

浙江大学实验报告

专业：电气工程及其自动化

姓名：潘谷雨

学号：3220102382

日期：2024.11.12

地点：教二 213

课程名称：控制理论（乙） 指导老师：姚维 成绩：

实验名称：二阶系统的瞬态响应分析

一、实验目的和要求

- 熟悉二阶模拟系统的组成。
- 研究二阶系统分别工作在 $\xi=1$ ， $0<\xi<1$ 以及 $\xi>1$ 三种状态下的单位阶跃响应，并测量超调量 σ_p 、峰值时间 t_p 和调整时间 t_s 。
- 分析增益 K 对二阶系统单位阶跃响应的超调量 σ_p 峰值时间 t_p 和调整时间 t_s 的影响。

二、实验内容和原理

1、实验框图及电路图

实验传递函数为 $\frac{U_o(S)}{U_i(S)} = \frac{K}{T_1 T_2 S^2 + T_2 S + K} = \frac{K / T_1 T_2}{S^2 + T_1 S + K / T_1 T_2}$ ，控制框图如图 1 所示。

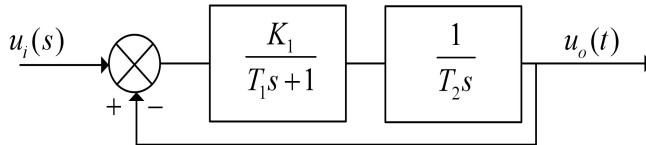


图 1 二阶系统控制框图

实验采用电路图如图 2 所示，其中 $K=R5/R1$ ， $R1=100k$ ，实验中通过调节滑动变阻器的大小实现 $R5$ 的变化，更改 K 值。

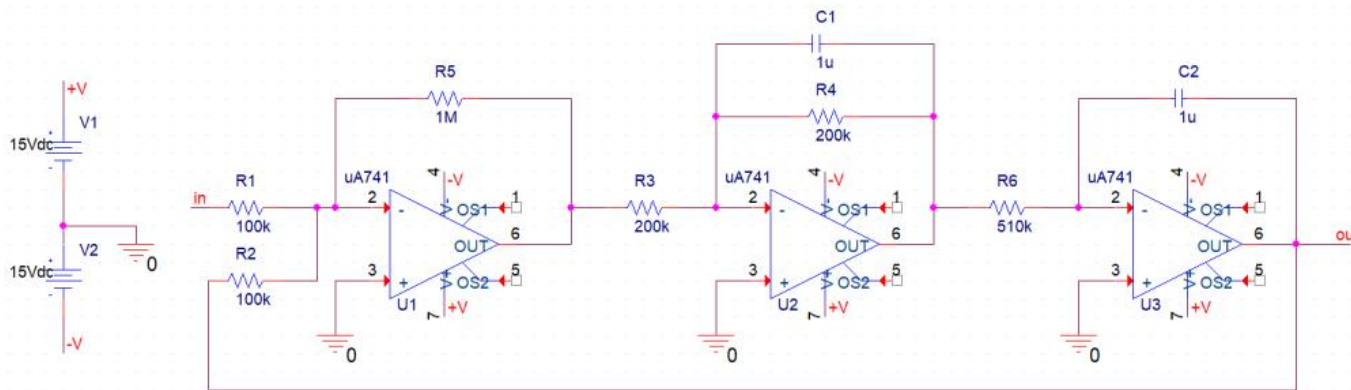


图 2 二阶系统实验电路图

2、二阶系统传递函数

本实验的传递函数：

$$G(s) = \frac{K}{0.5s(0.2s + 1)}$$

$$T_1 = 0.2s, T_2 = 0.5s, \omega_n = \sqrt{10K}, \xi = \sqrt{\frac{0.625}{K}}$$

二阶系统的标准传递函数：

$$G(S) = \frac{\omega_n^2}{S^2 + 2\xi\omega_n S + \omega_n^2}$$

$$\frac{U_o(S)}{U_i(S)} = \frac{K}{T_1 T_2 S^2 + T_2 S + K} = \frac{K / T_1 T_2}{S^2 + T_1 S + K / T_1 T_2}$$

$$\omega_n = \sqrt{K / T_1 T_2} \quad \xi = \sqrt{T_2 / 4 T_1 K}$$

针对不同的 ξ ，系统会出现如图 3 所示不同的三种响应情况，如下分析所示。

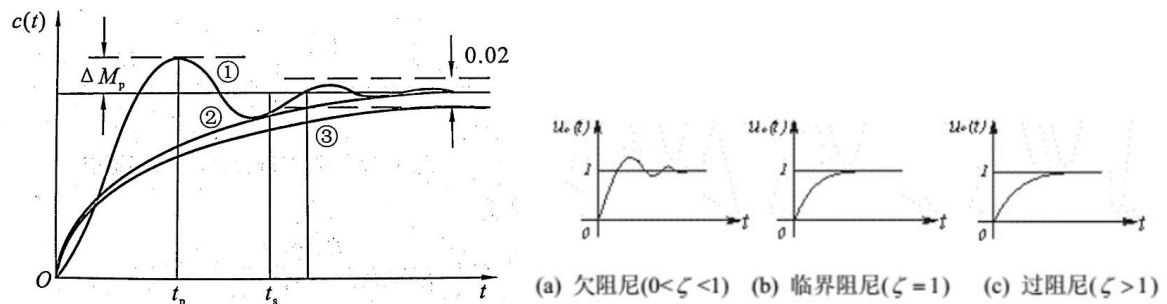


图 3 系统瞬态响应图

- (1) 当 $0 < \xi < 1$ 时， $K > 0.625$ ，欠阻尼，系统的单位阶跃响应呈振荡衰减形式。
- (2) 当 $\xi = 1$ 时， $K = 0.625$ ，临界阻尼，系统的单位阶跃响应是一条单调上升的指数曲线。
- (3) 当 $\xi > 1$ 时， $K < 0.625$ ，过阻尼，此时系统有二个相异实根，单位阶跃响仍然单调上升。

三、主要仪器设备

示波器、实验箱、导线若干

四、操作方法和实验步骤

- 1、设计二阶系统，使系统的开环传递函数为 $G(s) = K / [0.5s(0.2s + 1)]$ 。令输入等于 1V，在示波器上观测不同 K ($K = 10, 2, 0.625, 0.5$) 时的单位阶跃响应的波形，并由实验求得相应的 σ_p 、 t_p 、 t_s 的值。
- 2、调节开环增益 K，使二阶系统的阻尼比 $\xi = 0.707$ ，观察并记录此时的单位阶跃响应波形和 σ_p, t_p, t_s 的值。

五、实验数据记录和处理

调节实验箱上的阶跃信号，按下为下降沿，松开为上升沿，由 CH1 通道测量，输出信号由 CH2 通道测量，得到波形图如图 4-图 8 所示。

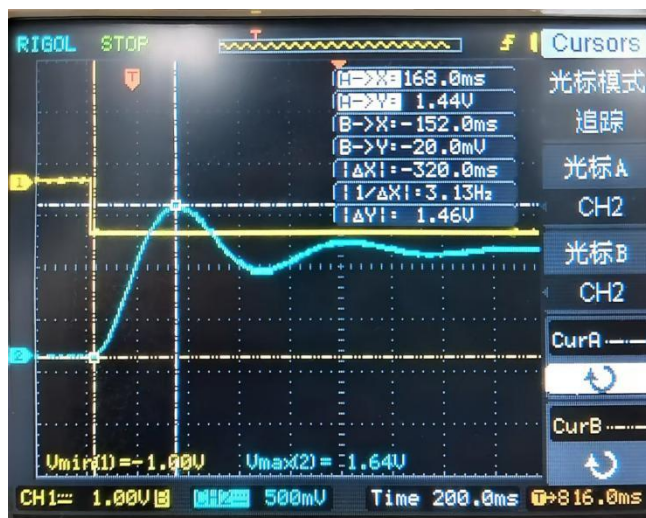


图 4 输入与输出波形图 ($K=10$)

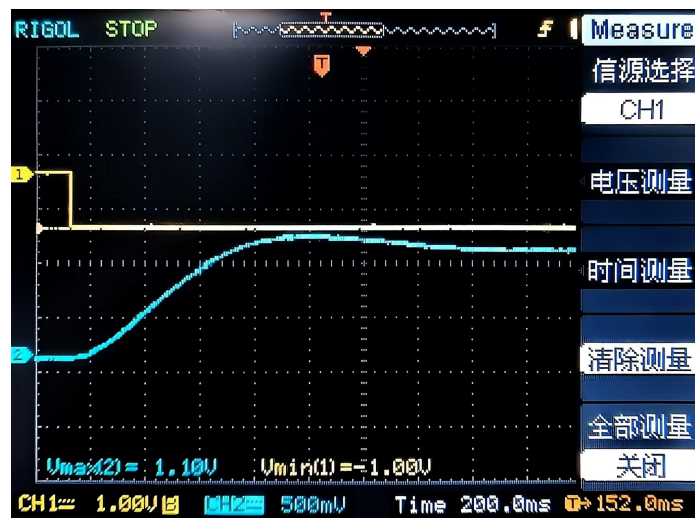


图 5 输入与输出波形图 ($K=2$)

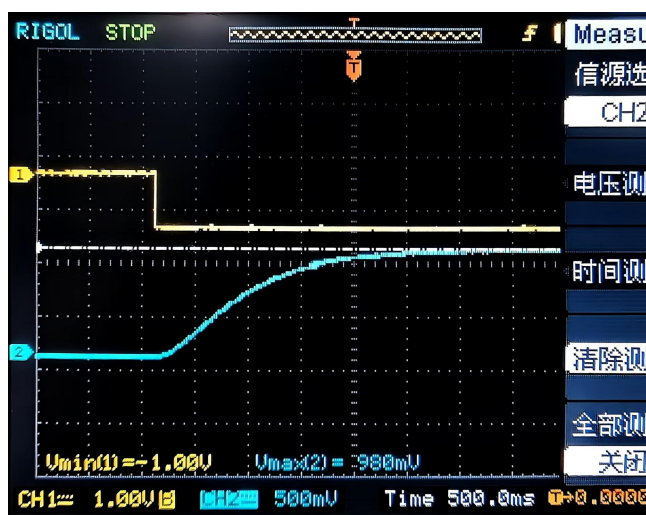


图 6 输入与输出波形图 ($K=0.625$)



图 7 输入与输出波形图 ($K=0.5$)

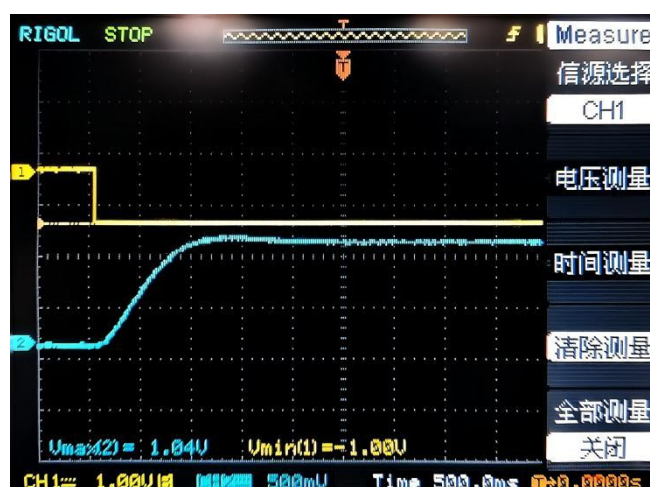


图 8 输入与输出波形图 ($K=1.25$, 阻尼比 $\xi = 0.707$)

测量所得实验数据如下：

K 值	R5	输出终值	超调偏移值	σ_p	t_p	t_s
K=10	1M	1.02V	0.44V	43.14%	320ms	1.12s
K=2	200k	0.98V	0.14V	14.29%	832ms	1.24s
K=0.625	62.5k	\	\	0	\	1.98s
K=0.5	50k	\	\	0	\	2.24s
K=1.25 ($\xi=0.707$)	125k	1V	0.04V	4.00%	1.26s	0.88s

六、实验结果与分析

实验测量所得波形均符合理论波形，实验结果基本符合理论预期，本次实验较为成功。

当 $K < 0.625$ 时，系统处于过阻尼状态，无最大超调量，波形直接升高至稳定终值； K 变小时，调整时间增加。

当 $K > 0.625$ 时，系统处于欠阻尼状态，随着 K 减小， σ_p 减小（理论上会从 1 至 0），调整时间和峰值时间均增加，波形上升速度减缓，从峰值更快达到稳定状态。

$\xi=0.707$ 时，与其他的欠阻尼状态不同，最大超调量在 5% 以内，使得调整时间在峰值时间之前产生，实验结果与理论相符。

七、讨论、心得、体会

实验心得体会：

在实验中，我深入理解了二阶系统的组成，学习了如何通过系统的传递函数来描述其行为，以及如何从传递函数中提取系统的关键参数；通过改变增益研究了二阶系统在三种不同阻尼比状态下的单位阶跃响应，对于每种状态，我测量了超调量（ σ_p ）、峰值时间（ t_p ）和调整时间（ t_s ）。这些参数对于评估系统的稳定性和响应速度至关重要。

通过本次实验，我将理论知识应用于实际的电路模拟，加深了对二阶系统动态特性的理解，学会了在设计控制系统时如何权衡增益以平衡快速响应和稳定性，提高了使用实验设备和软件进行测量和数据分析的技能。

总的来说，这次实验不仅加深了我对二阶系统的理解，也锻炼了我的实验技能和分析能力。通过亲手操作和观察系统响应，我对控制系统的设计有了更直观的认识

思考题：

各参数意义：

最大超调量 σ_p ：最大超调量规定为在暂态期间输出超过对应于输出的终值的最大偏离度，常表示为阶跃响应终值的百分比。

峰值时间 t_p ：对应于最大超调量发生的时间。

调整时间 t_s ：输出与其对应于输出的终值之间的偏差达到容许范围（一般取 5%或 2%）所经历的暂态过程时间。

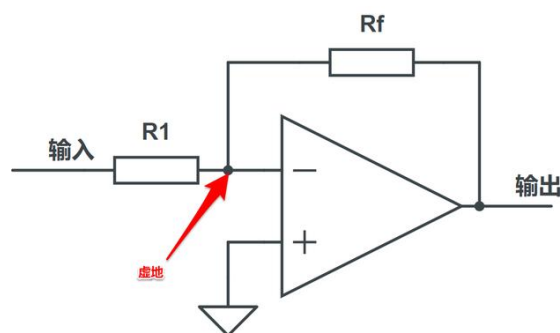
1、如果阶跃输入信号的幅值过大，会在实验中产生什么后果？

系统响应特性不变，但是实际运放能够输出的最大电压有限。若输入信号幅值过大，部分输出信号的波形会受限于运放而无法真实展现，只能输出运放限制的最大值，导致波形失真，甚至损坏运放和系统。输入过小也会使得系统易受到噪声的干扰，难以清晰记录输出曲线。

2、在电子模拟系统中，如何实现负反馈和单位负反馈？

负反馈：构建一个闭环电路，把运放输出端通过电路接回输入端，与输入信号进行叠加，减弱输入。

单位负反馈：控制负反馈的传递函数为 1，下图为一个典型负反馈电路， $R_1=R_f$ 时为单位负反馈。



3、为什么本实验的模拟系统中要用三个运算放大器？

根据二阶系统原理方框图可知，二阶系统由惯性环节、积分环节、比例放大环节三个部分构成，每一个典型环节的模拟电路需要至少一个运放，因此用到三只运放。