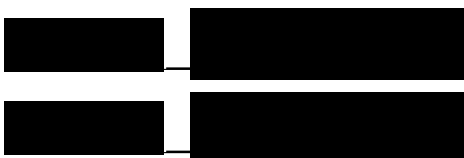


自动控制原理实验报告

实验一 控制系统的电子模拟实验



一、实验目的

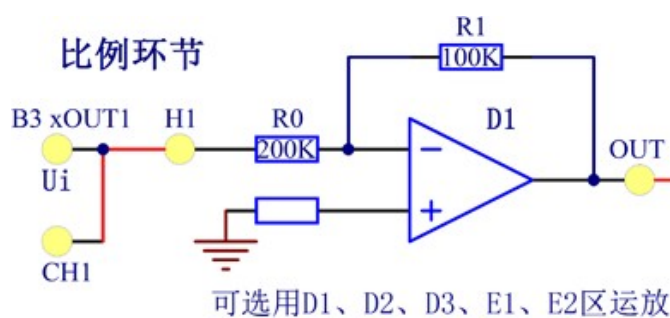
1. 熟悉教学模拟机的工作原理及组成，掌握示波器的使用方法；
2. 掌握典型环节模拟电路的构成方法；
3. 观察和记录典型环节的阶跃响应，分析其动态性能；
4. 了解参数变化对典型环节动态性能的影响，并学会由阶跃响应曲线计算典型环节的传递函数。

二、实验仪器及设备

1. STAR ACT 教学模拟机
2. 数字示波器

三、实验内容

(1) 比例环节



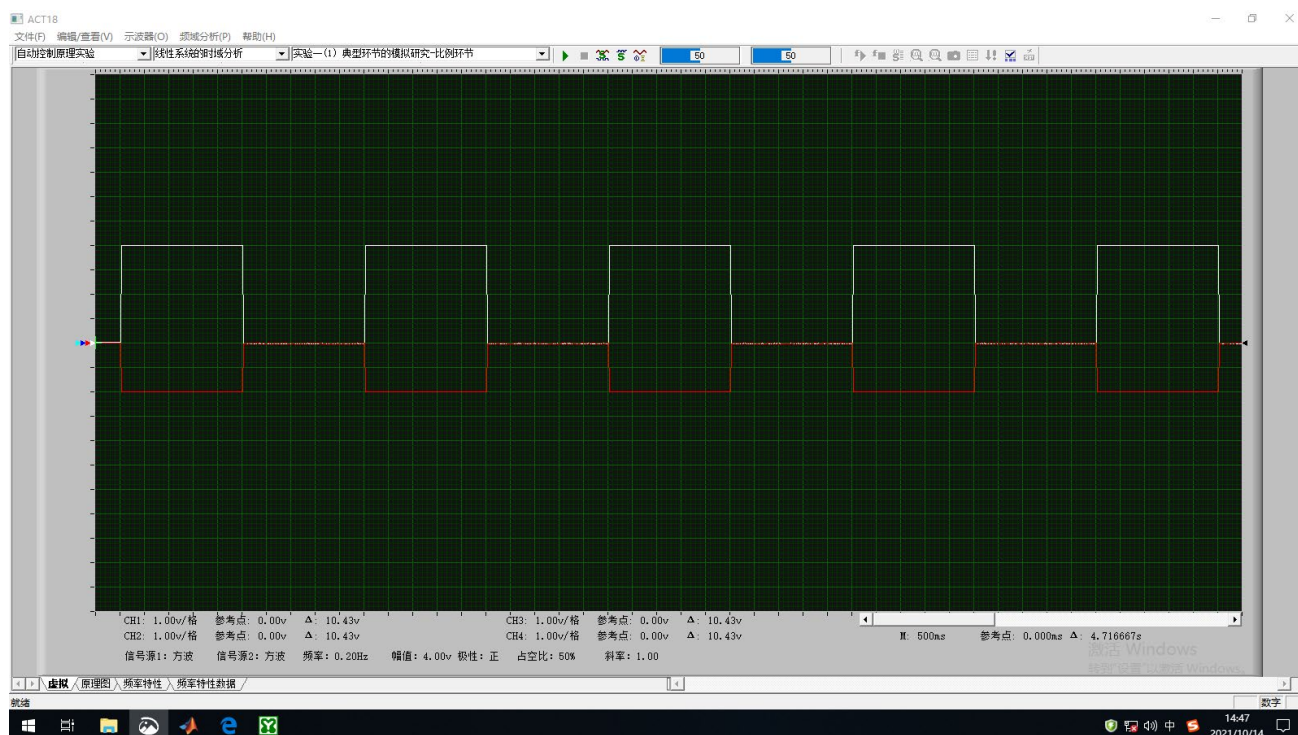
传递函数：

$$c(t) = -\frac{R_1}{R_0} r(t)$$

$$C(s) = -\frac{R_1}{R_0} R(s)$$

$$G(s) = K = -\frac{R_1}{R_0}$$

阶跃响应曲线:



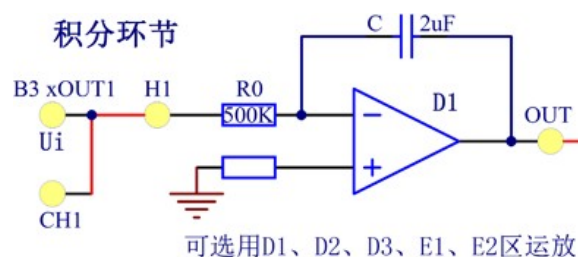
参数影响分析:

通过修改电路中 R_1 与 R_0 的比值, 可以修改电路的放大倍数。

实验结果解释:

观察实验结果图可以看出, 实验结果与理论预测结果较为符合; 但需要将放大倍数控制在放大器能提供的范围内, 因为放大器的正负电压不够, 如果将放大倍数不断增加, 最终的输出结果将无法跟随输入信号。

(2) 积分环节



传递函数：

由电路知识：

$$i(t) = \frac{r(t)}{R_0}$$

$$-i(t) = C_0 \frac{dc(t)}{dt}$$

变换到 s 域

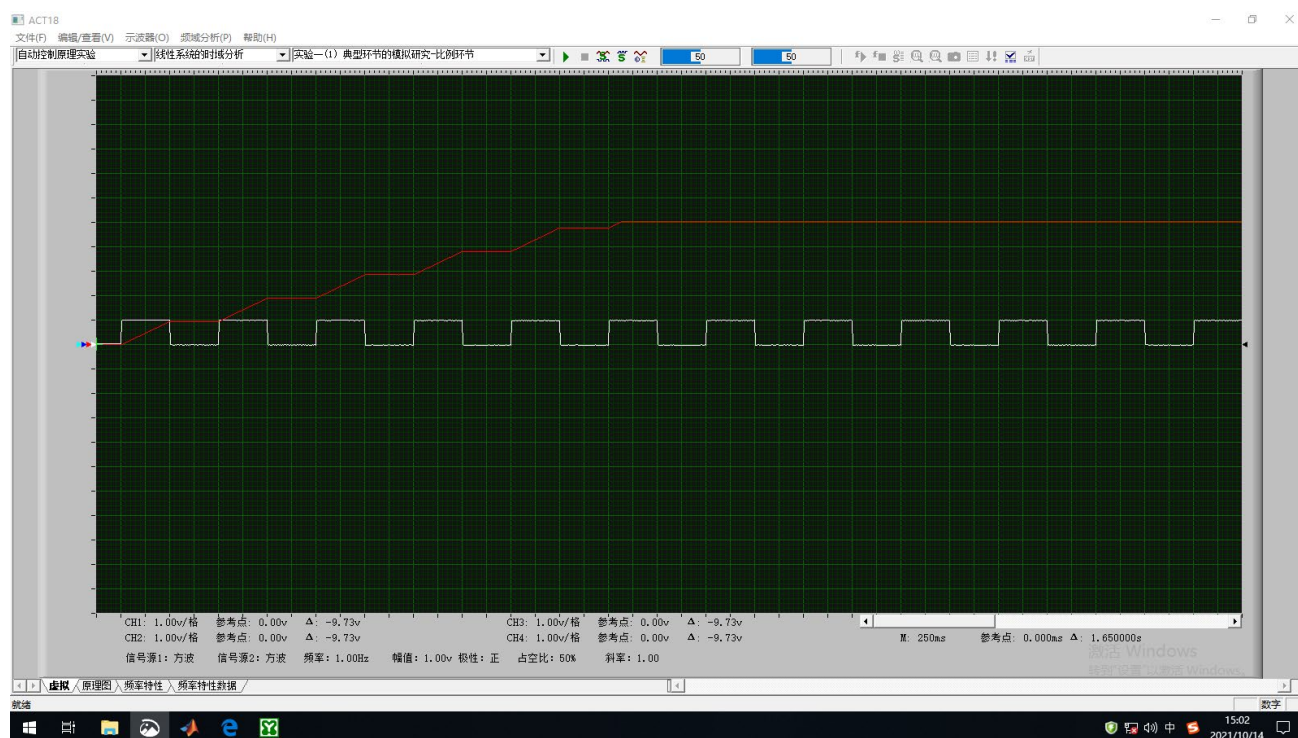
$$I(s) = \frac{R(s)}{R(0)}$$

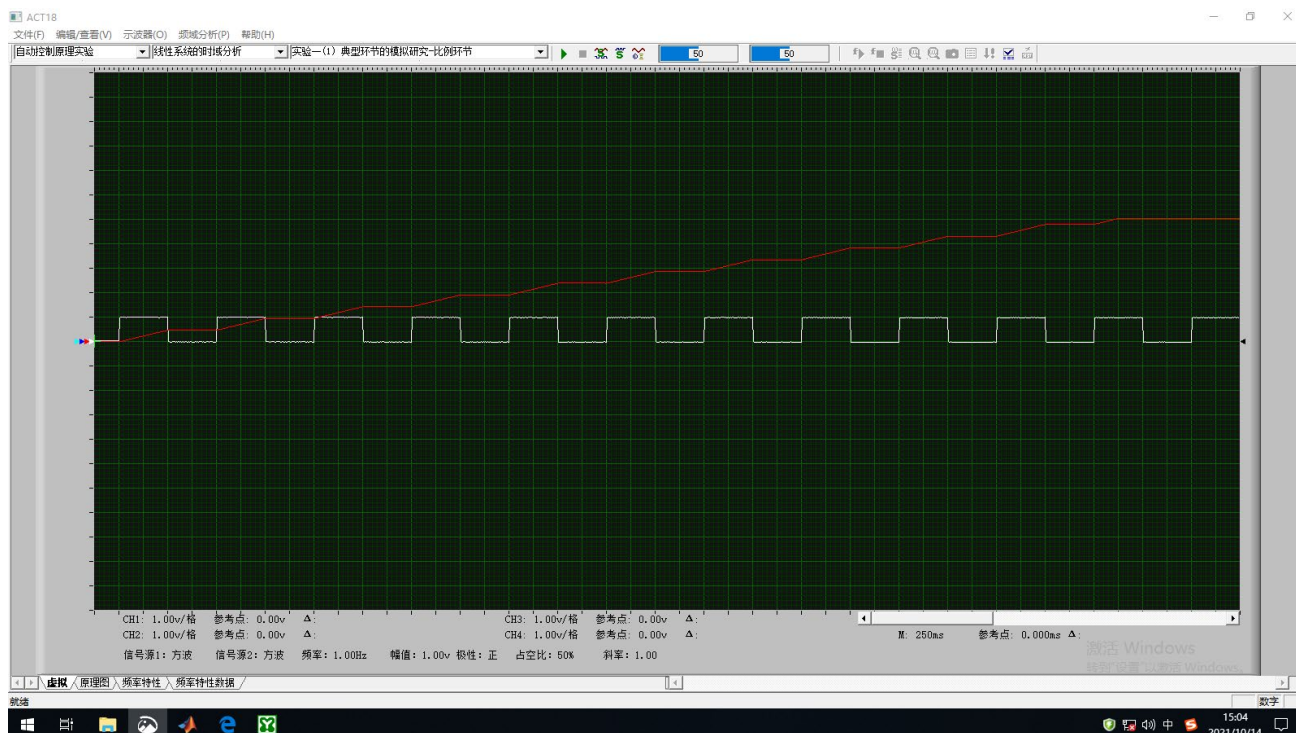
$$-I(s) = C_0 s C(s)$$

$$H(s) = \frac{C(s)}{R(s)} = -\frac{1}{R_0 C_0 s}$$

阶跃响应曲线：

要求：分别改变电容值为 $1\mu F$ 、 $2\mu F$ ，并记录输出响应。





参数变化对其输出响应的影响：

系统从零状态输入单位阶跃信号，经过一个积分环节后，有

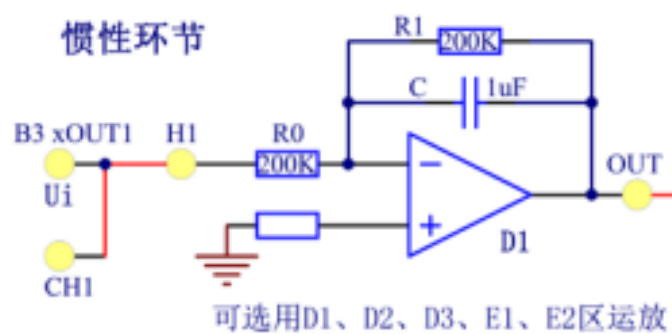
$$c(t) = -\frac{t}{R_0 C_0}$$

增大电容 C_0 ， R_0 都会影响积分环节的积分速度，从实验结果曲线中可以看出， $C = 1\mu F$ 时曲线斜率是 $C = 2\mu F$ 的两倍。

实验结果解释：

由理论可得输出电压能够无限线性增大，但从图中看出，当电压绝对值升高到一定程度后，将维持稳定。这是因为放大器的最大电压值是有限的，由放大器的正负电源电压大小所决定，因此当输出电压升高到放大器所能支持的最大电压后，将维持稳定。

(3) 惯性环节



传递函数：

由电路知识可知

$$i(t) = \frac{r(t)}{R_0}$$

$$C_0 \frac{dc(t)}{dt} + \frac{c(t)}{R_1} = -i(t)$$

*Laplace*变换至 s 域

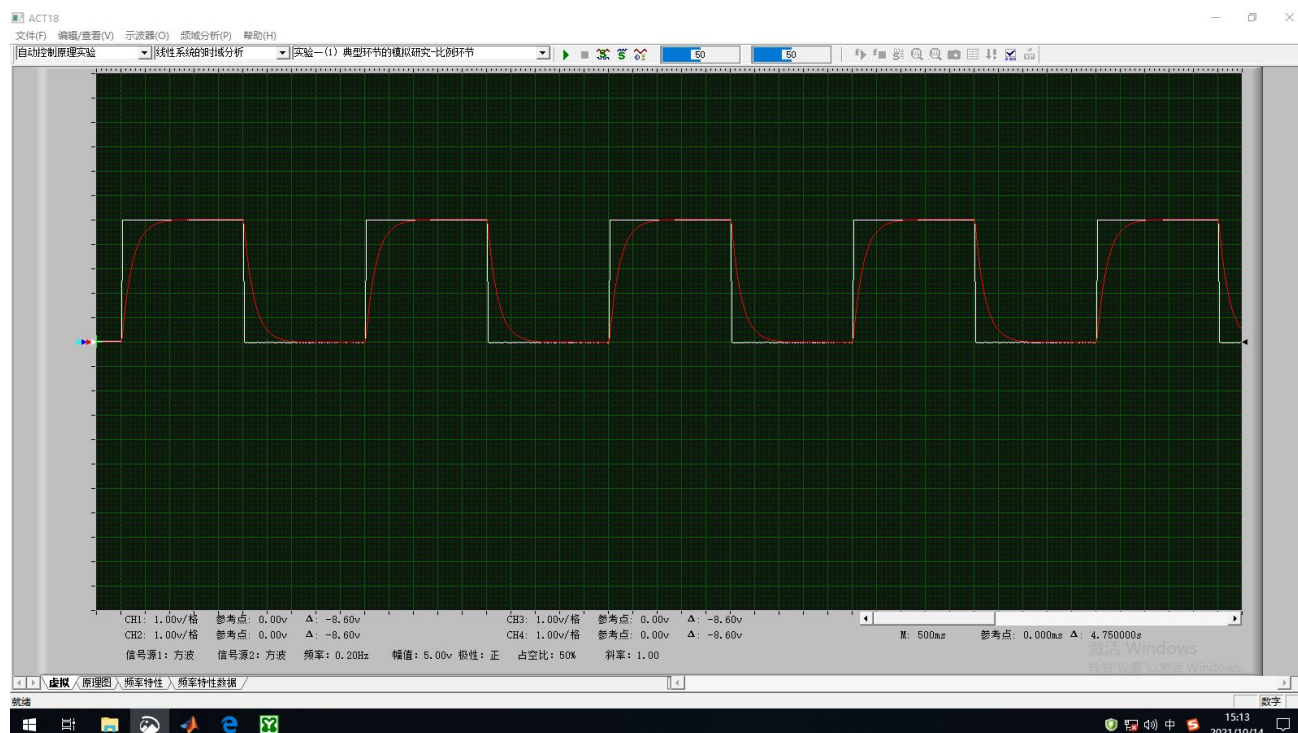
$$I(s) = \frac{R(s)}{R_0}$$

$$C_0 s C(s) + \frac{C(s)}{R_1} = -I(s)$$

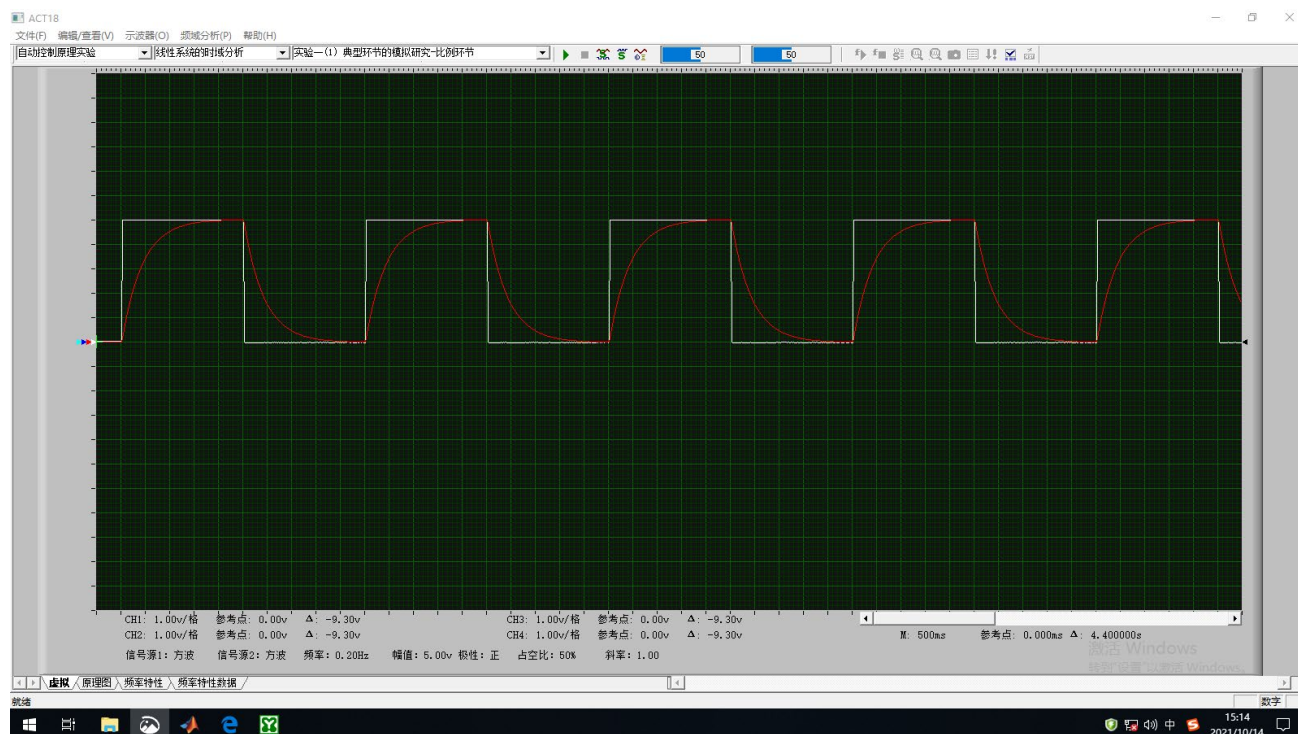
得传递函数

$$H(s) = \frac{C(s)}{R(s)} = \frac{1}{R_0 C_0} \frac{-1}{s + \frac{1}{C_0 R_1}}$$

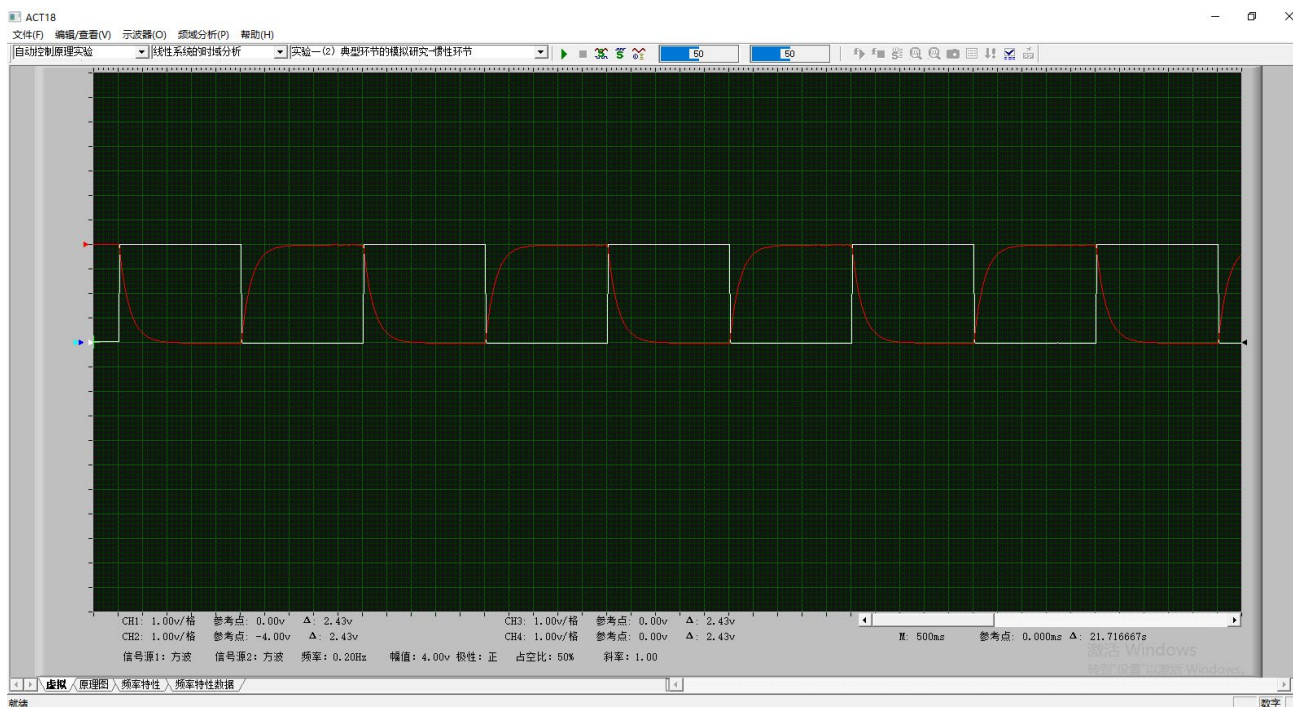
实验结果:



$1\mu F, 200K$



$2\mu F, 200K$



$1\mu F, 100K$

实验结果表格：

	$C = 1\mu F$ $R = 100K$	$C = 1\mu F$ $R = 200K$	$C = 2\mu F$ $R = 200K$
时间常数理论值 /ms	100	200	400
时间常数实验值 /ms	112.47	208.69	423.71

参数影响分析：

系统从零状态输入单位阶跃信号，经过一个惯性环节后有：

$$c(t) = -\frac{1}{R_0 C_0} + \frac{1}{R_0 C_0} e^{-\frac{1}{C_0 R_1} t}$$

从理论上分析可知 R_0 和 C_0 将会影响输出信号的变化速率，以及 $t \rightarrow \infty$ 稳定时的稳态值。 R_1 和 C_0 的乘积将会影响稳定的时间常数，即稳定的快慢。

实验结果解释:

因为输入矩形波而非单位阶跃信号，电压升高一段时间，进入电压为零的部分后，会释放电容中的积累的电荷，从而使得电压减小。

误差原因：测量不准确，难以在模拟示波器上找到准确的数值测量点。

4. 比例微分环节

1. 电路图

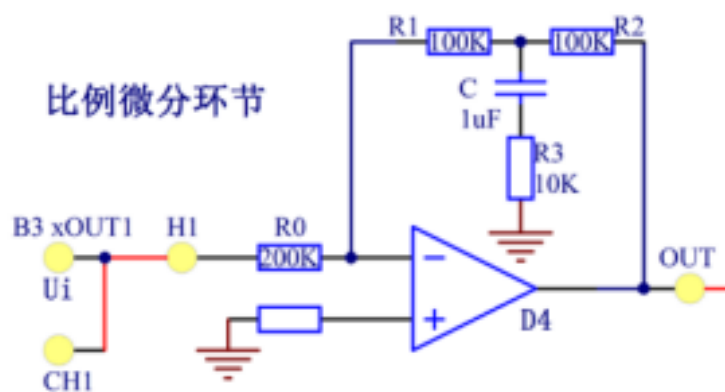


图 14 比例微分环节电路连接示意图

2. 实验结果

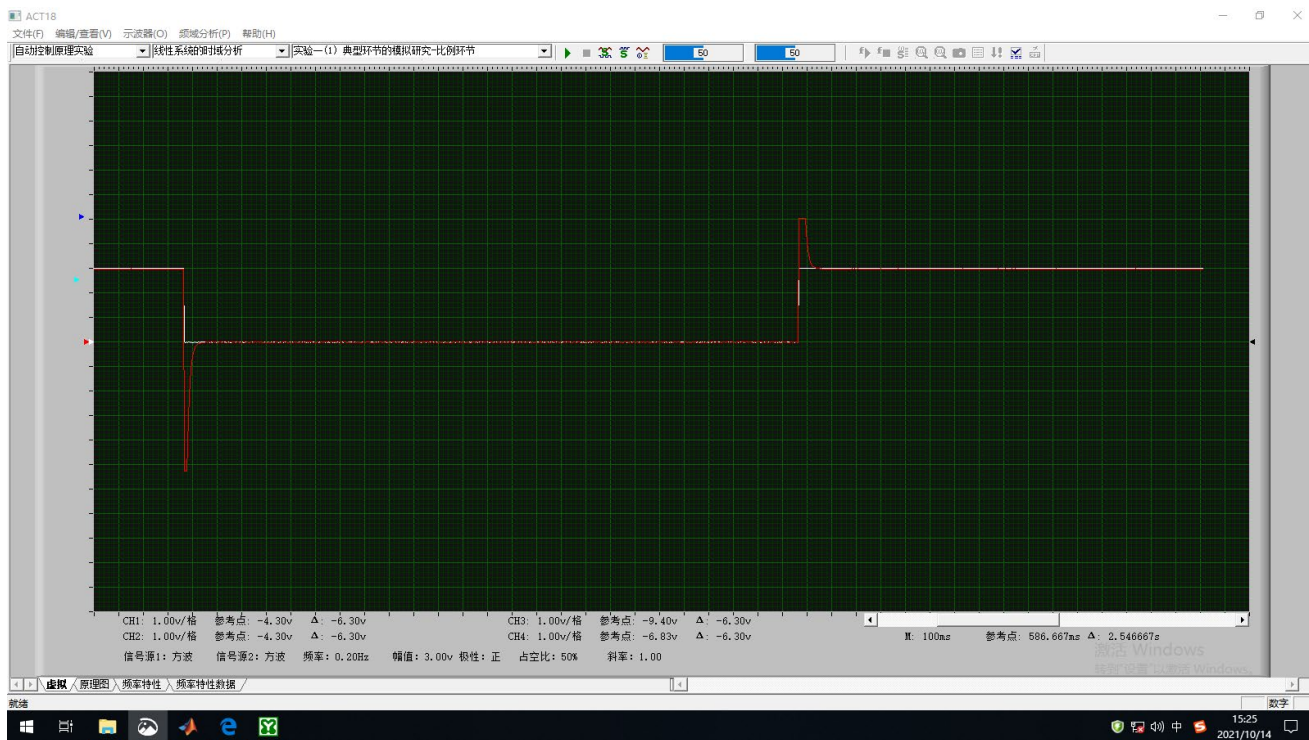


图 15 $R_0=200K$ 比例微分环节结果

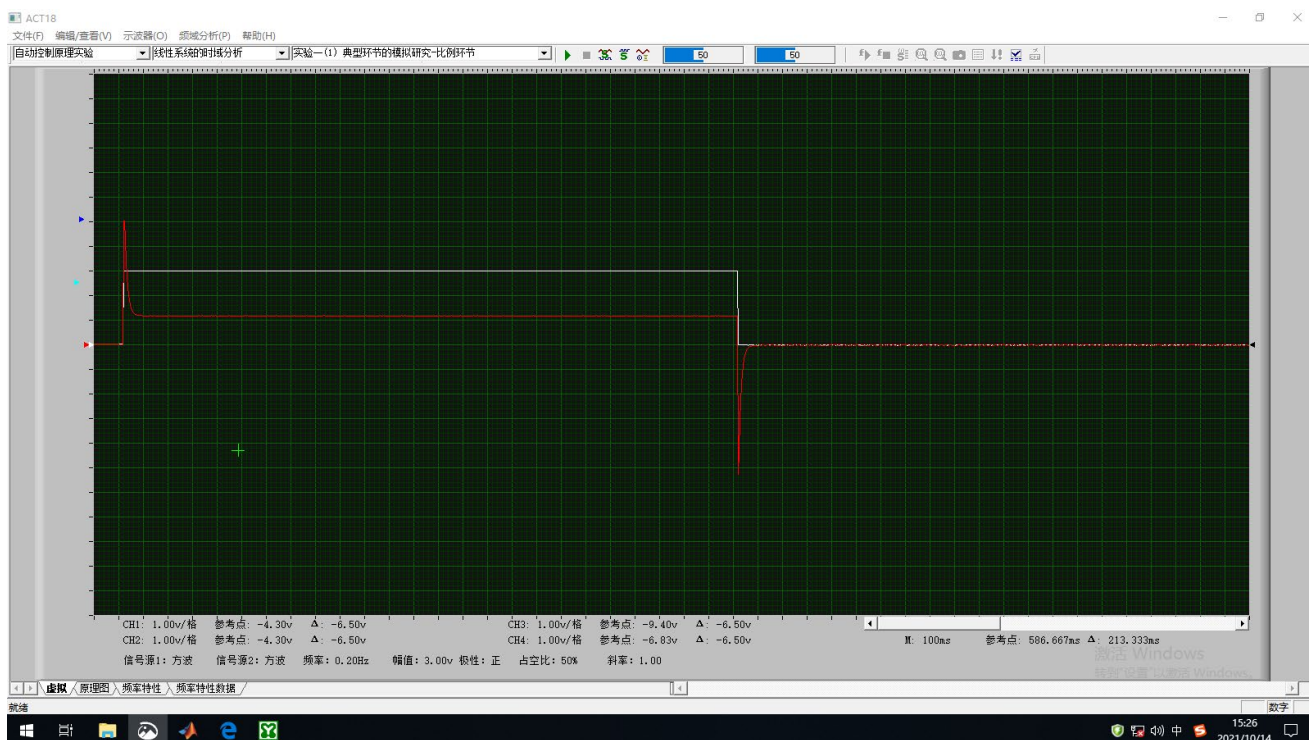


图 16 $R_0=500K$ 比例微分环节结果

3. 实验分析

3.1 传递函数计算：

由电路知识并将其变换到 s 域得到：

$$I(s) = \frac{R(s)}{R_0}$$

$$I_1(s) = C_0 s U(s)$$

$$U(s) = -I(s) R_1$$

$$C(s) = (I(s) - I_1(s)) R_2$$

整理得到传递函数：

$$H(s) = \frac{C(s)}{R(s)} = -\frac{R_2}{R_0} - \frac{C_0 R_1 R_2}{R_0} s$$

3.2 参数影响分析：

由上求出的传递函数可以知道其为比例环节与微分环节并联，由两个环节特性可知 $\frac{R_2}{R_0}$ 决定比例环节的

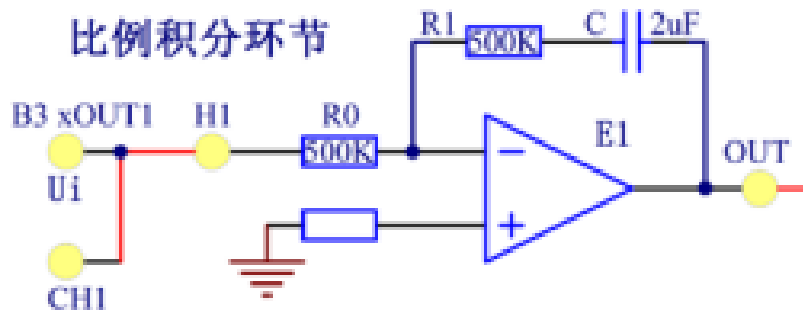
系数，其影响放大倍数。 $\frac{C R_1 R_2}{R_0}$ 为微分环节的比例常数，影响响应的结果。

3.3 实验结果解释：

从理论上分析，微分响应在阶跃变化点处是无穷大。但是实际却稍有出入，其原因在于，我们的矩形波信号并非直接理想的阶跃，其仍然存在变换时间，因此我们的响应不是无穷大。

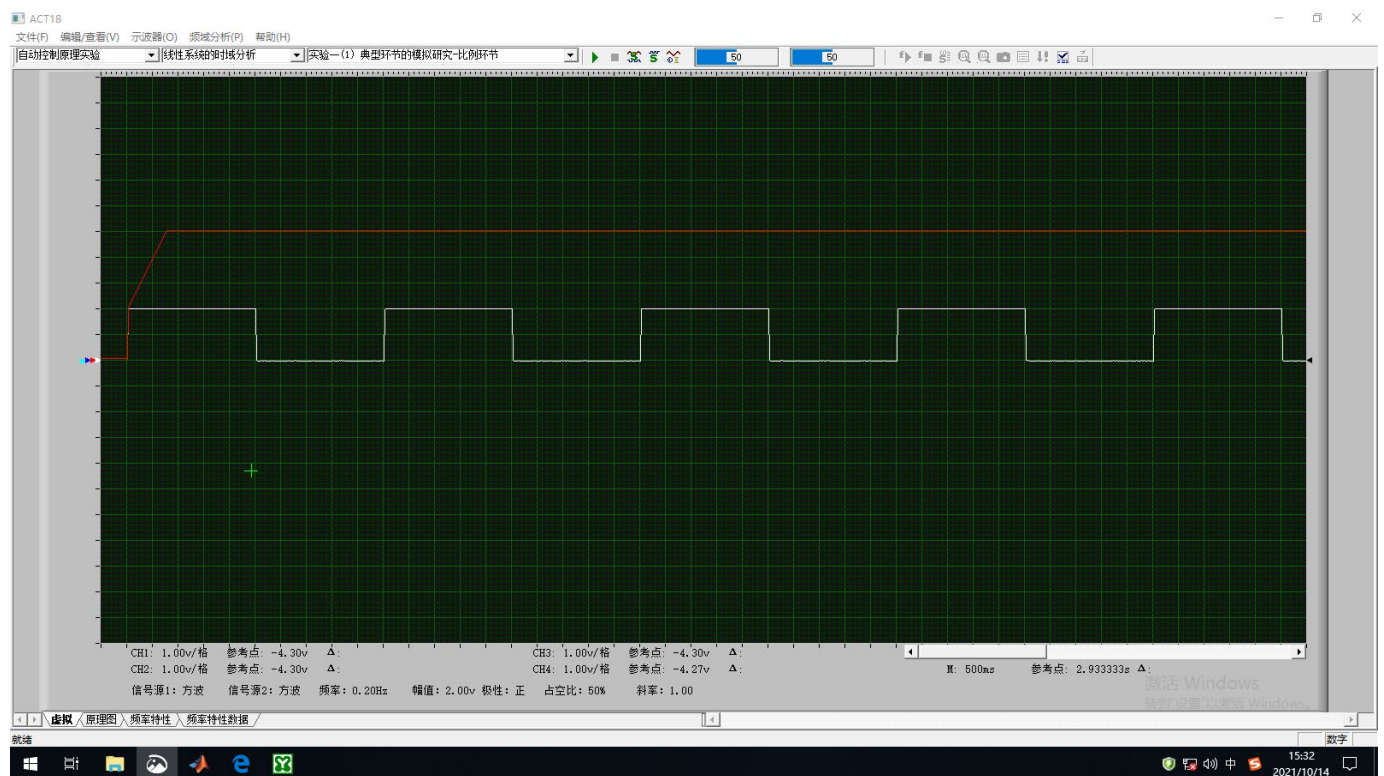
5. 比例积分环节

1. 电路图

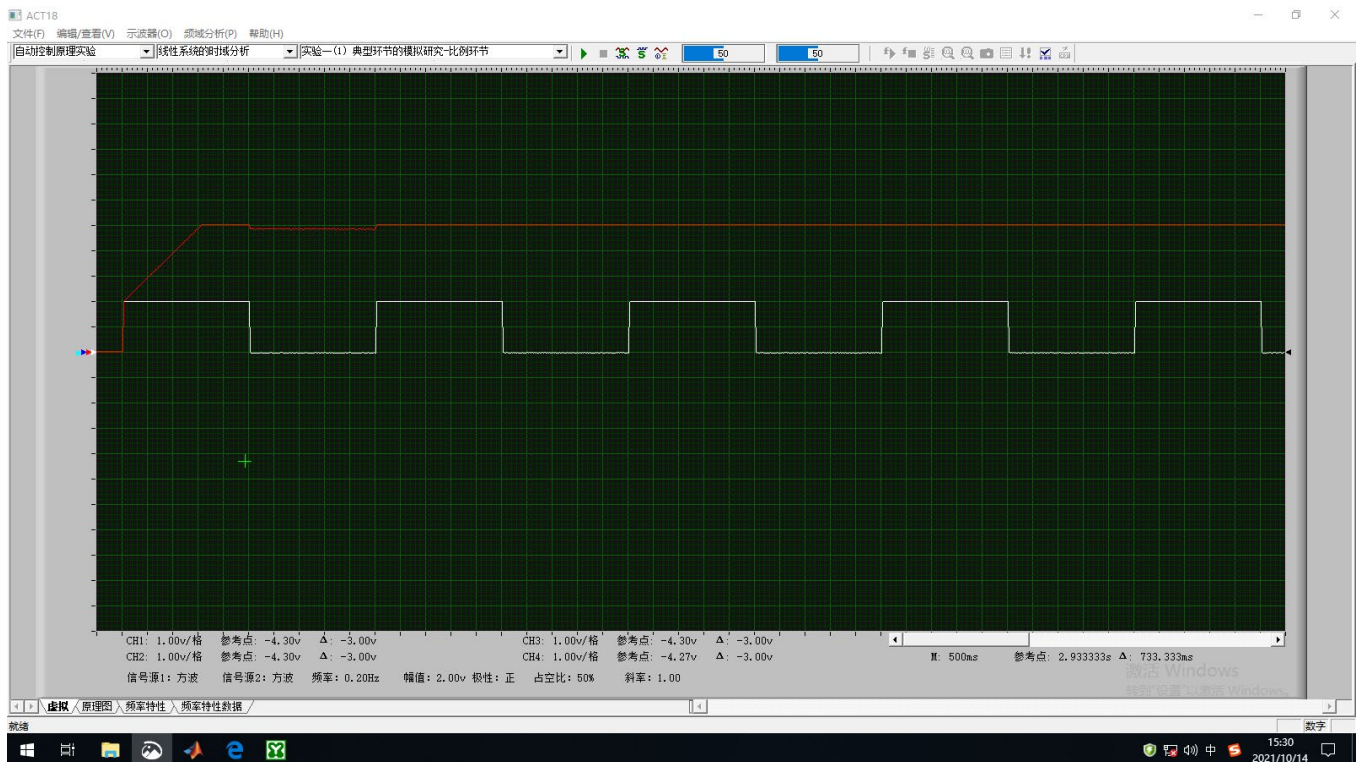


比例积分环节电路连接示意图

2. 实验结果



C=1uF 比例积分环节结果



C=2uF 比例积分环节结果

3. 实验分析

3.1 传递函数计算：

由电路知识并将其变换到 s 域得到：

$$I(s) = \frac{R(s)}{R_0}$$

$$-I(s) = C_0 s C(s) - C_0 s U(s)$$

$$U(t) = -I(t) R_1$$

整理得到传递函数：

$$H(s) = \frac{C(s)}{R(s)} = -\frac{R_1}{R_0} - \frac{1}{R_0 C_0 s}$$

3.2 参数影响分析：

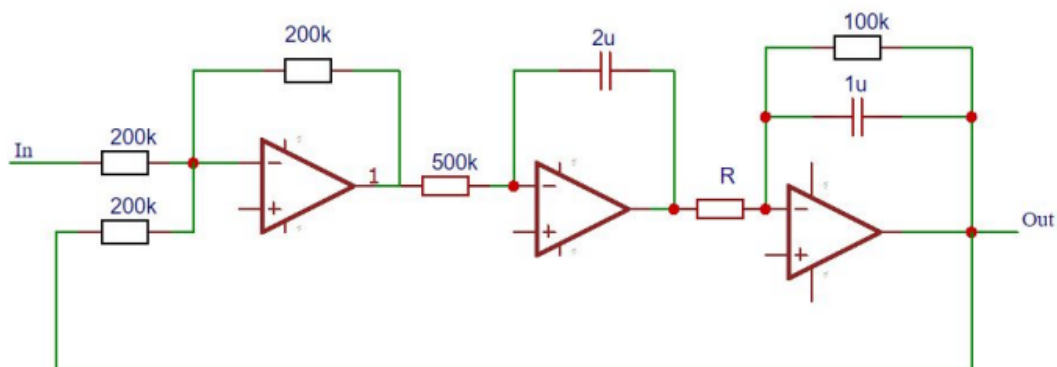
由两个环节特性可知 $\frac{R_2}{R_0}$ 影响放大倍数。 $\frac{1}{R_0 C_0}$ 为积分环节的系数与积分的时间有关。

3.3 实验结果解释：

最终的结果在一定时间之后维持稳定，可见积分在一定时间达到稳定值，与理论的无限增大不同，该原因与之前积分环节相同。

6. 振荡环节

1. 电路图



振荡环节电路连接示意图

2. 实验结果

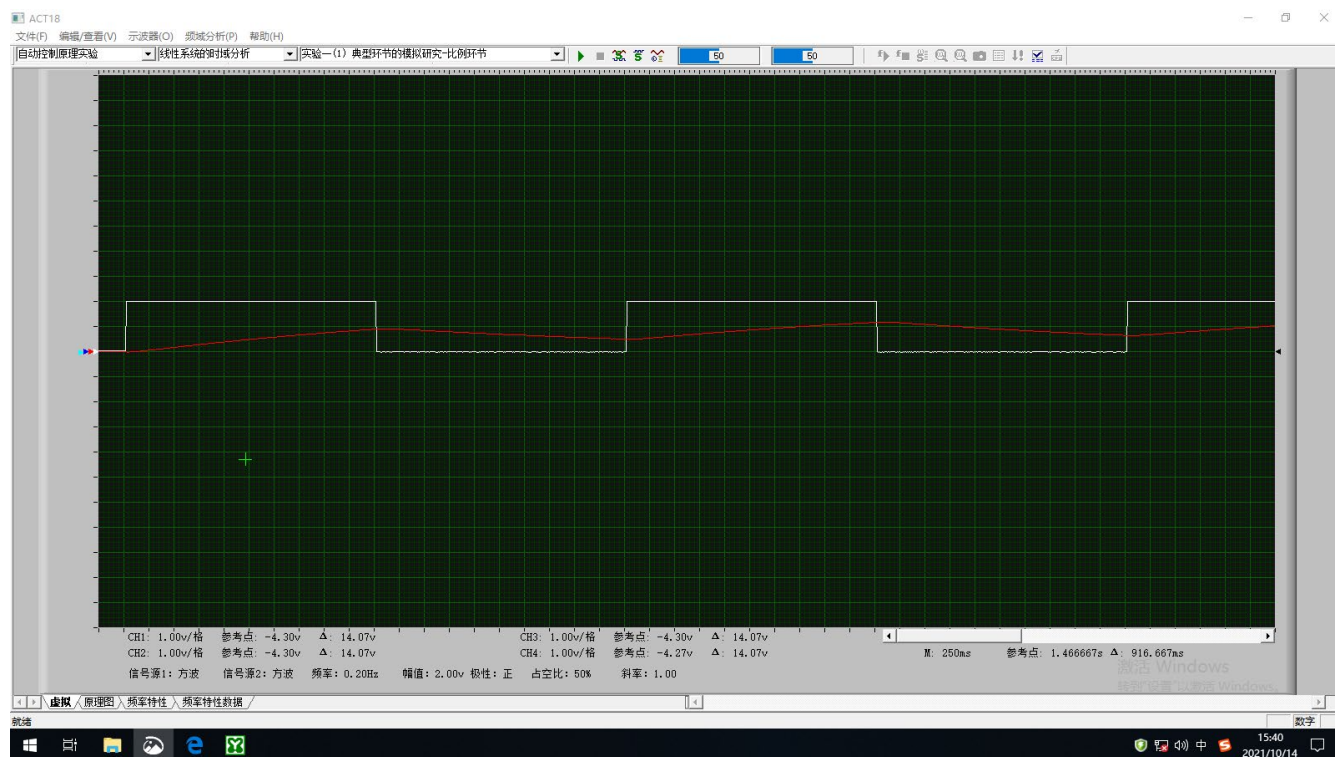


图 21 $R = 400K$ 振荡环节结果

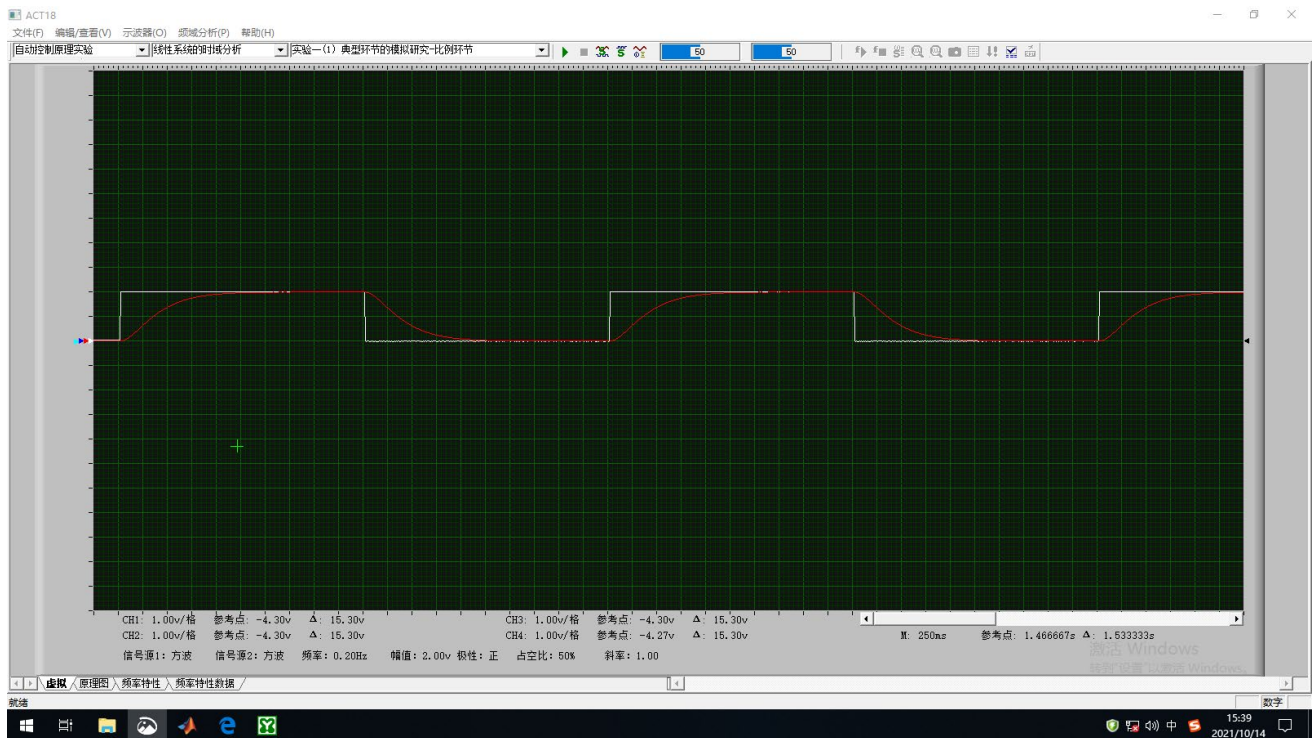


图 22 $R = 40K$ 振荡环节结果

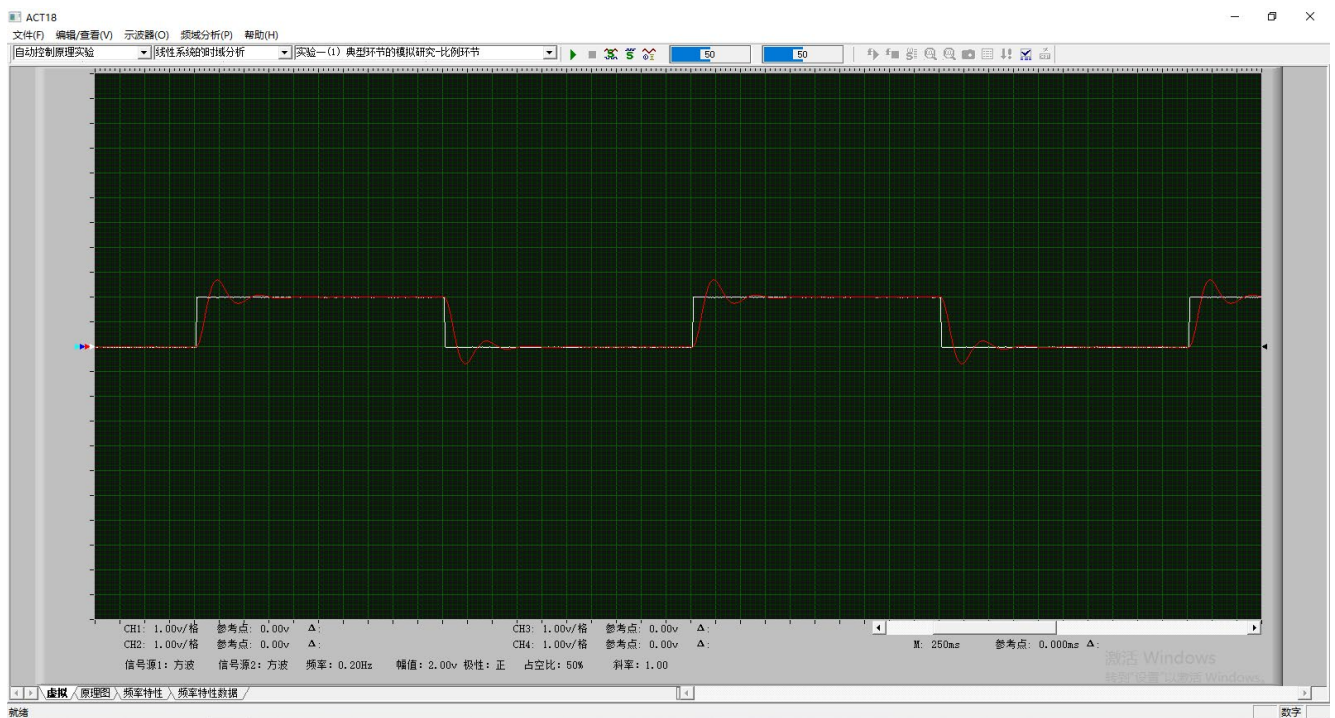


图 23 $R = 4K$ 振荡环节结果

3. 实验分析

3.1 传递函数计算：

可见其为比例环节，积分环节，惯性环节串联，并经过一个单位负反馈，故可以写出其传递函数为：

$$G(s) = -\frac{10^6}{R(s^2 + 10s)}$$
$$G_B(s) = \frac{G(s)}{1 - G(s)} = \frac{-10^6}{R(s^2 + 10s) + 10^6}$$

3.2 参数影响分析：

我们来进行参数的稳定性分析。

通过传递函数可知其特征方程和根为：

$$R(s^2 + 10s) + 10^6 = 0$$
$$s_{1,2} = \frac{-5R \pm \sqrt{25R^2 - 10^6 \cdot R}}{R}$$

可知当满足 $0 < R < 4 \times 10^4$ 时为欠阻尼状态，当 $R = 4 \times 10^4$ 时为临界阻尼，当 $R > 4 \times 10^4$ 时为过阻尼状态。

3.3 实验结果解释：

实验结果与理论实际上拟合较好，当 $R=4K$ 时，其波形满足欠拟合状态，在 $R=40K$ 时，满足临界阻尼波形，当 $R=400K$ 时为过阻尼状态，波形基本为单调上升。

4. 思考题

1. 实验中阶跃信号的幅值和宽度（高电平）应如何考虑为宜？

实验中阶跃信号的幅值应尽使得其在经过如放大环节后不超过放大器所能提供的最大值，否则将会使得输出结果产生严重失真，宽度应尽量选择较大，以便

更好的模拟理想阶跃信号。

2. 积分环节和惯性环节的主要差别是什么？什么条件下惯性环节可以视为积分环节？能否通过实验来验证？

积分环节和惯性环节主要差别在于积分环节将会使得输出持续增加，惯性环节将会使得输出按照负指数形式增加。当惯性环节的时间常数足够大的时候，可以视为积分环节。可以通过修

改惯性环节中的电容大小来验证。

3. 如何通过实验测定惯性环节的时间常数？将测定的结果与理论值进行比较。

其增大到最大值的 0.632 的时间就是时间常数。

实验中测定的结果与比较,如下表：

C/u	R/k Ω	测量值/ms	理论值/ms
1	200	208.7	200
1	100	103.88	100
2	200	446.33	400