

本科实验报告

课程名称：测控技术实验

实验名称：LabVIEW 信号分析实验

姓 名：徐屹寒

学 号：3230103743

学 院：机械工程学院

专 业：机械工程

报告日期：2025 年 11 月

实验一 LabVIEW 基础操作实验

一、 实验目的

- 熟悉 LabVIEW 软件界面，了解 LabVIEW 的编程环境。
- 掌握 LabVIEW 的基本操作方法，并编制简单的程序。

二、 实验原理

2.1) 虚拟仪器 (Virtual Instrument)

虚拟仪器是基于计算机的软硬件测试平台。通过软件定义仪器功能，结合数据采集卡等硬件，实现灵活的测试系统。LabVIEW 是 NI 公司推出的图形化编程平台，是虚拟仪器的代表。

2.2) LabVIEW 编程环境

LabVIEW 程序称为 VI (Virtual Instrument)，包含三个部分：

- 前面板 (**Front Panel**)：用户交互界面，包含控制控件 (Controls) 和显示控件 (Indicators)。
- 程序框图 (**Block Diagram**)：图形化源代码，包含函数、结构、连线等。
- 图标/连接器 (**Icon/Connector**)：用于被其他 VI 调用。

2.3) 调试技术

- 语法错误检查：运行按钮折断时，点击可查看错误列表。
- 高亮执行：观察数据流动的过程。
- 断点与单步执行：用于查找逻辑错误。
- 探针：实时查看连线上的数据值。

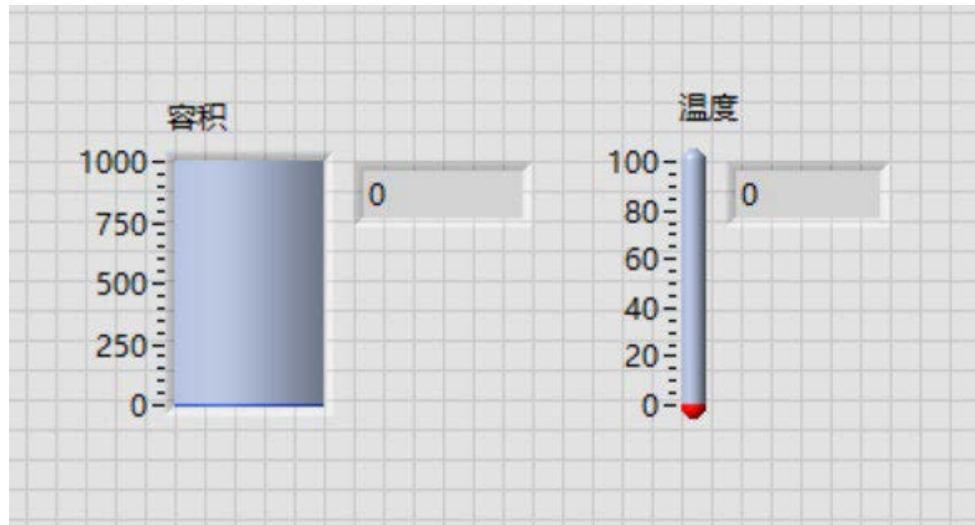
三、 实验设备

安装有 LabVIEW 的计算机。

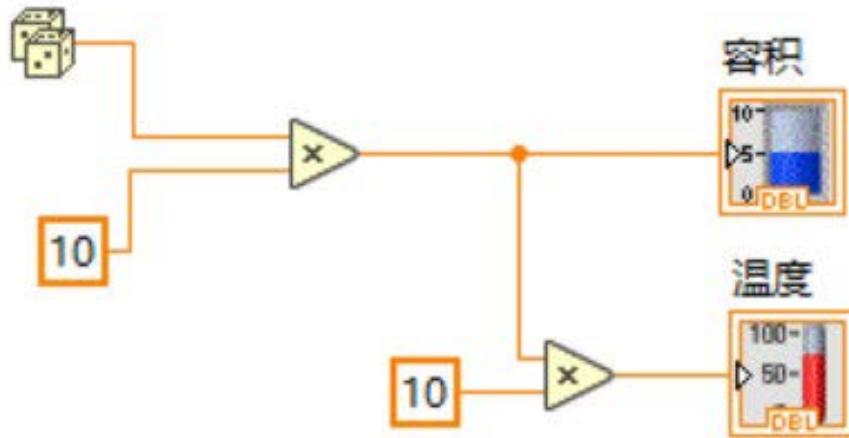
四、 实验内容

4.1) 创建温度和容积测量 VI

- 建立新 VI：启动 LabVIEW，新建 VI。
- 前面板设计：
 - 放置“液罐”控件，标签设为“容积”，范围设为 0-1000。
 - 添加数字显示控件。
 - 放置“温度计”控件，标签设为“温度”，范围 0-100。
- 程序框图设计：
 - 添加乘法器、数值常数、随机数发生器。
 - 连接连线，实现模拟数据的生成与显示。
- 运行调试：保存为“温度和容积.vi”，运行并观察结果。



图一: 温度和容积.vi 前面板



图二: 温度和容积.vi 程序框图

五、思考题 (10分)

- 理解基于数据流编程的基本编程思路。

回答

数据流编程是 LabVIEW 的核心思想，它的执行机制完全不同于传统的顺序执行方式。在数据流模式下，程序的执行不是按照代码的书写顺序进行的，而是取决于数据的可用性。具体来说，当一个函数节点的所有输入端口都接收到有效数据时，这个节点才会被触发执行。节点执行完成后，会将计算结果输出到连线上，这些数据会立即传递给后续的节点。

这种机制带来了一个重要特性：如果多个节点之间没有数据依赖关系，它们可以同时并行执行，这大大提高了程序的运行效率。整个程序的执行流程由连线的方

向和数据的传递路径决定，而不是节点在框图中的摆放位置。这种图形化的编程方式使得程序的逻辑关系更加直观，便于理解和调试。

2. 了解 VI 程序的构成及其各部分的功能。

回答

一个完整的 VI 程序包含三个主要组成部分：

前面板：这是程序的用户交互界面，相当于传统软件的 GUI。在前面板上，我们可以放置各种控件和指示器。控件用于接收用户的输入数据（如旋钮、滑动条、数值输入框等），指示器则用于显示程序运行的输出结果（如波形图、数值显示等）。前面板使得用户无需了解底层代码即可操作程序。

程序框图：这是 VI 的核心部分，包含了程序的全部逻辑和算法。在程序框图中，我们通过连线将各种函数节点、结构和子 VI 连接起来，实现数据的处理和流动。程序框图直接操作前面板上定义的输入输出对象，控制整个程序的运行流程。

图标/连接器：这是 VI 作为子程序被其他 VI 调用的接口。图标是 VI 在其他程序中显示的图形标识，而连接器则定义了数据的输入输出端口，类似于传统编程中函数的参数列表。这种设计使得 VI 可以像函数一样被模块化调用和重用。

3. 了解 LabVIEW 基础控件、函数及循环结构。

回答

基础控件：LabVIEW 提供了丰富的控件类型来满足不同的数据交互需求。数值型控件可以处理整数、浮点数等各种数值类型；布尔型控件主要用于开关控制，需要注意其机械动作属性的设置；字符串控件可以输入和显示文本信息，并且可以通过转换函数与数值、路径、数组等类型互相转换；枚举型控件则提供了一组预定义的选项供用户选择，在与条件结构配合时，LabVIEW 会比较枚举项的文本而非数值。

内置函数：LabVIEW 包含大量可直接使用的函数模块，涵盖了数学运算（加减乘除、三角函数等）、数组操作（创建、索引、排序等）、逻辑运算（与或非等）、比较判断等多个类别。这些函数可以直接从函数选板拖放到程序框图中使用，大大简化了编程过程。

循环结构：LabVIEW 主要有两种循环结构。For 循环适用于已知循环次数的情况，通过 N 端口设定循环执行的次数，循环会自动计数并在达到指定次数后退出。While 循环则适用于循环次数未知的场景，它会持续执行直到条件端口满足退出条件（通常是布尔值的改变）。While 循环更加灵活，但需要注意避免形成死循环。两种循环都提供了迭代计数器，可以获取当前的循环次数。

实验二 LabVIEW 信号发生与频谱分析实验

一、 实验目的

- 熟悉 LabVIEW 波形生成函数，了解常见波形函数的输入输出参数及接线方法。
- 熟悉 LabVIEW 中数字信号的 FFT（快速傅里叶变换）方法，搭建 FFT 变换电路。
- 熟悉 LabVIEW 中数字信号波形图的显示方法。

二、 实验原理

利用 LabVIEW 的数字信号处理功能，对采样得到的离散信号进行滤波、加窗、FFT 运算，得到信号的频谱信息。

- **FFT**: 将时域信号转换为频域信号。
- 频谱泄漏：由于对无限长信号进行截断（采样时间有限）导致的频谱能量扩散。
- 加窗：通过乘以窗函数来减少频谱泄漏。

三、 实验设备

安装有 LabVIEW 的计算机。

四、 实验内容

4.1) 搭建信号发生与频谱分析程序

1. 前面板：包含波形图、输入控件、停止按钮。
2. 程序框图：使用“基本函数发生器”产生信号，使用“FFT 频谱”进行分析。

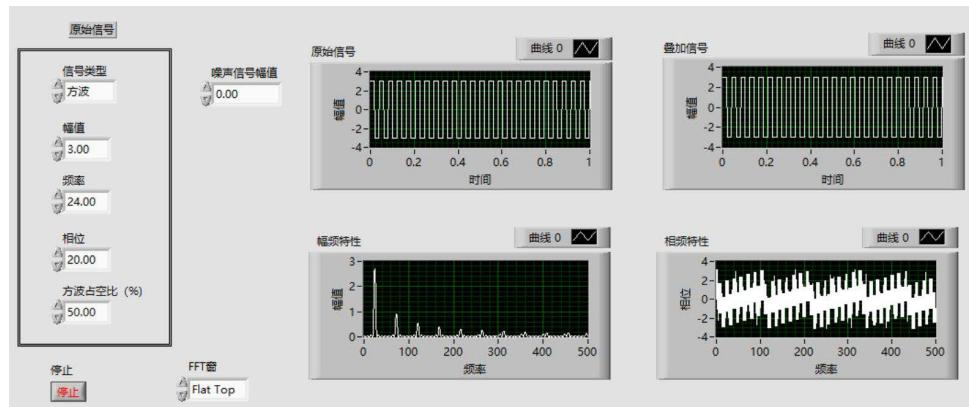
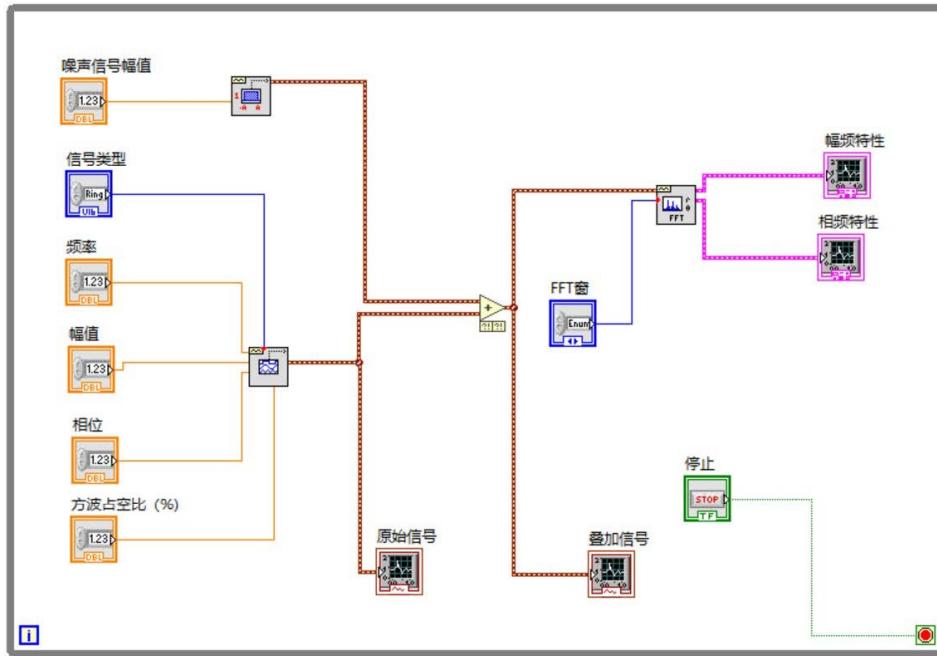


图 三: 信号发生与频谱分析程序前面板



图四: 信号发生与频谱分析程序框图

五、实验任务与结果分析

5.1) 1. 虚拟信号发生器设计 (20 分)

要求: 设计一个能产生正弦波、方波、三角波、锯齿波、白噪声等信号的发生器, 且波形参数可调。

实验结果

本实验设计的虚拟信号发生器集成在《信号发生与频谱分析.vi》程序中(见图三和图四)。该信号发生器具备以下功能特点:

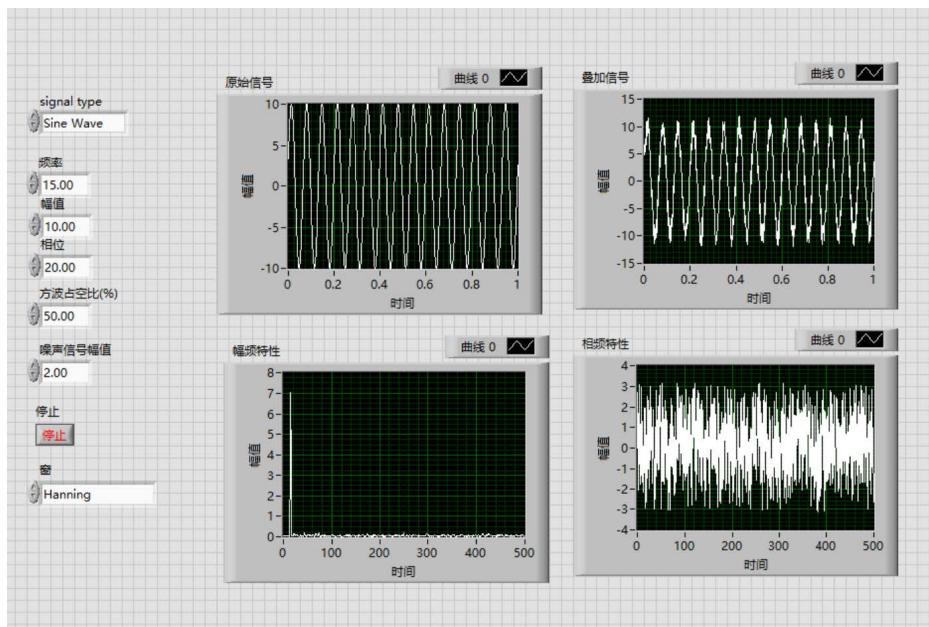
- 多种波形类型: 可通过下拉菜单选择正弦波、方波、三角波、锯齿波和白噪声等多种常见信号类型
- 参数可调: 支持实时调整信号的频率、幅值、采样率和采样点数等关键参数
- 实时显示: 前面板实时显示生成信号的时域波形, 便于直观观察信号特性

通过基本函数发生器 VI 实现了各种标准波形的生成, 为后续的频谱分析提供了可靠的信号源。程序采用 While 循环结构, 可以持续运行并动态更新波形参数。

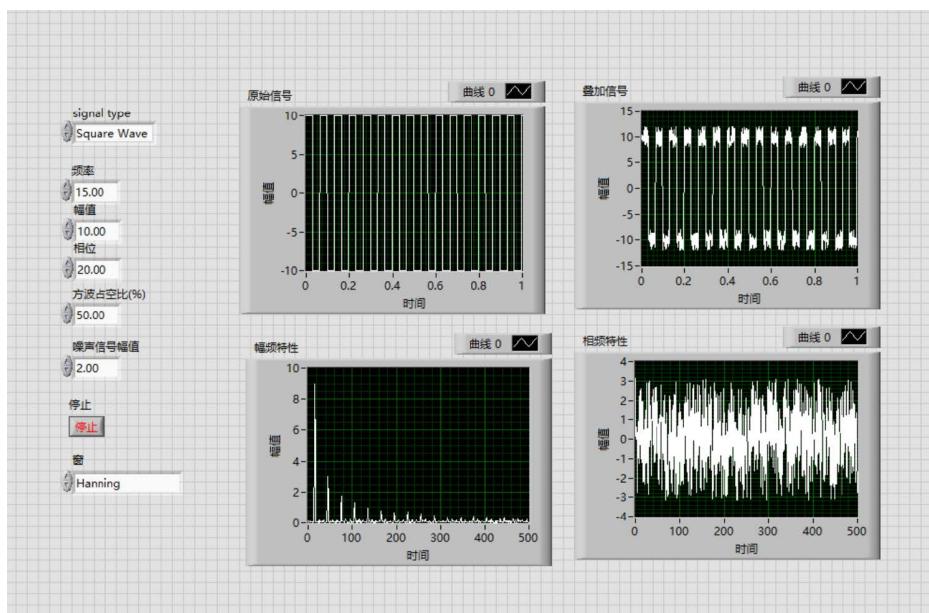
5.2) 2. 频谱分析仪设计 (20 分)

要求: 对上述信号进行频谱分析, 绘制幅频特性, 指出主要频率分量。

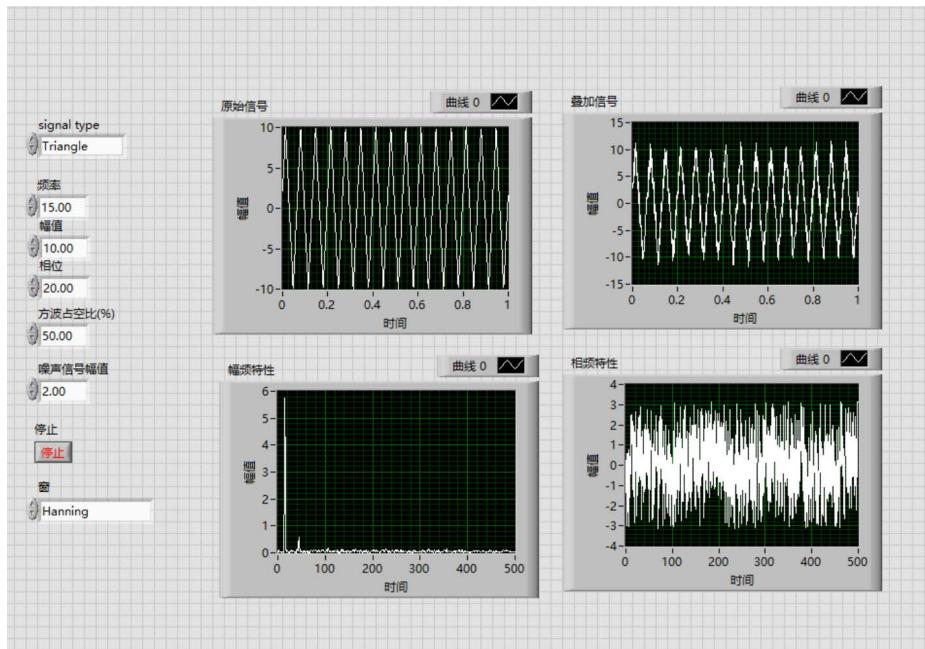
实验结果



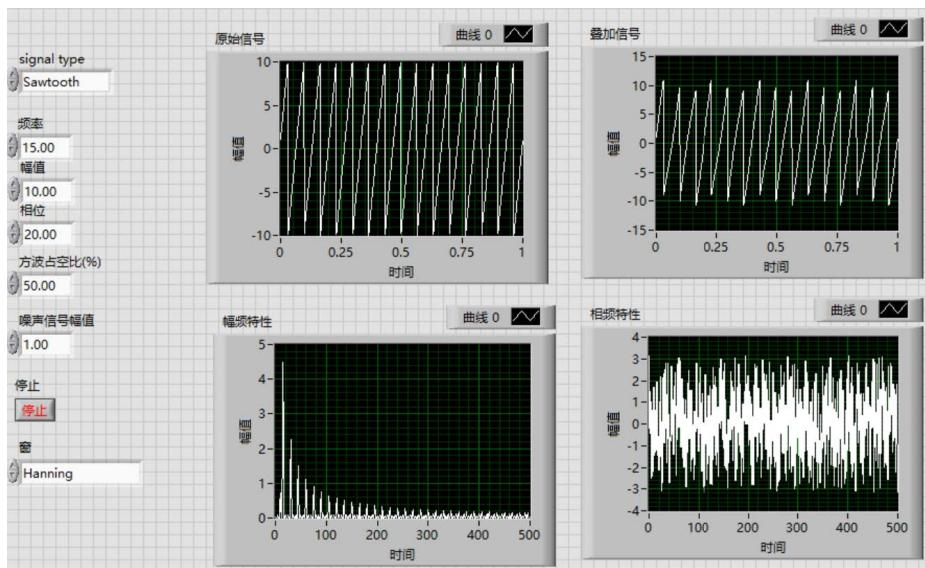
图五: 正弦波



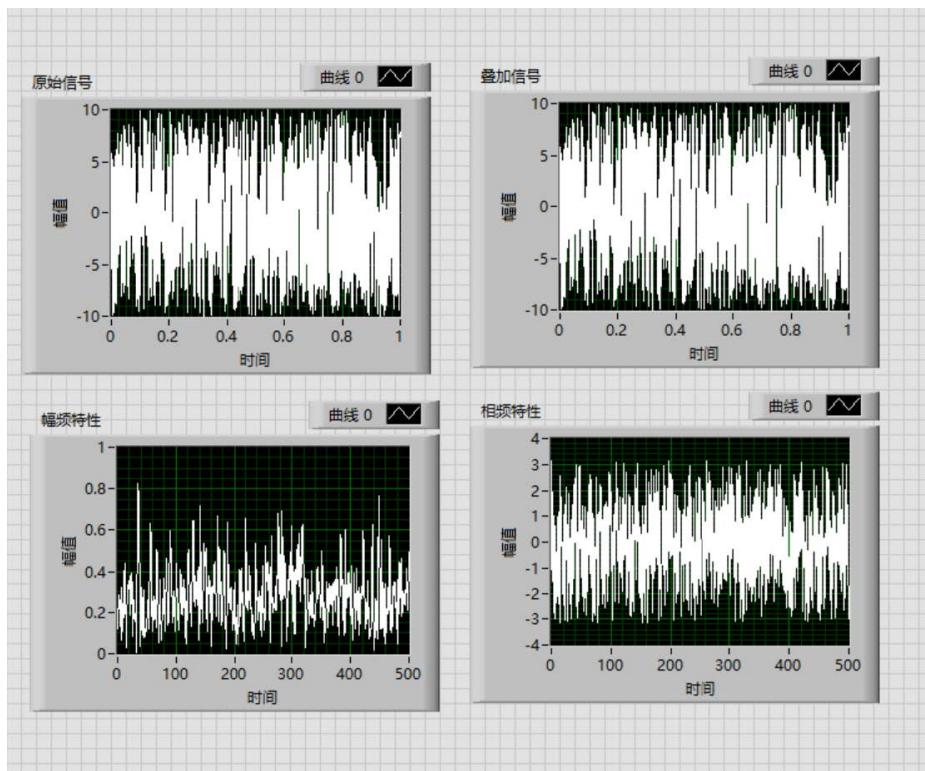
图六: 方波



图七: 三角波



图八: 锯齿波



图九: 白噪声

在频谱图上可以观察到一个尖峰, 尖峰对应的频率为主要频率分量的频率, 尖峰对应的幅值为主要频率分量的幅值

5.3) 3. 噪声信号影响分析 (10 分)

要求: 查看噪声信号对上述信号幅频、相频的影响。

分析

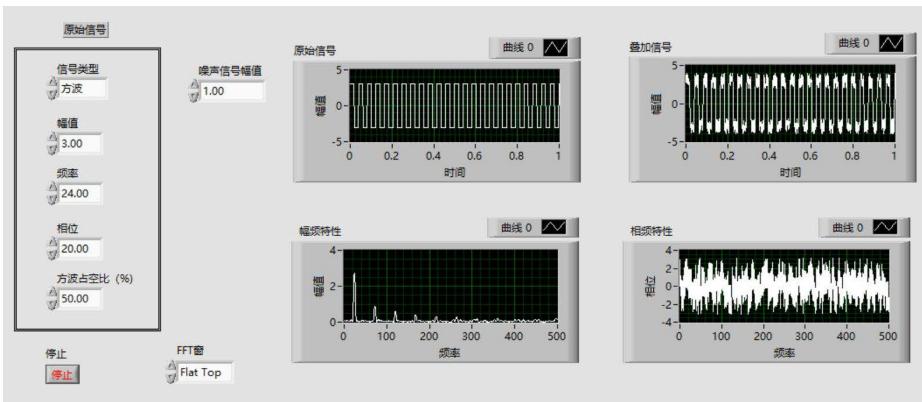
通过在原始信号中叠加白噪声, 观察噪声对频谱特性的影响。

幅频特性的影响:

由于白噪声在整个频带上均匀分布, 其能量分散在所有频率分量上。叠加噪声后, 可以观察到整个频谱的基底被抬高了, 就像给频谱图加了一个底噪平台。但是对于幅值较大的主要信号分量(如 50Hz 处的峰值), 这种影响相对较小, 主峰依然清晰可辨。只是当信号本身幅值较小或者噪声强度较大时, 有用信号的频谱可能会被噪声淹没, 导致信号特征不明显。

相频特性的影响:

在相频特性图中可以看到, 加入噪声后相位谱出现剧烈的抖动和波动, 这是因为噪声的相位是随机的。但需要注意的是, 这种视觉上的剧烈抖动主要发生在能量较小的频率点上, 对于主要频率分量的相位测量影响实际上并不大。真正重要的频率点的相位仍然可以准确识别。



图十: 噪声对信号幅频、相频的影响图

5.4) 4. 周期信号频率测量 (30 分)

要求: 产生 50Hz 正弦信号, 研究非整周期采样对 FFT 的影响。

信号 1: $f = 50 \text{ Hz}, F_s = 1280 \text{ Hz}, \#s = 128$

- 采样时间 $T = \frac{128}{1280} = 0.1\text{s}$
- 周期数 $N = 50 \times 0.1 = 5$ (整数周期)

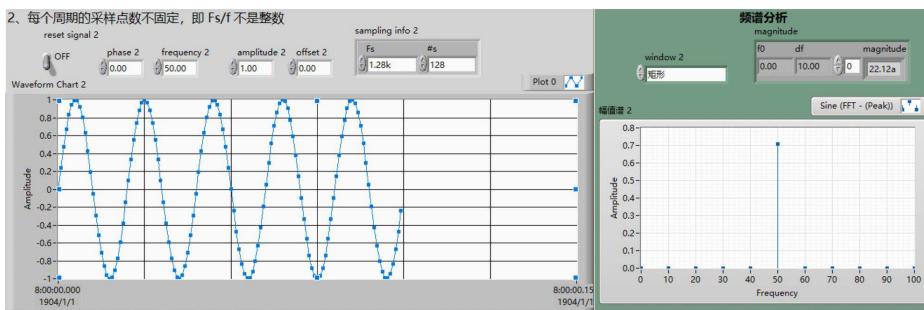
信号 2: $f = 50 \text{ Hz}, F_s = 1000 \text{ Hz}, \#s = 128$

- 采样时间 $T = \frac{128}{1000} = 0.128\text{s}$
- 周期数 $N = 50 \times 0.128 = 6.4$ (非整数周期)

问题①: 频谱泄漏分析

信号 1 ($f = 50\text{Hz}, F_s = 1280\text{Hz}, \#s = 128$):

采样时间为 0.1 秒, 正好包含 5 个完整的信号周期 ($50\text{Hz} \times 0.1\text{s} = 5$)。在频谱图中, 能量高度集中在 50Hz 处, 呈现为一条清晰的谱线, 几乎没有能量泄漏到相邻频率点。这是理想的整周期采样情况。



图十一: $f = 50\text{Hz}, F_s = 1280\text{Hz}, \#s = 128$

信号 2 ($f = 50\text{Hz}, F_s = 1000\text{Hz}, \#s = 128$):

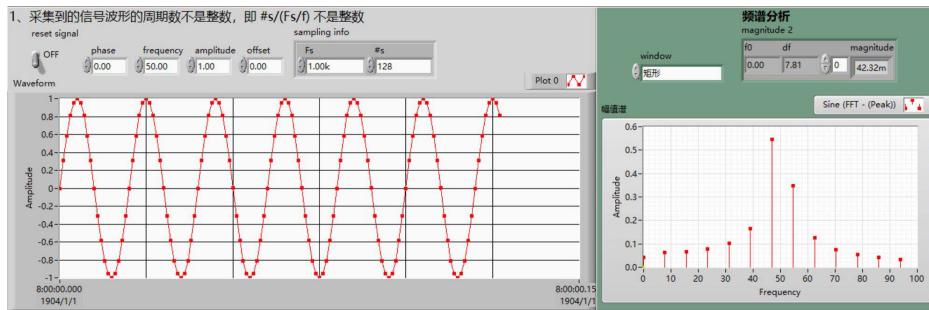


图 十二: $f = 50\text{Hz}$, $F_s = 1000\text{Hz}$, $\#s = 128$

采样时间为 0.128 秒，包含 6.4 个信号周期 ($50\text{Hz} \times 0.128\text{s} = 6.4$)，不是整数周期。频谱图中可以明显看到，50Hz 处的主峰变宽了，并且能量向两侧扩散，出现了明显的“拖尾”现象，这就是频谱泄漏。

频谱泄漏产生的原理：

FFT 算法本质上假设输入的时域信号是周期性重复的。当我们只截取信号的一段进行分析时，相当于对原始信号施加了一个矩形窗函数。如果截取的这段信号首尾不能平滑连接（即非整周期采样），那么周期性重复后就会在连接处产生突变。这种时域的突变在频域表现为能量的扩散，即频谱泄漏。从数学角度看，时域的截断相当于与矩形窗相乘，对应频域的卷积操作，而矩形窗的频谱具有较宽的主瓣和显著的旁瓣，这就导致了原本单一频率的信号在频域被“模糊”了。

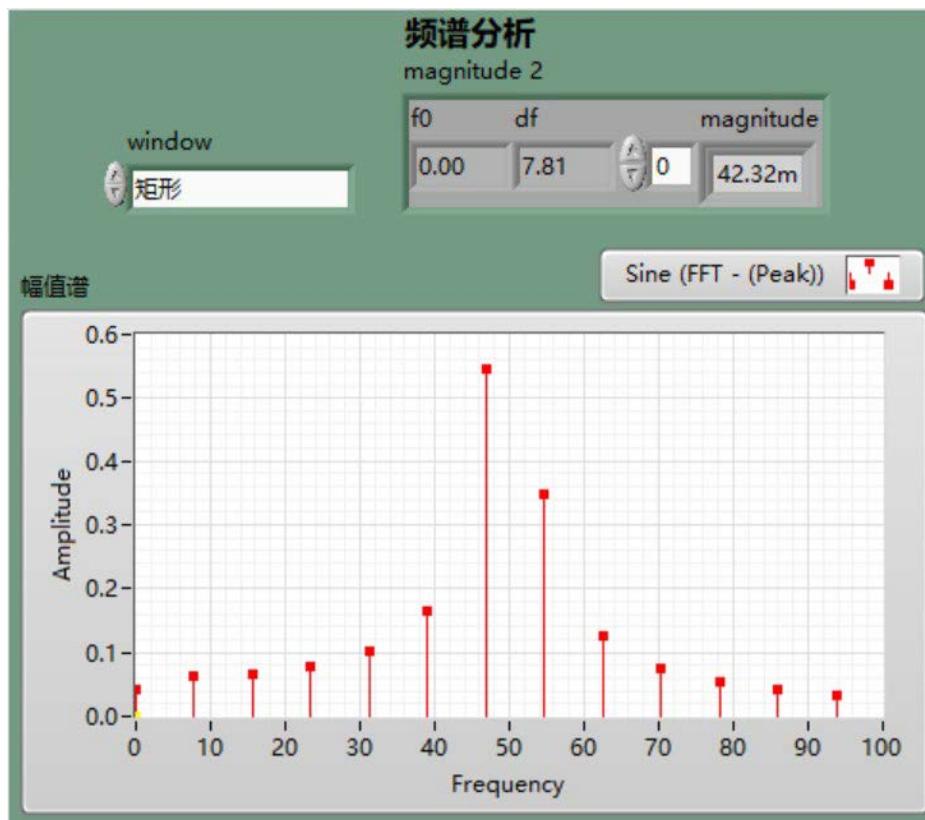
问题 ②：提高准确率的方法

针对非整周期采样导致的频谱泄漏问题，通过实验验证了以下三种改进方法：

方法一：选择合适的窗函数

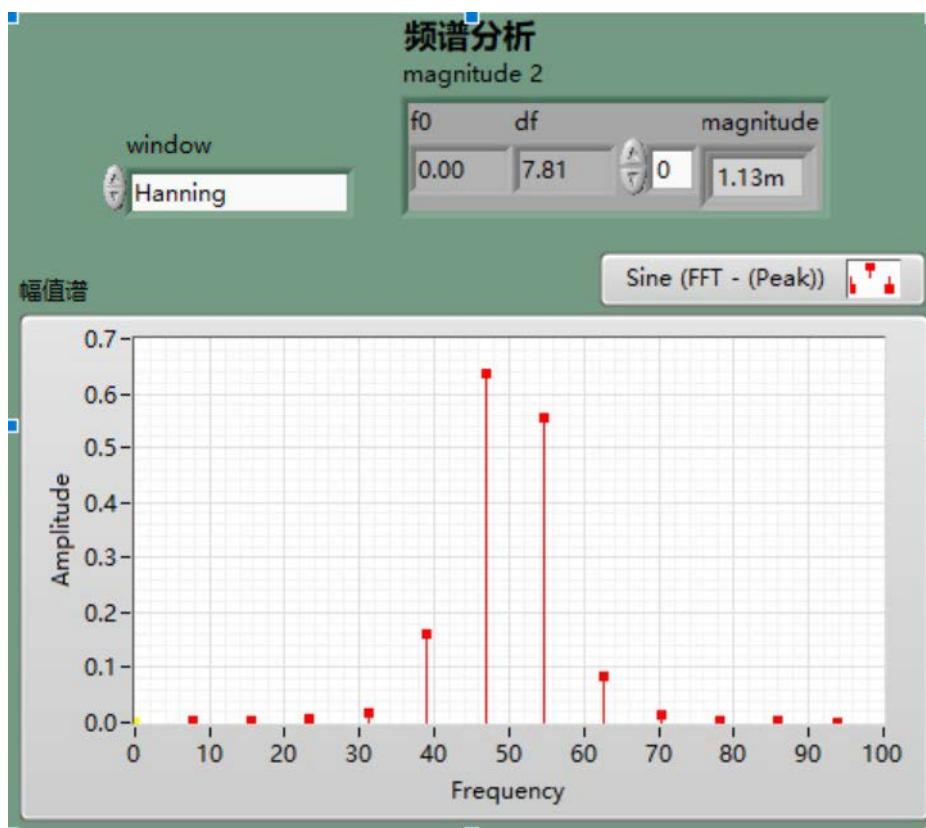
将默认的矩形窗更换为其他窗函数，比较不同窗函数的效果：

- 矩形窗：频谱泄漏最严重，但频率分辨率最高，谱峰最尖锐



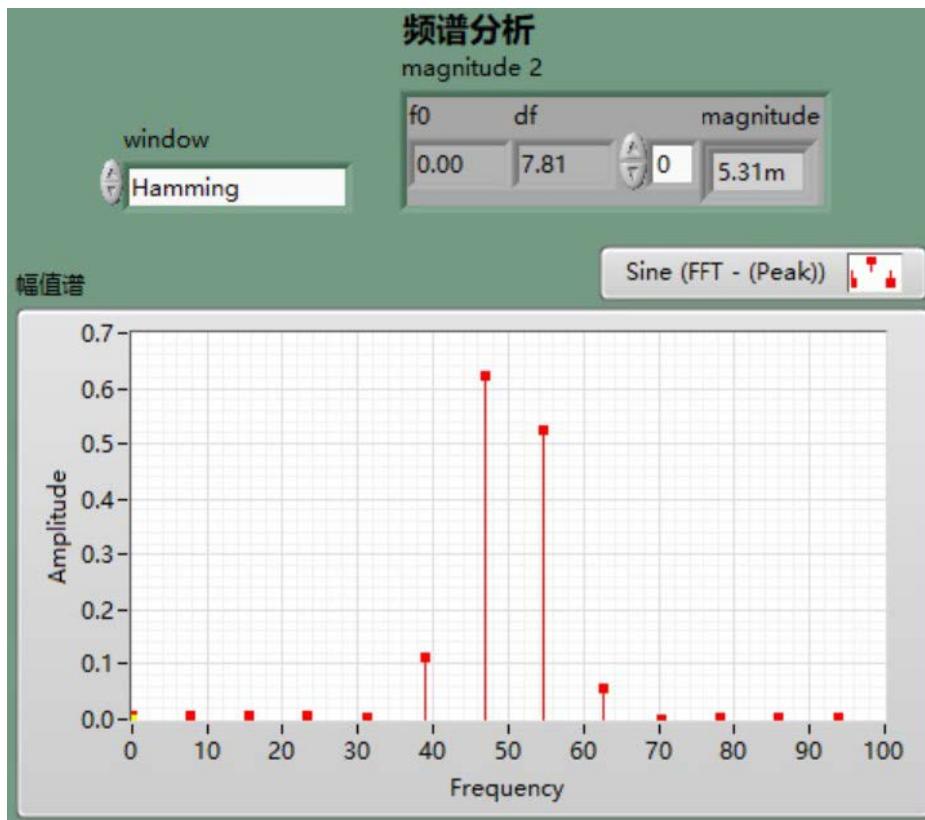
图十三: 矩形窗

- **Hanning 窗:** 相比矩形窗明显减少了旁瓣泄漏，主瓣变宽但可接受



图十四: Hanning 窗

- **Hamming** 窗: 旁瓣抑制效果比 Hanning 窗更好, 是工程中常用的折中选择



图十五: Hamming 窗

- 三角窗: 泄漏抑制效果一般, 不如 Hanning 和 Hamming 窗

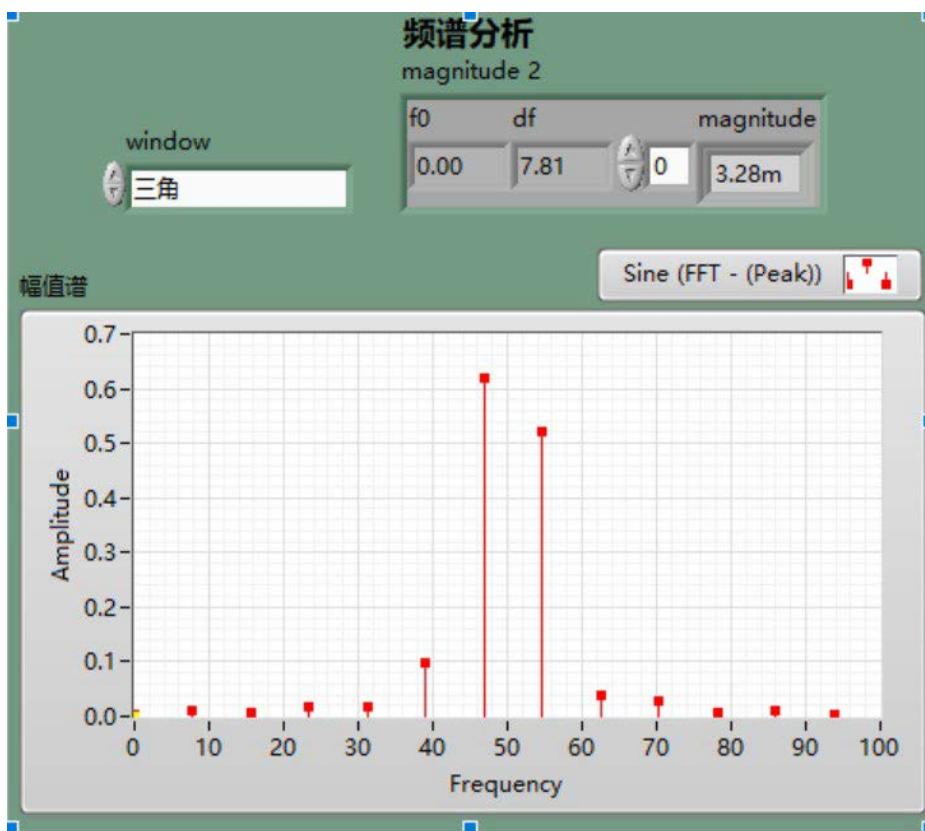
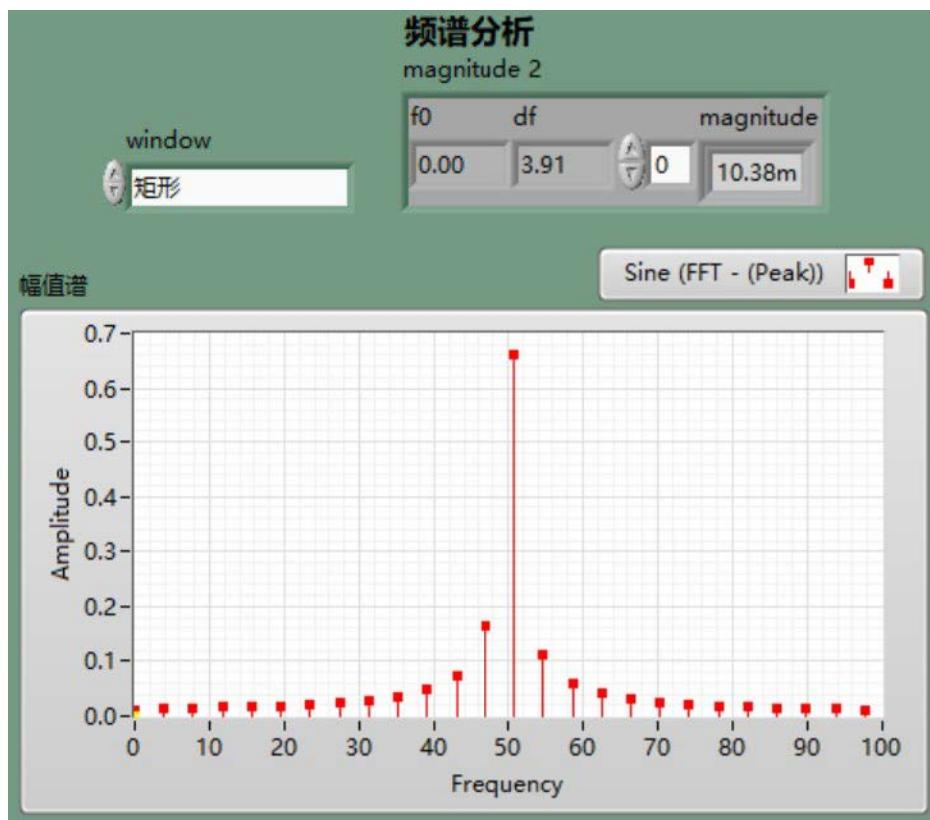


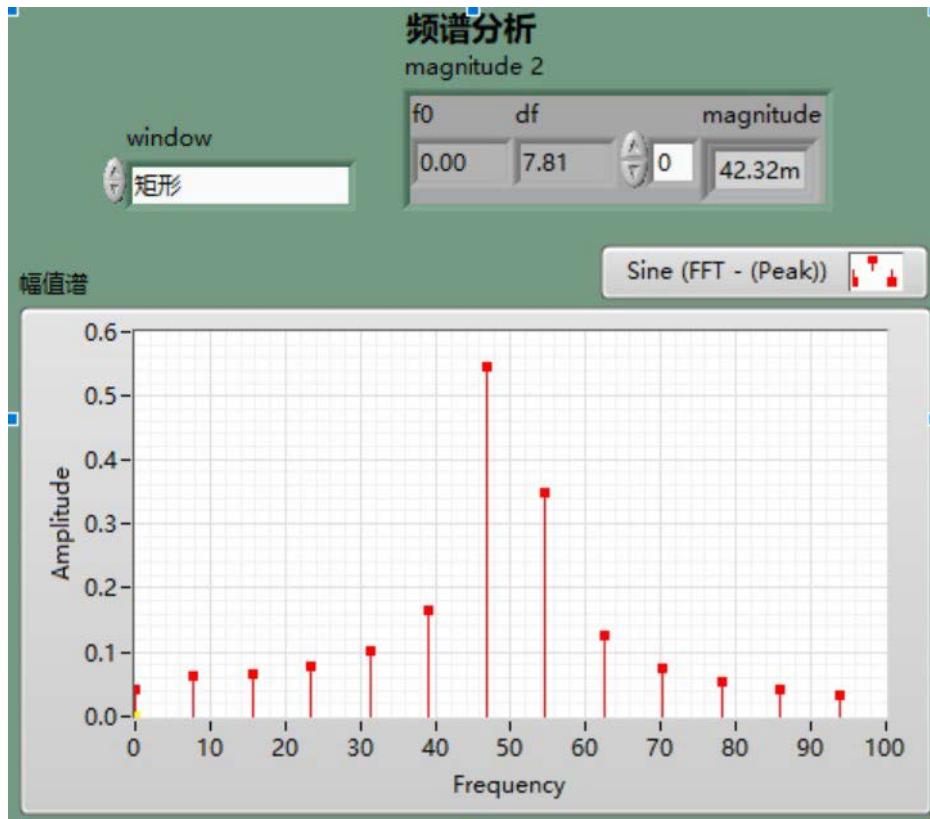
图 十六: 三角窗

窗函数的作用是对信号边缘进行平滑过渡，使首尾能够更好地衔接，从而减少截断引起的突变。不同窗函数在旁瓣抑制和主瓣宽度之间有不同的权衡。

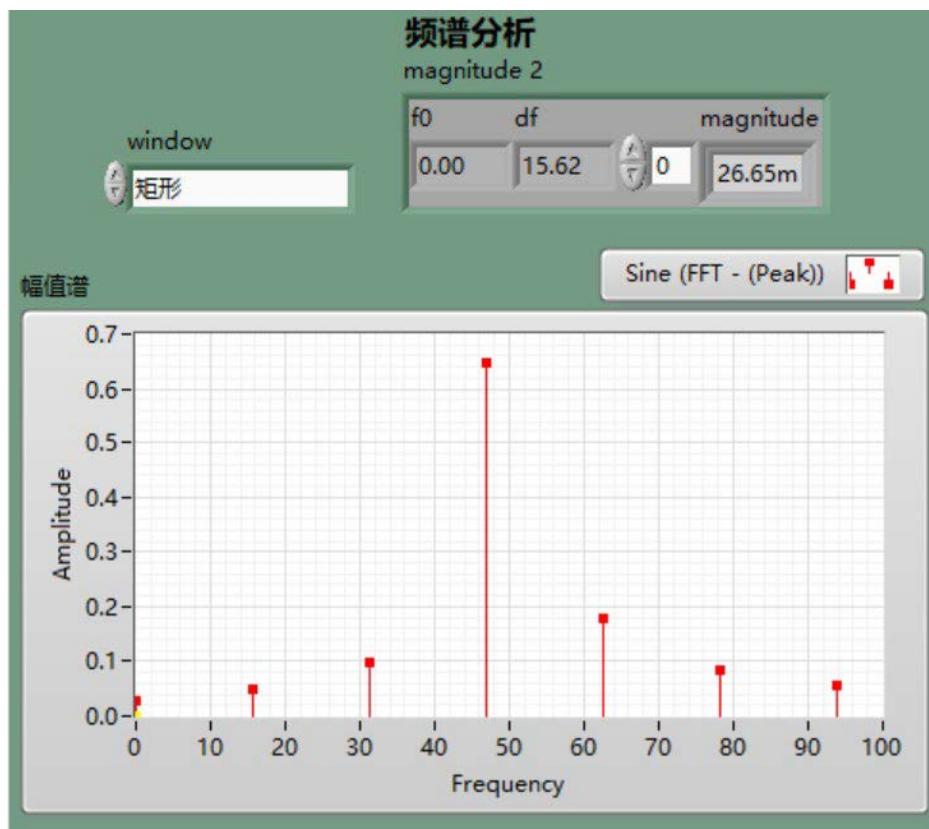
方法二：增加采样点数



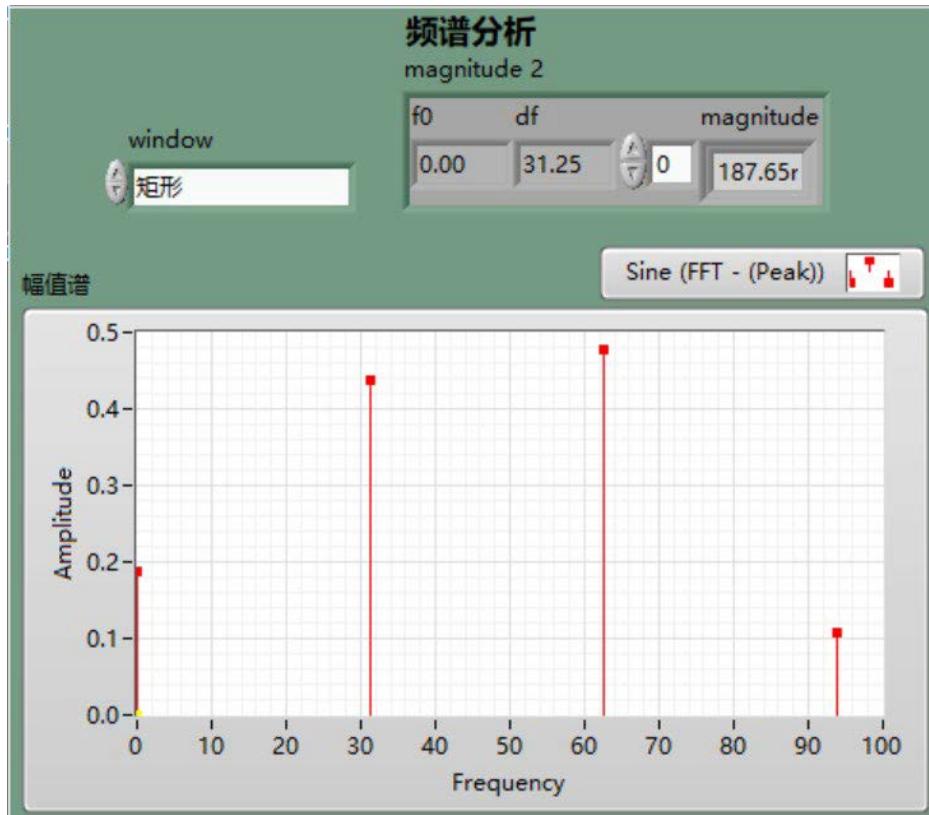
图十七: $\#s = 256$



图十八: $\#s = 128$



图十九: $\#s = 64$



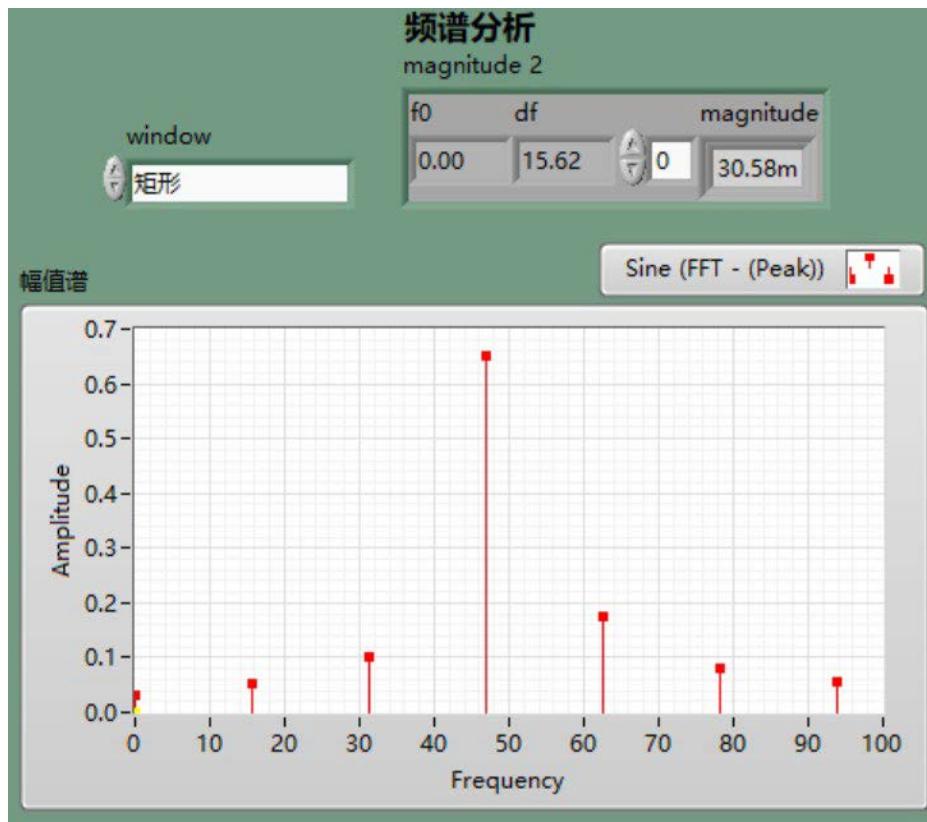
图二十: $\#s = 32$

对比不同采样点数（32、64、128、256）的频谱分析结果：

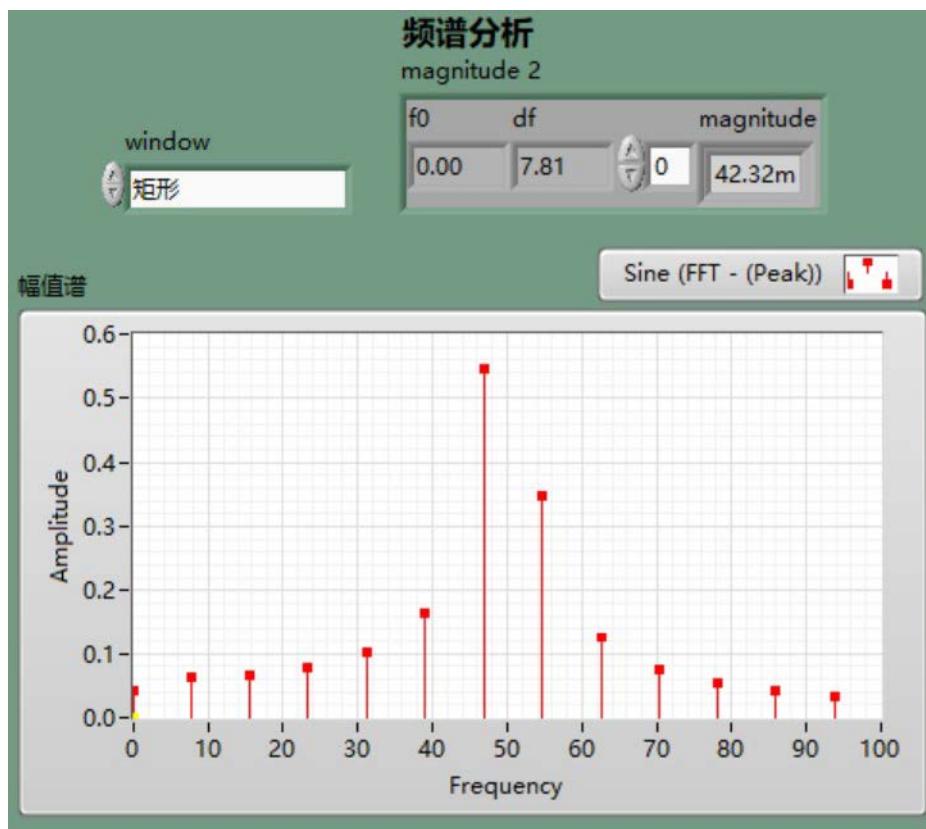
- 采样点数越多，频率分辨率越高 ($\Delta f = \frac{F_s}{N}$)
- 更多的采样点增加了包含整周期的可能性
- 即使仍是非整周期，更长的采样时间也能更准确地反映信号特性
- 但需要注意采样点数应选择 2 的幂次，以提高 FFT 计算效率

从实验结果看，采样点数从 32 增加到 256 时，频谱的精细度明显提升，主峰更加锐利。

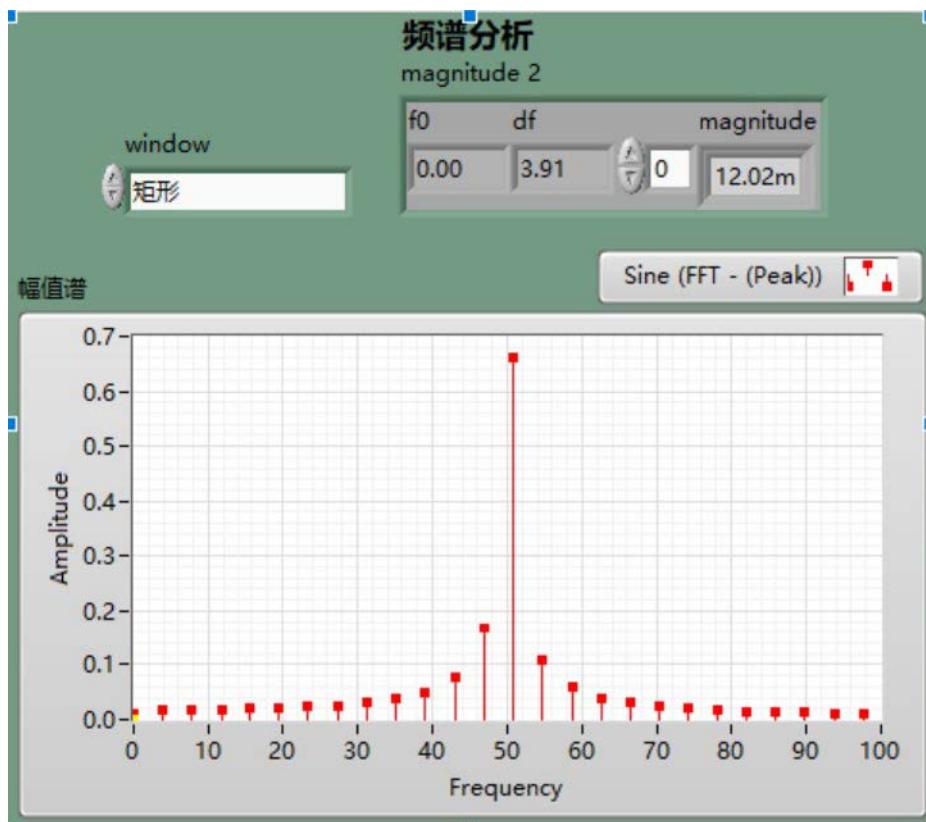
方法三：调整采样率



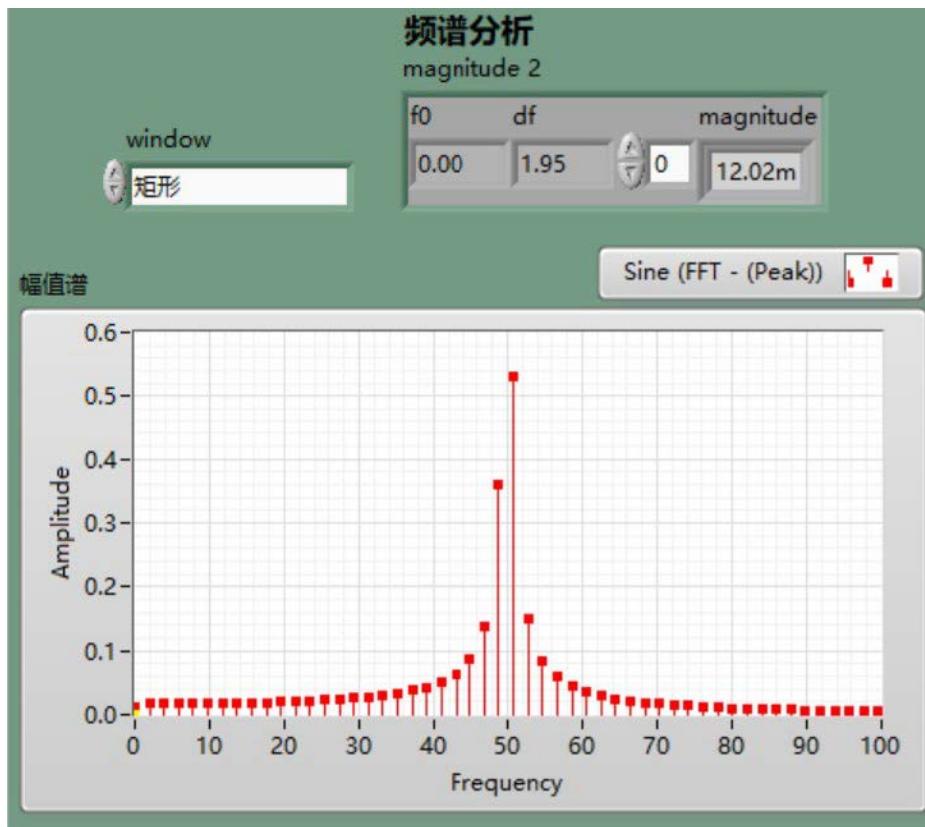
图二十一: $F_s = 2000\text{Hz}$



图二十二: $F_s = 1000\text{Hz}$



图二十三: $F_s = 500\text{Hz}$



图二十四: $F_s = 250\text{Hz}$

对比不同采样率 (250Hz、500Hz、1000Hz、2000Hz) 的效果:

- 适当降低采样率可以改变采样时间，有可能恰好实现整周期采样
- 对于 50Hz 信号，选择采样率为 1250Hz、采样点数 125，可以得到整周期采样
- 但采样率不能太低，需满足奈奎斯特采样定理 ($F_s g = 2f_{\{\max\}}$)

通过合理选择采样率和采样点数的组合，使 $\frac{N}{F_s}$ 为信号周期的整数倍，是消除频谱泄漏的根本方法。

5.5) 5. (选做) 数据记录仪设计 (10 分)

要求：完成数据采集、分析、存储、调用回放功能。

选做内容

见《数据回放.vi》与《数据记录.vi》