

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：实验七、八

实验名称：采样和最少拍系统设计

实验时间：2024/10/17 星期四

实验人员 1：

专业班级：自卓 2201 班

学 号：U202215275

姓 名：董晨晨

实验人员 2：

专业班级：自卓 2201 班

学 号：U202215067

姓 名：杨欣怡

实验七 采样系统的分析

一、实验目的

1. 了解判断采样系统稳定性的充要条件。
2. 了解采样周期 T 对系统的稳定性的影响。
3. 掌握采样系统处于临界稳定状态时的采样周期 T 的计算。
4. 观察和分析采样系统在不同采样周期 T 时的瞬态响应曲线。

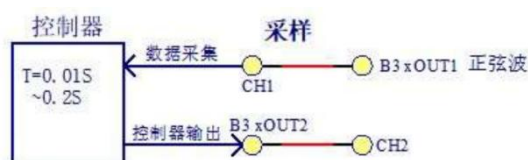
二、实验仪器及设备

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

1. 信号采样

采样实验框图如下图所示。计算机通过模/数转换模块以一定的采样周期对信号源（B1）产生的正弦波信号采样，并通过上位机显示。在不同采样周期下，观察比较输入及输出的波形（失真程度）。下图“控制器”为内部集成软硬件运算单元，不需要另外接线。



(1) 按下表插孔连线

- 1 正弦波信号输入 B3 (xOUT1) 正弦波输出 \rightarrow B3 (CH1) 虚拟示波器
- 2 采样以后输出 B3 (xOUT2) 控制器输出 \rightarrow B3 (CH2) 虚拟示波器

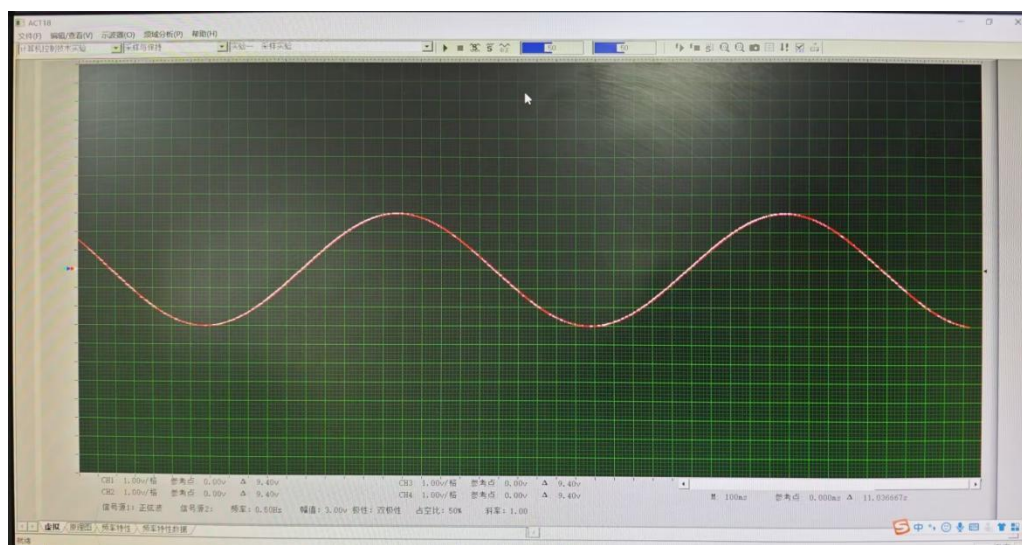
(2) 运行、观察

在软件工具栏最左边下拉框选择“计算机控制实验”，然后第二个下拉框内选择采样与保持 / 采样实验，点击工具条上“设置”，改变采样周期，点击工具条上“启动虚拟示波器”，实验运行。

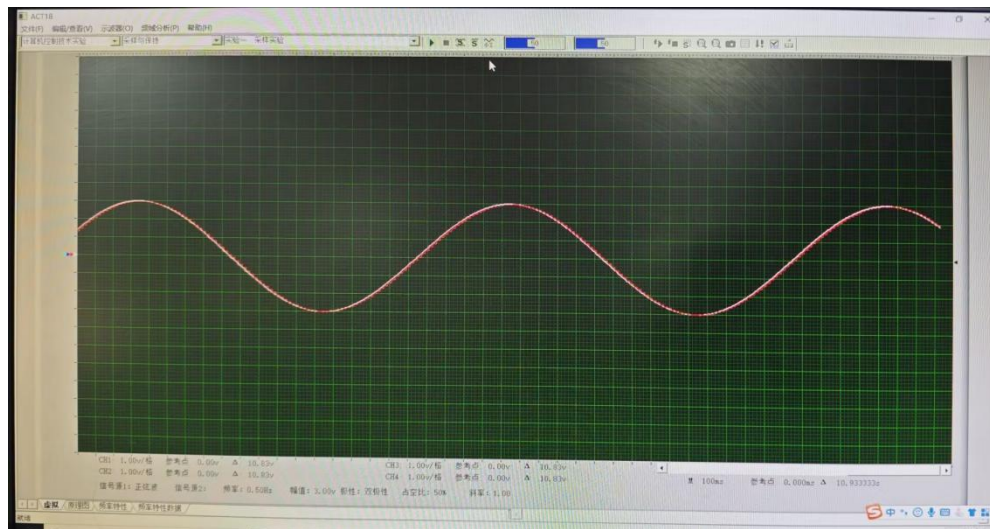
(3) 实验数据记录

在数值区间【0.01 秒-0.2 秒】内选择 3-4 个点作采样周期，记录所选取点频率的采样波形。

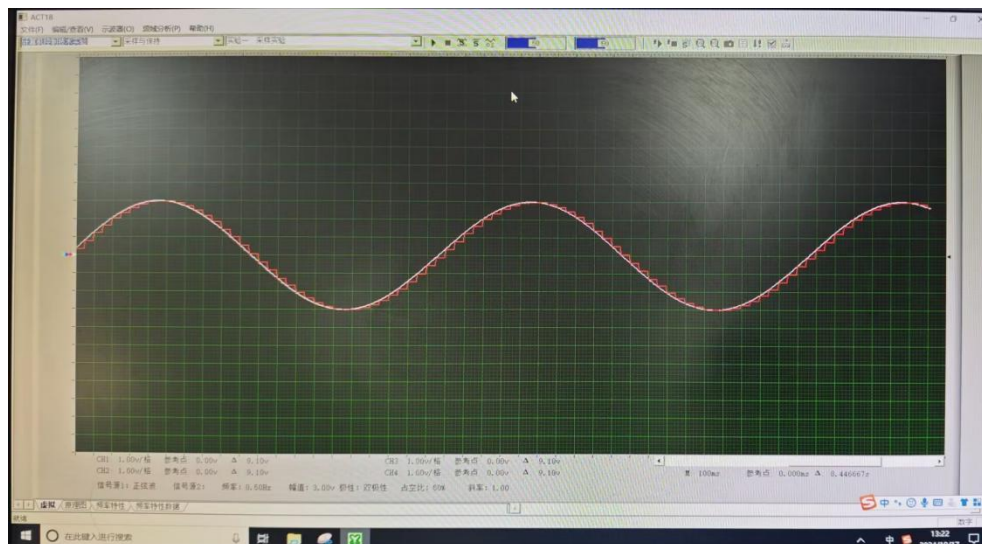
- 采样周期 $T=0.01s$



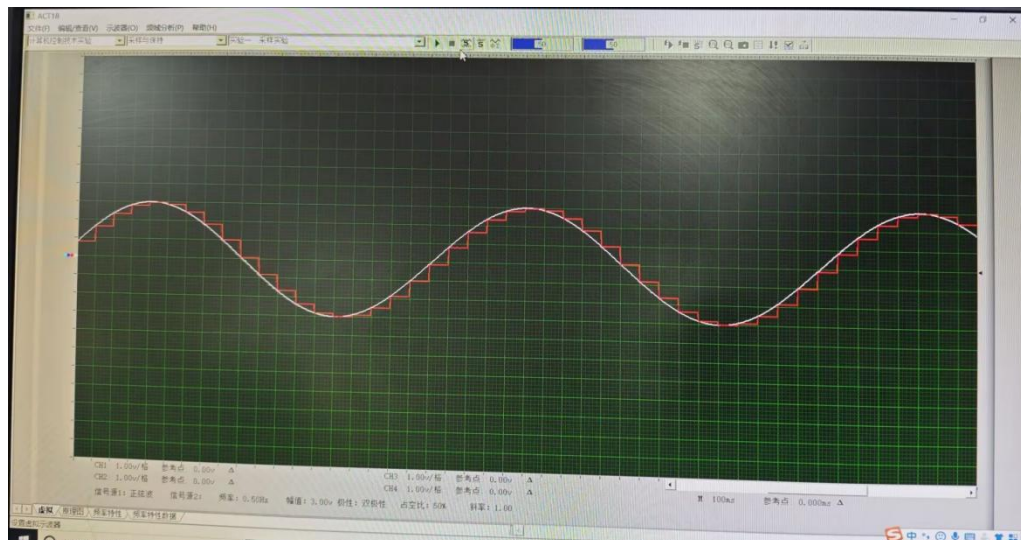
- 采样周期 $T=0.02s$



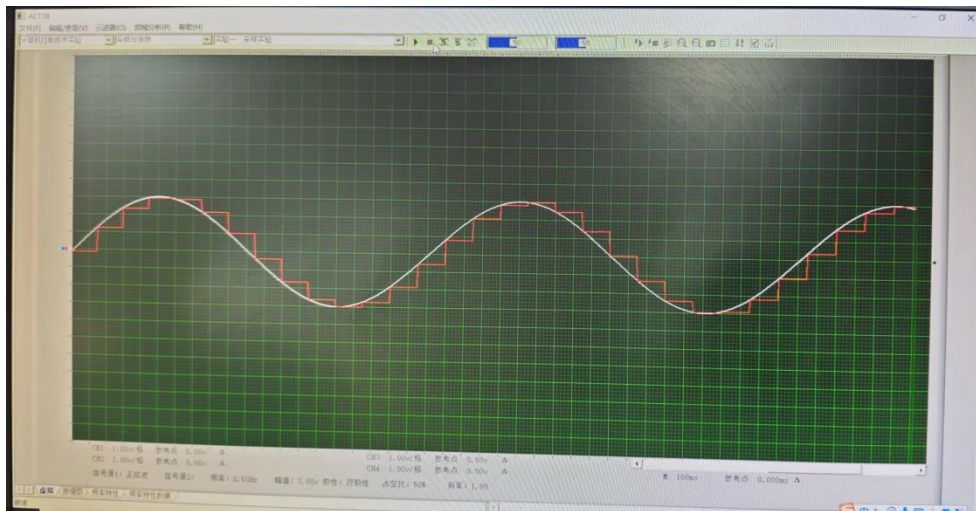
- 采样周期 $T=0.05s$



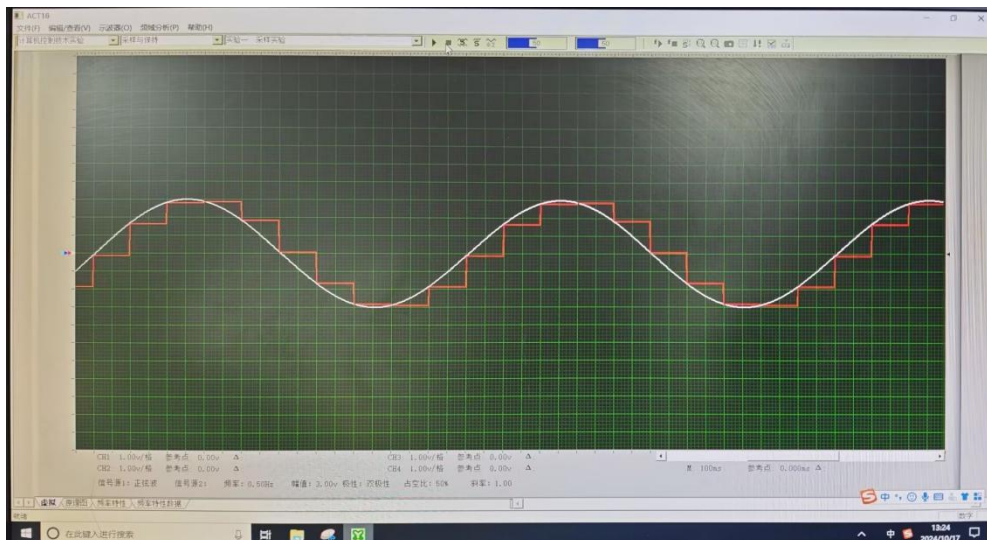
- 采样周期 $T=0.1s$



- 采样周期 $T=0.15s$

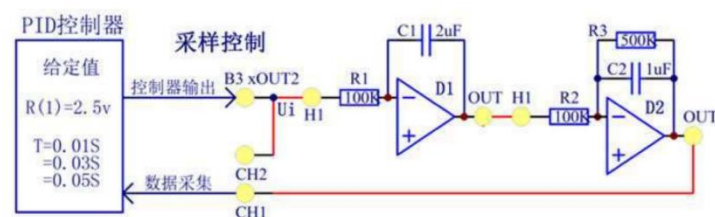


- 采样周期 $T=0.2s$



2. 采样控制

如下图所示的闭环采样系统。注意：PID 控制器已在内部集成，不需要另外接线。



计算系统的闭环脉冲传递函数，计算为使得系统临界稳定时候的采样周期 T 。

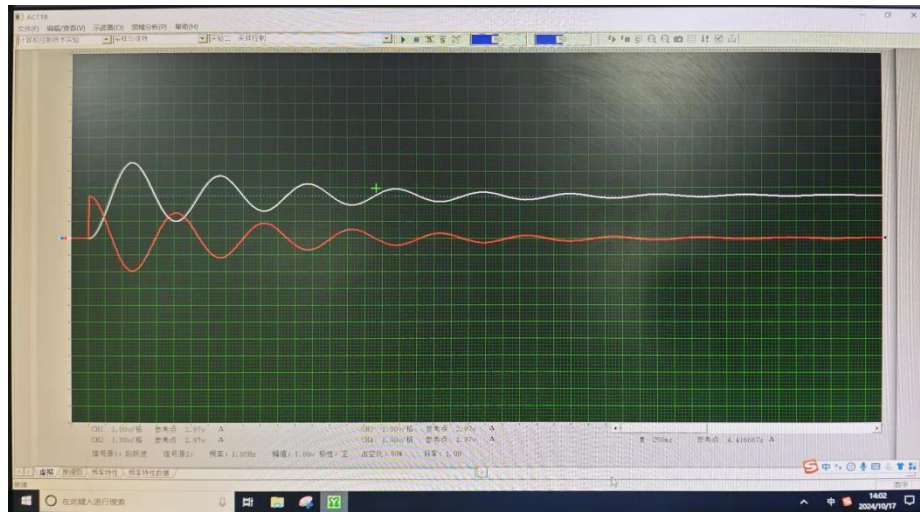
(1) 如下表连接电路元件

- B3 区: xOUT2 — D1 区: H1
- D1 区: OUT — D2 区: H1
- B3 区: xOUT2 — B3 区: CH2
- D2 区: OUT — B3 区: CH1

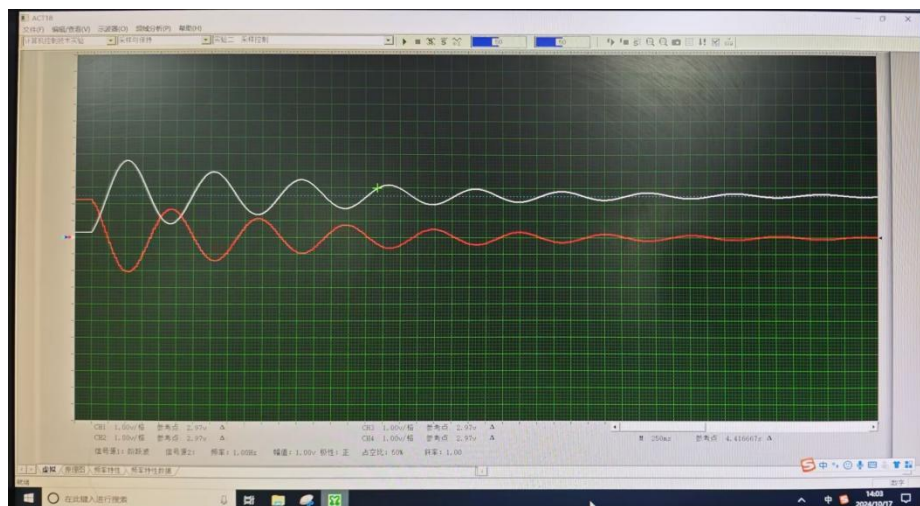
(2) 运行、观察、记录

选择采样与保持 / 采样控制，点击工具条上“设置”，分别改变采样周期分为 0.015 秒、0.03 秒和 0.09 秒，点击工具条上“启动虚拟示波器”，实验运行。记录在不同采样周期下的输出波形以及稳定性。

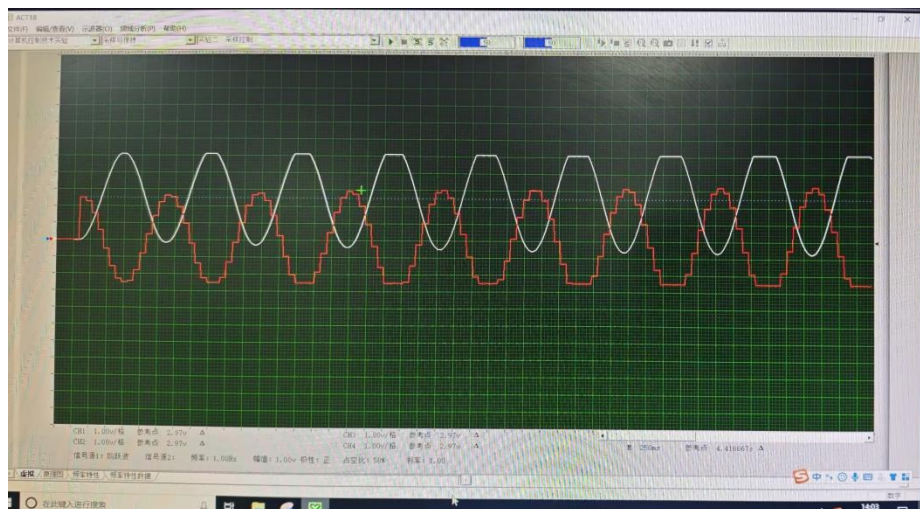
- 采样周期 $T=0.015\text{s}$



- 采样周期 $T=0.03\text{s}$



- 采样周期 $T=0.09\text{s}$



(3) 实验数据记录

改变采样控制系统的被控对象，测量系统的临界稳定采样周期 T 。其中， $A1$ 为第一级放大器， $A2$ 为第二级放大器。

	积分时间常数 $T_i(A1)$	开环增益 K ($A2$)	惯性时间常数 $T(A2)$	临界稳定的采样周期 T	
				计算值	测量值
1	0.2	5	0.5	0.0823	0.0833
2		3		0.1341	0.1441
3	0.1	2	0.2	0.1100	0.1050

计算过程：

① $T_i=0.2$, $K=5$, $T=0.5$

传递函数 $G_1(s) = \frac{5}{s}$, $G_2(s) = \frac{10}{s+2}$. 则 $G(s) = \frac{50}{s(s+2)}$.

z 变换后, $G(z) = \frac{z-1}{z} Z[\frac{50}{s^2(s+2)}] = \frac{50}{4} \frac{z-1}{z} Z[\frac{2}{s^2} - \frac{1}{s} + \frac{1}{s+2}] = \frac{50}{4} \frac{z-1}{z} (\frac{2Tz}{(z-1)^2} - \frac{z}{z-1} + \frac{z}{z-e^{-2T}})$

闭环特征方程: $1 + G(z) = 0$, 得 $2z^2 + (50T - 27 + 23e^{-2T})z + (25 - 50Te^{-2T} - 23e^{-2T}) = 0$
令 $z=-1$, 解得 $T=0.0823s$

② $T_i=0.2$, $K=3$, $T=0.5$

传递函数 $G_1(s) = \frac{3}{s}$, $G_2(s) = \frac{6}{s+2}$. 则 $G(s) = \frac{30}{s(s+2)}$.

z 变换后, $G(z) = \frac{z-1}{z} Z[\frac{30}{s^2(s+2)}] = \frac{30}{4} \frac{z-1}{z} Z[\frac{2}{s^2} - \frac{1}{s} + \frac{1}{s+2}] = \frac{30}{4} \frac{z-1}{z} (\frac{2Tz}{(z-1)^2} - \frac{z}{z-1} + \frac{z}{z-e^{-2T}})$

闭环特征方程: $1 + G(z) = 0$, 得 $2z^2 + (30T - 17 + 13e^{-2T})z + (15 - 30Te^{-2T} - 13e^{-2T}) = 0$
令 $z=-1$, 解得 $T=0.1341s$

③ $T_i=0.1$, $K=2$, $T=0.2$

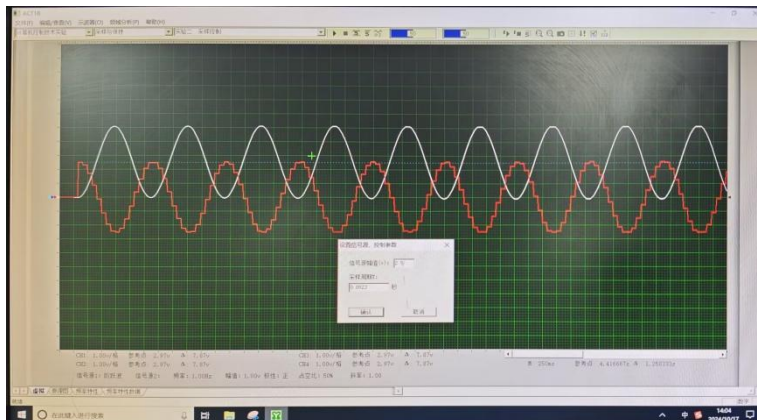
传递函数 $G_1(s) = \frac{10}{s}$, $G_2(s) = \frac{10}{s+5}$. 则 $G(s) = \frac{100}{s(s+5)}$.

z 变换后, $G(z) = \frac{z-1}{z} Z[\frac{100}{s^2(s+5)}] = \frac{100}{25} \frac{z-1}{z} Z[\frac{5}{s^2} - \frac{1}{s} + \frac{1}{s+5}] = 4 \frac{z-1}{z} (\frac{5Tz}{(z-1)^2} - \frac{z}{z-1} + \frac{z}{z-e^{-5T}})$

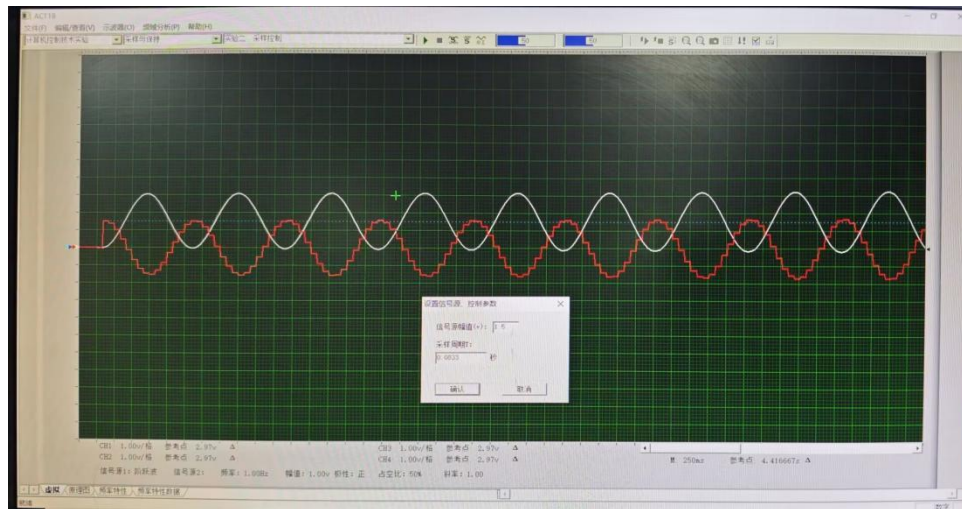
闭环特征方程: $1 + G(z) = 0$, 得 $z^2 + (20T - 5 + 3e^{-5T})z + (4 - 20Te^{-2T} - 3e^{-2T}) = 0$
令 $z=-1$, 解得 $T=0.1100s$

波形:

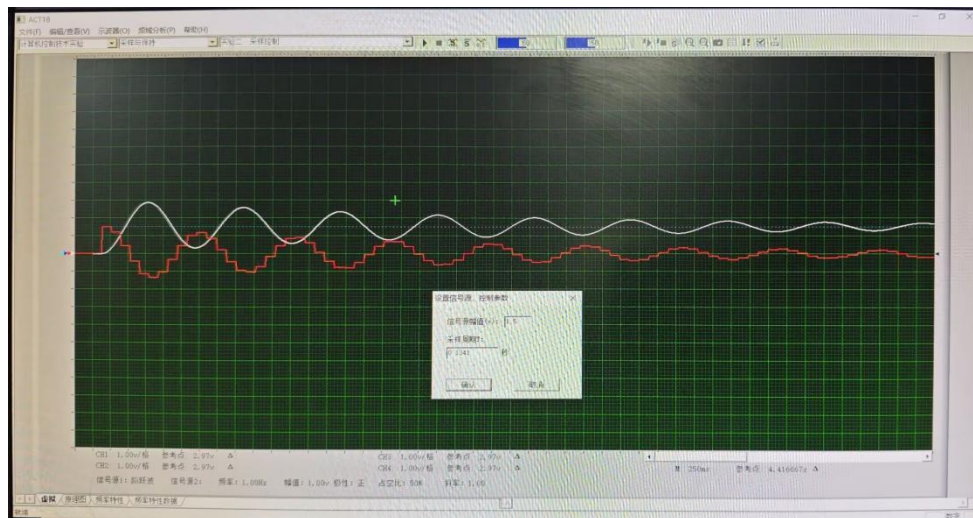
- 采样周期 $T=0.0823s$



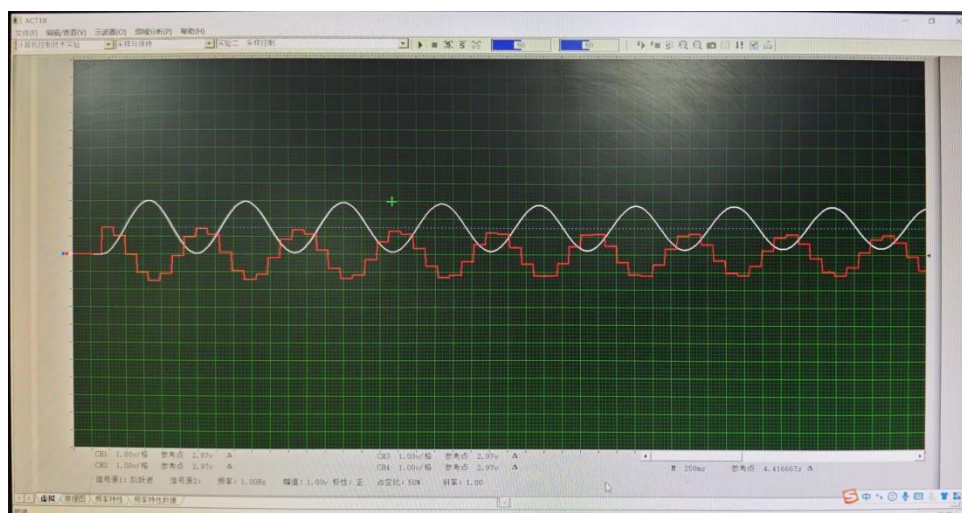
- 采样周期 $T=0.0833\text{s}$



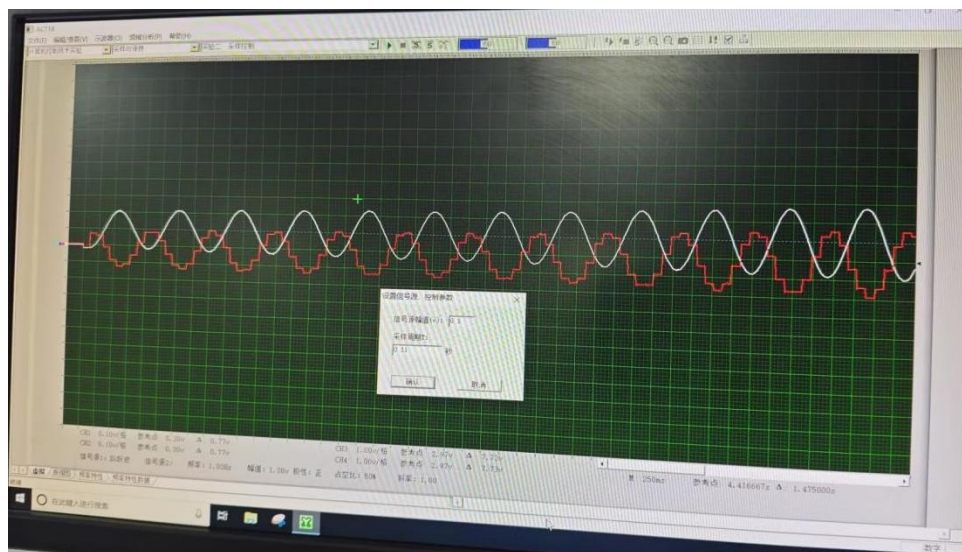
- 采样周期 $T=0.1341\text{s}$



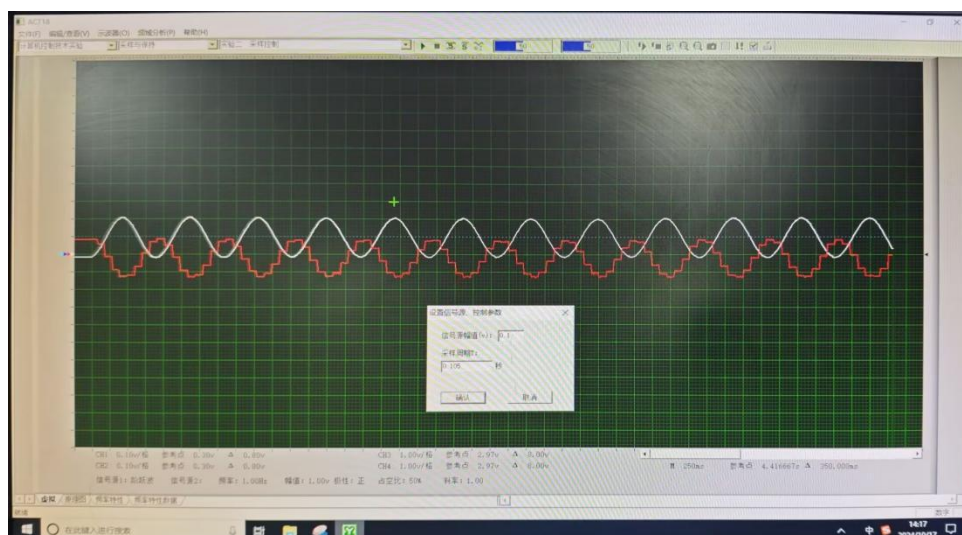
- 采样周期 $T=0.1441\text{s}$



- 采样周期 $T=0.1100s$



- 采样周期 $T=0.1050s$



四、实验分析

1、分析和比较实验结果。

1) 采样频率越高，输出波形与实际波形越相近，采样频率越低，输出波形与实际波形差异越明显。

2) 采样周期的选择会影响系统的稳定性，可利用离散系统的劳斯判据进行求解。

2、理论上分析采样周期对采样系统性能的影响，计算出使系统对于临界稳定时的采样周期，并于实验结果进行比较。

如果采样周期过长，系统可能无法及时响应输入信号的变化，导致系统不稳定。相反，如果采样周期过短，系统可能会因为过高的采样频率而产生过多的噪声，同样影响稳定性。

五、实验总结

加强理论学习：在进行实验之前，应加强对相关理论的学习和理解，以便更好地指导实验过程。

优化实验设计：在实验设计过程中，应充分考虑系统的特性和实验条件，选择合理的采样周期和 PID 参数，以提高实验的准确性和可靠性。

实验八 最少拍系统的设计

一、实验目的

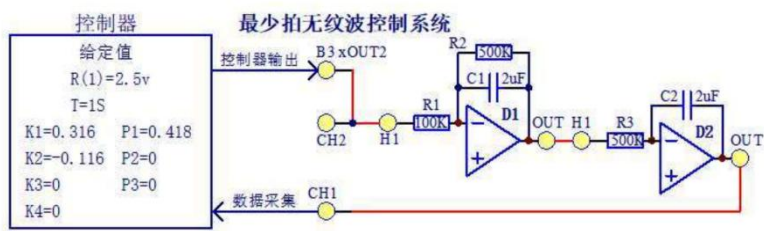
了解和掌握数字控制器的原理和直接设计方法。

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

1. 最少拍系统电路



- (1) 断开电源，按图的模拟电路组成系统。
- (2) 检查连线，确诊无误后闭合电源。
- (3) 运行“自控实验程序”，在工具栏三个下拉框分别选择“计算机控制技术”，“直接数字控制实验”，“实验二（2）最少拍控制--最少拍无纹波控制系统”。
- (4) 点击工具条上“设置”，按照下表分别设置控制参数。记录电路的输出波形，分析不同输出信号产生的原因，及最少拍控制的性能特点、优劣。

表 8-1 最少拍无纹波算法的输出波形

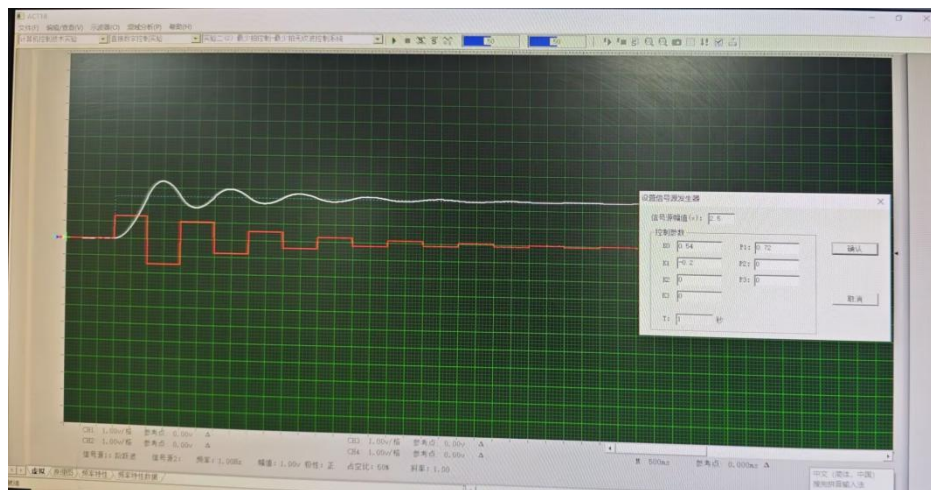
参数	$K_0=0.54, K_1=-0.2,$ $K_2=K_3=0$ $P_1=0.72, P_2=P_3=0$	$K_0=0.32, K_1=-0.12,$ $K_2=K_3=0,$ $P_1=0.42, P_2=P_3=0$
----	---	---

传递函数为：

$$G(s) = \frac{5}{s(s+1)}$$

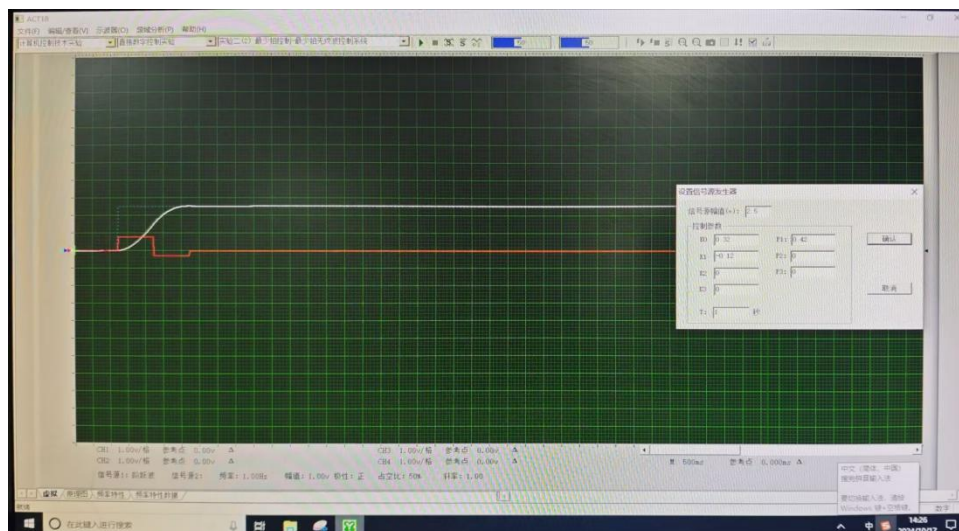
电路的输出波形有：

- ① $K_0 = 0.54, K_1 = -0.2, K_2 = K_3 = 0, P_1 = 0.72, P_2 = P_3 = 0$



在此处键入公式。

② $K_0 = 0.32, K_1 = -0.12, K_2 = K_3 = 0, P_1 = 0.42, P_2 = P_3 = 0$



四、实验分析

1. 控制器的脉冲传递函数

$$G(s) = \frac{25}{s(s+5)}, \text{ 则开环脉冲传递函数 } G(z) = \frac{z-1}{z} Z\left[\frac{25}{s^2(s+5)}\right]$$

$$\text{选取 } G_B(z) = bz^{-1}(1 + 0.7z^{-1}), \text{ 则 } G_e(z) = 1 - G_B(z) = (1 - z^{-1})(1 + az^{-1})$$

计算化简得 $a=0.41, b=0.59$

$$\text{数字控制器 } D(z) = \frac{G_B(z)}{G(z)[1-G_B(z)]} = \frac{0.319-0.118z^{-1}}{1+0.41z^{-1}}$$

2. 分析控制器的脉冲传递函数与实验中参数 K_i, P_i 之间的关系。

K_0 : 直接影响控制器的静态增益。当 $s=0$ 时（即直流分量），控制器的增益为 K_0 。在离散时间域中， K_0 的作用类似，但会受到采样周期 T 的影响。

K_1 : 与 s 成正比， K_1 影响控制器的动态响应。在高频段（即 s 较大时），控制器的增益主要由 K_1 决定。在离散时间域中， K_1 的作用与采样周期 T 和 z 的变换有关。

P_1 : 作为时间常数参数, P_1 影响控制器的低频响应。在低频段 (即 s 较小时), 控制器的增益和相位响应主要由 P_1 决定。在离散时间域中, P_1 的作用同样受到采样周期 T 和 z 的变换的影响。

3. 分析不同输出信号产生的原因, 及最少拍控制的性能特点、优劣。

① 最少拍控制可使系统在尽量少的采样周期内达到稳态。

② 最少拍控制的优缺点:

优点是调节时间较小, 响应速度较快。

缺点是系统只能使用一种类型的输入, 系统参数变化后对系统影响很大。

③ 相较于最少拍有纹波控制, 最少拍无纹波控制以牺牲调节时间的代价, 保证在采样点之间的误差值也为零, 这样可以减少实际控制中的功率损耗和机械磨损。但同时最少拍无拍无纹波也只能针对一种类型的输入。纹波也只能针对一种类型的输入。

五、实验总结

在实验过程中, 如何准确设置和调整控制器的参数是一个关键问题。这些参数直接影响控制器的性能和系统的稳定性。

在实验设计和调整过程中, 我们学会了如何根据实验现象和数据来分析和解决问题。这锻炼了我们的逻辑思维和问题解决能力。

课后作业

题目: s 平面的恒定阻尼比轨迹映射到 z 平面的图形

解: 设 $\cos\beta = \xi$

s 平面在直角坐标系下表示为

$$s = \sigma + j\omega = -\omega\cos\beta + j\omega$$

则映射到 z 平面上有

$$z = e^{sT} = e^{(-\omega\cos\beta + j\omega)T} = e^{-\omega T\cos\beta} \angle \omega T$$

可以得到: $|z| = e^{-\omega T\cos\beta}$

$$\angle z = \omega T$$

映射轨迹如下:

