

实验 2 系统的稳定性分析实验

一、实验目的

1. 熟悉 Routh 判据，用 Routh 判据对三阶系统进行稳定性分析。
2. 掌握香农定理，了解信号的采样保持与采样周期的关系。
3. 掌握采样周期对采样系统稳定性的影响。

二、实验设备

1. PC 机一台
2. NI ELVIS III 一台
3. “Circuits Control Board - 1”(自动控制原理课程实验套件 1)
4. “Circuits Control Board - 2”(自动控制原理课程实验套件 2)
5. 导线 14 根

三、实验原理

1. 典型的三阶系统稳定性分析

(1) 方框图：

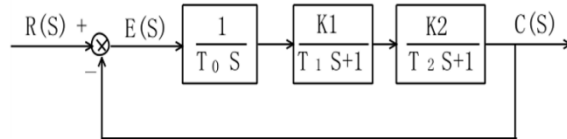


图 3-1 三阶系统方框图

(2) 模拟电路图：

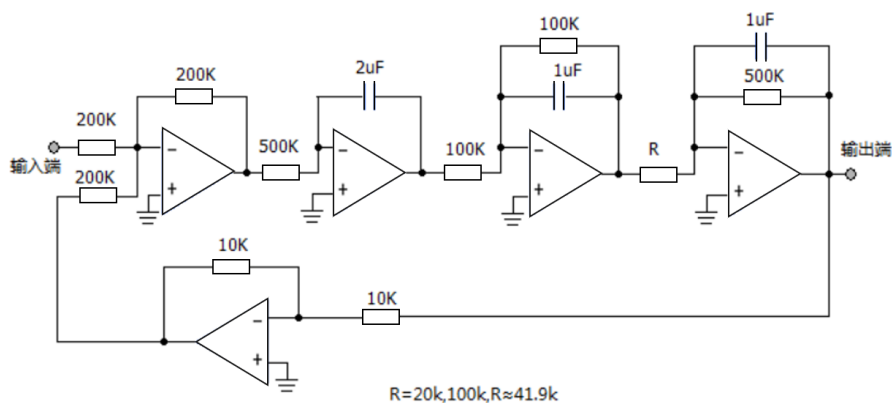


图 3-2 三阶系统模拟电路图

(3) 开环传递函数和特征方程：

系统的开环传递函数为：

$$G(S)H(S) = \frac{500/R}{S(0.1S + 1)(0.5S + 1)}$$

其中，开环增益 $K = 500/R$

系统的特征方程为：

$$1 + G(S)H(S) = 0 \Rightarrow S^3 + 12S^2 + 20S + 20K = 0$$

(4) 实验内容：

在开始实验前由 Routh 判据得到 Routh 行列式为：

S^3		
S^2		
S^1		
S^0		

为了保证系统稳定，第一列的各项值应该都为正数。计算系统稳定时下表各参数的取值范围

$0 < K < ?$	$R > ?$	系统稳定
$K = ?$	$R = ?$	系统临界稳定
$K > ?$	$R < ?$	系统不稳定

注意：实际实验中，由于器件精度和个体差异等原因，测量值可能会与理论值之间存在偏差，偏差在 20% 范围内都是正常情况。

2. 信号的采样保持

(1) “采样-保持器”LF398

(a) “采样-保持器”LF398 介绍

本实验采用“采样-保持器”LF398 芯片。它具有采样和保持功能，是一种模拟信号存储器，在逻辑指令控制下，对输入的模拟量进行采样和寄存。通过使用“采样-保持器”LF398 能够实现将连续信号离散后以零阶保持器输出信号的功能。

(b) “采样-保持器”LF398 引脚图：

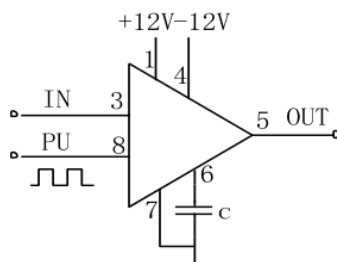


图 3-3 LF398 引脚图

采样周期 T 等于输入至 LF398 第 8 脚的脉冲信号周期，高电平时采样，低电平时保持。此脉冲信号由 ELVIS III 的数字输出端 A/DIO0 产生，改变脉冲的频率就能够改变采样周期。

(c) “采样-保持器”LF398 方框图：

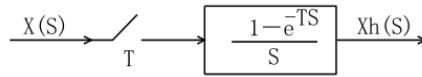


图 3-4 采样保持功能方框图

(2) 信号的采样保持

采样保持模拟电路图：

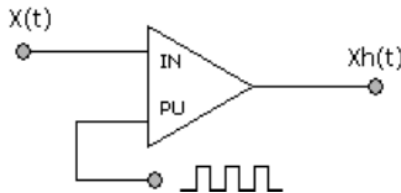


图 3-5 采样保持电路模拟电路图

连续信号 $x(t)$ 经采样器采样后变为离散信号 $x^*(t)$ ，香农(Shannon)采样定理指出，离散信号 $x^*(t)$ 可以完满地复原为连续信号条件为：

$$\omega_s \geq 2\omega_{\max}$$

其中， ω_s 为采样角频率， $\omega_s = \frac{2\pi}{T}$ (T 为采样周期)； ω_{\max} 为信号 $x(t)$ 连续频谱 $|X(j\omega)|$ 中的最大角频率。上式也可以表示为：

$$T \leq \frac{\pi}{\omega_{\max}}$$

例如：若连续信号 $x(t)$ 是角频率为 $\omega_s = 2\pi \times 25$ 的正弦波，它经采样后变为 $x^*(t)$ ，则 $x^*(t)$ 经保持器能复原为连续信号的条件是采样周期 $T \leq \frac{\pi}{\omega_s}$ ，(正弦波 $\omega_{\max} = \omega_s = 50\pi$)，所以：

$$T \leq \frac{\pi}{50\pi} = \frac{1}{50} = 20\text{ms}$$

3. 闭环采样控制系统

a) 方框图：

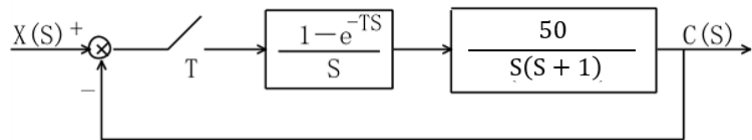


图 3-6 闭环采样系统方框图

b) 模拟电路图:

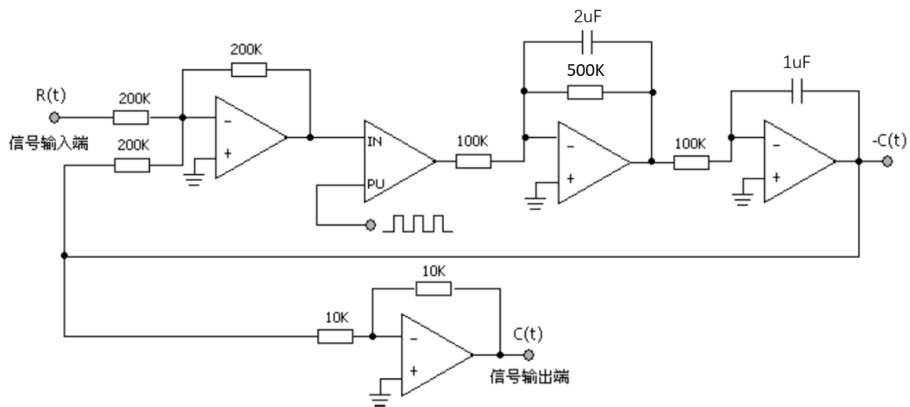


图 3-7 闭环采样系统模拟电路图

c) 传递函数:

$$G(S) = \frac{50}{S(S+1)}$$

四、典型环节稳定性分析

1. 实验准备

- (1) 启动计算机，并检查 ELVIS III 的 USB 线是否连接到电脑。USB 线接口如图 3-8 A 所示；
- (2) 将“Circuits Control Board - 1”(自动控制原理课程实验套件 1)插入 ELVIS III 的插槽中；
- (3) 打开 ELVIS III 电源。电源开关位置在 ELVIS III 背后，如图 3-8 B 所示；



图 3-8 ELVIS III 平台开关及 USB 接口示意图

- (4) 打开自动控制原理课程实验套件板子开关。
- (5) 确认 ELVIS III 能够识别并显示实验板信息。

(6) 在计算机上运行名为“实验 3 典型环节的稳定性分析实验”的 LabVIEW 工程。

- 软件位置：

...\自动控制原理课程实验套件\实验 3 典型环节的稳定性分析实验\实验代码

- 工程打开界面：

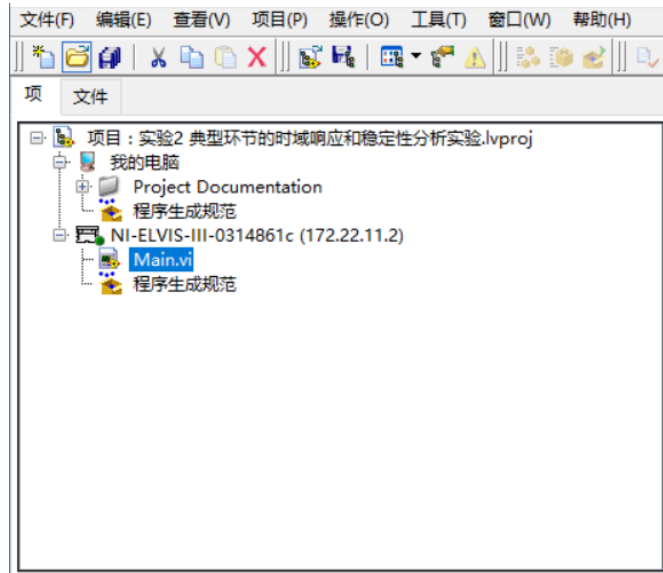


图 3-9 工程打开界面

- 双击打开 Main.vi，并单击程序运行按钮，程序运行界面如图 3-10 所示：

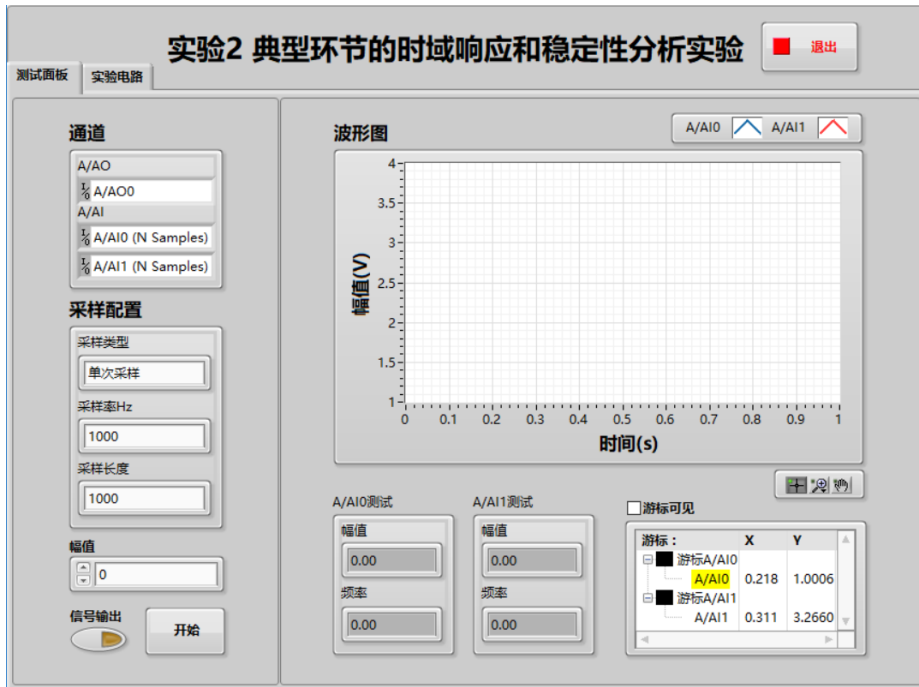


图 3-10 程序运行界面

(7) 检查实验所需导线是否足够。本实验所需导线数量为 11 根。

2. 测试面板

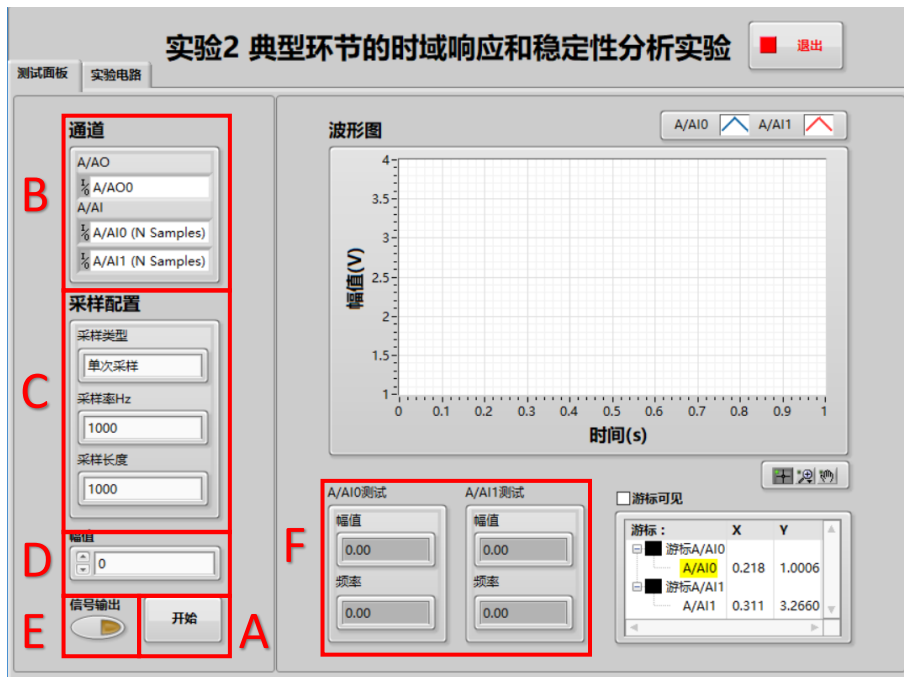


图 3-11 测试面板组成

- (1) 开始按钮和结束按钮

如图 3-11 A 所示。

未开始采集时，点击“开始”按钮开始进行采集；采样类型为“连续采样”并正在采集中时，点击“结束”按钮停止采集。

- (2) 通道

如图 3-11 B 所示。

该区域会自动显示实验所使用的 ELVIS III 资源，包括 AI 和 AO。

- (3) 采样配置

如图 3-11 C 所示。

在每次实验前都需要进行采样配置，包括采样类型、采样率 Hz 和采样长度。采样类型包括“单次采样”和“连续采样”两种模式。使用“单次采样”模式，则采样的持续时间=采样长度/采样率；使用“连续采样”模式，则波形图的更新时间=采样长度/采样率。

通过合理配置采样率和采样长度，使采样时间内采集到的反馈波形能够清晰地表现曲线特征。如果输出信号是振荡信号，建议采用“单次运行”模式，这样可以捕捉到最佳的振荡衰减或者发散信号，如果输出信号是等幅振荡信号，则可以选择连续运行模式。

(4) 幅值和信号输出

幅值如图 3-11 D 所示；信号输出如图 3-11 E 所示。

“幅值”设置阶跃信号输出的幅值。受到设备硬件的限制，幅值的有效调节范围为-10V~+10V。

“信号输出”按钮独立控制信号的输出，在程序运行后，可以用该按钮控制阶跃信号的输出。该按钮被按下后(黄灯亮起)，在进行采集时，ELVIS III 的模拟输出口 AO 才会输出阶跃信号，幅值等于设置幅值，否则输出电压值为 0。

(5) A/AI0 和 A/AI1 测试

如图 3-11 F 所示。

通道 A/AI0 和 A/AI1 的测试数据显示，包括幅值和频率。

(6) 波形图

a) 波形图组成

i. 波形图

如图 3-12 A 所示，能够显示采集得到的电压波形，从而得到电路的输入和输出，并能够清晰地表现曲线特征以及输入和输出之间的关系。

ii. 图例

如图 3-12 B 所示，能够配置波形图的各种参数。

iii. 图形工具选板

如图 3-12 C 所示，能够实现波形曲线的移动和缩放。

iv. 游标

如图 3-12 D 所示。在未进行采集的状态下点击“游标可见”，在前面添加对勾。此时波形图上会出现游标，游标图例框中显示游标的坐标。在确认“图形工具选板”选中第一种功能状态，如下图所示，将鼠标放置在波形图的游标上，鼠标变为“空心十字”后，拖动鼠标实现游标的移动。

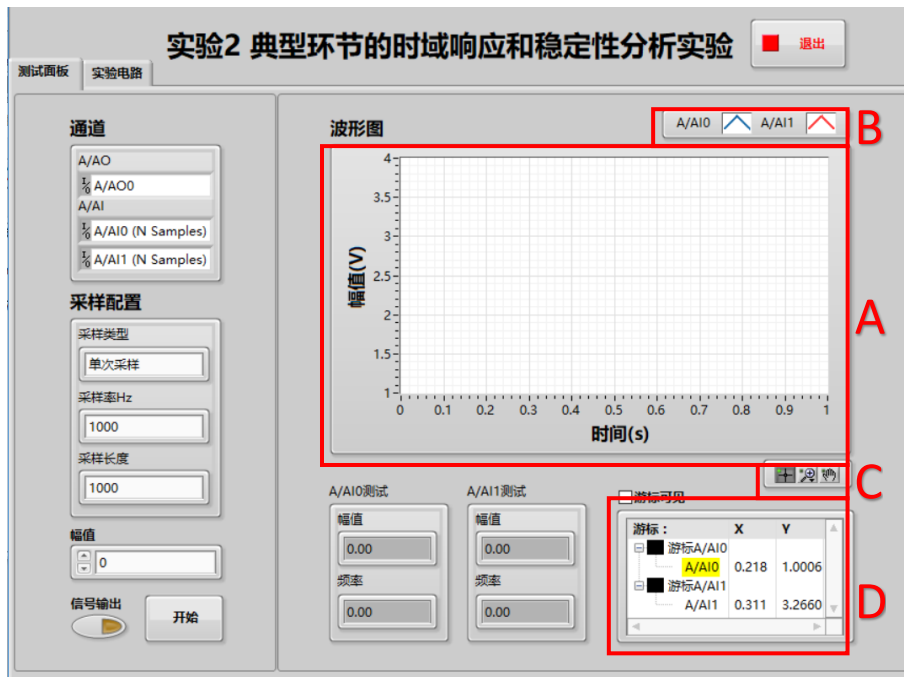


图 3-12 波形图组成



图 3-13 刻度调整

b) 波形图常用功能

i. 调整刻度

- 在实际的实验测量过程中，如果坐标刻度范围不能很好的表现曲线特征，可以人为调整刻度值。具体方法如下：
- 在刻度数值上点击鼠标右键，点击“自动调整 X 标尺”（“自动调整 Y 标尺”），取消前边的对勾。

- 在刻度的最大值或最小值上单击或双击鼠标左键，直接输入需要的数值即可。
- 输入完成后“回车”或在空白处单击鼠标左键，完成对刻度值的更改。
- 需要注意的是，如果不取消“自动调整 X 标尺”(“自动调整 Y 标尺”)前边的对勾，直接进行刻度值的修改，波形图仍会根据波形曲线自动进行调整。

ii. 波形数据存储

如果需要存储波形，可以在波形图上单击右键，在右键菜单中选择“导出”，如果需要导出波形数据选择“导出数据至 Excel”；如果需要导出波形图像选择“导出简化图像”，在弹出的对话框中选择要保存的路径，可以将波形保存成简化图的 bmp 格式文件。

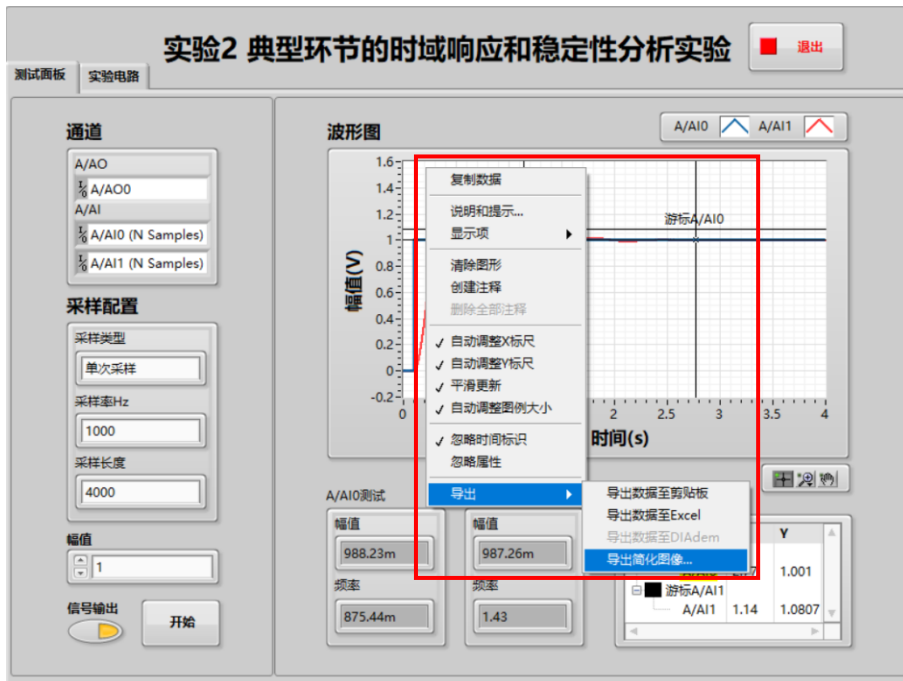


图 3-14 波形图像数据存储

3. 实验步骤

(1) 实验接线

三阶系统模拟电路图：

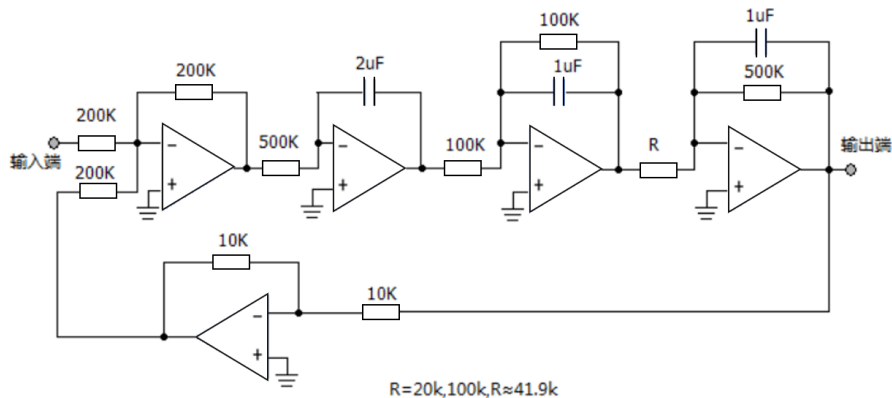


图 3-15 三阶系统模拟电路图

根据模拟电路图，实验接线有多种接法，只要能搭建成理论电路既可，注意接线过程切勿带电操作。

接线提示具如下：

- 将 A/AO0 连接 P201，使用 ELVIS III 的模拟信号输出端 A/AO0 产生阶跃信号作为电路的输入，如上图连线⑤；
- 将 P209 连接 A/AI1，使用 ELVIS III 的模拟信号输入端 A/AI1 采集电路的输出，如上图连线⑩；
- 将 A/AO0 连接 A/AI0，跟踪输入信号，能够同时在计算机上看到电路的输入和输出，如上图连线⑪。
- 完成其他部分电路搭接，按照实验报告选取不同的电阻值。实验接线完成后，请再次检查电路接线是否正确，确认无误后上电。

(2) 软件设置

- 该环节设置为单次采样，如下图 A：
- 设置采样率为 1kHz，如下图 B：
- 设置采样数为 4k，采样时长即为采样数除以采样率，此处为 4 秒，如下图 C：
- 设置信号幅值为 1V，如下图 D：
- 设置信号输出，将“信号输出”按钮点亮，此时 A/AO0 将会输出阶跃信号，如下图 E：

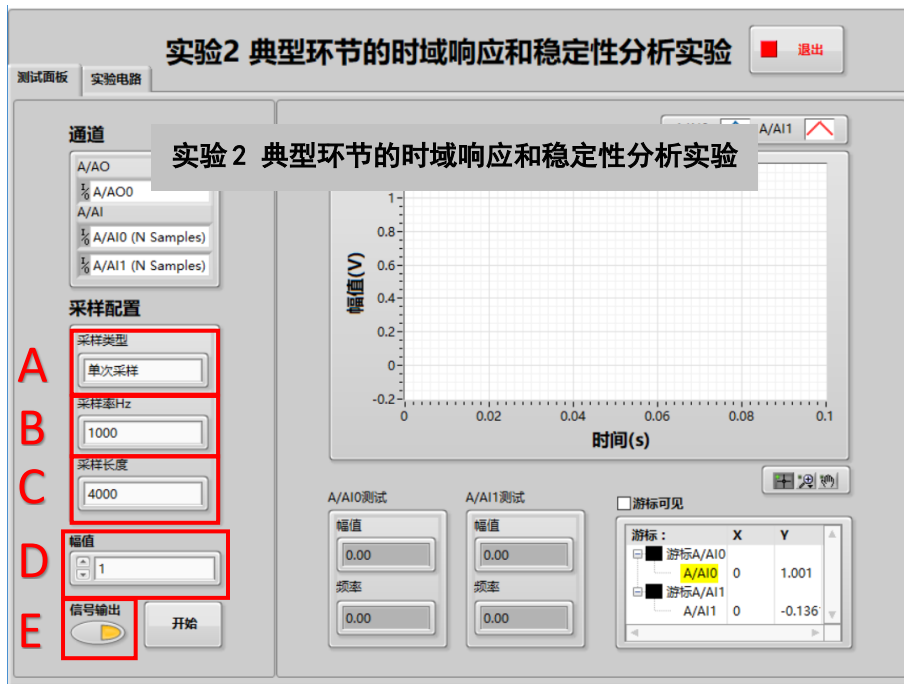


图 3-16 三阶系统软件设置

(3) 运行软件并观察实验结果

注意:

在每次点击“开始”按钮进行采集之前都需要手动对电容进行放电，放电方法是按下与电容并联的按键开关，短接电容两端。按下按键持续几秒后松手，并迅速点击“开始”按钮进行采集，如果松手后间隔时间过久再采集，在间隔时间中电容就会充电。对电容放电是为了避免由于电容充电而导致的输出饱和状态，影响实验结果。

- 点击“开始”按钮;
- 观察系统阶跃信号曲线和响应曲线:

(4) 更换电阻 R 的阻值，调节等幅振荡临界点

为了能够实现等幅振荡，在电路不变的情况下，将定值电阻 R 替换为可调电阻 RV6。

本实验中的滑动变阻器顺时针旋转阻值增大，逆时针旋转阻值减小。在该环节中，滑动变阻器阻值增大使系统收敛，阻值减小使系统发散。临界点是让系统处于发散和收敛的临界状态，表现为等幅振荡。

调节等幅振荡临界点实验的具体步骤如下:

- 滑动变阻器的选取:
 - 电阻 R201(滑动变阻器 RV6, 30k~50k);
- 软件设置

- 该环节设置为连续采样，如下图 A:
- 设置采样率为 1kHz，如下图 B:
- 设置采样数为 4k，如下图 C:
- 设置信号幅值为 1V，如下图 D:
- 设置信号输出，将“信号输出”按钮点亮，此时 A/AO0 将会输出阶跃信号，如下图 E:

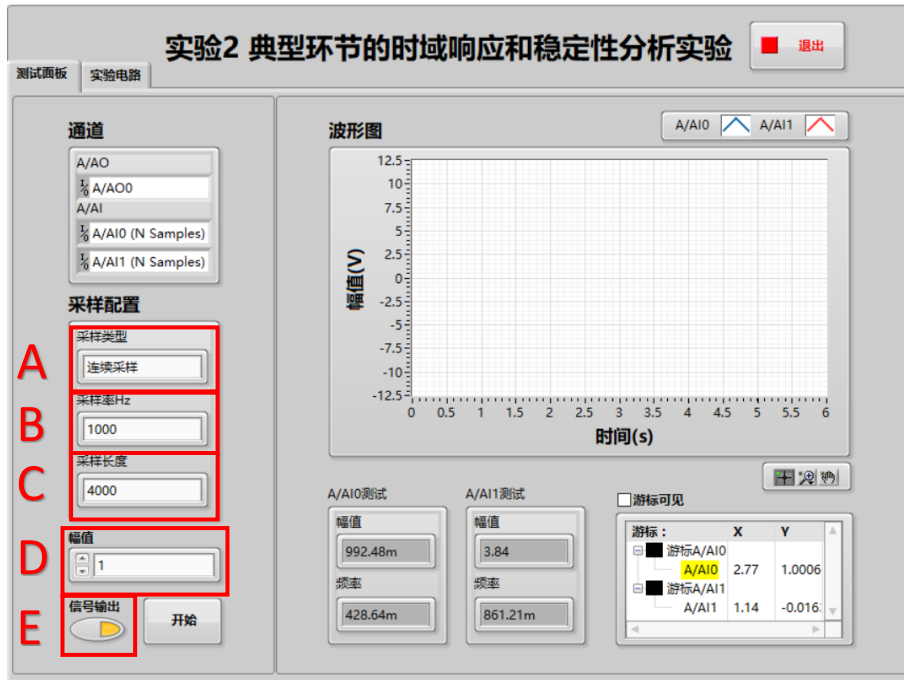


图 3-17 三阶系统调节等幅振荡软件设置

- 粗调：在断电并且滑动变阻器未连线的情况下，调节滑动变阻器 RV6 使得 P35 和 P36 两端的电阻值为临界振荡时电阻 R 的理论值。
- 上电：在确保电容已经放电充分的条件下，点击开始按钮进行采集，观察系统响应曲线的收敛情况。
- 微调：调节滑动变阻器 RV6，使得系统的响应曲线等幅振荡。由于精度和个体差异，每个模块的临界点不一样，需要仔细调节，调节过程要细致，要有耐心。
- 观察：

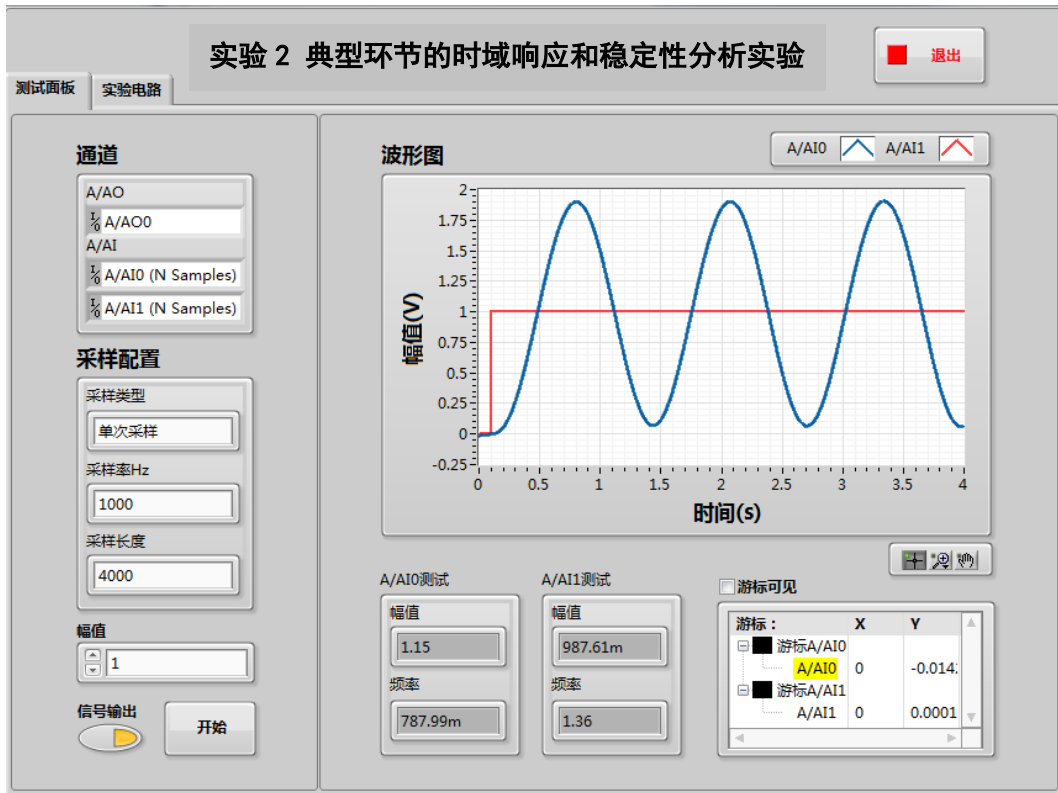


图 3-18 三阶系统临界等幅振荡

(g) 点击“结束”按钮停止采集

(5) 更换电阻 R 的阻值，观察系统阶跃信号曲线和响应曲线

(a) 软件设置

- 该环节设置为单次采样，如下图 A:
- 设置采样率为 1kHz，如下图 B:
- 设置采样数为 10k，采样时长即为采样数除以采样率，此处为 10 秒，如下图 C:
- 设置信号幅值为 1V，如下图 D:
- 设置信号输出，将“信号输出”按钮点亮，此时 A/AO0 将会输出阶跃信号，如下图 E:

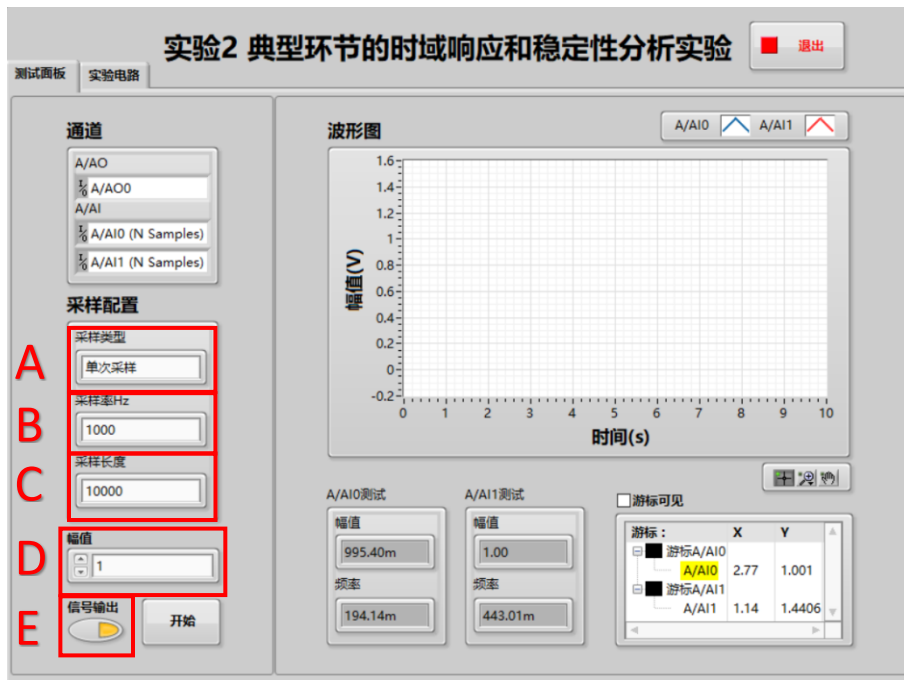


图 3-19 三阶系统 R 为定值电阻软件设置

本实验结束，关闭 ELVIS III 试验台电源，并整理好导线。

4. 实验结果

将典型三阶系统在不同开环增益下的响应情况实验测试值填入下表

典型三阶系统在不同开环增益下的响应情况实验结果参考值

R(K Ω)	开环增益 K	稳定性
10		
30		
100		
R=___		临界等幅振荡

五、离散系统的稳定性分析

1. 实验准备

- (1) 启动计算机，并检查 ELVIS III 的 USB 线是否连接到电脑。USB 线接口如图 3-20 A 所示；
- (2) 将“Circuits Control Board - 2”(自动控制原理课程实验套件 1)插入 ELVIS III 的插槽中；
- (3) 打开 ELVIS III 电源。电源开关位置在 ELVIS III 背后，如图 3-20 B 所示；



图 3-20 ELVIS III 平台开关及 USB 接口示意图

- (4) 打开自动控制原理课程实验套件板子开关。
- (5) 确认 ELVIS III 能够识别并显示实验板信息。
- (6) 在计算机上运行名为“实验 6 离散系统的稳定性分析实验”的 LabVIEW 工程。

- 软件位置：

...\自动控制原理课程实验套件\实验 6 离散系统的稳定性分析实验\实验代码

- 工程打开界面：

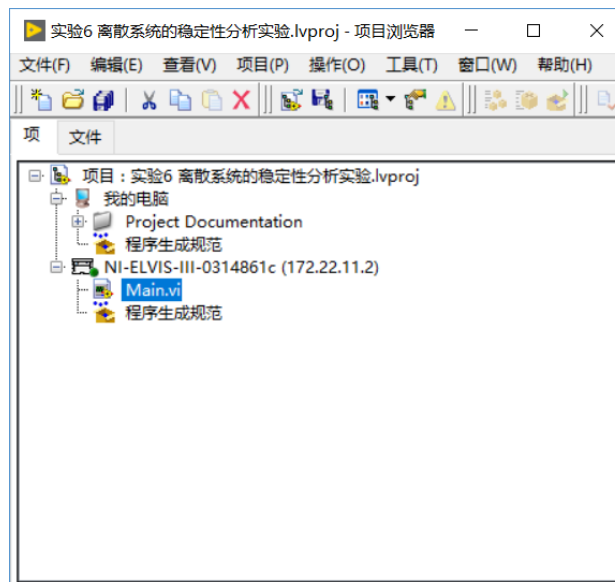


图 3-21 工程打开界面

- 双击打开 Main.vi，并单击程序运行按钮，程序运行界面如下图所示：



图 3-22 程序运行界面

(7) 检查实验所需导线是否足够。本实验所需导线数量为 14 根。

2. 测试面板

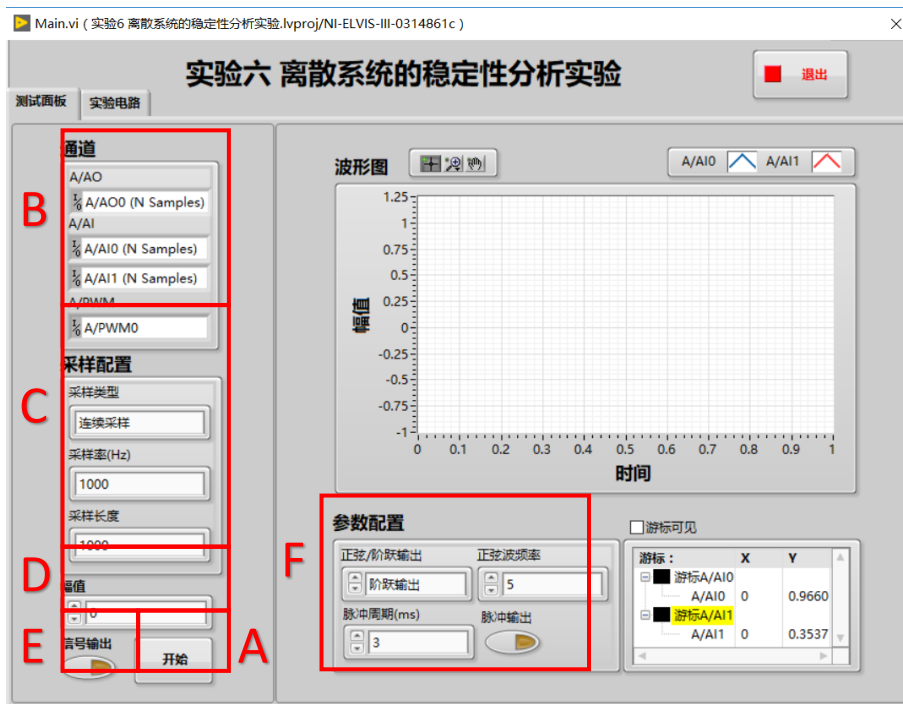


图 3-23 测试面板组成

(1) 开始按钮和结束按钮

如图 3-23 A 所示。

未开始采集时，点击“开始”按钮开始进行采集；采样类型为“连续采样”

并正在采集中时，点击“结束”按钮停止采集。

(2) 通道

如图 3-23 B 所示。

该区域会自动显示实验所使用的 ELVIS III 资源，包括 AI 和 AO。

(3) 采样配置

如图 3-23 C 所示。

在每次实验前都需要进行采样配置，包括采样类型、采样率 Hz 和采样长度。

采样类型包括“单次采样”和“连续采样”两种模式。使用“单次采样”模式，则采样的持续时间=采样长度/采样率；使用“连续采样”模式，则波形图的更新时间=采样长度/采样率。

通过合理配置采样率和采样长度，使采样时间内采集到的反馈波形能够清晰地表现曲线特征。如果输出信号是振荡信号，建议采用“单次运行”模式，这样可以捕捉到最佳的振荡衰减或者发散信号，如果输出信号是等幅振荡信号，则可以选择连续运行模式。

(4) 幅值和信号输出

幅值如图 3-23 D 所示；信号输出如图 3-23 E 所示。

“幅值”设置阶跃信号输出的幅值。受到设备硬件的限制，幅值的有效调节范围为-10V~+10V。

“信号输出”按钮独立控制信号的输出，在程序运行后，可以用该按钮控制阶跃信号的输出。该按钮被按下后(黄灯亮起)，在进行采集时，ELVIS III 的模拟输出口 AO 才会输出阶跃信号，幅值等于设置幅值，否则输出电压值为 0。

(5) A/AI0 和 A/AI1 测试

如图 3-23 F 所示。

通道 A/AI0 和 A/AI1 的测试数据显示，包括幅值和频率。

(6) 波形图

a) 波形图组成

i. 波形图

如图 3-24 A 所示，能够显示采集得到的电压波形，从而得到电路的输入和输出，并能够清晰地表现曲线特征以及输入和输出之间的关系。

ii. 图例

如图 3-24 B 所示，能够配置波形图的各种参数。

iii. 图形工具选板

如图 3-24 C 所示，能够实现波形曲线的移动和缩放。

iv. 游标

如图 3-24 D 所示。在未进行采集的状态下点击“游标可见”，在前面添加对勾。此时波形图上会出现游标，游标图例框中显示游标的坐标。在确认“图形工具选板”选中第一种功能状态，如下图所示，将鼠标放置在波形图的游标上，鼠标变为“空心十字”后，拖动鼠标实现游标的移动。



图 3-24 波形图组成



图 3-25 刻度调整

b) 波形图常用功能

i. 刻度

- 在实际的实验测量过程中，如果坐标刻度范围不能很好的表现曲线特征，可以人为调整刻度值。具体方法如下：
- 在刻度数值上点击鼠标右键，点击“自动调整 X 标尺”(“自动调整 Y 标尺”)，取消前边的对勾。
- 在刻度的最大值或最小值上单击或双击鼠标左键，直接输入需要的数值即可。
- 输入完成后“回车”或在空白处点击鼠标左键，完成对刻度值的更改。
- 需要注意的是，如果不取消“自动调整 X 标尺”(“自动调整 Y 标尺”)前边的对勾，直接进行刻度值的修改，波形图仍会根据波形曲线自动进行调整。

ii. 波形数据存储

如果需要存储波形，可以在波形图上单击右键，在右键菜单中选择“导出”，如果需要导出波形数据选择“导出数据至 Excel”；如果需要导出波形图像选择“导出简化图像”，在弹出的对话框中选择要保存的路径，可以将波形保存成简化图的 bmp 格式文件。



图 3-26 波形图像数据存储

3. 实验步骤

(1) 采样保持电路

a) 实验接线

采样保持电路模拟电路图：

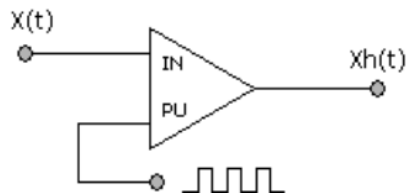


图 3-27 采样保持电路模拟电路图

根据模拟电路图，实验接线有多种接法，只要能搭建成理论电路既可，注意接线过程切勿带电操作。

连线提示如下：

i. 实验所需元器件：

- 无

ii. 连接实验电路

- 将 A/AO0 连接 P203，使用 ELVIS III 的模拟信号输出端 A/AO0 产生正弦信号作为电路的输入；

- 将 A/PWM0 连接 P204，使用 ELVIS III 的 PWM 输出脉冲；
- 将 P205 连接 A/AI1，使用 ELVIS III 的模拟信号输入端 A/AI1 采集电路的输出；
- 将 A/AO0 连接 A/AIO，跟踪输入信号，能够同时在计算机上看到电路的输入和输出。
- 实验接线完成后，请再次检查电路接线是否正确，确认无误后上电。

b) 软件设置

- 该环节设置为连续采样，如下图 A；
- 设置采样率为 1kHz，如下图 B；
- 设置采样数为 1k，采样时长即为采样长度除以采样率，此处为 1 秒，如下图 C；
- 设置信号幅值为 1V，如下图 D；
- 设置正弦/阶跃输出为正弦输，如下图 E；
- 设置正弦波频率为 5Hz，如下图 F；
- 设置脉冲周期 $T=3ms$ ，如下图 G；
- 设置脉冲输出，将“脉冲输出”按钮点亮，此时 A/PWM 将会输出脉冲，如下图 H；
- 设置信号输出，将“信号输出”按钮点亮，此时 A/AO0 将会输出正弦信号，如下图 I；



图 3-28 采样保持电路软件设置

c) 运行软件并观察实验结果

- 点击“开始”按钮;
- 观察采样保持电路的响应曲线:

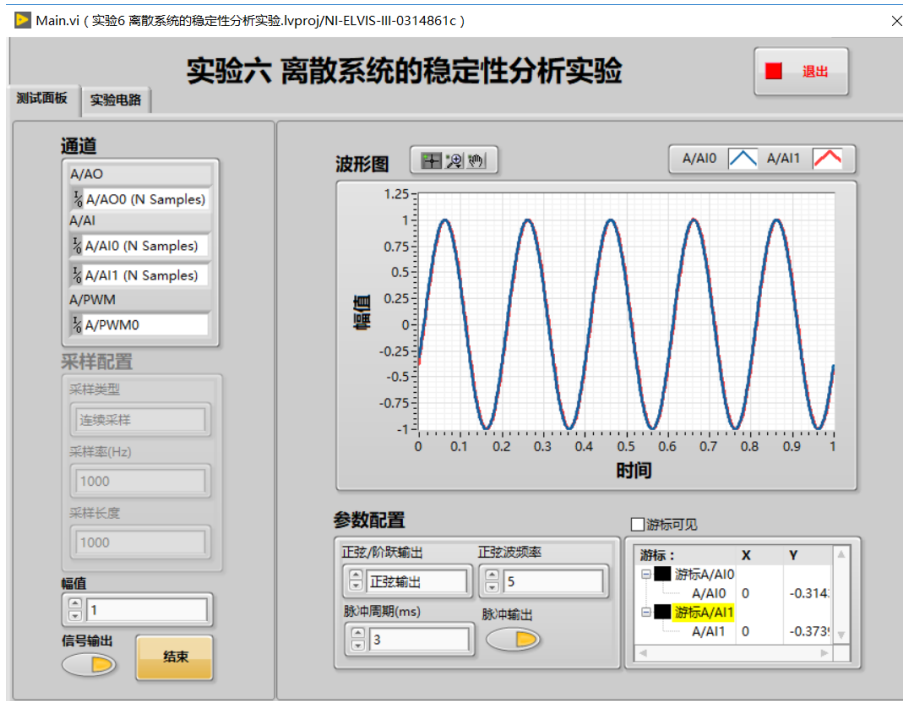


图 3-29 采样保持电路响应曲线 $T=3\text{ms}$

d) 更改脉冲周期 $T=30\text{ms}$, 观察采样保持的响应曲线

e) 点击“结束”按钮

f) 继续离散系统的稳定性分析实验

(2) 离散系统的稳定性分析

a) 实验接线

离散系统模拟电路图：

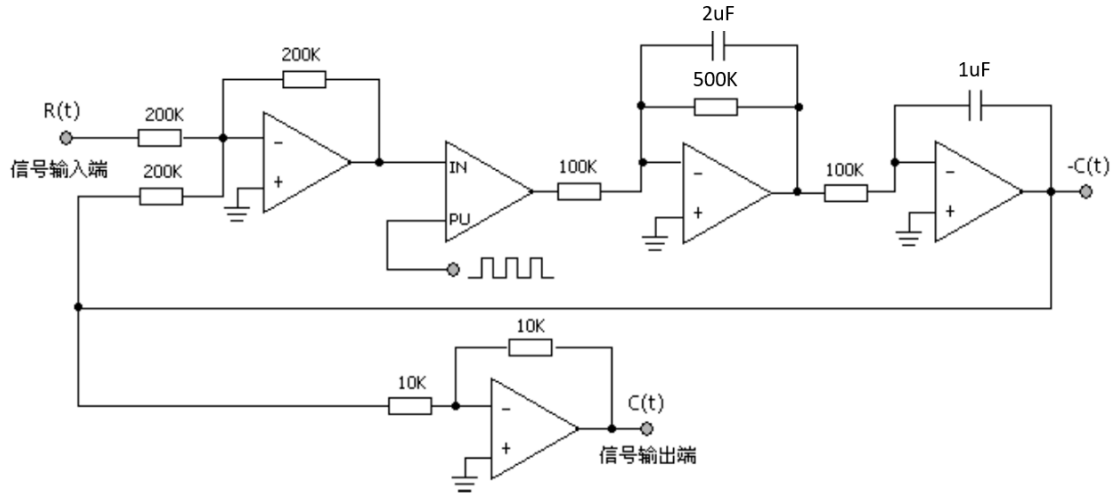


图 3-30 离散系统模拟电路图

根据模拟电路图，实验接线有多种接法，只要能搭建成理论电路既可，注意接线过程切勿带电操作。

连线提示如下：

- 将 A/A00 连接 P201，使用 ELVIS III 的模拟信号输出端 A/A00 产生阶跃信号作为电路的输入；
- 将 A/PWM0 连接 P204，使用 ELVIS III 的 PWM 输出脉冲；
- 将 P211 连接 A/A11，使用 ELVIS III 的模拟信号输入端 A/A11 采集电路的输出；
- 将 A/A00 连接 A/A10，跟踪输入信号，能够同时在计算机上看到电路的输入和输出。
- 根据电路图完成其余部分接线。实验接线完成后，请再次检查电路接线是否正确，确认无误后上电。

b) 软件设置

- 该环节设置为单次采样，如下图 A：
- 设置采样率为 1kHz，如下图 B：
- 设置采样长度为 5k，采样时长即为采样数除以采样率，此处为 5 秒，如下

图 C:

- 设置信号幅值为 1V，如下图 D:
- 设置正弦/阶跃输出为阶跃输出，如下图 E;
- 设置脉冲周期 $T=10\text{ms}$ ，如下图 G;
- 设置脉冲输出，将“脉冲输出”按钮点亮，此时 A/PWM 将会输出脉冲，如下图 H;
- 设置信号输出，将“信号输出”按钮点亮，此时 A/AO0 将会输出阶跃信号，如下图 I:



图 3-31 离散系统软件设置

c) 运行软件并观察实验结果

注意:

在每次点击“开始”按钮进行采集之前都需要手动对电容进行放电，放电方法是按下与电容并联的按键开关，短接电容两端。按下按键持续几秒后松手，并迅速点击“开始”按钮进行采集，如果松手后间隔时间过久再采集，在间隔时间中电容就会充电。对电容放电是为了避免由于电容充电而导致的输出饱和状态，影响实验结果。

- 点击“开始”按钮;
- 观察系统阶跃信号曲线和响应曲线:

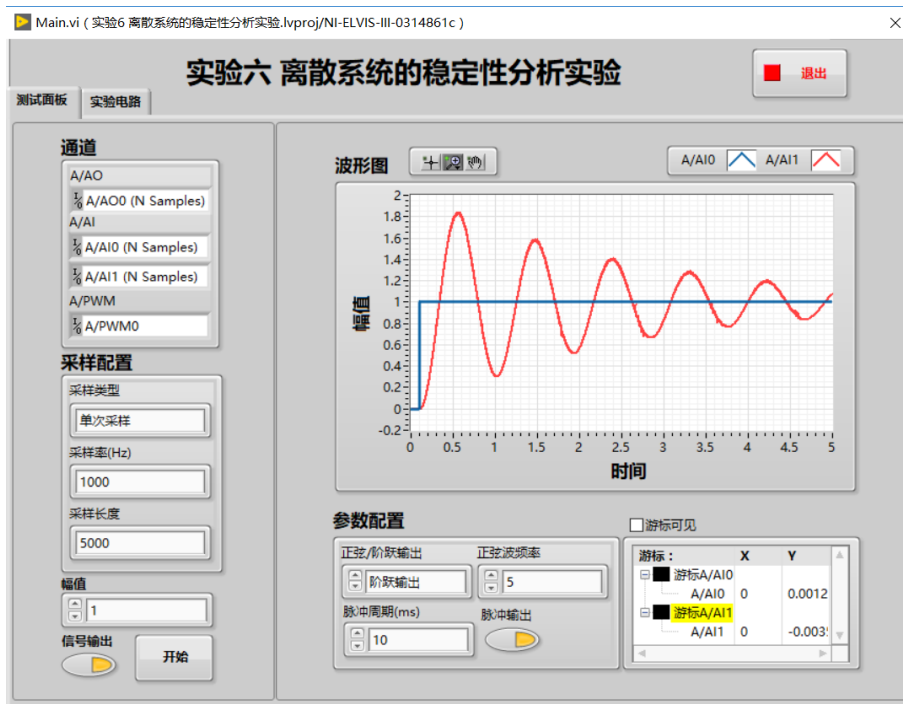


图 3-32 离散系统阶跃响应 $T=10\text{ms}$

d) 改变脉冲周期，观察系统阶跃信号曲线和响应曲线

当 $T=30\text{ms}$ 、 $T=50\text{ms}$ 时，观察系统阶跃信号曲线和响应曲线。

e) 改变脉冲周期 T ，调节等幅振荡临界点

保持硬件电路不变，改变脉冲周期，调节等幅振荡。具体方法如下：

i. 软件设置：

- 设置为连续采样，如下图 A：
- 设置采样率为 1kHz ，如下图 B：
- 设置采样长度为 5k ，如下图 C：
- 设置信号幅值为 1V ，如下图 D：
- 设置正弦/阶跃输出为阶跃输出，如下图 E：
- 设置脉冲周期为理论临界值；
- 设置脉冲输出，将“脉冲输出”按钮点亮，此时 A/PWM 将会输出脉冲；
- 设置信号输出，将“信号输出”按钮点亮，此时 A/AO0 将会输出阶跃信号，如下图 E：

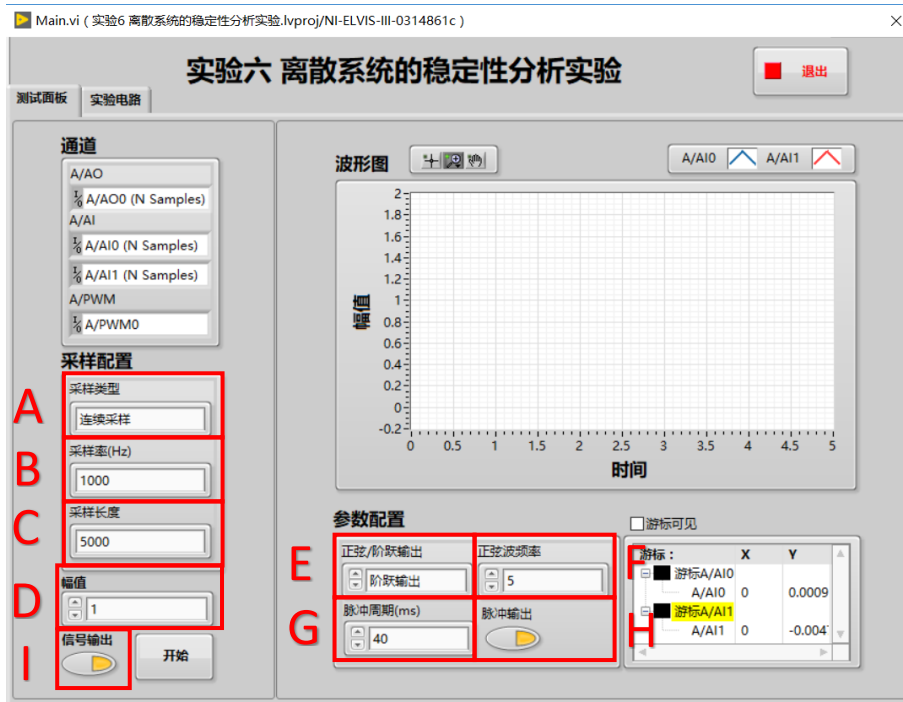


图 3-33 离散系统调节等幅振荡软件设置

ii. 运行软件

- 确保电容放电后点击“开始”按钮：

iii. 根据响应状态(发散还是收敛)调整脉冲周期，观察系统等幅振荡的状态

由于个体差异，每个模块的等幅周期不一定一致，此处要在临界稳定理论值基础上慢慢调节，要细致有耐心。脉冲周期增大，系统发散，脉冲周期减小，系统收敛。

由于理想的采样保持电路采样是在瞬间完成，采样时间趋于无穷小，但是在实际实验中是无法得到理想脉冲的。我们通过调节 PWM 的占空比和脉冲周期得到的实际脉冲，达不到无穷小的理想占空比，这就导致了实验结果的误差。

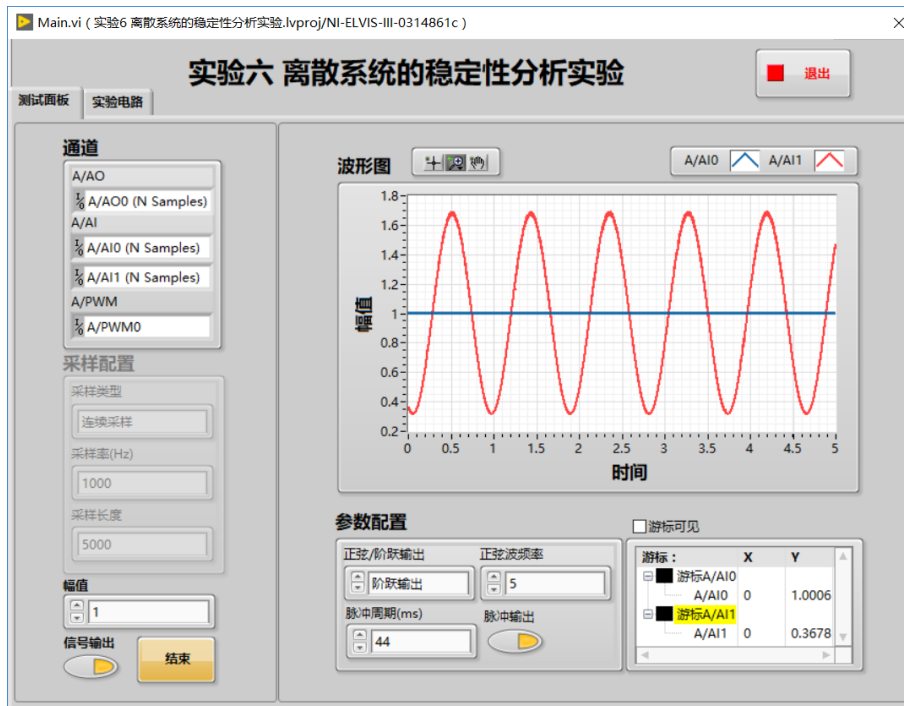


图 3-34 离散系统等幅振荡

f) 本实验结束，关闭 ELVIS III 试验台电源，并整理好导线。

4. 实验结果

(1) 信号的采样保持

a) 当输入角频率为 $\omega = 2\pi \times 5$ 的正弦波，将采样后离散信号 $X^*(t)$ 能够复原为连续信号的条件填入表 1 中。

表 1 信号采样保持条件

采样角频率 ω_s	
采样周期 T_s	

b) 将采样周期 T_s 分别取 3ms、30ms 的响应曲线填入表 2 中。

表 2 采样保持电路响应曲线

$T_s = 3ms$	
-------------	--

$T_s = 30ms$	
--------------	--

(2) 离散系统的稳定性分析

- a) 根据图 6-4 的闭环采样系统方框图，计算闭环系统的开环脉冲传递函数、闭环脉冲传递函数，并计算系统处于临界等幅状态时 T 的值。
- b) 将系统在不同采样周期下的响应曲线填入表 3 中。

表 3 离散系统在不同采样周期下的阶跃响应曲线

采样周期	离散系统阶跃响应曲线	稳定性
$T=10ms$		
$T=30ms$		
$T=50ms$		
$T= _ _ ms$		调节等幅震荡

六、维护保养

1. 在插拔实验模块时，尽量做到垂直插拔，避免因插拔不当而引起的接插件弯曲受损，影响模块使用。
2. 更换模块和进行电路接线操作前应关闭电源。
3. 开始实验前，认真检查电阻连接，避免连接错误而导致的输出电压超量程，否则会损坏数据采集卡。
4. 产品在存放或运输过程中不得重压和有剧烈的振动。
5. 产品出现任何问题，请勿自行拆开外壳，应及时与供应商或生产厂家联系。