

# 浙江大学



## 测控技术实验-控制实验报告

姓名：刘侃

学院：机械工程学院

系：机械系

专业：机械工程

学号：3220103259

分组：组 10

2024 年 11 月 29 日

# 浙江大学实验报告

(此页可在 <http://bksy.zju.edu.cn/office/> 下载)

实验项目名称: 控制工程基础实验-典型系统动态性能和稳定性分析

同组学生姓名: 方天润

## 一、实验目的和要求

1. 学习和掌握动态性能指标的测试方法。
2. 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。
3. 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

1. 利用实验装置上的模拟电路单元, 参考本实验中的图 2.1.1 和图 2.1.2, 设计并连接由一个积分环节和一个惯性环节组成的二阶闭环系统的模拟电路(如用 U9、U15、U11 和 U8 连成)。注意实验接线前必须对运放仔细调零(出厂已调好, 无需调节)。信号输出采用 U3 单元的 O1、信号检测采用 U3 单元的 I1、运放的锁零接 U3 单元的 G1。
2. 利用实验设备观测该二阶系统模拟电路的阶跃特性, 并测出其超调量和调节时间。
3. 改变该二阶系统模拟电路的参数, 观测参数对系统动态性能的影响。
4. 利用实验装置上的模拟电路单元, 参考本实验附录中的图 2.2.1 和图 2.2.2, 设计并连接由一个积分环节和两个惯性环节组成的三阶闭环系统的模拟电路(如用 U9、U15、U11、U10 和 U8 连成)。
5. 利用实验设备观测该三阶系统模拟电路的阶跃特性, 并测出其超调量和调节时间。
6. 改变该三阶系统模拟电路的参数, 观测参数对系统稳定性与动态指标的影响。
7. 分析实验结果, 完成实验报告。

## 三、实验结果(原理)分析(必填)

## 1、典型二阶系统

开环传递函数:

$$\frac{1}{C_1 R_1 s} * \frac{R_X}{R_2 (R_X C_2 s + 1)}$$

闭环传递函数:

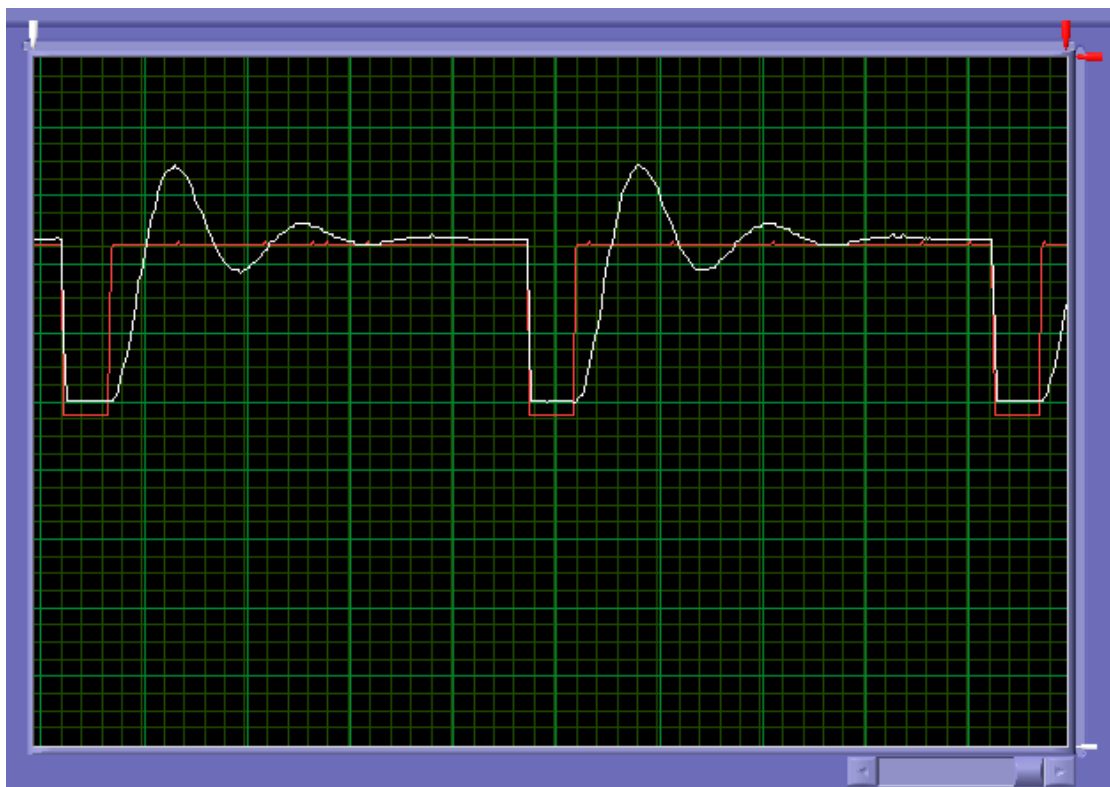
$$\frac{\frac{1}{R_1 R_2 C_1 C_2}}{s^2 + \frac{1}{R_X C_2} s + \frac{1}{R_1 R_2 C_1 C_2}} = \frac{50}{s^2 + \frac{10^6}{R_X} s + 50}$$

$\xi$  ,  $\omega_n$  表达式:

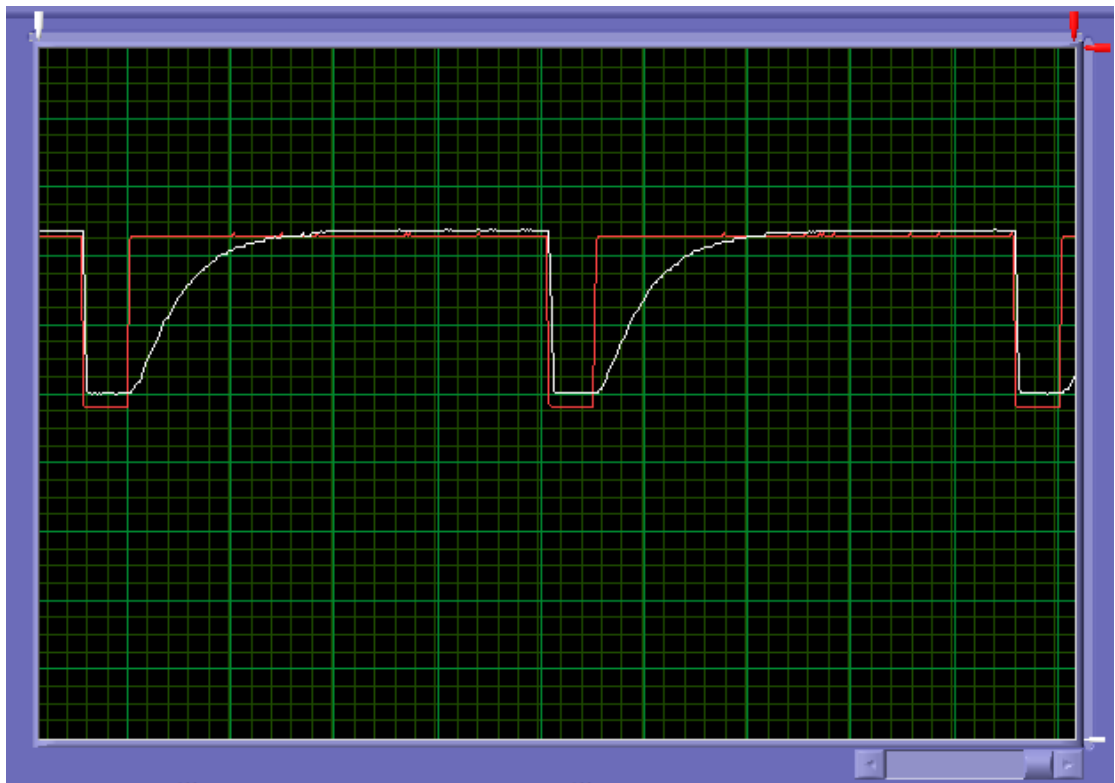
$$\omega_n = \sqrt{\frac{1}{R_1 R_2 C_1 C_2}} = 5\sqrt{2}$$
$$\xi = \frac{\sqrt{R_1 R_2 C_1 C_2}}{2 R_X C_2} = \frac{10^5}{\sqrt{2} R_X}$$

调节  $R_X$  使得二阶系统在分别处于欠阻尼、过阻尼、临界阻尼状态

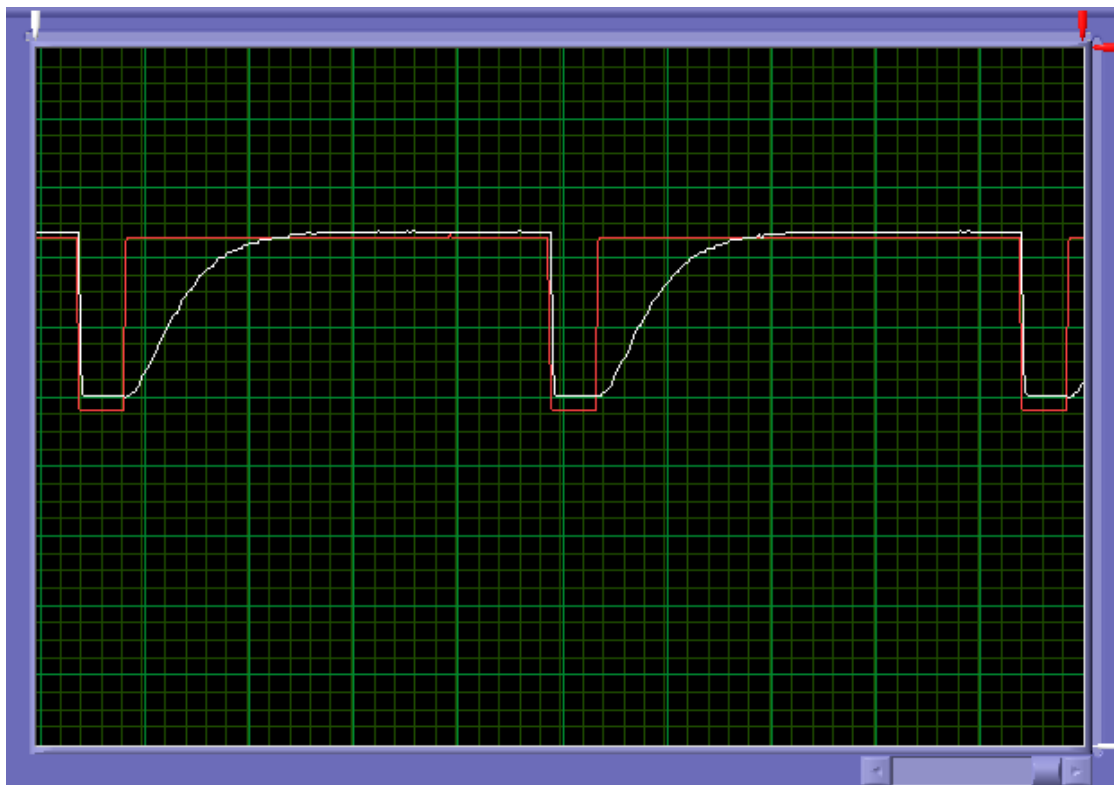
当  $R_X=200K\Omega$  时, 二阶系统在欠阻尼状态:



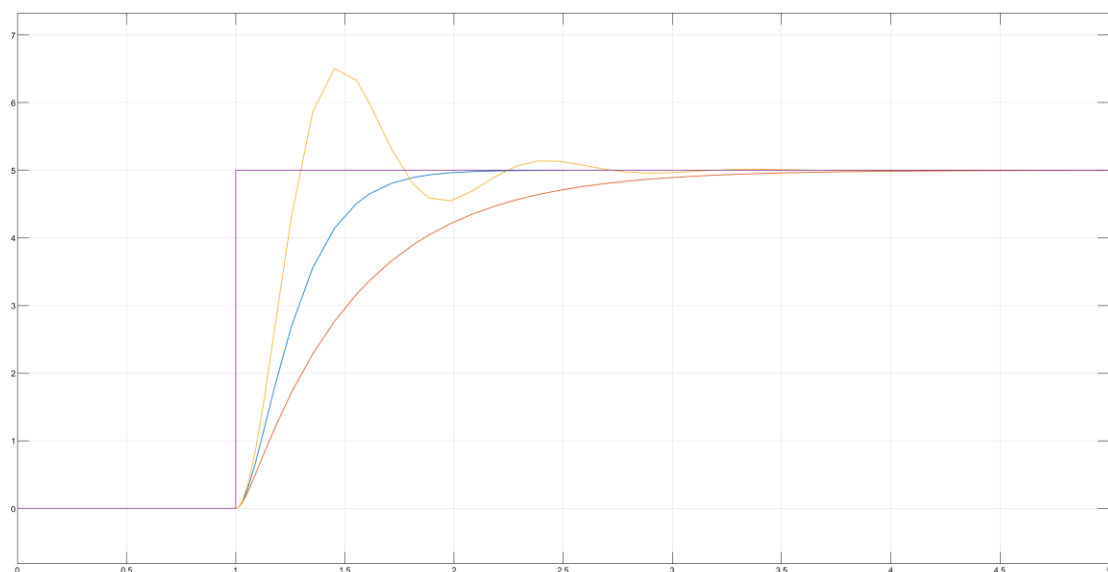
当  $R_X=36K\Omega$  时, 二阶系统在过阻尼状态:



计算可得, 当  $R_x=70.71\text{K}\Omega$  时,  $\xi = 1$ , 二阶系统在临界阻尼状态, 下图的实际  $R_x=70.2\text{K}\Omega$



以下是三种情况下的 Simulink 仿真结果



## 2、典型三阶系统

开环传递函数:

$$\frac{1}{C_1 R_1 s} * \frac{R_{15}}{R_2 (R_{15} C_2 s + 1)} * \frac{R_{11}}{R_X (R_{11} C_3 s + 1)}$$

系统特征方程:

$$R_1 R_2 R_X R_{11} R_{15} C_1 C_2 C_3 s^3 + R_1 R_2 R_X C_1 (R_{15} C_2 + R_{11} C_3) s^2 + R_1 R_2 R_X C_1 s + R_{11} R_{15} \\ = 5.1 R_X s^3 + 61 R_X s^2 + 100 R_X s + 5.1 \times 10^7$$

系统稳定时  $R_X$  的取值范围:

$$R_X > 42.6 K\Omega$$

系统临界稳定时  $R_X$  的取值范围:

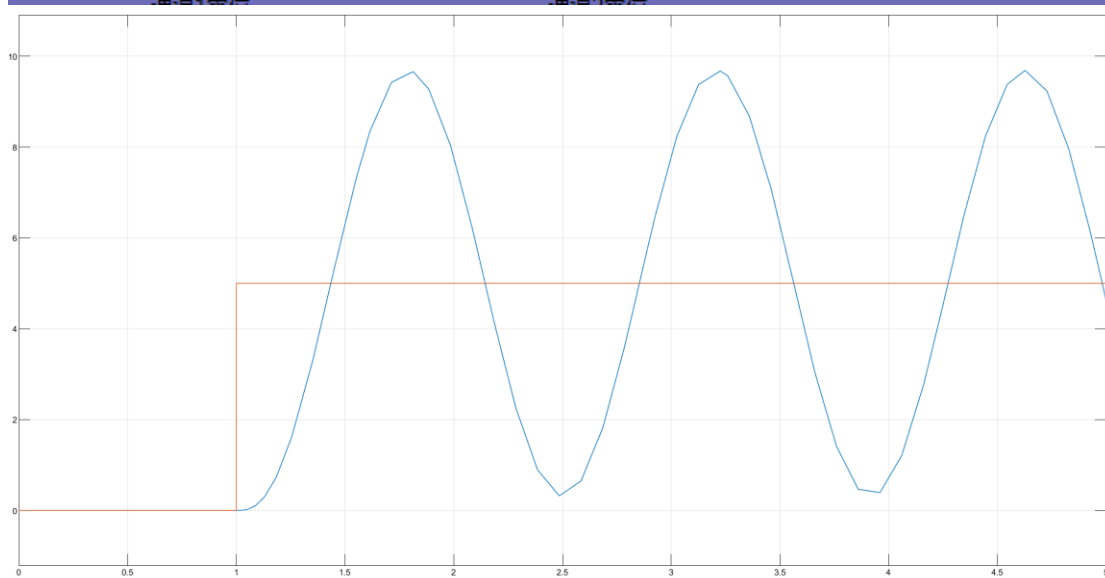
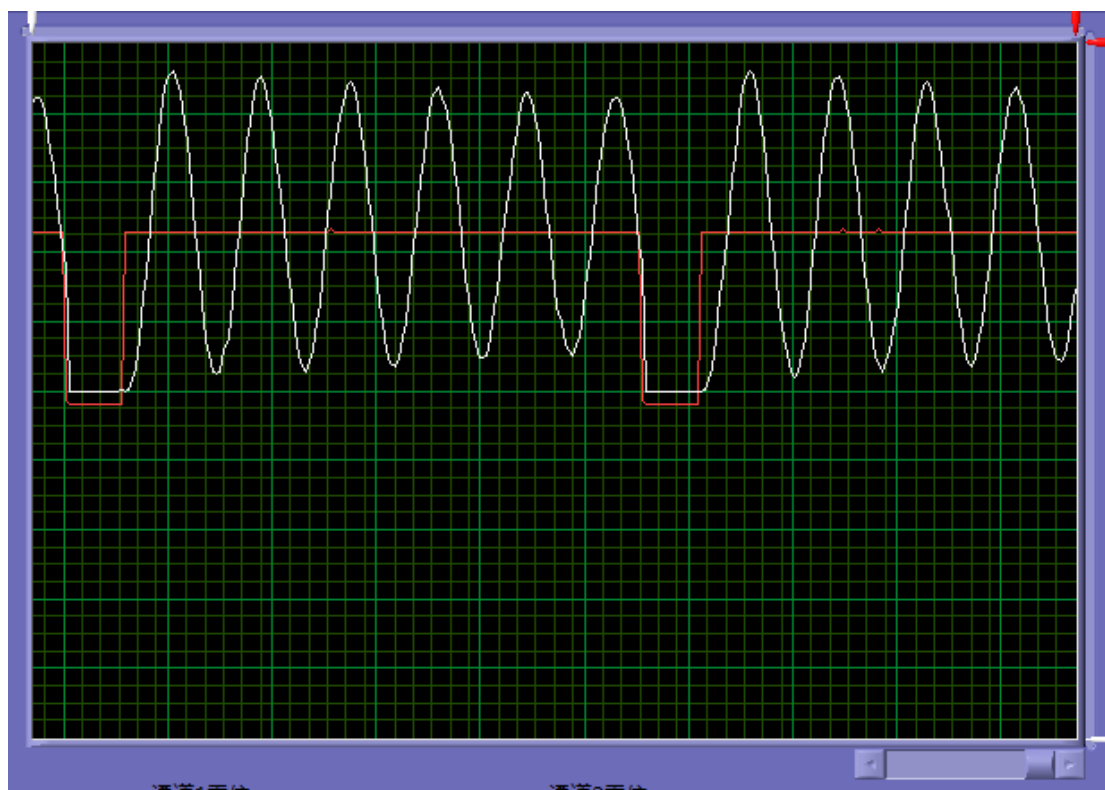
$$R_X = 42.6 K\Omega$$

系统不稳定时  $R_X$  的取值:

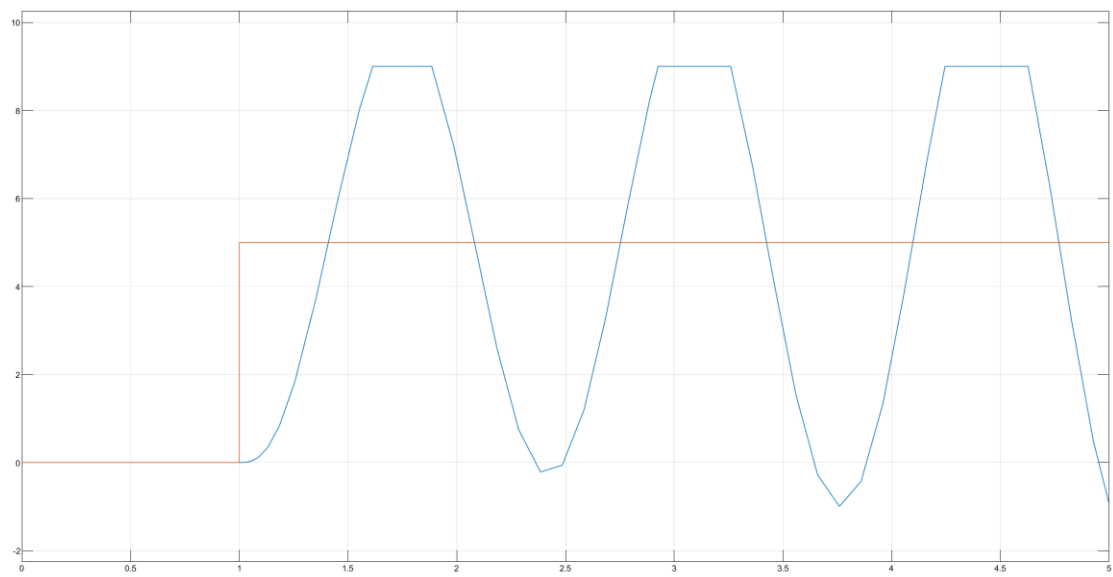
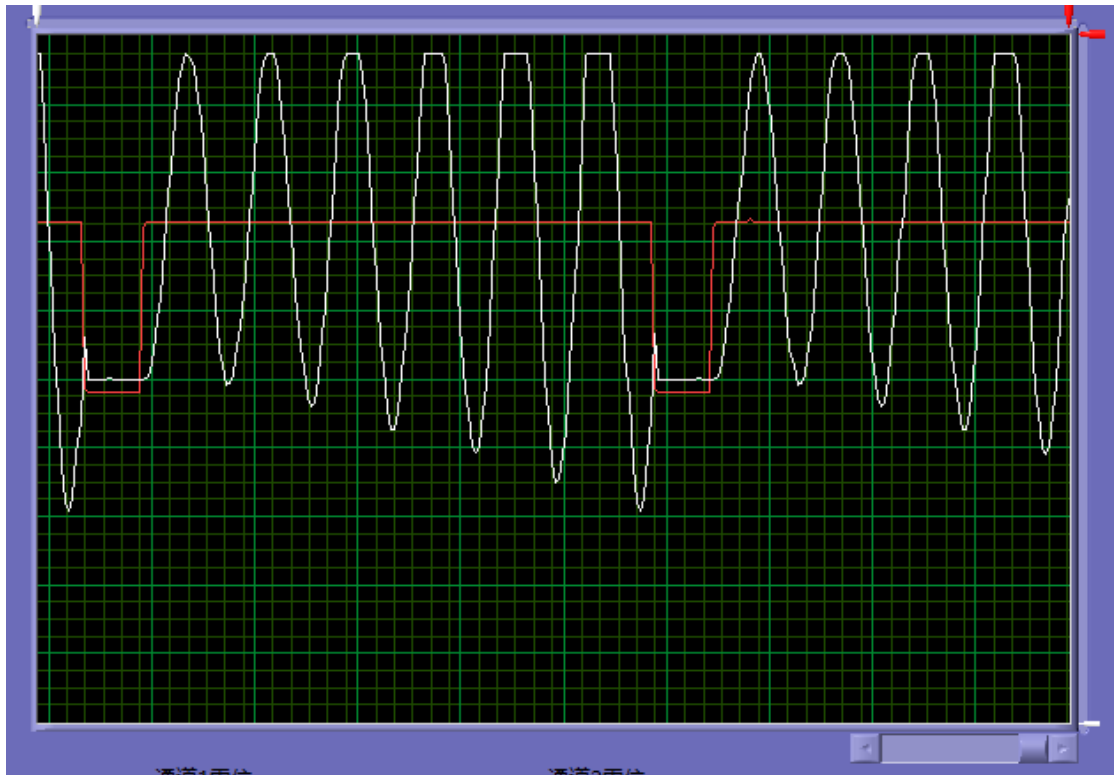
$$R_X < 42.6 K\Omega$$

调节  $R_X$  测试系统分别处于不稳定、临界稳定和稳定时的阶跃响应, 并用 Simulink 仿真, 仿真结果附在实验结果下方便于对比。

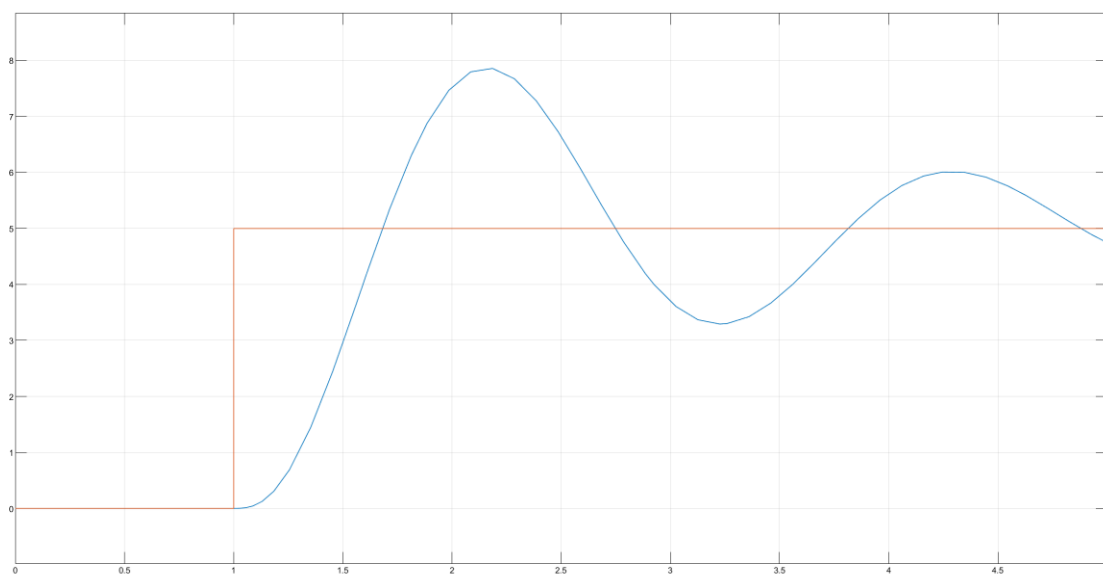
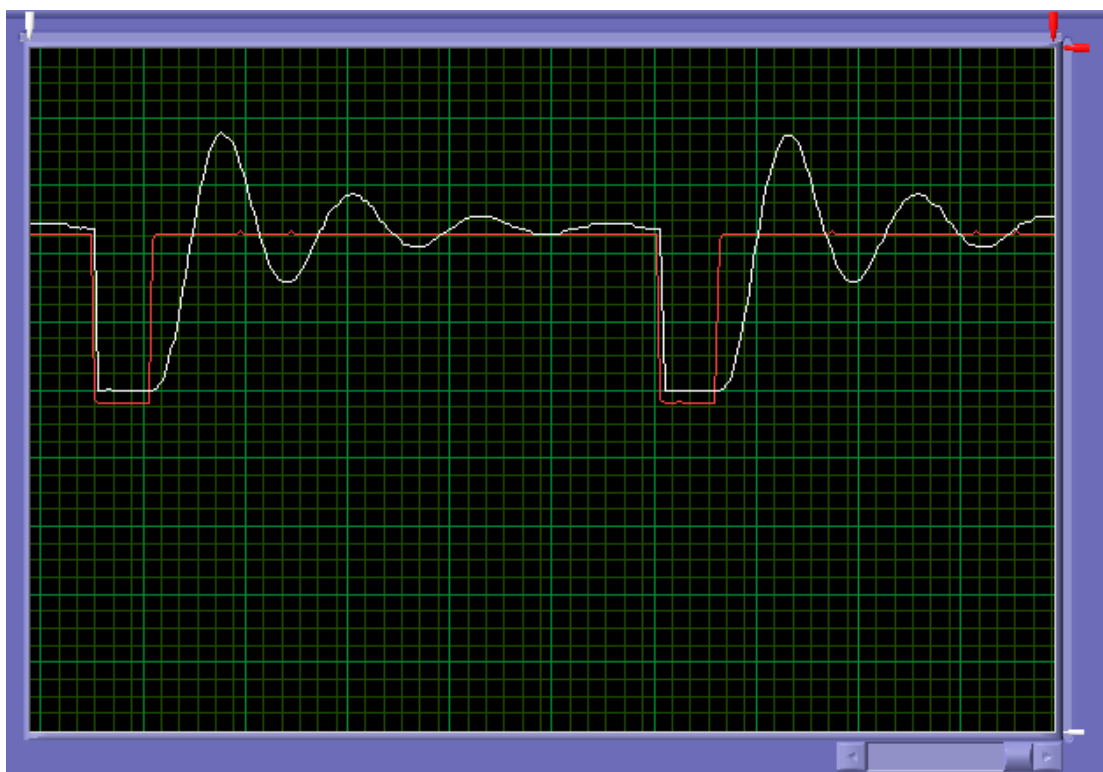
计算可知, 当  $R_X=42.639344K\Omega$  时, 二阶系统在临界稳定状态, 实际测得值为  $42.6K\Omega$



当  $R_x=36.9K\Omega$  时，二阶系统在不稳定状态



当  $R_x=100K\Omega$  时，二阶系统在稳定状态



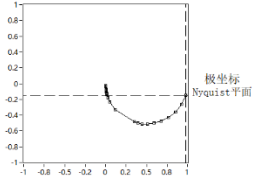
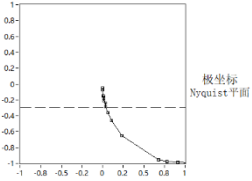
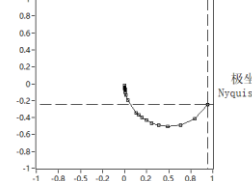
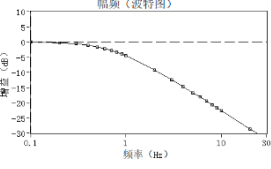
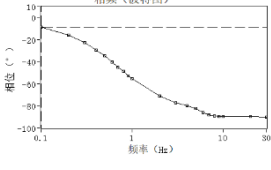
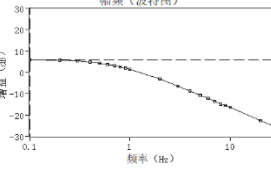
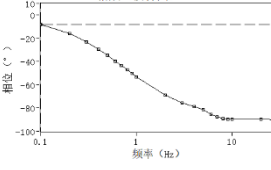
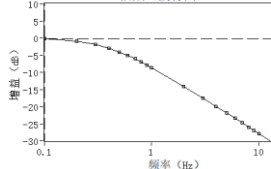
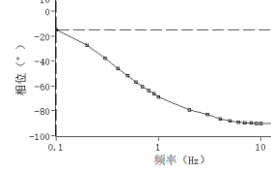
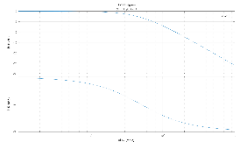
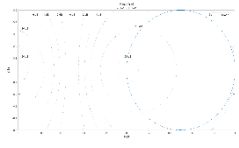
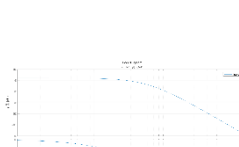
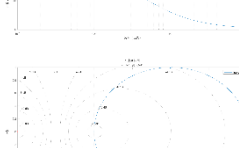


### 3.一阶惯性环节的频率特性

由实验电路图可得:

$$\frac{U_0}{U_i} = \frac{R_1}{R_0(1 + R_1 C_1 s)}$$

	R0=R1=100k    Ω    , C1=1uF	改变 R0=200kΩ	改变 C1=2uF
--	--------------------------------	-------------	-----------



实验测得奈氏图			
实验测得伯德图	 	 	 
传递函数（根据电路图计算）	$\frac{1}{0.2s + 1}$	$\frac{2}{0.2s + 1}$	$\frac{1}{0.4s + 1}$
Simulink 仿真得到伯德图、奈氏图	 	 	 

#### 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
- 2、如何根据一阶惯性环节的传递函数直接画 bode 图
- 3、如何根据奈氏图、伯德图判断系统稳定性

可以看出，实验数据与理论基本符合。因为实验时加入了增益，幅值的大小可能有所偏差，但趋势基本一致。

4.二阶惯性环节的频率特性

由实验电路可得：

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

	R0=R1=100kΩ, R2=R3=200kΩ, C1=C2=1uf	改变 R0=200kΩ	改变 C1=2uf
实验测得乃氏图			
实验测得伯德图			
二阶系统传递函数（根据电路图计算）			
Simulink 仿真	$\frac{1}{0.02s^2 + 0.3s + 1}$	$\frac{1}{0.04s^2 + 0.6s + 2}$	$\frac{1}{0.04s^2 + 0.4s + 1}$

实验测定时，低频段有些许点未记录，应该是实验软件本身的故障，因此和理论测定的奈氏图不尽相同（没有最低频段）其余基本相同。

四、实验思考

本次实验在具体的电路中运用典型环节验证了课本中所学到的控制知识。通过具体电路上面进行的实验和仿真实验进行对比，我们对各个环节的特点和功能有了更深刻的认识。

