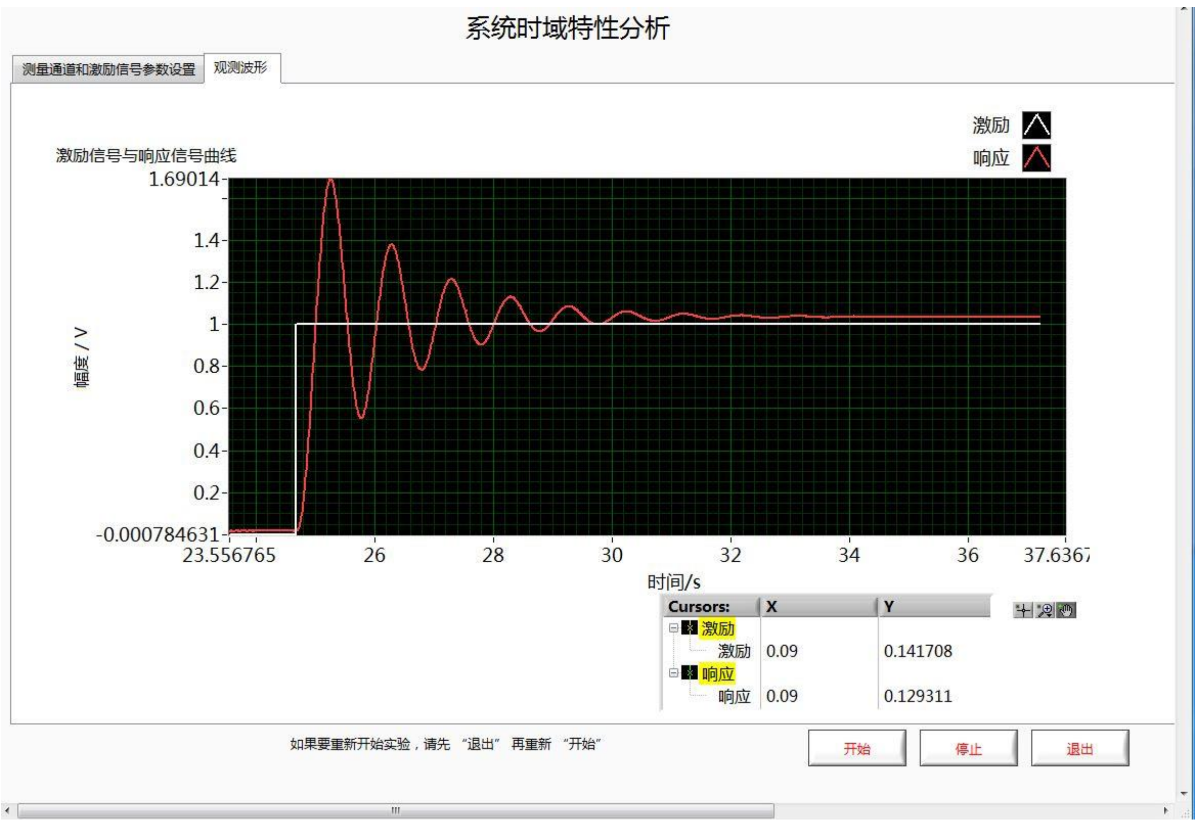


图 2-21 T 变化、$R_{i2}=R_{f2}=50k\Omega$、系统稳定状态

3　理论与实验数据对比

3.1 实验一

表 3-1　二阶系统理论计算与实验数据对比

组别	类型	理论计算	实验数据
1	超调量/%	52.66	47.40
	峰值时间/s	3.21	3.13
	调整时间(2/5)/s	20/15	17.14/10.86
2	超调量/%	16.30	14.36
	峰值时间/s	3.63	3.56
	调整时间(2/5)/s	8/6	5.95/5.31
3	超调量/%	0	0
	峰值时间/s	无	无
	调整时间(2/5)/s	5.84/4.75	5.38/4.54
4	超调量/%	100	84.58
	峰值时间/s	3.14	3.25
	调整时间(2/5)/s	无	无
5	超调量/%	52.66	47.86
	峰值时间/s	6.41	6.38
	调整时间(2/5)/s	40/30	33.57/21.56
6	超调量/%	52.66	47.31
	峰值时间/s	1.60	1.62
	调整时间(2/5)/s	10/7.5	8.09/5.29

3.2 实验二

两组六个独立实验开环传递函数见预习报告。

4　实验总结

通过本次实验，掌握了测试系统响应曲线的模拟实验方法，对比研究了二阶系统的特征参量对阶跃响应瞬态指标的影响，验证了理论计算。

通过对典型三阶系统的模拟实验，研究了开环比例系数与时间常数对系统稳定性的影响。