

# 浙江大学



## 测控技术实验-控制实验报告

姓名： 吴娉娉

学院： 机械工程学院

系： 机械工程

专业： 机械工程

学号： 3220103538

2024 年 10 月 14 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: 典型环节的电路模拟与软件仿真研究

同组学生姓名: 陈慧慧

## 一、实验目的和要求

1. 设计各种典型环节的模拟电路, 掌握各种典型环节的传递函数及其特性。
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。
3. 在 MATLAB 软件上, 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。

## 二、实验内容

1. 比例(P)环节的传递函数、方块图、模拟电路和阶跃响应
2. 积分(I)环节的传递函数、方块图、模拟电路和阶跃响应
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
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
5. 惯性环节的传递函数、方块图、模拟电路和阶跃响应
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

三、实验结果（原理）分析（必填）

1. 比例(P)环节的传递函数、方块图、模拟电路和阶跃响应

|          |  |                            |
|----------|--|----------------------------|
|          | U9 单元输入端的可调电阻<br>R0 为 100K                       | U9 单元输入端的可调电阻<br>R0 为 200K |
| 比例传递函数公式 | $\frac{U_o(s)}{U_i(s)} = K, K = \frac{R_1}{R_0}$ |                            |
| 比例系数 K 值 | 2  | 1                          |

阶跃响应图

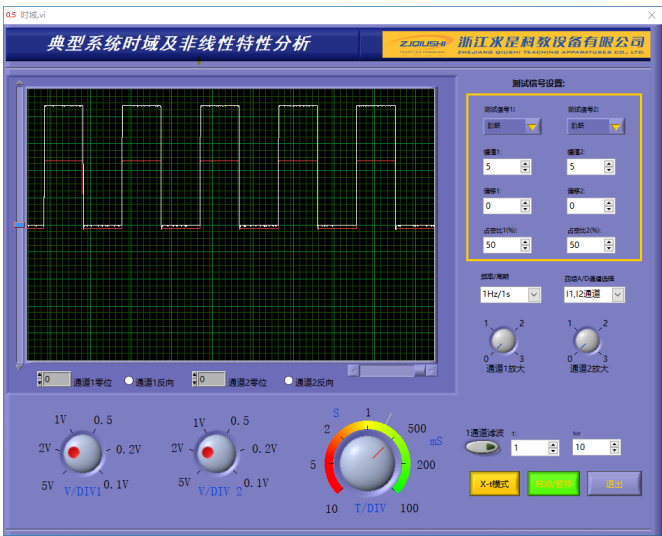


图 1-1 R0=100K 的比例环节阶跃响应图

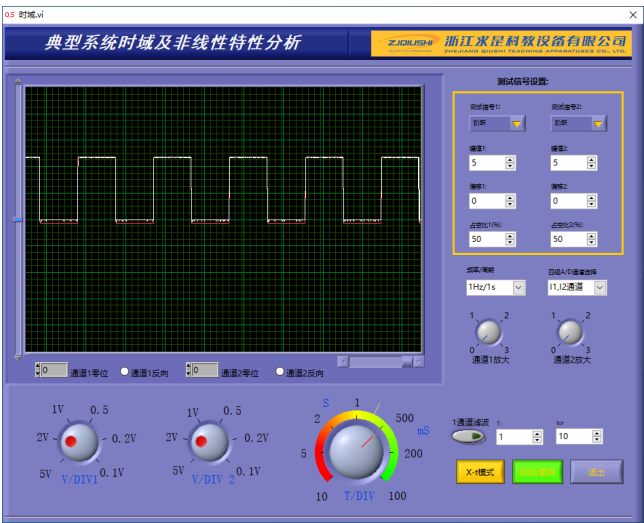


图 1-2 R0=200K 的比例环节阶跃响应图

## Matlab 阶跃仿真图

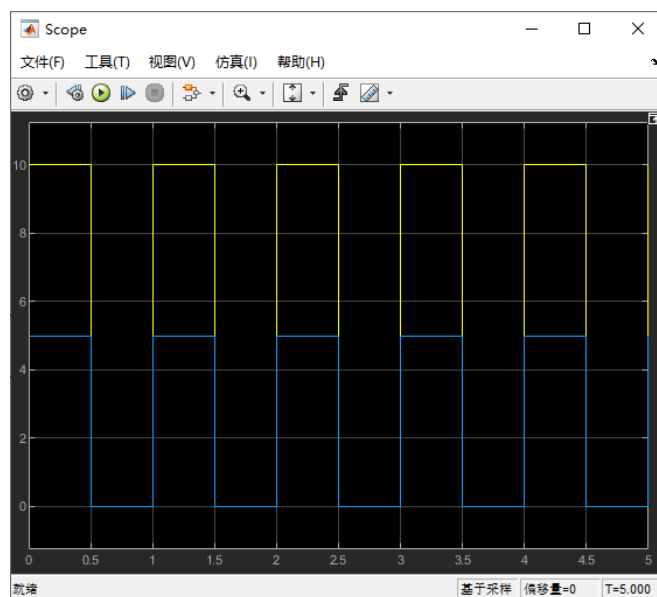


图 1-3  $R_0=100K$  的比例环节 Matlab 阶跃仿真图

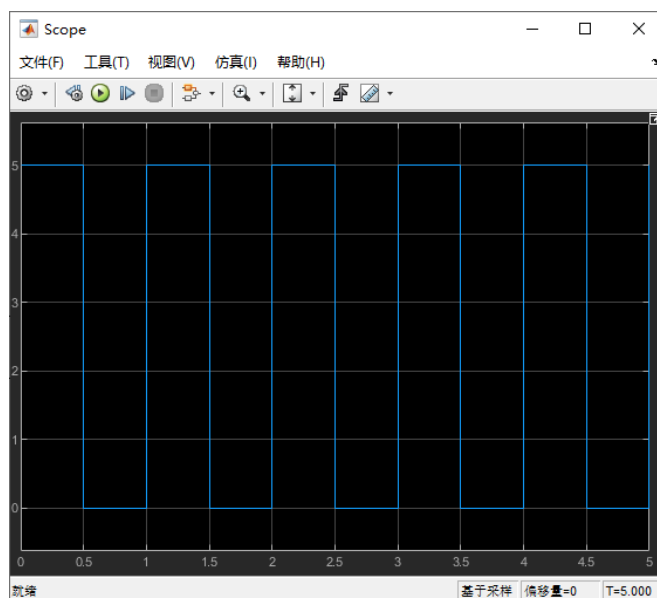


图 1-4  $R_0=200K$  的比例环节 Matlab 阶跃仿真图

## 实验分析与思考

比例环节的传递函数为： $\frac{U_o(s)}{U_i(s)} = K$ ， $K = \frac{R_1}{R_0}$ 。当将  $R_0$  由 100K 调节至 200K 时，比例系数由 2 降至 1，输出波形幅值由 10V 降至 5V。

2. 积分(I)环节的传递函数、方块图、模拟电路和阶跃响应

|          |   |                                     |                                       |
|----------|---|-------------------------------------|---------------------------------------|
|          | U9 单元输入端的<br>可调电阻<br>R0=100K, C1=1u               | U9 单元输入端的<br>可调电阻<br>R0=200K, C1=1u | U9 单元输入端的<br>可调电阻<br>R0=100K, C1=4.7u |
| 积分传递函数公式 | $\frac{U_o(s)}{U_i(s)} = \frac{1}{Ts} , T = R_0C$ |                                     |                                       |
| 积分 T 值   | 0.1   | 0.2                                 | 0.47                                  |

阶跃响应图

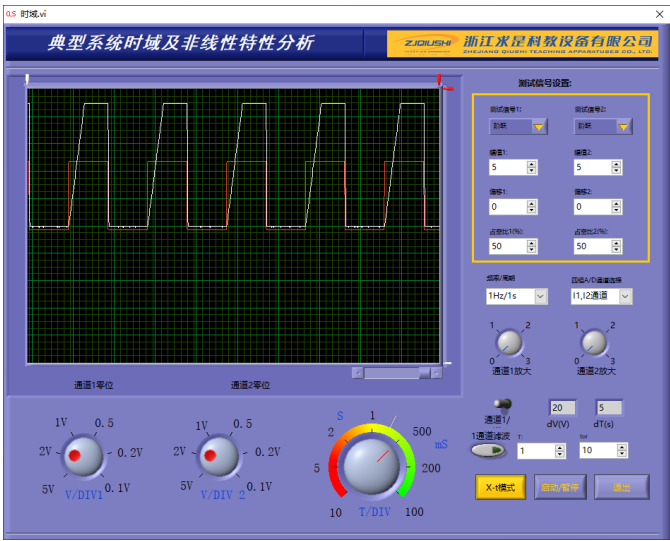


图 2-1 R0=100K、C1=1u 的积分环节阶跃响应图

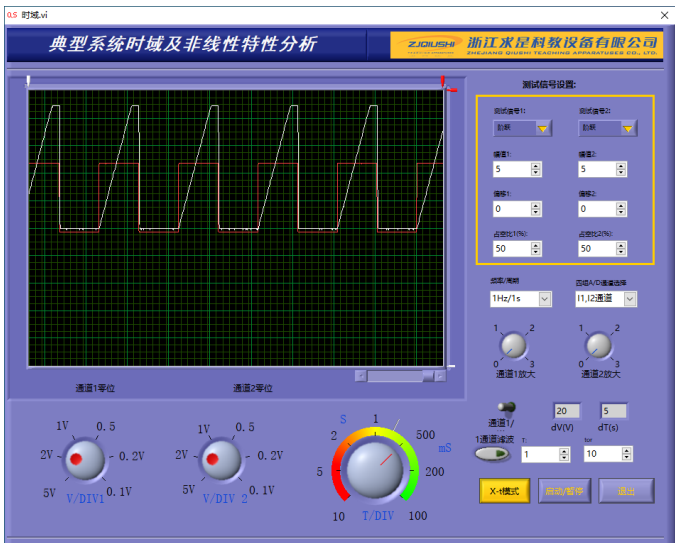


图 2-2 R0=200K、C1=1u 的积分环节阶跃响应图

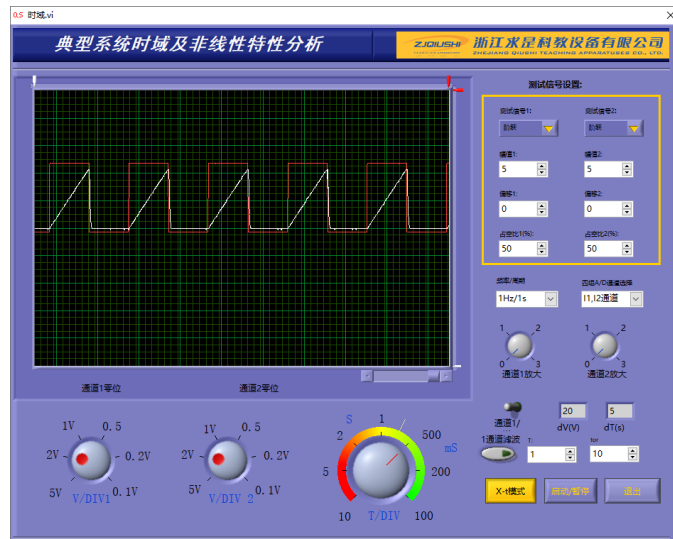


图 2-3  $R_0=100K$ 、 $C_1=4.7\mu$  的积分环节阶跃响应图

Matlab 阶跃仿真图

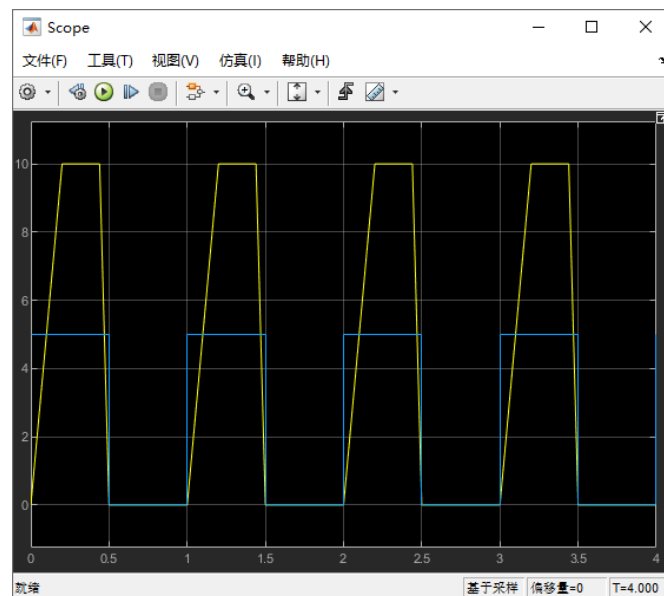


图 2-4  $R_0=100K$ 、 $C_1=1\mu$  的 Matlab 阶跃仿真图

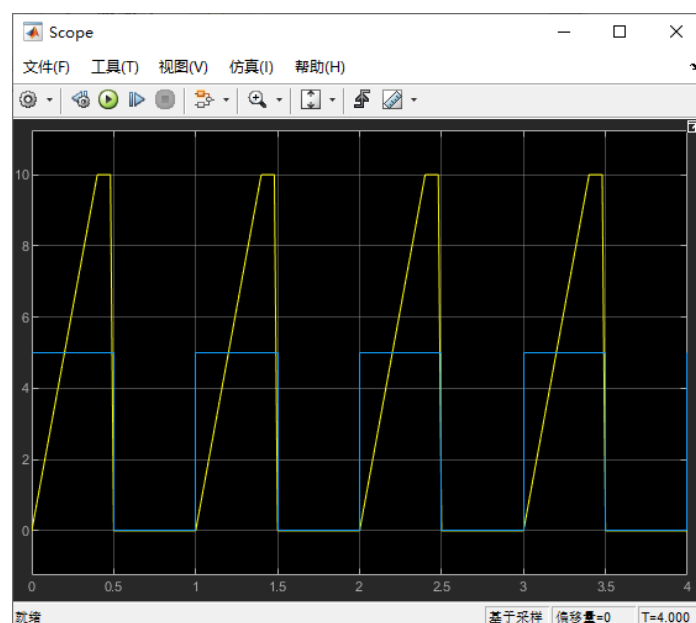


图 2-5 R0=200K、C1=1u 的 Matlab 阶跃仿真图

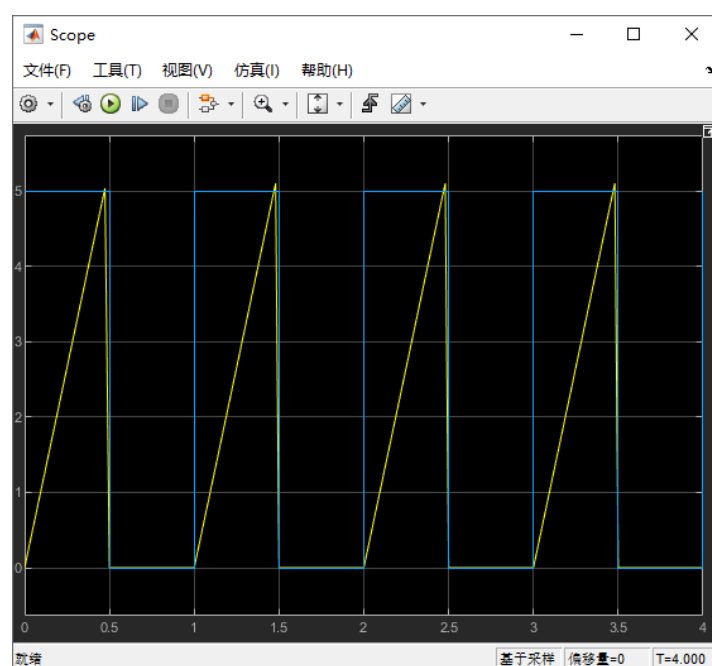


图 2-6 R0=100K、C1=4.7u 的 Matlab 阶跃仿真图

## 数据分析与思考

积分环节的传递函数为： $\frac{U_o(s)}{U_i(s)} = \frac{1}{Ts}$ ， $T = R_0 C$ 。当  $R_0$  或  $C_1$  变大时， $T$  变大，电容充电速度变慢，输出波形上升阶段变得平坦。

$R_0=100K$ 、 $C_1=1u$  和  $R_0=200K$ 、 $C_1=1u$  这两种情况，在方波的下降沿到达前

提前到达电压最大值 10V，使得输出波形有一段 10V 的平坦线段。

R0=100K、C1=4.7u 这种情况，在方波的下降沿到达前未能到达电压最大值 10V，因此输出电压最大值只有 5V 左右。

### 实验思考

调节幅值（从小到大），输出波形在方波的下降沿到达前更快到达电压最大值 10V，使得输出波形的 10V 的平坦线段变长。

调节占空比（从小到大），R0=100K、C1=1u 和 R0=200K、C1=1u 这两种情况，输出波形的 10V 的平坦线段变长；R0=100K、C1=4.7u 这种情况，输出波形的上升阶段更长，逐渐能在方波的下降沿到达前提前到达电压最大值 10V，并出现 10V 的平坦线段。

变化的原因为：如果增加输入波形的幅值，那么积分环节将会以更快的速度积累这个更大的信号值；对于一个方波而言，改变其占空比意味着改变了信号为正（或负）状态相对于整个周期所占的时间比例，当占空比增加时，那么在一个给定时间内，正值作用于积分器上的时间增加了，从而使得输出上升趋势加强。

### 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

|              |  |                                 |                                   |
|--------------|--|---------------------------------|-----------------------------------|
|              | U9 单元输入端的可调电阻<br>R0=100K, C1=1u                                      | U9 单元输入端的可调电阻<br>R0=200K, C1=1u | U9 单元输入端的可调电阻<br>R0=200K, C1=4.7u |
| 比例积分传递函数     | $\frac{U_o}{U_i} = K + \frac{1}{Ts}, K = \frac{R_1}{R_0}, T = R_0 C$ |                                 |                                   |
| 比例 K, 积分 T 值 | $K = 2, T = 0.1s$  | $K = 1, T = 0.2s$               | $K = 1, T = 0.94s$                |



阶跃响应图



图 3-1  $R_0=100K$ 、 $C_1=1\mu$  的比例积分环节阶跃响应图

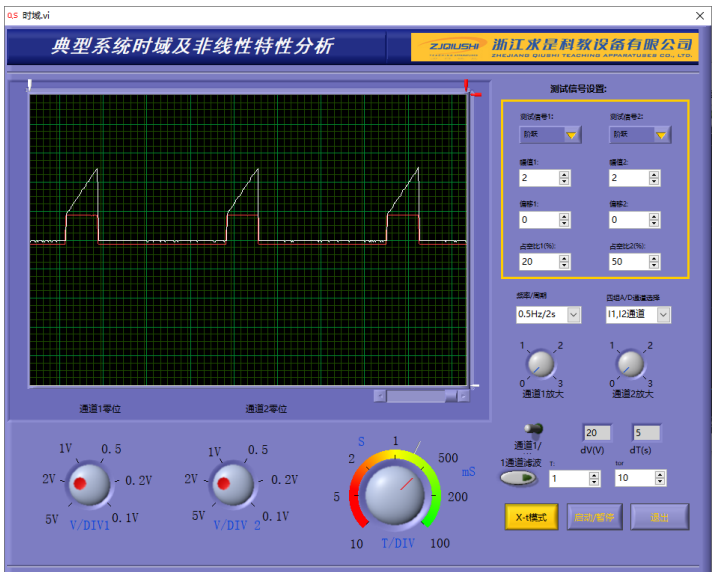


图 3-2  $R_0=200K$ 、 $C_1=1\mu$  的比例积分环节阶跃响应图

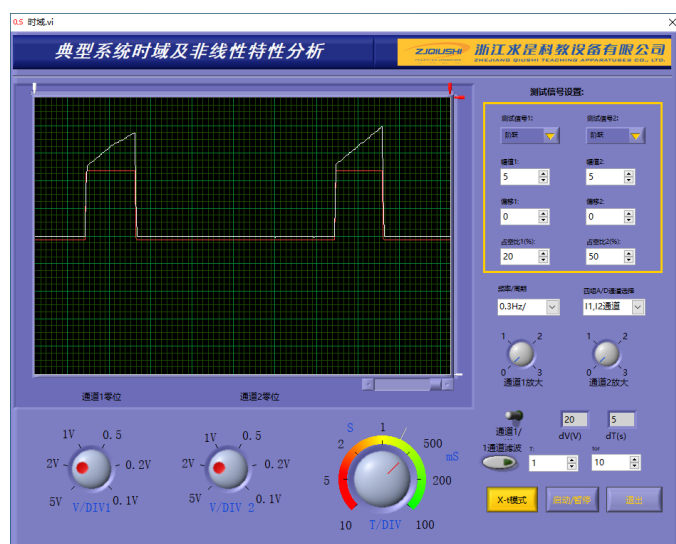


图 3-3  $R_0=200K$ 、 $C_1=4.7\mu$  的比例积分环节阶跃响应图

Matlab 阶跃仿真图

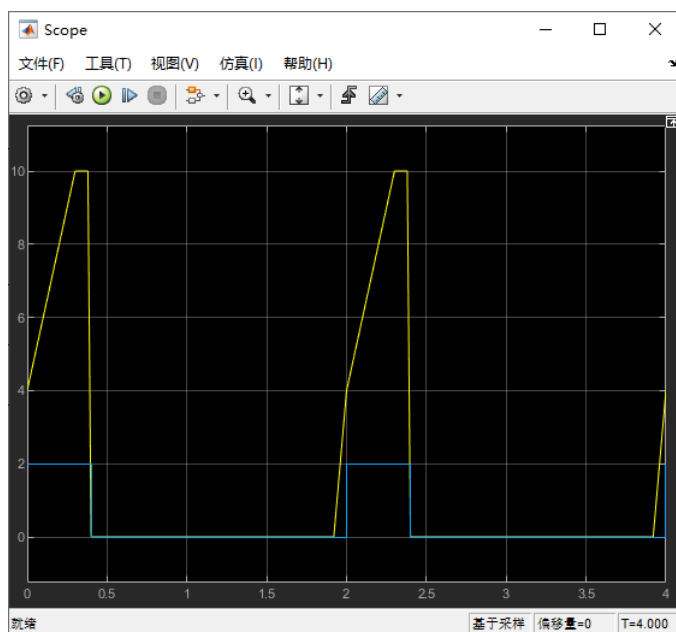


图 3-4  $R_0=100K$ 、 $C_1=1\mu$  的比例积分环节 Matlab 阶跃仿真图

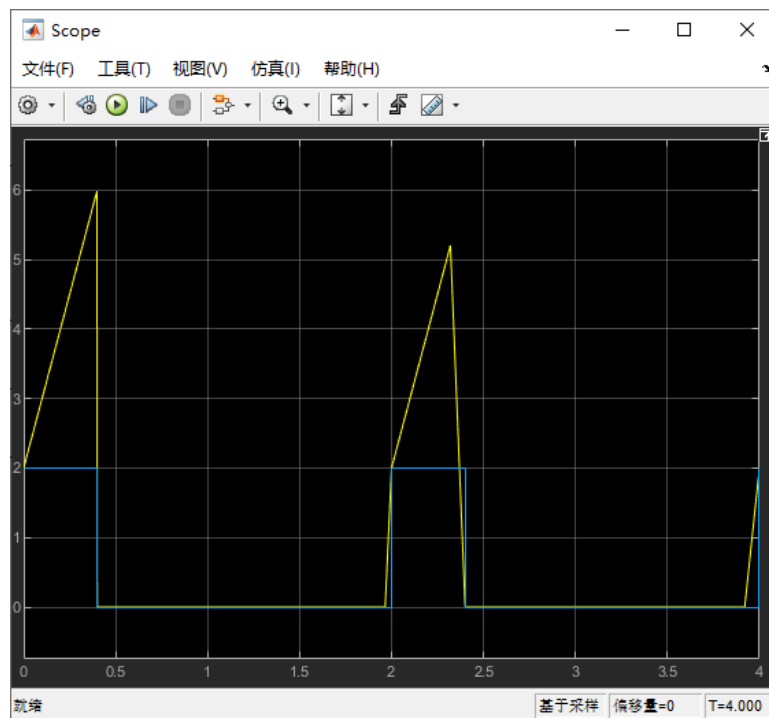


图 3-5  $R_0=200K$ 、 $C_1=1u$  的比例积分环节 Matlab 阶跃仿真图

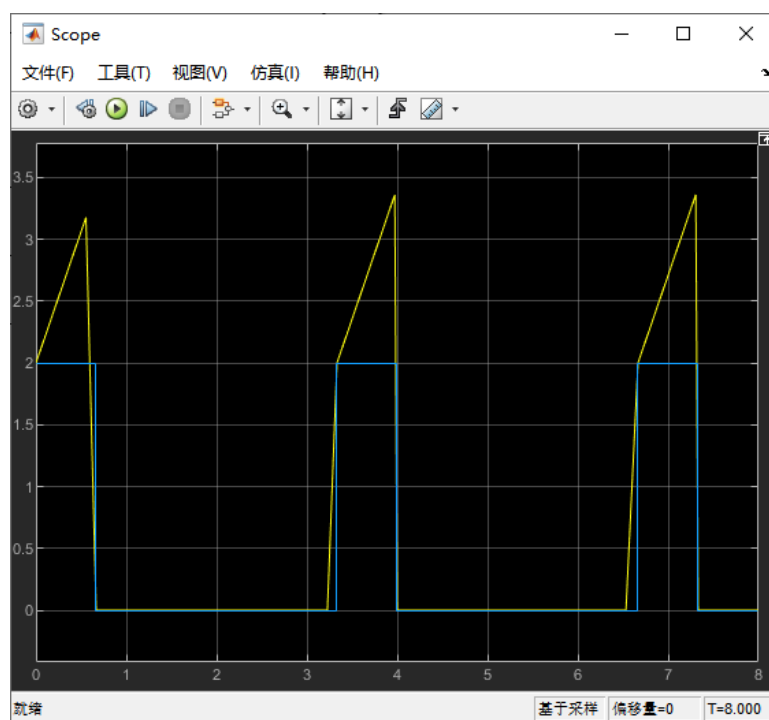


图 3-6  $R_0=200K$ 、 $C_1=4.7u$  的比例积分环节 Matlab 阶跃仿真图

数据分析

比例积分环节的传递函数为： $\frac{U_o}{U_i} = K + \frac{1}{Ts}$ ,  $K = \frac{R_1}{R_0}$ ,  $T = R_0C$ 。

K 值影响的是系统放大倍数，K 值越大，输出波形的第一个上升阶段斜率越大，波形越陡峭。

T 值影响的是输出波形的第二个上升阶段，T 值越大，斜率越小，波形越平坦。

实验思考

调节幅值（从小到大），输出波形第一个上升阶段的最终值越大。

调节占空比（从小到大），R0=100K、C1=1u 这种情况，输出波形的 10V 的平坦线段变长；和 R0=200K、C1=1u 和 R0=200K、C1=4.7u 这两种情况，输出波形的上升阶段更长，逐渐能在方波的下降沿到达前提前到达电压最大值 10V，并出现 10V 的平坦线段。

变化的原因为：输出波形的第一个上升阶段为比例环节，如果增加输入波形的幅值，那么比例环节的最大值将会随幅值增大。输出波形的第二个上升阶段为积分环节，如果增加输入波形的幅值，那么积分环节将会以更快的速度积累这个更大的信号值；对于一个方波而言，改变其占空比意味着改变了信号为正（或负）状态相对于整个周期所占的时间比例，当占空比增加时，那么在一个给定时间内，正值作用于积分器上的时间增加了，从而使得输出上升趋势加强。

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

|              |   |                                    |                                      |
|--------------|---|------------------------------------|--------------------------------------|
|              | U9 单元输入端的<br>可调电阻<br>R0=10K, C1=1u  | U9 单元输入端<br>的可调电阻<br>R0=20K, C1=1u | U9 单元输入端的<br>可调电阻<br>R0=10K, C1=4.7u |
| 比例微分传递函数     | $\frac{U_o}{U_i} = K(1 + Ds)$ , $K = \frac{R_1+R_2}{R_0}$ , $D = \frac{R_1R_2}{R_1+R_2}C$ |                                    |                                      |
| 比例 K, 积分 T 值 | $K = 2$<br>$T = 0.005s$   | $K = 1$<br>$T = 0.005s$            | $K = 2$<br>$T = 0.0235s$             |

阶跃响应图

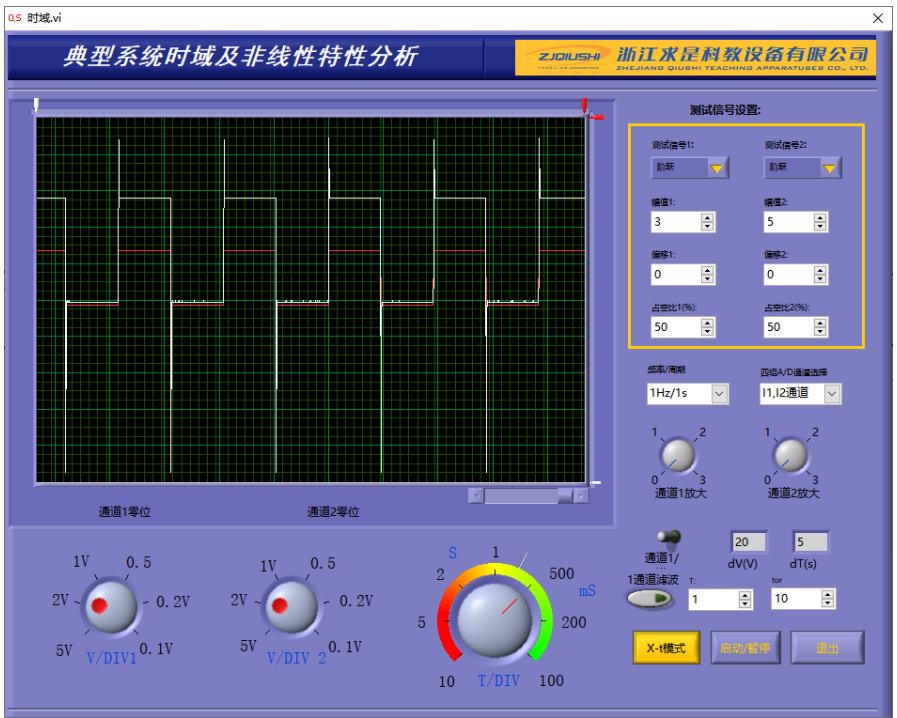


图 4-1  $R_0=10K$ 、 $C_1=1\mu$  的比例微分环节阶跃响应图

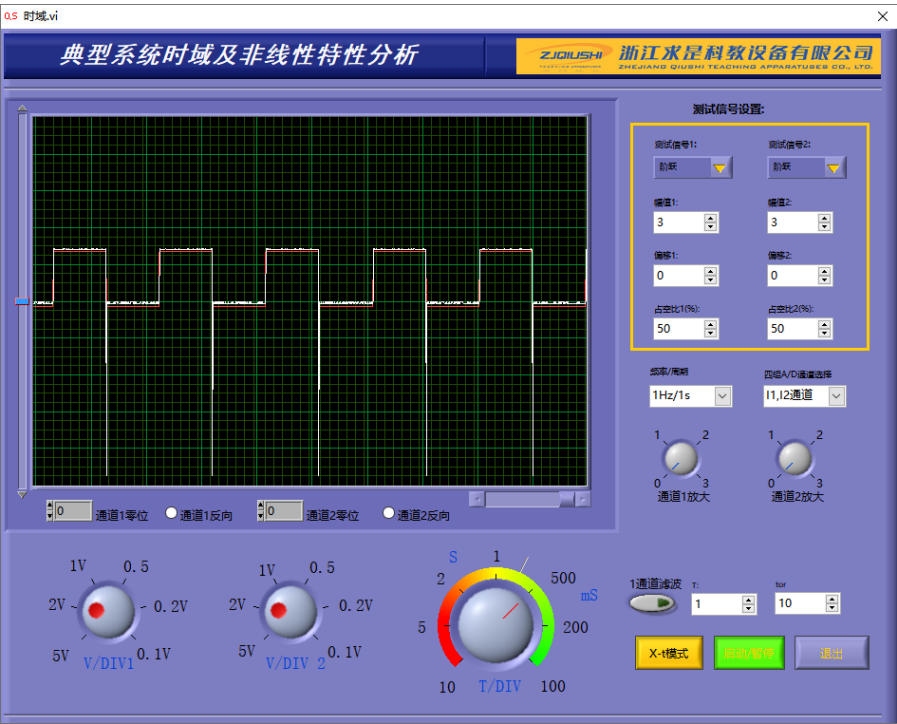


图 4-2  $R_0=20K$ 、 $C_1=1\mu$  的比例微分环节阶跃响应图

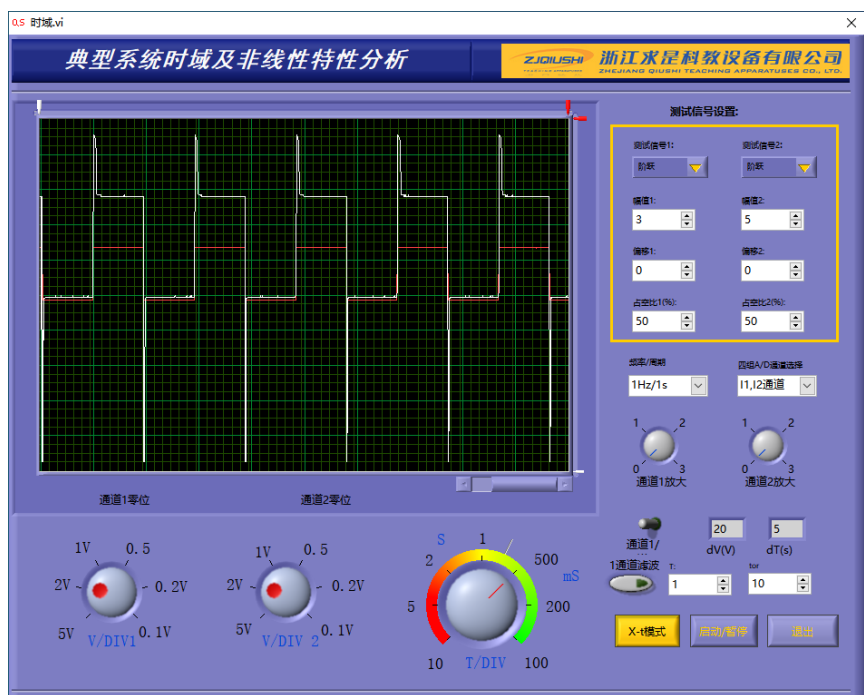


图 4-3  $R_0=10K$ 、 $C_1=4.7\mu$  的比例微分环节阶跃响应图

Matlab 阶跃仿真图

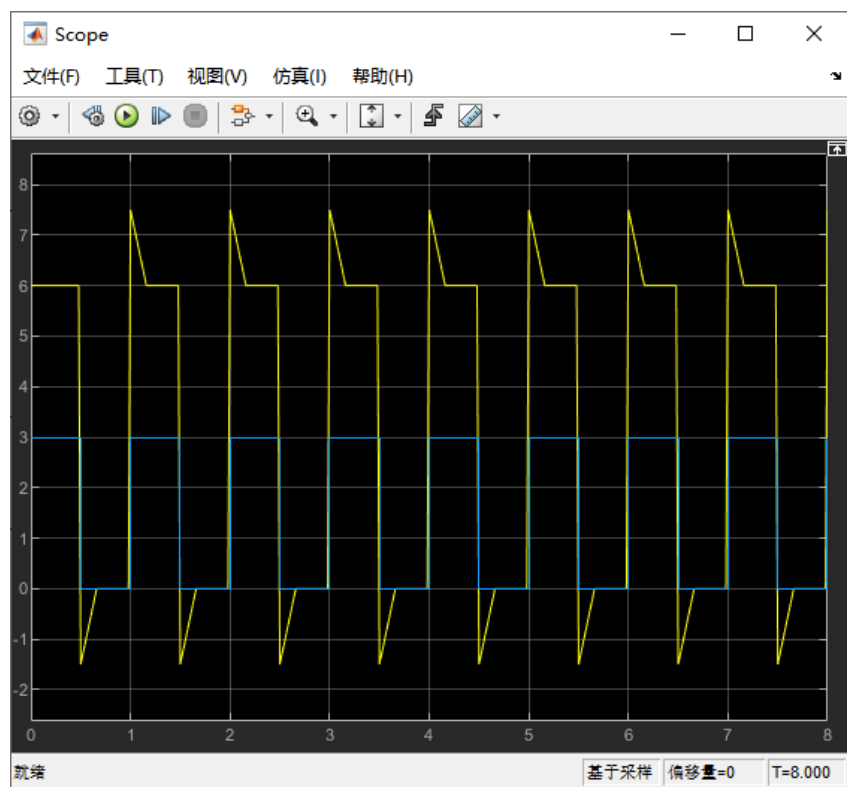


图 4-4  $R_0=10K$ 、 $C_1=1\mu$  的比例微分环节 Matlab 阶跃仿真图

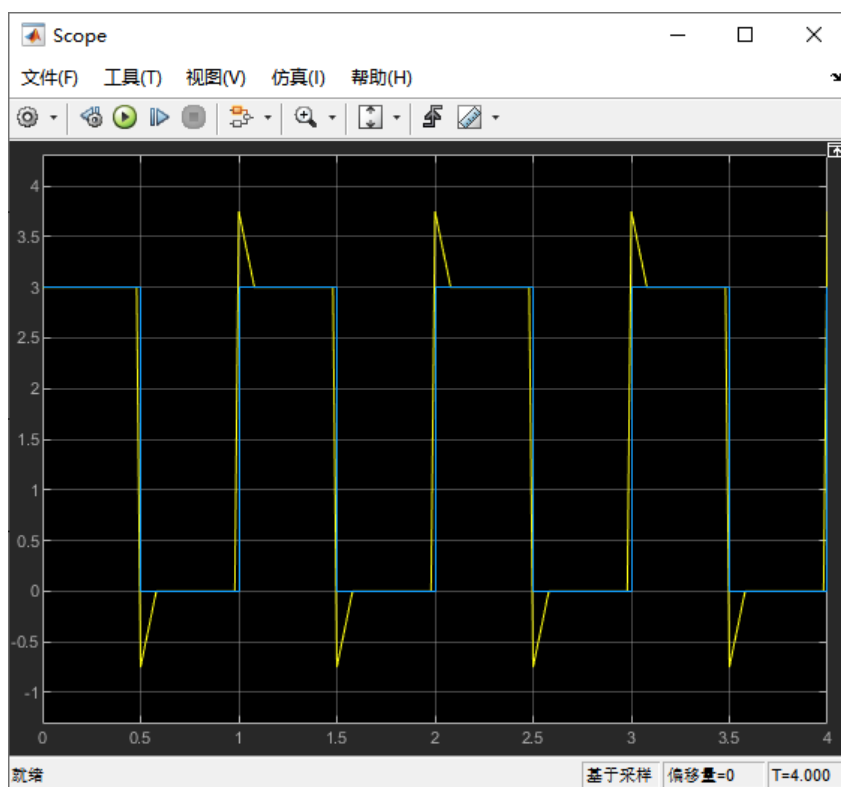


图 4-5  $R_0=20K$ 、 $C_1=1\mu$  的比例微分环节 Matlab 阶跃仿真图

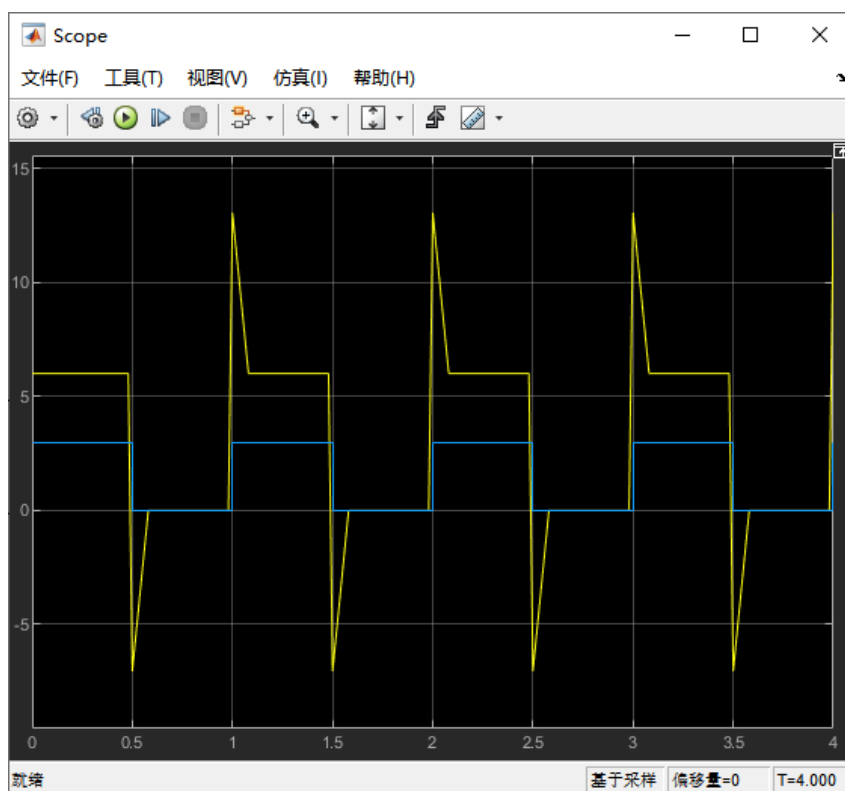


图 4-6  $R_0=10K$ 、 $C_1=4.7\mu$  的比例微分环节 Matlab 阶跃仿真图

数据分析

比例微分环节的传递函数为： $\frac{U_o}{U_i} = K(1 + Ds)$ ,  $K = \frac{R_1+R_2}{R_0}$ ,  $D = \frac{R_1R_2}{R_1+R_2}C$ 。

K 值影响的是系统的放大倍数，K 值越大，中间平坦阶段幅值越大。

D 值影响的是系统对输入电压变化率的反应，D 值越大，系统会对电压的变化更加敏感，两个尖峰波形越陡峭。

实验思考

调节幅值（从小到大），输出信号的整体幅度会增大，微分引起的尖峰会更加突出。

调节占空比（从小到大），输出信号的整体趋势会上升，在每个周期内，由于信号跳变时机改变，微分项会在特定时刻产生更为明显的尖峰。输出波形的中间平坦阶段占比变大。

变化的原因为：比例增益 K 直接放大输入信号。如果输入信号的幅值增加，那么输出信号也会成比例地增加。这是因为比例部分是线性的，它直接将输入信号乘以一个常数 K；微分部分对输入信号的变化率敏感。如果输入信号的幅值突然增加，那么其变化率（即导数）也会相应增加。例如，如果输入信号从 0 突变为 A，那么微分项会在这一时刻产生一个尖峰，尖峰的高度与  $\frac{A}{\Delta t}$  成正比，其中  $\Delta t$  是变化发生的时间间隔。因此，更大的幅值变化会带来更显著的微分响应；如果占空比增加，那么在一个周期内信号从高电平跳变到低电平的时间点发生了变化。这种变化会影响信号的变化率，进而影响微分项的输出。

5. 惯性环节的传递函数、方块图、模拟电路和阶跃响应

|              |   |                                 |                                   |
|--------------|---|---------------------------------|-----------------------------------|
|              | U9 单元输入端的可调电阻<br>R0=100K, C1=1u   | U9 单元输入端的可调电阻<br>R0=200K, C1=1u | U9 单元输入端的可调电阻<br>R0=100K, C1=4.7u |
| 比例积分传递函数     | $\frac{U_o}{U_i} = \frac{K}{Ts+1}$ , $K = \frac{R_1}{R_0}$ , $T = R_1C$ |                                 |                                   |
| 比例 K, 积分 T 值 | $K = 2, T = 0.2s$   | $K = 1, T = 0.2s$               | $K = 2, T = 0.94s$                |



阶跃响应图

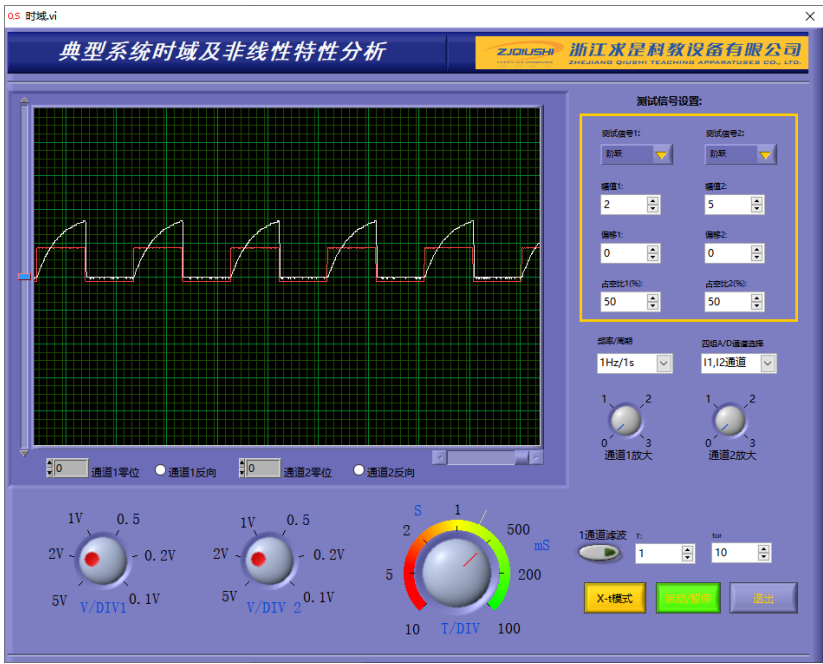


图 5-1  $R_0=100K$ 、 $C_1=1\mu$  的惯性环节阶跃响应图



图 5-2  $R_0=200K$ 、 $C_1=1\mu$  的惯性环节阶跃响应图



图 5-3  $R_0=100K$ 、 $C_1=4.7\mu$  的惯性环节阶跃响应图

Matlab 阶跃仿真图

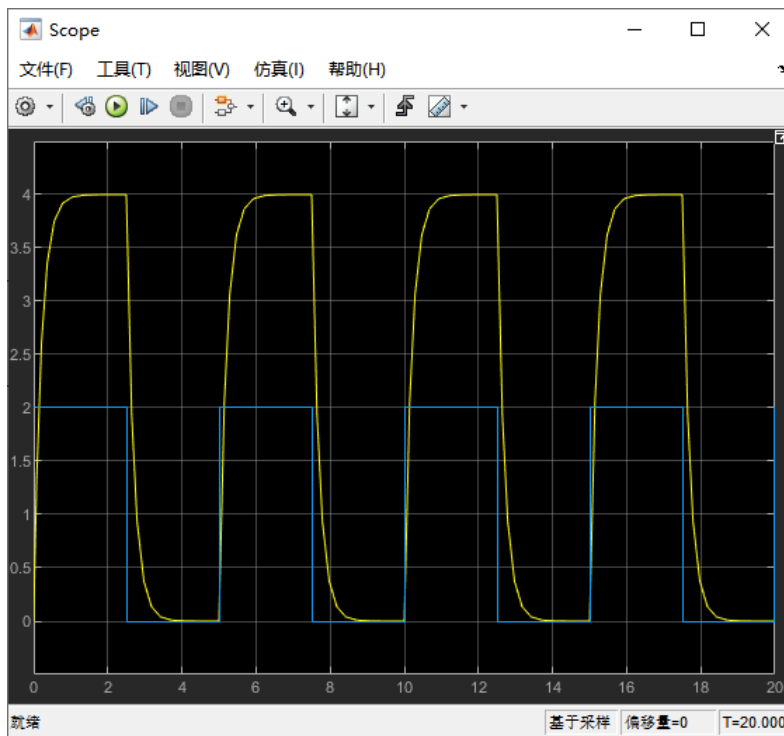


图 5-4  $R_0=100K$ 、 $C_1=1\mu$  的惯性环节 Matlab 阶跃仿真图

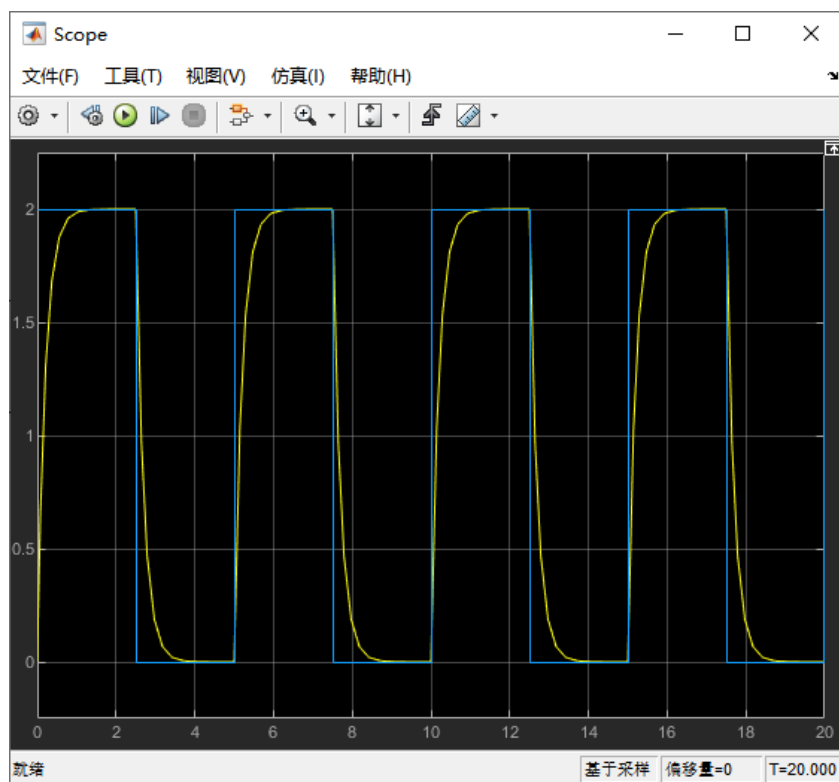


图 5-5  $R_0=200K$ 、 $C_1=1\mu$  的惯性环节 Matlab 阶跃仿真图

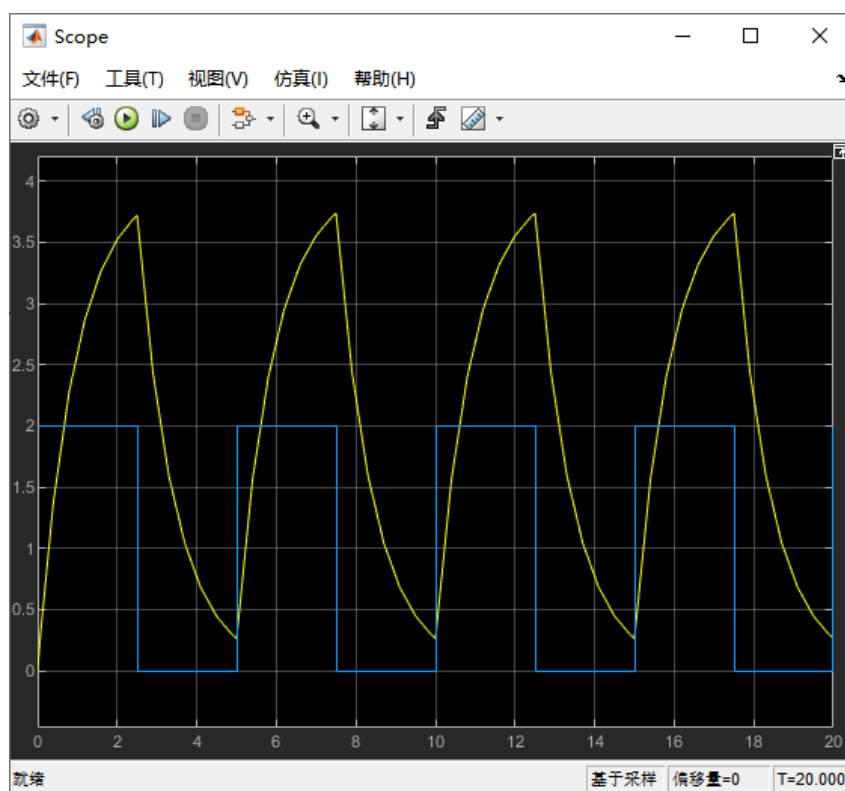


图 5-6  $R_0=100K$ 、 $C_1=4.7\mu$  的惯性环节 Matlab 阶跃仿真图

## 数据分析

惯性环节的传递函数为： $\frac{U_o}{U_i} = \frac{K}{Ts+1}$ ,  $K = \frac{R_1}{R_0}$ ,  $T = R_1C$ 。

K 值影响的是系统的放大倍数，即影响输出波形的稳态幅值。

T 值影响的是：输出波形的动态响应特性，即控制了系统的响应速度和过渡过程的形状，包括上升时间、调节时间和输出波形的平滑程度。

## 实验思考

调节幅值（从小到大），幅值增大，输出波形的整体幅度会按比例增加。上升时间和调节时间保持不变，因为这些是时间常数 T 的特性。

调节占空比（从小到大），如果 T 较大，输出波形会在每个周期内逐渐上升到更高的平均值，然后缓慢下降。如果 T 较小，输出波形会更快速地跟随输入信号的变化，但仍然会有一个较平滑的过渡过程。

变化的原因为：当输入信号的幅值增大时，输出信号的稳态值也会相应地成比例增大。这是因为 K 直接放大了输入信号的幅度；如果占空比增加，时间常数 T 控制着输出信号如何跟随输入信号的变化，较大的 T 会使输出信号的变化更加平滑，而较小的 T 会使输出信号更快地跟随输入信号的变化。

## 四、实验思考

具体实验过程的实验分析与思考已在第三部分写出，以下是我的个人实验心得。通过本实验我更加直观地了解到了自动控制理论的应用和方法，熟悉了各种典型环节的传递函数及其特性，掌握了电路模拟和软件仿真研究方法，同时也加强了对课本知识的了解。此外，我的实践动手能力也得到了加强。