

浙江大学



测控技术实验-控制实验报告

姓名: 徐屹寒

学院: 机械工程学院

系: 机械工程

专业: 机械工程

学号: 3230103743

年 月 日

浙江大学实验报告

实验项目名称：典型系统动态性能和稳定性分析

同组学生姓名：张浩天

一、实验目的和要求

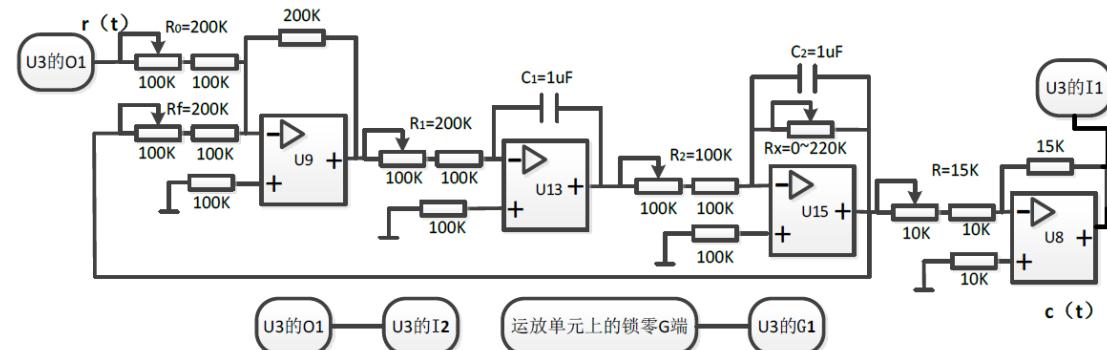
- 学习和掌握动态性能指标的测试方法。
- 观测二阶系统的阶跃响应，测出其超调量和调节时间，并研究其参数变化对动态性能和稳定性的影响。
- 观测三阶系统的阶跃响应，测出其超调量和调节时间，并研究其参数变化对动态性能和稳定性的影响。

二、实验内容

- 典型二阶系统动态性能和稳定性分析
- 典型三阶系统动态性能和稳定性分析

三、实验结果（原理）分析（必填）

1. 典型二阶系统



系统开环传递函数：

$$G(s) = \frac{K}{s(T_1 s + 1)}, \quad K = \frac{K_1}{T_0}$$

系统闭环传递函数：

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

同时

$$W(s) = \frac{KG(s)}{1 + KG(s)}$$

联立可以求得

$$\omega_n = \sqrt{\frac{K_1}{T_1 T_0}}, \quad \zeta = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{T_0}{K_1 T_1}}$$

其中

$$T_0 = R_i C_1 \quad T_1 = R_x C_2 \quad K_1 = \frac{R_x}{R_2} \quad K = \frac{R_x}{R_2 R_i C_1}$$

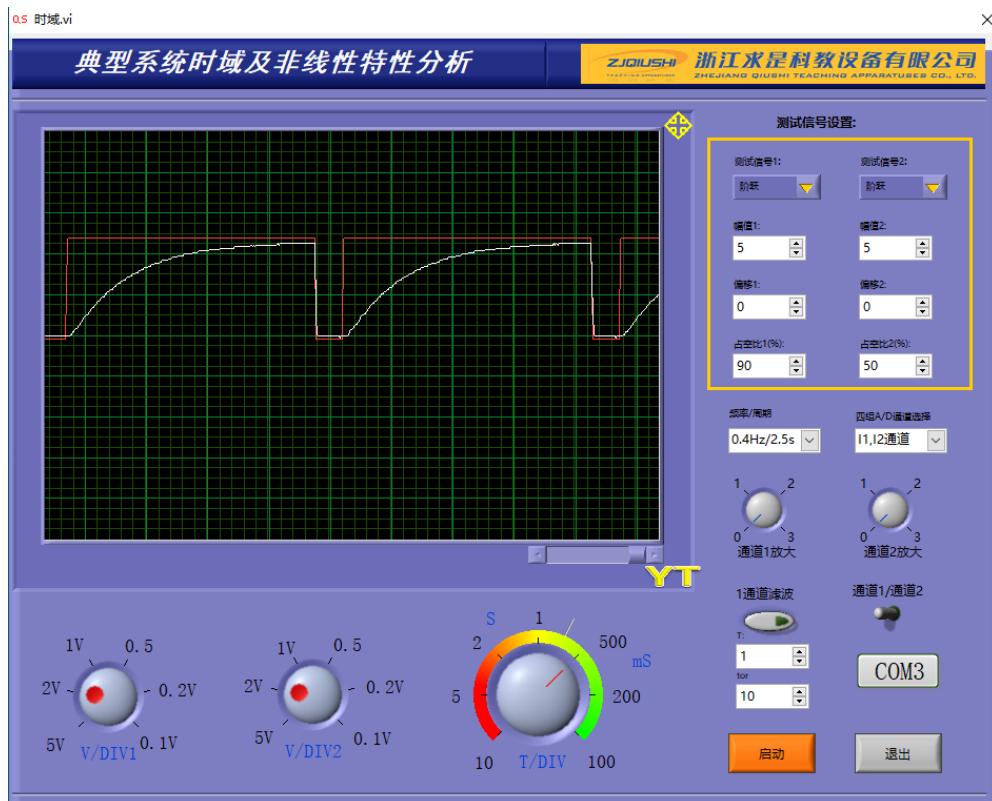
(1) 调节 R_x 使得二阶系统在过阻尼状态

由以上公式

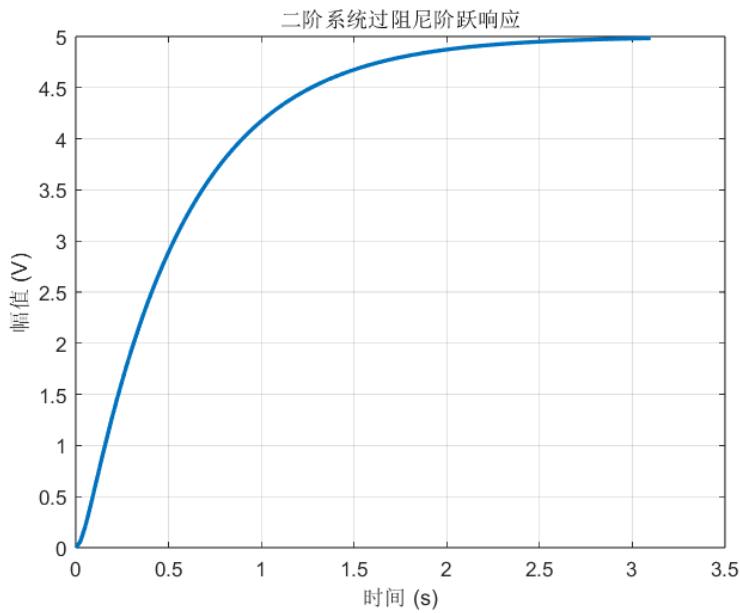
$$R_x = 35.0 \text{ k}\Omega \quad K_1 = 0.35 \quad T_1 = 0.035 \quad T_0 = 0.2$$

解得

$$\omega_n = 7.071 \quad \zeta = 2.02$$



二阶系统过阻尼状态



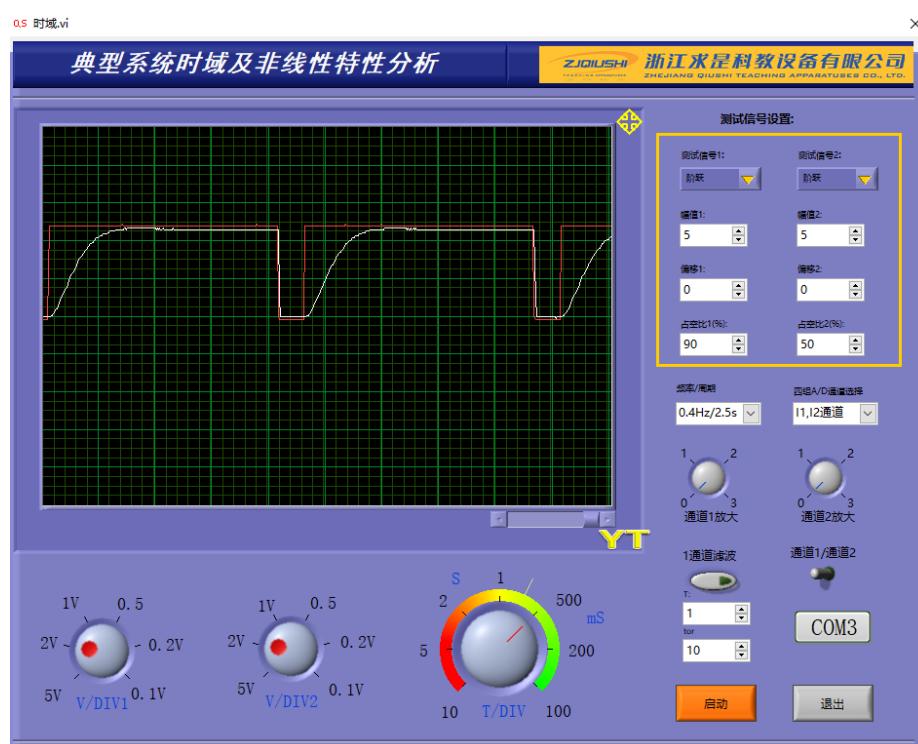
二阶系统过阻尼阶跃响应仿真图

(2) 调节 R_x 使得二阶系统在临界阻尼状态

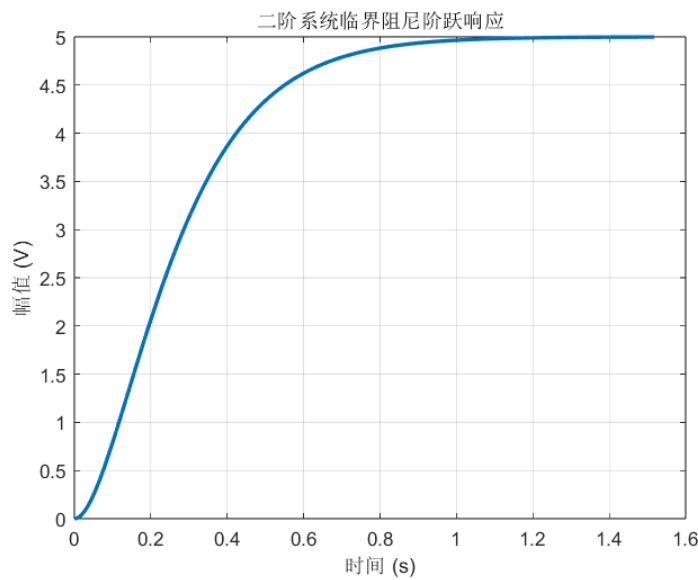
$$R_x = 50\sqrt{2}k\Omega = 70.71k\Omega \quad K_1 = 0.707 \quad T_1 = 0.0707 \quad T_0 = 0.2$$

解得

$$\omega_n = 7.071 \quad \zeta = 1$$



二阶系统临界阻尼状态



二阶系统临界阻尼阶跃响应仿真图

(3) 调节 R_x 使得二阶系统在欠阻尼状态

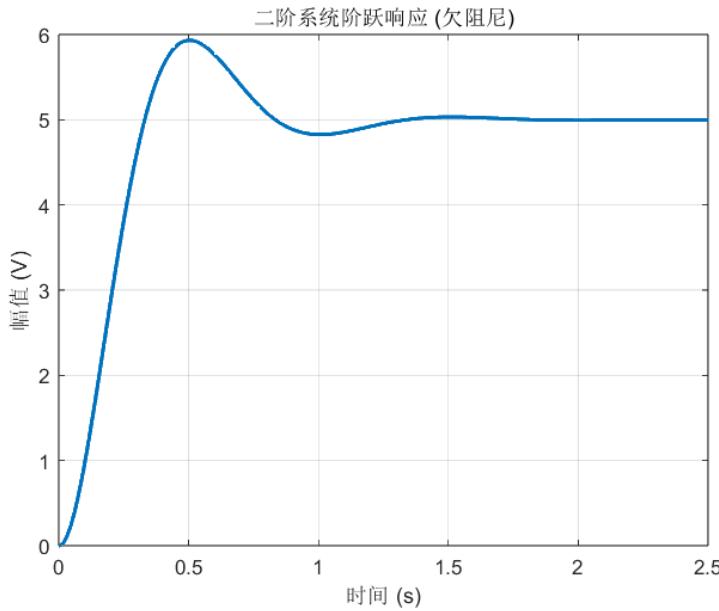
$$R_x = 250.00k\Omega \quad K_1 = 1.5 \quad T_1 = 0.15 \quad T_0 = 0.2$$

解得

$$\omega_n = 7.071 \quad \zeta = 0.471$$

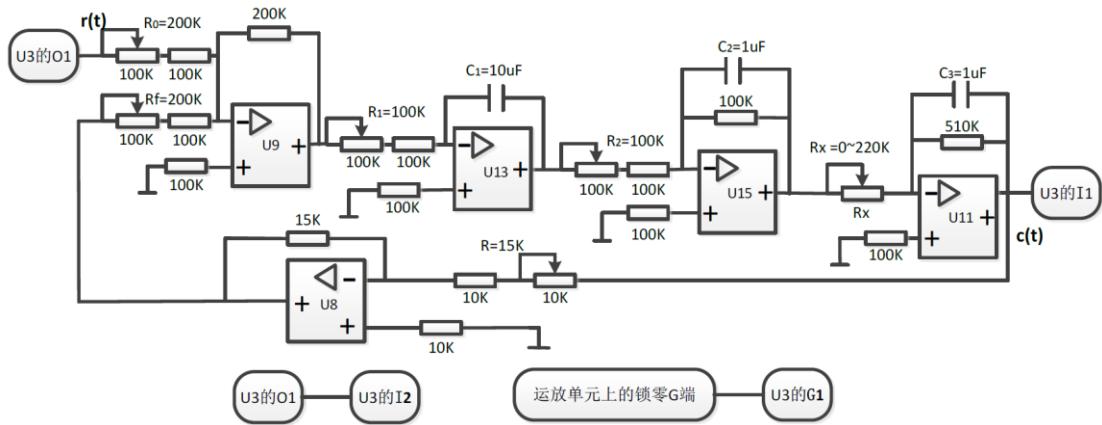


二阶系统欠阻尼状态



二阶系统欠阻尼阶跃响应仿真图

1. 典型三阶系统



其开环传递函数为：

$$G(s)H(s) = \frac{K}{s(0.1s+1)(0.5s+1)}, K = \frac{500}{R_x}$$

系统特征方程为：

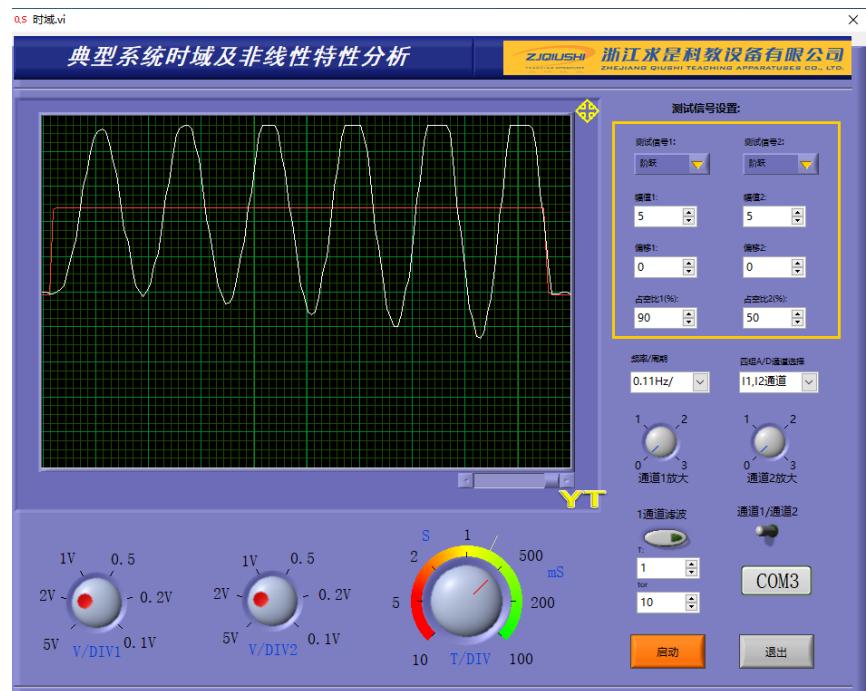
$$s^3 + 12s^2 + 20s + 20K = 0$$

系统不稳定时 R_x 的取值范围

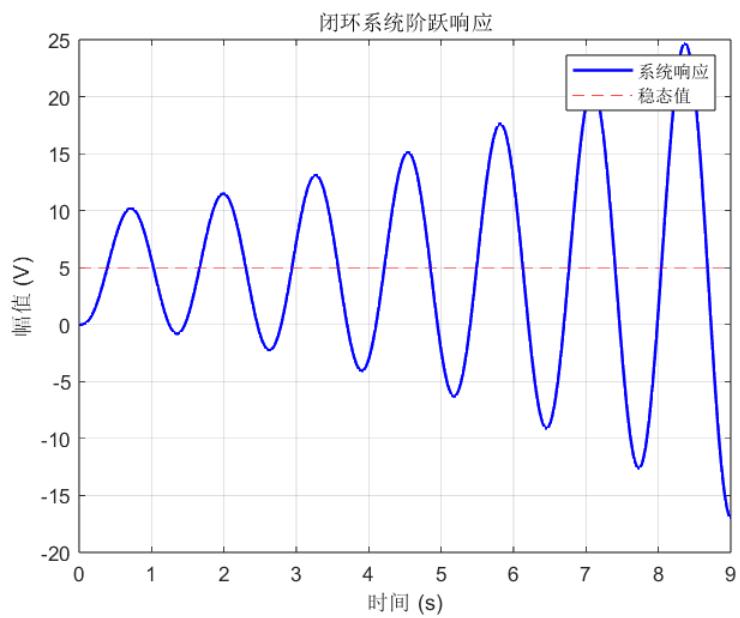
$$12 \times 20 < 20K \Rightarrow K > 12$$

因此

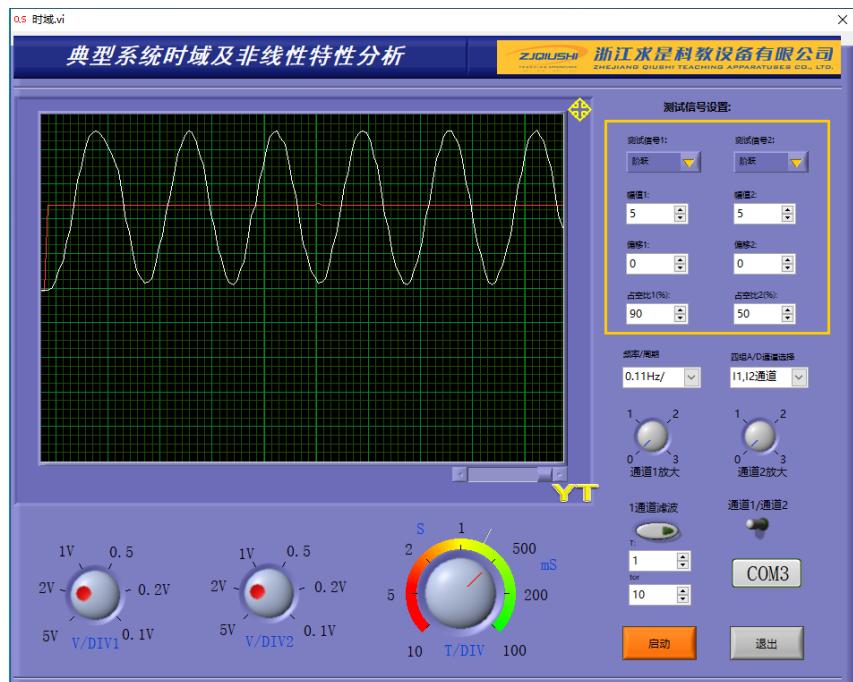
$$R_x < \frac{125}{3} k\Omega$$



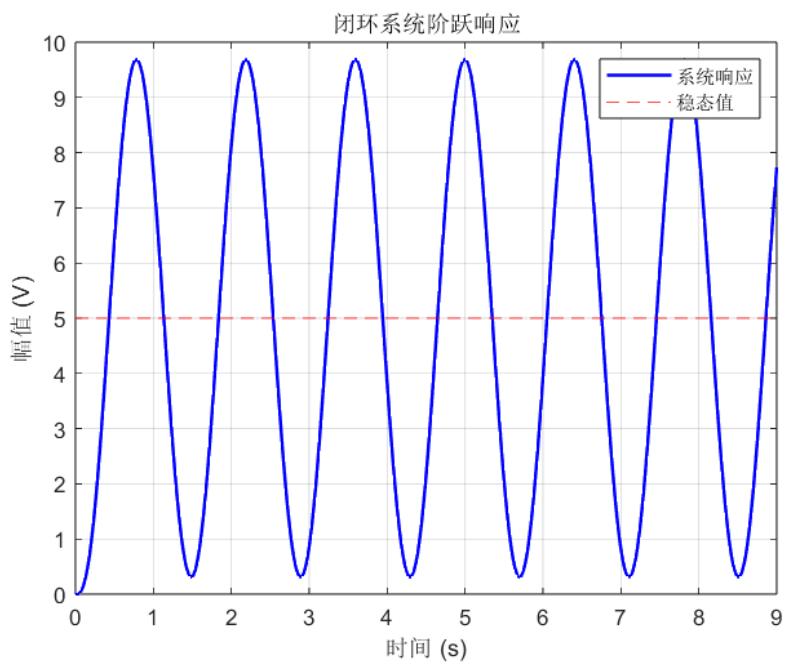
三阶系统不稳定时的阶跃响应



三阶系统不稳定时的阶跃响应仿真



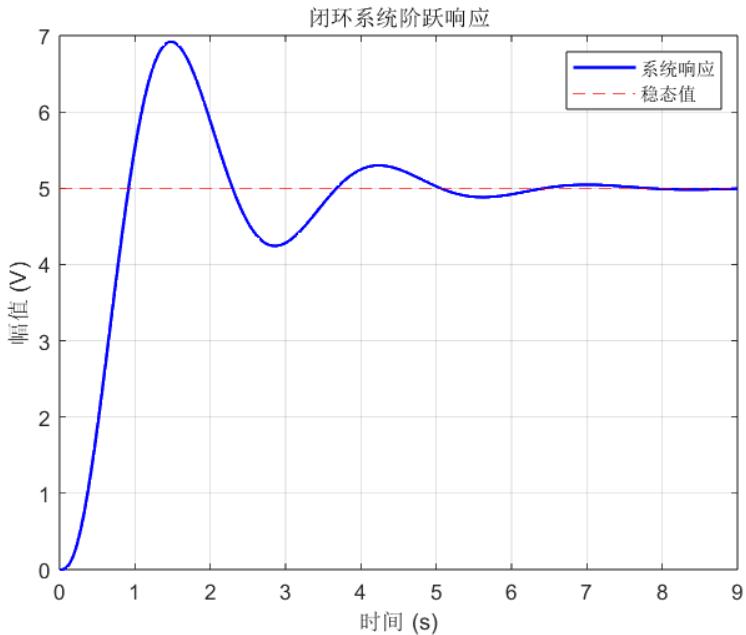
三阶系统临界稳定



三阶系统临界稳定仿真



三阶系统稳定



三阶系统稳定仿真

四、实验思考

- 过阻尼、临界阻尼、欠阻尼各状态的 ξ 取值范围

过阻尼 $\xi > 1$; 临界阻尼 $\xi = 1$; 欠阻尼 $\xi < 1$;

- ξ 的变化对动态性能的影响

ξ 越大, 系统超调量越小, 响应速度越慢

- 二级系统为什么会震荡?

二阶系统有两个储能元件, 当系统处于欠阻尼状态时, 系统会产生超调, 能量在两个储能元件间相互传递, 引起振荡。

浙江大学实验报告

实验项目名称： 典型环节（或系统）的频率特性测量

同组学生姓名： 张浩天

一、实验目的和要求

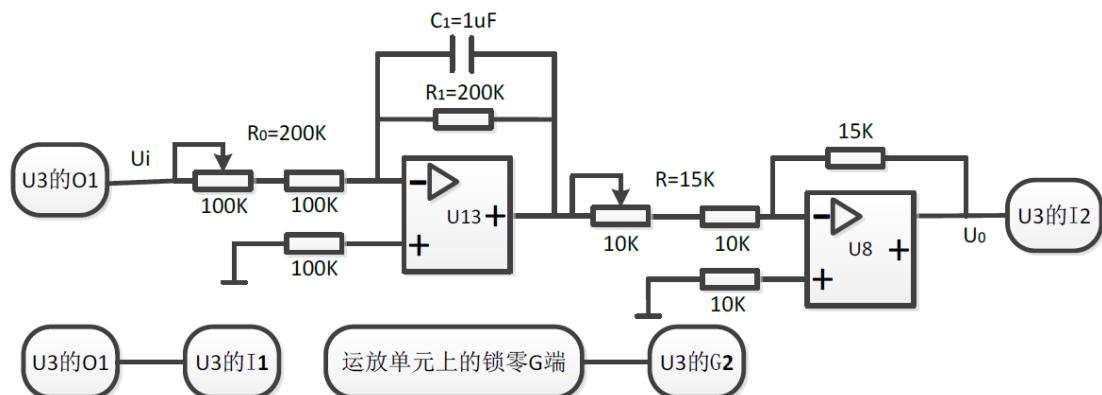
1. 学习和掌握用实验方法完成一阶惯性环节的频率特性曲线测试。
2. 学习和掌握用实验方法完成典型二阶系统频率特性曲线的测试。
3. 学习根据实验测得的频率特性曲线求取各自的传递函数。
4. 用软件仿真方法求取一阶惯性环节和典型二阶系统的频率特性并与实验所得结果比较。

二、实验内容

1. 一阶惯性环节传递函数参数、电路设计及其幅相频率特性曲线：
2. 典型二阶系统开环传递函数参数、电路设计及其幅相频率特性曲线：

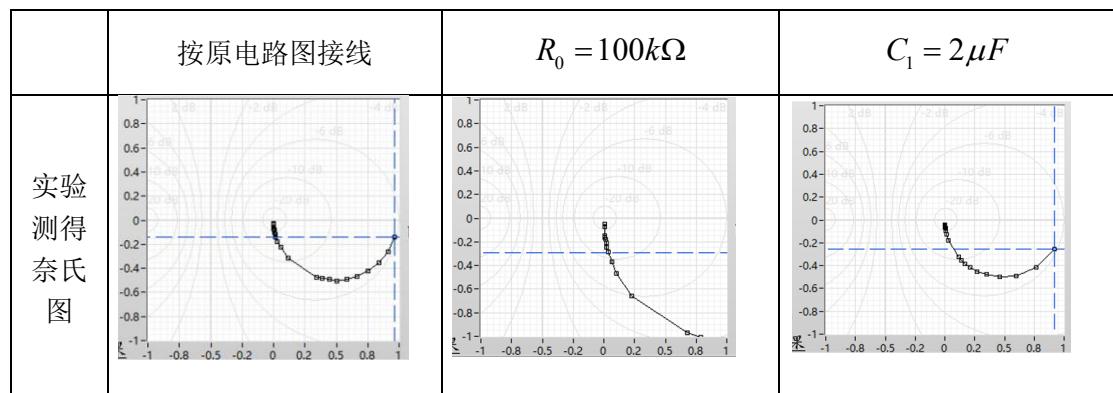
三、实验结果（原理）分析（必填）

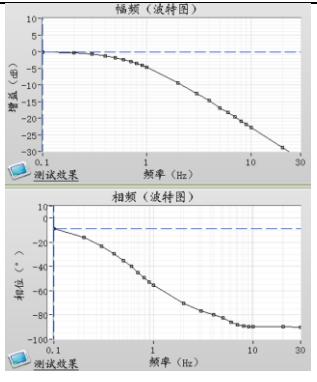
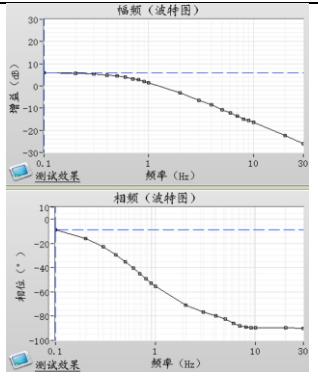
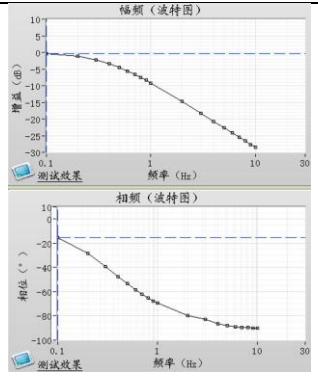
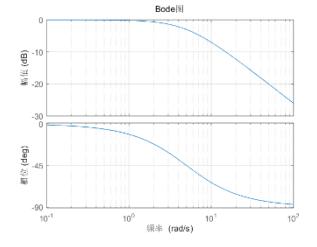
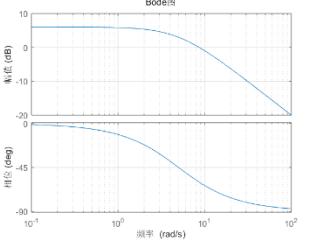
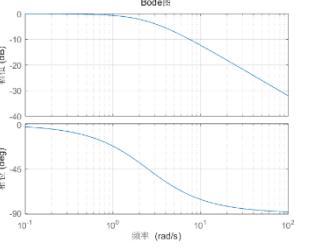
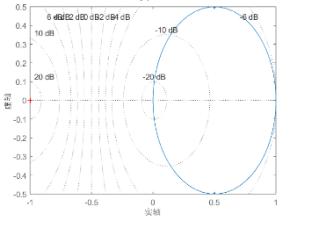
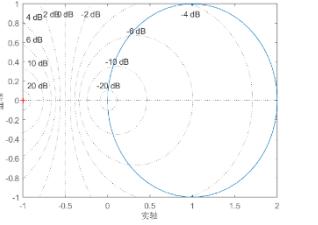
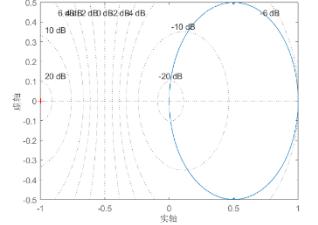
1. 一阶惯性环节



由电路图可以算出开环传递函数为

$$G(s) = \frac{R_1}{R_0(R_1 C_1 s + 1)}$$



实验 测得 伯德 图			
传递 函数	$\frac{1}{0.2s+1}$	$\frac{2}{0.2s+1}$	$\frac{1}{0.4s+1}$
仿真 伯德 图			
仿真 奈氏 图			
实验 分析	<ol style="list-style-type: none"> 放大系数对乃氏图和伯德图的影响：增益 K 变大时，乃氏图会放大；伯德图幅频曲线的上移，相频曲线不变。 积分系数对乃氏图和伯德图的影响：积分系数的增大不改变乃氏图，但会把伯德图的幅频曲线与相频曲线都进行左移。 		

3. 二阶系统

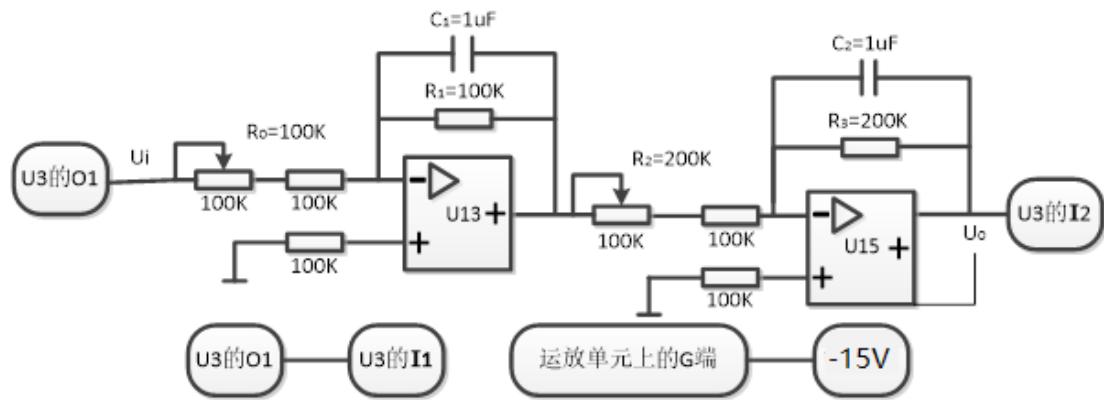


图3.4

由电路图可以算出开环传递函数为

$$G(s) = \frac{R_1 R_3}{R_0 R_2 (R_1 C_1 s + 1)(R_3 C_2 s + 1)}$$

	按原电路图接线	$R_0 = 200k\Omega$	$C_1 = 2\mu F$
实验测得奈氏图			
实验测得伯德图	 	 	
传递函数	$\frac{1}{(0.1s+1)(0.2s+1)}$	$\frac{1}{2(0.1s+1)(0.2s+1)}$	$\frac{1}{(0.2s+1)^2}$
仿真伯德图			
仿真奈氏图			
实验分析	1. 放大系数对乃氏图和伯德图的影响：增益减小会让乃氏图缩小，且伯德图的幅频曲线下移、相频曲线不变。		

2. 积分系数对乃氏图和伯德图的影响：积分系数的变化不会带来乃氏图的变化，会让伯德图的幅频曲线和相频曲线都发生移动。

四、实验思考

1、K 与乃氏图的关系，如何根据一阶惯性环节的传递函数直接画乃氏图

K 与乃氏图的关系：

对于一阶惯性环节 $G(s) = \frac{K}{Ts + 1}$ ，其频率特性为 $G(j\omega) = \frac{K}{j\omega T + 1}$ 。K 决定了曲线与实

轴的交点位置和半圆的大小。当 $\omega = 0$ 时， $G(j0) = K$ ，即曲线起始于实轴上的

$(K, j0)$ 点。整个乃氏图是一个位于第四象限的半圆，该半圆的直径等于 K 。

如何直接画乃氏图：

(1) 确定起点 ($\omega = 0$)：在复平面实轴上标出点 $(K, j0)$ 。

(2) 确定终点 ($\omega \rightarrow \infty$)：随着频率无穷大，幅值趋向于 0，相位趋向于 -90° ，曲线最终收敛于原点 $(0, j0)$ 。确定形状：以实轴上的点 $(K/2, 0)$ 为圆心，以 $K/2$ 为半径，在第四象限画一个半圆，连接起点和终点。

2、如何根据一阶惯性环节的传递函数直接画伯德图

幅频特性图画法：

1. 计算低频增益：画一条水平直线，纵坐标值为 $L(\omega) = 20 \lg K$ dB。

2. 确定转折频率：找到角频率 $\omega_c = \frac{1}{T}$ 。

3. 画高频渐近线：从转折频率 ω_c 开始，画一条斜率为 -20 dB/dec 的直线。

相频特性图画法：

1. 低频相位：当 $\omega \ll \frac{1}{T}$ 时，相位 $\varphi(\omega) \approx 0^\circ$ 。

2. 转折频率相位：当 $\omega = \frac{1}{T}$ 时，相位 $\varphi(\omega) = -45^\circ$ 。

3. 高频相位：当 $\omega \rightarrow \infty$ 时，相位 $\varphi(\omega) \rightarrow -90^\circ$ 。

4. 连接：用平滑曲线连接上述点。

3、如何根据二阶系统的传递函数直接画乃氏图

二阶系统开环传递函数通常形式为 $G(s) = \frac{K}{T^2 s^2 + 2\xi Ts + 1}$

画法步骤：

1. 确定起点 ($\omega = 0$)： $G(j0) = K$ ，起始于实轴上的 $(K, j0)$ 点。

2. 确定与虚轴交点：二阶系统相位从 0° 变化到 -180° 。当 $\omega = \omega_n = \frac{1}{T}$ 时，实部为 0，相位为 -90° 。此时曲线与负虚轴相交，幅值为 $|G(j\omega_n)| = \frac{K}{2\xi}$ (这取决于阻尼比 ξ 的大小， ξ 越小，交点离原点越远)。

3. 确定终点 ($\omega \rightarrow \infty$)：幅值趋于 0，相位趋于 -180° 。曲线从第二或第三象限 (取决于具体阻尼) 以与负实轴相切的方向趋向原点。

4. 共振峰 (若存在)：如果系统是欠阻尼的 ($\xi < 0.707$)，乃氏图会在接近自然频率 ω_n 处向外凸起，这也对应伯德图上的谐振峰。

4、如何根据二阶系统的传递函数直接画 bode 图
幅频特性图画法：

1. 低频渐近线：画水平直线 $20\lg K$ dB。

2. 转折频率：定位 $\omega_n = \frac{1}{T}$ 。

3. 高频渐近线：从 ω_n 开始，画斜率为 -40 dB/dec 的直线。

相频特性图画法：

1. 低频： 0° 。

2. 自然频率处：在 $\omega = \omega_n$ 处，相位为 -90° 。

3. 高频：趋于 -180° 。

4. 过渡斜率： ξ 越小，在 ω_n 附近的相位变化越剧烈 (曲线越陡峭)； ξ 越大，变化越平缓。

5、如何根据奈氏图、伯德图判断系统稳定性

根据奈氏图判断：

判据：观察开环频率特性曲线 $G(j\omega)H(j\omega)$ 是否包围复平面上的 $(-1, j0)$ 点。

稳定条件：如果开环系统是稳定的 (即开环传递函数在右半平面没有极点，P=0)，则闭环系统稳定的充要条件是：奈氏图不包围 $(-1, j0)$ 点。

穿越情况：

- 若曲线顺时针包围 $(-1, j0)$ 点，系统不稳定。
- 若曲线恰好经过 $(-1, j0)$ 点，系统处于临界稳定状态。

- 若曲线未包围 $(-1, j0)$ 点，系统稳定。

根据伯德图判断：

判据：通过增益裕度和相角裕度来判断。

稳定条件（对于最小相位系统）：

1. 相角裕度 $\gamma > 0$ ：在幅值穿越频率 ω_c （即幅值为 0 dB 的频率）处，相位角 $\varphi(\omega_c)$ 必须大于 -180° （即曲线在 -180° 线上方）。
2. 增益裕度 $K_g > 0 \text{ dB}$ ：在相位穿越频率 ω_g （即相位为 -180° 的频率）处，幅值必须小于 0 dB（即曲线在 0 dB 线下方）。