

自动控制原理 实验报告



2022/4/10

实验九 典型非线性环节

一、 实验目的

1. 了解非线性特性的测试方法；
2. 用相平面法观察和分析典型非线性环节的输出特性。

二、 实验仪器及设备

- 1、 STAR ACT 实验装置一套
- 2、 数字示波器
- 3、 微型计算机

三、 实验内容及步骤

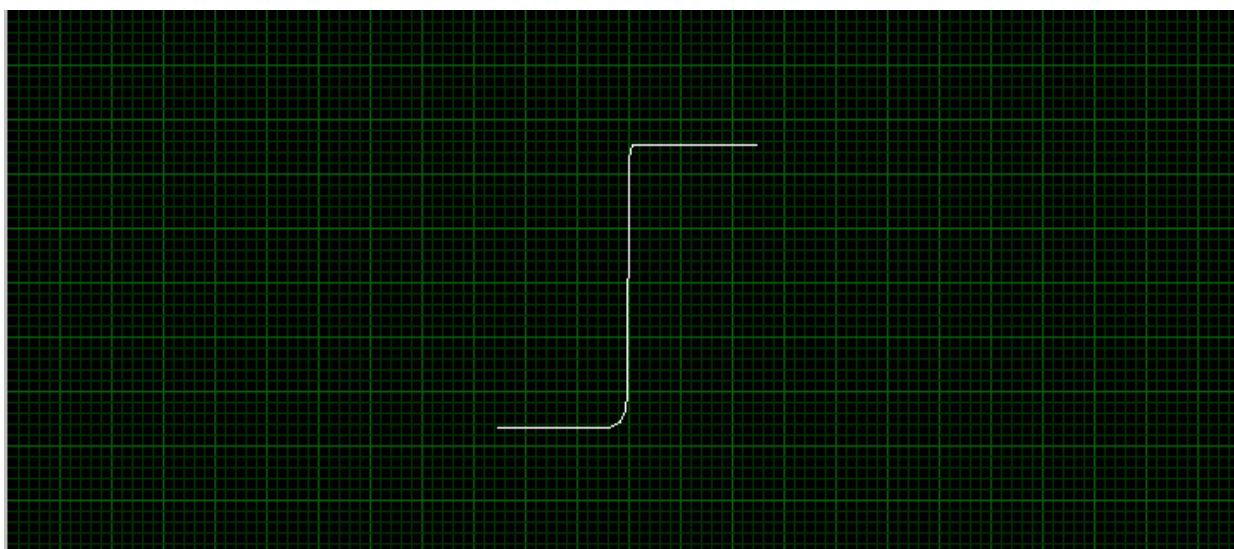
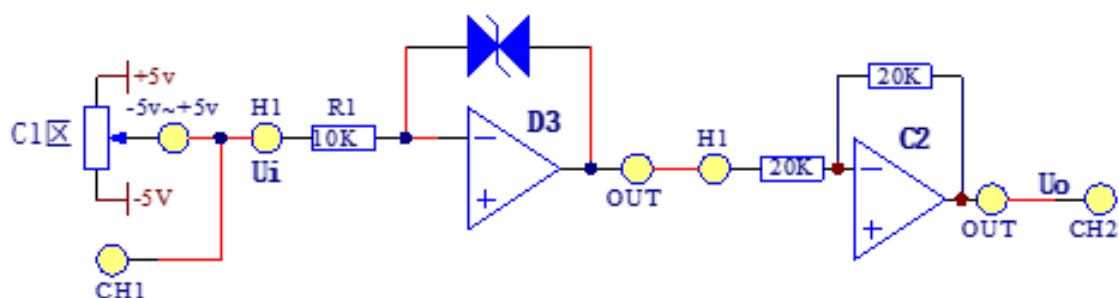
- a) 记录非线性环节的模拟特性电路和数字继电特性的相轨迹。
- b) 改变被测环节的各项非线性特性参数，调节输入电压（调节 C1 区的电位器），并记录不同的参数下的相轨迹。

表：测量的各项非线性特性参数

继电特性	饱和特性		死区特性		间隙特性	
幅值	幅值	斜率	死区宽度	斜率	间隙宽度	斜率
3.6V	3.7V	2	2.5V	1	2.4V	1
2 V	2V	1	1.6V	2	1.5V	2

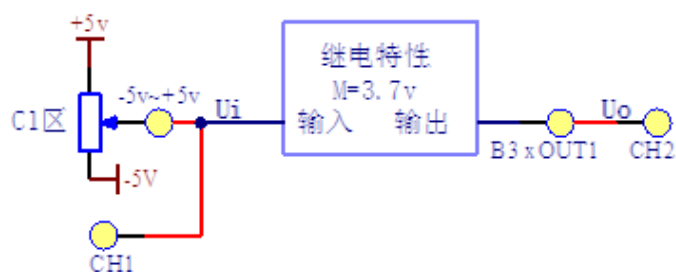
1. 测量模拟继电特性

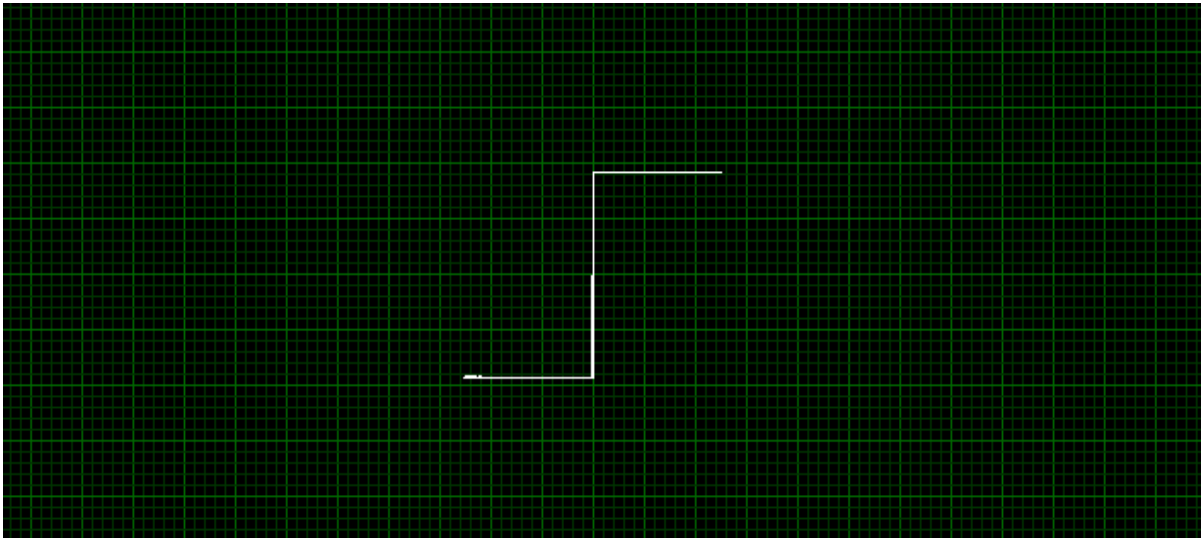
断开设备电源，按图 9-1 的模拟电路组成继电特性环节。



2. 测量数字继电特性

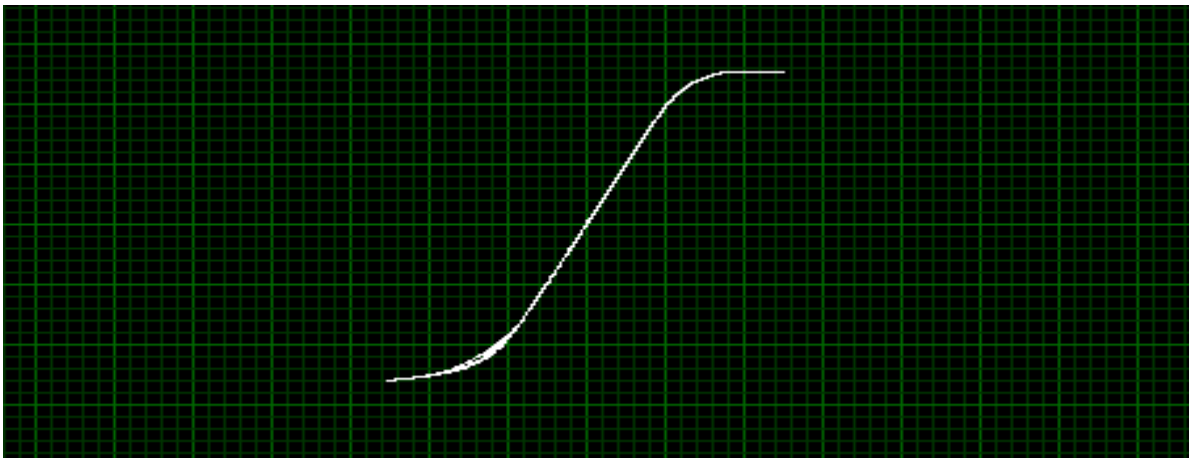
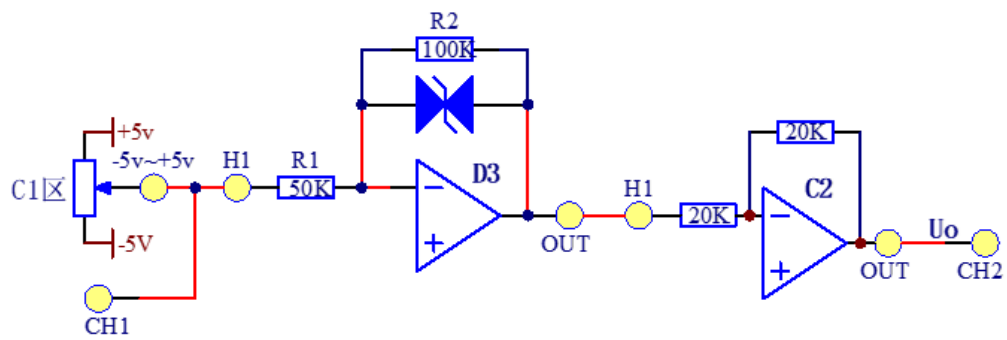
断开设备电源，按图 9-2 的连接电路。注意，数字特性由装置内部软件产生，不需要连接其他电路，只需要连接输入输出端口即可。接线如下表。





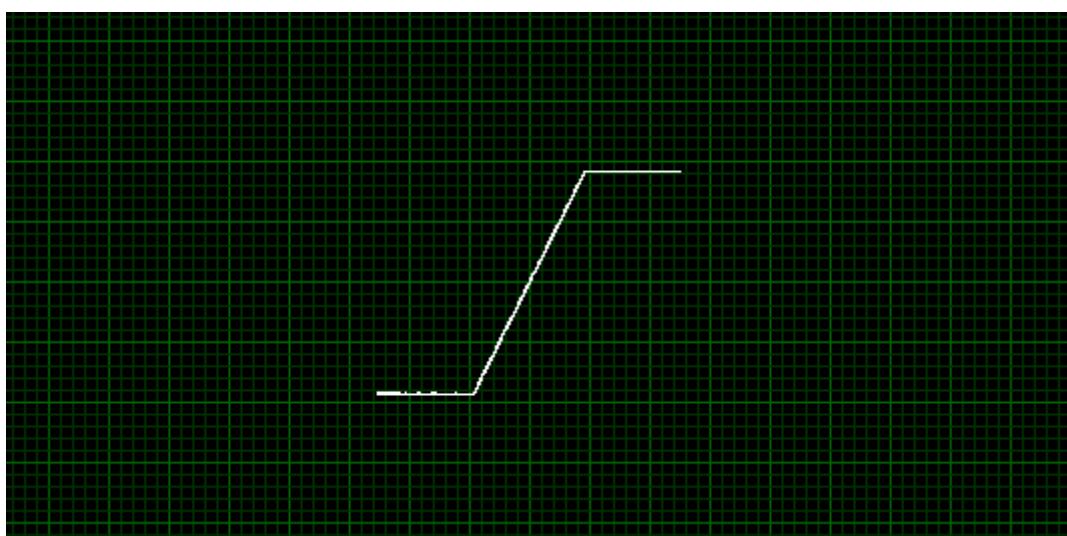
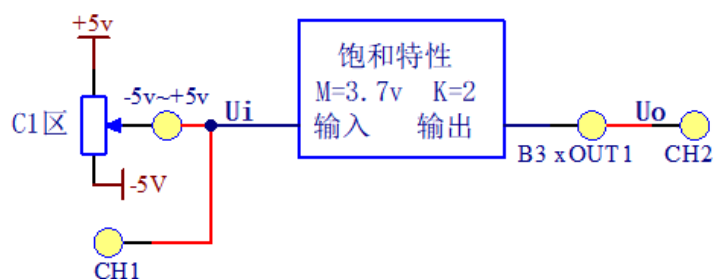
3. 测量模拟饱和特性

断开设备电源，按图 9-3 的模拟电路组成饱和特性环节。



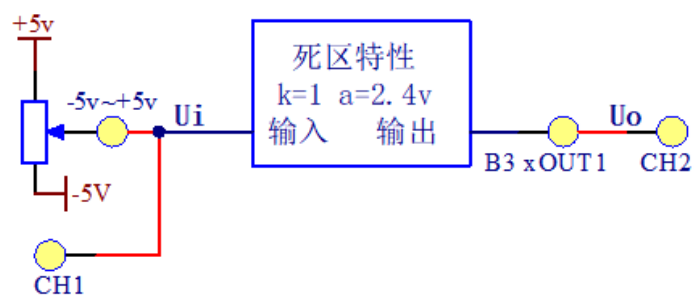
4. 测量数字饱和特性

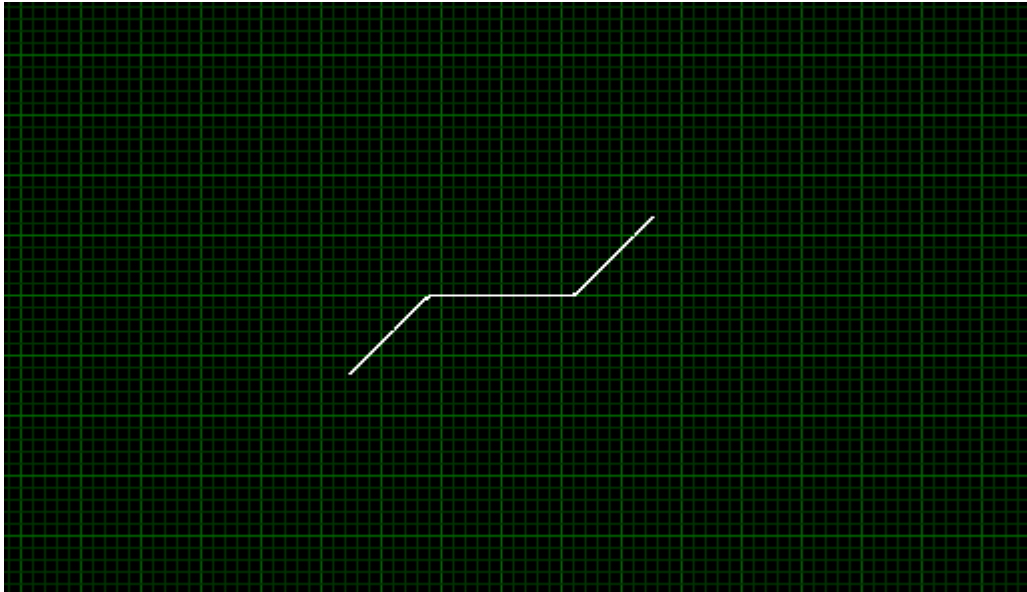
断开设备电源，按图连接电路。注意，数字特性由装置内部软件件产生，不需要连接其他电路，只需要连接输入输出端口即可。



5. 测量数字死区特性

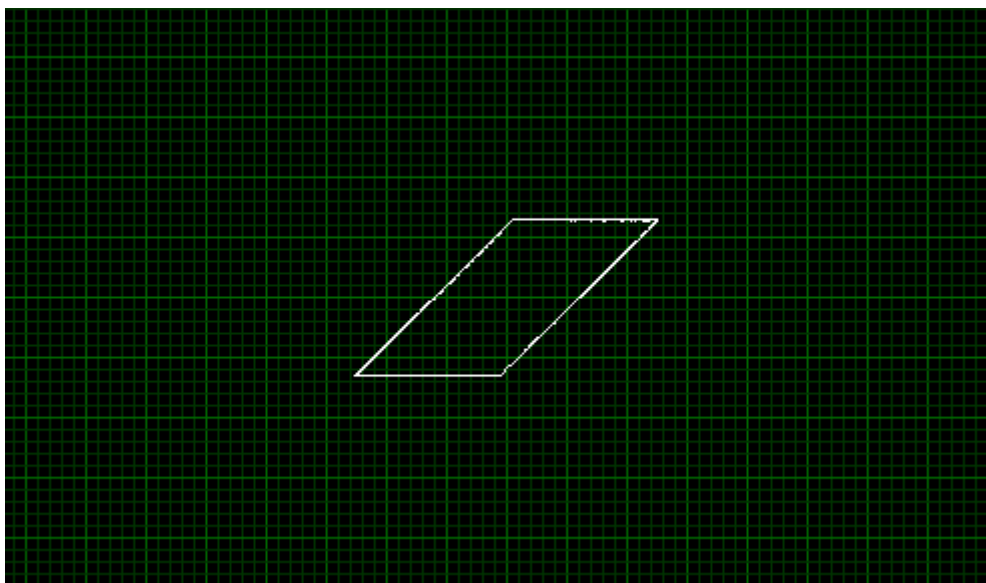
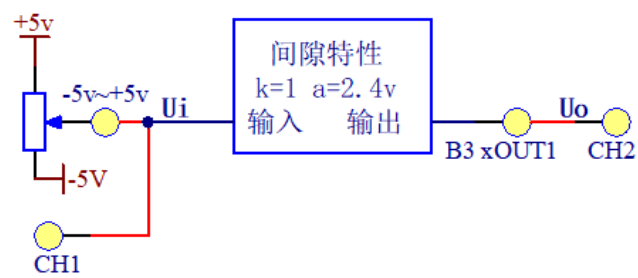
断开设备电源，按图电路组成数字死区特性环节。





6. 测量数字间隙特性

断开设备电源，按图 9-6 的电路组成数字死区特性环节。



分析典型非线性环节的输出特性。

继电特性：当输入大于0时，输出为正常量；反之，当输入小于0时，输出为负常量。

饱和特性：当输入在一定范围内，输出与输入成线性关系。当输入大于一定值时，输出不再变化，达到饱和状态。

死区特性：当输入在一定范围内，输出为0；当输入大于一定值，输出与输入线性变化。

间隙特性：当输出增大变化时，输出与输入线性增大；当输出减小变化时，输出与输入线性减小；当输出不变时，其值取决于输入的符号。

一般继电特性在什么情况下可以分别近似为间隙特性和死区特性？

继电特性若存在稳态误差，则可以近似为死区特性。

继电特性若存在着稳态误差，且当前状态变量有符号变化时，则可以近似为间隙特性。

实验十 非线性控制系统的自激振荡分析

一、实验目的

- 1. 了解和掌握非线性控制系统重要特征 自激振荡，极限环的产生及性质。
- 2. 了解和掌握用描述函数法分析非线性控制系统的稳定性和自振荡的原理。
- 3. 观察和分析非线性控制系统的相平面图。

二、实验仪器及设备

- 1、 STAR ACT 实验装置一套
- 2、 数字示波器
- 3、 微型计算机

三、实验内容及步骤

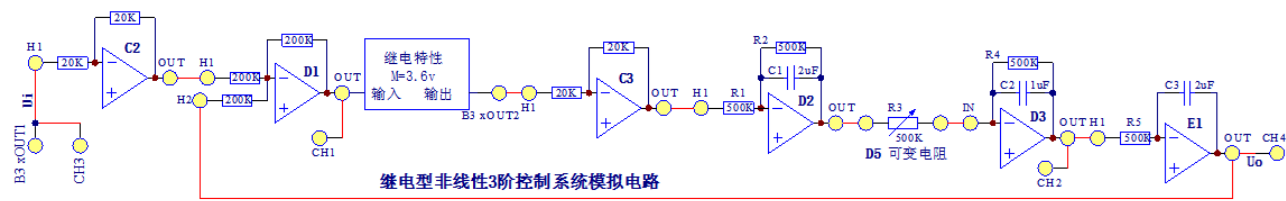
本实验采用时域及相平面图同时显示方式，非线性系统分析示波器界面分上下两块，上块为时域显示（CH3、CH4），下块为相平面图显示（CH1、CH2），并规定 CH1 为 X 轴，CH2 为 Y 轴。

本实验把系统的误差 e 送入虚拟示波器的 CH1（水平轴），它的导数送入示波器的 CH2（垂直轴），在该示波器显示界面中提供了时域显示（普通示波）和相平面显示（X-Y 示波）两种方式，皆可观测继电型、饱和型三阶非线性控制系统的自激振荡（极限环），读出其自激振荡角频率 ωA 或周期 T 和振荡振幅值 A 。

1. 继电型非线性控制系统

（1）继电型非线性控制系统的分析与设计

继电性非线性三阶控制系统的模拟电路见图 10-1 所示。



①列写其线性部分传递函数及非线性部分负倒特性函数，判断系统是否存在周期运动，若存在，求出振荡参数。

线性部分传递函数

$$G(s)=\frac{1}{s(1+s)(1+0.5s)}$$

非线性部分负倒特性函数

$$-\frac{1}{N(A)}=-\frac{\pi A}{4b}=-\frac{\pi a}{14.4}$$

振荡参数

$$A=1.53$$

$$\omega=1.414rad/s$$

此时存在周期运动。

②若调整惯性环节增益（A5 单元的输入电阻 R3），能否使得自激震荡不存在？若存在此类惯性环节增益，计算出相应的振荡参数，若不存在相应惯性环节增益，请分析原因。

答：改变 R3 后线性部分传递函数改变，但线性部分传递函数及非线性部分负倒特性函数图象始终相交，因此自激振荡一定存在。

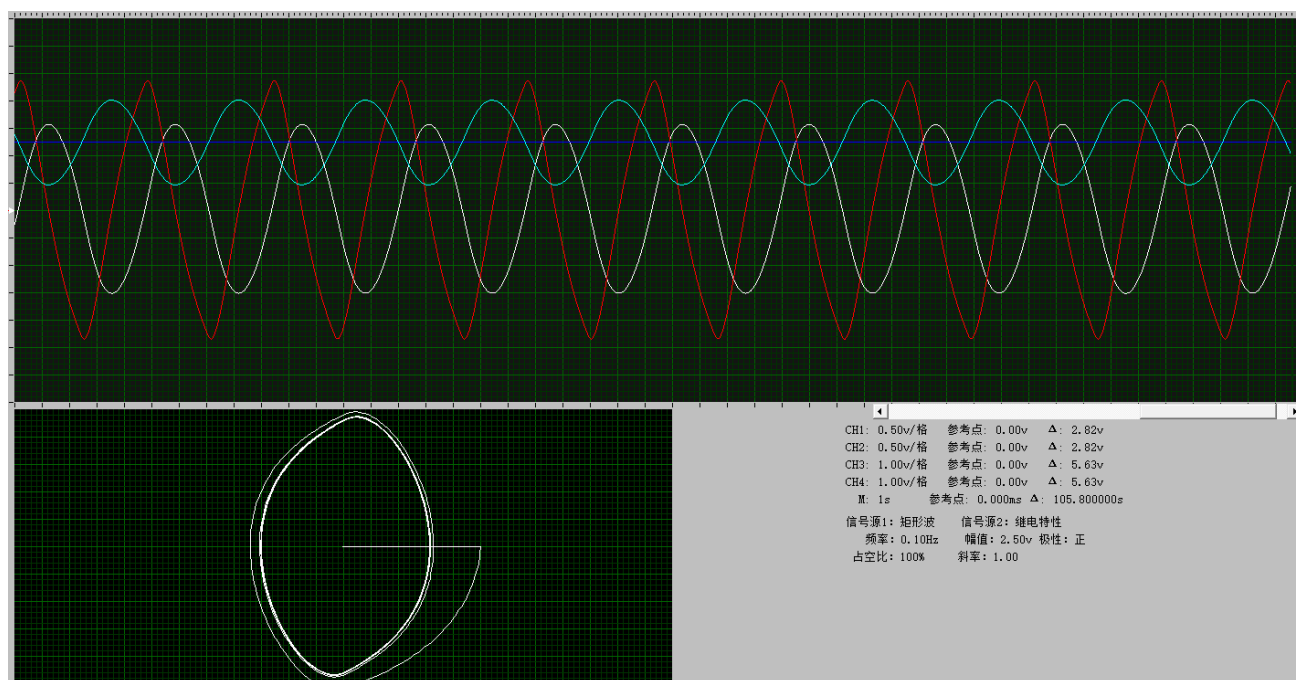
（2）系统的观测与调整

断开电源，按图 10-1 的模拟电路组成继电型非线性三阶控制系统。

继电型非线性控制系统的实验记录

惯性环节增益 (调节电阻 R3)	时域输出	相平面图	自振频率 $\omega_A(rad/s)$	周期 $T(s)$	振幅 $A(V)$
			测量值 理论值	测量值 理论值	测量值 理论值
R3=500K	如下图	如下图			

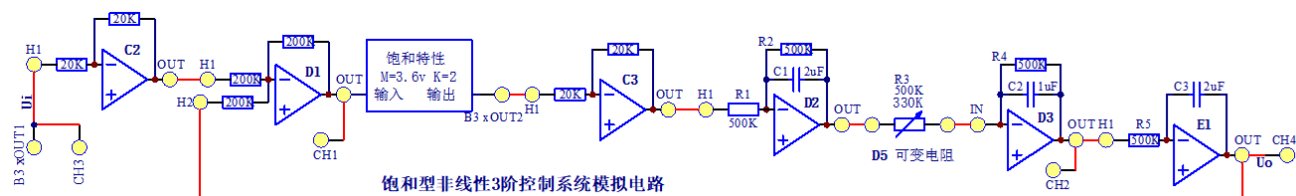
时域和相平面输出如下图



2. 饱和型非线性控制系统

(1) 饱和型非线性控制系统的分析与设计

饱和性非线性三阶控制系统的模拟电路见图 10-2 所示。



①列写其线性部分传递函数及非线性部分负倒特性函数，判断系统是否存在周期运动，若存在，求出振荡参数。

当 $R_1 = 500K$ 时线性部分传递函数：

$$G(s) = \frac{1}{s(1+s)(1+0.5s)}$$

非线性部分负倒特性函数：

$$-\frac{1}{N(A)} = -\frac{1}{\frac{4}{\pi} \cdot \left[\sin^{-1} \frac{1.8}{A} + \frac{1.8}{A} \cdot \sqrt{1 - \left(\frac{1.8}{A} \right)^2} \right]}$$

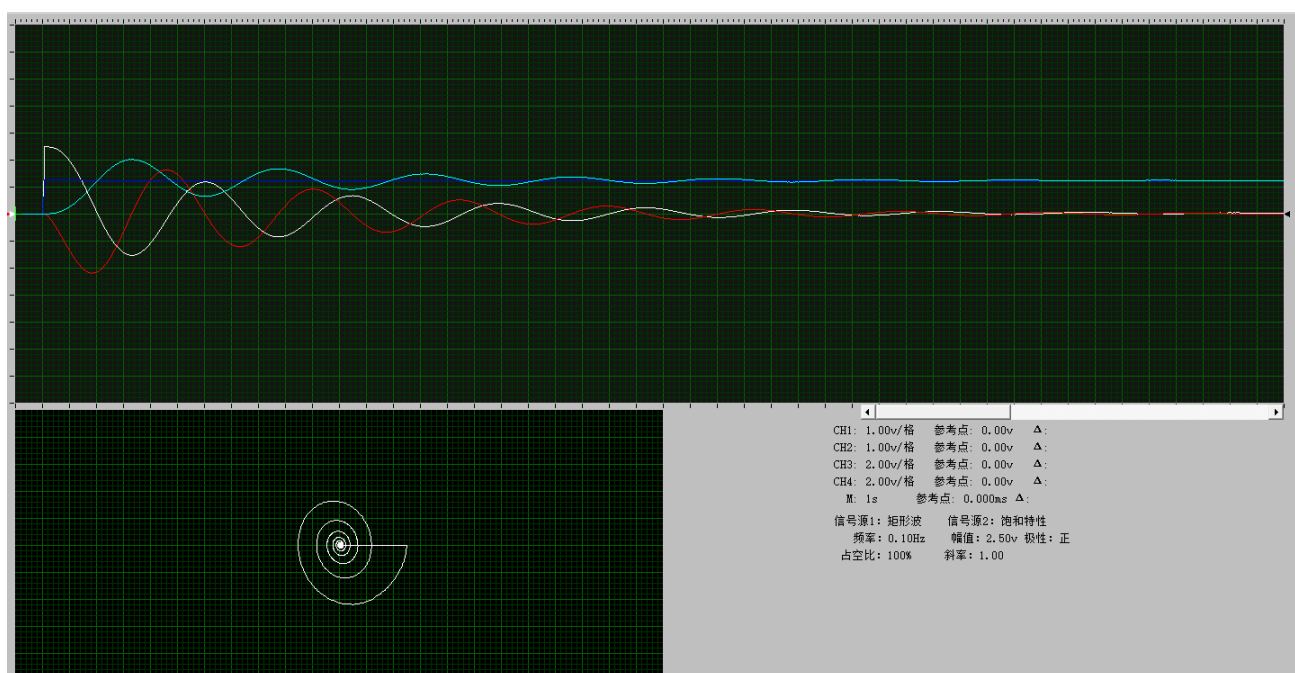
系统不存在周期运动。

②改变惯性环节增益（改变输入电阻 $R_3=300K$ ），判断系统是否存在周期运动，若存在，求出振荡参数。

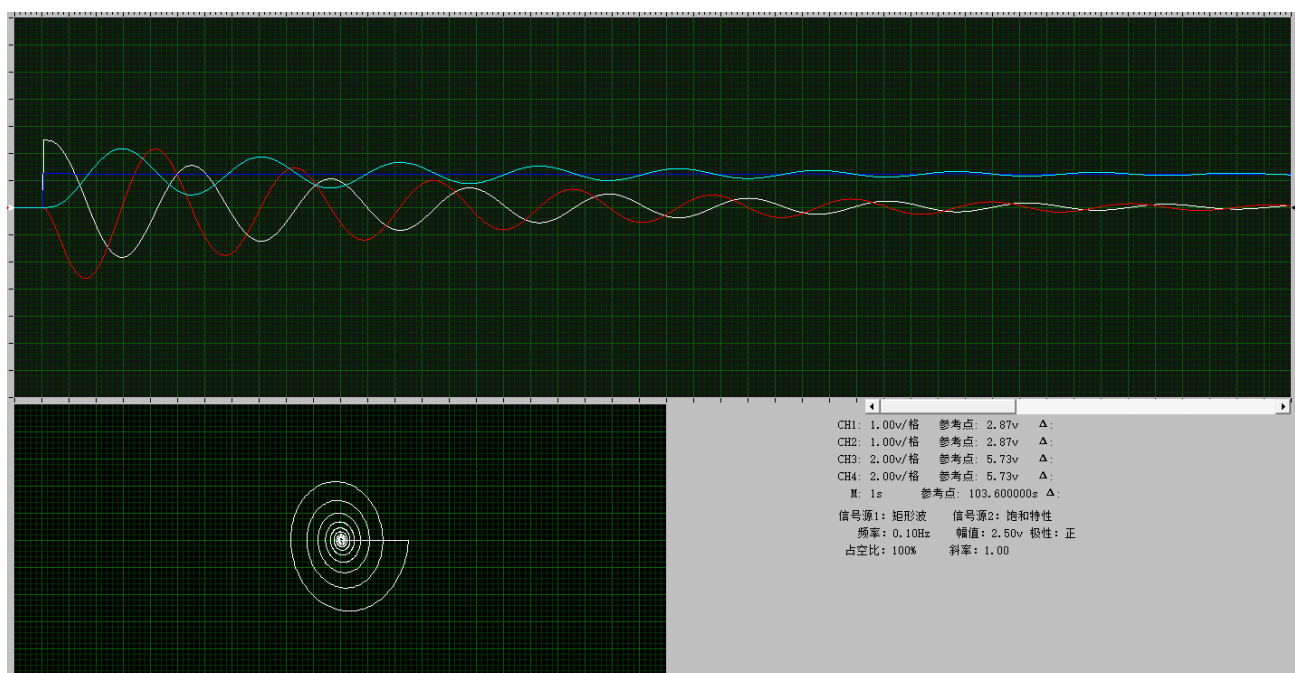
$G(j\omega)$ 的轨迹和 $-\frac{1}{N(A)}$ 的轨迹相交，系统存在周期运动。自激振荡的振幅 $A = 2.23$ ，振荡频率 $\omega = 1.414rad/s$ 。

③保持原惯性环节增益（改变输入电阻 $R_3=500K$ ），求出使系统存在自激振荡的饱和特性临界斜率 k ，并求出振荡参数。

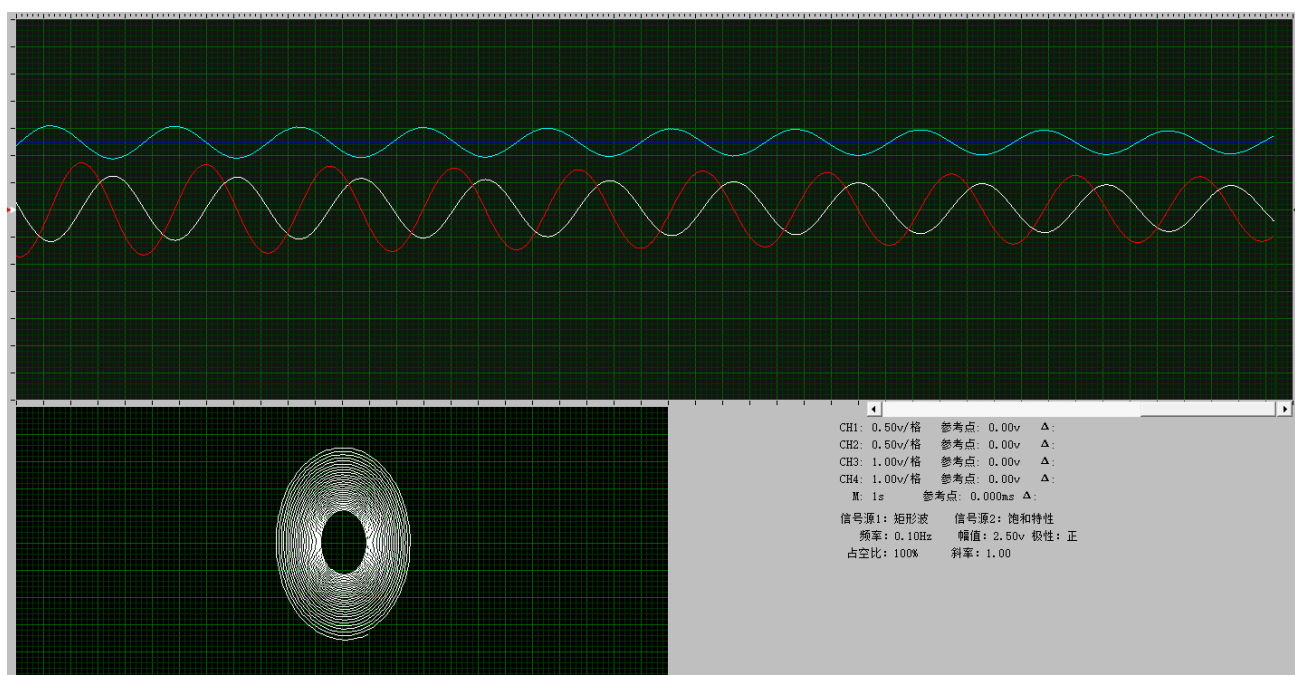
$R_3=500K$ 斜率 $k=2$



R3=330K 斜率 $k=1.51$



R3=500K 斜率 $k=3$



根据理论分析和实验结果总结一下消除自激振荡的方法有哪些。

若 $G(j\omega)$ 的轨迹和 $N(A)$ 的轨迹不相交，则不会产生自激振荡。因此可以通过人为修改参数的方式避免两条曲线产生交点，可以通过修改惯性环节的比例系数或时间常数来实现。