

# 浙江大学实验报告

专业： 自动化（控制）

姓名： 万晨阳

学号： 3210105327

日期： 2023.3.30

地点： 东 3-409

课程名称： 信号分析与处理 指导老师： 季瑞松 实验类型：

实验名称： 信号的采样与恢复 成绩： 签名：

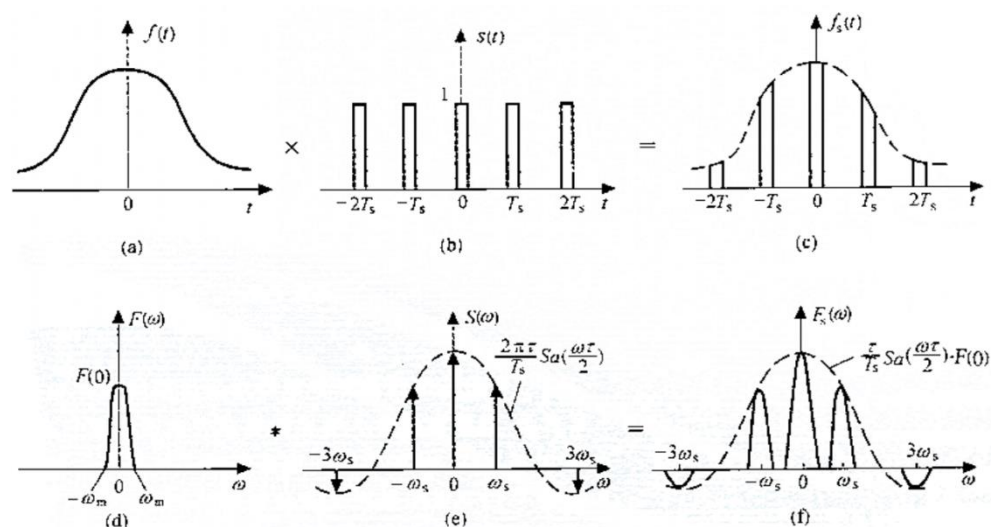
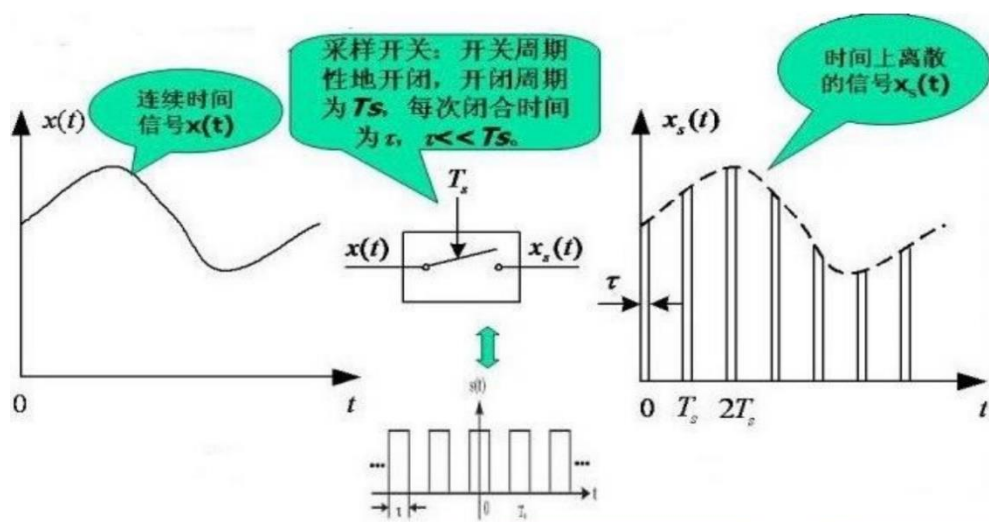
## 一、实验目的

- （1）了解信号的采样方法与过程以及信号恢复的方法（正弦波与三角波信号的采样与恢复）；
- （2）验证采样定理。

## 二、实验设备

- （1）PC 机一台；
- （2）NI MyDAQ 设备一台（信号发生器和示波器）；
- （3）信号分析与处理实验板（编号 DG04）。

## 三、实验原理



1、原信号得以恢复的两个条件：

①原信号频带有限；

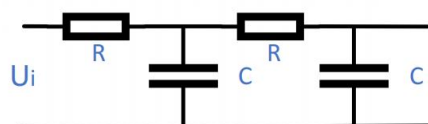
②  $f_s \geq 2f_m$ 。

2、原信号恢复的方法：

设计合适的低通滤波器，通过该低通滤波器滤除高频分量，就可以得到恢复后的原信号。

二阶模拟低通滤波器：

二阶无源低通滤波器

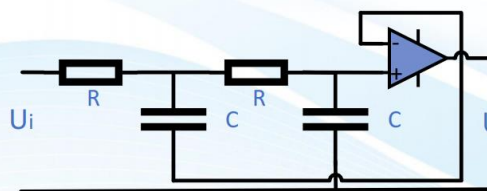


$$f_c = \frac{0.3742}{2\pi RC}$$

$$R=5.1k\Omega, C=10nF$$

$$f_c=1.167kHz$$

二阶有源低通滤波器



$$f_c = \frac{0.6436}{2\pi RC}$$

$$R=10k\Omega, C=10nF$$

$$f_c=1.024kHz$$

#### 四、预习要求

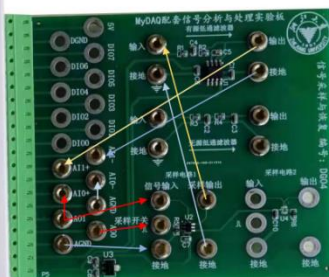
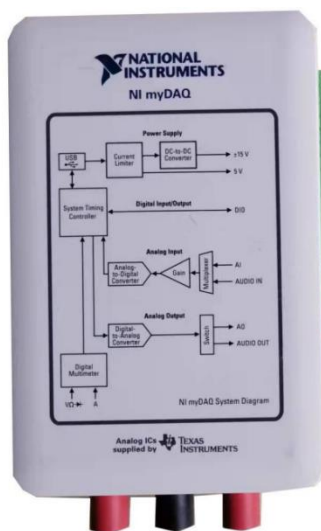
无

#### 五、实验内容

##### 1、实验操作方法和步骤

(1) 正弦波的采样与恢复

①连接线路：按照所示电路连接线连接电路。



- 1, 连接Mydaq和实验板
- 2, 将生成信号输入采样电路
- 3, 将生成开关信号输入采样电路
- 4, 将采样后信号输入低通滤波器
- 5, 将滤波后信号接入示波器

②生成信号：通过 MyDaq 的 Arbitrary Waveform Generator，生成原始信号和开关信号，并根据接线情况输出到采样模块。

- ③显示信号：通过 MyDaq 的示波器，观察并记录输入和输出波形。
- ④改变参数：保持原始连续信号频率不变，开关信号频率分别设置为 400Hz、1kHz、2kHz、5kHz，重复以上过程。

原始信号：	开关信号：
波形：正弦波	波形：矩形波
频率：500Hz	频率：10kHz，占空比50%
峰峰值：1V	峰峰值：2V
偏置：0V	偏置：1V
持续时间：10ms	持续时间：10ms
采样率：200kHz	采样率：200kHz

(2) 三角波的采样与恢复

- ①连接线路不变。
- ②生成信号：通过 MyDaq 的 Arbitrary Waveform Generator，生成原始信号和开关信号，并根据接线情况输出到采样模块。

原始信号：	开关信号：
波形：三角波	波形：单极性矩形波
频率：500Hz	频率：10kHz，占空比50%
峰峰值：1V	峰峰值：2V
偏置：0V	偏置：1V
持续时间：10ms	持续时间：10ms
采样率：200kHz	采样率：200kHz

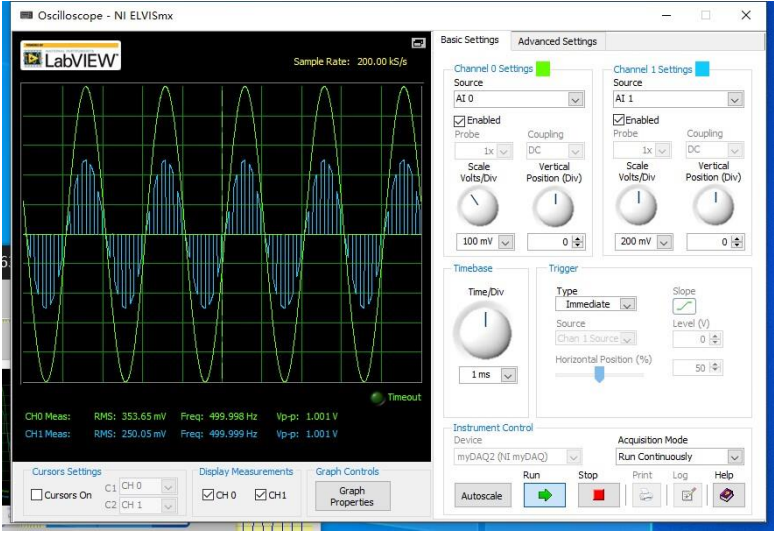
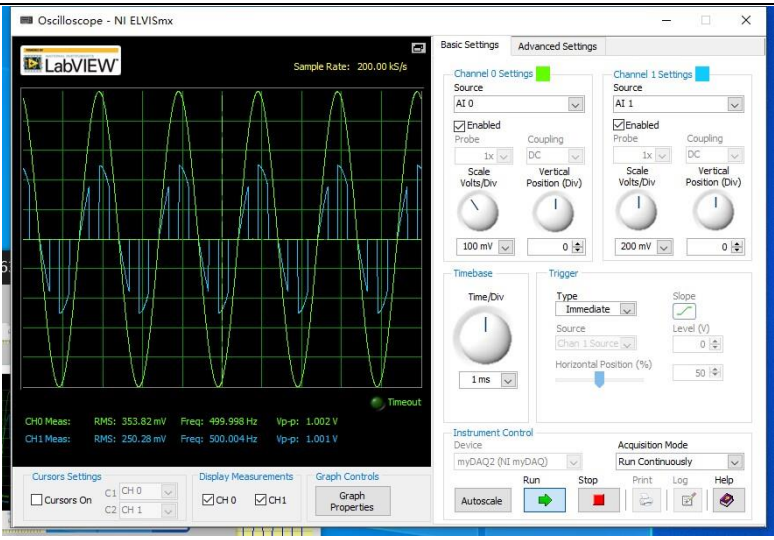
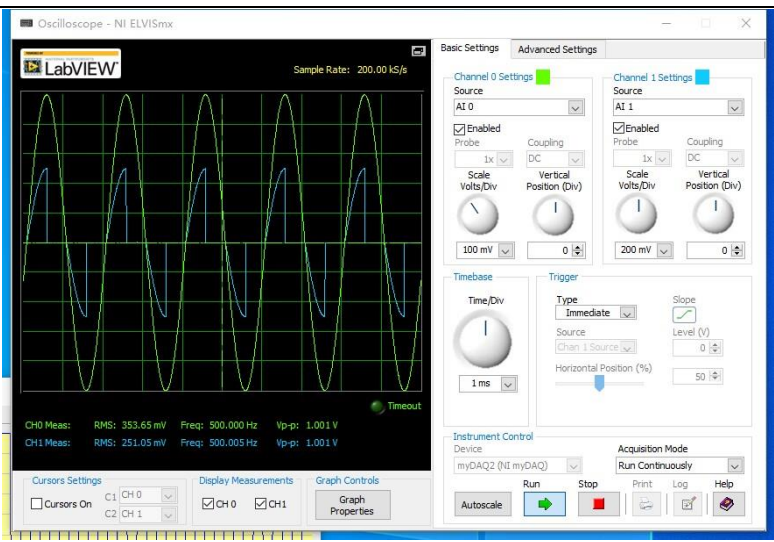
- ③显示信号：通过 MyDaq 的示波器，观察并记录输入和输出波形。
- ④改变参数：保持原始连续信号频率不变，开关信号频率分别设置为 400Hz、1kHz、2kHz、5kHz，重复以上过程。

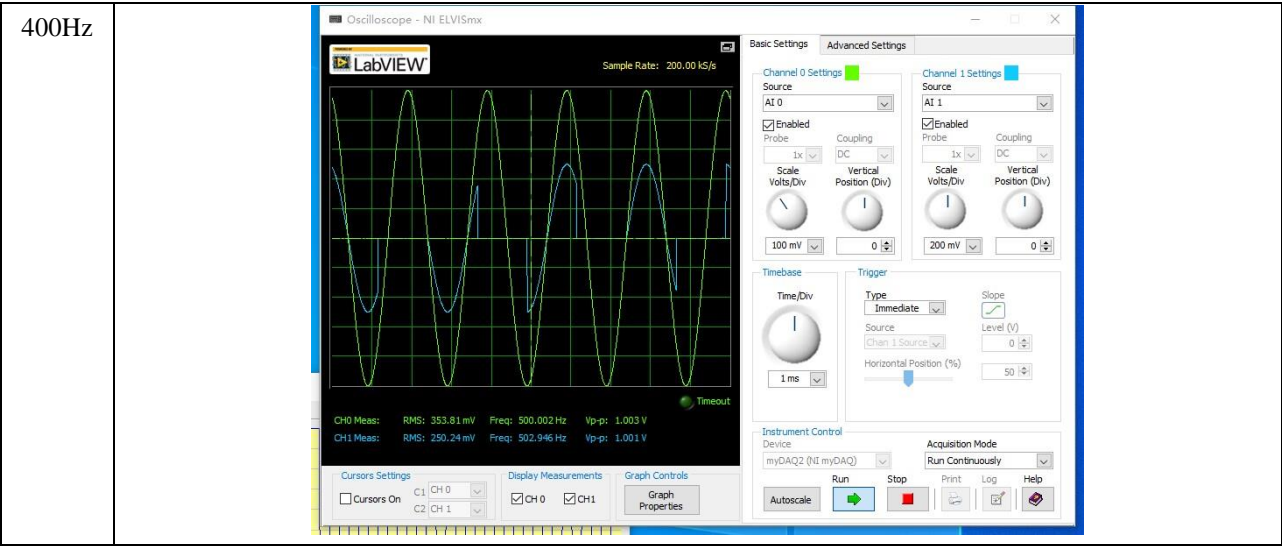
2、实验数据记录和处理

(1) 正弦波的采样与恢复（ch0 为原信号，ch1 为抽样信号或恢复信号）

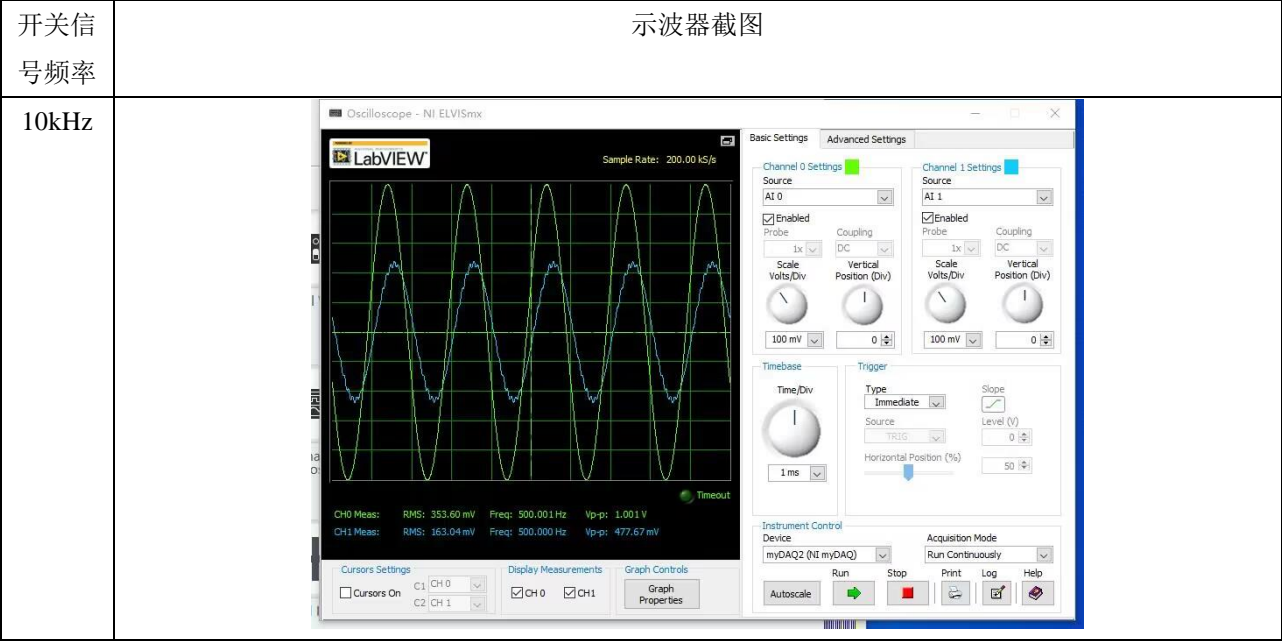
①原始信号和抽样信号双踪显示：



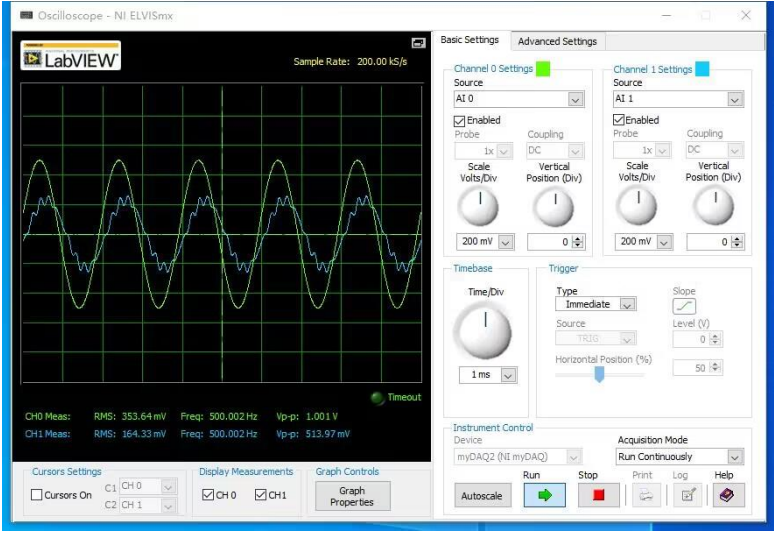
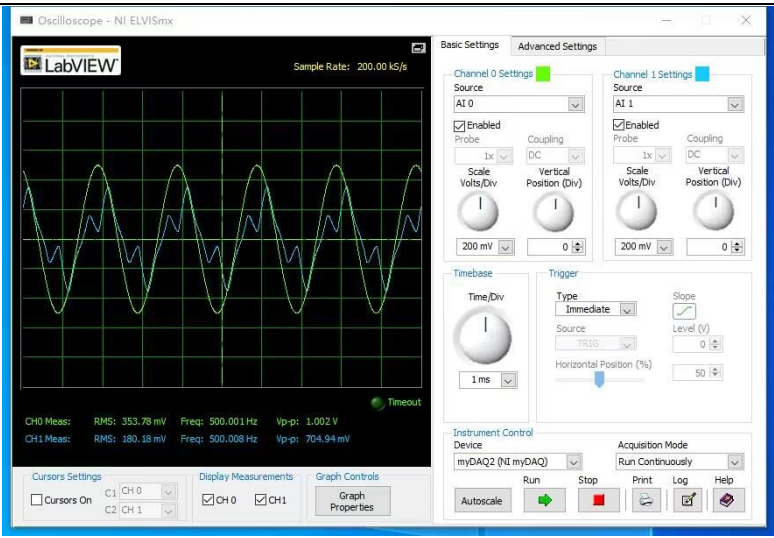
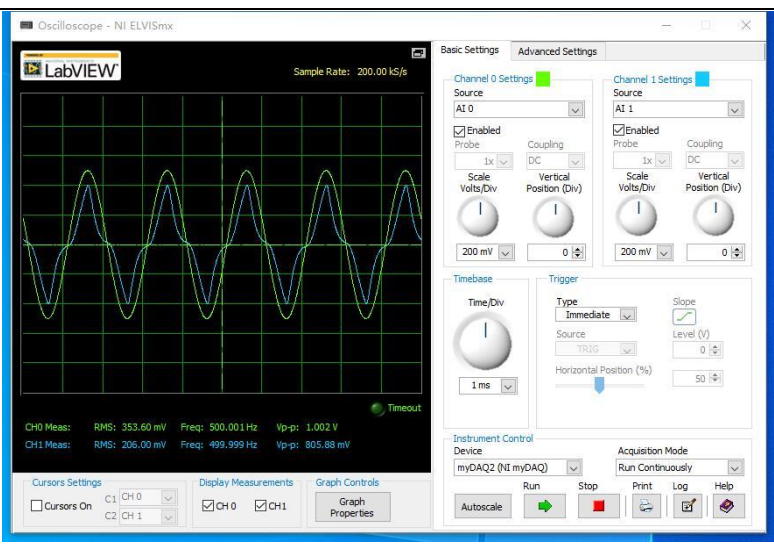
5kHz	 <p>Oscilloscope - NI ELVISmx</p> <p>LabVIEW</p> <p>Sample Rate: 200.00 kS/s</p> <p>CH0 Meas: RMS: 353.65 mV Freq: 499.998 Hz Vp-p: 1.001 V</p> <p>CH1 Meas: RMS: 250.05 mV Freq: 499.999 Hz Vp-p: 1.001 V</p> <p>Channel 0 Settings: Source: AI 0, Enabled, Probe: 1x, Coupling: DC, Scale Volts/Div: 100 mV, Vertical Position (Div): 0</p> <p>Channel 1 Settings: Source: AI 1, Enabled, Probe: 1x, Coupling: DC, Scale Volts/Div: 200 mV, Vertical Position (Div): 0</p> <p>Timebase: Time/Div: 1 ms</p> <p>Trigger: Type: Immediate, Source: Chan 1 Source, Level (V): 0, Horizontal Position (%): 50</p> <p>Instrument Control: Device: myDAQ2 (NI myDAQ), Acquisition Mode: Run Continuously</p>
2kHz	 <p>Oscilloscope - NI ELVISmx</p> <p>LabVIEW</p> <p>Sample Rate: 200.00 kS/s</p> <p>CH0 Meas: RMS: 353.82 mV Freq: 499.998 Hz Vp-p: 1.002 V</p> <p>CH1 Meas: RMS: 250.28 mV Freq: 500.004 Hz Vp-p: 1.001 V</p> <p>Channel 0 Settings: Source: AI 0, Enabled, Probe: 1x, Coupling: DC, Scale Volts/Div: 100 mV, Vertical Position (Div): 0</p> <p>Channel 1 Settings: Source: AI 1, Enabled, Probe: 1x, Coupling: DC, Scale Volts/Div: 200 mV, Vertical Position (Div): 0</p> <p>Timebase: Time/Div: 1 ms</p> <p>Trigger: Type: Immediate, Source: Chan 1 Source, Level (V): 0, Horizontal Position (%): 50</p> <p>Instrument Control: Device: myDAQ2 (NI myDAQ), Acquisition Mode: Run Continuously</p>
1kHz	 <p>Oscilloscope - NI ELVISmx</p> <p>LabVIEW</p> <p>Sample Rate: 200.00 kS/s</p> <p>CH0 Meas: RMS: 353.65 mV Freq: 500.000 Hz Vp-p: 1.001 V</p> <p>CH1 Meas: RMS: 251.05 mV Freq: 500.005 Hz Vp-p: 1.001 V</p> <p>Channel 0 Settings: Source: AI 0, Enabled, Probe: 1x, Coupling: DC, Scale Volts/Div: 100 mV, Vertical Position (Div): 0</p> <p>Channel 1 Settings: Source: AI 1, Enabled, Probe: 1x, Coupling: DC, Scale Volts/Div: 200 mV, Vertical Position (Div): 0</p> <p>Timebase: Time/Div: 1 ms</p> <p>Trigger: Type: Immediate, Source: Chan 1 Source, Level (V): 0, Horizontal Position (%): 50</p> <p>Instrument Control: Device: myDAQ2 (NI myDAQ), Acquisition Mode: Run Continuously</p>

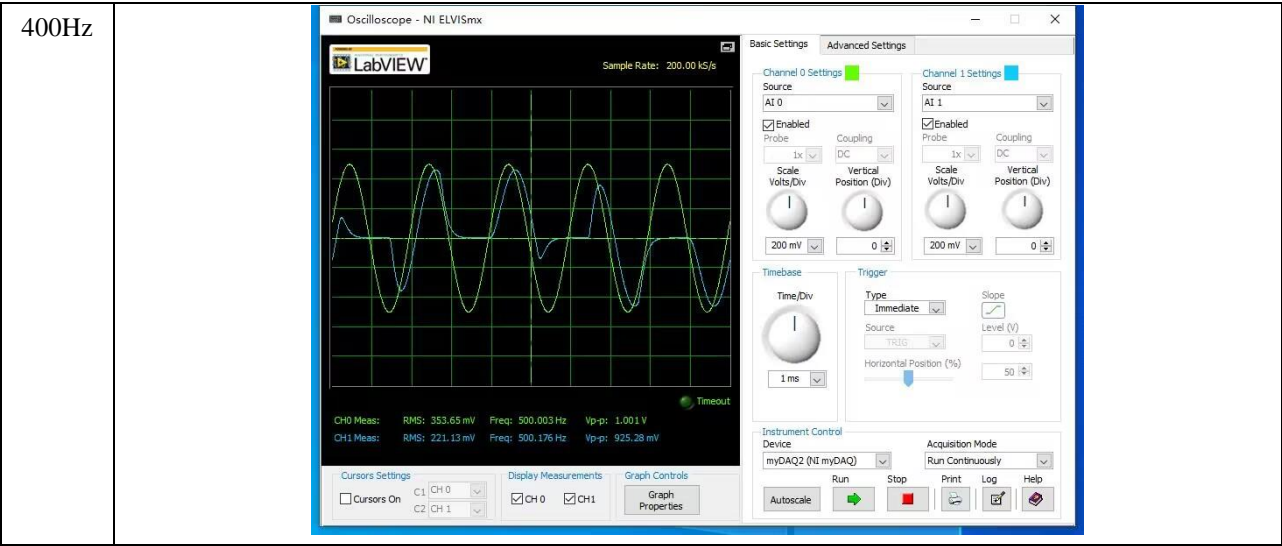


② 原始信号和恢复信号双踪显示:



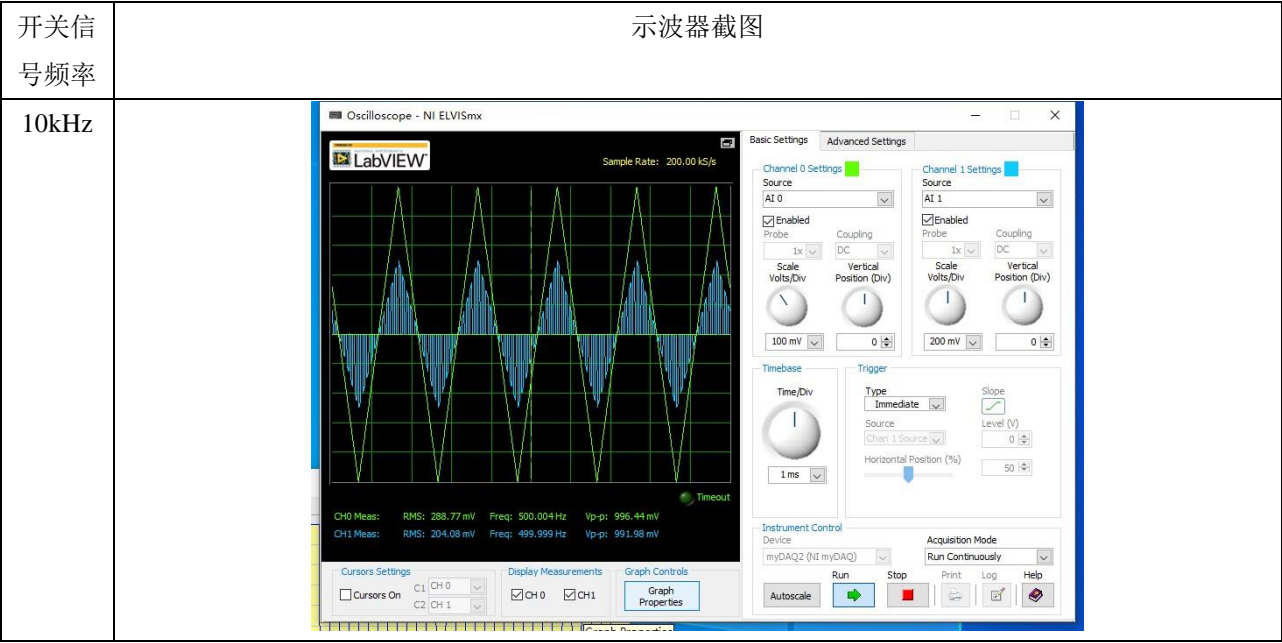


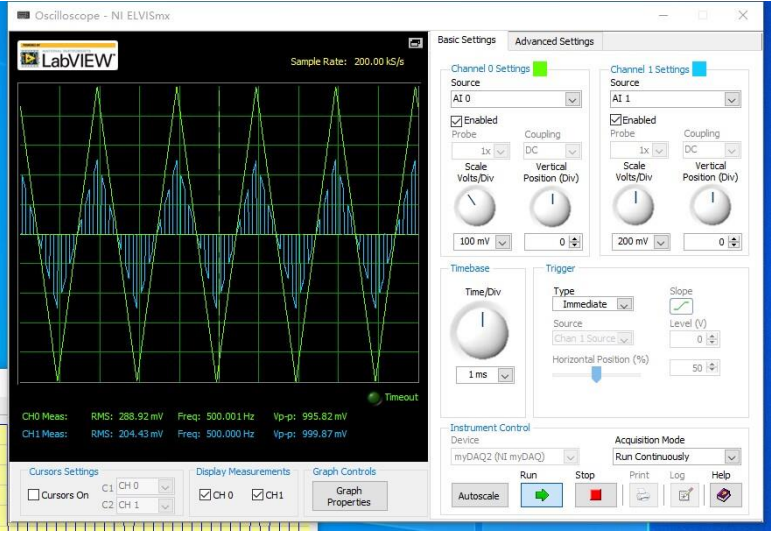
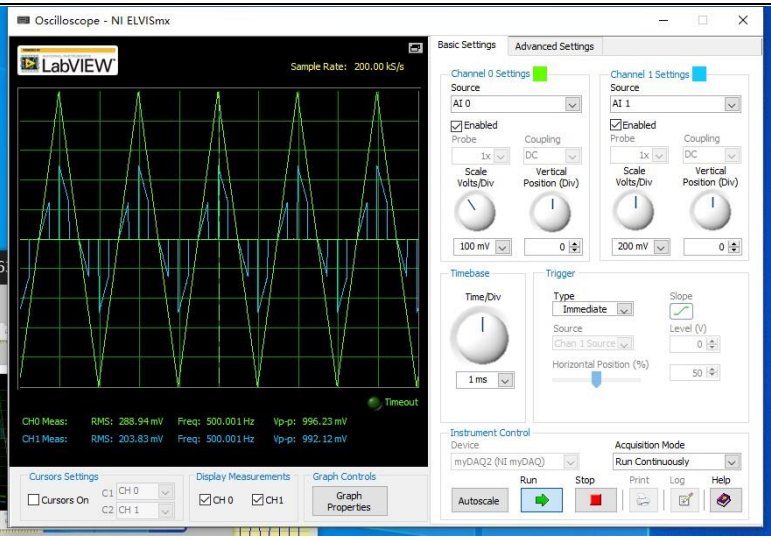
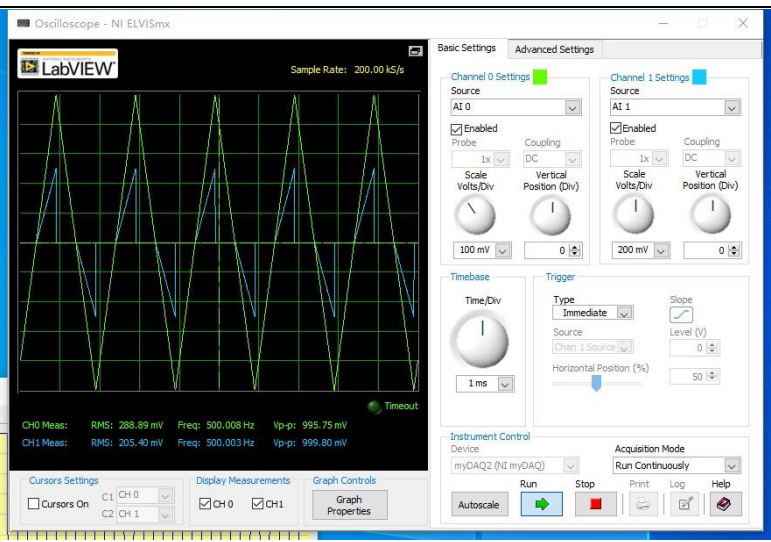
5kHz	 <p>Oscilloscope - NI ELVISmx</p> <p>LabVIEW</p> <p>Sample Rate: 200.00 kS/s</p> <p>CH0 Meas: RMS: 353.64 mV Freq: 500.002 Hz Vp-p: 1.001 V  CH1 Meas: RMS: 164.33 mV Freq: 500.002 Hz Vp-p: 513.97 mV</p> <p>Channel 0 Settings: Source: AI 0, Enabled, Scale: 200 mV, Vertical Position: 0  Channel 1 Settings: Source: AI 1, Enabled, Scale: 200 mV, Vertical Position: 0</p> <p>Timebase: Time/Div: 1 ms, Trigger Type: Immediate, Source: TRIG, Level: 0, Horizontal Position: 50</p> <p>Instrument Control: Device: myDAQ2 (NI myDAQ), Acquisition Mode: Run Continuously</p>
2kHz	 <p>Oscilloscope - NI ELVISmx</p> <p>LabVIEW</p> <p>Sample Rate: 200.00 kS/s</p> <p>CH0 Meas: RMS: 353.78 mV Freq: 500.001 Hz Vp-p: 1.002 V  CH1 Meas: RMS: 180.18 mV Freq: 500.008 Hz Vp-p: 704.94 mV</p> <p>Channel 0 Settings: Source: AI 0, Enabled, Scale: 200 mV, Vertical Position: 0  Channel 1 Settings: Source: AI 1, Enabled, Scale: 200 mV, Vertical Position: 0</p> <p>Timebase: Time/Div: 1 ms, Trigger Type: Immediate, Source: TRIG, Level: 0, Horizontal Position: 50</p> <p>Instrument Control: Device: myDAQ2 (NI myDAQ), Acquisition Mode: Run Continuously</p>
1kHz	 <p>Oscilloscope - NI ELVISmx</p> <p>LabVIEW</p> <p>Sample Rate: 200.00 kS/s</p> <p>CH0 Meas: RMS: 353.60 mV Freq: 500.001 Hz Vp-p: 1.002 V  CH1 Meas: RMS: 206.00 mV Freq: 499.999 Hz Vp-p: 805.88 mV</p> <p>Channel 0 Settings: Source: AI 0, Enabled, Scale: 200 mV, Vertical Position: 0  Channel 1 Settings: Source: AI 1, Enabled, Scale: 200 mV, Vertical Position: 0</p> <p>Timebase: Time/Div: 1 ms, Trigger Type: Immediate, Source: TRIG, Level: 0, Horizontal Position: 50</p> <p>Instrument Control: Device: myDAQ2 (NI myDAQ), Acquisition Mode: Run Continuously</p>



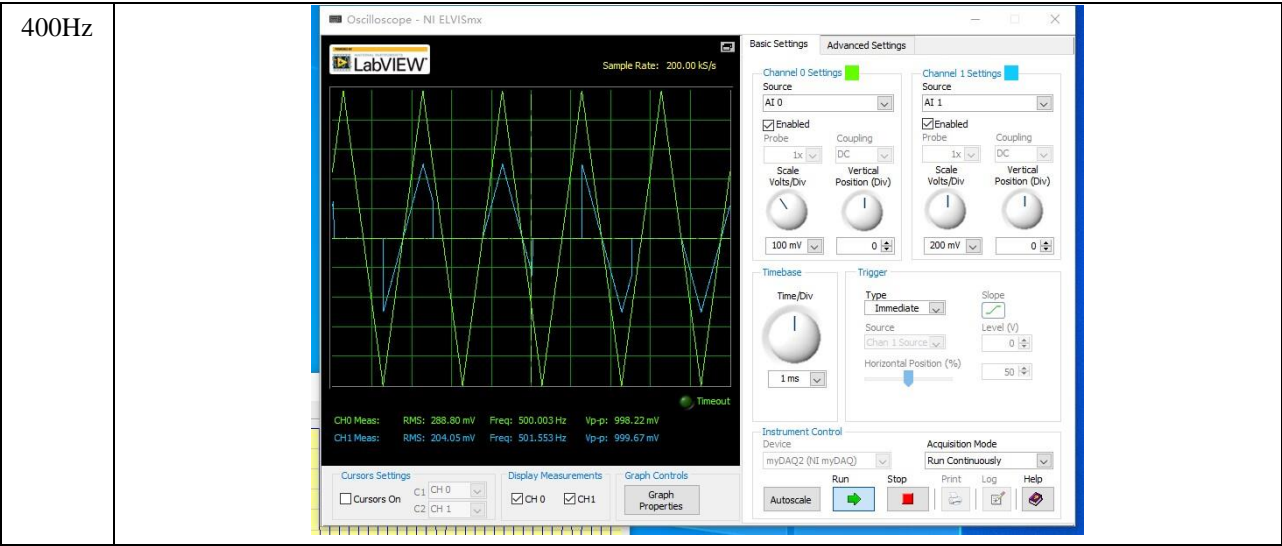
(2) 三角波的采样与恢复 (ch0 为原信号, ch1 为抽样信号或恢复信号)

①原始信号和抽样信号双踪显示:

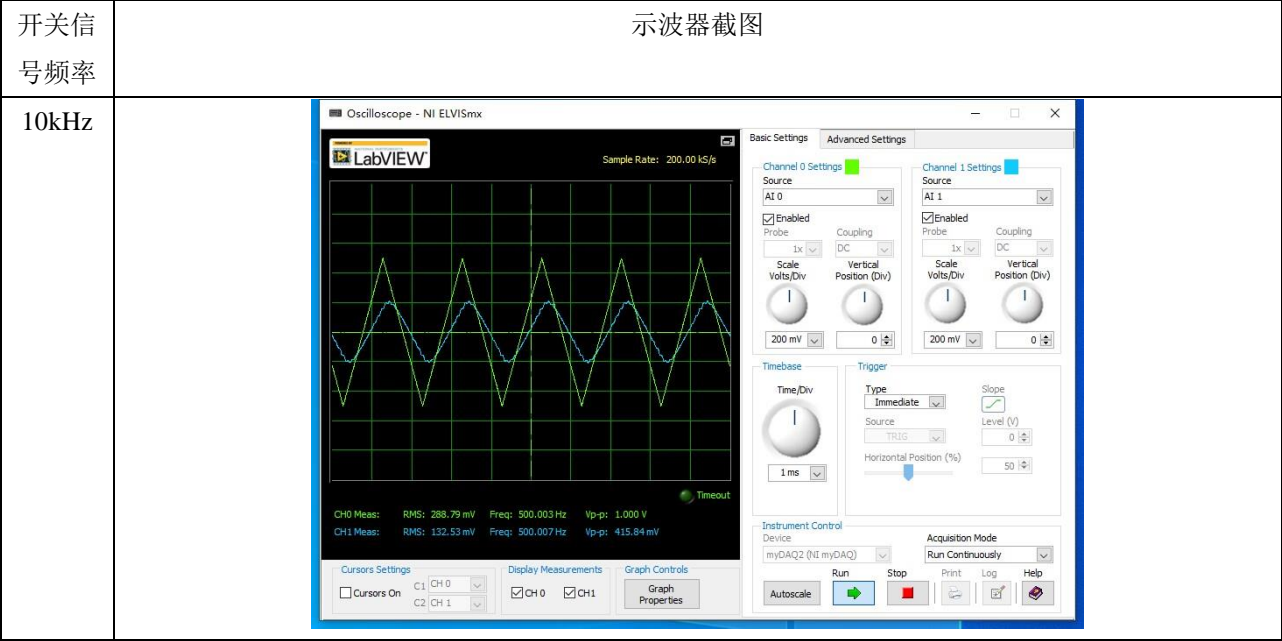


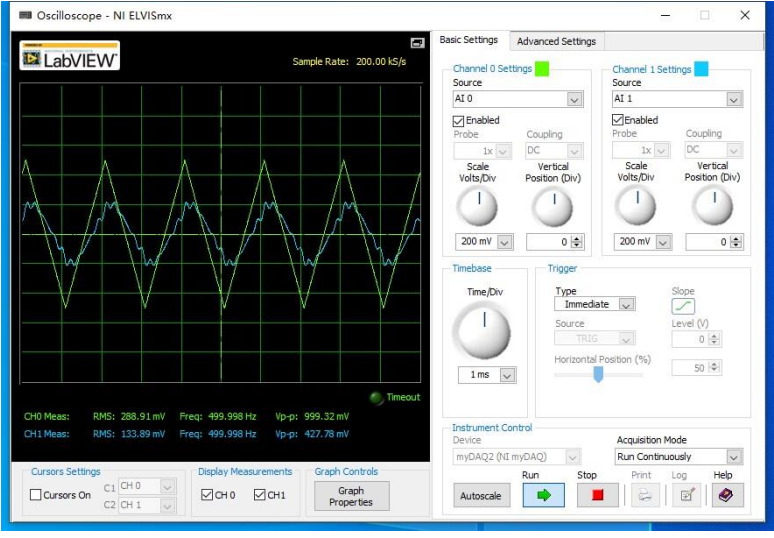
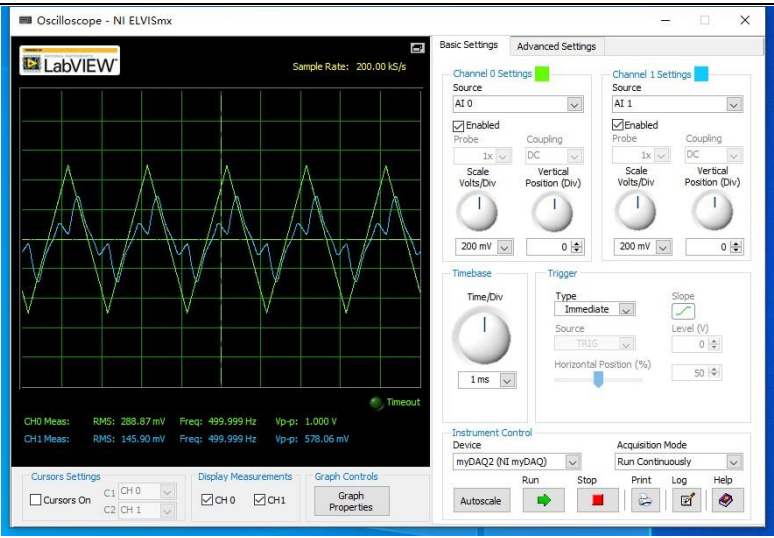
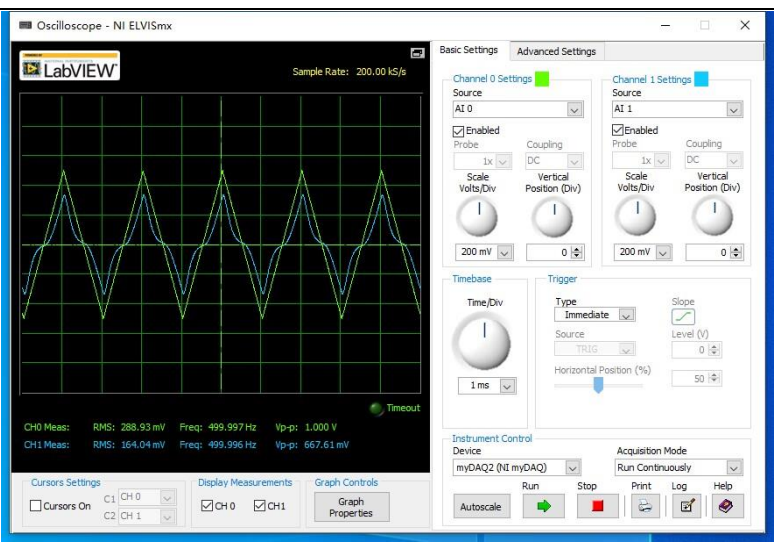
5kHz	 <p>Oscilloscope - NI ELVISmx</p> <p>LabVIEW</p> <p>Sample Rate: 200.00 kS/s</p> <p>CH0 Meas: RMS: 288.92 mV Freq: 500.001 Hz Vp-p: 995.82 mV CH1 Meas: RMS: 204.43 mV Freq: 500.000 Hz Vp-p: 999.87 mV</p> <p>Channel 0 Settings: Source AI 0, Enabled, Scale 100 mV, Vertical 0, Coupling DC, Probe 1x Channel 1 Settings: Source AI 1, Enabled, Scale 200 mV, Vertical 0, Coupling DC, Probe 1x</p> <p>Timebase: Time/Div 1 ms, Type Immediate, Source Chan 1 Source, Level 0, Horizontal Position 50%</p> <p>Instrument Control: Device myDAQ2 (NI myDAQ), Acquisition Mode Run Continuously, Run, Stop, Print, Log, Help, Autoscale</p>
2kHz	 <p>Oscilloscope - NI ELVISmx</p> <p>LabVIEW</p> <p>Sample Rate: 200.00 kS/s</p> <p>CH0 Meas: RMS: 288.94 mV Freq: 500.001 Hz Vp-p: 995.23 mV CH1 Meas: RMS: 203.83 mV Freq: 500.001 Hz Vp-p: 992.12 mV</p> <p>Channel 0 Settings: Source AI 0, Enabled, Scale 100 mV, Vertical 0, Coupling DC, Probe 1x Channel 1 Settings: Source AI 1, Enabled, Scale 200 mV, Vertical 0, Coupling DC, Probe 1x</p> <p>Timebase: Time/Div 1 ms, Type Immediate, Source Chan 1 Source, Level 0, Horizontal Position 50%</p> <p>Instrument Control: Device myDAQ2 (NI myDAQ), Acquisition Mode Run Continuously, Run, Stop, Print, Log, Help, Autoscale</p>
1kHz	 <p>Oscilloscope - NI ELVISmx</p> <p>LabVIEW</p> <p>Sample Rate: 200.00 kS/s</p> <p>CH0 Meas: RMS: 288.89 mV Freq: 500.008 Hz Vp-p: 995.75 mV CH1 Meas: RMS: 205.40 mV Freq: 500.003 Hz Vp-p: 999.80 mV</p> <p>Channel 0 Settings: Source AI 0, Enabled, Scale 100 mV, Vertical 0, Coupling DC, Probe 1x Channel 1 Settings: Source AI 1, Enabled, Scale 200 mV, Vertical 0, Coupling DC, Probe 1x</p> <p>Timebase: Time/Div 1 ms, Type Immediate, Source Chan 1 Source, Level 0, Horizontal Position 50%</p> <p>Instrument Control: Device myDAQ2 (NI myDAQ), Acquisition Mode Run Continuously, Run, Stop, Print, Log, Help, Autoscale</p>

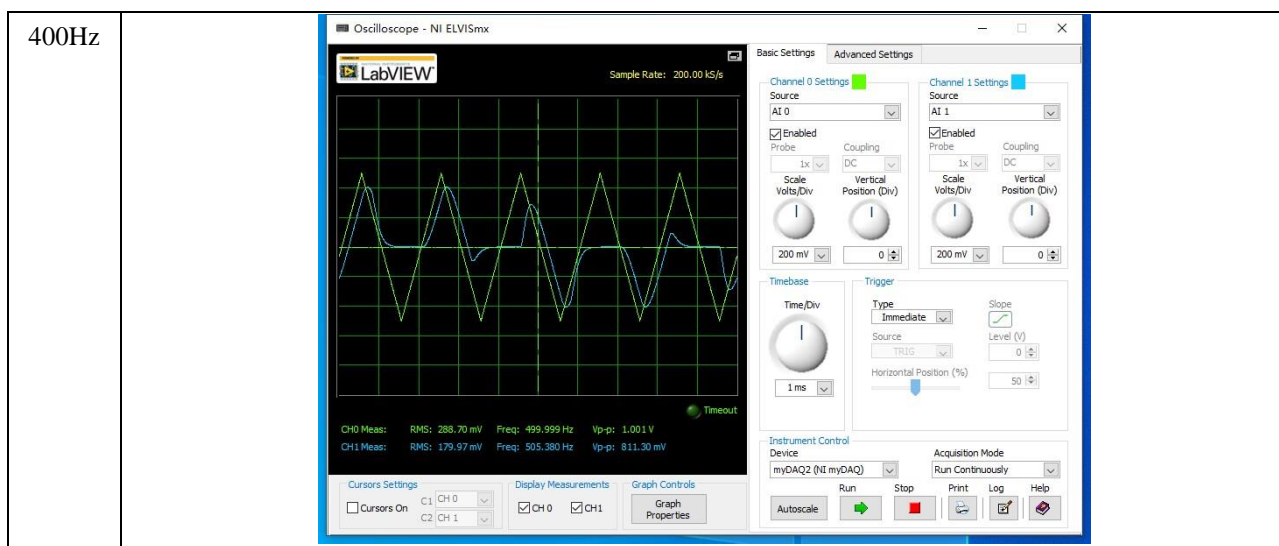




② 原始信号和恢复信号双踪显示:



5kHz	 <p>Oscilloscope - NI ELVISmx</p> <p>Sample Rate: 200.00 kS/s</p> <p>CH0 Meas: RMS: 288.91 mV Freq: 499.998 Hz Vp-p: 999.32 mV  CH1 Meas: RMS: 133.89 mV Freq: 499.998 Hz Vp-p: 427.78 mV</p> <p>Channel 0 Settings: Source AI 0, Enabled, Scale 200 mV, Vertical 0, Coupling DC, Probe 1x  Channel 1 Settings: Source AI 1, Enabled, Scale 200 mV, Vertical 0, Coupling DC, Probe 1x</p> <p>Timebase: Time/Div 1 ms, Trigger Type Immediate, Source TRIG, Level 0, Horizontal Position 50%</p> <p>Instrument Control: Device myDAQ2 (NI myDAQ), Acquisition Mode Run Continuously</p>
2kHz	 <p>Oscilloscope - NI ELVISmx</p> <p>Sample Rate: 200.00 kS/s</p> <p>CH0 Meas: RMS: 288.87 mV Freq: 499.999 Hz Vp-p: 1.000 V  CH1 Meas: RMS: 145.90 mV Freq: 499.999 Hz Vp-p: 578.06 mV</p> <p>Channel 0 Settings: Source AI 0, Enabled, Scale 200 mV, Vertical 0, Coupling DC, Probe 1x  Channel 1 Settings: Source AI 1, Enabled, Scale 200 mV, Vertical 0, Coupling DC, Probe 1x</p> <p>Timebase: Time/Div 1 ms, Trigger Type Immediate, Source TRIG, Level 0, Horizontal Position 50%</p> <p>Instrument Control: Device myDAQ2 (NI myDAQ), Acquisition Mode Run Continuously</p>
1kHz	 <p>Oscilloscope - NI ELVISmx</p> <p>Sample Rate: 200.00 kS/s</p> <p>CH0 Meas: RMS: 288.93 mV Freq: 499.997 Hz Vp-p: 1.000 V  CH1 Meas: RMS: 164.04 mV Freq: 499.996 Hz Vp-p: 667.61 mV</p> <p>Channel 0 Settings: Source AI 0, Enabled, Scale 200 mV, Vertical 0, Coupling DC, Probe 1x  Channel 1 Settings: Source AI 1, Enabled, Scale 200 mV, Vertical 0, Coupling DC, Probe 1x</p> <p>Timebase: Time/Div 1 ms, Trigger Type Immediate, Source TRIG, Level 0, Horizontal Position 50%</p> <p>Instrument Control: Device myDAQ2 (NI myDAQ), Acquisition Mode Run Continuously</p>



## 六、实验总结

### 1、实验结果与分析

#### 1) 离散信号频谱特点

计算机所能处理的离散信号是采样，加窗之后的信号，通过快速傅里叶变换生成的离散的频谱序列。从频域看，是对连续信号的频谱进行周期性搬移。所以，离散信号的频谱都是周期的。在原始信号具有周期性时，频谱是离散的，在原始信号不具有周期性时，频谱是连续的。

#### 2) 正弦波和三角波抽样信号的频谱特点

**在同一滤波器截止频率、同一采样频率、同一占空比的情况下，三角波的频谱混叠比正弦波更加明显。**

分析原因是：三角波频谱原本不受限，滤波之后可以认为它的最大频率为滤波器截止频率。因此它的奈奎斯特频率就是滤波器截止频率的两倍——分别为 2kHz 和 4kHz，都要高于正弦波的奈奎斯特频率 1kHz ( $2 \times 500\text{Hz}$ )。

因此，在采样频率 400 Hz 时，采样频率都低于两种信号的奈奎斯特频率，但低于三角波（滤波后）奈奎斯特频率的幅度，要比低于正弦波奈奎斯特频率更明显，因此三角波抽样信号频谱混叠更严重，失真更明显。

在采样频率 1kHz 时，采样频率基本等于正弦波的奈奎斯特频率，但仍然低于三角波（滤波后）的奈奎斯特频率，因此在正弦波抽样信号不发生频谱混叠的同时，三角波抽样信号仍存在有明显的频谱混叠。

在采样频率 5kHz 和 10kHz 时，采样频率大于两种信号的奈奎斯特频率，因此理论上都不发生频谱混叠，信号都不失真，但由于实际实验中，三角波的高频分量未被完全滤去，因此实际上三角波抽样信号仍然存在一定的频谱混叠，继而导致一定失真。而正弦波抽样信号频谱基本上是一根根分立谱线，频谱不混叠，因此保真度要比三角波好得多。

#### 3) 比较在不同采样频率情况下原始连续信号、抽样信号波形和恢复信号的波形特点。

当采样频率为 400Hz，抽样信号波形失真明显，完全体现不出原信号波形的特征，原因是采样频率明显低于奈奎斯特频率（对于 500Hz 正弦波，奈奎斯特频率应为 1kHz；而对于频谱不受限的三角波，可以

认为奈奎斯特频率是滤波器截止频率的 2 倍），采样信号的频谱发生了严重的混叠，使得“恢复”出的时域信号与原信号相比显著失真。

接着，当采样频率依次为 1kHz，2kHz，5kHz 和 10kHz，随着采样频率的提高，抽样信号波形失真程度逐渐减小，也就是说抽样信号与原始信号相比越来越一致

#### 4) 原始信号和恢复信号双踪显示，如何连线

将生成信号输入采样电路，共地连接，另取一线将生成信号接入示波器，将示波器屏幕上的 CH0、CH1、AI0、AI1 均打开，即可双踪显示。

## 2、讨论心得

此次实验主要理解了奈奎斯特频率对信号采样和恢复的重要价值，如果不满足奈奎斯特频率，那么就会发生频谱混叠现象，无法实现计算机对信号的处理。同时，本实验最关键的一点是理解新器材的使用原理，尤其是 DAQ 板，实际上是计算机和物理世界的一个接口，计算机产生的模拟信号通过 DAQ 板接入到采样区和滤波器中，再输入回 DAQ 板，把信号传递给计算机进行信号的恢复，理解了这一套原理，才能够对接线有明确的认知，同时共地问题一直是接线的关键问题，如果出现电路故障，可以先将地线接起来，防止由于板子内部地线不连接导致电路故障。