

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：2024.10.22

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：典型环节的模拟实验

一、实验目的和要求

- 1、熟悉示波器的性能和使用方法
- 2、掌握用运放组成控制系统典型环节的电子电路
- 3、测量典型环节的阶跃响应曲线，
- 4、了解典型环节中参数变化对动态特性的影响。

二、实验内容和原理

1、运算放大器为核心

放大器的开环放大倍数为无限大；开环输入阻抗为无限大，输出阻抗等于零；通频带为无限大；输入与输出间呈线性特性。

2、运放与 R-C 输入网络和反馈网络组成各种典型环节

(1) 比例环节

比例环节电路图如图 1.1 所示，根据电路原理，得到传递函数满足 $G(s) = \frac{U_o}{U_i} = \frac{Z_2}{Z_1}$ ，输出波形如图 1.2。

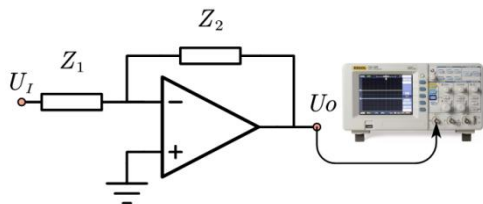


图 1.1 比例环节电路

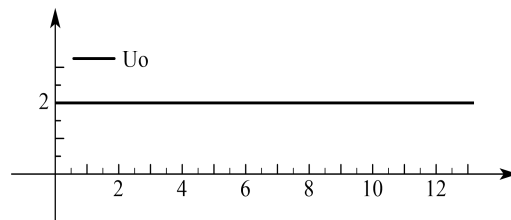


图 1.2 比例环节输出波形

(2) 惯性环节

惯性环节电路图如图 2.1 所示，根据电路原理，得到传递函数满足 $G(s) = \frac{Z_2}{Z_1} = \frac{R_2/Cs}{R_2 + 1/Cs} / R_1 = \frac{R_2}{R_1} \frac{1}{R_2Cs + 1} = \frac{K}{Ts + 1}$ ，输出波形如图 2.2 所示。

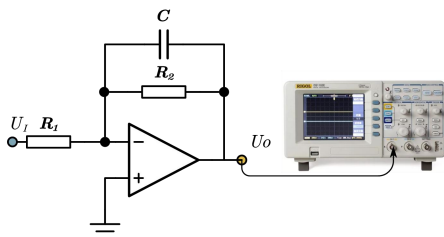


图 2.1 惯性环节电路

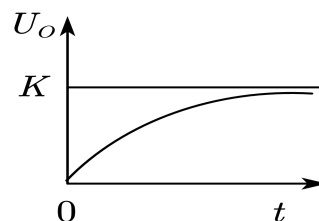


图 2.2 惯性环节输出波形

(3) 积分环节

惯性环节电路图如图 3.1 所示，根据电路原理，得到传递函数满足 $G(s) = \frac{Z_2}{Z_1} = \frac{1/Cs}{R} = \frac{1}{RCs} = \frac{1}{Ts}$, $T=RC$, 输出波形如图 3.2 所示。

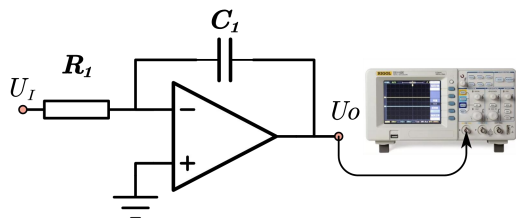


图 3.1 积分环节电路

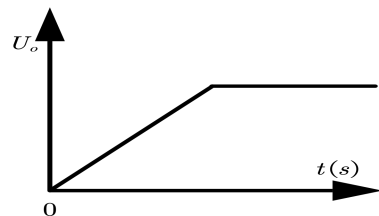


图 3.2 积分环节输出波形

(4) 比例微分环节 (PD)

比例微分环节电路图如图 4.1 所示，根据电路原理，设 $K = \frac{R_2}{R_1}$, $T_D = R_1 C$, 得到传递函数满足 $G(s) = \frac{Z_2}{Z_1} = \frac{R_2}{\frac{R_1/Cs}{R_1 + 1/Cs}} = \frac{R_2}{R_1} (R_1 Cs + 1) = K (T_D s + 1)$, 输出波形如图 4.2 所示。

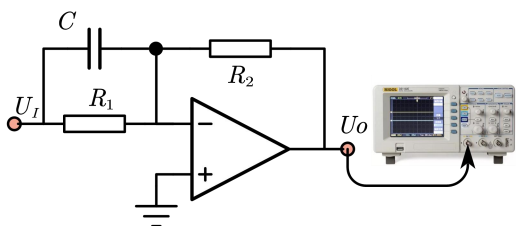


图 4.1 比例微分环节电路

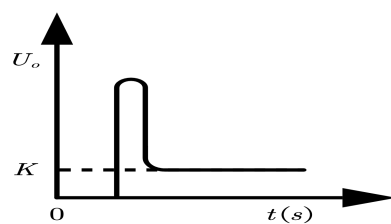


图 4.2 比例微分环节输出波形

(5) 比例积分环节

比例积分环节电路图如图 5.1 所示，根据电路原理，设 $K = \frac{R_2}{R_1}$, $T_2 = R_2 C$, 得到传递函数满足 $G(s) = \frac{Z_2}{Z_1} = \frac{R_2 + 1/Cs}{R_1} = \frac{R_2}{R_1} (\frac{1}{R_2 Cs} + 1) = K (\frac{1}{T_2 s} + 1)$, 输出波形如图 5.2 所示。

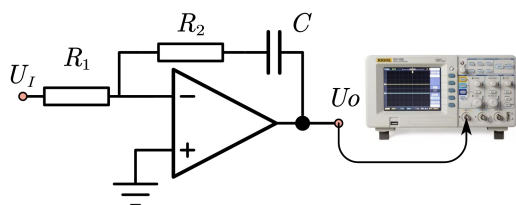


图 5.1 比例积分环节电路

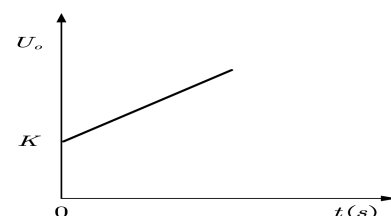


图 5.2 比例积分环节输出波形

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、分别画出惯性、积分和微分环节的电子电路图
- 2、按各典型环节的传递函数，调节相应的模拟电路参数
- 3、观察并记录其单位阶跃相应波形

积分环节 $G_1(s) = 1/s, G_2(s) = 1/(0.5s)$

比例微分环节 $G_1(s) = 2 + s, G_2(s) = 1 + 2s$

惯性环节 $G_1(s) = 1/(s+1), G_2(s) = 1/(0.5s+1)$

五、实验数据记录和处理

调节实验箱上的阶跃信号，幅值大小为 1V，按下为下降沿，松开为上升沿，示波器 CH1 显示阶跃信号，CH2 显示输出波形。

1、惯性环节

(1) $R_1=R_2=1M\Omega$, $C=1\mu F$, 此时传递函数为 $G_1(s) = 1/(s+1)$, 得到波形如图 2.3 所示。

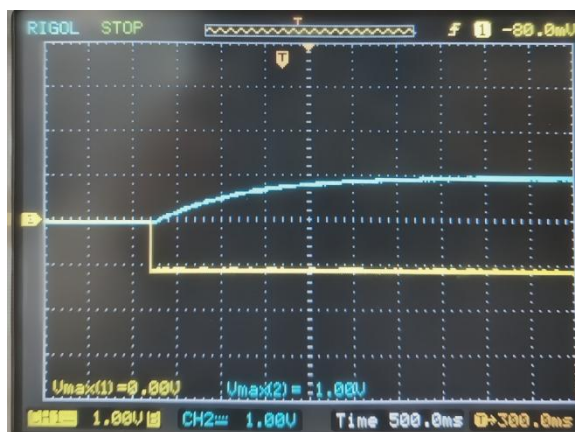


图 2.3 惯性环节输出波形 ($R_1=R_2=1M\Omega$, $C=1\mu F$)

输出信号指数上升，初始为 0V，上升过渡时间为 3.8s 左右，最终稳定在 1.00V。

(2) $R_1=R_2=500k\Omega$, $C=1\mu F$, 此时传递函数为 $G_2(s) = 1/(0.5s+1)$, 得到波形如图 2.4 所示。



图 2.4 惯性环节输出波形 ($R_1=R_2=500k\Omega$, $C=1\mu F$)

输出信号指数上升，初始为 0V，上升过渡时间为 1.7s 左右，最终稳定在 1.04V。

G_2 与 G_1 进行对比，输出信号均呈指数上升趋势，时间常数 T 从 1 减小为 0.5，输出信号上升速度加快，最终稳定状态基本相同，与理论结果相符。

2、积分环节

(1) $R_1=1M\Omega$ ， $C_1=1\mu F$ ，此时传递函数为 $G_1(s) = 1/s$ ，得到波形如图 3.3 所示。

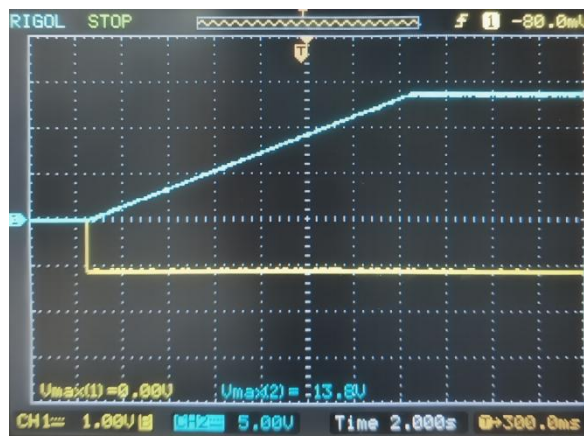


图 3.3 积分环节输出波形 ($R_1=1M\Omega$ ， $C_1=1\mu F$)

输出信号线性上升，上升时间 14.0s 左右，从 0 上升至 13.8V。

(2) $R_1=500k\Omega$ ， $C_1=1\mu F$ ，此时传递函数为 $G_2(s) = 1 / (0.5s)$ ，得到波形如图 3.4 所示。

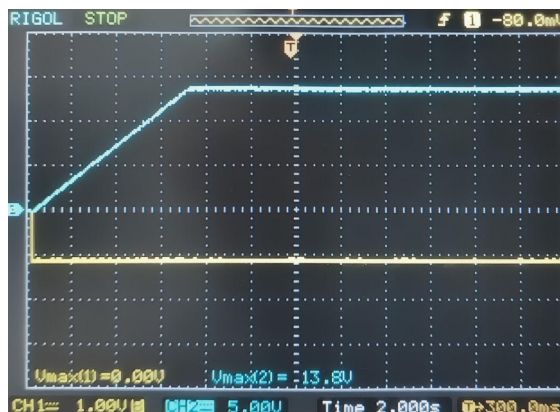


图 3.4 积分环节输出波形 ($R_1=500k\Omega$ ， $C_1=1\mu F$)

输出信号线性上升，上升时间 7.2s 左右，从 0 上升至 13.8V。

G_2 与 G_1 进行对比，输出信号均呈线性上升趋势，时间常数 T 从 1 减小为 0.5，输出曲线的斜率变大，上升时间减小，达到稳定时的状态基本相同，与理论结果相符。稳态电压均略小于 15V，这是由运放工作电源电压 15V 限制的。

3、比例微分环节

(1) $R_1=500k\Omega$ ， $R_2=1M\Omega$ ， $C=1\mu F$ ，此时的传递函数为 $G_1(s) = 2 + s$ ，得到波形如图 4.3 所示。

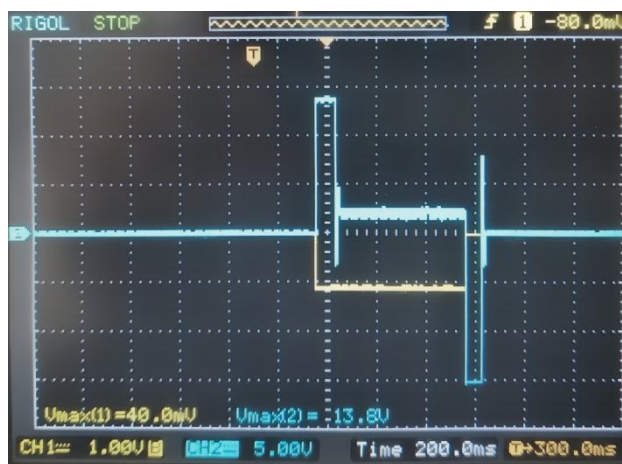


图 4.3 比例微分环节输出波形 ($R_1=500k\Omega$, $R_2=1M\Omega$, $C=1\mu F$)

输出信号经过一个峰值为 13.8V、持续时间为 60ms 左右的脉冲波形后，稳定在了 2V 左右。向下的尖峰电压为按钮抖动导致，对后续输出无影响。

(2) $R_1=1M\Omega$, $R_2=1M\Omega$, $C=0.5\mu F$ ，由两个 $1\mu F$ 电容并联组成，此时的传递函数为 $G_2(s) = 1 + 2s$ ，得到波形如图 4.4 所示。



图 4.4 比例微分环节输出波形 ($R_1=1M\Omega$, $R_2=1M\Omega$, $C=0.5\mu F$)

输出信号经过一个峰值为 13.8V、持续时间为 120ms 的脉冲后，稳定在了 1V 左右。

G_2 与 G_1 进行对比，输出信号均在短暂脉冲后迅速回到稳定状态，时间常数由 1 变为 2，脉冲电压的持续时间也增加了一倍左右，常数由 2 变为 1，使得输出电压的稳定值由 2V 减小至 1V，与理论结果相符。脉冲峰值电压均略小于 15V，这是由运放工作电源电压 15V 限制的。

实际输出电压稳定状态下的波动较大，可能是由于接触不良、输出不稳定、设备老化、噪声较大等因素，可以添加滤波电容，使输出波形更加清晰稳定。

六、实验结果与分析

因实验仪器误差和手动操作等原因，部分数据无法精确测量，存在一定的误差，但是实验结果基本符合理论预期，本次实验较为成功。

七、讨论、心得、体会

实验心得体会：

通过实验观察不同典型环节的响应，可以帮助我更加深刻地理解这些概念的实际意义。在实验中亲手搭建电路、调试设备，并且观察到预期的结果或遇到问题时进行故障排除，是我非常宝贵的学习经验，让我对如何选择合适的元件参数来实现特定的功能、如何调整系统的性能以满足设计要求等有了新的思考，使我更直观地看到理论模型与实际情况之间的联系和差异，对于加深控制理论的理解和记忆非常有帮助。

我从这次实验中学到的不仅限于具体的技术技能，还包括了科学研究的方法论和批判性思维能力的提升，这些都是未来无论是继续深造还是步入职场都是非常重要的素质，能够为自己的专业发展打下更加坚实的基础。

思考题：

1、用运放模拟典型环节时，其传递函数是在哪两个假设条件下近似导出的？

运放的“虚断”和“虚短”。

“虚短”是指在理想线性情况下，运放两个输入端的电位相等，就好像两个输入端短接在一起，但事实上并没有短接，称为“虚短”。“虚断”是指在理想情况下，把运放两输入端视为开路，即流入正负输入端的电流为零。

2、积分环节和惯性环节主要差别是什么？在什么条件下，惯性环节可以近似地视为积分环节？在什么条件下，又可以视为比例环节？

惯性环节的特点是：当输入 $x(t)$ 作阶跃变化时，输出 $y(t)$ 不能立刻达到稳态值，瞬态输出以指数规律变化。

积分环节的特点是：当输入为单位阶跃信号时，输出为输入对时间的积分，输出的 $y(t)$ 随时间直线增长。

当 t 趋于无穷大时，惯性环节可以近似地视为积分环节；

当 t 趋于 0 时，惯性环节可以近似地视为比例环节。