《基础物理实验》课程完整报告

学院： 物理学院　专业： 物理学　年级： 2024 级　地址： 陆佑堂

日期： 2025 年 10 月 10 日　　时间： 上午

室温： 25°C　　相对湿度：

实验人姓名（学号）： 周文斌 (　　)

参加人姓名（学号）： 焦润泽 (　　)

实验 G2 基于 LabVIEW 的虚拟仪器实验

1　实验目的

1．了解虚拟仪器技术的基本概念。

2．学习 LabVIEW 软件开发环境的基本特性及使用方法。

3．学习 ELVIS II+ 虚拟仪器教学平台的使用方法及特性。

4．设计并编制基于 ELVIS II+ 平台的虚拟数据采集器。

2　仪器用具

表 1: 仪器用具

仪器名称	数量
NI ELVIS II + 实验教学平台	1
实验测控用计算机	1
导线	若干

3　实验原理

3.1　数据采集 Data Acquisition(DAQ)

自动化的数据采集是虚拟仪器最重要的应用之一，NI 公司提供了 DAQ 从软件到硬件的全面解决方案。一个完整的虚拟仪器系统由虚拟仪器平台、开发软件、模块化 I/O 硬件等三部分组成。本实验将采用台式计算机作为平台，用基于 USB 接口的 USB6008 多功能数据采集器作为模块化 I/O，用 LabVIEW 作为开发软件。

3.2　NI ELVIS II+ 教学实验室虚拟仪器套件

ELVIS 是 Education Laboratory Virtual Instrumentation Suite 的简称，具有多个型号，其中 ELVISII+ 中的示波器的采样率达到 100MS/s，带宽接近 10MHz，对教学实验

室传统仪器的替代性较好。其外形结构如图 1 中的编号 A 所示部分，平台中集成了 12 种实验室常用的仪器，包括：

（1）数字万用表（Digital Multimeter，DMM），最大输入电压 60VDC、20 Vrms；

（2）数字示波器（Oscilloscope，Scope），采样率 100MS/s，对应带宽小于 10MHz；

（3）函数发生器（Function Generator，FGEN），输出最高频率 10MHz；

（4）可调数字电源（Variable Power Source，VPS），最大输出电压 ±12V，电流 500mA；

（5）波特分析器（Bode Analyzer，Bode），测量输入信号随激励信号频率的变化关系；

（6）动态信号分析器（Dynamic Signal Analyzer，DSA），测量一个输入信号的频谱；

（7）任意波形发生器（Arbitrary Signal Generator，ARB），输出最高频率 10MHz；

（8）数字信号写入器（Digital Signal In，DigIn），24 通道；

（9）数字信号读出器（Digital Signal Out，DigOut），24 通道；

（10）阻抗分析仪（Impedance Analyzer，Imped），测量二端网络的阻抗；

（11）2 线电流分析器（2-Wire Current Analyzer，2-Wire），测量二端网络的电流电压关系；

（12）3 线电流-电压分析器（3-Wire Voltage Analyzer，3-Wire），测量三端元件的电流电压关系。

标配安装在平台上的一块电路板称为原型板 (Prototyping Board)，外形结构如图 1 中编号 B 所示部分，其上带有可调电源、动态信号分析器、波特分析器、2 线/3 线电流-电压分析器、任意波形发生器、数字读写及阻抗分析器等接口，还有模拟输入端 8 个、模拟输出端 2 个、计数器、可编程 LED 显示管 8 个、数字 IO、直流电源（+5V 2A，±15V 500mA）等，为在面包板上连接和测试电路提供了方便。根据不同的使用需要，还可更换其他型号的原型板，或是自行设计和制作原型板。

将 ELVIS II+ 平台用 USB 数据线与计算机相连，打开 ELVIS II+ 的电源，运行控制软件“NI ELVISmx Instrument Launcher”，出现如图 2 所示的软件界面，就可直接使用这 12 种虚拟仪器而不需要进行 LabVIEW 编程。例如，要使用虚拟函数信号发生器（FGEN），只需要单击“FGEN”按钮.

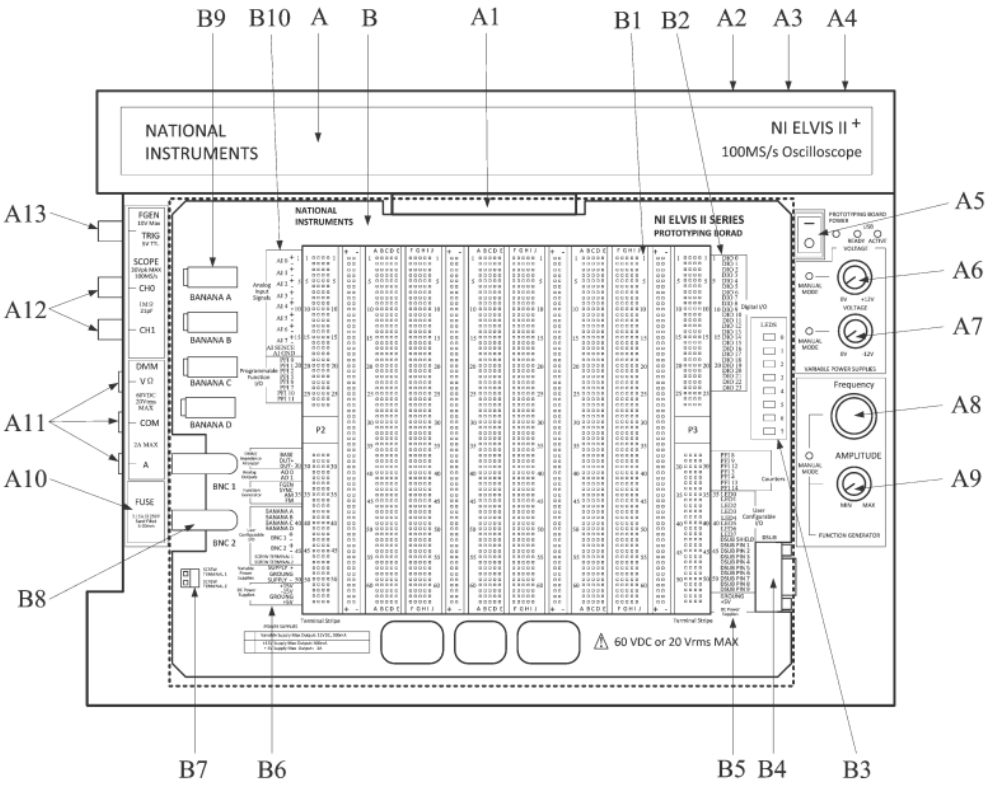


图 1　ELVIS II+平台外形结构图

A．ELVIS II+平台，　B．原型板（Prototyping Board），

A：　A1．平台与原型板接口，A2．USB 插孔，A3．电源插孔，A4．平台电源开关，A5．原型板供电开关，A6．正可调电源调节钮，A7．负可调电源调节钮，A8．函数信号发生器频率调节钮，A9．函数信号发生器幅度调节钮，A10．平台保险管，A11．数字万用表输入端，A12．双踪示波器输入端，A13．函数信号发生器输出端．

B：　B1．实验用插线板，B2．数字信号端口（DIO0~DIO23），B3．LED 指示灯（LED0~LED7），B4．9 针接口（DSUB），B5．计数/计时、9 针插座、直流稳压电源接口，B6．DMM、AO、FGEN、VPS、DCPower 接口，B7．螺丝固定信号端口（Screw terminal），B8．BNC 接口，B9．香蕉插(BANANA)接口，B10．模拟信号输入端口（AI0~AI7）

弹出如图所示的虚拟函数信号发生器的工作界面。在 Device 列表中选择平台（如 NI ELVIS II+），在 Signal Route 中选择信号输出端口（如 Prototyping board），选择是否使用手动模式，根据需要设置信号的波形、频率（Frequency）、幅度（Amplitude）等十来种控制参数，按运行（RUN）按钮，在相应的端口就可以输出设置的函数信号。

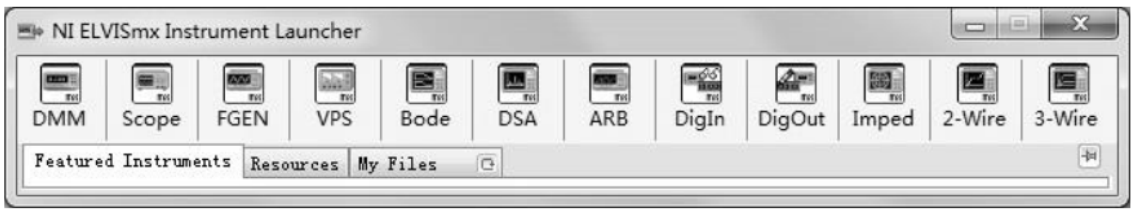


图 2 NI ELVISmx Instrument Launcher

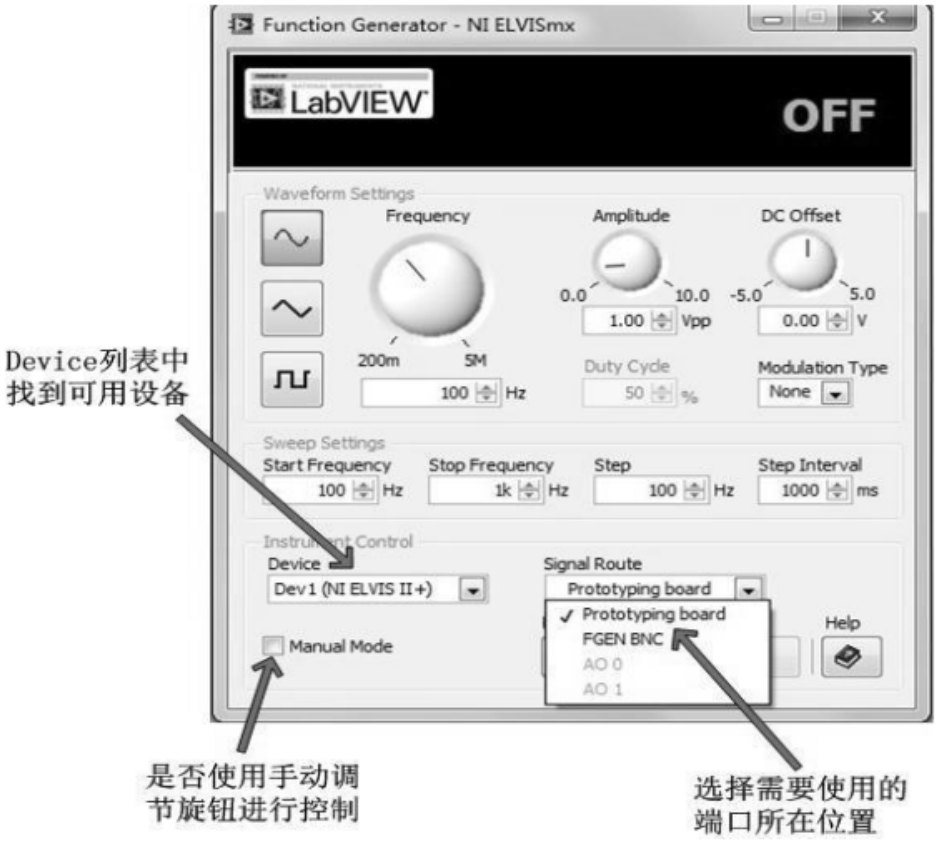


图 3 虚拟函数信号发生器（FGEN）的前面板

4 实验内容

4.1 学习并掌握 LabVIEW 软件的基本特性和使用方法

(1) 打开计算机进入 Windows 操作系统，并启动 LabVIEW 软件。

(2) 根据 LabVIEW 入门指南，完成其中的练习。

4.2 了解 ELVIS II + 平台的基本性能

(1) 阅读 NI ELVIS II + User Manual，了解 12 种仪器的端口分布及使用方法。

(2) 将 ELVIS II + 平台与计算机任一 USB 口相连，将变压器输出端接 ELVIS II + 电源插孔，接通 ELVIS II + 的电源开关。

(3) 运行“NI ELVISmx Instrument Launcher”软件，了解并掌握集成的 12 种仪器的使用方法。[1]

4.3 利用 LabVIEW 和 ELVIS II+ 平台设计真实的信号测量系统

（1）运行专门用于虚拟仪器管理和检测的 NI MAX（即 Measurement & Automation）工具包，其工作界面示于图。若 ELVIS II+ 工作正常，则可在设备列表 (Devices and Interfaces) 中找到该设备，如图 4 中箭头 A 所指。单击该设备，再单击箭头 B 所指的“Test Panels”打开相应的测试面板。这时就可以检测 ELVIS II+ 各端口的工作是否正常。若无特别说明，模拟输入端口（Analog Input 即 AI）均要求在差分模式下使用。

i．模拟输入（Analog Input）端口的检测：“模式”选择“连续”，“输入配置”选择“差分”。

（a）运行 ELVIS II+ 的可编程电源（VPS）分别输出（0,0.5,1,⋯,5.0）V 直流信号，将该信号分别输入 ELVIS II+ 平台的 ai0 ai3 端口，点击“开始”按钮测量，记录测量值，对比测量值和信号输出端设置值。

（b）运行 ELVIS II+ 的函数信号发生器（FGEN）输出正弦波（$U_p = 2V, f = 100Hz$），将信号分别输入 ELVIS II+ 平台的 ai0 ai3 端口，点击“开始”按钮测量，观察并记录测量值。

ii．电压输出（Voltage Output）端口的检测：ELVIS II+ 平台的 ao0 端口输出电压 (Output Voltage) 在 0-5V 内取若干个值，点击“更新”按钮并使用 ELVIS II+ 的数字万用表（DMM）测量，最后画出输出电压标定曲线。

iii．Digital I/O 和 Counter I/O 端口的检测：方法与上面类似，可用虚拟数字万用表和示波器进行检测。

（2）运行 LabVIEW 软件，用 LabVIEW 编写一个虚拟 4 通道数字电压表，在 ELVIS II+ 平台的 ai0 ai3 端口分别输入（0,0.5,1,⋯,5.0）V 直流电压，并用虚拟数字电压表测量各端口输入电压的大小，作各端口输入电压标定曲线。

（3）用 LabVIEW 对 ELVIS II+ 平台进行编程，编制一个虚拟函数信号发生器，并控制 ELVIS II+ 平台的 ao0 和 ao1 端口分别输出①0 5V 直流，② $U_p = 1V\ f = 10Hz$ 的正弦波，③$U_p = 1V\ f = 100Hz$ 的方波等三种信号，并用 ELVIS II+ 平台的示波器功能观察并记录输出的波形。

（4）用 LabVIEW 对 ELVIS II+ 平台进行编程，编制一个虚拟四通道示波器，并分别在 ELVIS II+ 平台的 ai0 端口输入 1.5V 直流，在 ai1 端口输入 $U_p = 1V\ f = 10Hz$ 的正弦波，在 ai2 端口输入 $U_p = 1V\ f = 100Hz$ 的方波，ai3 端口不输入任何信号，用该虚拟示波器同时显示四个通道的信号波形，并解释现象。

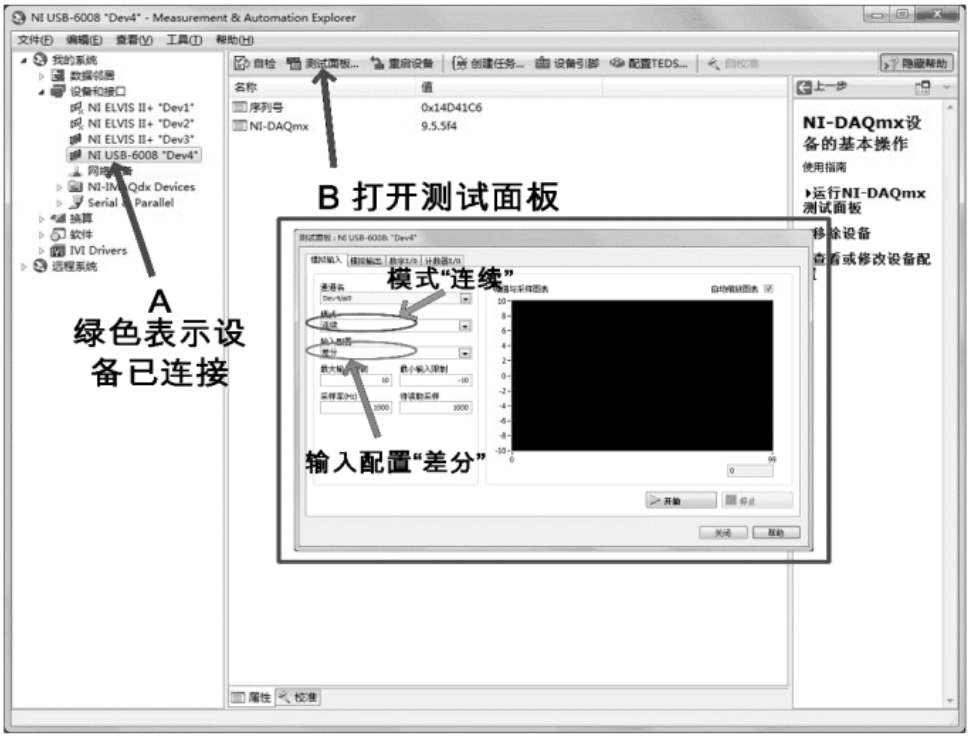


图 4 NI MAX 工具包的工作界面

5　数据记录及处理

3. 利用 LabVIEW 和 ELVIS II+ 平台设计真实的信号测量系统

i.(a) 输出（0,0.5,1,⋯,5.0）V 直流信号

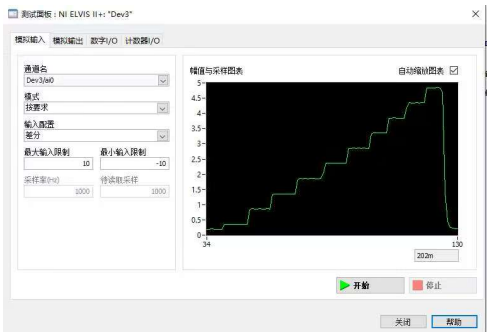


图 1: ai0

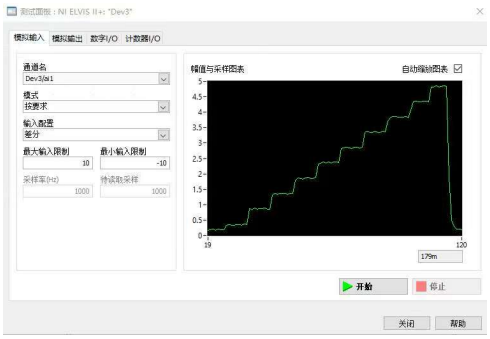


图 2

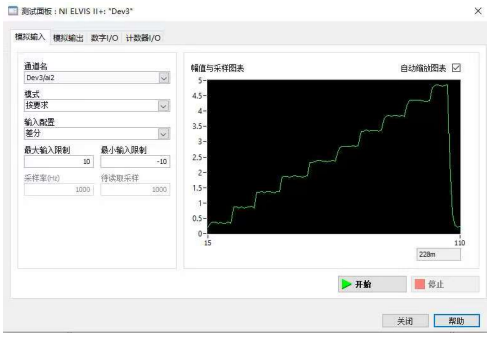


图 3

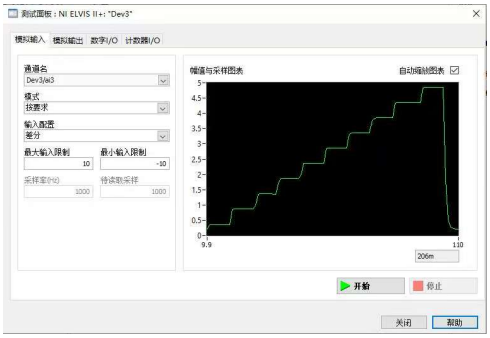


图 4

i.(b) 输出正弦波

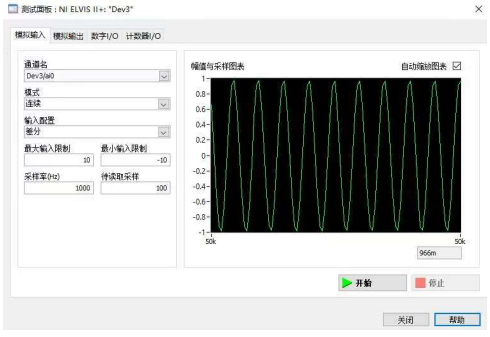


图 5

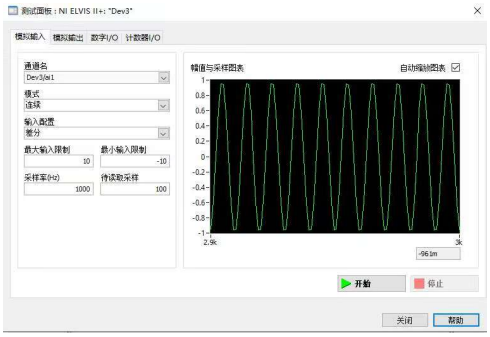

测试面板：NI ELVIS II+: "Dev3"
模拟输入
模拟输出
数字I/O
计数器I/O
通道名
Dev3/ai1
模式
连续
输入配置
差分
最大输入限制
10
最小输入限制
-10
采样率(Hz)
1000
待读取采样
100
幅值与采样图表
自动缩放图表
开始
停止
关闭
帮助

图 6

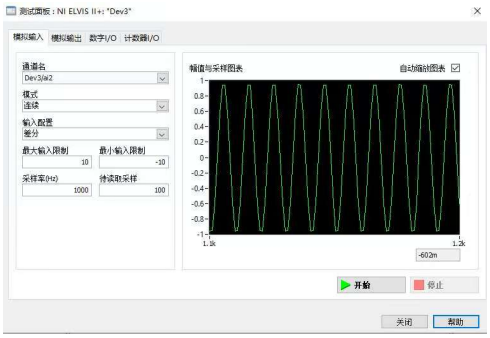

测试面板：NI ELVIS II+: "Dev3"
模拟输入
模拟输出
数字I/O
计数器I/O
通道名
Dev3/ai2
模式
连续
输入配置
差分
最大输入限制
10
最小输入限制
-10
采样率(Hz)
1000
待读取采样
100
幅值与采样图表
自动缩放图表
开始
停止
关闭
帮助

图 7

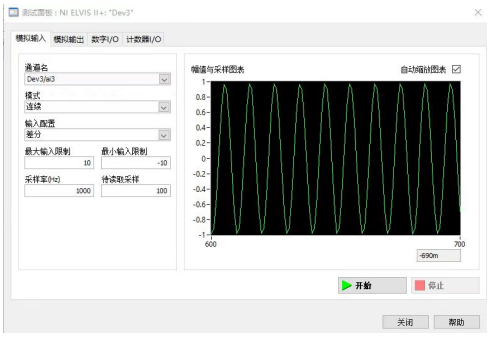

测试面板：NI ELVIS II+: "Dev3"
模拟输入
模拟输出
数字I/O
计数器I/O
通道名
Dev3/ai3
模式
连续
输入配置
差分
最大输入限制
10
最小输入限制
-10
采样率(Hz)
1000
待读取采样
100
幅值与采样图表
自动缩放图表
开始
停止
关闭
帮助

图 8

ii. 电压输出（Voltage Output）端口的检测

表 2: 输出端口检测

ai0 输出值	DMM 测量值
0	-0.000019
0.5	0.49982
1	1.0001
1.5	1.5000
2	1.9999
2.5	2.5001
3	3.0000
3.5	3.4999
4	4.0001
4.5	4.5000
5	5.0002

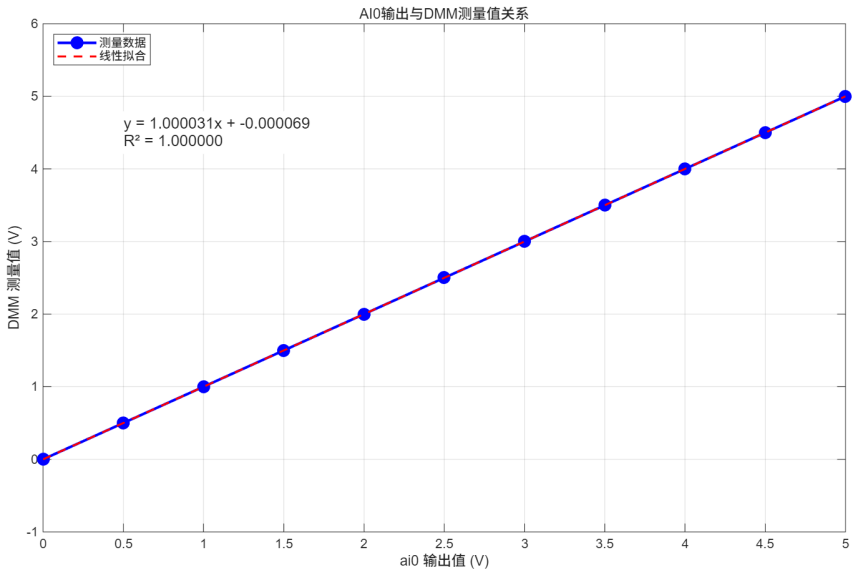


图 9

(2) 在 ELVIS II+ 平台的 ai0 ai3 端口分别输入（0,0.5,1,⋯,5.0）V 直流电压，并用虚拟数字电压表测量各端口输入电压的大小

表 3: 各端口输入电压

输出电压/V	ai0	ai1	ai2	ai3
0	0.33	0.34	0.33	0.31
0.5	0.49	0.50	0.49	0.47
1	1.00	1.01	1.00	0.98
1.5	1.49	1.51	1.49	1.47
2	2.00	2.01	2.00	1.97
2.5	2.50	2.50	2.50	2.48
3	2.99	3.00	2.99	2.97
3.5	3.49	3.49	3.49	3.47
4	3.99	4.00	3.99	3.96
4.5	4.49	4.50	4.49	4.46
5	4.98	4.99	4.98	4.96

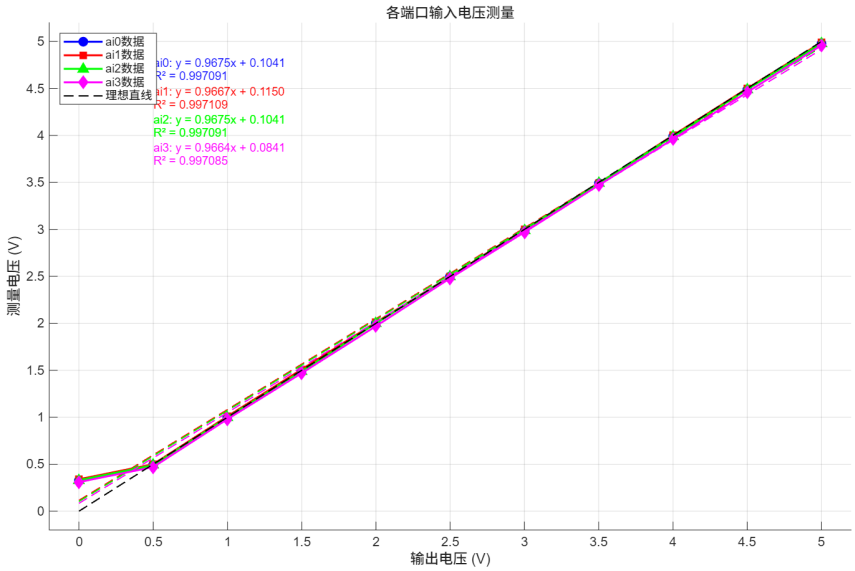


图 10

(3) 用 LabVIEW 进行编程,ai0 和 ai1 端口分别输出三种信号

①0 5V 直流:

a.0V

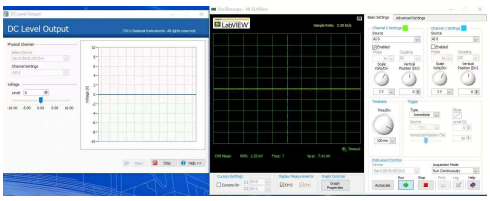


图 11

b.1V；

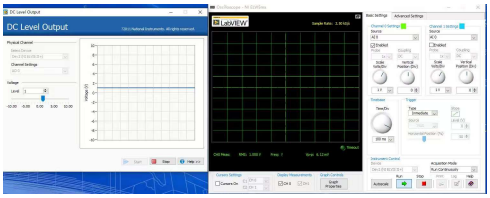


图 12

c.2V:

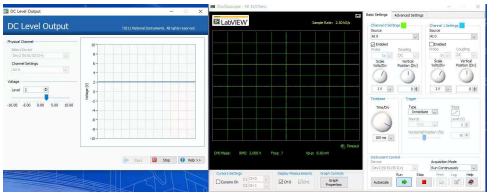


图 13

d.3V:

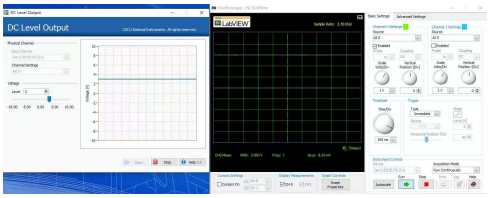


图 14

e.4V:

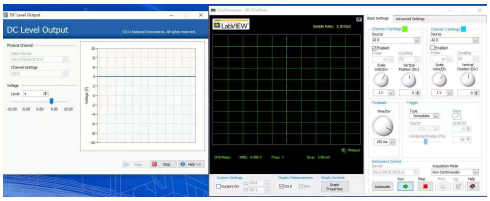


图 15

f.5V:



图 16

② $U_p = 1V$ $f = 10Hz$ 的正弦波:

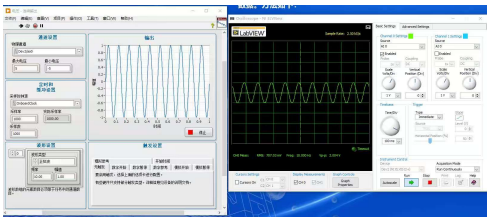


图 17

③$U_p = 1V$ $f = 100Hz$ 的方波:

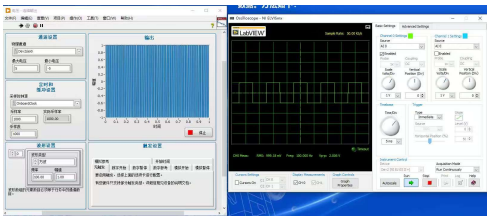


图 18

(4) 用 LabVIEW 进行编程, 同时显示四个通道的信号波形

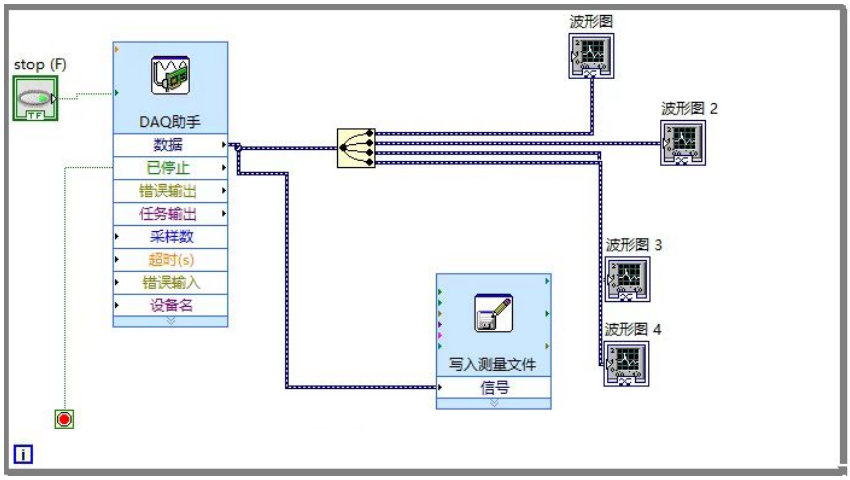


图 19: 装置图

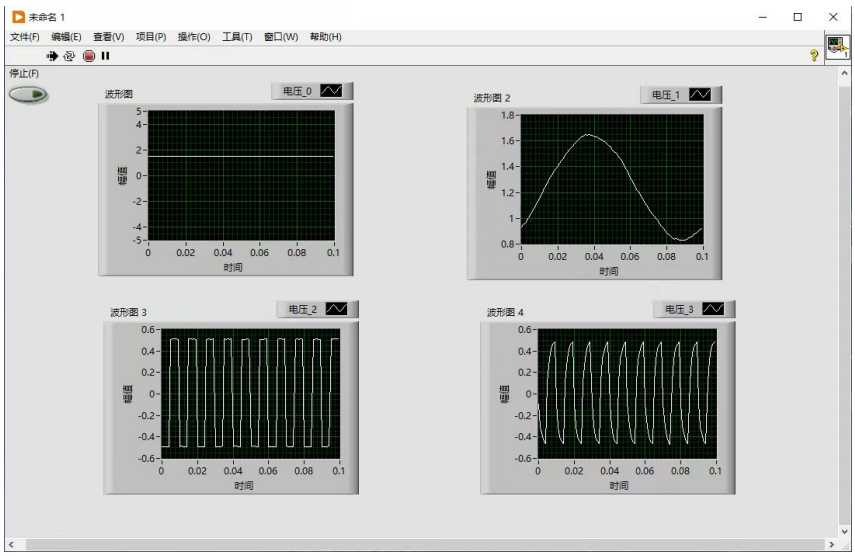


图 20: 输出图

6 讨论与分析

3.i.a: 将测量值与信号输出端设置值进行比较

由图可知，各个端口测量值与信号输出端设置基本相等，在输出电压为 0V 和 5V 是略有偏差，说明实验操作大致没有问题，偏差由系统误差引起

3.i.b 将正弦波信号输入 ai0-ai3 端口，观察并记录测量值

发现输出图像与理论预测大致相符，符合理论预期

3.ii: 电压输出端口检测

R^2 近似唯一，可见实验操作大致无误，而有微弱偏差如输出值为 0 时测量值为负这些都是由于系统误差产生，同时测量精度很高，从而能将及其微小的偏差都表现出来

3.(2) 各端口电压标定曲线

由图可知，除 0V 外各端口电压大小与输出电压大小大致相等，仅有微小偏差，$R^2 \geq 0.997$ 说明拟合程度很好，而在 0V 时出现特殊情况几个端口的电压都不为 0V 而是在 0.3V 左右，推测可能是装置问题，在标定 0V 时实际输出不是 0V，而是近似 0.33V。而另一特殊情况是端口 ai3 的电压总是比前几个端口低 0.02V 左右，推测是由于端口原因，可能在该端口与其他端口之间存在特殊原因分压或者是该端口断口处异常，从而导致该端口电压总是小于其他端口

3.(3) 编制一个虚拟四通道示波器

ai0 端口: 直流信号的电压不随时间变化，因此波形是一条水平直线

ai1 端口: 正弦波是周期性连续信号，f=10Hz 意味着周期 T=0.1s, 因此波形呈现每 0.1 秒重复一次的正弦形态

ai2 端口: 方波是数字信号的典型形态，f=100Hz 意味着周期 T=0.01s，因此波形呈现高频的“方块状”周期变化

ai3 端口；未输入信号时，采集通道会拾取环境电磁噪声或电路固有噪声，本应该呈现无规律的小幅值波动，但图中出现月牙状波形，根据其波形周期与 ai2 端口出现方波相同，且其波形边十分陡峭，类似方形波，而又形成月牙波，有正弦图像的特点，故可推测应该由 ai1 和 ai2 波形结合而成，故 ai3 中波形应该是收到 ai1 和 ai2 中波形图像影响形成

7 思考题

(1) 虚拟仪器与传统的测量仪器相比有什么异同？虚拟仪器能否用来进行测量？

相同点：

核心功能相同：两者都能完成对物理信号的测量、分析、显示与记录。

基本构成相似：都包含三个基本部分：信号采集/调理单元、信号处理单元、结果展示单元。

不同点：

(a) 核心与灵活性：

传统仪器：功能预先定义、专机专用，功能固定且封闭。

虚拟仪器：其测量功能由用户通过软件编程定义，通过更换或修改软件，同一套硬件可以成为多种仪器，具有极大的灵活性。

(b) 关键部件：

传统仪器：关键部件是专用的、固化的电子电路。

虚拟仪器：关键部件是通用计算机和自定义的应用软件。

(c) 显示与扩展：

传统仪器：具有物理旋钮、按钮和专用的显示器，界面固定。扩展和升级困难。

虚拟仪器：使用计算机显示器作为“虚拟面板”，界面可由用户自定义。易于通过网络进行数据共享和远程控制，也易于维护和升级。

(2) 一台能够正常工作的虚拟仪器包括哪几个主要组成部分？

三个主要部分：

模块化 I/O 硬件（如 USB6008，用于采集/输出信号）。

开发软件（如 LabVIEW，用于控制硬件和处理数据）。

通用计算机平台（用于运行软件和显示结果）。

(3) 试利用 NI USB6008 多功能数据采集器和 LabVIEW 软件制作一个虚拟数字万用表，仪器面板可模仿实验室的台式数字万用表，需具有测量电压、电流、电阻、频率等功能。

(4) 试制作一个多通道的数据采集器，采样时间间隔在 1 s～10 min 内可调，采集到的数据应包括数据编号、采样时间、测量电压等信息，并可同步保存在使用者指定的磁盘文件中。

参考文献

[1] 沈韩. 大学物理实验[M]. 北京: 科学出版社, 2024.

附录: 源代码

Listing 1: matlab code

```
% 数据定义
ai0_output = [0, 0.5, 1, 1.5, 2, 2.5, 3, 3.5, 4, 4.5, 5];
dmm_measurement = [-0.000019, 0.49982, 1.0001, 1.5000, 1.9999,
    2.5001, 3.0000, 3.4999, 4.0001, 4.5000, 5.0002];

% 线性拟合
p = polyfit(ai0_output, dmm_measurement, 1);
slope = p(1);
intercept = p(2);

% 计算 R²
fitted_values = polyval(p, ai0_output);
ss_res = sum((dmm_measurement - fitted_values).^2);
ss_tot = sum((dmm_measurement - mean(dmm_measurement)).^2);
r_squared = 1 - (ss_res / ss_tot);

% 绘图
figure;
plot(ai0_output, dmm_measurement, 'bo-', 'LineWidth', 2,
    'MarkerSize', 8, 'MarkerFaceColor', 'blue');
hold on;

% 绘制拟合直线
x_fit = linspace(min(ai0_output), max(ai0_output), 100);
y_fit = polyval(p, x_fit);
plot(x_fit, y_fit, 'r--', 'LineWidth', 1.5);

% 图形设置
grid on;
xlabel('ai0␣输出值␣(V)');
ylabel('DMM␣测量值␣(V)');
title('AI0输出与DMM测量值关系');

% 显示方程和 R²
equation_text = sprintf('y␣=␣%.6fx␣+␣%.6f\nR²␣=␣%.6f', slope,
    intercept, r_squared);
text(0.5, 4.5, equation_text, 'FontSize', 12, 'BackgroundColor',
    'white');

legend('测量数据', '线性拟合', 'Location', 'northwest');
```

```
37
38 % 输出结果到命令窗口
39 fprintf('线性方程:␣y␣=␣%.6fx␣+␣%.6f\n', slope, intercept);
40 fprintf('R²␣=␣%.6f\n', r_squared);
41
42 %%绘制第二张图
43
44 % 数据定义
45 output_voltage = [0, 0.5, 1, 1.5, 2, 2.5, 3, 3.5, 4, 4.5, 5];
46 ai0 = [0.33, 0.49, 1.00, 1.49, 2.00, 2.50, 2.99, 3.49, 3.99, 4.49,
       4.98];
47 ai1 = [0.34, 0.50, 1.01, 1.51, 2.01, 2.50, 3.00, 3.49, 4.00, 4.50,
       4.99];
48 ai2 = [0.33, 0.49, 1.00, 1.49, 2.00, 2.50, 2.99, 3.49, 3.99, 4.49,
       4.98];
49 ai3 = [0.31, 0.47, 0.98, 1.47, 1.97, 2.48, 2.97, 3.47, 3.96, 4.46,
       4.96];
50
51 % 创建图形
52 figure;
53 hold on;
54
55 % 定义颜色和标记
56 colors = ['b', 'r', 'g', 'm'];
57 markers = ['o', 's', '^', 'd'];
58 port_names = {'ai0', 'ai1', 'ai2', 'ai3'};
59 data_matrix = [ai0; ai1; ai2; ai3];
60
61 % 绘制每个端口的数据和拟合线
62 for i = 1:4
63     % 线性拟合
64     p = polyfit(output_voltage, data_matrix(i,:), 1);
65     slope = p(1);
66     intercept = p(2);
67
68     % 计算 R²
69     fitted_values = polyval(p, output_voltage);
70     ss_res = sum((data_matrix(i,:) - fitted_values).^2);
71     ss_tot = sum((data_matrix(i,:) - mean(data_matrix(i,:))).^2);
72     r_squared = 1 - (ss_res / ss_tot);
73
74     % 绘制数据点
75     plot(output_voltage, data_matrix(i,:), [colors(i) markers(i)
           '-'], ...
76          'LineWidth', 1.5, 'MarkerSize', 6, 'MarkerFaceColor',
               colors(i));
77
```

```
78      % 绘制拟合直线
79      x_fit = linspace(min(output_voltage), max(output_voltage), 100);
80      y_fit = polyval(p, x_fit);
81      plot(x_fit, y_fit, [colors(i) '--'], 'LineWidth', 1,
            'HandleVisibility', 'off');
82
83      % 在图上显示方程和 R²
84      equation_text = sprintf('%s: y = %.4fx + %.4f\nR² = %.6f', ...
85                              port_names{i}, slope, intercept,
                                    r_squared);
86      text(0.5, 5 - i*0.3, equation_text, 'Color', colors(i),
            'FontSize', 9);
87
88      % 输出到命令窗口
89      fprintf('%s: y = %.4fx + %.4f, R² = %.6f\n', ...
90              port_names{i}, slope, intercept, r_squared);
91  end
92
93  % 绘制理想直线
94  plot(output_voltage, output_voltage, 'k--', 'LineWidth', 1,
        'DisplayName', '理想直线');
95
96  % 图形设置
97  grid on;
98  xlabel('输出电压 (V)');
99  ylabel('测量电压 (V)');
100 title('各端口输入电压测量');
101 legend('ai0数据', 'ai1数据', 'ai2数据', 'ai3数据', '理想直线',
        'Location', 'northwest');
102
103 % 设置坐标轴范围
104 xlim([-0.2, 5.2]);
105 ylim([-0.2, 5.2]);
```

附录: 原始数据

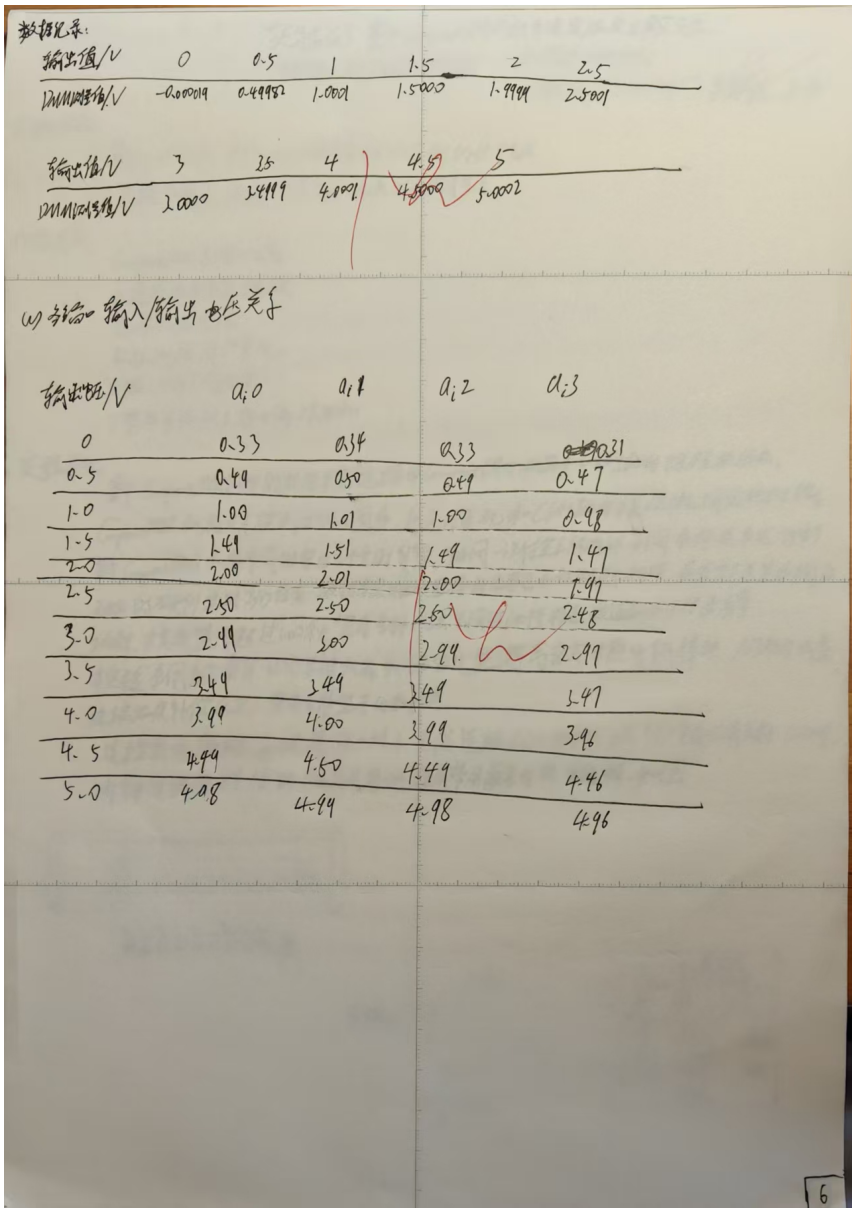

数据记录:
输出值/V 0 0.5 1 1.5 2 2.5
DMM测得值/V -0.00019 0.49952 1.0001 1.5000 1.9994 2.5001
输出值/V 3 3.5 4 4.5 5
DMM测得值/V 2.0000 3.4999 4.0001 4.5000 5.0002
输入/输出电压关系
输出电压/V a;0 a;1 a;2 a;3
0 0.33 0.34 0.33 0.31
0.5 0.49 0.50 0.49 0.47
1.0 1.00 1.01 1.00 0.98
1.5 1.49 1.51 1.49 1.47
2.0 2.00 2.01 2.00 1.97
2.5 2.50 2.50 2.50 2.48
3.0 2.99 3.00 2.99 2.97
3.5 3.49 3.49 3.49 3.47
4.0 3.99 4.00 3.99 3.96
4.5 4.49 4.50 4.49 4.46
5.0 4.98 4.99 4.98 4.96
6

图 21