

---

# 实验一 典型环节的电路模拟与软件仿真研究

2212266 智能科学与技术 张恒硕

## 一. 实验目的

1. 通过实验熟悉并掌握实验装置和上位机软件的使用方法。
2. 通过实验熟悉各种典型环节的传递函数及其特性，掌握电路模拟和软件仿真研究方法。

## 二. 实验内容

1. 设计各种典型环节的模拟电路。
2. 完成各种典型环节模拟电路的阶跃特性测试，并研究参数变化对典型环节阶跃特性的影响。在上位机界面，显示具体的仿真波形。

(3. 在 MATLAB 软件上，填入各个环节的实际（非理想）传递函数参数，完成典型环节阶跃特性的软件仿真研究，并与电路模拟研究的结果作比较。) ——本实验并未进行该步

## 三. 实验步骤

1. 熟悉实验装置，利用实验装置上的模拟电路单元，设计并连接各种典型环节（包括比例、积分、比例积分、比例微分、比例积分微分以及惯性环节）的模拟电路。接线时要注意：先断电，再接线。接线时要注意不同环节、不同测试信号对运放锁零的要求。(U3 单元的 01 接被测对象的输入、G 接 G1、U3 单元的 I1 接被测对象的输出)。
2. 利用实验设备完成各典型环节模拟电路的阶跃特性测试，并研究参数变化对典型环节阶跃特性的影响。首先必须在熟悉上位机界面的操作，充分利用上位机提供的虚拟示波器与信号发生器功能。为了利用上位机提供的虚拟示波器与信号发生器功能。接线完成，经检查无误，再给实验装置上电后，打开时域特性的程序，启动上位机程序，进入主界面，进行一系列模式和参数的设置。

## 四. 实验结果分析

1. 比例(P)环节的传递函数、方块图、模拟电路和阶跃响应

比例环节的传递函数为：
$$\frac{U_o(s)}{U_i(s)} = K$$

其中  $K = \frac{R_1}{R_0}$ 。

其方块图、模拟电路和阶跃响应如下：

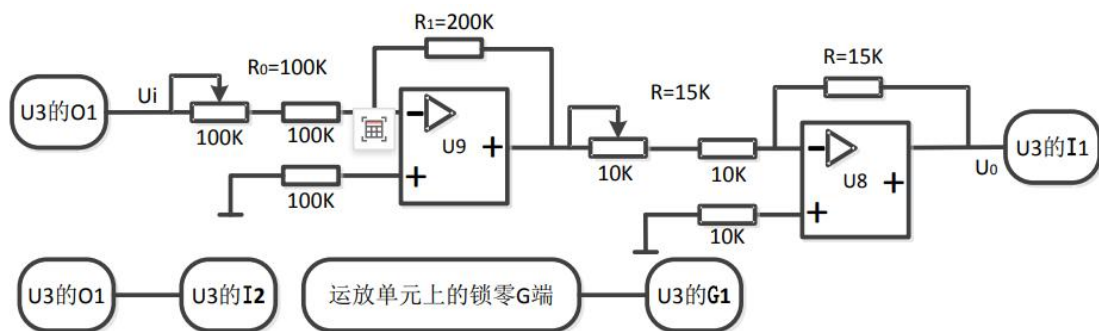


图1.1.2

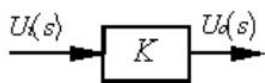


图1.1.1

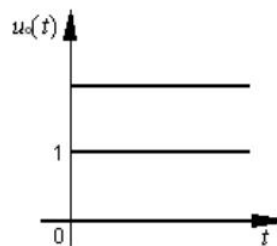
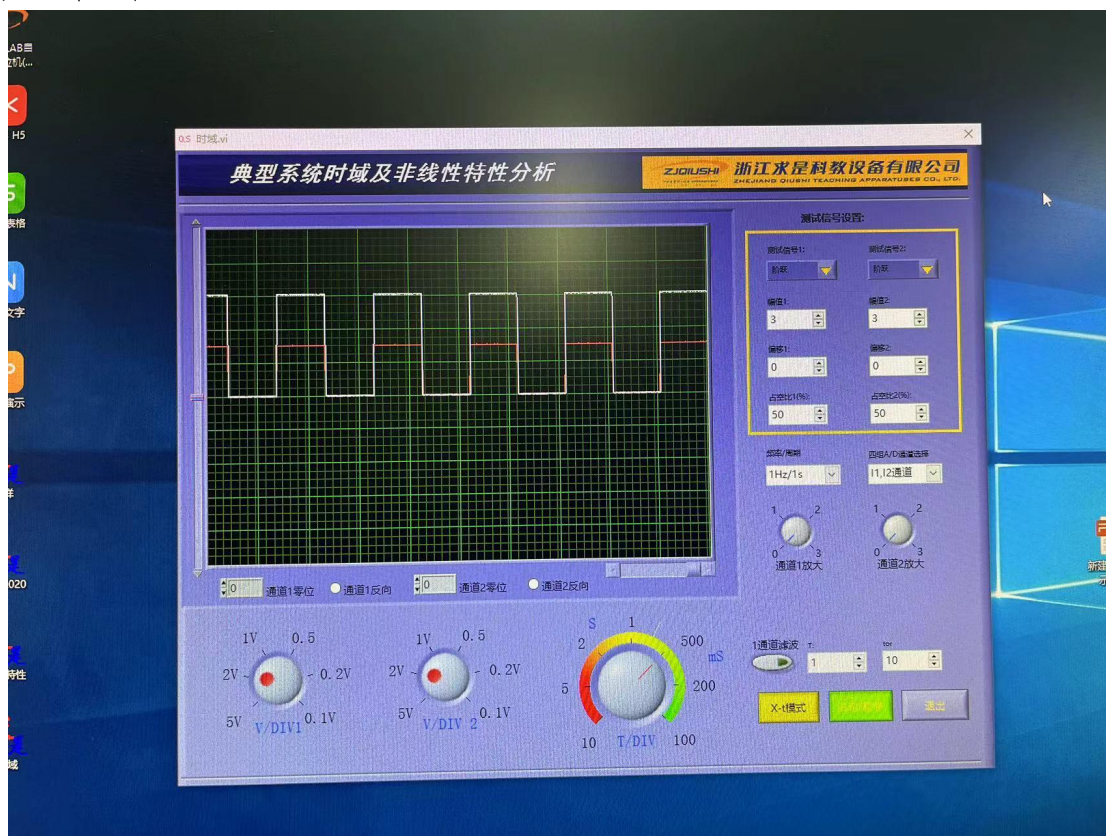


图1.1.3

实验结果如下：



分析：比例环节的传递函数为一定值常数，其输出恒为输入的  $K$  倍。 $K$  与  $R_1/R_0$  的比值相关，而与其各自值无明显关系。在本实验中，该比值为 2。

2. 积分(I)环节的传递函数、方块图、模拟电路和阶跃响应

积分环节的传递函数为：
$$\frac{U_o(s)}{U_i(s)} = \frac{1}{Ts}$$

其中  $T = R_0C$ 。

其方块图、模拟电路和阶跃响应如下：

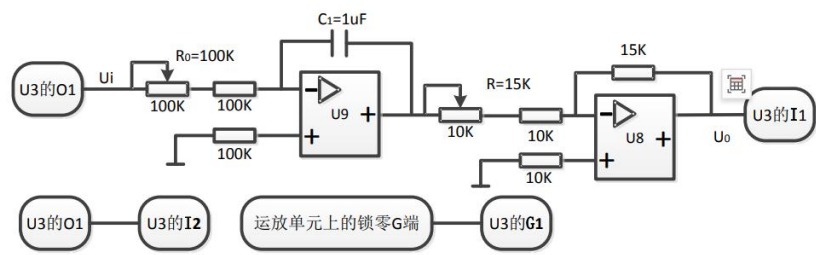


图1.2.2

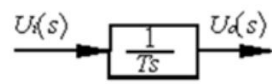


图1.2.1

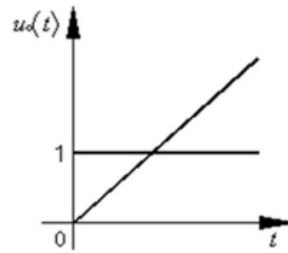
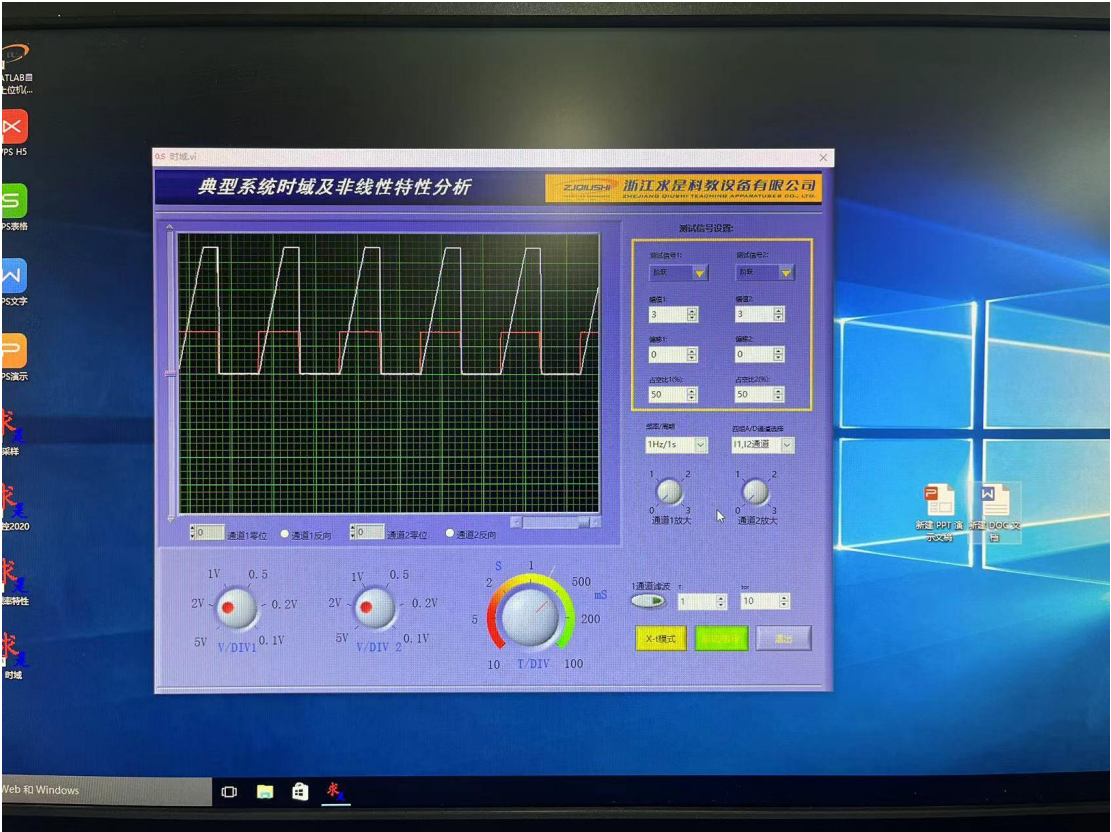


图1.2.3

实验结果如下：



分析：积分环节积分输入的周期阶跃信号得到斜坡信号，积分完成达到一定值后保持稳定；对于同一输入，其积分速度由 RC 决定，即时间常数  $\tau$ 。在本实验中，该值为 0.1s。

### 3. 比例积分 (PI) 环节的传递函数、方块图、模拟电路和阶跃响应

比例积分环节的传递函数为：

$$\frac{U_O}{U_i} = K + \frac{1}{Ts}$$



其中  $K = \frac{R_1}{R_0}$ ,  $T = R_0 C$ 。

其方块图、模拟电路和阶跃响应如下：

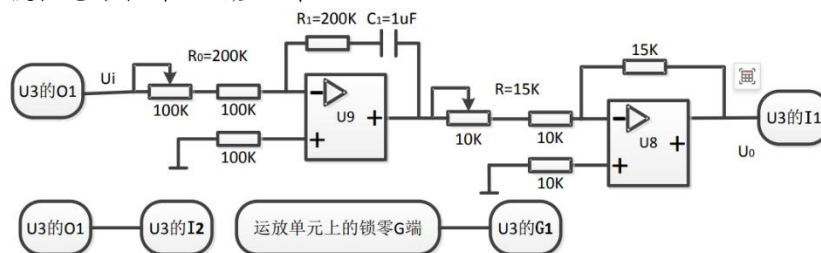


图1.3.2

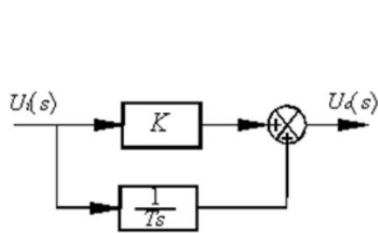


图1.3.1

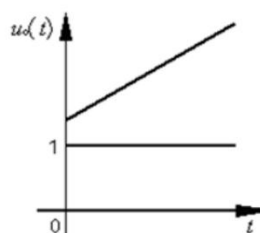
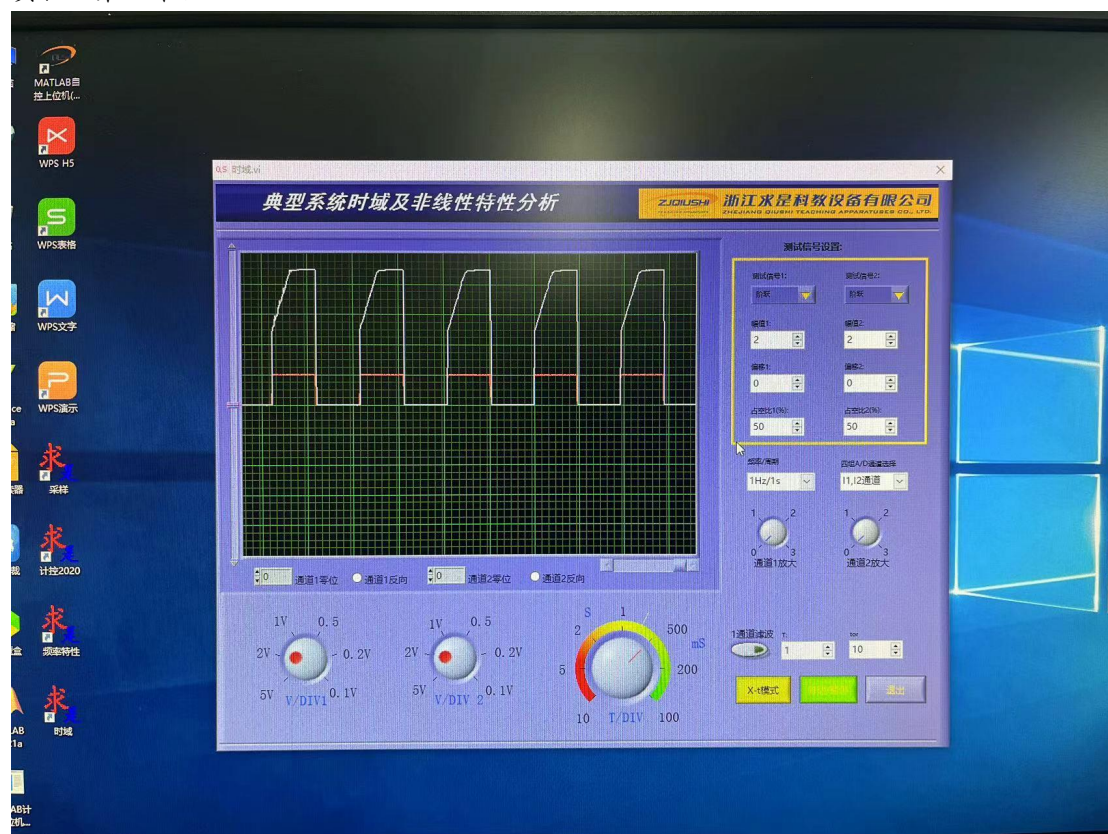


图1.3.3

实验结果如下：



分析：比例积分环节为一个比例环节和一个积分环节并联而成，是二者效果的一种叠加。在阶跃信号下，与积分环节对比，比例积分环节的积分初值不是0，而由比例环节决定。最终积分完成后，也会达到某一稳定值。

#### 4. 比例微分(PD)环节的传递函数、方块图、模拟电路和阶跃响应

比例微分环节的传递函数为：
$$\frac{U_o}{U_i} = K(1 + Ts)$$

其模拟电路是近似的（即实际 PD 环节），取  $R_1, R_2 \gg R_3$ ，则有  $K = \frac{R_1 + R_2}{R_0}$ ,  $T = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} C$ 。

实际 PD 环节的传递函数为：

$$\begin{aligned} \frac{U_o(s)}{U_i(s)} &= \frac{R_1 + R_2}{R_0} \left[ 1 + \frac{R_1 R_2 C s}{(R_1 + R_2)(R_3 C s + 1)} \right] \\ &= \frac{(R_1 R_2 + R_2 R_3 + R_3 R_1) C s + (R_1 + R_2)}{R_0 R_3 C s + R_0} \end{aligned}$$

其方块图、模拟电路和阶跃响应如下：

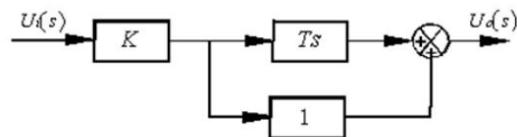


图1.4.1

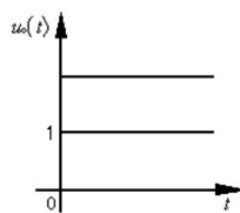


图1.4.3a

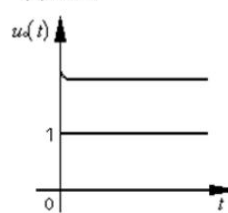


图1.4.3b

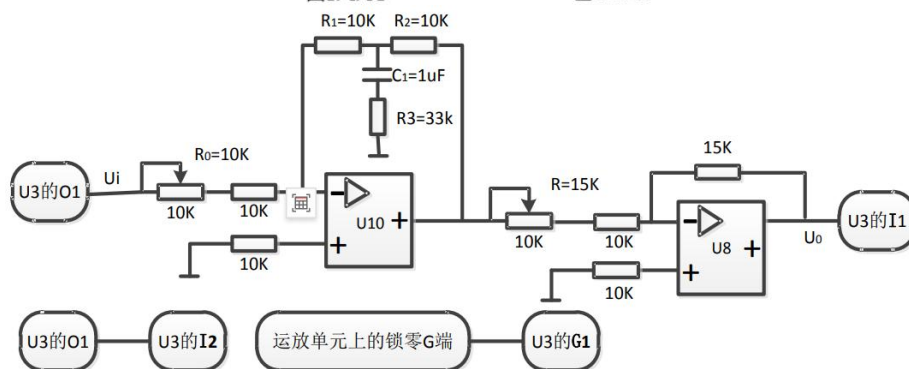
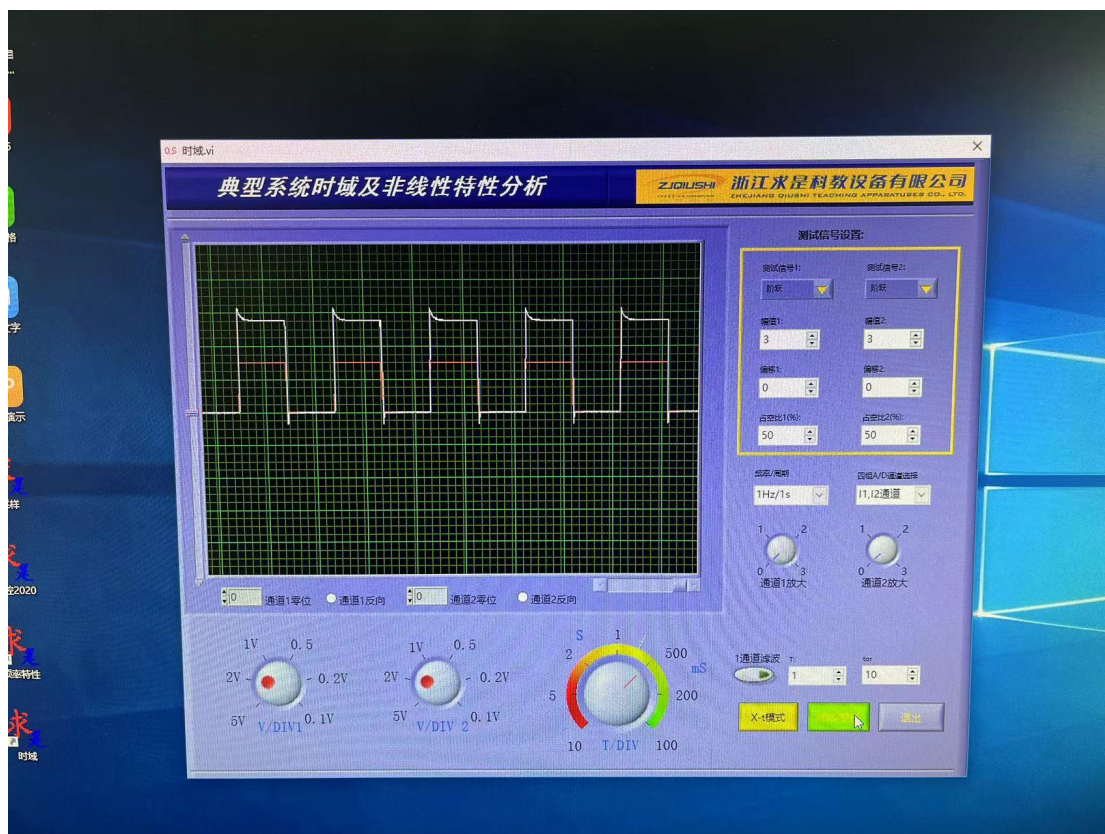


图1.4.2

实验结果如下：



分析：比例微分环节为一个比例环节和一个微分环节的共同作用。在阶跃信号下，与理想比例微分效果相比，由于微分电路部分对电容的作用，输出信号会有一个迅速上升再下降的过程，即图中周期出现的尖峰。

##### 5. 惯性环节的传递函数、方块图、模拟电路和阶跃响应

惯性环节的传递函数为：
$$\frac{U_o}{U_i} = \frac{K}{Ts + 1}$$

其中  $K = \frac{R_1}{R_0}$ ,  $T = R_1C$ 。

其方块图、模拟电路和阶跃响应如下：

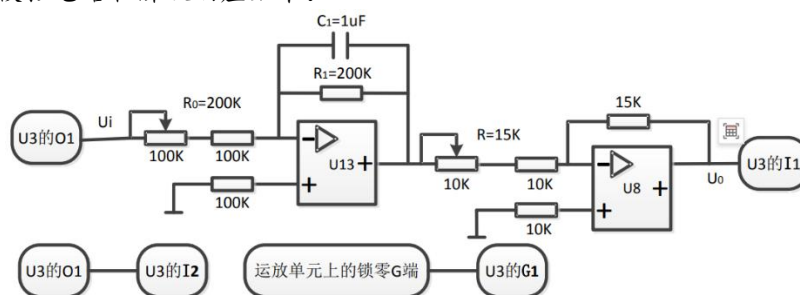


图1.5.2

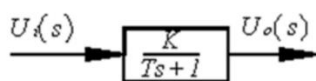


图 1.5.1

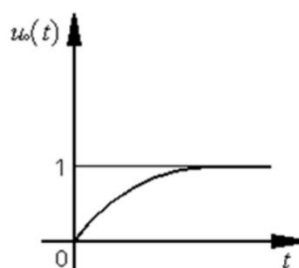
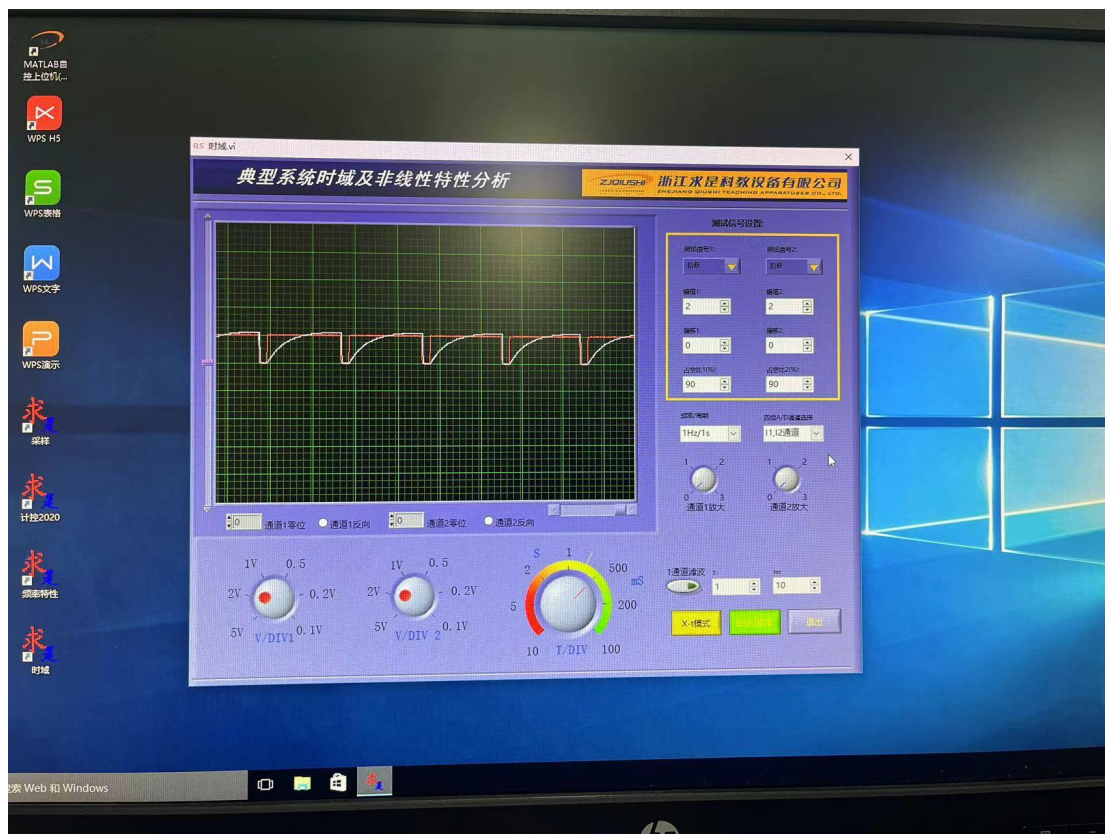


图 1.5.3



实验结果如下：



分析：对于惯性环节来说，其单位阶跃响应包含瞬态部分和稳态部分，响应曲线为一单调上升过程，上升速度逐渐下降，稳态误差也趋于0。在上升到稳态值的0.632时，所用时间为响应时间。

## 6. 比例积分微分(PID)环节的传递函数、方块图、模拟电路和阶跃响应

比例积分微分环节的传递函数为：
$$\frac{U_o(s)}{U_i(s)} = K_p + \frac{1}{T_i s} + T_d s$$

其模拟电路是近似的（即实际PID环节），取 $R_1 \gg R_2 \gg R_3$ ，将近似上述理想PID环节有

$$K_p = \frac{R_1}{R_0}, T_i = R_0 C_1, T_d = \frac{R_1 R_2}{R_0} C_2。$$

实际PID环节的传递函数为：

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

其方块图、模拟电路和阶跃响应如下：

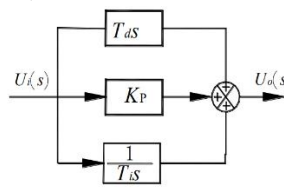


图1.6.1

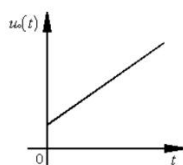


图1.6.3a

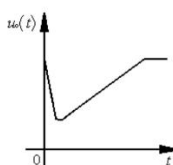


图1.6.3b

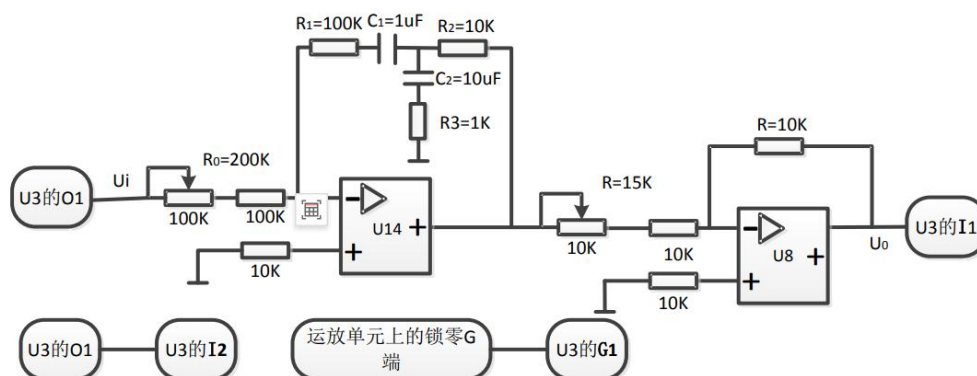
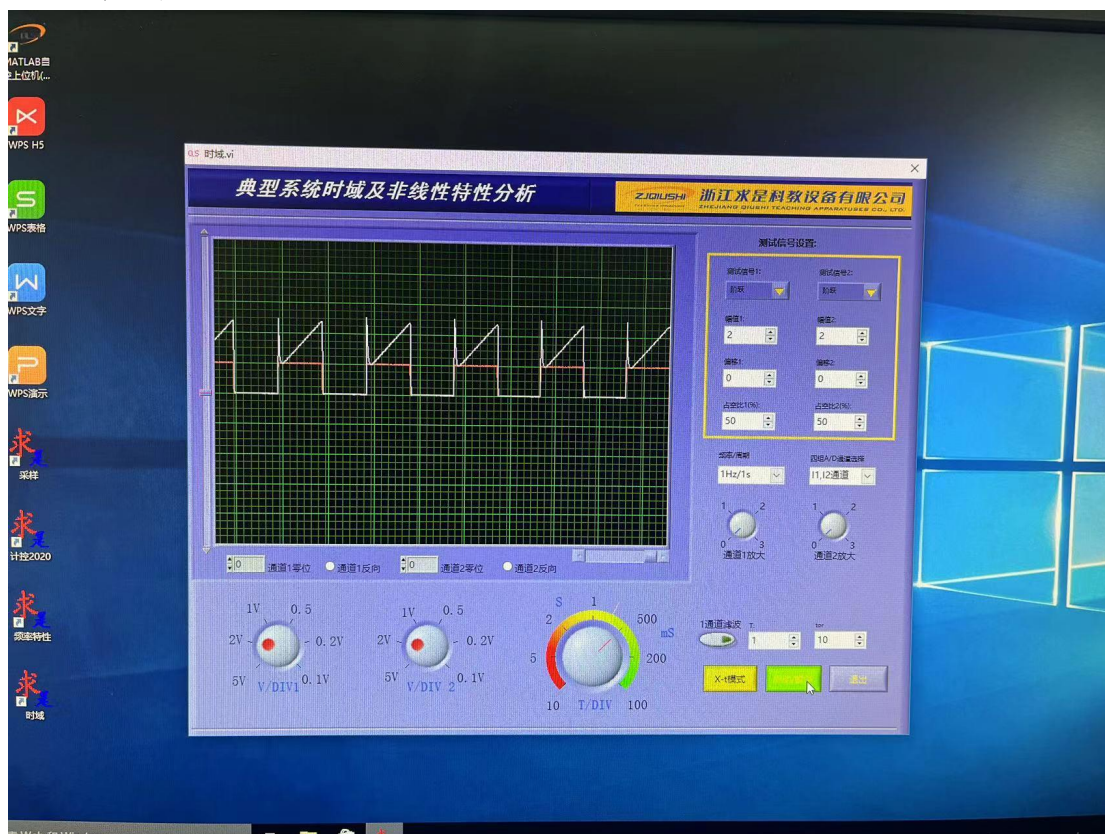


图 1.6.2

实验结果如下：



分析：比例积分微分环节即为比例环节、积分环节、微分环节三者共同作用的结果，周期开始的尖峰处为微分环节的作用，后续单调上升为积分环节的作用，最后的峰值为比例环节所决定。

## 五. 实验总结收获

1. 第一次接触了电路仿真软件，学会了调式和观察仿真平台显示的波形。
2. 了解了几种典型电路的工作原理、电路组成、对于单位阶跃信号的响应特点与响应曲线，加强了对电路的分析能力，也增强了分析曲线形成原理的能力。
3. 亲手连接了几种典型电路，加强了对电路的熟悉和理解，并且提高了动手能力。