



电气工程学院爱迪生班

信号分析与处理课内实践教学

2023-2024春学期

孙 晖
ee_sun@zju.edu.cn

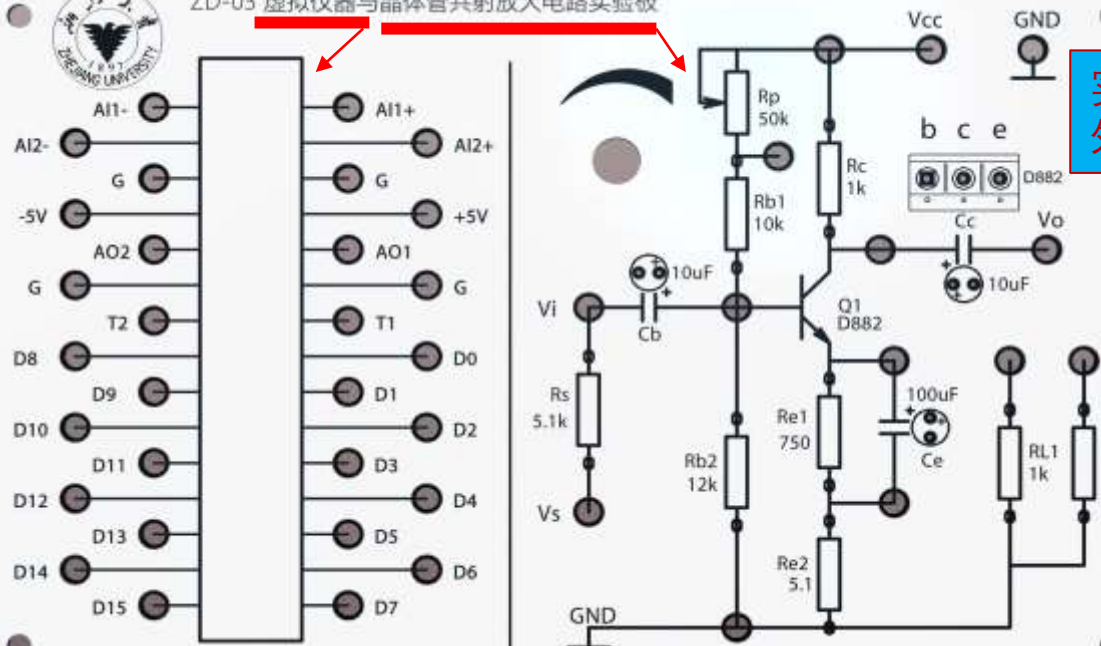
第一部分 课外实践套件简介

课外实践套件是由便携式实验箱和万用表组成的易于随身携带的小型实验平台，如图所示。便携式实验箱是一个任课教师设计，由内置的虚拟仪器模块和实验板组成的综合实验装置，使用者在实验板上搭接电路，通过便携式实验箱引出的USB接口线与电脑相连后，打开配套软件，可以方便地进行课内外实践活动。



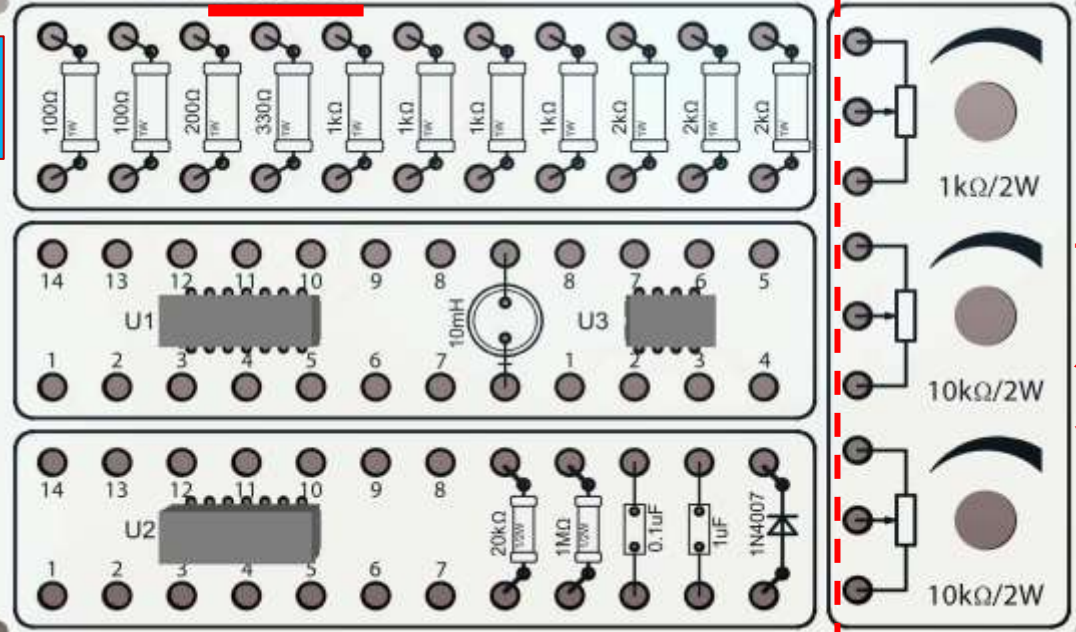


ZD-03 虚拟仪器与晶体管共射放大电路实验板



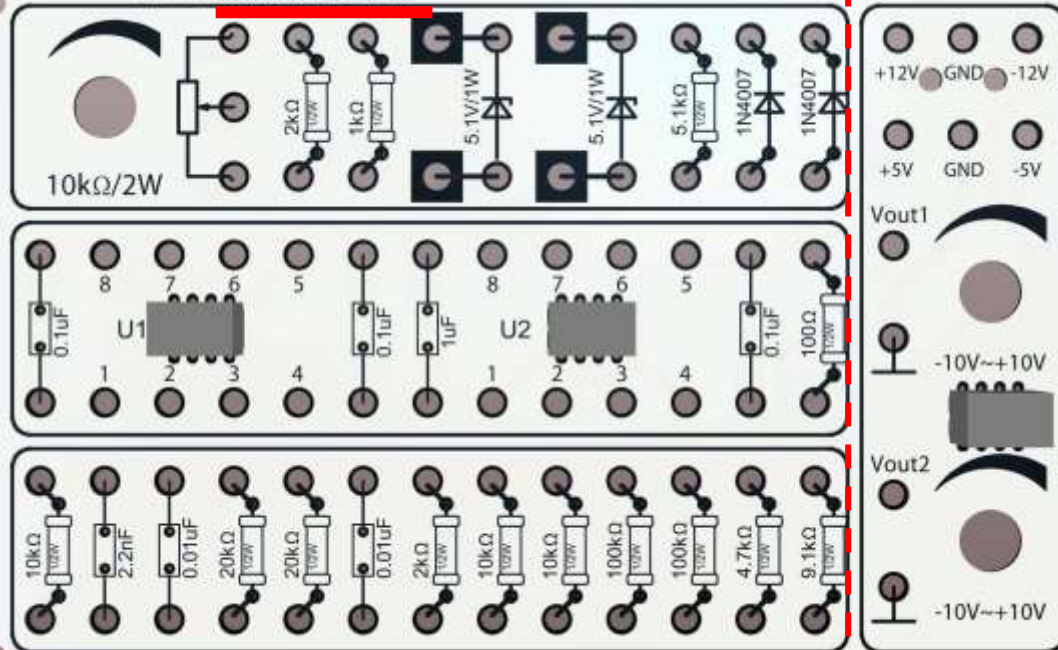
实验板
外观

ZD-01 电路实验板



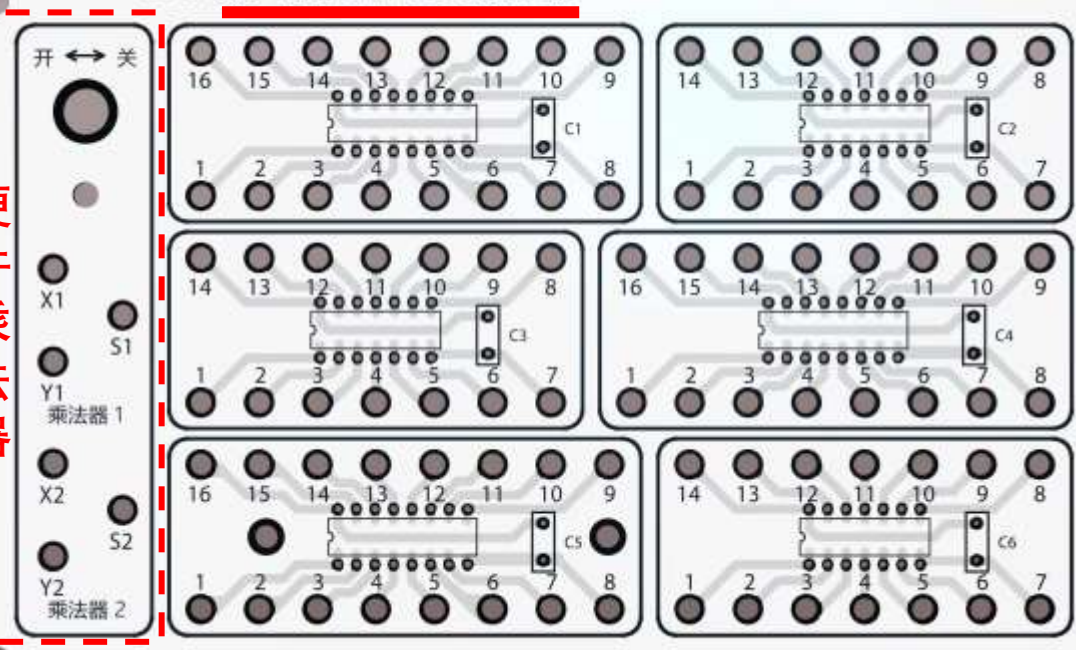
可调
电位器

ZD-02 模拟电路实验板

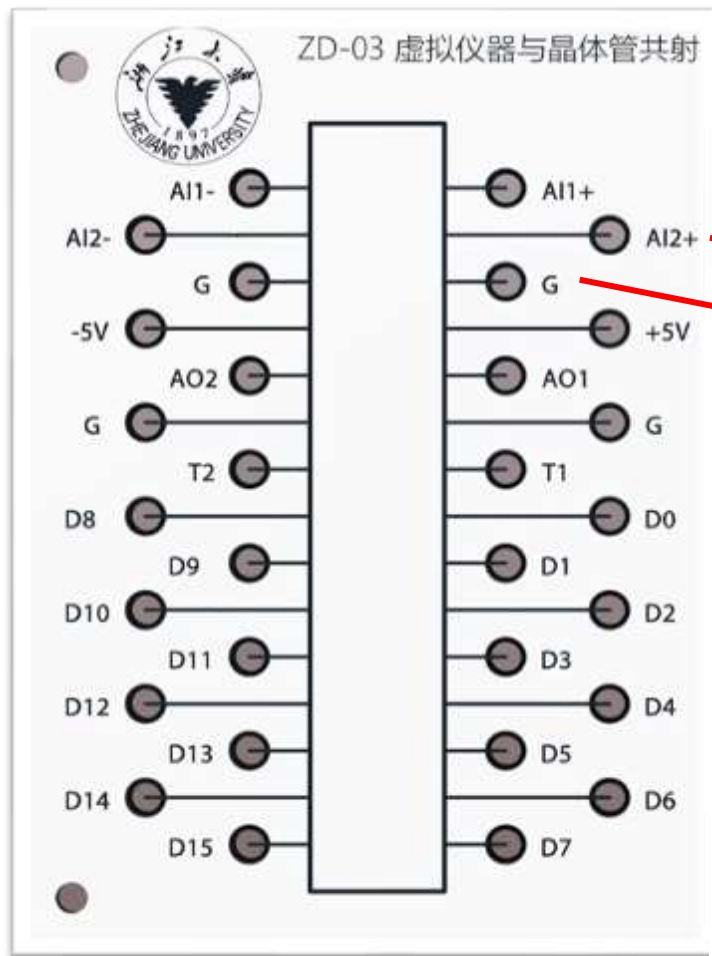


直流
稳压
电源
和可
调电
源

ZD-04 数字电路与信号处理实验板



硬件
乘法器

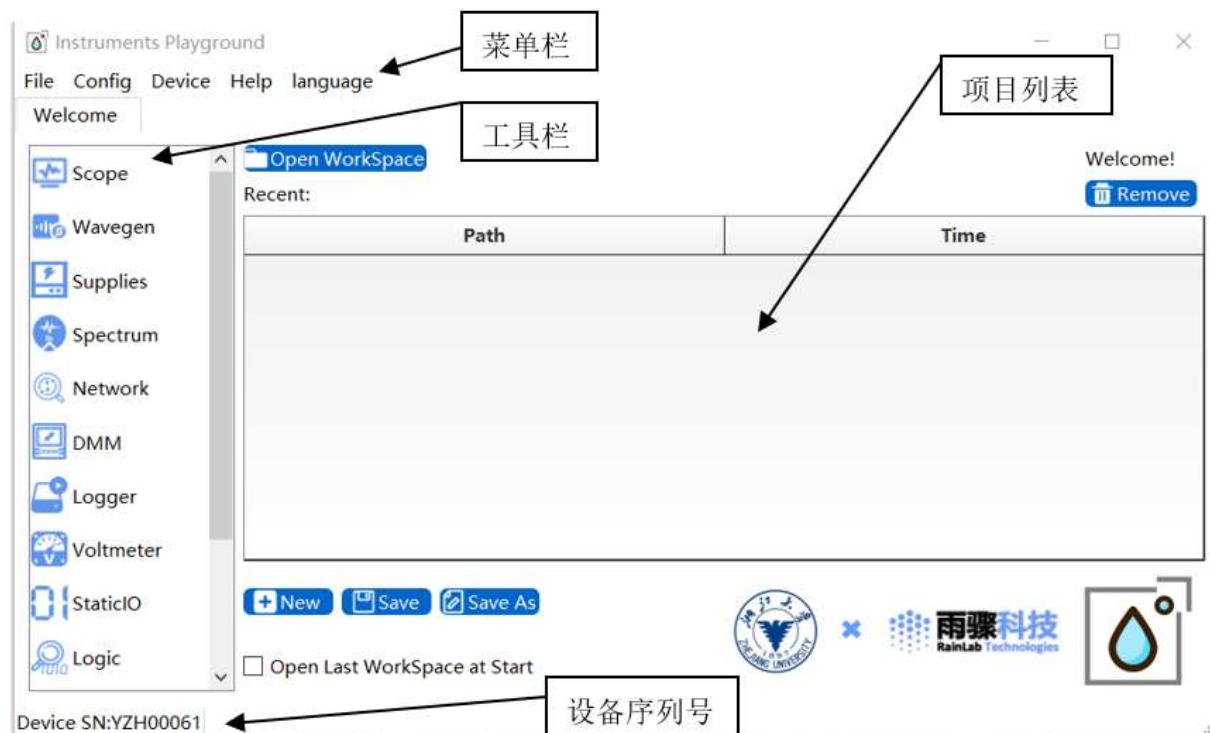


接口定义

序号	符号	定义	序号	符号	定义
1	AI1-	示波器 CH1-	16	AI1+	示波器 CH1+
2	AI2-	示波器 CH2-	17	AI2+	示波器 CH2+
3	G	地 (GND)	18	G	地 (GND)
4	+5V	程控直流正电源, 最高 5V	19	-5V	程控直流负电源, 最低 -5V
5	AO2	波形发生器 2	20	AO1	波形发生器 1
6	G	地 (GND)	21	G	地 (GND)
7	T2	触发 T2	22	T1	触发 T1
8	D8	数字输入/输出端子 IO8	23	D0	数字输入/输出端子 IO0
9	D9	数字输入/输出端子 IO9	24	D1	数字输入/输出端子 IO1
10	D10	数字输入/输出端子 IO10	25	D2	数字输入/输出端子 IO2
11	D11	数字输入/输出端子 IO11	26	D3	数字输入/输出端子 IO3
12	D12	数字输入/输出端子 IO12	27	D4	数字输入/输出端子 IO4
13	D13	数字输入/输出端子 IO13	28	D5	数字输入/输出端子 IO5
14	D14	数字输入/输出端子 IO14	29	D6	数字输入/输出端子 IO6
15	D15	数字输入/输出端子 IO15	30	D7	数字输入/输出端子 IO7

配套软件是配合便携式实验箱使用的上位机软件，程序名称叫做 Instruments Playground。双击软件的setup.exe即可开始安装过程。

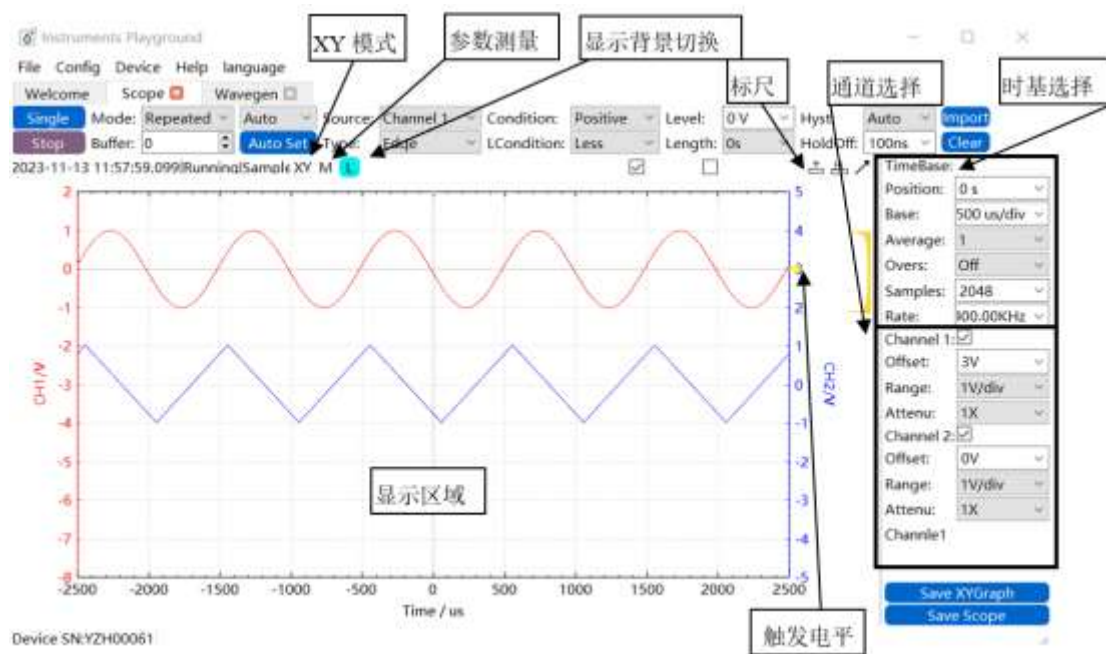
打开Instruments Playground（以下简称IP）软件，出现如图所示的上位机应用程序主界面。将实验箱引出的USB接口线接入PC，如果内置的虚拟模块能被成功识别，主界面左下角会显示设备序列号。



■1、示波器（Scope）

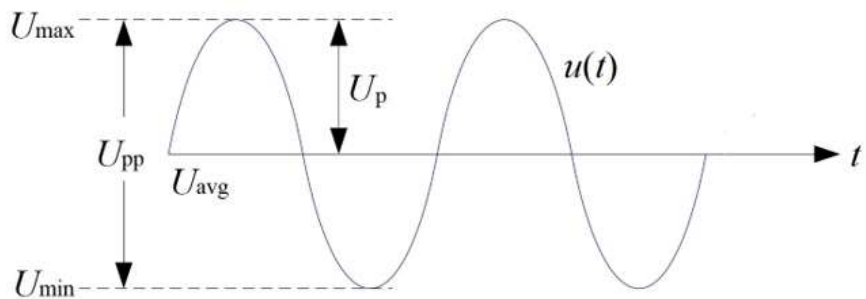
虚拟仪器提供CH1和CH2的2路波形显示功能，分别对应虚拟仪器接口端子AI1+、AI1-，以及AI2+、AI2-。

连接设备，打开IP软件，单击软件主界面左侧工具栏中的Scope按钮，出现双通道示波器功能界面。Single按钮功能是采集1次并显示；Run按钮采用连续触发的方式获取采集数据并显示，当采集正在进行时，Run按钮会变为Stop按钮显示。Mode是指触发方式选择。为使显示波形稳定，触发源Source应选择信号源的输入通道（Channel 1或Channel 2）或所选用的信号源（Wavegen 1或Wavegen 2）或外部触发引脚（Trigger 1或Trigger 2）。当选择信号源输入通道时，若波形不稳定，需调节Level数值，此时显示区域右侧和对应波形颜色相同的箭头会垂直移动表示触发电平位置，也可以通过鼠标按住箭头移动改变触发电平。Auto Set按钮实现对波形的自动读取并显示。点击显示区域上方XY图标，会增加XY模式波形显示窗口；点击L图标，实现深色、浅色显示背景切换。



1、示波器（Scope）续1

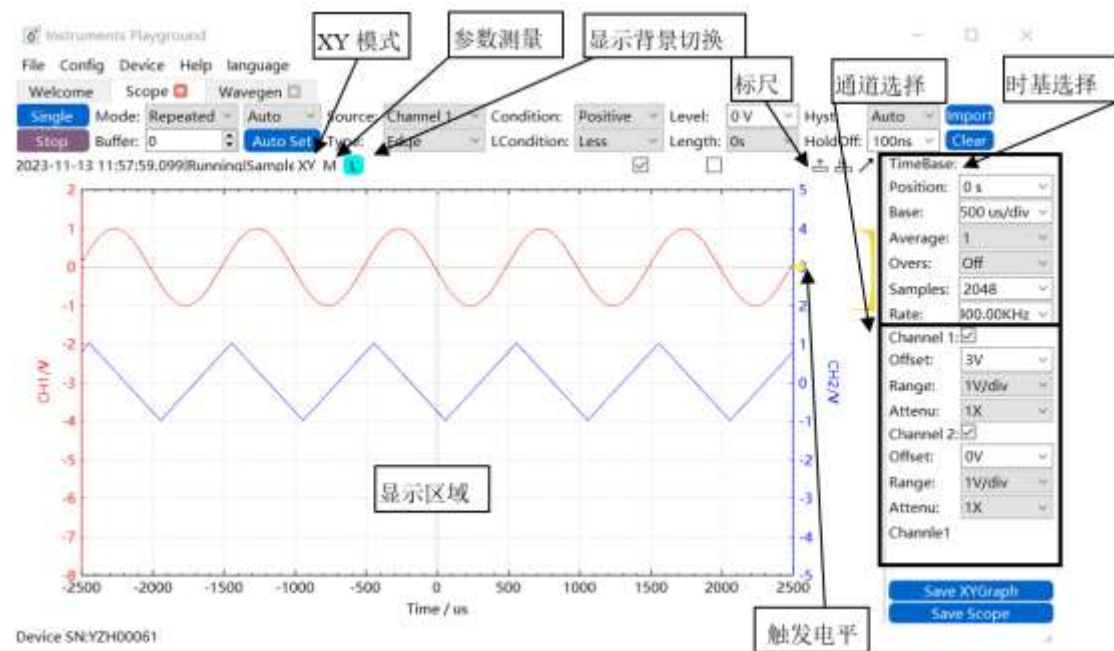
点击显示区域上方M图标，会显示测量结果列表，包括波形的最大值（Maximum）、最小值（Minimum）、平均值（Average）、峰峰值（Peak2Peak）、振幅（Amplitude）、有效值（RMS）、交流有效值（AC RMS）、周期（Periods）、频率（Frequency）等参数。



- ◆ 最大值（Maximum） U_{\max} ：波形最大值至零值的电位差。
- ◆ 最小值（Minimum） U_{\min} ：波形最小值至零值的电位差。
- ◆ 平均值（Average） U_{avg} ：若对 $u(t)$ 进行采样，得到采样信号 $x_i (i=0 \dots N-1)$ ，平均值的计算公式为

$$U_{\text{avg}} = \frac{1}{N} \sum_{i=0}^{N-1} x_i$$

- ◆ 峰峰值（Peak2Peak） U_{pp} ：波形最大值和最小值之差， $U_{\text{pp}} = U_{\max} - U_{\min}$ ，峰峰值不能为负，峰峰值描述了信号变化范围的大小。
- ◆ 振幅或峰值（Amplitude） U_p ：波形最大值至波形平均值的电位差，其值为峰峰值



的一半。

- ◆ 有效值（RMS） U_{RMS} ：也叫真有效值（True RMS）、直流电压有效值（DC RMS）即计算有效值时保留了信号中的直流分量，其计算公式为


$$U_{\text{RMS}} = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=0}^{N-1} x_i^2}$$

- ◆ 交流有效值（AC RMS） $U_{\text{AC RMS}}$ ：设定dc为信号 x_i 中的直流分量，交流有效值（AC RMS）的计算公式为

$$U_{\text{AC RMS}} = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=0}^{N-1} (x_i - \text{dc})^2}$$

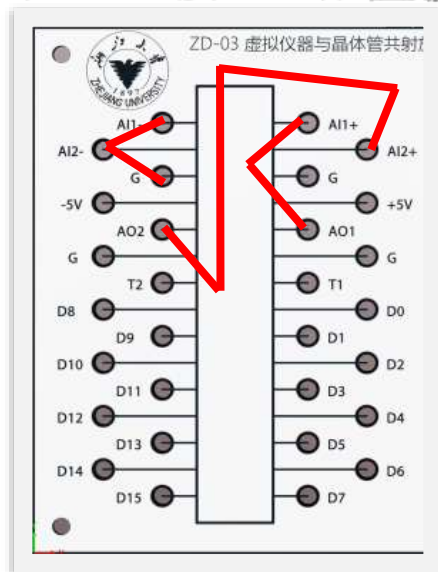
■1、示波器（Scope）续2

标尺功能实现波形任意位置的绝对坐标，以及波形 2 个位置的横坐标距离和纵坐标距离，比如可用于测量方波信号的正脉宽、负脉宽等。

点击 Save XYGraph 图标，打开 Save 界面，点击右侧的  图标，选择存储文件目录，然后点击右侧的 Save 按钮，将以 csv 格式存储显示波形的幅度信息，文件名包含了当前时间信息。文件可以在 Excel 软件中打开和处理。点击 Save Scope 图标，将以 csv 格式存储当前显示波形的时间和幅度信息。

示波器 CH1 和 CH2 的 2 路输入通道采用差分输入方式，即将 AI1+和 AI1-、以及 AI2+和 AI2-输入端的差值作为输入信号。若将 AI1-和 AI2-与 G 相连，则实现显示信号共地的单端输入方式，比如将 AO1 和 AI1+相连，AO2 和 AI2+相连，AI1-和 AI2-接 G，配置波形发生器选项后，示波器显示波形发生器的输出信号。

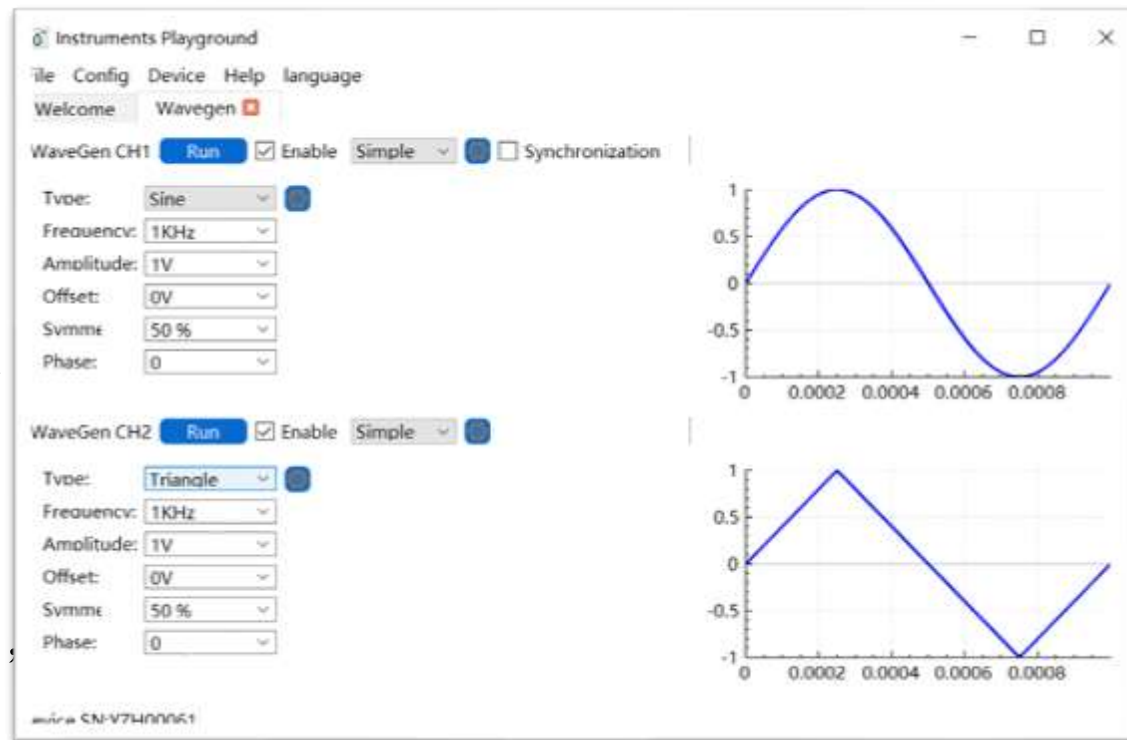
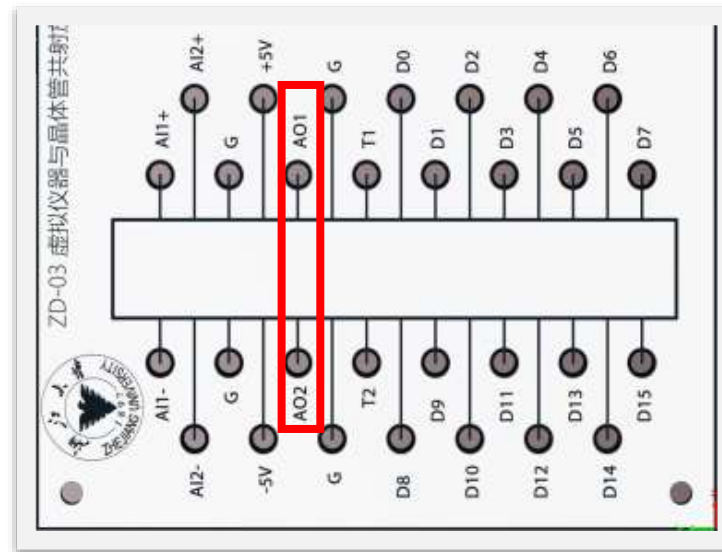
单端输入方式
显示波形
发生器波形



■2、波形发生器（Wavegen）

虚拟仪器提供2路波形输出，分别为WaveGen CH1和WaveGen CH2，分别对应虚拟仪器接口端子AO1和AO2，两路信号具有公共地G。

单击IP主界面左侧工具栏中的Wavegen按钮，出现如图所示的双通道波形发生器功能界面。Type设置信号输出类型，如Sine（正弦波）、Square（方波）、Triangle（三角波）、Pulse（脉冲波）等，可设置Frequency（频率）、Amplitude（峰值）、Offset（幅值偏移量）、Symmet（占空比）、Phase（相位）等参数。Offset可设置波形是单极性或双极性的，如方波信号，若设定Offset= Amplitude，则波形的最小值为非负值，是单极性方波；若设定Offset=0，则为双极性方波。按下Run按钮使能信号源输出，若选中Synchronizationsh可设置两路输出相位同步。



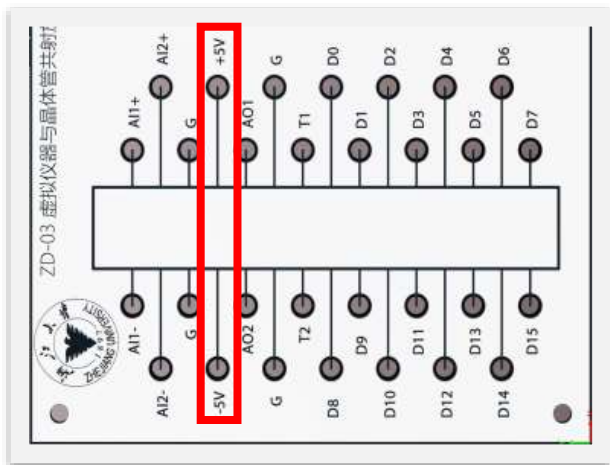
■3、电源 (Supplies)

虚拟仪器提供2路可编程直流电源，对应表中的+5V和-5V标志对应接口，电源具有公共地G。

单击IP主界面左侧工具栏中的Supplies按钮，出现如图所示的可编程电源功能界面。

电源支持双路输出分别配置，单击Positive Supply(V+)（正电压）和Negative Supply(V-)（负电压）的使能按钮，当按钮显示Positive Supply(V+) Rdy或（和）Negative Supply(V-) Rdy时，再按Master Enable（主使能）按钮，相应电源输出有效。若Master Enable is Off，则电源输出无效。

如没有特别说明，在便携式实验箱上电后，需在IP软件中手动设置并输出+5V和-5V电源。**此时模拟电路实验板上的+12V和-12V电源、+5V和-5V电源以及2路可调电源、硬件乘法器模块都能正常工作。**可将装置的外接辅助电源线插入PC机的空余USB接口，提升电源的输出功率。



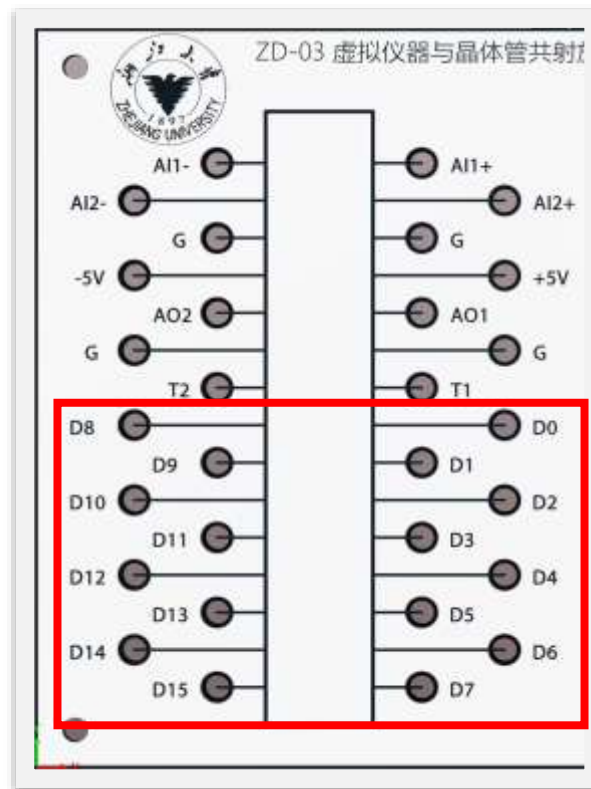
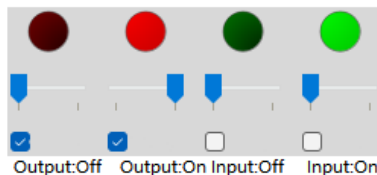
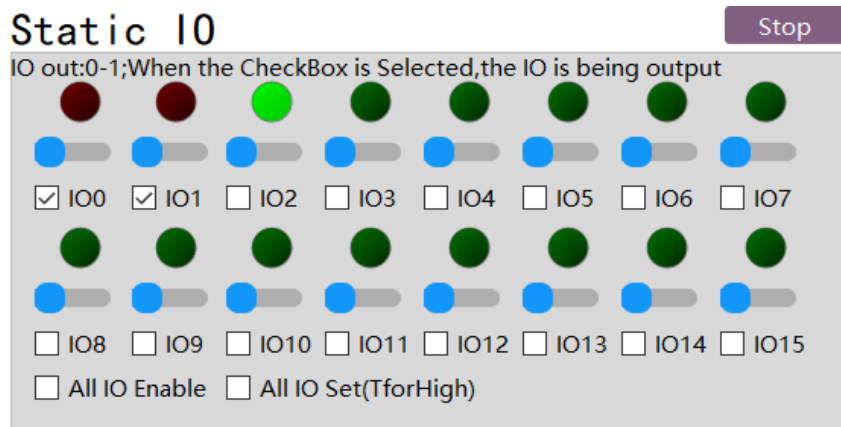
■5、数字量输入输出 (StaticIO)

单击IP软面板的StaticIO按钮，出现数字量输入输出接口配置界面，如图所示。IO0~IO15对应于虚拟仪器数字输入输出端子D0~D15。

可以配置IO0~IO15的任何一个端子为输出端子或输入端子，当图中勾选框打勾时对应引脚设置为输出，拨动勾选框上方蓝色开关来控制输出高/低。端子的输入或输出状态能在界面中实时显示。

因为采用了LVCMOS电平标准，IO输入输出的高电平电压是3.3V。


建议将不用的接口设置为输出接口。

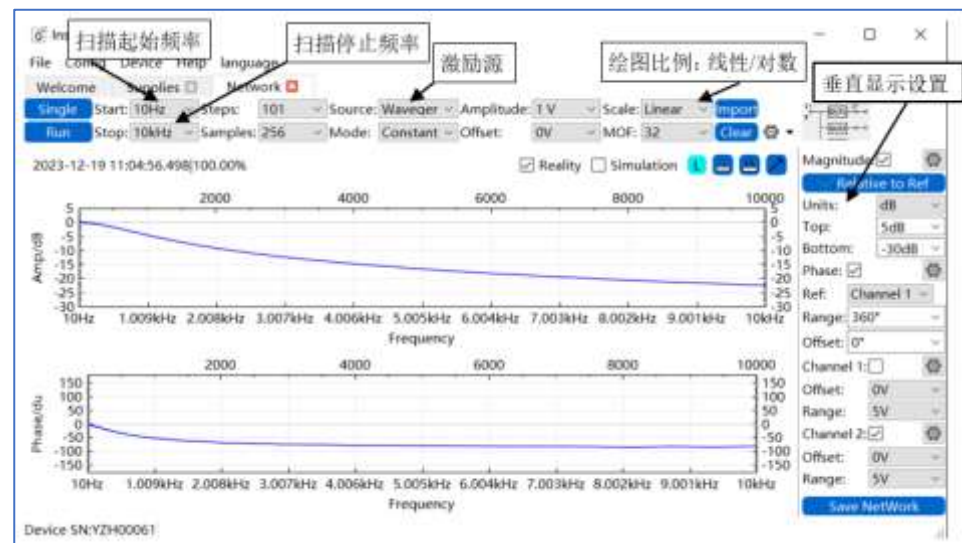
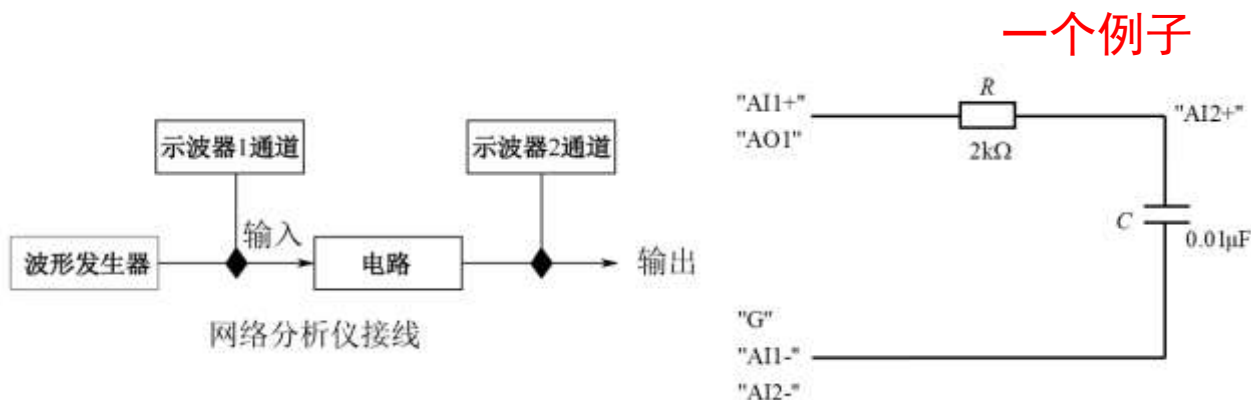


6、网络分析仪 (Network)

网络分析仪常被用来分析电路的频率特性，包括幅频特性和相频特性，图中给出了网络分析仪的使用方法。波形发生器的输出和示波器通道 1 的输入连在一起，作为电路的输入，示波器通道 2 连接至电路的输出。

单击 IP 软面板的 Network 按钮，出现网络分析仪界面。Start 是扫描起始频率，Stop 是扫描停止频率；Steps 定义采样点数；Samples 定义每个采样点的采样精度；Source 定义激励源，Amplitude 定义激励幅度；Scale 定义横坐标频率的绘图比例。

点击 Save NetWork 图标，打开 Save 界面，点击右侧的  图标，选择存储文件目录，然后点击右侧的 Save 按钮，将以 csv 格式存储显示波形的频率、幅度和相位，文件名包含了当前时间信息。文件可以在 Excel 软件中打开和处理。

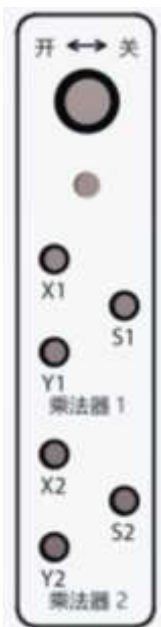


■7、硬件乘法器 (Hardware multiplier)

便携式实验箱提供2路硬件乘法器功能，如图所示。

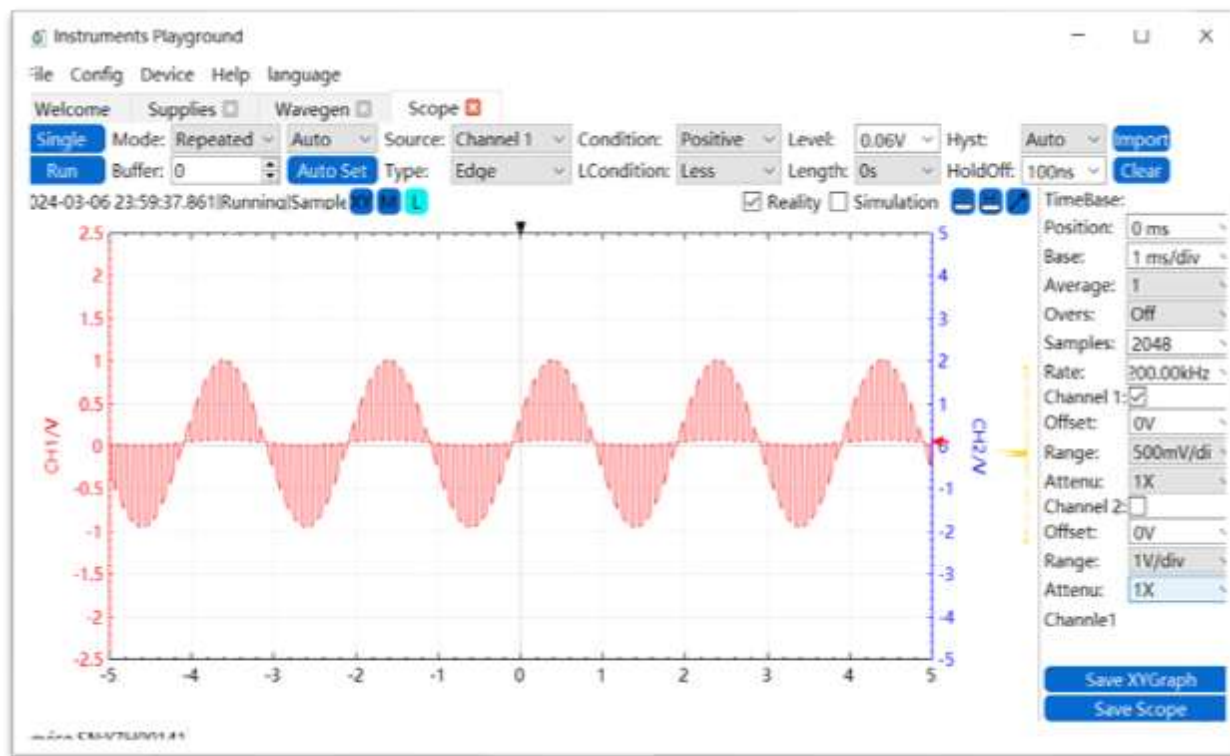
接入便携式实验箱的辅助电源。

由波形发生器输出两路信号接入X1和Y1（即A01连至X1，A02连至Y1），打开开关，S1输出引入示波器，可以看到S1的波形。



$$S1 = X1 * Y1$$

$$S2 = X2 * Y2$$



第二部分 综合实践

综合实践1：验证时域采样定理（实验讲义5.1、5.2、5.3、5.4）

设置原始信号为正弦波，频率为500Hz，开关函数信号为单极性矩形脉冲信号，频率为10kHz，两个信号的幅度都为默认值1V，将两信号相乘得到**采样信号**。

（1）试设计模拟低通滤波器，将采样信号通过模拟低通滤波器，通过改变模拟低通滤波器的**截止频率**，比较原始信号、采样信号以及低通滤波器的输出信号。

（2）设置原始信号为三角波，频率为500Hz，幅度为1V。试设计模拟低通滤波器，使采样信号通过滤波器后输出波形尽量逼近原三角波信号。

实践结果提交清单：

- （1）采样信号和滤波信号的波形截图（保留设备序列号信息）。
- （2）模拟低通滤波器电路图和元器件参数。
- （3）模拟低通滤波器截止频率计算，元器件参数和截止频率关系，模拟低通滤波器幅频特性（*仿真）。
- （4）体会低通滤波器结构和参数变化对滤波效果的影响（波形比较并截图）。
- （5）实际电路连接照片。
- （6）明确小组各成员的工作内容。

综合实践2：幅度调制与解调（实验讲义5.1、5.2、5.5、5.6）

■相干解调

- （1）实现调制信号 $s(t)$ 为正弦波，频率为 16Hz，振幅为 0.5V；载波信号 $x(t)$ 为余弦波，频率为 1.6kHz，振幅为 1V，将两信号相乘得到已调信号 $y(t)$ 。
- （2）将（1）中获得的已调信号 $y(t)$ 再乘上载波信号，得到 $v(t)$ 。
- （3）将信号 $v(t)$ 通过模拟低通滤波器（自行设计），比较调制信号、滤波器输出信号。
- （4）改变模拟低通滤波器的结构或参数，体会不同的解调效果。

实践结果提交清单：

- （1）已调信号 $y(t)$ 、模拟低通滤波器输入信号 $v(t)$ 、滤波器输出信号波形截图（保留设备序列号信息）。
- （2）模拟低通滤波器电路图和元器件参数。
- （3）模拟低通滤波器截止频率计算，元器件参数和截止频率关系，模拟低通滤波器幅频特性（*仿真）。
- （4）体会低通滤波器结构和参数变化对滤波效果的影响（波形比较并截图）。
- （5）实际电路连接照片。
- （6）明确小组各成员的工作内容。

综合实践2：幅度调制与解调（实验讲义5.5、5.6）

■非相干解调

（1）实现调制信号 $s(t)$ 为正弦波，频率为 16Hz，振幅为 0.5V；载波信号 $x(t)$ 为余弦波，频率为 1.6kHz，振幅为 1V。将调制信号 $s(t)$ 增加 1V 直流偏置后，与载波信号 $x(t)$ 相乘得到已调信号 $w(t)$ 。

（2）设计包络检波器，给出电路结构和参数，并给出电路原理和参数选择依据。

（3）将已调信号 $w(t)$ 通过包络检波器，得到输出信号 $z(t)$ 。讨论 $z(t)$ 逼近调制信号 $s(t)$ 的效果。

（4）改变包络检波器参数，体会不同的解调效果。

实践结果提交清单：

- （1）调制信号 $s(t)$ 、已调信号 $w(t)$ 、包络检波器输出信号 $z(t)$ 波形截图（保留设备序列号信息）。
- （2）包络检波器电路结构和参数，给出电路原理和参数选择依据。
- （3）体会包络检波器参数变化对滤波效果的影响（波形比较并截图）。
- （4）实际电路连接照片。
- （5）明确小组各成员的工作内容。

结 束