

**华中科技大学**

人工智能与自动化学院

**控制理论综合实验报告**

实验项目：实验一

实验名称：控制系统典型环节模拟实验

实验时间：2025/3/13 星期四

实验人员1：

专业班级：人工智能2304班

学 号：U202315285

姓 名：许睿廷

实验人员2：

专业班级：人工智能2304班

学 号：U202315265

姓 名：杜辰宇

1. 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。

1. 实验设备

STAR ACT自控、计控实验仪一套、PC机一台

1. 实验原理

本实验包括了比例环节、积分环节、惯性环节、比例微分环节、比例积分环节、振荡环节6个典型环节。

为方便起见，进行相关的变量假设：

各环节输入为，输出为，中间若有电压输出变量，从输入向输出方向分别设为，其中。

下面根据每个环节的实验原理图推导各个环节的传递函数。

1. 比例环节

实验原理图如图3.1所示。根据原理图的电路中电流的关系以及运算放大器“虚短、虚断”的特性，可以得到电路方程：

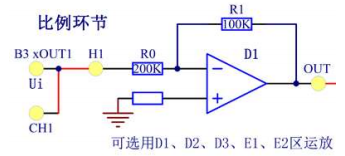


图3.1比例环节原理图

设，可以得到系统的传递函数为：

再经过一个反相器的作用之后，可以得到传递函数为：

2. 积分环节

实验原理图如图3.2 所示。根据原理图的电路中电流的关系、运算放大器“虚短、虚断”的特性并根据电容的容抗简化计算，可以得到电路方程：

令，则系统的传递函数为：

再经过一个反相器的作用之后，可以得到传递函数为：

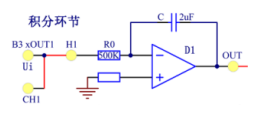


图3.2积分环节原理图

3. 惯性环节

实验原理图如图3.3 所示。根据原理图的电路中电流的关系、运算放大器“虚短、虚断”的特性并根据电容的容抗简化计算，可以得到电路方程：

令（为时间常数），并经过一个反相器反向后，系统的传递函数为：

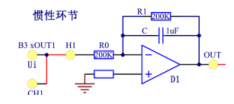


图 3.3 惯性环节原理图

**对惯性环节时间常数的讨论：**

当系统为幅值为𝐴的阶跃输入时，由传递函数可知，系统的输出：

对其反拉氏变换，得到输出

令，得到

也就是说，通过测量输出波形上升为幅值0.632所需的时间𝑡，即可得到系统的时间常数*T*。

4. 比例微分环节

实验原理图如图3.4 所示。根据原理图的电路中电流的关系、运算放大器“虚短、虚断”的特性并根据电容的容抗简化计算，可以得到电路方程：

为右侧的电压。再经过一个反相器的作用之后，可以得到系统传递函数为：

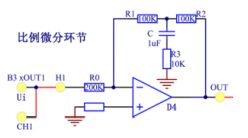


图3.4比例微分环节原理图

5. 比例积分环节

实验原理图如图3.5所示。根据原理图的电路中电流的关系、运算放大器“虚短、虚断”的特性并根据电容的容抗简化计算，可以得到电路方程：

令，并经过一个反相器反向后，系统的传递函数为：

为一比例环节和一阶积分环节的和。

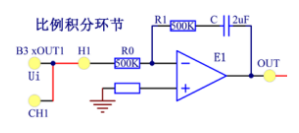


图 1.3.5 比例积分环节原理图

6. 振荡环节

实验原理图如图3.6所示。根据原理图的电路中电流的关系、运算放大器“虚短、虚断”的特性并根据电容的容抗简化计算，可以得到电路方程：

令，并经过一个反相器反向后，系统的传递函数为：

该系统为二阶系统，求得阻尼比为：

（1）当0 < 𝑅 < 40 𝑘𝛺时，0 < 𝜁 < 1，系统为欠阻尼状态,有振荡；

（2）当𝑅 = 40 𝑘𝛺时，𝜁 = 1，系统为临界阻尼状态，无振荡；

（3）当𝑅 > 40 𝑘𝛺时，𝜁 > 1，系统为过阻尼状态，无振荡。

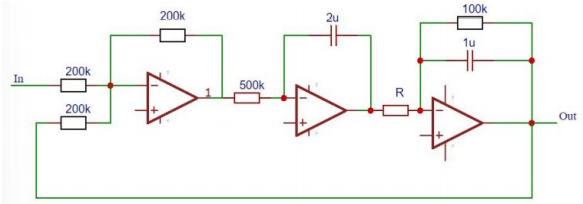


图 3.6 振荡环节原理图

1. 实验内容

1. 实验步骤

（1）按照要求打开实验设备，并设定合适的信号源。

（2）按照实验原理图和实验指导书给出的列表连接各个电路。

（3）更换不同阻抗，在虚拟示波器上观察阻抗变化时候的输出。

（4）运行设备、观察、并作相应的记录：

2.实验内容

改变电路中相关阻抗的值，记录下输出响应（惯性环节需要测量时间常数）。

（1）比例环节：改变分别为100 𝑘𝛺，500 𝑘𝛺。

（2）积分环节：改变分别为2 𝜇𝐹，3 𝜇𝐹。

（3） 惯 性 环 节 ： 改 变分别为(200 𝑘𝛺, 1 𝜇𝐹)，(200 𝑘𝛺, 2 𝜇𝐹)，

(100 𝑘𝛺, 1 𝜇𝐹)，理论时间常数𝑇分别为200 𝑚𝑠，400 𝑚𝑠，100 𝑚𝑠。

（4）比例微分环节：改变分别为200 𝑘𝛺，500 𝑘𝛺。

（5）比例积分环节：改变分别为2 𝜇𝐹，1 𝜇𝐹。

（6）振荡环节：改变分别为4 𝑘𝛺，40 𝑘𝛺，400 𝑘𝛺。

1. 实验结果和分析

给出不同环节的输入（白色）、输出（红色）波形。

**1. 比例环节**

分别为100 𝑘𝛺，500 𝑘𝛺 时，波形如图 5.1 (a)，（b）所示。

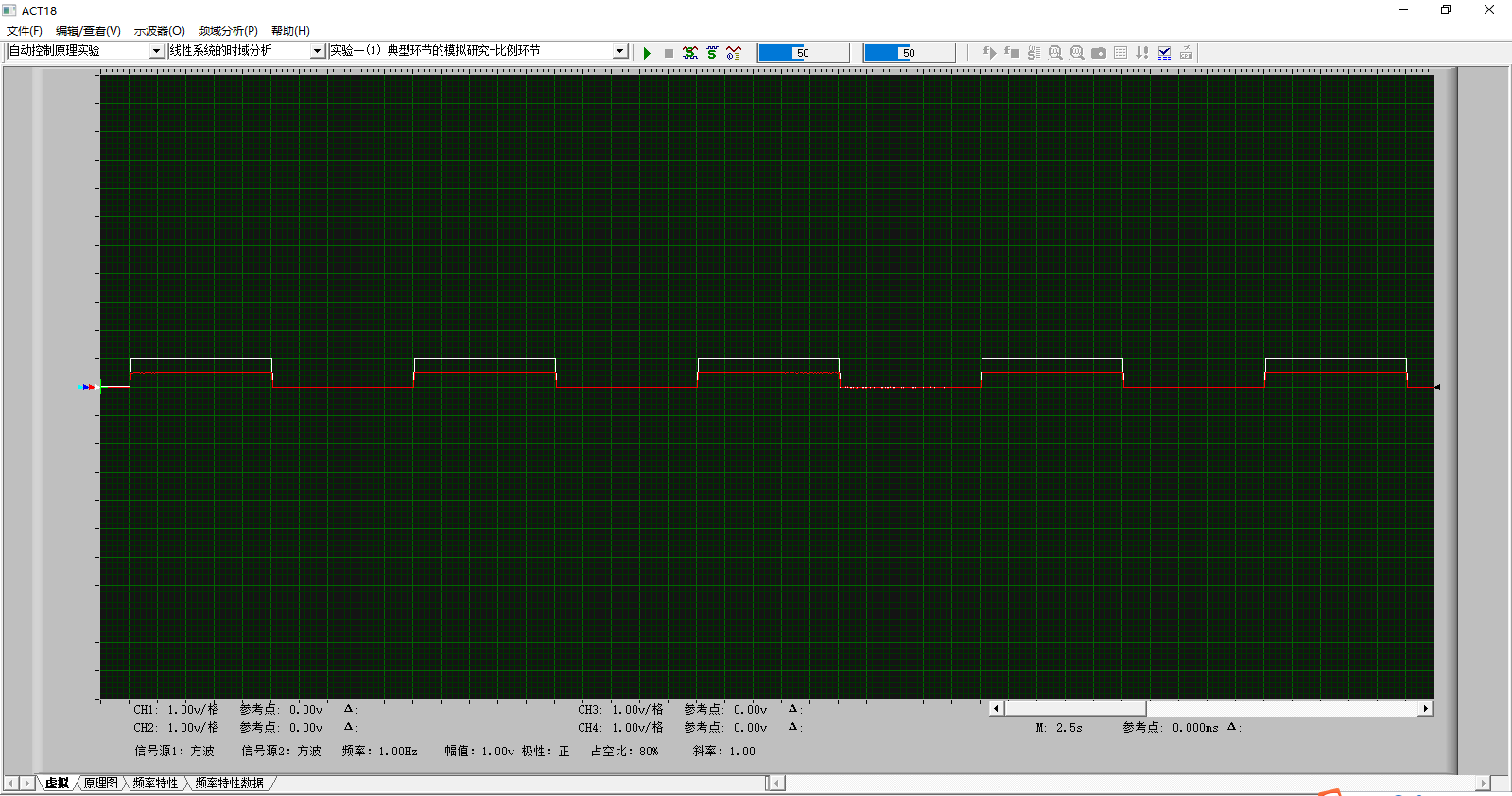


图 5.1 （a） R=100 𝑘𝛺下的比例环节的输入输出波形

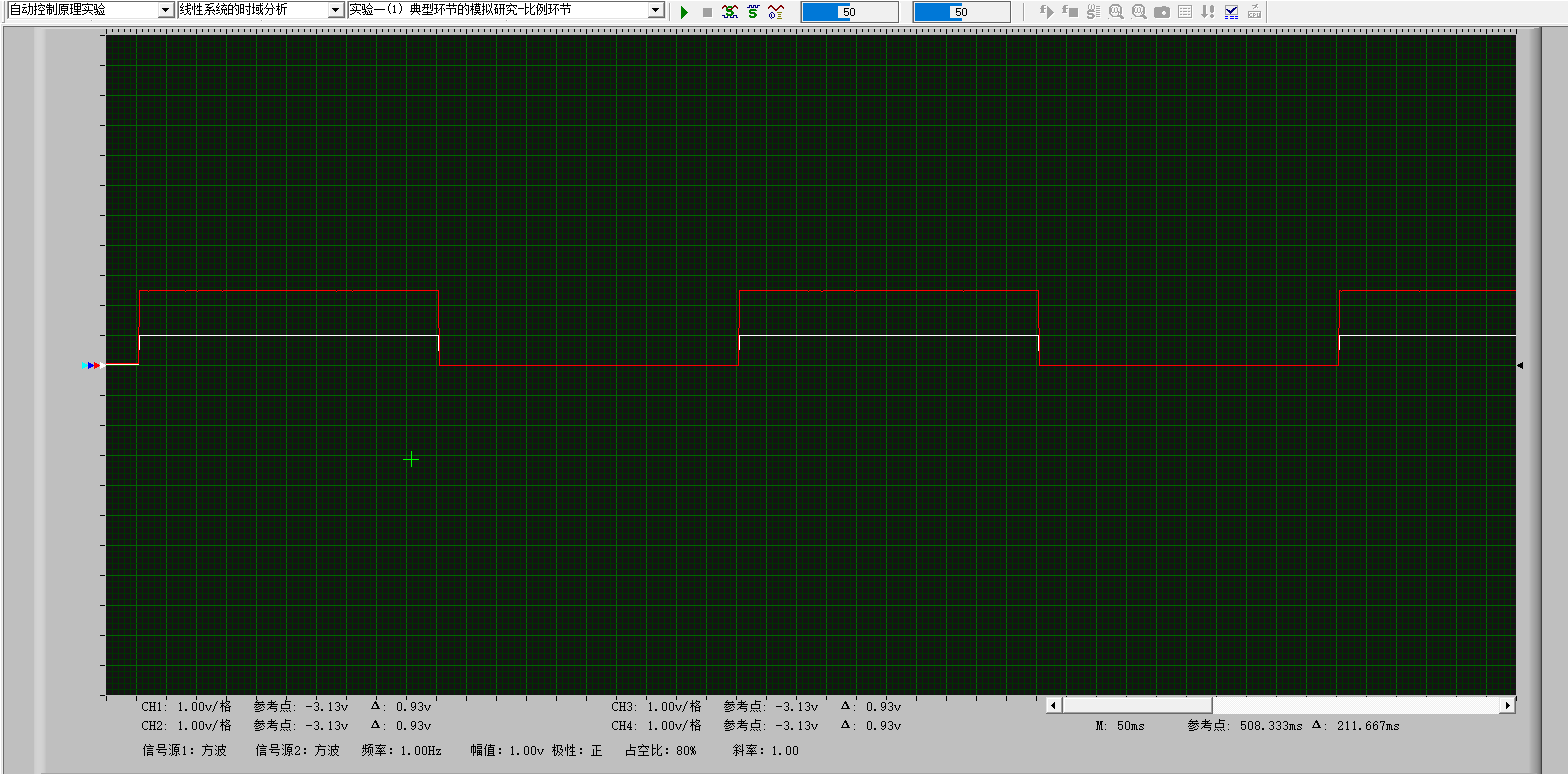


图 5.1 （b） R=500 𝑘𝛺下的比例环节的输入输出波形

由图可知，输入信号为低电平时，输出信号的幅值始终为0；当输入信号处于高电平时，根据前述的传递函数关系，可知在保持不变时，输出信号的幅值与成正比。在图中可见时值约为2.5v，为0.5v的5倍。

**2. 积分环节**

𝐶分别为2 𝜇𝐹，3 𝜇𝐹时，波形如图 5.2(a)，（b）所示。

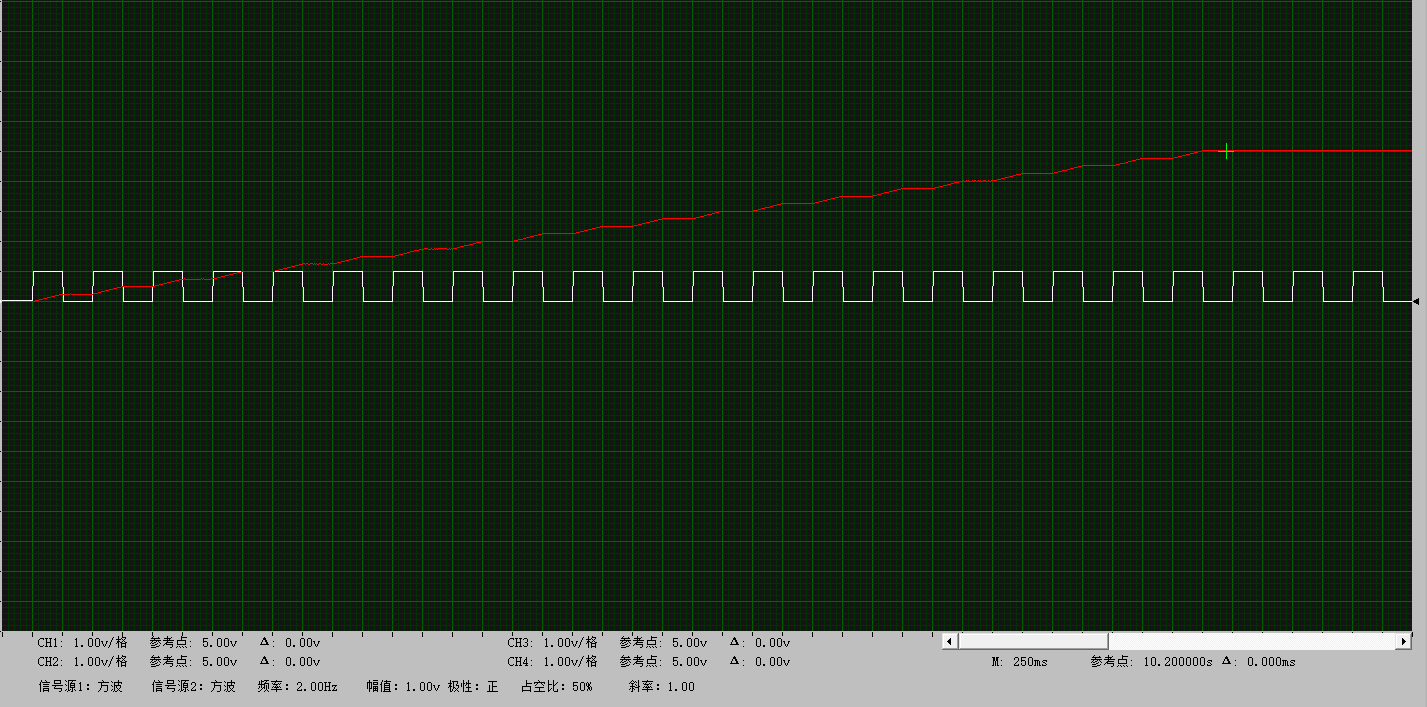


图 5.2 （a）C=2 𝜇𝐹下的积分环节输入输出波形

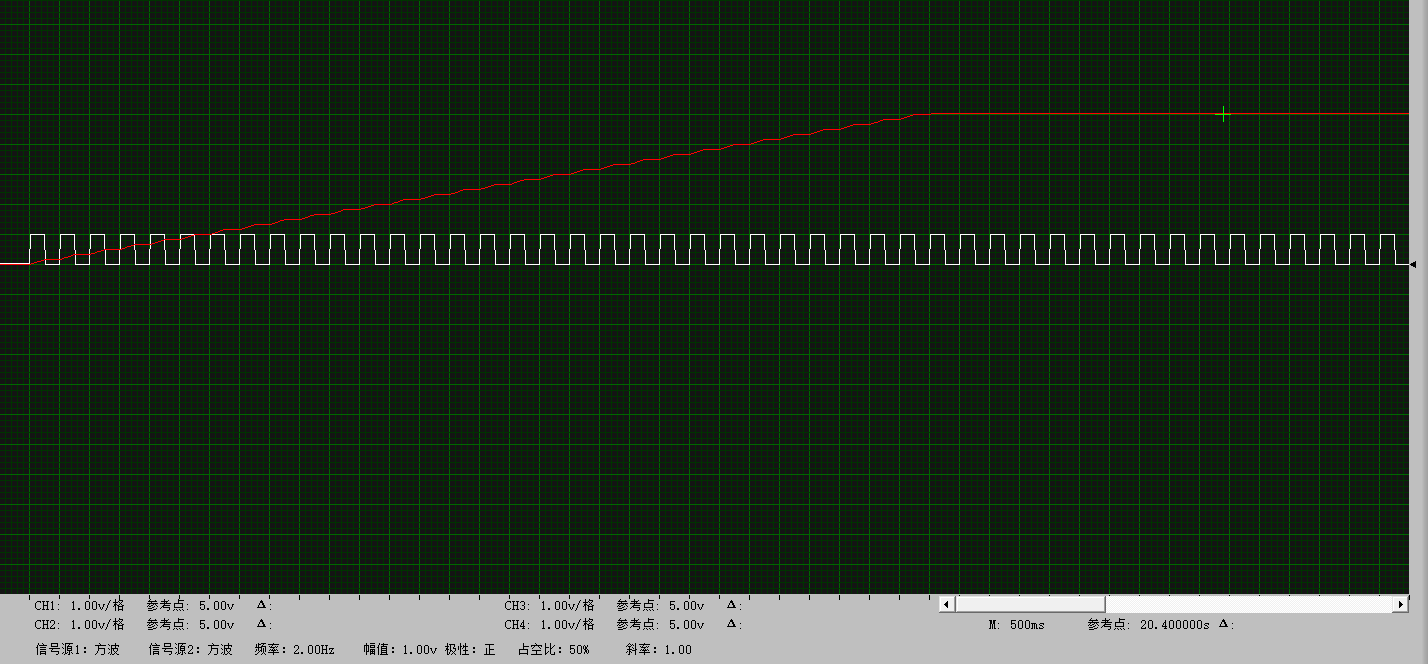


图 5.2 （b）C=3 𝜇𝐹下的积分环节输入输出波形

由图可知，输入信号为低电平时，输出信号的幅值保持不变；当输入信号处于高电平时，根据前述的传递函数关系，输出信号的幅值增长至稳态值。该电路下稳态值为5v，与电容的大小无关。但随电容值增大，上升时间越大。

3. 惯性环节

分别为(200 𝑘𝛺, 1 𝜇𝐹)，(200 𝑘𝛺, 2 𝜇𝐹)，(100 𝑘𝛺, 1 𝜇𝐹)

时，波形如图5.3 (a)，（b）,(c)所示。

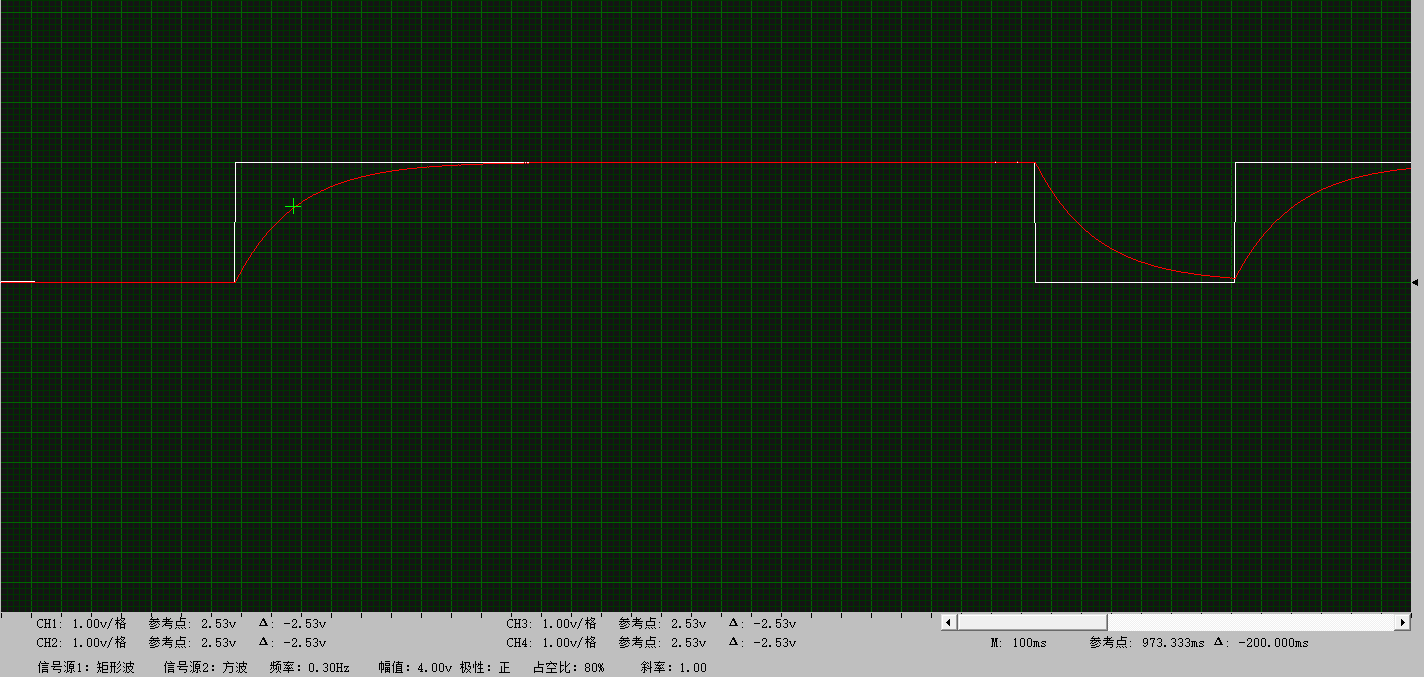
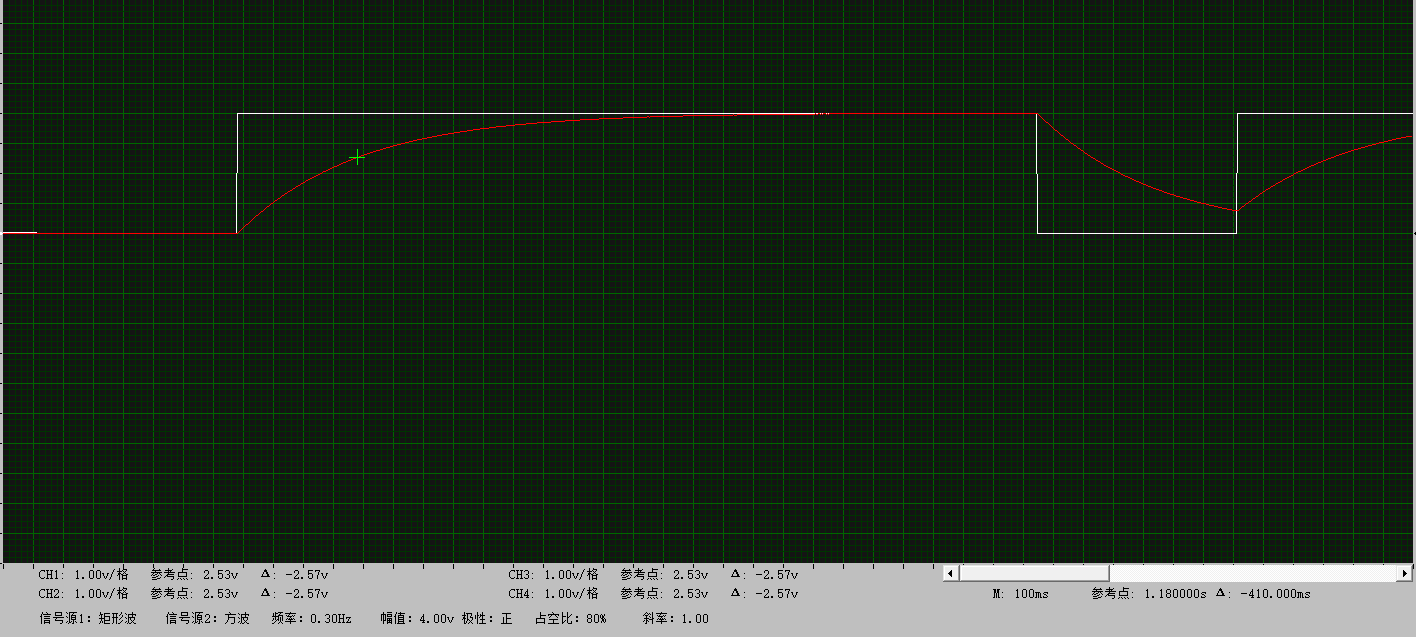


图 5.3 （a）时的惯性环节输入输出波形

图 5.3 （b） 时的惯性环节输入输出波形

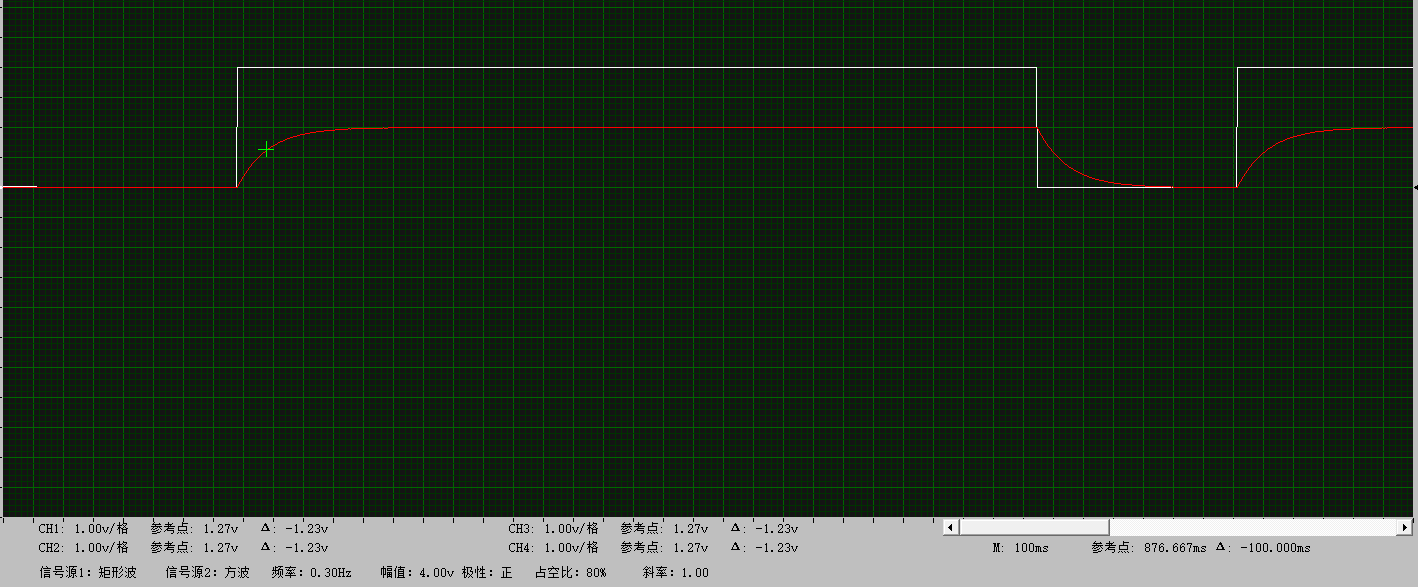


图 5.3 （c） 时的惯性环节输入输出波形

由图可知，阶跃发生时间 = 773.3 𝑚𝑠，测量出各情况下变为幅值0.63的时间，根据实验原理得出时间常数𝑇，并和其理论值进行比较。三种情况下时间常数的测量如表 1.5 所示。

**表 5.3 惯性环节时间常数测量及误差（时间单位均为ms）**

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  |  |  |  |  | 误差 |
| (200𝑘𝛺, 1 𝜇𝐹) | 773.3 | 973.3 | 200.0 | 200 | 0% |
| (200𝑘𝛺, 2 𝜇𝐹) | 770.0 | 1180.0 | 410.0 | 400 | 2.5% |
| (100𝑘𝛺, 1 𝜇𝐹) | 776.7 | 876.7 | 100.0 | 100 | 0% |

4. 比例微分环节

分别为200 𝑘𝛺，500 𝑘𝛺时，波形如图5.4(a)，（b）所示。

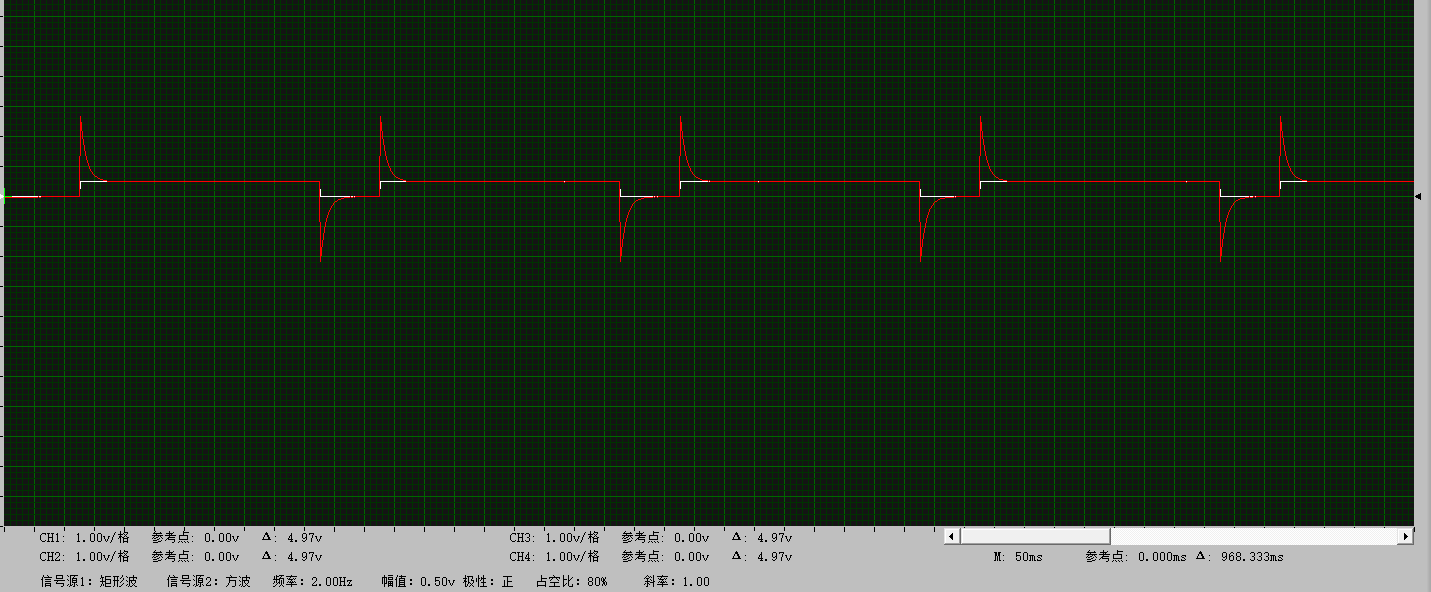
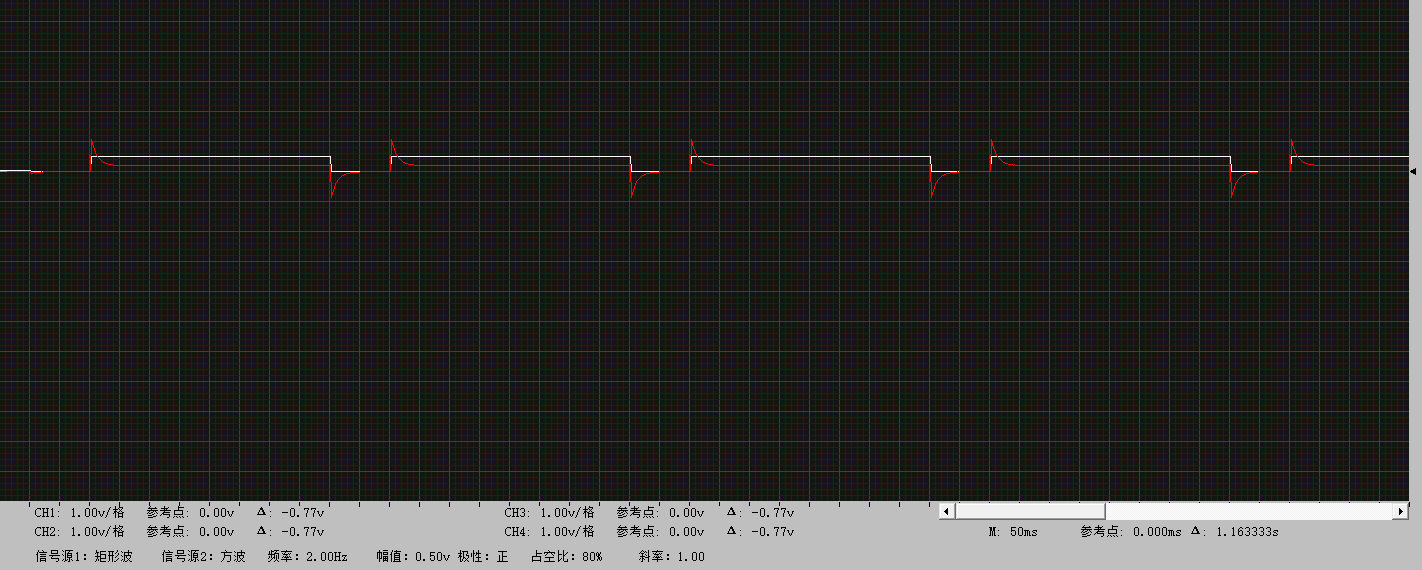
 图 5.4 （a）时比例微分环节输入输出波形

图 5.4 （b） 时比例微分环节输入输出波形

由图可知，输入信号为低电平时，输出信号的幅值减小至0；当输入信号处于高电平时，根据前述的传递函数关系，输出信号的幅值增长并逐渐稳定至稳态值。瞬态响应与稳态响应均和值成反比。

5. 比例积分环节

𝐶分别为1 𝜇𝐹，2 𝜇𝐹时，波形如图5.5(a)，（b）所示。

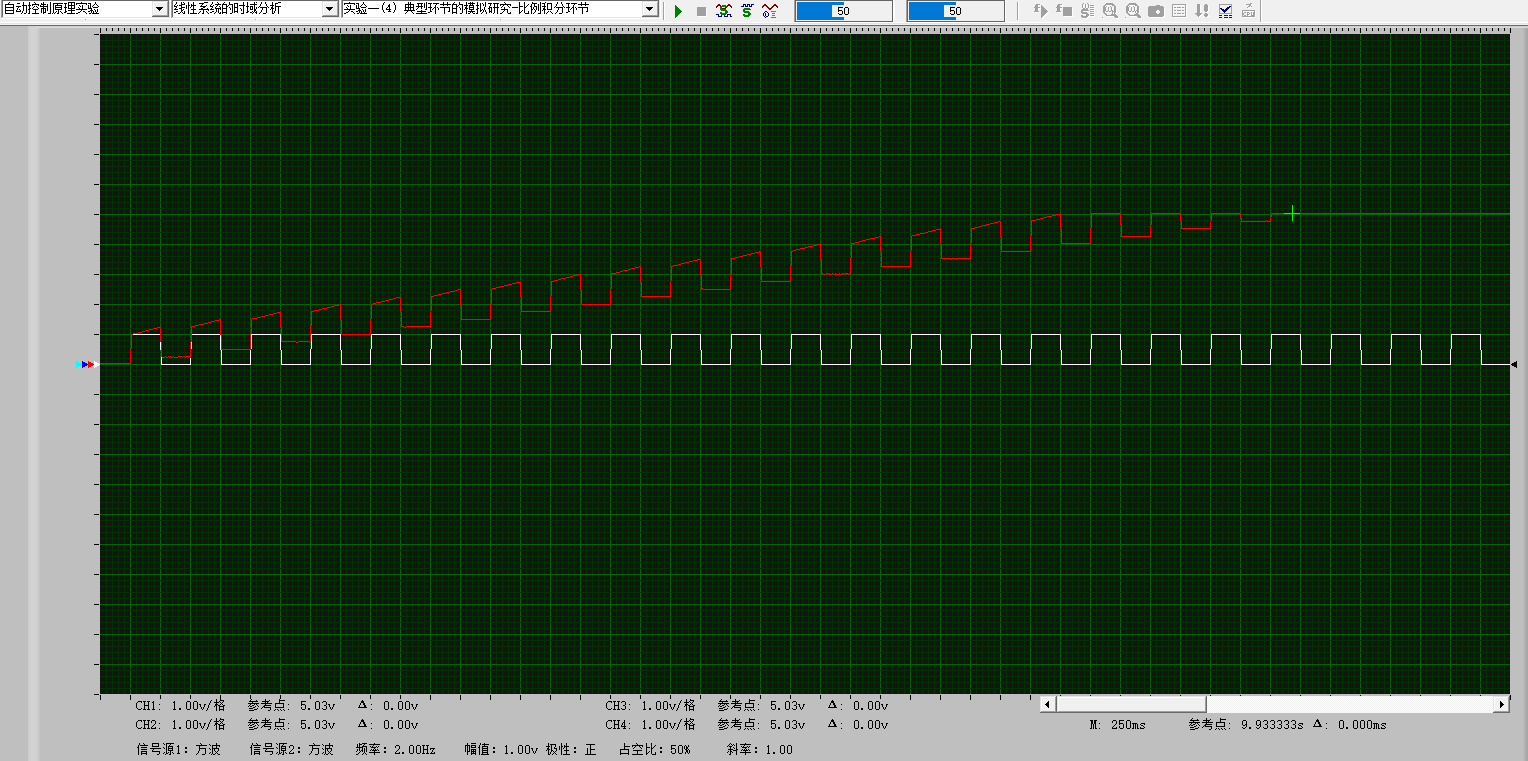


图 5.5 （a）C=2 𝜇𝐹 时的比例积分环节输入输出波形

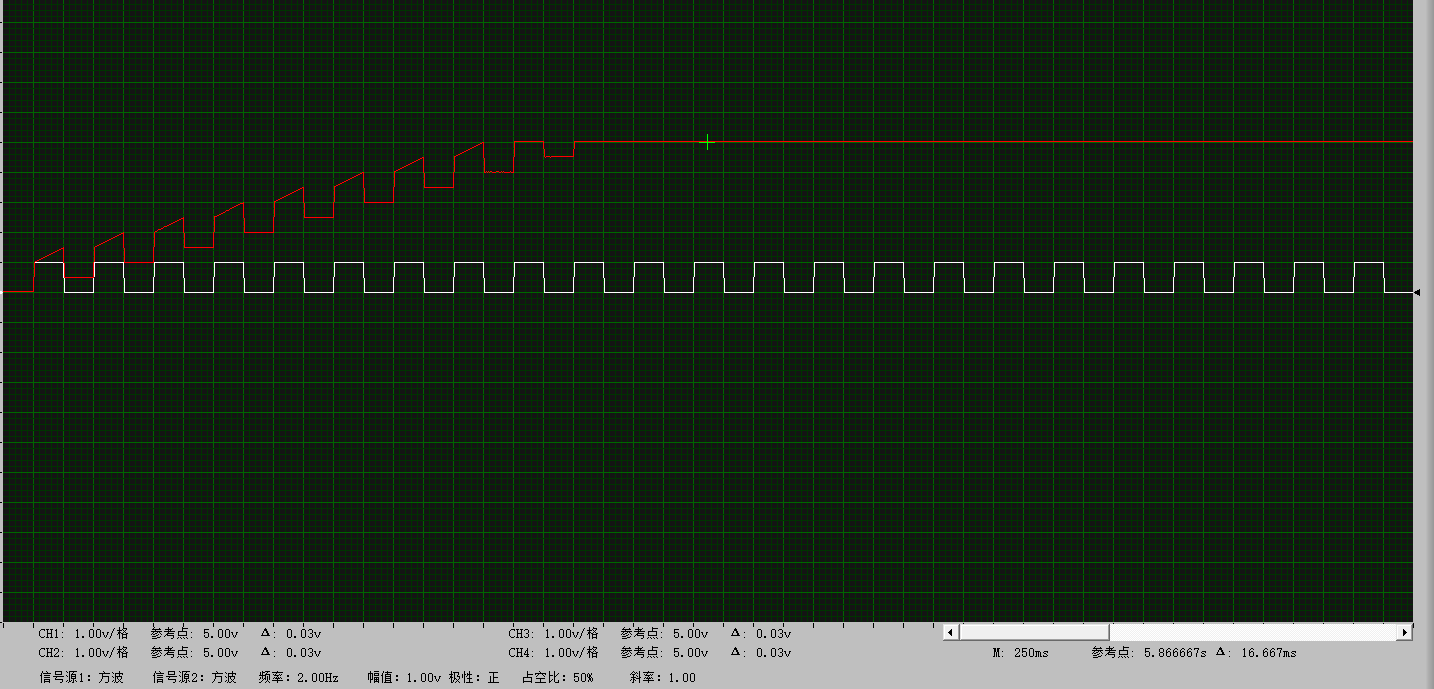


图 5.5 （b）C=1 𝜇𝐹 时的比例积分环节输入输出波形

由图可知，输入信号为低电平时，输出信号的幅值与输入同幅减小；当输入信号处于高电平时，根据前述的传递函数关系，输出信号的幅值增长并逐渐稳定至稳态值。与积分环节类似，稳态值大小（5v）与电容无关，上升时间随电容值的减小而减小。

6. 振荡环节

𝑅分别为4 𝑘𝛺，40 𝑘𝛺，400 𝑘𝛺时，波形如图5.6(a)，（b）,(c)所示。

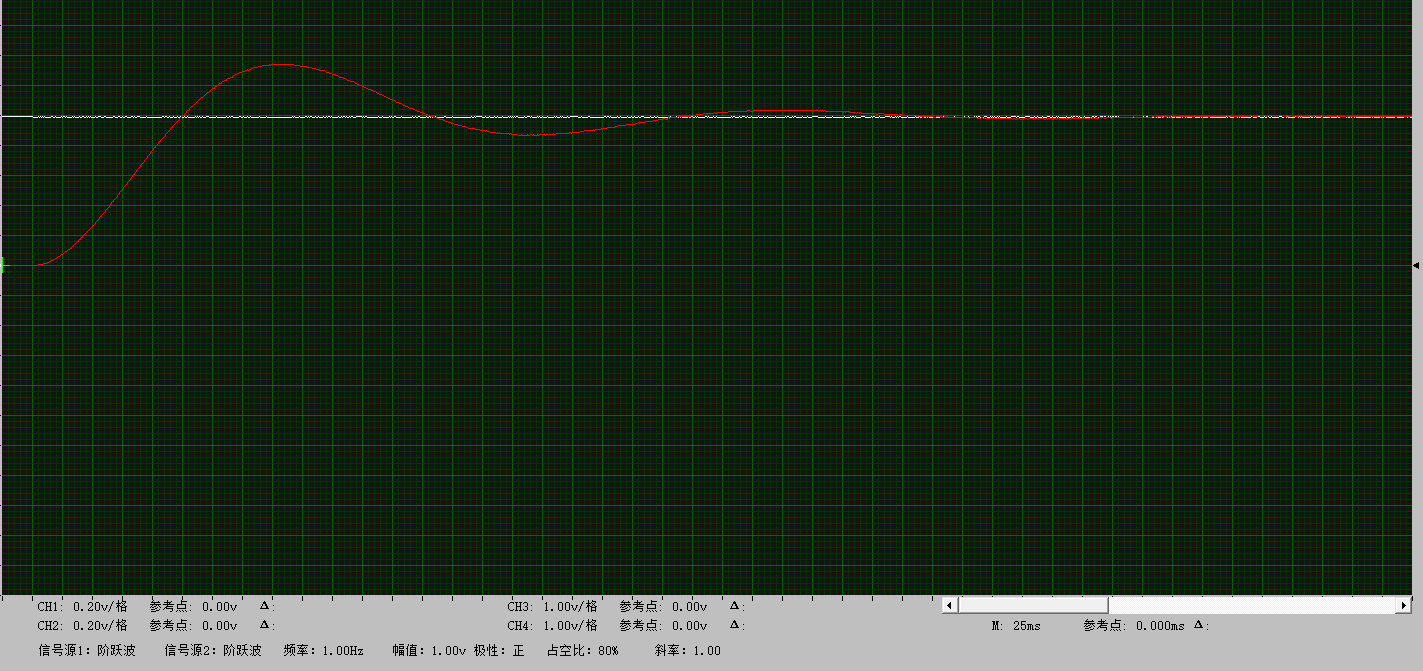


图 5.6 （a）*R*=4 𝑘𝛺

图 5.6 （b）*R*=40 𝑘𝛺

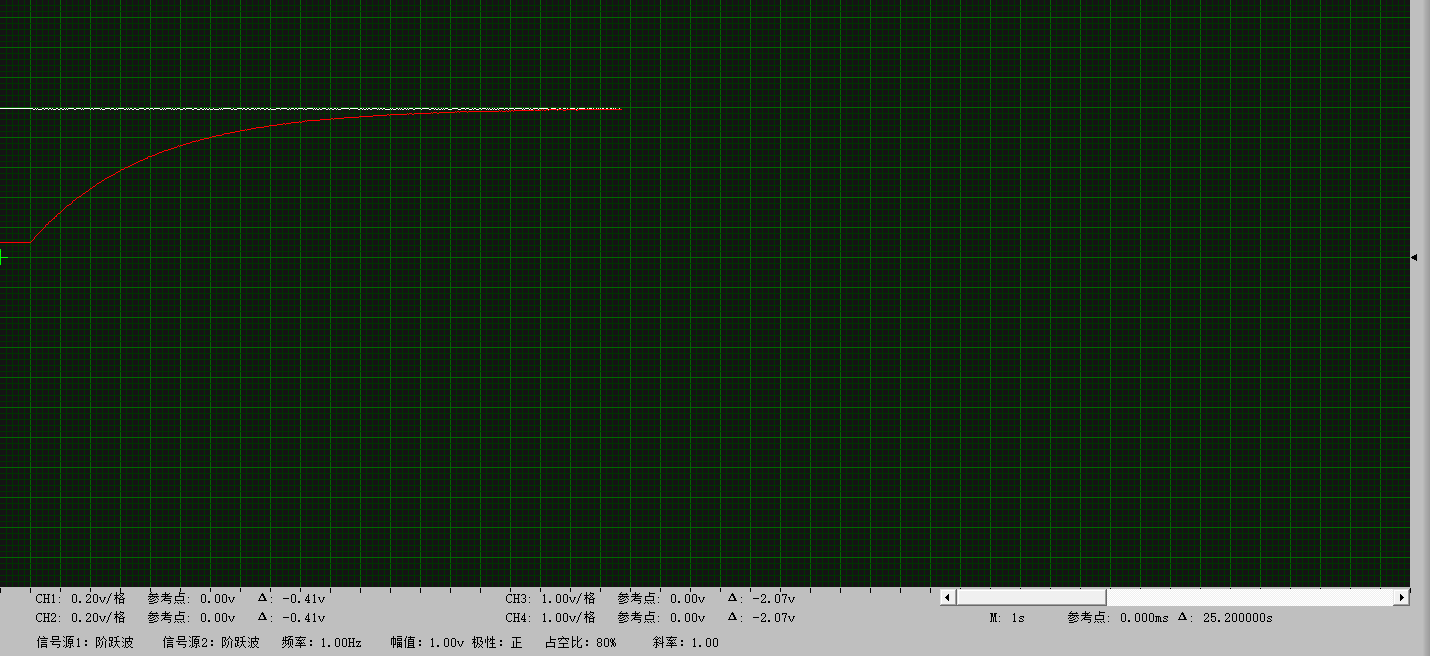


图 5.6 （b）*R*=400 𝑘𝛺

根据前述的传递函数关系与产生振荡的范围可得波形如上所示。

1. 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？

（1）幅值：研究系统的稳定性和动态性能时，通常使用一个固定的幅值来保证实验条件的一致性。运算放大器的输出电压的有大小限制，因此应计算出输出电压幅值的最大值，并使其不超过电源电压，使运算放大器工作在放大区，避免失真。

（2）宽度：需要满足观察和记录系统响应的要求。如果宽度太短，可能无法清晰地观察到系统的瞬态过程和稳态行为；而过长的宽度则可能导致实验时间过长，影响实验效率。

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

（1）主要差别：积分环节主要用于消除系统的稳态误差，它能够对输入信号进行积分运算，使输出随着时间的积累而不断增长，直到系统误差为零；而惯性环节主要用于模拟具有惯性特性的物理系统，会使系统的输出逐渐趋近于一个稳态值，而不会无限制地增长。

（2）当时，惯性环节可认为是积分环节。

（3）将阻值设为很大。

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。

测定原理见 [五、实验结果和分析——3. 惯性环节——对惯性环节时间常数的讨论；](#思考题3)

具体计算及比较见[表 5.3。](#表格5_3)

1. 实验小结

本次实验是第一次控制原理实验。这次实验的任务相对简单，是对一些典型环节的电路实现。初次实验略显局促，尽管老师细致讲解，但动手操作波形示意时仍遇到困难，我们花了些时间认识实验设备和软件。这次实验我们主要熟悉了硬件设备和软件的操作与使用，学会如何使用短路套接入电阻，调节电源的输出，利用电脑使用数字示波器观测波形。在撰写报告过程中，我们也复习了控制原理的相关知识，如系统传递函数的求法、系统的上升时间等。同时，在实验电路中加入反相器的环节使分析更严谨与准确。