

## 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

1. 熟悉 LabVIEW 软件界面，了解 LabVIEW 的编程环境。
2. 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

1. 建立新 **VI**：启动 LabVIEW，新建 VI。
2. 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。
3. 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。
4. 运行调试：保存为“温度和容积.vi”，运行并观察结果。

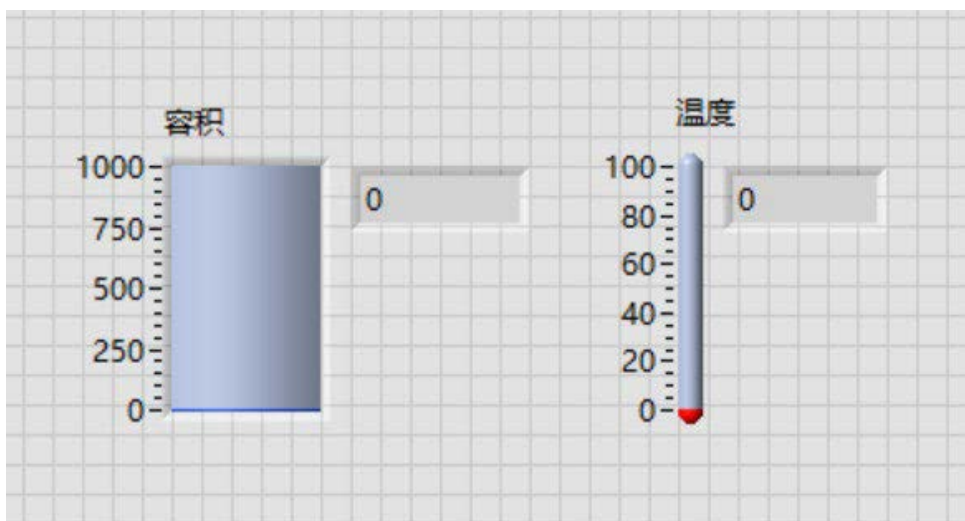


图 一: 温度和容积.vi 前面板

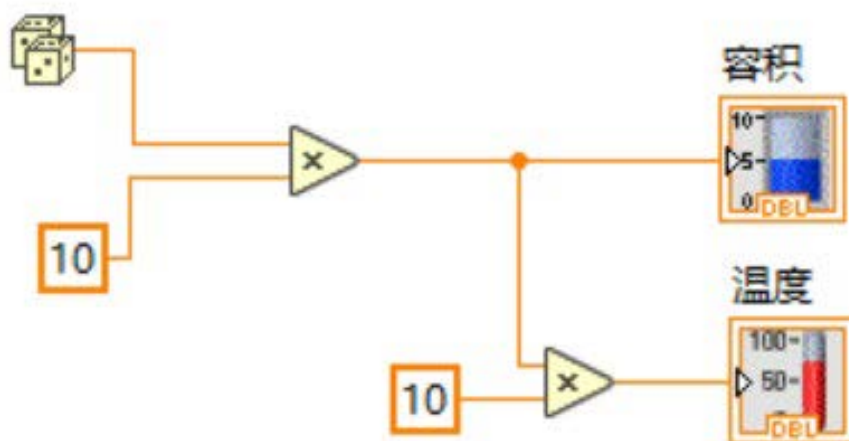


图 二: 温度和容积.vi 程序框图

## 五、思考题 (10 分)

1. 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

1. 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。
2. 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。
3. 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。

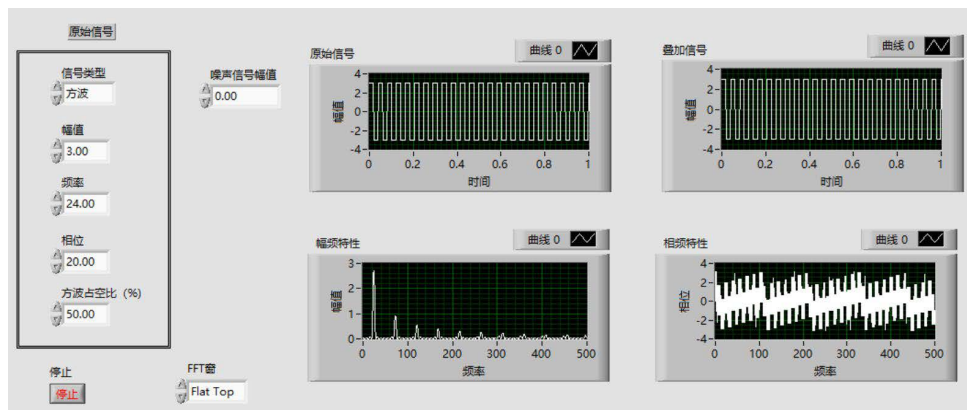


图 三: 信号发生与频谱分析程序前面板

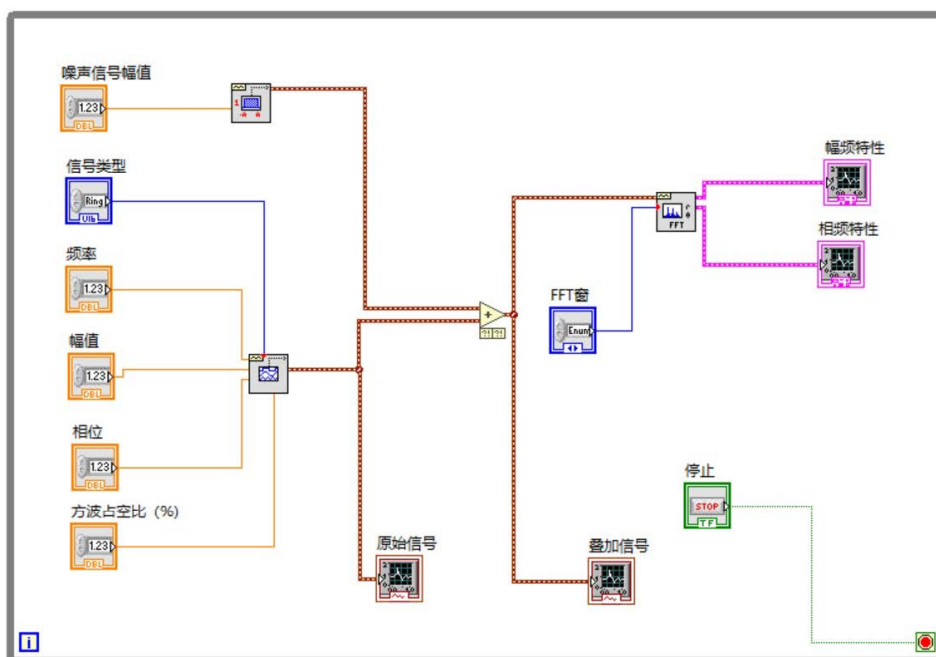


图 四: 信号发生与频谱分析程序框图

## 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

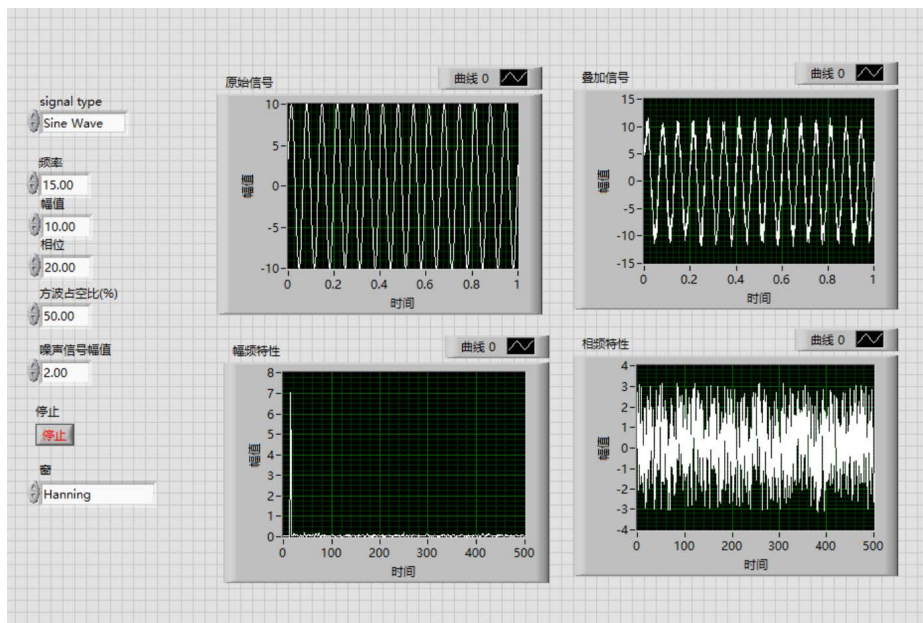


图 五: 正弦波

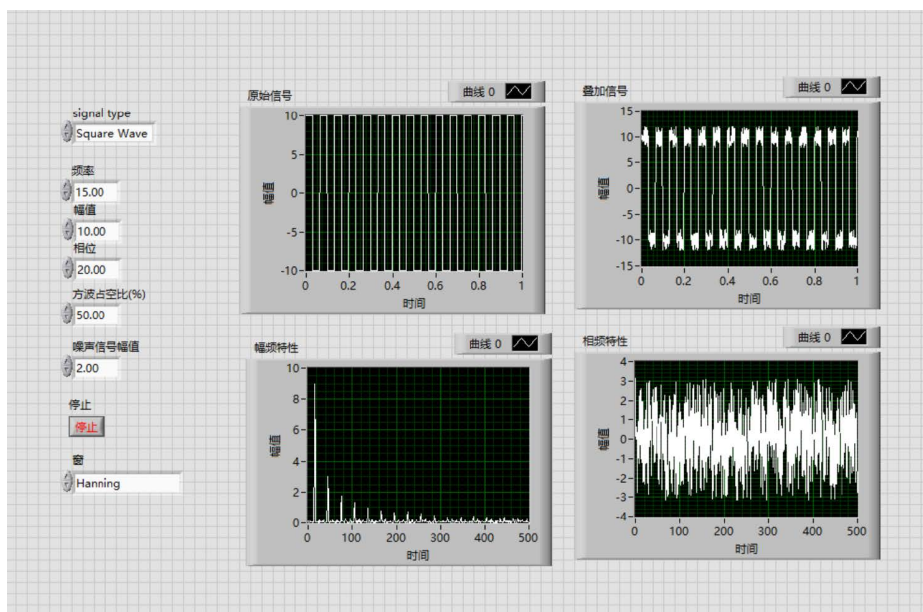


图 六: 方波



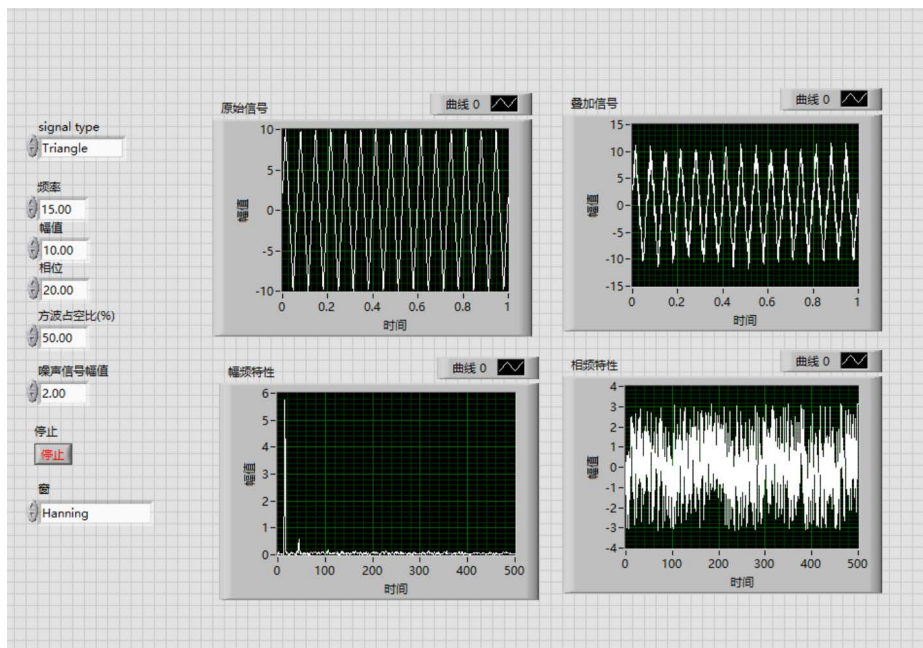


图 七: 三角波

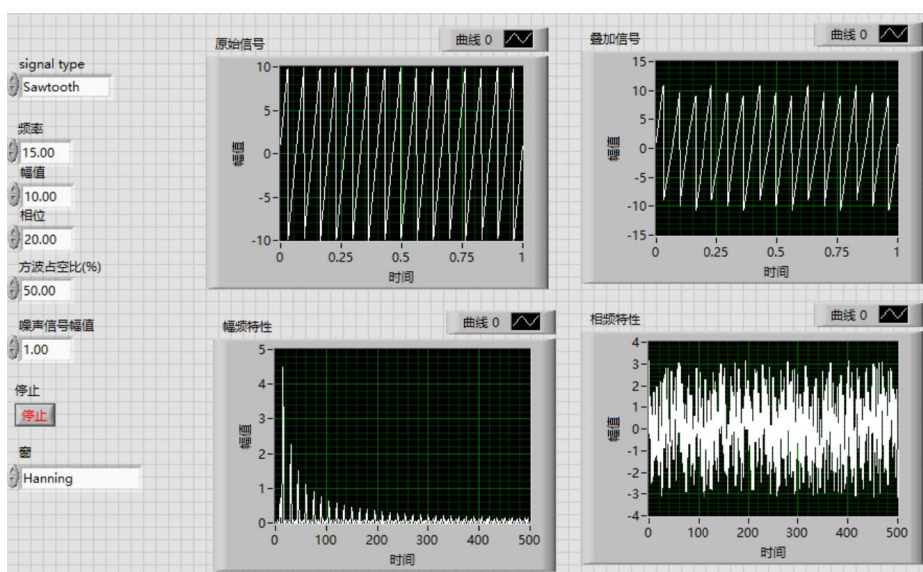


图 八: 锯齿波



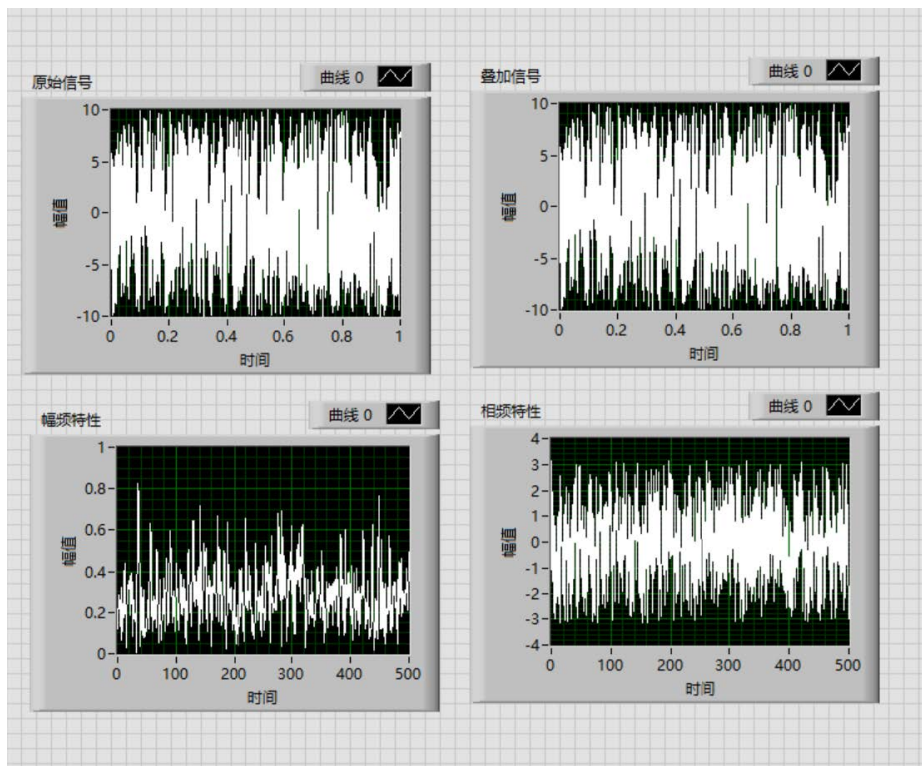


图 九: 白噪声

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。

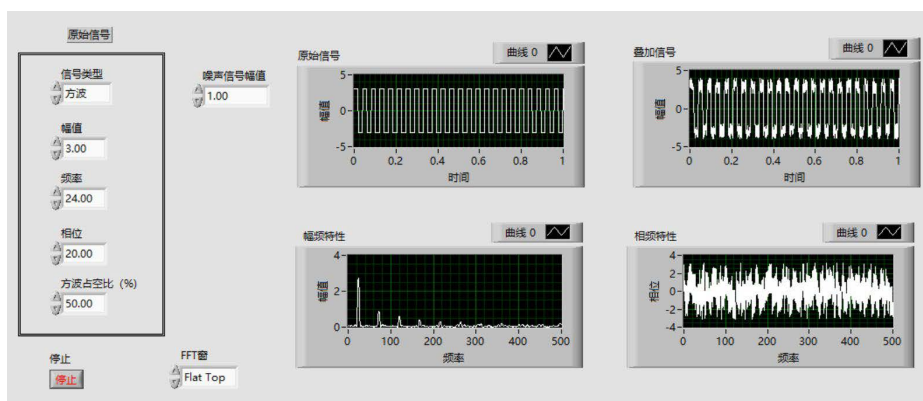


图 十: 噪声对信号幅频、相频的影响图

#### 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。

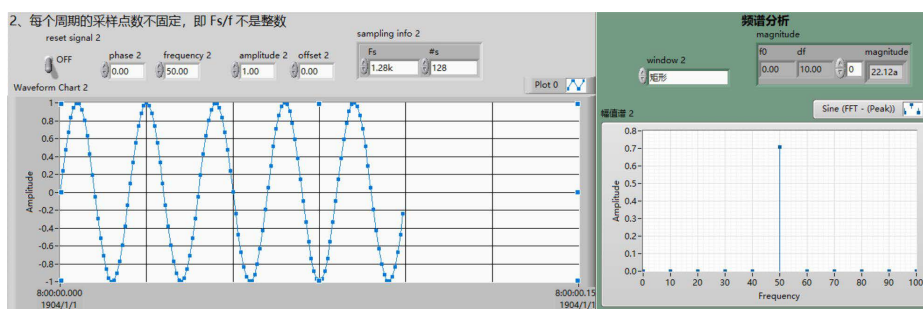


图 十一:  $f = 50 \text{ Hz}$ ,  $F_s = 1280 \text{ Hz}$ ,  $\#s = 128$

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

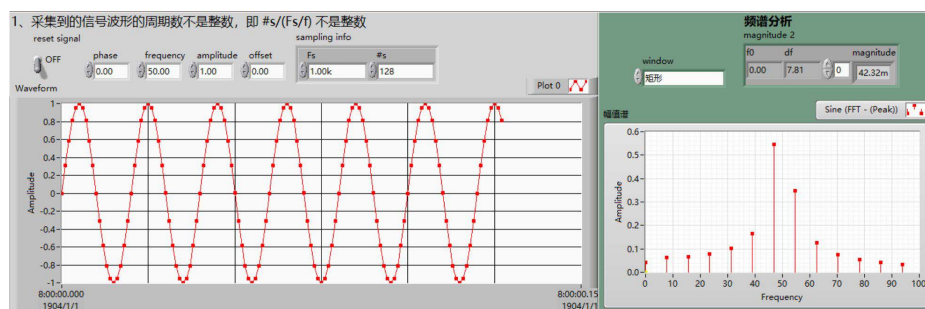


图 十二:  $f = 50\text{Hz}$ ,  $F_s = 1000\text{Hz}$ ,  $\#s = 128$

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

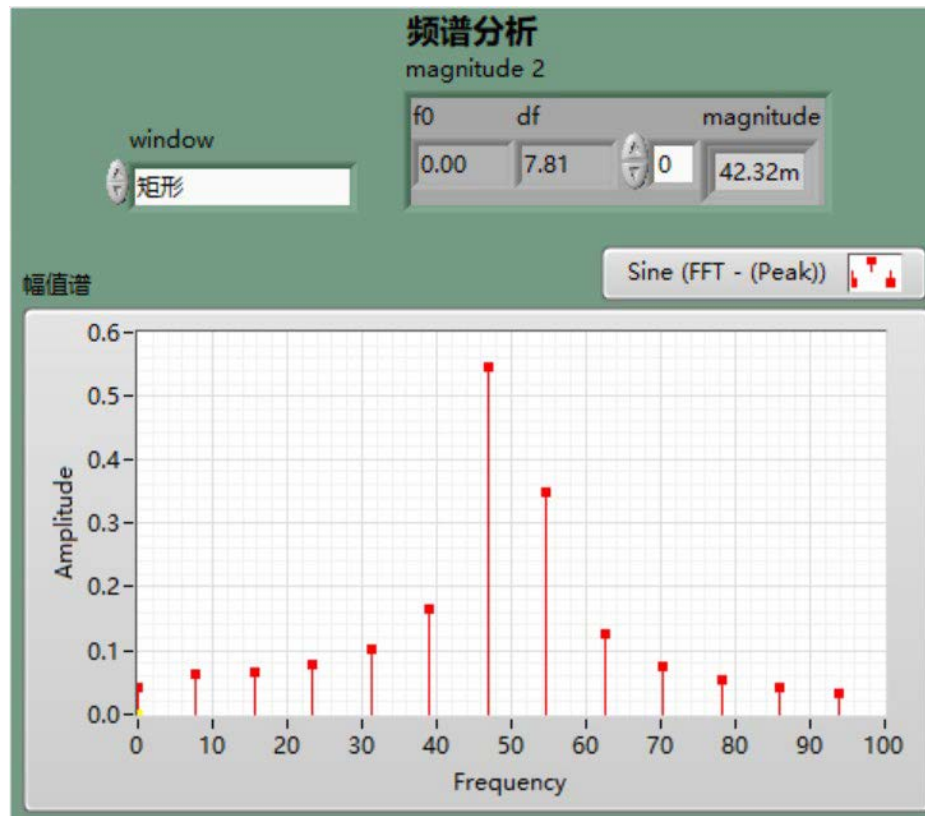


图 十三: 矩形窗

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

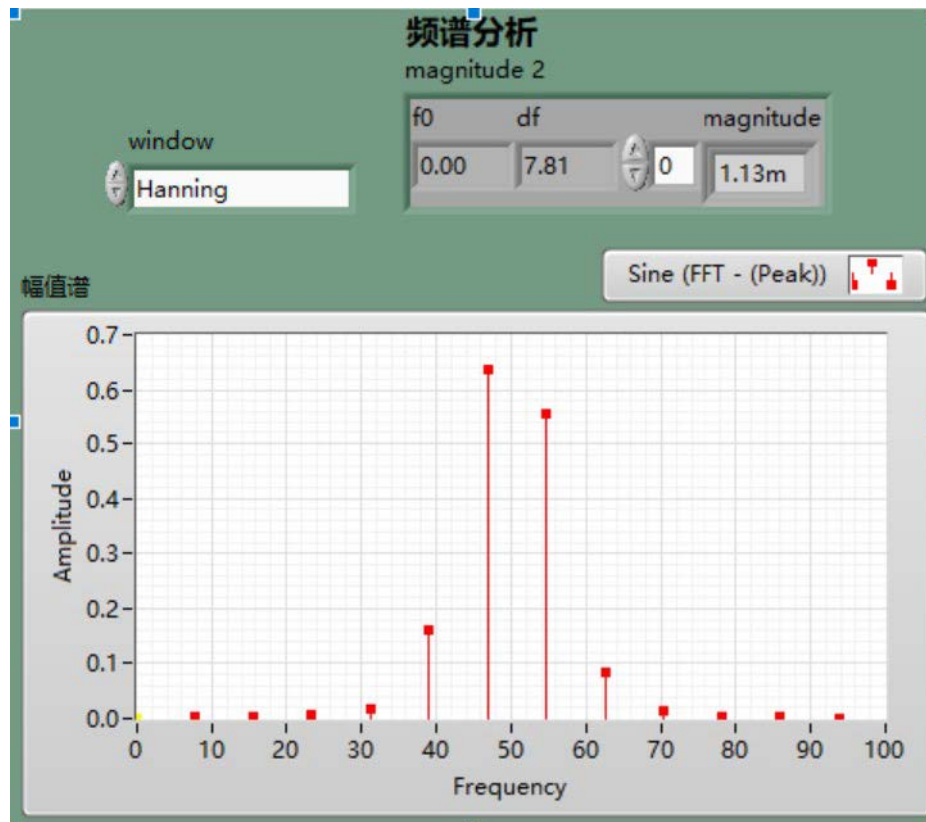


图 十四: Hanning 窗

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

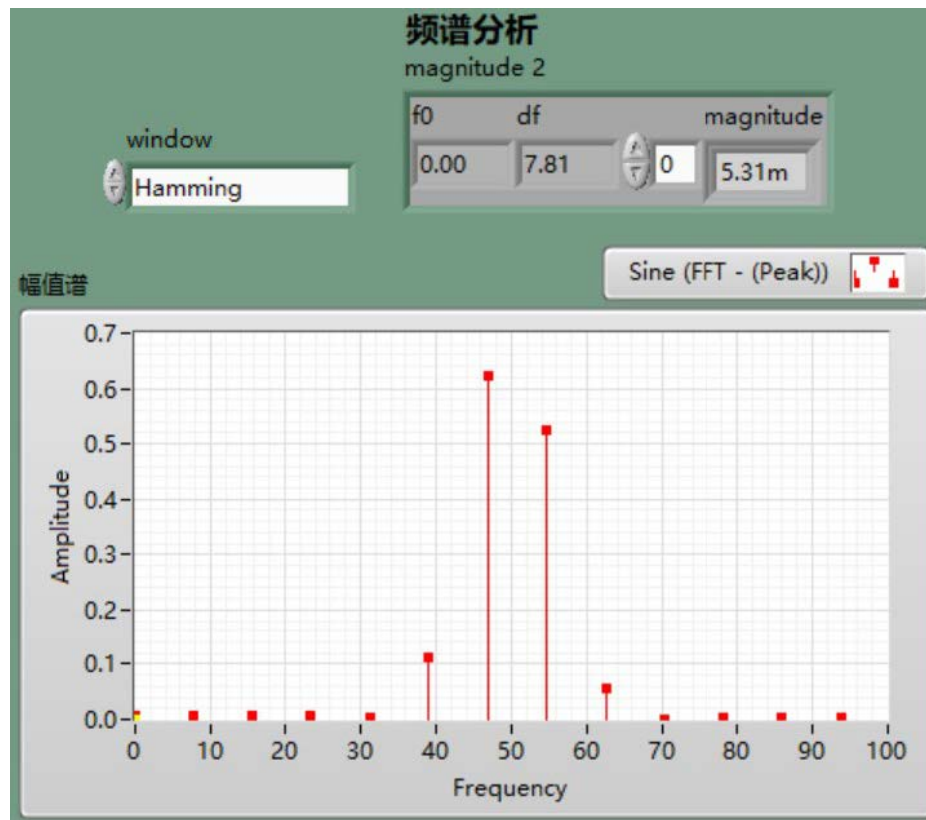


图 十五: Hamming 窗

- 三角窗：泄漏抑制效果一般，不如 Hanning 和 Hamming 窗



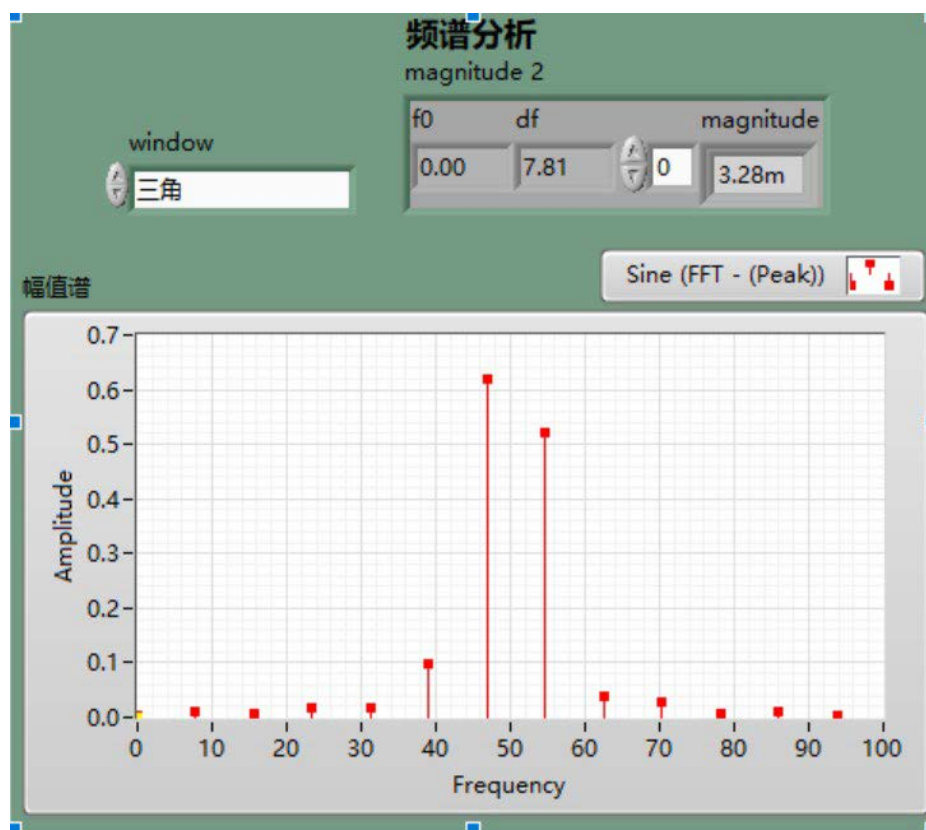


图 十六: 三角窗

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

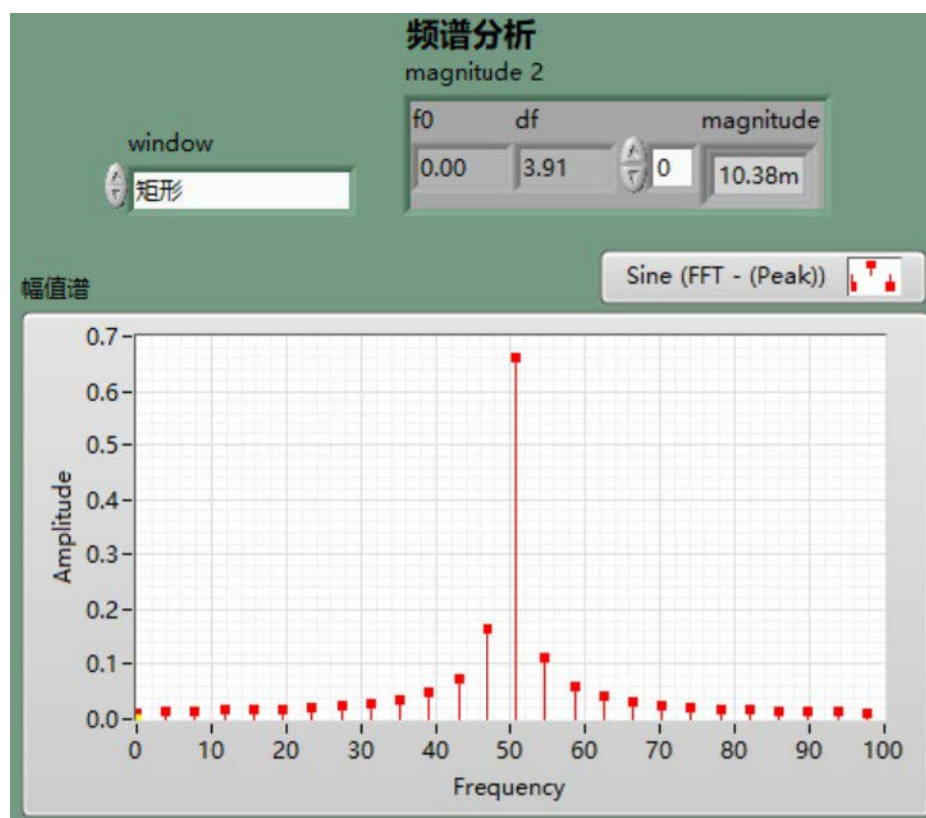


图 十七:  $\#s = 256$

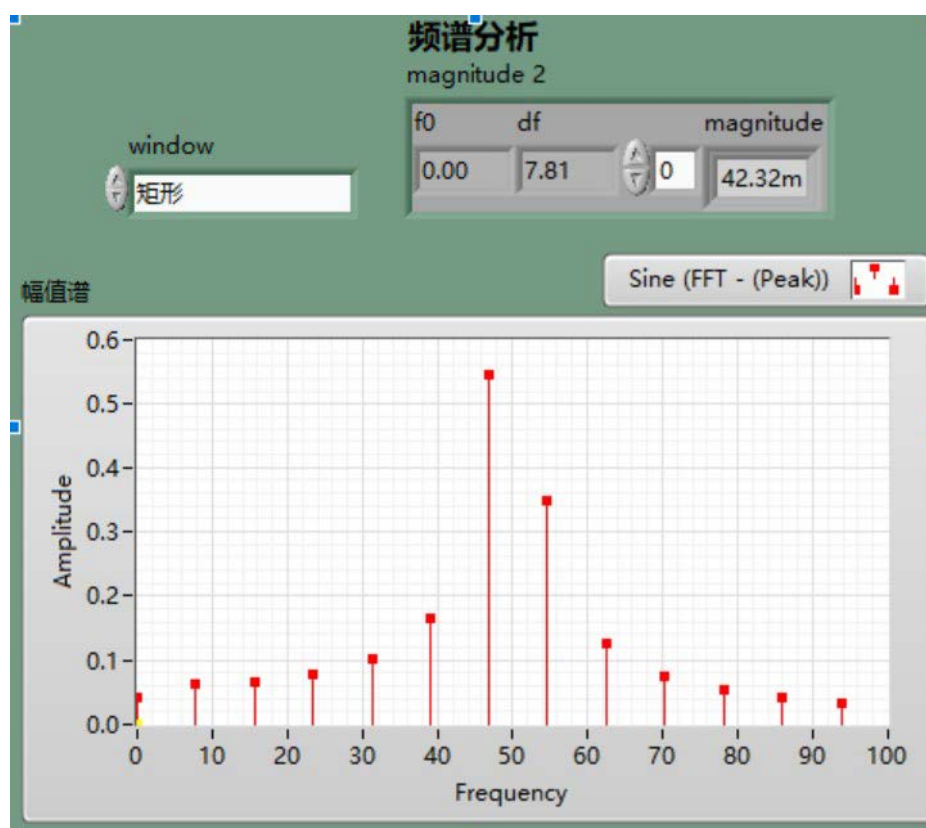


图 十八:  $\#s = 128$

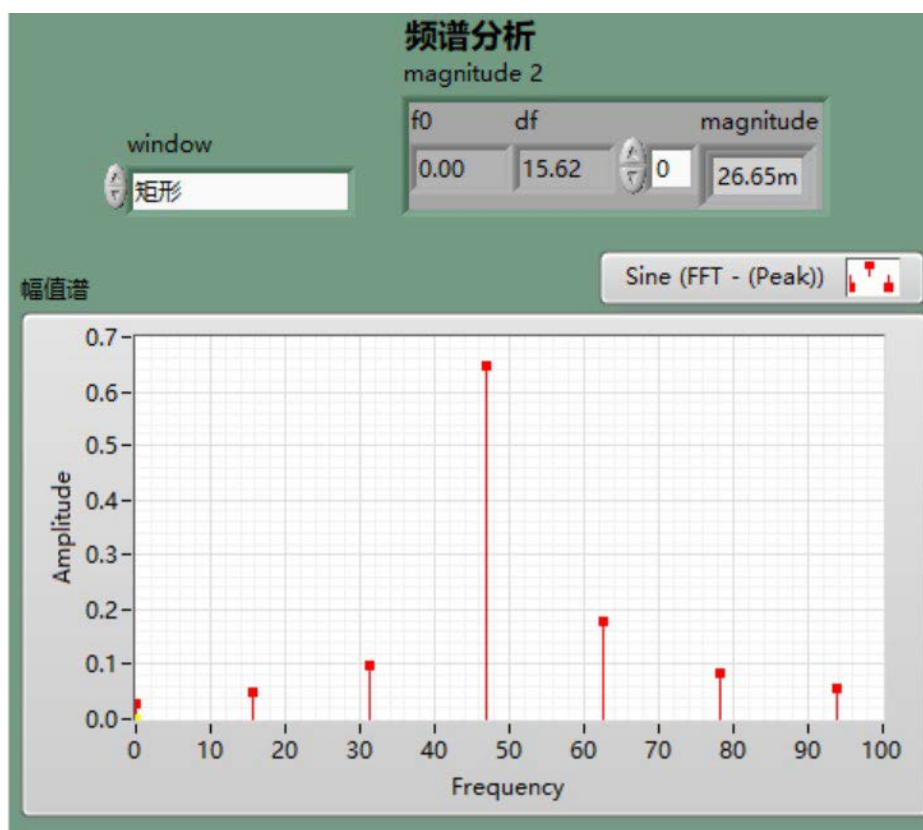


图 十九:  $\#s = 64$

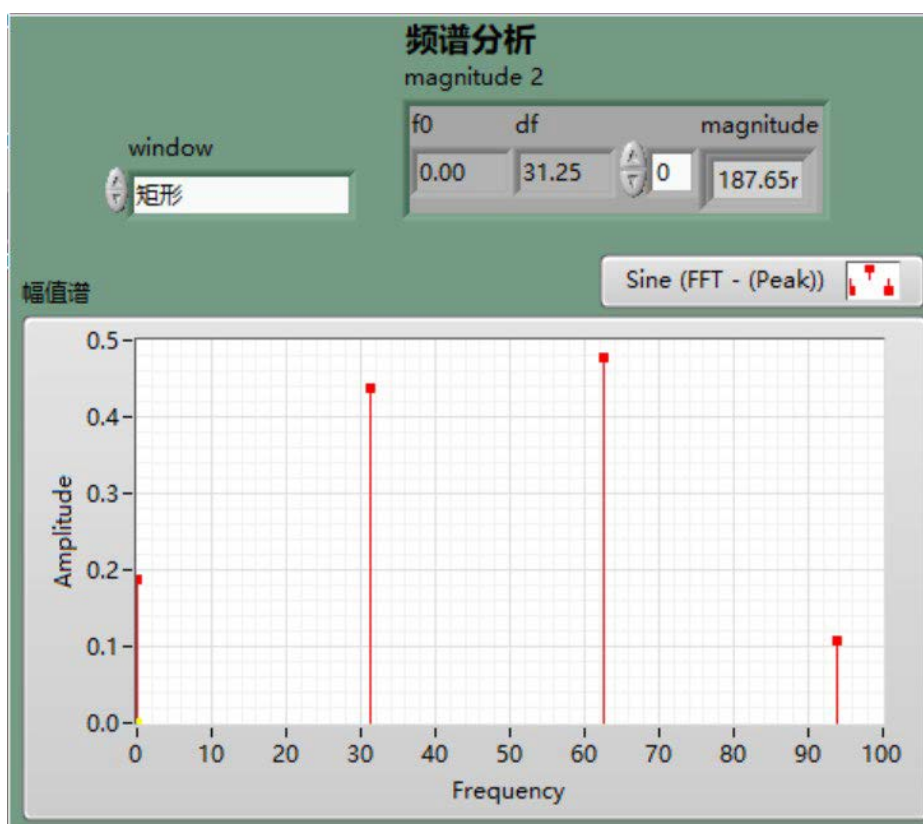


图 二十:  $\#s = 32$

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

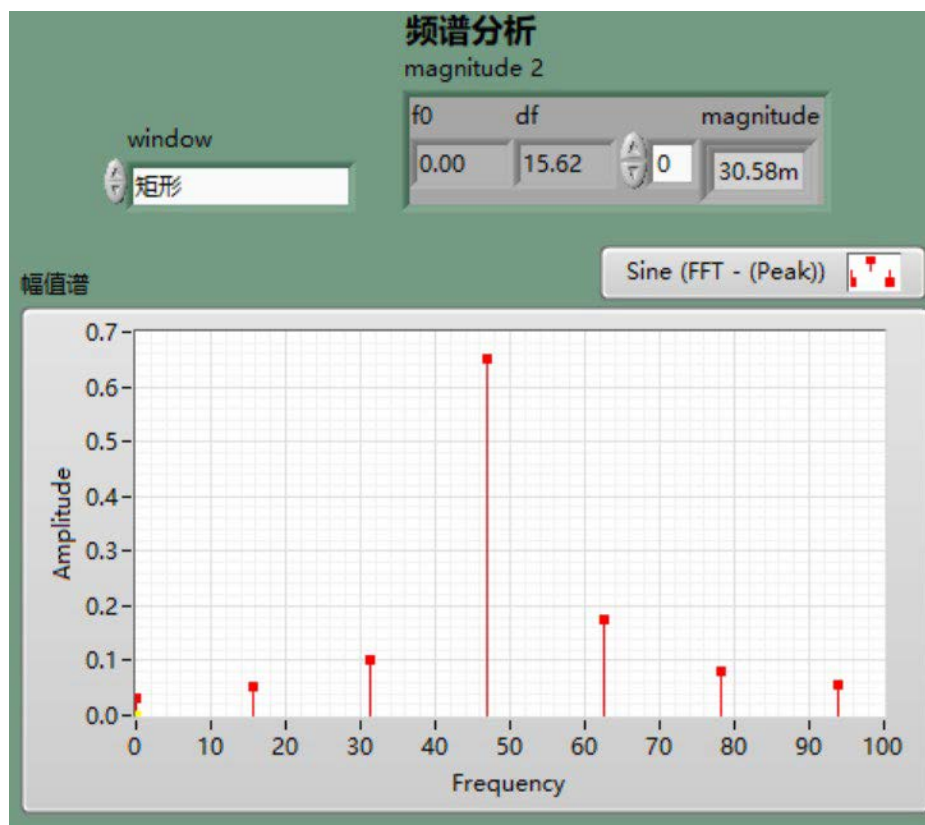


图 二十一:  $F_s = 2000\text{Hz}$

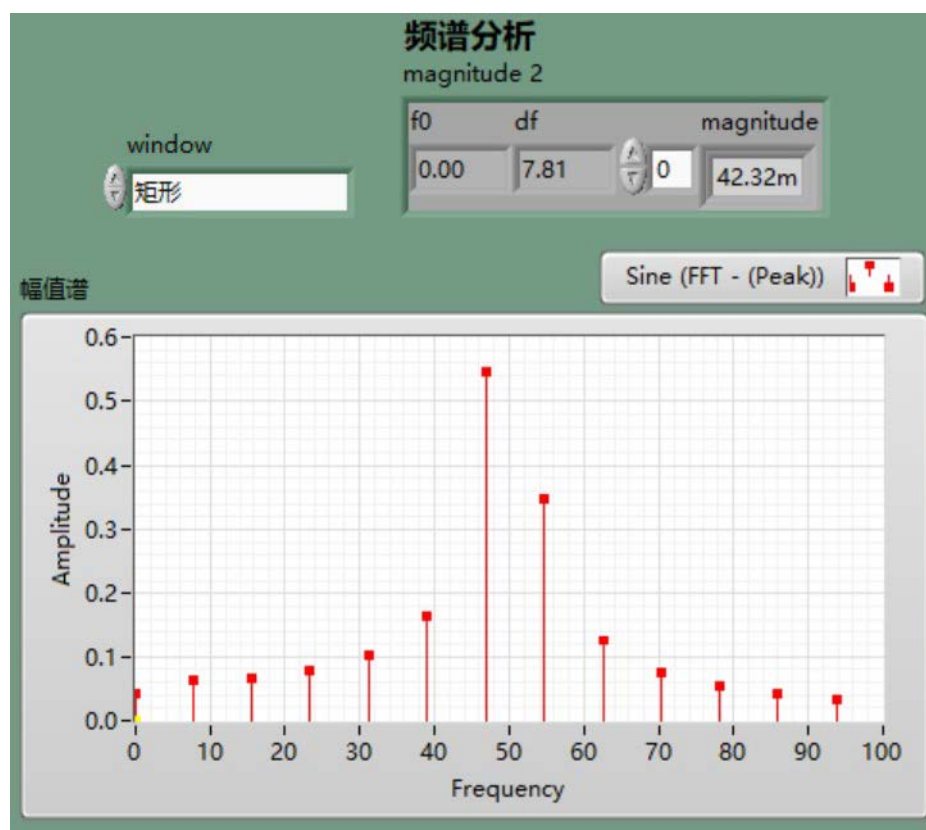


图 二十二:  $F_s = 1000\text{Hz}$

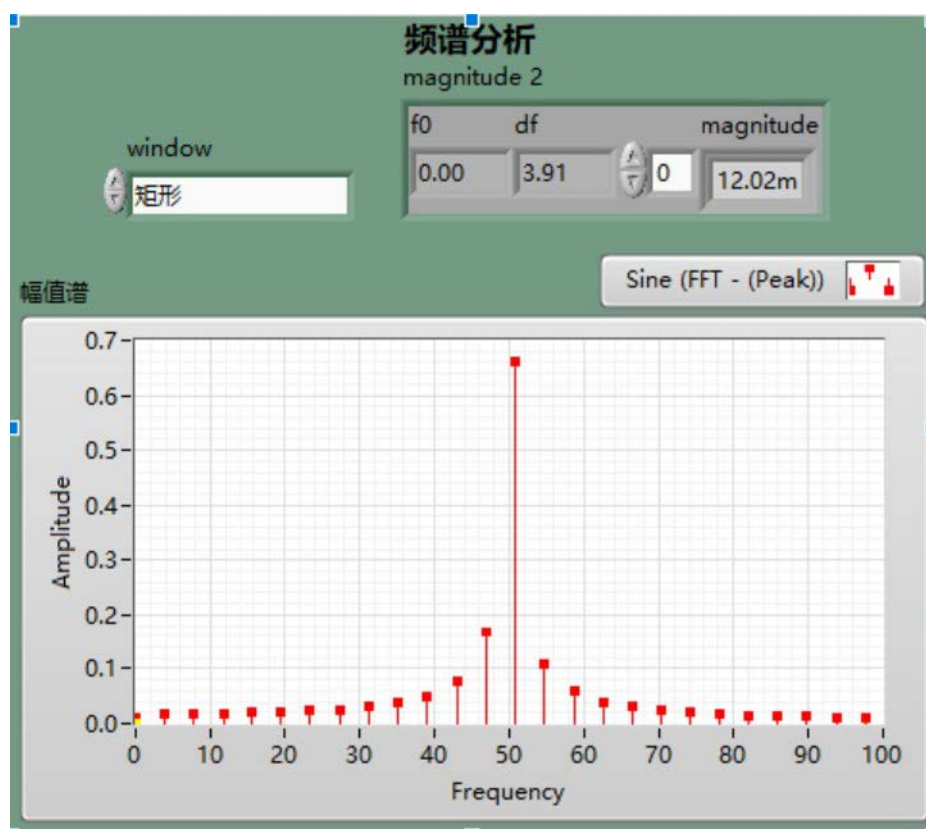


图 二十三:  $F_s = 500\text{Hz}$

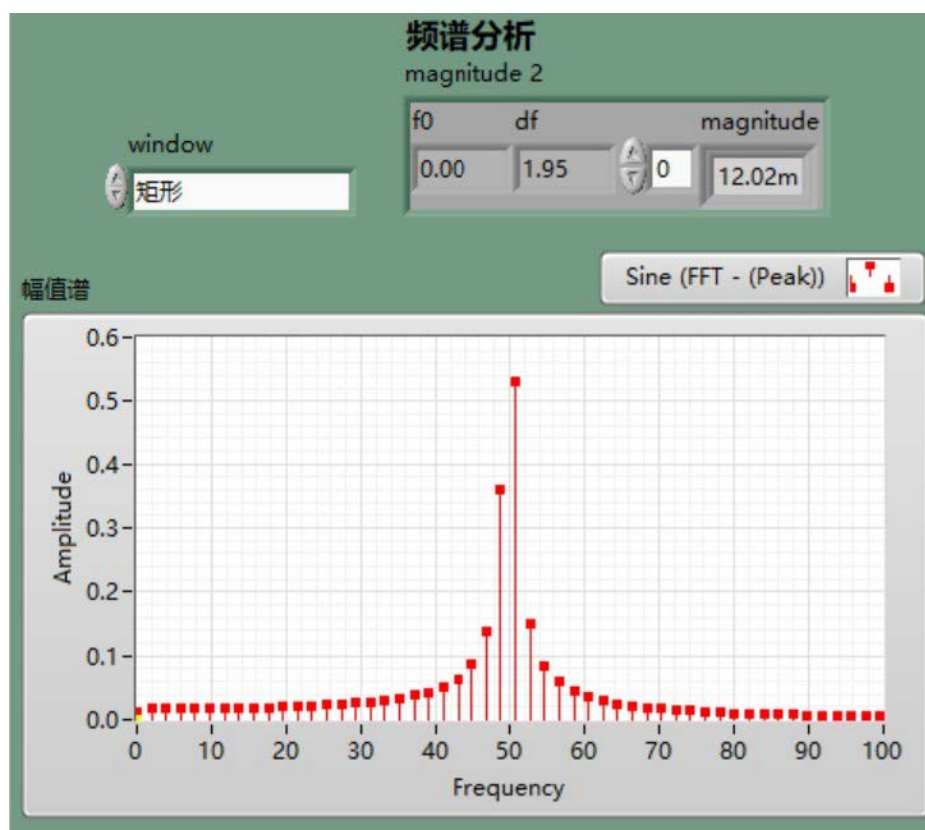


图 二十四:  $F_s = 250\text{Hz}$

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 ( $F_s \geq 2f_{\max}$ )

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》