MODEL OE2052
Lock in Amplifier
用户使用手册

Copyright © 2025 by SSI.
All Rights Reserved.

Revision 1.8.2, 2026-07-17

目录

1. 技术参数 1
1.1 信号通道 1
1.2 参考通道 1
1.3 输出通道 2
1.4 振荡器 2
1.5 解调器 2
1.6 显示 2
1.7 辅助输入输出 3
1.8 通讯接口 3
1.9 其他 3
2. 锁相放大器基础 4
2.1 锁相放大器介绍 4
2.2 OE2052 功能原理图 6
2.3 参考通道 6
2.4 相敏检波器 7
2.5 时间常数和直流增益 8
2.6 直流输出和增益 9
2.7 动态储备 11
2.8 信号输入放大和滤波 12
2.9 输入端连接 13
2.10 固有噪声 14
2.11 外部噪声源 15
2.12 辅助模拟输入/输出（AUX IN/OUT） 17
2.13 多谐波测量 17
3. 界面介绍 18
3.1 前面板 18
3.1.1 显示屏 18
3.1.2 软键 18
3.1.3 旋钮 18
3.1.4 键盘 18
3.1.5 BNC 连接器 18
3.2 后面板 19
3.2.1 电源接口 19
3.2.2 USB2.0 19
3.2.3 RS232 19
3.2.4 以太网接口 19
3.2.5 AUX IN 19
3.2.6 AUX OUT 19
3.2.7 CLK IN & CLK OUT 19
3.2.8 SYNC IN & SYNC OUT 19
3.3 主界面 20

3.3.1 状态栏 20
3.3.2 数据栏 21
3.3.3 功能栏 22
4. 菜单 23
4.1 [SIGNAL INPUT]子菜单 23
4.1.1 <Source>：输入模式设置 23
4.1.2 <Impedance>：输入阻抗设置 23
4.1.3 <Sample Mode>：采样模式设置 24
4.1.4 <Coupling>：耦合设置 24
4.1.5 <Input Range>：输入电压量程设置 24
4.2 [OSC REF]子菜单 25
4.2.1 <Ref.Phase>: 参考相位设置 26
4.2.2 <Ref.Source>：参考信号源设置 26
4.2.3 <Ref.Frequency>：内部参考信号频率设置 26
4.2.4 <Ref.Slope>：外部参考触发模式设置 27
4.2.5 <Ref.Range>：外部参考信号量程设置 27
4.2.6 <Ref.Select>：解调器的参考信号频率源设置 28
4.3 [DEMOD FILTER]子菜单 29
4.3.1 <Time Constant>：时间常数设置 29
4.3.2 <Filter dB/oct>：低通滤波器陡降设置 30
4.3.3 <Synchronous>：同步滤波器设置 30
4.4 [DEMOD REF] 子菜单 30
4.4.1 <Demod.Channel>：解调器选择设置 31
4.4.2 <Demod.Type>：解调器类型设置 31
4.4.3 <Harmonic Set>：谐波解调阶数设置 31
4.4.4 <Demod.Set>：解调器输入信号设置 31
4.5 [DISPLAY] 子菜单 31
4.5.1 <Display Mode>：动态区域显示模式设置 32
4.5.2 <Top Window>&<Bottom Window>：分栏窗口显示内容设置 32
4.6 [SIGNAL OUTPUT] 子菜单 33
4.6.1 <Output Mode>：输出模式设置 33
4.6.2 <Amplitude>：输出幅值电压设置 33
4.6.3 <Offset>：输出偏置电压设置 33
4.6.4 <Unit>：输出幅值单位设置 34
4.6.5 <Impedance>：输出负载设置 34
4.7 [AUTO SET] 子菜单 34
4.7.1 <Auto Range>：自动设置输入电压量程功能 34
4.7.2 <Auto Offset>：自动调整输入通道偏置电压功能 35
4.7.3 <Auto Phase>：自动移相功能 35
4.8 [CHANNEL OUTPUT]子菜单 35
4.8.1 <CH Output>：CH 通道选择设置 36
4.8.2 <Source>：通道的输出源设置 36
4.8.3 <Sensitivity & Offset & Expand>：偏置与放大设置 37

4.9 [SYSTEM]子菜单 37
4.9.1 <Info>系统信息 37
4.9.2 <Screen>屏幕设置 38
4.9.3 <Remote>远程配置 40
4.9.4 <Store/Recall>仪器配置存储和载入 44
4.9.5 <Reset>：锁相放大器软复位 44
5. 远程编程 45
5.1 OE2052 命令语法 45
5.2 详细的命令列表 46
5.2.1 信号输入指令 46
5.2.2 解调器的参考设置指令 47
5.2.3 解调器的信号设置指令 48
5.2.4 解调器的滤波器设置指令 49
5.2.5 正弦波输出指令 50
5.2.6 CH 通道输入输出指令 51
5.2.7 自动设置指令 53
5.2.8 保存读取设置指令 53
5.2.9 复位与 IDN 指令 53
5.2.10 数据和状态读取指令 53
5.2.11 全局数据配置读取指令 55
6. PC 软件安装和使用说明 57
6.1 软件及驱动安装 57
6.2 锁相放大器软件 60
6.2.1 主界面功能介绍 60
6.2.2 解调器配置 61
6.2.3 输入信号配置 63
6.2.4 参考信号设置 64
6.2.5 辅助输出配置 67
6.2.6 正弦信号输出配置 68
6.2.7 数据保存配置 69
6.2.8 其他功能配置 71
6.3 上位机多功能软件 71
6.3.1 示波器和频谱仪功能 72
6.3.2 PID 控制器功能 73
6.3.3 参数扫描仪功能 74

1. 技术参数

1.1 信号通道

- 频率范围 DC – 400 MHz
- 电压输入模式 单端或差分输入
- 满量程灵敏度 1 nV 至 1 V
- 量程档位 100 μV, 500 μV, 2 mV, 10 mV, 50 mV, 200 mV, 1.3 V 共计 7 挡
- 输入幅值范围 < 1.3 Vrms
- 绝对最高额定电压 < ±5 V
- 输入阻抗 可配置 50Ω 或者 10 MΩ||15 pF，交流或直流耦合
- 动态储备 120 dB
- 幅值精度 典型 1 %，最大 2 %
- 电压噪声 4 nV/$\sqrt{\text{Hz}}$ (> 100 kHz)
- 模数转换 14 bit, 1 GSa/s (DC – 400 MHz)

1.2 参考通道

- 输入
  - 频率范围 DC – 400 MHz
  - 参考输入 正弦波或方波
  - 输入阻抗 50 Ω 或 1 MΩ
  - 绝对最高额定电压 < ±5V
  - 正弦参考信号
    - 250 mVpp < Vpp < 2.5 Vpp
    - 或 2.5 Vpp < Vpp < 10 Vpp
    - 典型值 500 mVpp / 5 Vpp (低电压或高电压挡位)
  - 方波参考电平
    - 0.25 V < V_{IH} < 2.5 V，-0.1 V < V_{IL} < 0.1 V
    - 或 2.5 V < V_{IH} < 5.0 V，-0.5 V < V_{IL} < 0.5 V
    - 典型值 V_{IL} = 0 V, V_{IH} = 0.33 V / V_{IH} = 3.3 V (低电压/高电压挡位)
- 相位
  - 分辨率 1 μ°
  - 绝对相位误差 典型 0.5°，最大 1.5°
  - 相对相位误差 < 0.001°
- 谐波检测 1-65535F (nF < 300MHz)
- 采集时间
  - 内部参考 即时采集
  - 外部参考 100 个信号周期或 1.5 ms (> 100 kHz)

- 模数转换 14 bit, 1 GSa/s

1.3 输出通道

- 频率范围 DC - 400 MHz
- 正弦输出
  - 幅值(50Ω 负载) 1 μVpp 至 3.0 Vpp (DC - 100 MHz)
    1 μVpp 至 1.5 Vpp (100 - 250 MHz)
    1 μVpp 至 1.1 Vpp (250 - 320 MHz)
    1 μVpp 至 0.6 Vpp (320 - 400 MHz)
  - 分辨率 1 μVpp
  - 误差 典型 0.5%，最大 1%
  - 温度稳定性 100 ppm/°C
- 直流偏置范围(50 Ω 负载) -1.5V 至 1.5V
- 输出范围(高阻负载) -3.8V 至 3.8V
- 输出阻抗 50 Ω
- 最大输出电流 ±100 mA
- 数模转换 16 bit, 1 GSa/s

1.4 振荡器

- 系统晶体振荡器
  - 精度 ±0.1 ppm
  - 温度稳定性 ±0.01 ppm
  - 老化率 ±0.05 ppm/year
  - 相位噪声 -150 dBc/Hz @10 kHz
- 数字振荡器数量 2
- 输入信号选择 参考通道 CH1 / CH2，信号通道 CH1 / CH2

1.5 解调器

- 解调器数量 4
- 输入信号选择 信号通道 CH1 / CH2
- 稳定性
  - 数字输出 所有设置均无零点漂移
  - 显示 所有设置均无零点漂移
- 时间常数 25 ns 至 3 ks
- 测量带宽 40 μHz 至 6 MHz
- 滤波器陡降 6, 12, 18, 24, 30, 36 dB/oct

1.6 显示

- 屏幕 5.6 英寸，640×480 的 TFT 彩色液晶屏

屏幕格式	单通道或双通道显示
显示值	每个通道均可显示 X,Y,R,θ 值
显示类型	数字显示图，百分比显示图
颜色风格	黄色，绿色

1.7 辅助输入输出

- Auxiliary Inputs

功能	4 通道输入
幅值	±10 V，1 mV 分辨率
输入阻抗	1 MΩ
采样速率	244.14 kSa/s

- Auxiliary / Channel Outputs

功能	4 通道输出
幅值	±10 V，1 mV 分辨率
驱动电流	±30 mA max
输出速率	976.56 kSa/s

- Sync Input / Trigger Input

功能	其他 OE2052 锁相放大器的同步/触发信号输入接口
电平	3.3V TTL/CMOS

- Sync Output / Trigger Output

功能	提供给其他 OE2052 锁相放大器的同步/触发信号输出接口
电平	3.3V TTL/CMOS

- 10MHz Clock Input/Output

功能	10 MHz 时钟输入输出接口，用于多机同步
电平	3.3V TTL/CMOS

1.8 通讯接口

RS-232	标准 9 针 RS-232 母插座
USB2.0	USB2.0 480 Mbps 高速接口
Enternet	1000Mbps 千兆网络接口
Digital I/O	双向 16 bit

1.9 其他

- 电源要求

电压	220-240 V AC
频率	50 Hz
功率	典型 100 W，最大不超过 120 W

- 重量 12 KG

2. 锁相放大器基础

2.1 锁相放大器介绍

锁相放大器是用于微弱信号检测的装置，微弱信号常淹没在各种噪声中，锁相放大器可以将微弱信号从噪声中提取出来并对其进行准确测量。锁相放大器是基于互相干方法的微弱信号检测手段，其核心是相敏检测技术（Phase-Sensitive Detection），利用与待测信号有相同频率和固定相位关系的参考信号作为基准，提取出与参考信号有关的信号分量，过滤掉参考频率以外的噪声分量。

对微弱信号的最基本处理是放大，传统的放大处理在放大信号的同时，也放大了噪声，而且在不进行带宽限制或滤波处理的情况下，任何放大操作都将使得信号信噪比下降。因此，必须采用滤波手段提纯信号，提高信噪比，以实现对微弱信号的准确测量。但要实现中心频率可调而且稳定、高 Q 值的带通滤波器，往往十分困难。

相敏检测器（PSD）可以取代高 Q 值的带通滤波器，其基本模块包含一个将输入信号与参考信号相乘的乘法模块和一个对相乘结果进行低通滤波的滤波器模块。有时 PSD 也特指乘法模块，不包含滤波器模块。如图 1 所示。

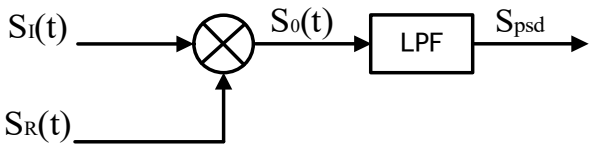

图1. 相敏检测示意图

$S_I(t)$是掺杂了噪声的时域输入信号，$S_R(t)$ 为与输入待测信号有相同频率关系的参考信号。PSD 结合待测信号通道和参考信号通道，即可以形成一路完整的锁相放大器功能架构，称为单相型锁相放大器。其结构原理图如图 2 所示。

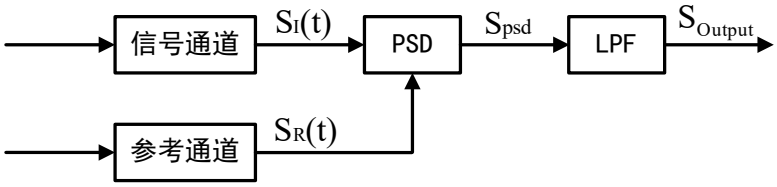

图2. 单相型锁相放大器结构图

从信号通道进入 PSD 模块的信号可定义为：

$$S_I(t) = A_I\, sin(\omega t + \varphi) + B(t)$$

其中ω是待测信号的频率，$A_I\, sin(\omega t + \varphi)$是待测信号，B(t)是掺杂的噪声。
参考信号通道输出的标准参考信号可定义为：

$$S_R(t) = A_R\, sin(\omega t + \delta)$$

两路信号同时输入 PSD 模块进行乘法操作，得到的输出为：

$$S_{psd} = S_I(t)S_R(t) = A_I A_R \sin(\omega t + \varphi)\sin(\omega t + \delta) + B(t)A_R \sin(\omega t + \delta)$$

$$= \frac{1}{2}A_I A_R \cos(\varphi - \delta) - \frac{1}{2}A_I A_R \cos(2\omega t + \varphi + \delta) + B(t)A_R \sin(\omega t + \delta)$$

上式结果有三部分，其中第一部分包含待测信号幅值A_I、参考信号幅值A_R以及输入信号相对于参考信号的相位差$(\varphi - \delta)$的余弦值，在输入信号有用部分与参考信号均稳定的情况下，可以认为该部分为一定值，即直流信号；同理，第二部分为原参考信号二倍频交流信号；而第三部分为噪声信号与参考信号的相乘，根据正弦信号的完备性可知，随机信号与其不具有相关性，其积分结果为零。

另一方面，从频谱来看，第一部分结果处于直流部分，第二部分在参考信号二倍频点，第三部分为原随机信号经过ω频谱搬移，以白噪声为例，搬移结果仍为白噪声。因此，将结果输入低通滤波器可以得到其直流部分如下：

$$S_{Output} = \frac{1}{2}A_I A_R \cos(\varphi - \delta)$$

虽然通过调整待测信号与参考信号的相位差$(\varphi - \delta)$就能确定待测信号的幅值，但是这个调整的精度是很难保证的。双相锁相放大器的产生很好的解决了这个问题。如图 3 所示是双相锁相放大器的原理架构图。

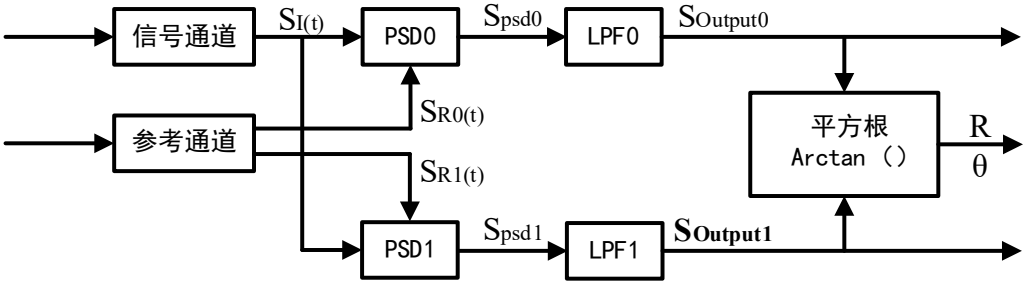

图3. 双相锁相放大器结构图

令相位差$\theta = \varphi - \delta$，其中参考通道产生两个相差 90° 的正弦信号：

$$S_{R0}(t) = A_R \sin(\omega t + \delta),\ S_{R1}(t) = A_R \cos(\omega t + \delta),$$

可计算出输出结果为：$S_{Output0} = \frac{1}{2}A_I A_R \cos\theta$，$S_{Output1} = \frac{1}{2}A_I A_R \sin\theta$。

定义 $X = A_I \cos\theta$，$Y = A_I \sin\theta$，因此可计算出不依赖于相位差的输出幅值：

$$R = \sqrt{X^2 + Y^2} = A_I = \frac{2 \times \sqrt{{S_{Output0}}^2 + {S_{Output1}}^2}}{A_R}$$

参考信号与待测信号之间的相位差可由下式得到：

$$\theta = tan^{-1}(Y/X)$$

2.2 OE2052 功能原理图

数字锁相放大器 OE2052 的原理框图如下所示：

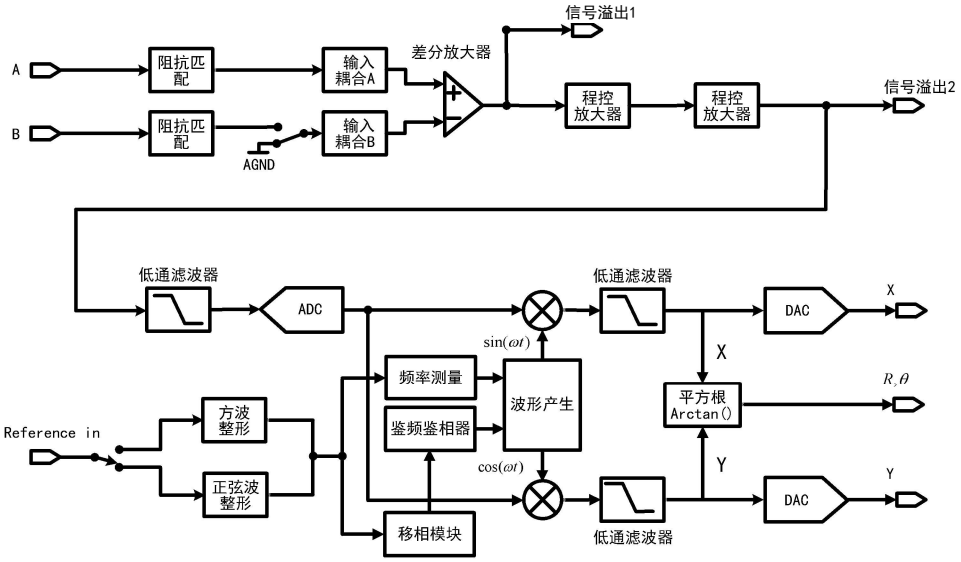

图4. OE2052 原理框图

总体来看，其功能模块大致分为信号调理通道、参考信号处理通道、算法实现模块、系统主控等部分。

2.3 参考通道

参考通道的功能是为相敏检测器提供与被检测信号相干的控制信号，OE2052 的参考信号可根据实际情况来选择正弦波或者方波信号。输入阻抗分别为 50 Ω 或 1 MΩ。

OE2052 针对正弦波和方波的典型输入值设计了 3 种参考触发模式，即<Reference Slope>。参考触发模式为<SINEDC>时，输入阻抗 50Ω且使用直流耦合，仪器内部前级偏置电压为 0V，**常用于正弦信号输入，能获得最低的噪声水平，推荐优先使用**。

参考触发模式为<Sine>时，输入阻抗 50Ω且使用交流耦合，仪器内部前级偏置电压为 0V，常用于带偏置电压的正弦信号输入。

参考触发模式为<TTL>时，输入阻抗 1 MΩ 且使用直流耦合，仪器内部前级偏置电压约为-1.4V，常用于高低电平且低电平为 0V 的方波信号输入。

正弦波参考输入阻抗为 50Ω，可选 100nF 输入电容实现交流耦合，-3dB 频率在 31.8kHz。OE2052 提供了低电压以及高电压挡位以覆盖较宽的输入范围，分别为 250 mVpp < Vpp < 2.5 Vpp 以及 2.5 Vpp < Vpp < 10 Vpp。**推荐使用低电压挡位，典型值 500 mVpp(信号源输出负载 HiZ) / 250 mVpp(信号源输出负载 50Ω)，以减小高频对测量信号干扰。**

方波参考输入阻抗为 1MΩ，直流耦合。OE2052 提供低电压以及高电压挡位以覆盖较宽的输入范围，0.25 V < V_{IH} < 2.5 V，-0.1 V < V_{IL} < 0.1 V 以及 2.5 V < V_{IH} < 5.0 V，-0.5 V < V_{IL} < 0.5 V。典型应用场景为高电压挡位下使用 3.3V TTL 电平输入。

OE2052 锁相放大器有两种参考源模式，一为内部参考模式，二为外部输入模式。

当设定为内部参考信号模式时，仪器内部的高精度振荡器和合成算法能够产生用于与输入信号相乘的正弦波信号，此时不需用锁相环进行锁相，内部参考信号几乎不会受到相位噪声的影响。OE2052 的内部参考模式能够在 1 uHz 至 400 MHz 的频率范围内正常工作。由于内部振荡器与外部信号源的振荡器会有一定的频率偏差，而且没有锁相环跟踪锁定，因此内部产生的正弦信号与待测信号之间会有一定的频率差，并且不能保证两者间的相位稳定性。

OE2052 也能够使用外部参考信号模式，正弦波信号和 TTL 逻辑电平可作为外部参考信号。锁相环在实际工作中会产生一定的相位抖动，这可能会造成测量的误差。相位抖动导致参考信号掺杂了不同频率的噪声，根据 PSD 相干原理，输出信号不仅包含有与参考信号频率相同的待测信号，还包含参考信号中其它频率的噪声。实际上，相位抖动一般比较小，不会造成测量问题。如果需要无抖动的测量，可以选用内部参考模式。由于该模式没有使用锁相环，内部晶振与参考信号是直接相连的，所以没有额外的相位抖动干扰。

2.4 相敏检波器

OE2052 的相敏检波器（PSD）由一个数字乘法器来实现。输入信号放大滤波后由 14 bit A/D 转换器变为数字信号输入到相敏检测器，内部信号发生器产生同频的参考信号进行相乘，并使用 64 bit 的低通滤波器进行计算。

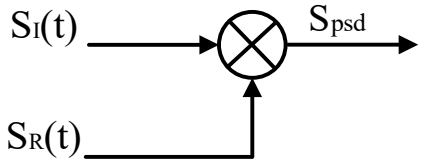

图5. 相干检测核心部分

锁相放大器的相敏检波模块主要实现输入信号与参考信号的相干调制，传统的锁相放大器通过一个模拟乘法器来实现以上功能。但这种以模拟技术实现相干调制的方法存在诸多缺陷，它不仅会极大地限制相敏检波器的精度还会引入很多背景噪声，这些对于微弱信号的测量都是极为不利的。

基于以上考虑，本产品采用数字技术来实现信号的相干调制。因为内部信号发生器产生的参考信号是数字信号，所以它能极大地避免谐波分量对相干调制的影响。实际上，谐波分量的抑制可达-150 dB，这就意味着在相干调制的过程中谐波分量几乎没有影响。

另外由于模拟技术实现的相敏检波器存在温度漂移、直流偏置，所以其输出结果往往与实际结果间存在一定的偏差（即系统误差，并且这一系统误差往往带有不确定性），而以数字技术实现的相敏检波器就可以避免这一问题的产生。在系统正常工作的情况下，几乎不会产生相应的系统误差。考虑到模拟乘法器的输入量均是模拟量，所以其参考信号也会受到温度漂移效应的影响。这就会使得参考信号也会存在偏差，进而使得相干调制的结果存在更大的系统误差。

以模拟技术实现的相敏检波器的动态储备基本被限制在 60 dB 以下，这是因为在模拟系统中往往存在很多背景噪声。由于锁相放大器主要用于微弱信号的检测，所以当背景噪声的幅值与信号相接近或是比信号更大时相干调制的结果就会出错。而采用数字技术实现的相

敏检波器就不存在此类问题，它的动态储备主要受 A/D 转换的质量限制。一旦输入信号完成数字化后，就不会在相干调制的过程中引入额外的误差。实际上，OE2052 的动态储备能达到 120 dB。

综上可以看出，以数字技术实现的相敏检波器在各方面性能上均优于以模拟技术实现的相敏检波器，并且以数字技术实现的相敏检波器还拥有易于调试等优点，因而成为本产品的最优选择。

2.5 时间常数和直流增益

相敏检波器的输出包含多种频率成分的信号，其中既有输入信号与参考信号的和频成分也有两者的差频成分以及噪声信号。并且仅当输入信号与参考信号同频时，两者的差频信号才为一直流信号。相敏检波器后端的低通滤波器能将除直流分量外的噪声信号以及和频信号滤除，以便让锁相放大器具备一个高品质带通滤波器的功能。

时间常数

相敏检波器后端的低通滤波器的带宽设置方法与常规的低通滤波器相同，均是通过设置时间常数来实现。其中时间常数 TC 的计算公式为：

$$TC = \frac{1}{2\pi f}$$

其中 f 为滤波器-3 dB 处的截止频率。例如对于一个一阶的 RC 低通滤波器而言，1 秒的时间常数意味着它的-3 dB 的截止频率为 0.16 Hz。

通常情况下，当系统的输入端有噪声时输出端也会因此而产生噪声。但通过增大时间常数的值能够使系统的输出端更稳定也能减轻输入端噪声对输出端的影响。时间常数除了对系统的稳定性和精度有影响外，还会影响系统的响应时间。对于一阶 RC 低通滤波器而言，需要等待 5 倍时间常数以上的时间，才能使输出结果稳定。

另外时间常数还决定噪声测量时的等效噪声带宽（ENBW）。在此特别说明一下，等效噪声带宽指的并不是滤波器的-3 dB 带宽，它指的是对高斯噪声的有效带宽。

各阶 RC 低通滤波器的等效噪声带宽和响应等待时间如表 1 所示：

表1. 各阶 RC 低通滤波器的 ENBW 和响应等待时间

滤波器阶数	陡降	等效噪声带宽	输出到达 99%稳定度所需时间
1	6 dB/oct	$0.25 \div TC$	$4.6 \times TC$
2	12 dB/oct	$0.125 \div TC$	$6.6 \times TC$
3	18 dB/oct	$0.09375 \div TC$	$8.4 \times TC$
4	24 dB/oct	$0.07813 \div TC$	$10 \times TC$
5	30 dB/oct	$0.06836 \div TC$	$11.6 \times TC$
6	36 dB/oct	$0.06152 \div TC$	$13.1 \times TC$
7	42 dB/oct	$0.0564 \div TC$	$14.6 \times TC$
8	48 dB/oct	$0.05237 \div TC$	$16 \times TC$

数字滤波器与模拟滤波器对比

为了尽量提升 OE2052 的性能，我们采用数字滤波器来实现对相干调制结果的低通滤波处理。与大多数模拟系统与数字系统的对比一样，数字系统拥有很多模拟系统所不具备的优势。首先模拟器件固有的温度漂移和非线性将极大的限制滤波器的滚降程度。其次，要通过模拟器件搭建一个时间常数大、高品质的低通滤波器需要占据相当大的电路板面积，这不仅会使得仪器的成本上升，而且大量的模拟器件也会为今后的调试带来很大的难度。

本产品采用数字技术实现的低通滤波器是一个 48 bit 位宽，直流增益为 0 dB，等效 Q 值最高达 145 dB 以上的窄带滤波器。

较大的时间常数

用模拟技术实现的滤波器很难实现大于 100 s 的时间常数，这是因为此时所需的电容不仅在数值上还是在规格上都过大。但为什么需要如此大的时间常数？因为在某些情况下是别无选择的。例如当参考信号的频率低于 1 Hz 并且存在很多低频噪声干扰时，相敏检波器的输出就会包含很多低频成分的干扰。

直流输出增益

相敏检测器的直流输出能有多大？它取决于动态储备的大小。当动态储备为 60 dB 时，代表噪声信号会比满量程的信号大 1000 倍。在相敏检测器中，噪声信号不能超过相敏检测器的输入范围。在一个模拟锁相放大器中，假设相敏检测器的最大输入幅值为 5 V。在它的动态储备为 60 dB 时，相敏检测器输入端的信号将只有 5 mV。而相敏检测器是不会放大信号的，所以其输出仅有几毫伏。即使相敏检测器的直流输出没有误差，后端的放大器直接将其放大 1000 倍到 5V，也很容易使信号失真。如果 PSD 有 1 mV 的偏移量，则将在输出端变为 1 V 的输出。这就是为什么基于模拟技术的相敏检测器不能达到太高的动态储备的原因。

因为基于数字技术的锁相放大器没有采用模拟直流放大器，所以数字锁相放大器不存在直流输出的偏置。数字直流放大器也不存在输入偏移量。数字直流放大器只需将接受到的数据与预先设定好的增益相乘，再将结果输出即可。这就是 OE2052 在动态储备能达到 120 dB 时仍能不受偏置影响的原因。

2.6 直流输出和增益

OE2052 在后面板有 CH1 至 CH4 四个辅助输出通道。

辅助输出与显示

Aux Out 的输出范围为 -10 V 到 +10 V。根据当前对信号的测量结果与当前设置测量范围的比例，正比到输出。除此之外，OE2052 还能通过前面板的显示屏显示 CH1 至 CH4 的数据源，其中包括被测信号的 X 值、Y 值、R 值、θ 值等数据。

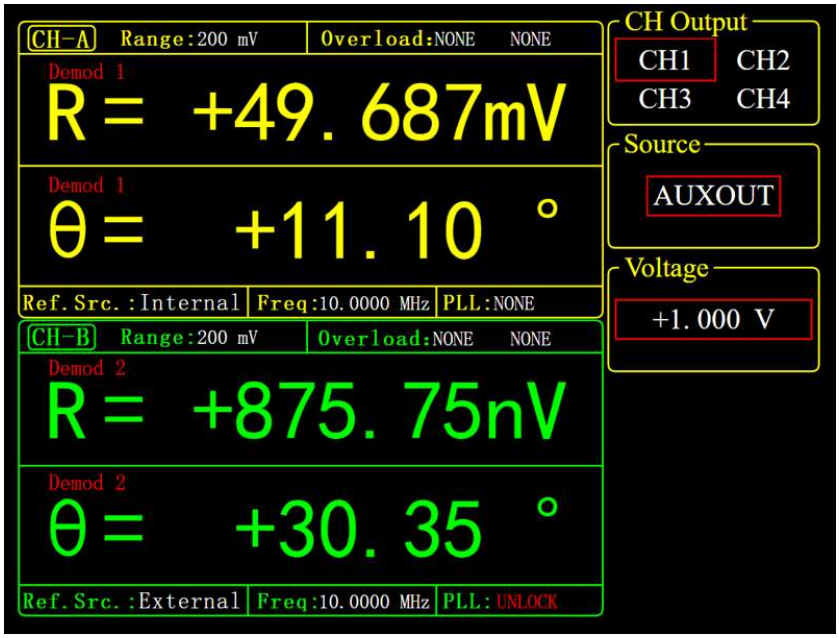

图6. OE2052 输出设置界面

X，Y 和 R 的输出偏移与增益

OE2052 能够通过设置偏移量以抵消测量时的误差。这对于测量值在某些标称值附近存在误差的情况下是极其有用的。因为偏移量可以在范围内任意设置，所以输出的偏移量可以说几乎为零。输出的变化可以直接从显示屏或面板的输出端读出。偏移量以满刻度输出的百分比形式表示，并且这一比值不会因为灵敏度的变化而改变。偏移量最多可以设置为满刻度输出的±100%。

另外还能对 X、Y 和 R 的输出值放大。这一功能是通过给输出数据乘以一个增益系数来实现的。因此，一个仅有满偏刻度十分之一的信号经过放大后能提供 10 V 的输出而不是 1 V 的输出。输出信号增益的作用一般是在某些非零值的附近增加测量分辨率。

在不超过满偏刻度的情况下，OE2052 能够提供增益系数为+1 ～ +10000 的多个档位的输出增益。其输出的计算公式为：

$$Output = \left(\frac{Signal}{Sensitivity} + Offset\right) \times Expand \times 10(V)$$

<Offset> 可在 -100% ～ +100% 之间进行设置，可通过数字键盘直接输入，最小步进为 0.01%；<Expand> 值可在 +1 ～ +10000 之间进行设置，可通过数字键盘直接输入，最小步进为 1。例如：

$$Output = \left(\frac{0.1mV}{1mV} + 0.2\right) \times 2 \times 10(V) = 6(V)$$

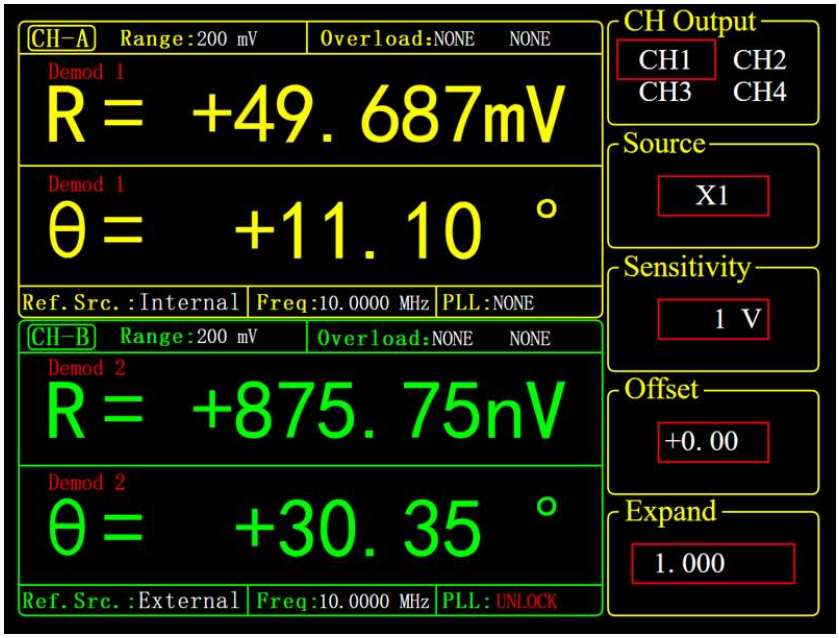

图7. 输出偏移与增益设置

2.7 动态储备

动态储备的定义是最大可容纳的噪声信号和满量程信号的比值。动态储备表示锁相放大器对噪声容忍程度的大小，通常以 dB 表示。

$$动态储备 = 20lg\frac{OVL}{FS}(dB)$$

其中 OVL 表示输入总动态范围，FS 是最大量程，表示输出动态范围。若动态储备为 100dB，表示系统能容忍的噪声可以比有用信号高出 105 倍。

实际上动态储备设置应该保证整个实验过程中不发生过载，过载还可能出现在前置放大器的输入端和 DC 放大器的信号输出端。系统的输入增益与动态储备成反比，因为噪声也会随着输入增益而放大，因此**可以通过减少输入增益来实现高动态储备**。前级放大倍数设置为较合理范围，以防止噪声过载，经过 PSD 和低通滤波器滤掉了大部分噪声后，直流放大倍数设置为较大值，将信号放大到满量程。

锁相放大器的输入信号在 PSD 处理之前需要交流放大，而在 PSD 处理之后进行直流放大即可。在总增益不变的情况下，如果调整交流增益增加，直流增益减小，则输入噪声经交流放大很容易使 PSD 过载，动态储备减小，同时输出的直流漂移减小。反之，如果增加直流增益，降低交流增益，则动态储备提高，使锁相放大器具有良好的抗干扰能力，但以输出稳定性为代价，降低了测量精度。

直流放大输出精度受噪声的频率和幅值影响。幅值较大且与信号频率相同的噪声经过 PSD 后同样变成直流信号，这样经过低通滤波器时直接叠加到输出，对输出结果造成影响。

动态储备与噪声频率有关。在参考频率处的动态储备为 0，远离参考频率时动态储备增加，离参考频率足够远时，动态储备可达到最大值。参考频率附近的动态储备对仪器噪声容限极其重要，增加低通滤波器的级数可以提高滤波效果，从而增加参考频率附近的动态储备。远离参考频率的动态储备一般比较大，但一般对测量影响不大。

当动态储备较高时，由于模数转换器的噪声存在导致输出误差增加。所有的信号源都存在本底噪声，因此在 PSD 提取信号过程中就会掺杂着噪声，如果噪声很大，在高动态储备测量中就会产生较大的输出误差。如果外部噪声较小，则其输出主要是受 OE2052 自身噪声影响。这时可以通过降低动态储备和直流增益来降低输出误差。因此，**在实际应用中应尽量使用较低动态储备，即较高的输入增益**。

2.8 信号输入放大和滤波

锁相放大器可以测量低至纳伏级的微弱信号。模数转化器可以将模拟信号数字化，但信号必须达到能被识别的强度。因此低噪声信号放大器必须有足够大的增益，将信号放大到可直接被模数转化器转化的程度，而无需降低信号的信噪比。OE2052 的模拟放大倍数增益大约在 0.2 到 1600 倍，但无论增益设置多大都不会提高信噪比。

直流信号和交流信号的总增益由灵敏度确定，两者各自的增益则由动态储备设定。

输入噪声

若放大器的输入噪声为$10\ \mathrm{nVrms}/\sqrt{\mathrm{Hz}}$，增益为 1000 倍，那么将输出$10\mu\mathrm{Vrms}/\sqrt{\mathrm{Hz}}$ 噪音。假设放大器的输出为一阶 RC 低通滤波器（6 dB/oct 的滚降），RC 过滤器的时间常数为 100 ms。放大器的输入噪声和电阻的约翰逊噪声具有高斯噪声性质，其噪声的量正比于该噪声带宽的平方根。单级 RC 滤波器的等效噪声带宽（ENBW）为 1/(4×TC)。这意味着，对滤波器输入的高斯噪声进行滤波，其有效带宽等于 ENBW。在这个例子中，滤波器输入端有$10\mu\mathrm{Vrms}/\sqrt{\mathrm{Hz}}$ 噪声，其等效噪声带宽为 2.5 Hz，滤波器的输出电压噪声为 $10\mu\mathrm{Vrms}/\sqrt{\mathrm{Hz}}\times\sqrt{2.5\mathrm{Hz}}=15.8\mu\mathrm{Vrms}$。对于高斯噪声，噪声峰峰值是噪声有效值的 6.6 倍左右。因此，输出有大约 104 μV 峰峰值噪声。

锁相放大器的输入噪声同理。在设置增益为 1500 倍时，输入增益达到最大，输入噪音的大小将决定输出噪声。而低通滤波器的等效噪声带宽又影响输出的噪声量。

等效噪声带宽取决于时间常数和滤波器滚降（参考 2.5 章）。例如，将 OE2041 设定到<5μV>量程，设置时间常数为<100 ms>以及<6 dB/oct>的滚降，则其等效噪声带宽为 2.5 Hz。这个设置下，等效到输入端的噪声为 15.8 nVrms，输出为量程的 0.32%（即 15.8nV/5μV），噪声峰峰值则是满量程的 2%左右。

假定信号是由一个低阻抗信号源发出的。其中电阻约翰逊噪声为$0.13\times\sqrt{\mathrm{R}}$，以 100 Ω 电阻为例，常温下其约翰逊噪声为 1.3 $\mathrm{nVrms}/\sqrt{\mathrm{Hz}}$。而一个阻抗为 10 kΩ 的信号源的约翰逊噪声 13 $\mathrm{nVrms}/\sqrt{\mathrm{Hz}}$ 都大于 OE2041 的自身输入噪声。系统总噪声大小由各个噪声源的平方之和后开根号计算出来。例如，一个 10 kΩ 阻抗的信号源接入到 OE2041，它自身的约翰逊噪声和 OE2041 的输入噪声叠加起来，总噪声大小为$\sqrt{10^2+13^2}=16.4\ \mathrm{nVrms}/\sqrt{\mathrm{Hz}}$。

在增益较低时，经过放大后的噪声信号仍然低于模数转化器的自身噪声，此时系统的输出噪声主要是模数转换器噪声，但这种情况下的滤波器之后的直流增益很低，输出的噪声相对于有用信号可忽略不计。

抗混叠滤波器

输入信号经过陷波器和放大电路之后，会通过抗混叠滤波器，这是信号的数字化处理前必须要完成的。根据奈奎斯特定理，采样频率至少是信号频率的两倍。比如信号频率是 100-kHz，那至少需要 200 kHz 采样频率才能进行采样。OE2052 的 A/ D 转换器采样频率是 1GHz，需要滤除通带 400MHz 以外的带外信号。

为了避免欠采样这种情况，先将模拟信号进行低通滤波处理，消除信号超过 400MHz 的高频部分。低通滤波器具有较平坦的通带（0-400 MHz），在这个频率范围内的信号不会受影响。高于 400 MHz 的高频部分信号会被逐渐衰减，从 400 MHz 至 600MHz 是过渡阶段，对高于 600-MHz 频率的信号和噪声产生 80 dB 的衰减。

输入阻抗

OE2052 的输入阻抗可选择 50Ω 或 10MΩ。如果需要更高的输入阻抗，可以使用 OE2041 的前置放大器 OE400X 系列。OE400X 系列前置放大器的输入阻抗可达 100 MΩ 或更高，满足用户的各种使用场景。

2.9 输入端连接

噪声存在于所有的电路中。即使在信号幅值较大的情况下，噪声也会降低测量的精度。为了得到最佳测量精度，必须注意减少实验环境中可以避免的噪声源。除了系统固有噪声之外，其他噪声源（如市电噪声、信号发生器的噪声、在空间分布的电磁场等）的影响和不同仪器之间的地电平差、地环路问题，可以在输入连线的环节降低影响。

我们的仪器有两种输入连接的方式，单端连接和差分连接。单端连接非常的方便，而差分连接则能有效消除噪声的影响。

单端连接模式（A）

单端连接模式中，使用 IN+输入端。锁相放大器检测 IN+输入接口的中心导体和外壳导体之间的电压差。

单端连接模式对噪声抵抗能力较弱。单根信号线就像天线，会被环境的电磁噪声所影响，屏蔽层会吸收这些噪声，因为单端连接模式是检测中心信号线和屏蔽层的电压差，因此这些噪声会被带入锁相放大器内部。

差分连接模式（A-B）

差分连接模式有两根信号线连接到信号源，每一根接到对应的输入端（IN+、IN-）中。这个模式下检测 IN+和 IN-接口的中心导体之间的电压差，两个接口的外壳屏蔽层吸收的噪声不会被锁相放大器获取。

使用差分连接模式有一个需要注意的地方，两个输入端的电缆应该紧密缠绕，不应形成环路，以免产生电磁感应，从而给测量带来误差。

交流耦合和直流耦合模式

OE2052 对输入的信号有交流耦合和直流耦合两种模式。交流耦合通过一阶 RC 高通滤波器（输入阻抗为 50Ω或 10MΩ时，-3dB 频率分别为 31.8kHz 和 0.16Hz）来滤除直流和较低频率信号，交流耦合应该在信号频率大于-3dB 频率（保证通带平坦度）的情况下使用。对于低于 10Hz 频率的信号，应该使用直流耦合模式。直流耦合模式不对输入信号有任何阻碍。

如果输入信号含有直流成分，若没有被去除，那会带来几个隐患：在放大电路中直流分量也会被放大，如果被放大到超过 A/D 转换器的输入范围，那么就会使测量结果产生误差，也有可能损坏 A/D 转换器。另外直流量被 A/D 转换器量化成数字量后，在 PSD 里会和参考正弦信号相乘，那么需要更强大的低通滤波器才能滤除，会导致需要更久的测量时间。

2.10 固有噪声

噪声

从主观的角度出发，可认为凡是不希望得到或者有碍于准确测量的输入或影响均可称之为噪声。噪声具有瞬时性和不可预知性的随机性。几乎所有测量领域，探测弱信号的最终限制因素都在于噪声。即使要测量的信号并非很弱，噪声的存在也会降低测量精度。某些形式的噪声是无法避免的(例如待测信号的抖动)，只有通过信号平均和缩小带宽等技术来克服。而另一些形式的噪声(例如射频干扰和接地回路)可以由很多技术来消除或降低，包括滤波和良好的线路结构和元件布局。同时，放大器本身在工作时也会产生噪声，可以通过低噪声放大器设计技术解决这一问题。

电子系统中存在各种各样的固有噪声源，这些噪声有它们的物理含义。

约翰逊噪声 (Johnson Noise)

任何一种无源器件，其导体中的电子始终在做随机运动，其两端会因此产生一个噪声电压，这就是约翰逊噪声，也称为白噪声或热噪声。它存在于所有电子器件和传输介质中。它受温度变化的影响，但与频率变化无关。从频域上看，热噪声在整个频段具有均匀的功率谱密度，即类似于白色光谱，它不能够被消除的，因此是电子系统性能的上限的影响因素之一。在温度为 T 时，由一个电阻 R 产生的实际噪声电压由下式计算出来:

$$V = \sqrt{4kTRB}$$

其中 k 为玻尔兹曼常数，k=1.38 × 10^{-23} J/K，T 是以开尔文为单位的热力学温度(热力学温度与摄氏度的转换关系为：0K=0C+273.16)，B 是以赫兹为单位的带宽。

随后，Nyquist 利用热力学推理以数学方式描述了热噪声的统计特性，并证明了热噪声功率谱函数为

$$St(f) = 4KTR(V^2/Hz)$$

例如，室温下，将一个 10K 电阻接入高保真放大器的输入端，输出端接伏特表，用带宽为 10 kHz 的滤波器来测量它的的开路有效电压，结果为 1.3 μV。

热噪声电压的瞬间幅度在任何情况下一般来说都是不可预见的，但是它遵循高斯分布。其意义就在于它是任何检波器、信号源或者放大器的噪声电压的下限。源内阻的阻抗部分会产生热噪声，放大器的偏置和负载电阻也同样如此。

散射噪声（Shot Noise）

电流其实是一股离散的电荷流，而不是一种真正的流体。电荷量的有限性导致了电流的统计性起伏。如果电荷之间互不影响，那么电流的波动就由下式给定:

$$I_{noise} = \sqrt{2qIB}$$

其中 q 为电子电荷(1.6 × 10^{-1} C)，I 为电路中 RMS 电流值，B 为测量带宽。例如，一个稳定的 1 A 电流，在 10 kHz 范围内测量，其有效值波动为 57 nA，也就是在 0.000,006%上下波动。对于更小的电流，其波动更大：一个稳定的 1 μA 的电流在 10 kHz 范围内测量值的均方电流波动为 57pA，也就是 0.006%的波动。对于 1 pA 的电流，均方电流噪声波动为 56 fA(在同样带宽测量)，也就是 5.6%的波动!

随后证明了散弹噪声电流也是一种白噪声，其功率谱密度函数为

$$S_{sl}(f) = 2qI(A^2/Hz)$$

前面给出的散射噪声公式是假设电流中的载流子互不影响而得出的。当电荷通过一个势垒时，这种假设确实是存在的，例如面接触型二极管中的电流是以电荷的扩散形式传播的。但是对于最常见的金属导体来说就不是这样，其载流子之间有着很密切的联系。

1/f 噪声（Flicker Noise）

1925 年，Johnson 在电子管电流中首次发现 1/f 噪声，其突出特点在于该噪声的功率谱函数正比于 1/f。频率越低，噪声越严重，因为又称为低频噪声。其微观机理在于当两种导体接触不理想时，其接触电阻将发生随机涨落，从而引起噪声。

尽管对 1/f 噪声研究已达数十年，然后其适用的情形不一从而有许多的描述模型。其电流幅度满足高斯分布，功率谱密度正比于工作频率的倒数，起功率谱密度函数表示为：

$$S(f) = \frac{KI_d^2}{f}(V^2/Hz)$$

1/f 噪声也叫闪烁噪声(flicker noise)，是有源器件中载波密度的随机波动而产生的，它会对中心频率信号进行调制，并在中心频率上形成两个边带，降低了振荡器的 Q 值。由于 1/f 噪声是在中心频率附近的主要噪声，因此在设计器件模型时必须考虑到它的影响。

散射噪声和热噪声都是由于物理特性而产生的不可避免的噪声。对于相同阻值的电阻，制作精良的电阻和便宜的炭阻所产生的热噪声完全一样。另外，实际设备都会有各种各样的过量噪声源。实际中的电阻都存在阻值的波动，其结果是产生一个附加的噪声电压(与永久存在的热噪声叠加在一起)，其值与流经它的直流电流成正比。这一噪声和很多与电阻构造相关的因素有关，其中包括电阻的材料，特别是封装技术。以纯炭阻，碳膜电阻，金属膜电阻和绕线电阻为例，绕线电阻的噪声最小，金属膜电阻次之，炭膜电阻再次之，纯炭阻最大。

2.11 外部噪声源

内部固有噪声是难以避免的，只有尽可能减少这种噪声的大小。相对于固有噪声而言，外部噪声的形式各种各样，而且绝大多数的噪声源都是异步的。外部噪声源主要通过增加动态储备和时间常数的要求，进而影响了测量的时间。少数的噪声源和参考信号联系紧密，与实际测量信号相加或相减，造成测量结果的错误。幸好，外部噪声源可以通过多种途径尽可能减少。

电容耦合

由于布线之间总是有互容，互容如同寄生在布线之间的一样，所以叫寄生电容，又称为杂散电容。极板与周围体（各种元件甚至人体）也产生电容联系。而在锁相放大器附近的交流电压信号可以用过这些寄生电容耦合到设备上。虽然寄生电容可能很小，但耦合来的电压信号仍然有可能比待测微弱信号要大。

寄生电容的影响可由以下公式计算出来：

$$I = \omega C_{stray} V_{noise}$$

其中，ω是噪声频率的 2π倍，C_{stray}为寄生电容容值，V_{noise}是噪声的振幅。

当噪声源频率变大时，耦合噪声将会变大。如果噪声源和参考频率一致，对测量结果的

影响会很大。因为锁相放大器会滤除其他频率的噪声，但是会把与参考频率一致的噪声当作信号进行测量。

减少电容耦合的方法:

- 移除噪声源，或者尽量把噪声源远离仪器和信号线。
- 设计低阻抗的实验装置，这样耦合的噪声电流就只会产生很小的噪声电压。
- 容性屏蔽，例如将整套实验装置放入金属盒中。

电感耦合

交流电附近会感应出一个磁场，如果放置器件在交流电附近，感应的磁场会耦合到电路中进而影响电路。变化的交流电会产生变化的磁场，变化的磁场感应产生电动势，感应电动势会影响电路的电流电压，进而使实验的测量发生偏差。电动势的大小和磁场变化的频率有关，频率越快，电动势越大，对实验的测量影响就越大。

减少感性耦合的方法：

- 尽可能移除仪器附近的噪声源。
- 使用双绞线或者紧密缠绕的两根同轴电缆线以减小环路效应。
- 对仪器进行磁性屏蔽，防止磁场进入并穿透测量的区域。

阻性耦合和接地环路

接地环路也会变成一个干扰源，能在传输两端的接地之间产生噪声电压，如果噪声电压足够大，就会导致测量错误。接地环路是系统接地方案中的一个物理环路，产生于电路之间的多个接地途径。这些接地路径可以充当一个大环路天线，从环境中捕获噪声，从而在接地系统中产生电压。工频交流电源的 50Hz 磁场是接地环路捕获的常见噪声源，类似地，对于分布式接地系统，源于某个位置的地电压也能引起地电流在接地环路中流动。由于地为低阻抗，因此噪声电流往往相当大。数百毫伏的噪声可能会引起数安培的电流流过接地环路。

消除接地环路电流的途径：

- 将所有的地连接到同一个点。
- 地总线应尽可能粗，这样可以降低地连接中的阻抗。
- 小信号的接地线上应避免有大电流的接地回路接入。

颤动噪声效应

大部分噪声源都是以电气的形式影响电路，然而机械振动的噪声也可通过颤噪效应转化成为电气形式。因微振动而使传输电缆或者待测信号产生的机械振动，会产生频率变化的电形式噪声。

消除颤噪效应的方法：

- 在测量时，尽可能地减少机械的振动。
- 传输微弱信号的传输线应绑紧固定以减少它们的颤动。
- 用低噪声的电缆来替代普通电缆以减少颤噪效应。

热电偶效应

热电偶效应，指的是两种不同的金属相互接触时在它们之间产生的电势差。产生接触电势差的原因是：（1）两种金属电子的逸出功不同。（2）两种金属的电子浓度不同。若 A、B 两种金属的逸出功分别为V_a和V_b，电子浓度分别为N_a和N_b，则它们之间的接触电势差为

$$V_{ab} = V_a - V_b + \frac{kT}{q} \times ln\left(\frac{Na}{N_b}\right)$$

其中 k 为玻尔兹曼常数，k =1.38×10-23J/K。T 是以开尔文为单位的热力学温度(热力学温度与摄氏度的转换关系为：0K=0C+273.16)，其中 q 为电子电荷(1.60 x 10-19 C)。由上式可得知接触电势数值决定于金属的性质和接触面的温度，因不同金属的功函数(电子逸出金属表面所需的功)不同而产生。

当两种金属接触时，在接触点产生的电动势会在原电平的基础上增加了一个缓慢变化的毫伏级的电平。这种噪声与温度密切相关，由于温度变化缓慢，因为这种噪声频率也很低。热电偶效应会随着检测器输出变大而增长，在低频率时影响较大，尤其是 mHz 级别的测量时，影响更大。

消除热电偶效应的方法：

- 测量仪器尽可能保持在恒温状态。
- 使用补偿特性的节点。

2.12 辅助模拟输入/输出（AUX IN/OUT）

OE2052 包含了四路 16 位的高精度辅助 AUX-ADC 输入，输入电压范围为±10 V，最小分辨率达 1mV，采样率为 244.14ksps。这四路 ADC 提供输入信号钳位保护和内部差分放大功能，输入阻抗达 1MΩ，可同时进行信号采集，用来测量低速模拟信号，或者测量从某个实验得到的直流信号（例如来自温度传感器或者压力传感器），以便于进行比例运算和传送给控制计算机。

OE2052 同时包含了四路 16 位的高精度辅助 AUX-DAC 输出（与直流输出 CH Output 兼用接口），输出电压范围为±10 V，最小分辨率达 1 mV，数据刷新率为 976.56ksps。可以根据用户需要提供辅助电压输出。

AUX IN 和 AUX OUT 的接口采用标准 BNC 接头，集成在 OE2052 后面板。对 AUX-ADC 数值显示设置在[DISPLAY]子菜单中进行，而 AUX-DAC 的输出值设置在[CHOUT AUXOUT]子菜单中进行。

2.13 多谐波测量

谐波是指周期函数或者周期性波形中能用常数、与原函数的最小周期相同的正弦函数和余弦函数的线性组合表达的部分。根据傅立叶级数的原理，周期函数都可以展开为常数与一组具有共同周期的正弦函数和余弦函数之和。其展开式中，常数表达的部分称为直流分量，最小正周期等于原函数的周期的部分称为基波或一次谐波，最小正周期的若干倍等于原函数的周期的部分称为高次谐波。

传统的锁相放大器中，同一时间只能测量基频信号或者某个谐波信号分量。在很多的实际应用上，往往需要对多个谐波的同时测量和记录。这时，目前的锁相放大器就很难满足要求了。

OE2052 具有多谐波同时测量功能，可以最多同时进行 4 个通道谐波分量的测量。原来需 4 台锁相放大器完成的工作，现在 OE2052 一台即可完成。

对多谐波的测量设置在[DEMOD]菜单中进行。

3. 界面介绍

3.1 前面板

3.1.1 显示屏

OE2052 使用 5.6 英寸 TFT 显示屏作为用户的数据显示与交互控制。显示屏分辨率为 640*480，有 8 级的背景亮度可供用户选择，可以在[SYSTEM]子菜单设置。

屏幕的左边大幅区域用于显示输入信号的测量结果，支持单区域或双区域显示。此外，单区域显示支持数字、条形图显示，双区域显示支持所有测量参数显示，可以在[DISPLAY]中的<Display Mode>选项中设置。

屏幕的右边区域用于测量控制条件的选择与修改。

3.1.2 软键

显示屏的右边有 5 个软键。软键根据不同的当前目录有着不同的功能。总体来说，软键有着两个主要功能，一是在不同的设置选项进行选择，二是高亮某些参数，然后使用旋钮或键盘进行输入。不管哪种功能，软键只对屏幕右方与软键相邻的参数起作用。

3.1.3 旋钮

旋钮可以调整那些被软键高亮的参数。大部分的参数均可以使用旋钮进行调整。沿顺时针方向旋转是增大参数，沿逆时针方向旋转是减小参数。

3.1.4 键盘

键盘由 3 组键组成。ENTRY 区域主要对被软键高亮的参数进行数据形式的输入。MENU 区域改变屏幕右方的参数列表，并提供 10 个不同的功能菜单。ARROW 区域提供某些高亮参数的选择，如 Sensitivity 范围设置，频率对单一个位进行修改等。

3.1.5 BNC 连接器

8 个 BNC 连接器，从左往右分别是 SINE OUT 1, SINE OUT 2, REF IN 1, REF IN 2, SIGNAL IN 1 -V, SIGNAL IN 1 +V, SIGNAL IN 2 -V, SIGNAL IN 2 +V。

SINE OUT

信号发生器提供最大 1.5 Vpp 的幅值可编程正弦波输出，输出阻抗为 50 Ω。当外部参考信号使用时，信号发生器通过锁相环与参考信号进行锁相。

REF IN

参考信号输入可以使用正弦波或 TTL 方波驱动。正弦波输入可使用交流或直流耦合，方波使用直流耦合。推荐使用正弦波信号作为参考信号，可获得最低的噪声水平。

SIGNAL IN

信号输入可以是单端输入 A，也可以是差分输入 A-B。当测量电压信号时，A、B 两个接口输入阻抗均为 50 Ω 或 10 MΩ||15 pF。

3.2 后面板

OE2052 后面板包括散热风扇，电源接口，电源开关，USB2.0 接口，RS-232 母接口，以太网接口，Digital-IO 接口以及扩展功能接口。其中，扩展功能接口包括 AUX IN、AUX OUT、CLK IN、CLK OUT、SYNC IN、SYNC OUT。

3.2.1 电源接口

电源接口用于整台仪器供电输入，接受 220 V、50 Hz 交流市电，内置保险丝，同时兼备滤除高频噪声干扰的滤波器功能。

3.2.2 USB2.0

USB2.0 高速接口允许 OE2052 锁相放大器与 PC 机进行通信。可以通过 PC 机对 OE2052 进行控制和读取数据。

3.2.3 RS232

RS232 接口是标准的 9 针 RS-232 母接口，可允许仪器与其他上位机进行通讯。

3.2.4 以太网接口

以太网接口通讯数据高达 1000Mbps，可跟 PC 机进行快速通讯。

3.2.5 AUX IN

四路辅助 AUX-ADC 输入，输入范围±10 V，最小分辨率为 1mV。

3.2.6 AUX OUT

四路辅助 AUX-DAC 输出，输出范围±10 V，最小分辨率为 1mV。

3.2.7 CLK IN & CLK OUT

CLK IN 是外部时钟输入接口，只能接收 10 MHz、3.3V 电平时钟信号输入，用于与外部仪器同步时钟使用。CLK OUT 提供 10 MHz 时钟输出接口，工作电平为 3.3V。

3.2.8 SYNC IN & SYNC OUT

同步输入与输出接口用于多台 OE2052 之间的同步。

3.3 主界面

3.3.1 状态栏

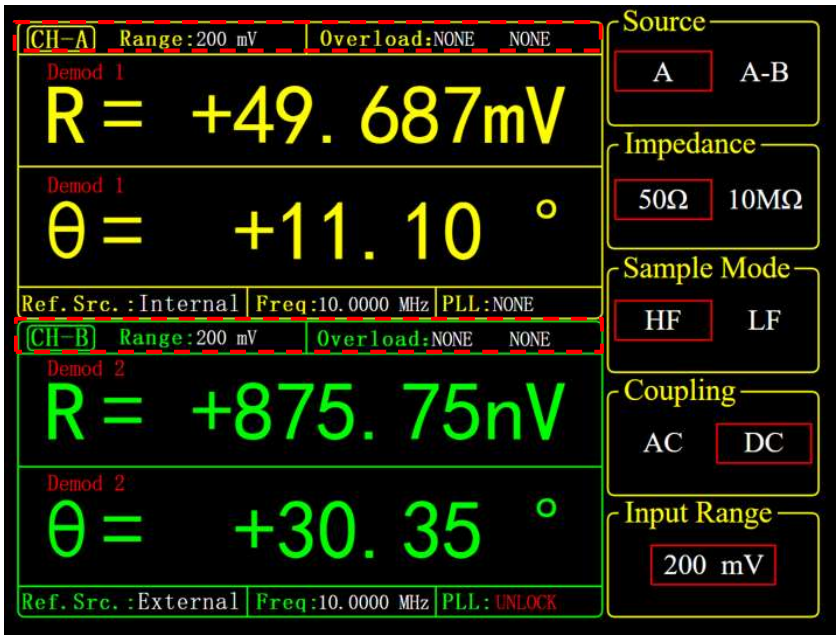

图8. 主界面-信号输入通道状态栏

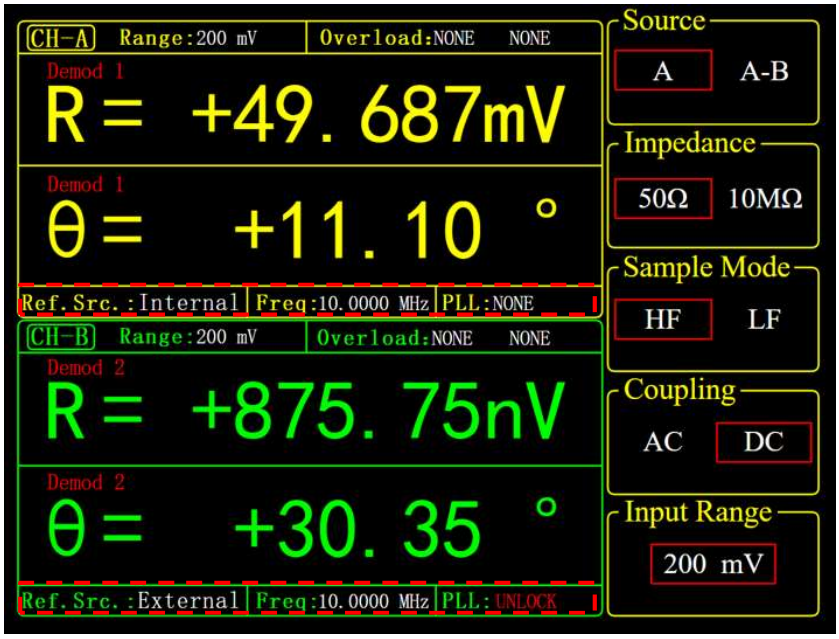

图9. 主界面-解调器频率源状态栏

如图 8、图 9 所示，状态栏用于指示当前系统的设置情况和测量的数值。

信号输入通道状态栏上下两栏指示 Signal In 1 / 2 的设置，包括：

<Range> ：信号输入档位

<Overload>：指示是否存在 Overload 情况。能够提示前级输入和放大是否溢出。若未

发生溢出，则显示：Overload: NONE NONE；若前级输入溢出，则显示 Overload: INPUT NONE；若放大溢出，则显示 Overload: NONE GAIN；若同时溢出，则显示 Overload: INPUT GAIN。无论哪种溢出，需尽快把输入信号和增益减小以防止对机器造成过压损伤。解调器频率源状态栏上下两栏指示**当前数据栏解调器的对应频率源**设置，包括：

<Ref.Src> ：对应频率源的参考模式。显示选用的是内部参考还是外部参考。

<Freq> ：对应频率源的频率值。

<PLL> ：指示对应频率源的 PLL 是否锁定。当锁相环已经锁定时，则会显示 PLL: LOCKED；当没有参考信号，或者锁相环未锁定时，则显示 PLL: UNLOCK；当使用内部参考时，则会一直显示 PLL: NONE。

3.3.2 数据栏

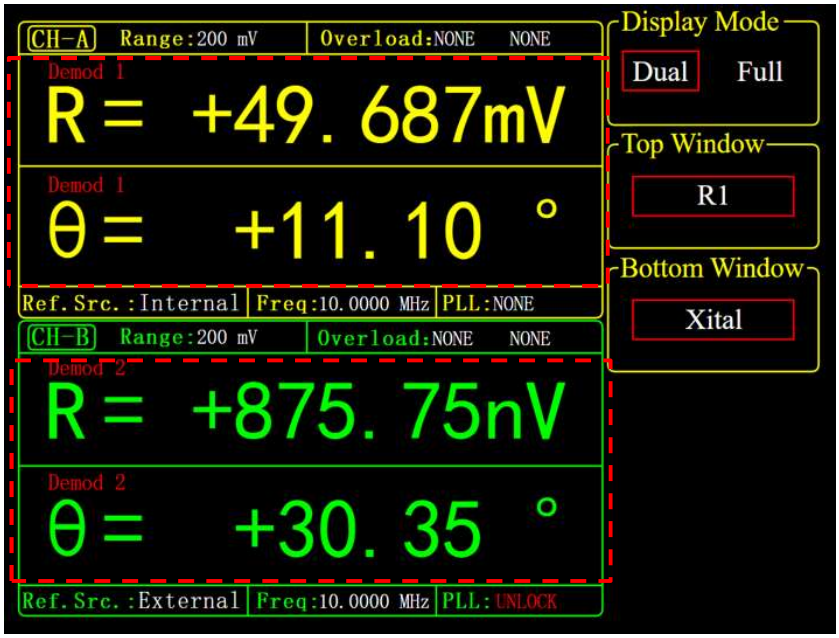

图10. 主界面-数据栏

如图 10 所示，可在[DISPLAY]子菜单中选择显示<X>、<Y>、<R>、<θ>值，显示方式可选择数字图、全数据显示图。设置方式详见[DISPLAY]子菜单。

3.3.3 功能栏

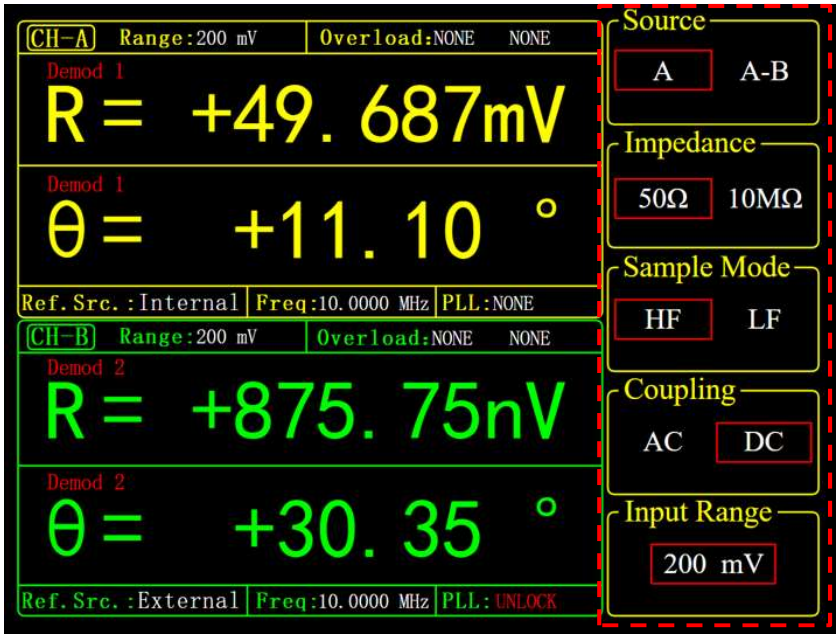

图11. 主界面-功能栏

如图 11 所示，功能设置框内有多种功能选择，与前面板的 5 个软键一一对应，在不同的子菜单中有不同作用，是控制系统的主要方式。

4. 菜单

OE2052 主菜单位于前面板控制部分的 MENU。MENU 主菜单共分为：[SIGNAL INPUT]、[OSC REF]、[DEMOD FILTER]、[DEMOD REF]、[DISPLAY]、[SIGNAL OUT]、[AUTO SET]、[CHANNEL OUTPUT]、[SYSTEM]九个子菜单，通过按每个按钮可切换到相应的子菜单界面。

状态栏和数据栏都分为上下两个区域，默认分别是黄色和绿色，通过[CHANNEL SWITCH]按键可以切换当前菜单为哪一区域的配置。

4.1 [SIGNAL INPUT]子菜单

在前面板菜单栏中选择[SIGNAL INPUT]进入。如图 12 所示：

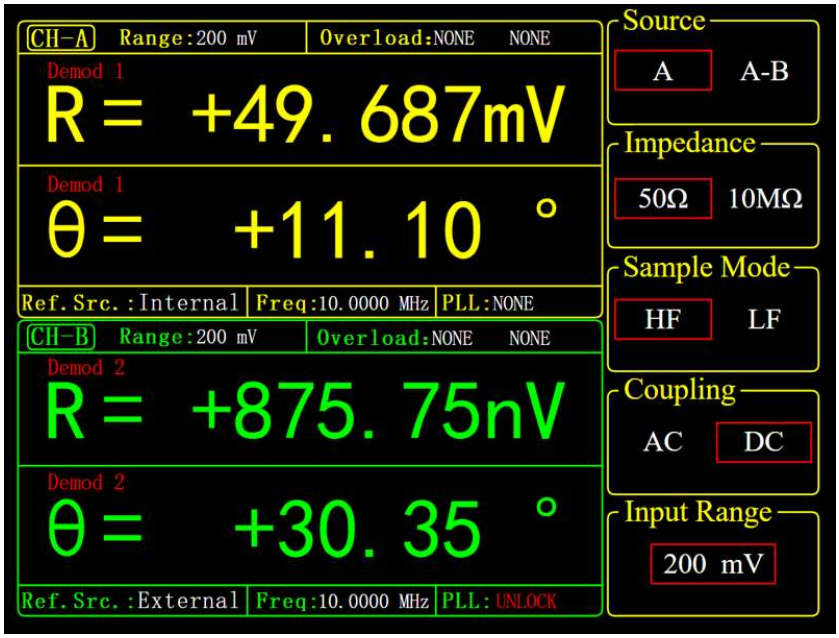

图12. [SIGNAL INPUT]子菜单

此子菜单中包括<Source>、<Impedance>、<Sample Mode>、< Coupling >、<Input Range>五种功能设置。

4.1.1 <Source>：输入模式设置

<A> ：单端电压信号输入模式。

<A-B> ：差分电压信号输入模式。选择此模式时，将双信号的一端由接口 A 输入，另一端由接口 B 输入。

☆当使用电压模式时，输入最大不能超过 1 Vrms。

4.1.2 <Impedance>：输入阻抗设置

<50 Ω> ：输入阻抗设置为 50Ω。

<10 MΩ>：输入阻抗设置为 10MΩ。

☆频率较高时（>1MHz），建议使用 50Ω输入阻抗设置。

4.1.3 <Sample Mode>：采样模式设置

<HF> ：默认使用 1GSPS 16bit ADC 采样，使用低噪声高频模拟链路。

<LF> ：使用 244kSPS 24bit ADC 采样，同时切换到低频模拟链路。

OE2052 针对高频信号设计的低噪声模拟链路，等效输入噪声的 1/f 拐点在 100kHz 左右，如果需要测试低频信号切换采样模式切换至 LF 会对噪声有所改善。

4.1.4 <Coupling>：耦合设置

<AC> ：交流耦合输入。交流耦合输入用于阻隔输入信号中的直流成分，如果信号频率在 10 Hz 以上建议使用<AC>交流耦合。

<DC> ：直流耦合输入。直流耦合不阻隔任何输入信号，如果信号频率低于 10 Hz 时建议使用<DC>直流耦合。但要注意输入信号的偏置量而导致的信号溢出。

☆需要注意的是 AC 耦合下，输入信号带宽下限与输入阻抗有关。选择 50Ω输入阻抗，下限频率在 31.8kHz；选择 10MΩ输入阻抗，下限频率在 0.16Hz。

4.1.5 <Input Range>：输入电压量程设置

<1.3 V>：允许输入信号的最大电压有效值为 1.3Vrms。

<200mV>：允许输入信号的最大电压有效值为 200mVrms。

<50mV>：允许输入信号的最大电压有效值为 50mVrms。

<10mV>：允许输入信号的最大电压有效值为 10mVrms。

<2mV>：允许输入信号的最大电压有效值为 2mVrms。

<500μV>：允许输入信号的最大电压有效值为 500μVrms。

<100μV>：允许输入信号的最大电压有效值为 100μVrms。

对于一般情况下的测量时，增益选择以监控栏里没有 overload 溢出为基准。在不溢出的前提下，选择更贴近信号的量程，可以提高测量结果稳定度和精度。

当使用自动设置增益功能<Auto Range>时，系统会根据输入信号的 R 值自动调整测量所需要的最合适的输入量程，以保证测量精度。

4.2 [OSC REF]子菜单

在前面板的菜单栏选择[OSC REF]子菜单进入，选择不同的参考信号模式会有不同的界面，如图 13、图 14 所示：

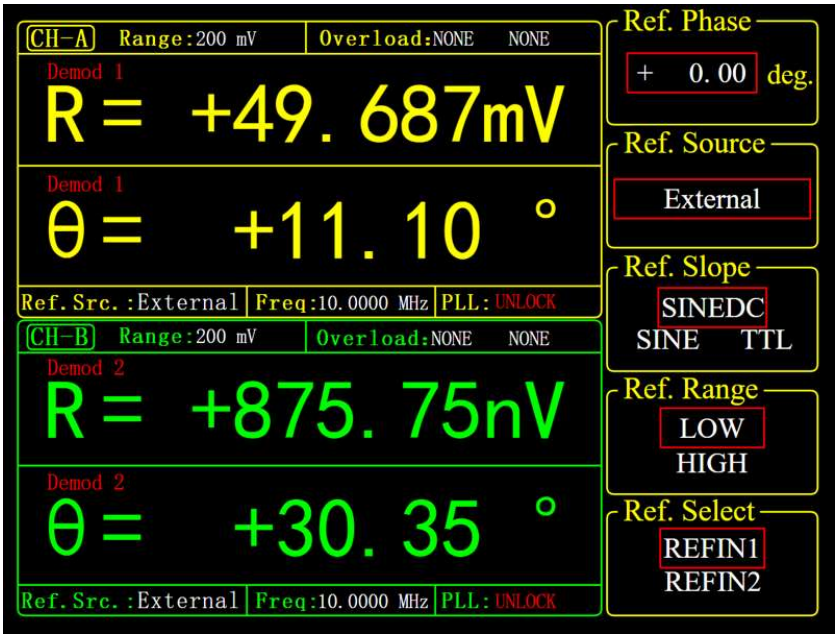

图13. [OSC REF]子菜单-<External>

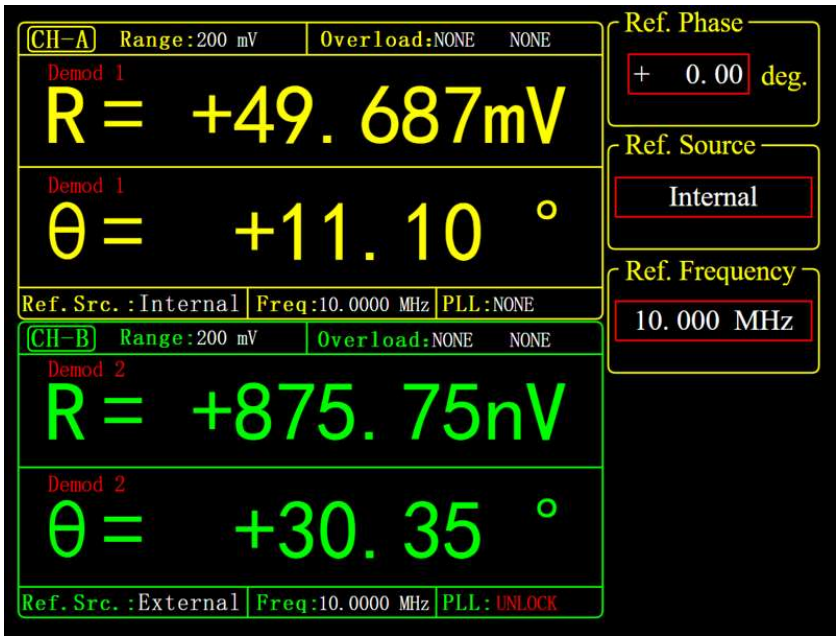

图14. [OSC REF]子菜单-<Internal>

此子菜单中包括<Ref.Phase>、<Ref.Source>、<Ref.Frequency>、<Ref.Slope>、<Ref.Range>、<Ref.Select>六种功能设置。

4.2.1 <Ref.Phase>: 参考相位设置

通过数字键盘输入可设置 PSD 算法两路正交参考信号的相移角度,移相精度为 0.001°，输入范围为 -180° 至 +180° 。

对于相位，必须有一个基准或者参考才有意义，系统中，我们默认以输入参考信号 REF IN 经过高精度锁相环锁定相位后的信号为相位基准，其余相位值都是相对于此而言的。

4.2.2 <Ref.Source>：参考信号源设置

<External> ：外部参考信号。OE2052 将与 REF-IN BNC 输入的参考信号进行锁相。此时的界面如图 13 所示，进一步可对<Ref.Slope>、<Ref.Range>、<Ref.Select>进行设置。

<Internal> ：内部参考信号。此设置下参考信号将根据内部信号发生器产生的信号作为参考信号。REF-IN BNC 输入信号将不起作用。此时的界面如图 14 所示，可以对<Ref.Frequency>进行设置。

4.2.3 <Ref.Frequency>：内部参考信号频率设置

当<Ref.Source>选择<Internal>时可以进行此项设置，频率范围为 1 μHz 到 400 MHz，默认 10.00 MHz，可以通过键盘输入，频率分辨率最小为 1 μHz。另外还可以在选中<Ref.Frequency>时，通过在[ARROW]区域的上下左右四个方向键或旋钮，单独改变其中一个位的数。如把 10.000 MHz 快速调整为 11.000 MHz，先选中<Ref.frequency>按键，然后通过[→]和[←]按键，把光标移动到百位的位置，再通过[↑]和[↓]按键把百位的数字改成 1，再按<Enter>按键确认，即可完成操作，如图 15 所示。

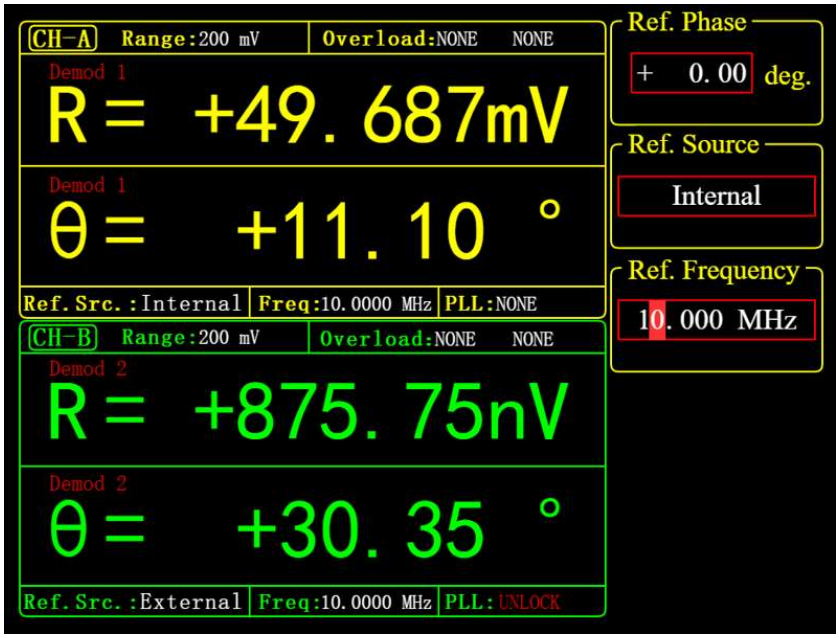

图15. 通过[ARROW]调整频率示意图

4.2.4 <Ref.Slope>：外部参考触发模式设置

当<Ref.Source>选择<External>时可进行此项设置，为 REF IN 1 / REF IN 2 选择输入参考信号的类型。通过前面板的<CHANNEL SWITCH>按键可以切换设置的外部参考信号通道，黄色是 REF IN1，绿色是 REF IN2。

<SINEDC>：外部信号为标准正弦波，使用正弦波过零检测后进行触发。

<SINE> ：外部信号为有偏正弦波，使用正弦波过零检测后进行触发。

<TTL> ：外部信号为方波，使用上升沿进行触发。

<Ref.Slope>需要配合<Ref.Range>和<Ref.Select>使用，典型的参考信号如下：

外部参考信号类型设置	**<SINEDC>**	<Sine>	<TTL>
典型输入波形	标准正弦波	带偏正弦波	方波
典型电压值 （信号源输出负载为 HiZ）	500mVpp + 0Vdc	500mVpp + xVdc (|x| < 4)	V_H = 3.3V V_L = 0V
典型电压值 （信号源输出负载为 50Ω）	250mVpp + 0Vdc	250mVpp + xVdc (|x| < 4)	V_H = 1.65V V_L = 0V
参考输入量程	LOW	LOW	HIGH

推荐优先使用<SINEDC>，外部信号发生器在输出负载为 50Ω的条件下设置为 250mVpp。

当输入参考信号为 TTL 逻辑电平时，建议选择 TTL 触发。应当注意，当输入 REF-IN 的参考信号虽然是方波，但电平值不满足 TTL 逻辑高低电平阈值条件时，可能得不到稳定的触发，此时可能得不到预期的测量结果，故此时推荐选用 SINE 触发。

当输入 REF-IN 的参考信号为正弦信号时，建议选用该 SINE 触发。SINE 触发是在系统内部对 REF IN 输入进行精密整形后再检测频率、相位信息。

另外，无论是<TTL>触发还是<SINE>触发，系统对其信号占空比（Duty Cycle）没有要求，但推荐使用常规 50%占空比为宜。

4.2.5 <Ref.Range>：外部参考信号量程设置

当<Ref.Source>选择<External>时可进行此项设置，为 REF IN 1 / REF IN 2 选择输入参考信号的量程。通过前面板的<CHANNEL SWITCH>按键可以切换设置的外部参考信号通道，黄色是 REF IN 1，绿色是 REF IN 2。

<LOW> ：外部信号为标准正弦波，使用正弦波过零检测后进行触发。

<HIGH> ：外部信号为有偏正弦波，使用正弦波过零检测后进行触发。

需要配合<Ref.Slope>进行使用，推荐参考信号电压值（信号源输出负载 HiZ）如下：

	<SINEDC>/<Sine>	<TTL>
<LOW>	500 mVpp	V_{IL} = 0 V, V_{IH} = 0.33 V
<HIGH>	5 Vpp	V_{IL} = 0 V, V_{IH} = 3.3 V

正常工作参考信号电压范围（信号源输出负载 HiZ）如下：

	<SINEDC >/<Sine >	<TTL>
<LOW>	> 250 mVpp < 2.5 Vpp	0.25 V < V_{IH} < 2.5 V -0.1 V < V_{IL} < 0.1 V
<HIGH>	> 2.5 Vpp < 10 Vpp	2.5 V < V_{IH} < 5.0 V -0.5 V < V_{IL} < 0.5 V

注意即使在高电压挡位时，输入电压不应超过±5V，否则会损坏仪器。

4.2.6 <Ref.Select>：解调器的参考信号频率源设置

当<Ref.Source>选择<External>时可进行此项设置，为数据栏解调器的频率源。通过前面板<CHANNEL SWITCH>按键可以切换设置，黄色是数据栏上半部分，绿色是数据栏下半部分。

<REFIN1> ：解调器的参考信号频率源设置为 REF IN 1。

<REFIN2> ：解调器的参考信号频率源设置为 REF IN 2。

如下图 15 表示解调器 Demod1 的<Ref.Select>设置为<REFIN1>

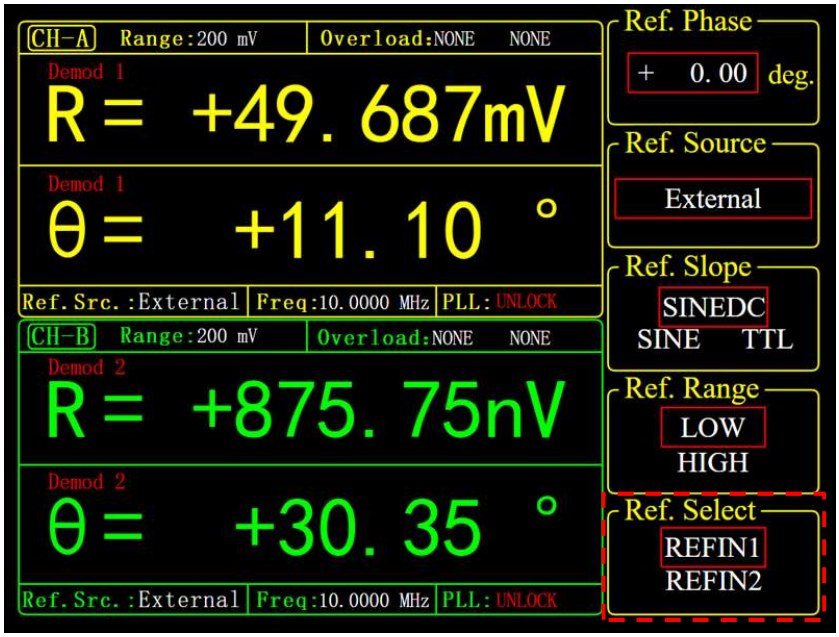

图16. 数据栏上半部分配置<Ref.Select>

图 15 表示解调器 Demod2 的<Ref.Source>设置为<REFIN2>。

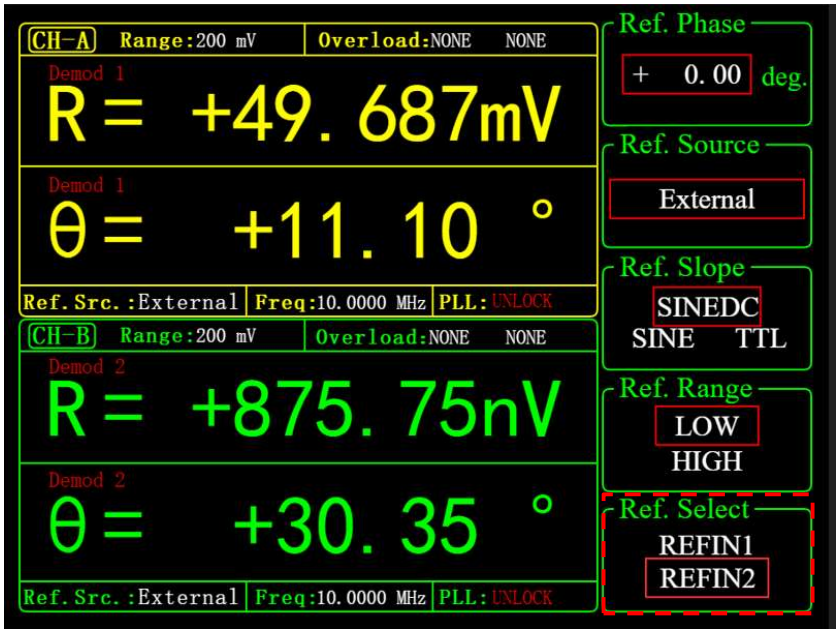

图17. 数据栏下半部分配置<Ref.Select>

4.3 [DEMOD FILTER]子菜单

在前面板的 MENU 菜单栏选择[DEMOD FILTER]子菜单进入，如图 18 所示：

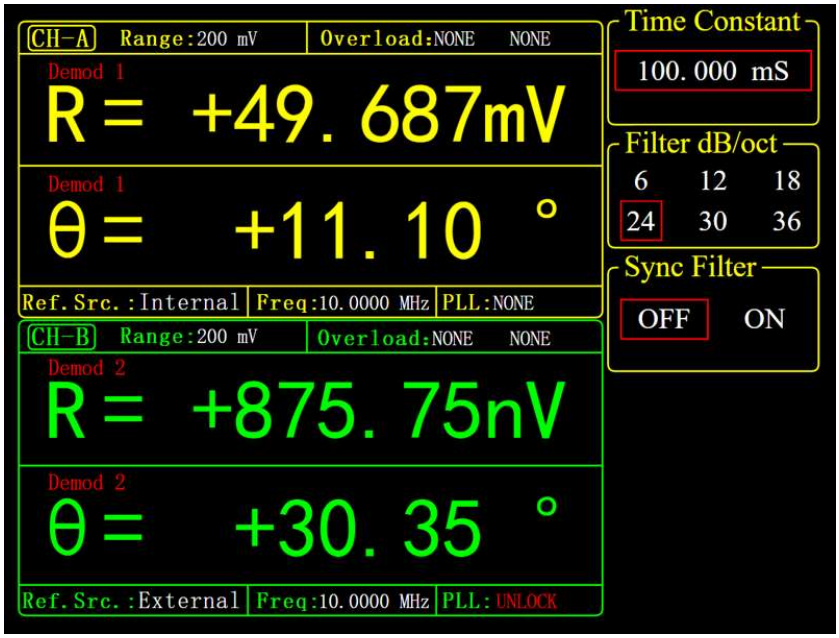

图18. [DEMOD FILTER]子菜单

此子菜单中包括<Time Constant>、<Filter dB/oct>、<Sync Filter>三种功能设置：

4.3.1 <Time Constant>：时间常数设置

时间常数设置范围为 100ns 到 100s，通过重复按按键或旋钮调节数值。时间常数越长，

等效噪声带宽越小，系统测量响应的时间越长，测量的精度也越高。

4.3.2 <Filter dB/oct>：低通滤波器陡降设置

<6 dB/oct> ：一阶低通滤波器，陡降 6 dB/oct。
<12 dB/oct>：二阶低通滤波器，陡降 12 dB/oct。
<18 dB/oct>：三阶低通滤波器，陡降 18 dB/oct。
<24 dB/oct>：四阶低通滤波器，陡降 24 dB/oct。
<30 dB/oct>：五阶低通滤波器，陡降 30 dB/oct。
<36 dB/oct>：六阶低通滤波器，陡降 36 dB/oct。

在同样的测量准确度下,使用更高的滤波器陡降可以降低时间常数,使得测量响应更快。具体的时间常数和滤波器陡降搭配，必须根据实际情况来选择，一个判定的准则是只要对测量结果的稳定度满意,此时的时间常数和滤波器陡降就不需要设置太大,以免等待时间过长。当然，若想结果更加平稳，可以适当增大时间常数和滤波器陡降。

4.3.3 <Synchronous>：同步滤波器设置

当信号频率低于 1000 Hz 时可以开启同步滤波器。低通滤波器在输入信号频率较低时无法或需长时间才能得到稳定的结果，此时可借助于此同步滤波器改善效果。

4.4 [DEMOD REF] 子菜单

在前面板的菜单栏选择[DEMOD REF]子菜单进入，如图 19 所示：

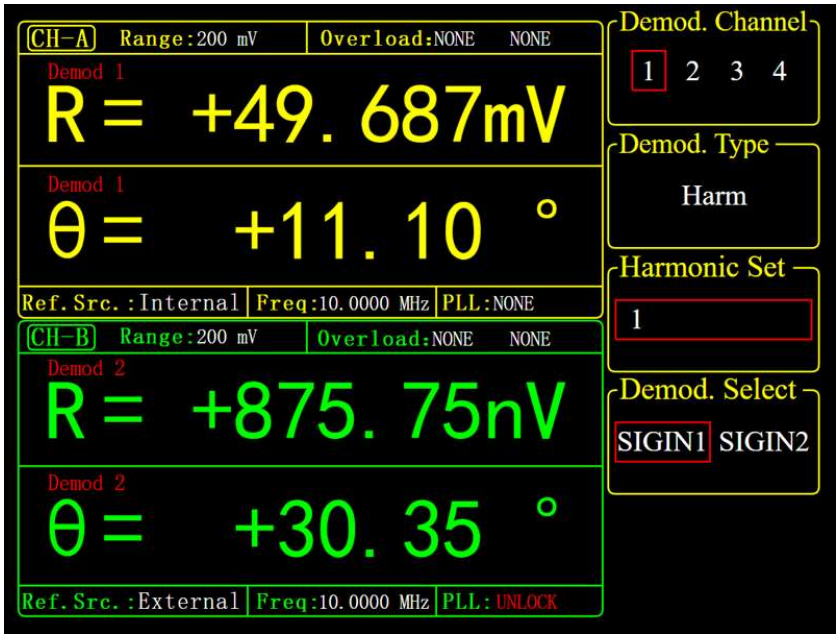

图19. [DEMOD REF]子菜单

[DEMOD REF]子菜单中包括<Demod.Channel>、<Demod.Type>、< Harmonic Set>、<Demod.Set>四种功能设置。

4.4.1 <Demod.Channel>：解调器选择设置

OE2052 具有四个解调器，在数据栏上设置<Demod.Channel>选择任一解调器显示。

4.4.2 <Demod.Type>：解调器类型设置

<Harm> ：设置当前解调器为谐波解调模式。

4.4.3 <Harmonic Set>：谐波解调阶数设置

谐波解调阶数的设置范围是 1~65535 的整数。通过数字键盘输入所需测量的谐波阶数，默认显示 1，表示检测 1 阶谐波（即基波）。<Harmonic Set>谐波阶数设置的限制是（Harmonic*Freq）≤400 MHz，其中 Freq 表示参考信号基频频率。

例如，输入信号是频率为 1kHz 的方波时，假定它的峰峰值为 A，设置<Harmonic Set>值分别为 1、2、3、4、5、6……时，将预期得到 R 值为 0.45A、0、0.15A、0、0.09A、0……，而这个序列正是方波信号傅立叶级数的系数序列的 A 倍。

4.4.4 <Demod.Set>：解调器输入信号设置

<SIGN1> ：解调器的输入信号频率源设置为 SIGNAL IN 1。

<SIGIN2>：解调器的输入信号频率源设置为 SIGNAL IN 2。

与<Ref.Select>解调器的参考信号频率源设置相配合，四个解调器同时分别以 REF IN 1、REF IN2 为参考信号，解调 SIGNAL IN 1、SIGNAL IN2 共四种解调组合。

4.5 [DISPLAY] 子菜单

在前面板的 MENU 菜单栏选择[DISPLAY]子菜单进入，如图 20 所示：

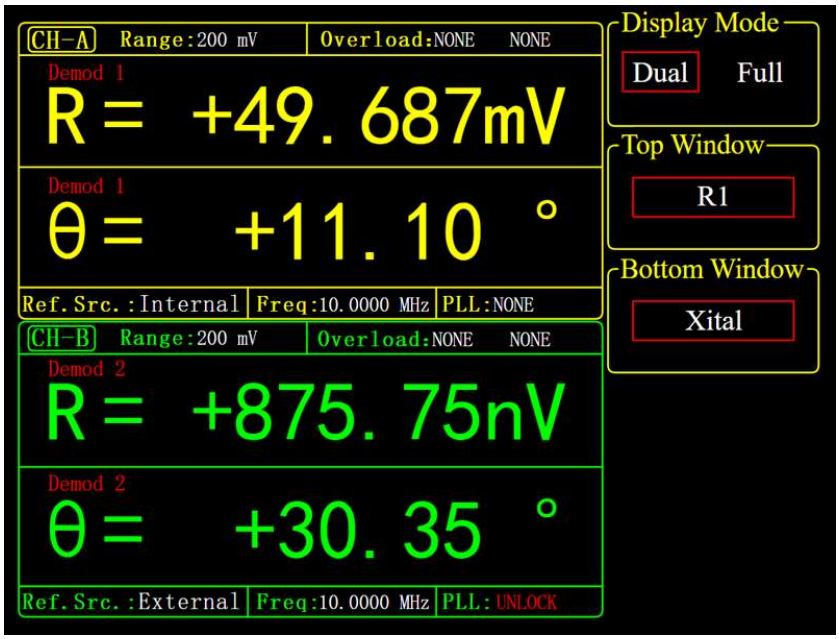

图20. [DISPLAY]子菜单

[DISPLAY]子菜单主要包括<Display Mode>、<Top Window>、<Bottom Window> 三种功能设置。

4.5.1 <Display Mode>：动态区域显示模式设置

<Display Mode>选项主要用于设置数据栏的显示类型，有两种类型：

<Dual> ：上下分栏显示模式。这个模式如图 20 所示。

<Full> ：所有测量数据在一个窗口内显示的模式。这个模式如图 21 所示。

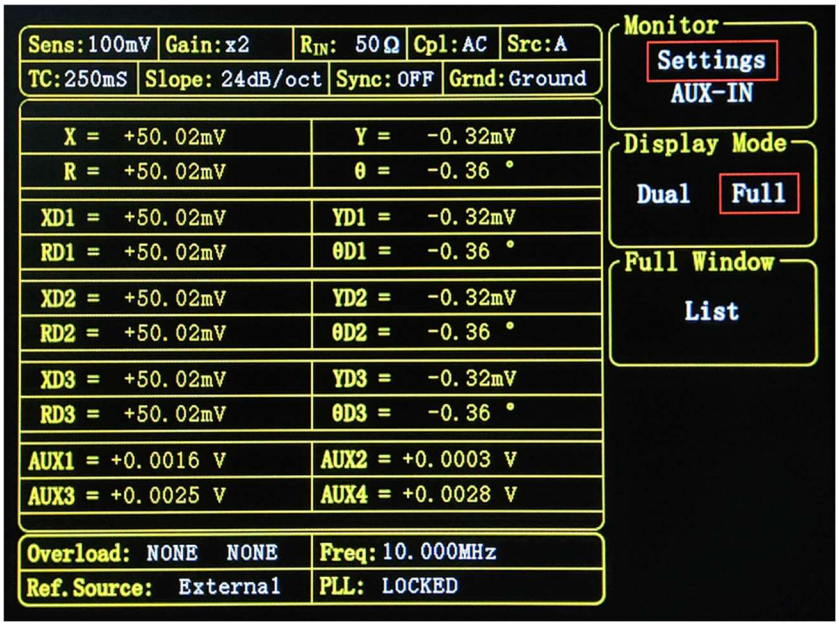

图21. <Full>显示模式

4.5.2 <Top Window>&<Bottom Window>：分栏窗口显示内容设置

在<Display Mode>设置为<Dual>时，此 2 个选项可以设置为以下参数：

<X> ：解调器的 X 值。

<Y> ：解调器的 Y 值。

<R> ：解调器的 R 值。

<θ> ：解调器的 θ 值。

上下两个显示窗口可以灵活选择要显示的内容，默认是显示<R>和<θ>值。

4.6 [SIGNAL OUTPUT] 子菜单

在前面板的 MENU 菜单栏选择[SIGNAL OUTPUT]子菜单进入，如图 22 所示：

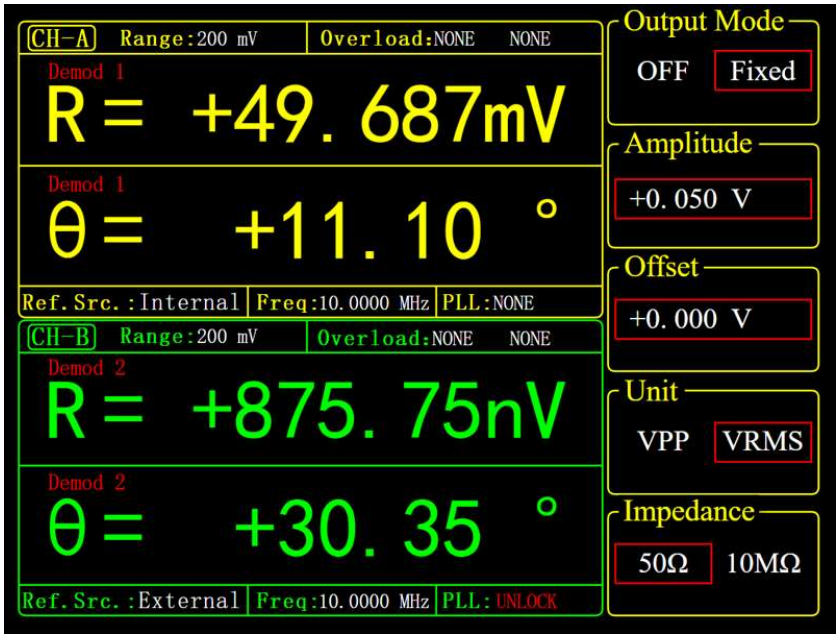

图22. [SIGNAL OUTPUT]子菜单

此子菜单中包括<Output Mode>、<Amplitude>、<Offset>、<Unit>、<Impedance>五种功能设置。

当使用<External>外部参考时，输出接口 SINE OUT 1 或 SINE OUT 2 提供一个与外部参考锁相的正弦信号;当使用<Internal>内部参考时,将由 OE2052 自身的振荡器产生信号，输出接口 SINE OUT 输出与内部同频的信号。

4.6.1 <Output Mode>：输出模式设置

<OFF> ：关闭 Sineout 输出，此模式 Sineout 恒定输出 0V。

<Fixed>：固定交流幅值输出模式。

在一些时候，在极其微弱的信号测量（如电阻热噪声测量）时，或仅使用单一通道测量像减少另一通道对其的干扰时，建议关闭 Sineout 输出，降低对系统内部同频干扰的影响。

4.6.2 <Amplitude>：输出幅值电压设置

输出负载<Impedance>为 50Ω时，可设置范围为 1μVpp 至 1.5Vpp。在超过 250MHz 高频信号下最大可设置幅值会减小，具体查看技术参数章节。SINE OUT 输出信号的实际幅值大小与<Unit>和<Impedance>有关，比如<Amplitude>=0.2 V，<Unit>=VRMS，<Impedance>=50Ω与<Amplitude>=1.131 V，<Unit>=VPP，<Impedance>=10MΩ输出信号大小相同。

4.6.3 <Offset>：输出偏置电压设置

输出负载<Impedance>为 50Ω时，可设置范围为-1.5Vdc 至 1.5Vdc，设置 0V 关闭偏置

电压叠加功能。开启电压偏置功能时，输出噪声会略微增加，和幅值相加的总输出范围不能超过±3.8V(<Impedance>=10MΩ)。

4.6.4 <Unit>：输出幅值单位设置

<VPP> ：设置幅值单位为峰峰值。
<VRMS> ：设置幅值单位为有效值。
锁相放大器仪器处理交流信号，默认使用有效值进行显示和计算。

4.6.5 <Impedance>：输出负载设置

<50 Ω>：表示输出负载是 50Ω。
<10 MΩ>：表示输出负载是 10MΩ。
输出负载指的是仪器外部的负载大小，而不是锁相放大器内部的设置。锁相放大器的 SINE OUT 输出串联电阻固定是 50Ω，对于高阻负载而言信号源输出的所有电压几乎都在负载上，而 50Ω 负载时仅有一半电压加在负载上。

4.7 [AUTO SET] 子菜单

在前面板的 MENU 菜单栏选择[AUTO SET]子菜单进入，如图 23 所示：

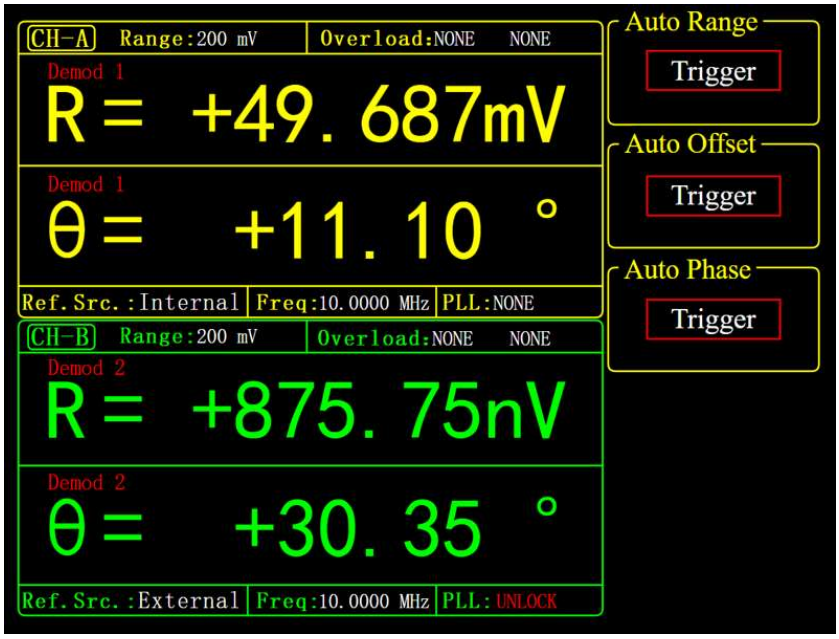

图23. [AUTO SET]子菜单

此子菜单中包括<Auto Range>、<Auto Offset>、<Auto Phase>三种功能设置。

4.7.1 <Auto Range>：自动设置输入电压量程功能

当按下<Auto Range>按钮时，系统会根据当前的信号的幅值自动改变<Input Range>设置，其原则就是在仪器本身不溢出的情况下，选择最大的输入模拟增益。OE2052 的<Auto Range>功能需一定响应时间（一般小于 10 秒），若当前 R 值波动较大时，或时间常数大于 1s

时，<Auto Range>设置有可能不成功。此时请切换至[SIGNAL INPUT]子菜单进行手动设置。

4.7.2 <Auto Offset>：自动调整输入通道偏置电压功能

当按下<Auto Offset>按钮时，系统会根据当前的信号的最大最小值而调整仪器内部的偏置，使得测量信号偏置尽可能接近零，以获得最合适的<Input Range>设置，需要一定的响应时间（一般小于 10 秒）。

建议在信号较为稳定的条件下使用，否则<Auto Offset>调整失败导致较大的偏置值，若偏离太多则需要在 SIGNAL IN 输入短接 50Ω电阻或使用 SINE OUT 自测再次进行<Auto Offset>调整。

4.7.3 <Auto Phase>：自动移相功能

当按下<Auto Phase>按钮时，OE2052 会复制解调器当前的 θ 测量值至解调器的<Phase>相位偏移设置，使得 θ 测量值在 0° 附近。如果当前的 θ 值波动较大时，<Auto Phase>功能设置后也会有一定的相位偏置。

4.8 [CHANNEL OUTPUT]子菜单

在前面板的 MENU 菜单栏选择[CHANNEL OUTPUT]子菜单进入，如图 24 所示：

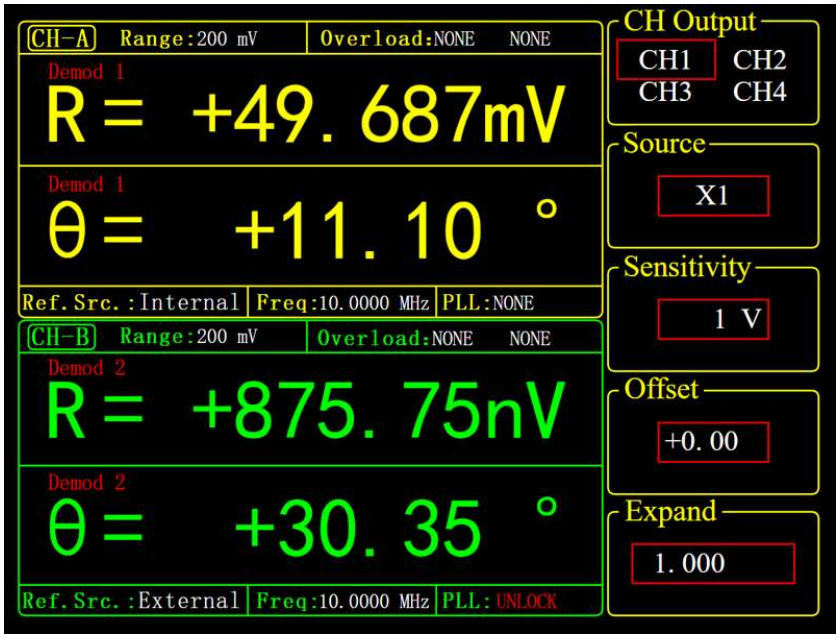

图24. [CHANNEL OUTPUT]子菜单

[CHANNEL OUTPUT]子菜单控制后面板上 AUXOUT / CHOUT 的四个 BNC 通道，可输出用户需要的任意值、R、X、Y 和 θ 值等，以及通过<Offset&Expand>设置输出的偏置与放大倍数。

输出信号的计算公式如下：

1、 当选择信号为<R1>，<X1>，<Y1>，<R2>，<X2>，<Y2>，<R3>，<X3>，<Y3>，<R4>，<X4>，<Y4>时：

$$输出 = \left(\frac{Signal(选择信号)}{Sens} + Offset\right) \times Expand \times 10V$$

2、 当选择信号为<θ1>，<θ2>，<θ3>，<θ4>时：

$$输出 = \left(\frac{\theta}{180°} + Offset\right) \times Expand \times 10\,V$$

3、 除了上面两种情况，还有下面选项：

a） AUXOUT ：按照用户设定的电压值输出。

b） ADC1~ADC4 ：输出等于 AUX-IN 的输入电压。

c） 频率Freq ：

$$输出 = \left(\frac{Freq}{1GHz} + Offset\right) \times Expand \times 10\,V$$

注意<Offset>设置值在 LCD 上单位为%。

4.8.1 <CH Output>：CH 通道选择设置

分别选择 CH1 到 CH4 的通道配置，每个通道可以单独选择一个输出源。

4.8.2 <Source>：通道的输出源设置

<AUXOUT> ：通道输出设定的电平。每个 CH 通道都有独立的<AUXOUT>参数。
<X1> ：通道输出解调器 1 X 值对应的模拟电平。
<Y1> ：通道输出解调器 1 Y 值对应的模拟电平。
<R1> ：通道输出解调器 1 R 值对应的模拟电平。
<θ1> ：通道输出解调器 1 θ 值对应的模拟电平。
<X2> ：通道输出解调器 2 X 值对应的模拟电平。
<Y2> ：通道输出解调器 2 Y 值对应的模拟电平。
<R2> ：通道输出解调器 2 R 值对应的模拟电平。
<θ2> ：通道输出解调器 2 θ 值对应的模拟电平。
<Freq1> ：通道输出 PLL1 Freq 值对应的模拟电平。
<Freq2> ：通道输出 PLL2 Freq 值对应的模拟电平。
<AUXIN1> ：通道输出 AUX-IN1 接口对应的电平。
<AUXIN2> ：通道输出 AUX-IN2 接口对应的电平。
<AUXIN3> ：通道输出 AUX-IN3 接口对应的电平。
<AUXIN4> ：通道输出 AUX-IN4 接口对应的电平。
<X3> ：通道输出解调器 3 X 值对应的模拟电平。
<Y3> ：通道输出解调器 3 Y 值对应的模拟电平。
<R3> ：通道输出解调器 3 R 值对应的模拟电平。
<θ3> ：通道输出解调器 3 θ 值对应的模拟电平。
<X4> ：通道输出解调器 4 X 值对应的模拟电平。
<Y4> ：通道输出解调器 4 Y 值对应的模拟电平。
<R4> ：通道输出解调器 4 R 值对应的模拟电平。
<θ4> ：通道输出解调器 4 θ 值对应的模拟电平。

4.8.3 <Sensitivity & Offset & Expand>：偏置与放大设置

选择<AUXOUT>以外的其它源时，如<X>，<Y>，<R>等，会出现<Offset>、<Expand>的选项菜单，界面如图 24 所示。

<Sensitivity>灵敏度设置：

可设置范围为 1nV ～1V，可对<X>，<Y>，<R>信号进行缩放。

<Offset>偏置设置：

通过数字键盘输入，可调范围是-100% ～ +100%，其中最小步进为 0.01%，默认 0.00%。

<Expand>放大设置：

通过数字键盘输入，可调范围是 1~256，默认值为 1。但 Expand 的设置使得计算超出了±10V 的时候，输出值将会维持在±10V。

☆每一个 CH 通道有一个独立的偏置值和放大值。假如设置了 CH1 的<Offset>是 50%和<Expand>是 3，那只有 CH1 通道输出会受影响，CH2、CH3、CH4 的输出不变。

4.9 [SYSTEM]子菜单

[SYSTEM]子菜单包括 OE2052 中的系统信息与系统设置。如仪器信息，屏幕亮度，通讯设置等。如图 25 所示：

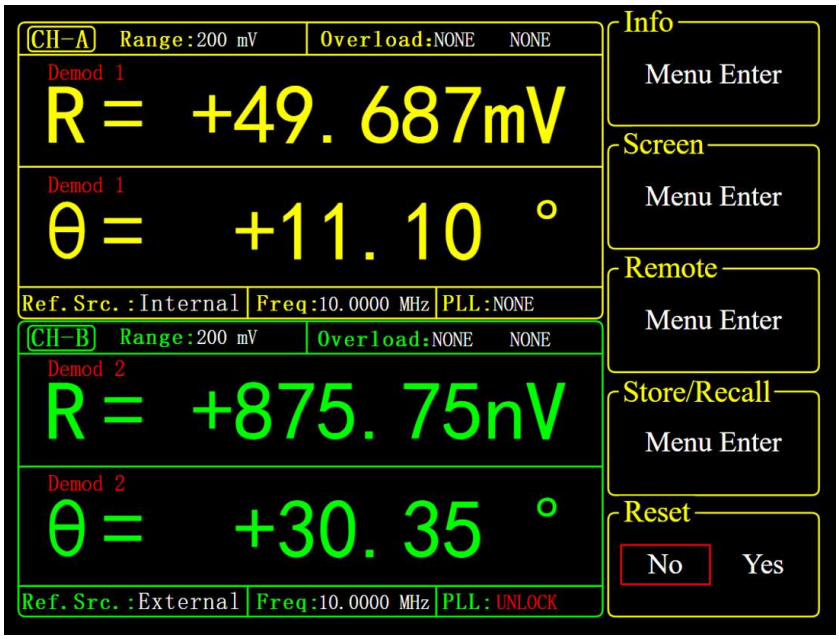

图25. [SYSTEM]子菜单

4.9.1 <Info>系统信息

选择<Info>二级子菜单进入，界面显示研发单位信息，售后联系方式，产品序列号，版本号等信息，如图 25 所示。其中序列号应与后面板的出厂标签上一致。

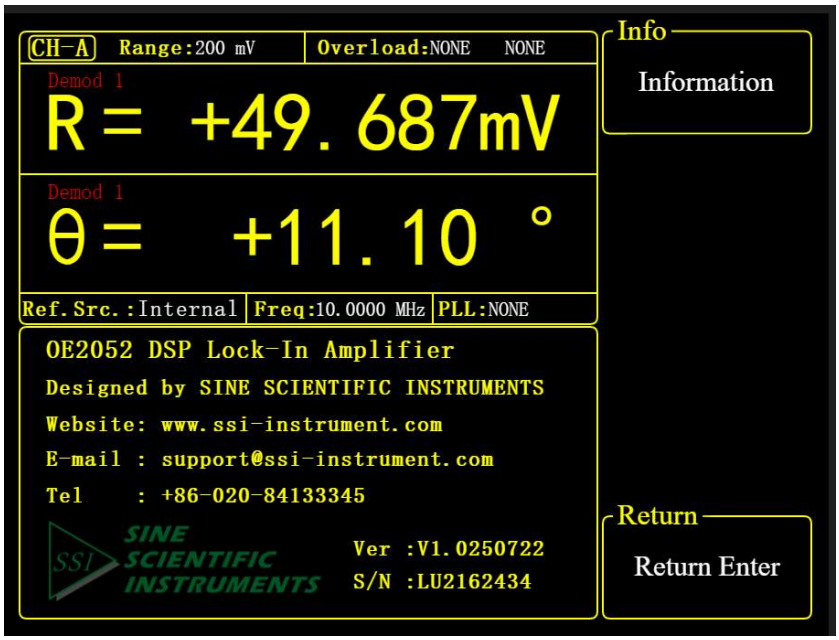

图26. <INFO>-研发单位

4.9.2 <Screen>屏幕设置

选择<Screen>子菜单进入，此子菜单中包括<Window Color>和<Backlight>两种功能设置，如图 27 所示：

图27. <Screen>子菜单-<Yellow>风格

图28. <Screen>子菜单-<Green>风格

<Window Color>：界面色调设置

<Yellow> ：界面主色调为黄色风格，如图 27 所示。

<Green> ：界面主色调为绿色风格，如图 28 所示。

<Backlight> ：背光亮度设置

通过旋钮调节，亮度等级可从<Level1>调节至<Level8>，对应亮度从低到高，默认为<Level8>。

4.9.3 <Remote>远程配置

选择<Remote>二级子菜单进入，如图 25 所示。

OE2052 有三种远程通讯接口，RS232 串口、USB2.0 高速接口、Ethernet 以太网接口，但同时只能用一种通讯接口，根据<Remote Mode>选中的接口来决定。

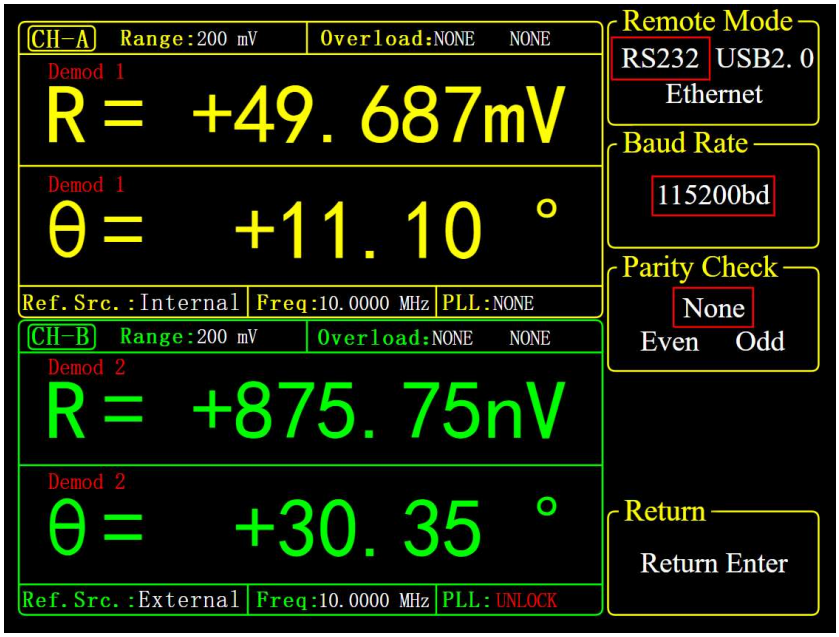

图29. <Remote>子菜单-<RS232>选项

4.9.3.1 <Remote Mode>：远程接口选择

<RS232> ：RS232 串行通讯接口，为 DB9 母接口。配置界面如图 29 所示。

<USB2.0> ：USB2.0 高速通讯接口。配置界面如图 30 所示。

<Ethernet> ：1000Mbps 以太网接口。其中端口号为 10001，假设 OE2052 获取到的网络 IP 地址为 192.168.1.10，则电脑端连接 OE2052 的 IP 地址为 192.168.1.10:10001。配置界面图 31 如所示。

选中其中一种远程通讯接口，则 OE2052 只能以该接口进行通讯，并且会显示当前接口的配置菜单。

出厂配套 PC 端远程控制软件是以 USB2.0 为基础的。

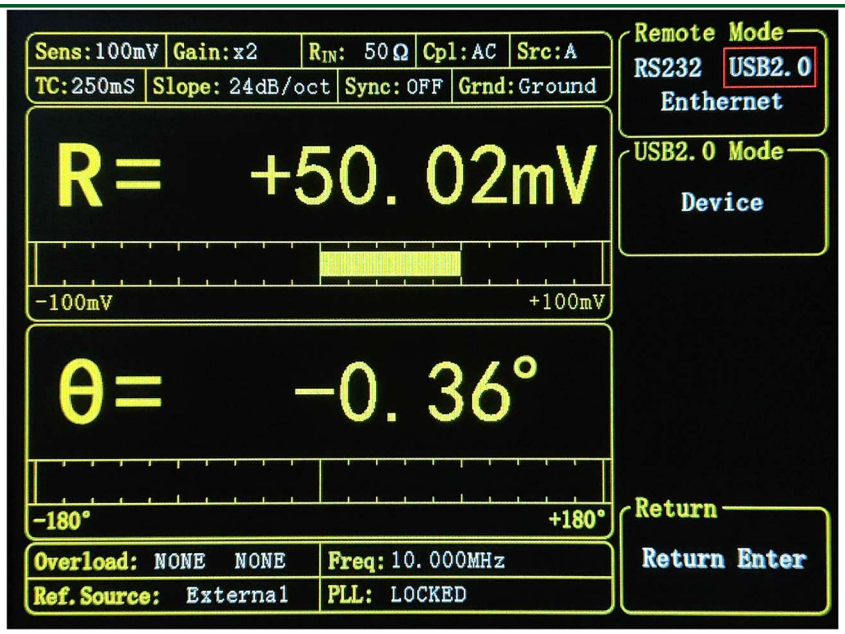

图30. <Remote>子菜单-<USB2.0>选项

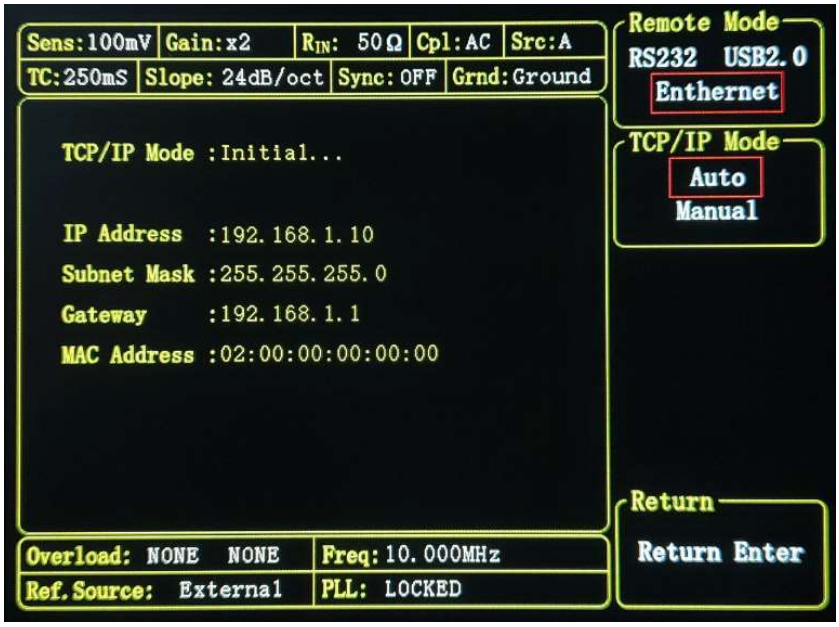

图31. <Remote>子菜单-<Ethernet>选项

4.9.3.2 <Baud Rate>：波特率设置

在<RS232>模式下此选项可见。通过重复按对应软键或旋钮调节波特率，数值可设置为：<600>、<1200>、<2400>、<4800>、<9600>、<19200>、<38000>、<43000>、<56000>、<57600>、<115200>、<230400>、<460800>、<921600>。默认为<921600>。

4.9.3.3 <Parity Check>：奇偶校验设置

在<RS232>模式下此选项可见。

<Even> ：偶校验

<ODD> ：奇校验

<NONE> ：无校验

4.9.3.4 <TCP/IP Mode>：以太网 TCP/IP 模式设置

在<Ethernet>模式下此选项可见。一般情况下，接上网线后，用<Auto>模式就可以自动连接上局域网。

<Auto> ：自动配置 TCP/IP 协议。

<Manual>：手动配置 TCP/IP 协议。

<Auto>模式时，先如图 31 所示进行初始化。当检测到网络接入后，跳转至图 32 状态“Connecting…”，表示正在连接当前网络。当连接网络成功时，如图 33 所示，显示当前所在网络的本机 IP 地址、子网掩码、网关和本机 mac 地址。<Manual>模式时，可手动配置 TCP/IP 协议的 IP 地址、子网掩码和网关，如图 34 所示。在<IP Select>窗口选中要修改的 IP、subnet、Gateway，按下<Excute>按键，可在数字键盘区域输入要配置的参数，如图 35 所示，最后按<ENTER>确认。当配置完成后，可在局域网内对 OE2052 进行配置和读取数据。

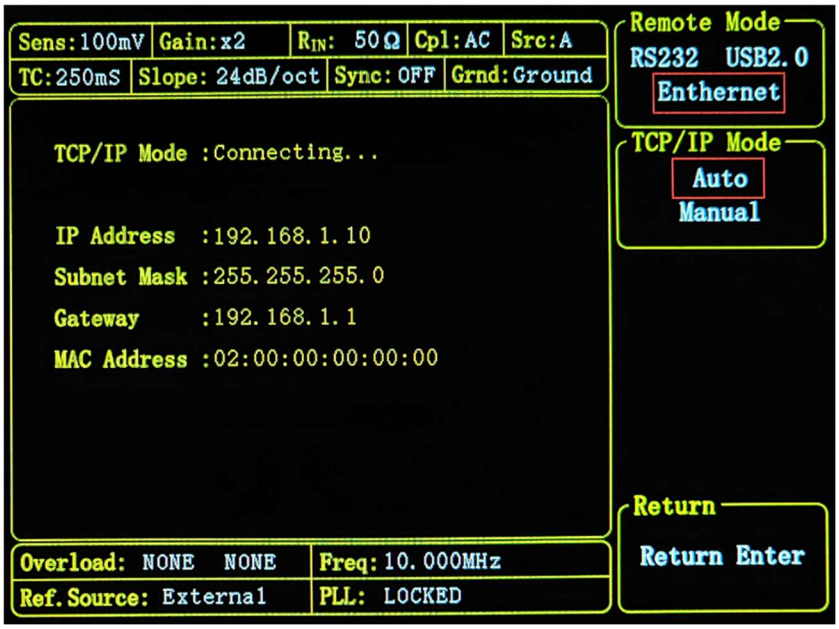

图32. <Auto>模式——Connecting

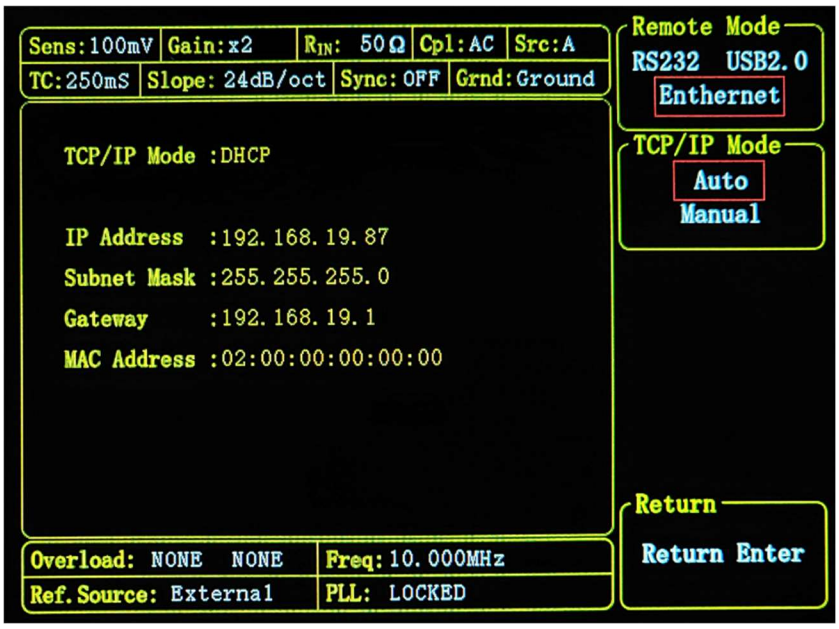

图33. <Auto>模式——连接成功

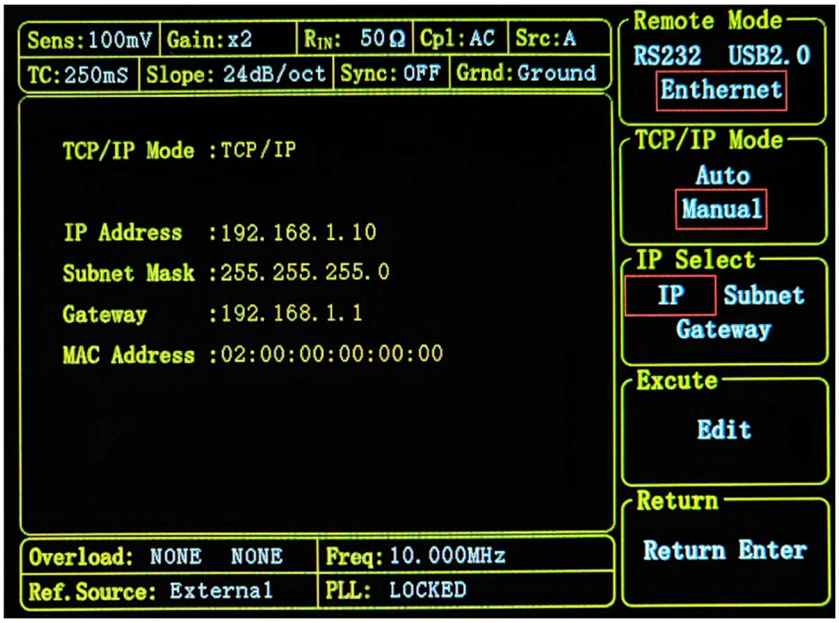

图34. <Manual>模式

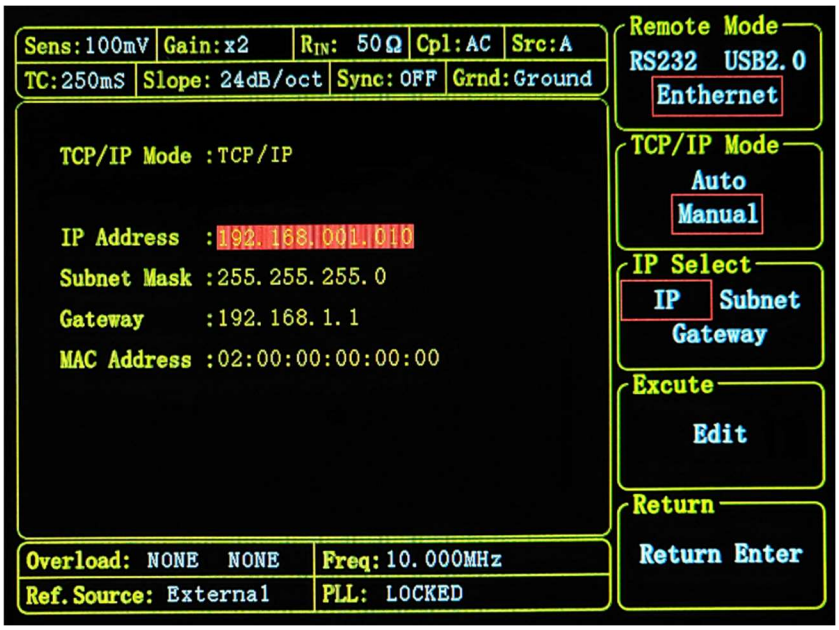

图35. <Manual>模式修改中

4.9.4 <Store/Recall>仪器配置存储和载入

选择<Remote>二级子菜单进入，如图 25 所示，在<Channel>处选择<Default>载入出厂默认配置。<Channel>选择<S1>、<S2>、<S3>、<S4>四个存储区，选择<Store>和<Recall>功能实现存储和载入。

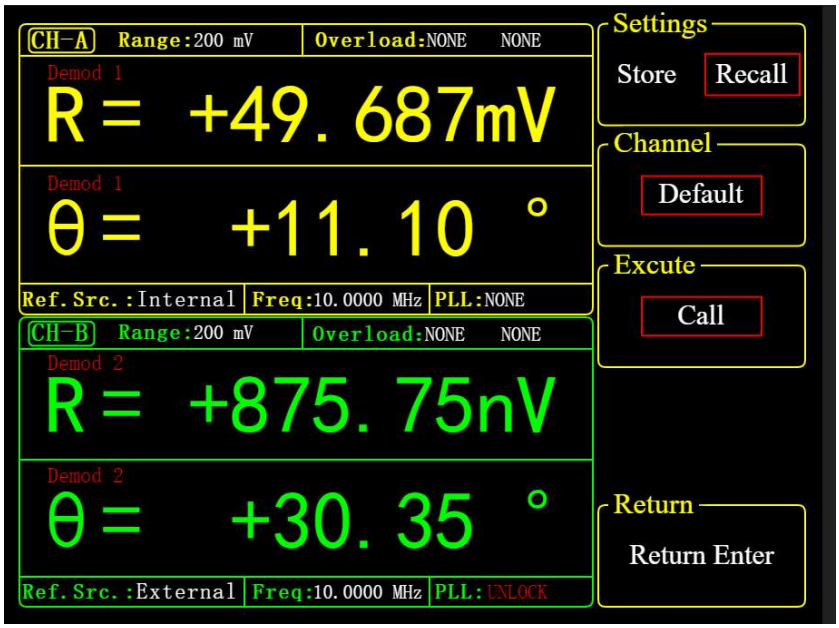

图36. 仪器配置存储和载入设置

4.9.5 <Reset>：锁相放大器软复位

按下对应软键会软重启系统。重启后不改变当前设置。

5. 远程编程

5.1 OE2052 命令语法

上位机与 OE2052 的通信使用 ASCII 字符来进行。命令符使用大写，所有命令均由四个命令字符（如有必要可带上参数）和一个命令终结符组成。当使用 RS232、USB2.0、Ethernet 接口通信时，终结字符必须是一个分号<;>、一个回车符<cr>。OE2052 只有在收到命令终结符时，才会执行用户输入的命令。命令可能需要一个或多个参数，多个参数之间用逗号分隔(,)。

多个命令可以在同一命令行发送，但命令之间需要添加分号(;)。在同一行发送多个命令和分别发送几个独立命令的区别在于：当一个命令行被解析和执行时，在整个命令行执行完成之前，OE2052 无法执行其他命令。

OE2052 有一个容量为 256 个字符的输入缓存区，并根据接收命令的顺序来处理命令。当缓存区写满时，最新命令将会把最旧并已执行命令覆盖。建议输入多个命令时不要超过 256 个字符。

OE2052 允许用户通过命令查询内部参数的当前值。查询命令的格式为由当前命令后加上一个问号“?”并省略原命令所需的一个或多个参数。OE2052 以 ASCII 字符串的形式返回用户所查询的参数，如果一个命令行中发送多个查询(用分号隔开)的话，应答将会按顺序一个一个地返回，每个返回值后尾都跟着一个终结符。

命令格式举例：

FMODD? 1 <cr>	查询通道 1 的参考源
FMODD 1,1 <cr>	设置通道 1，参考源为内部参考
FREQD 2,10E3 <cr>	设置通道 2，内部参考信号频率为 10 kHz

5.2 详细的命令列表

每一个命令所指定的参数是有严格顺序的，不同参数之间用逗号(,)分隔。在大括号{ }里面的参数是可选的，不需要每个都填写。只有在命令后面加上(?)的助记符时，才会启动查询命令，没有(?)是不会查询的。大部分情况下，查询命令不需要发送大括号{ }内的内容。注意：在发送命令时()和{}都不需要发送。

变量定义如下：

i,j,k,l,m,n,o,p,q,r,s,t,μ	整数
x	实数
f	频率值

以上所有的数值变量均可以被表示为整数、浮点数或指数格式（例如，数字 5 可以表示为 5 ， 5.0 ， 0.5E1）。而字符串则被作为一个 ASCII 字符序列的形式发送。

5.2.1 信号输入指令

ISRCD (?) i {,j}	ISRCD 指令用于设置或查询输入信号模式。 参数 i=1 选择通道 1； i=2 选择通道 2。 参数 j=0 时选择<A>单端电压信号输入; j=1 时选择<A-B>差分电压输入。
INHZD (?) i {,j}	INHZD 指令用于设置或查询输入阻抗。 参数 i=1 选择通道 1； i=2 选择通道 2。 参数 j=0 选择 50Ω 输入阻抗； j=1 选择 10MΩ 输入阻抗。
ICPLD (?) i {,j}	ICPLD 指令用于设置或查询输入耦合方式。 参数 i=1 选择通道 1； i=2 选择通道 2。 参数 j=0 选择<AC>交流耦合输入； j=1 选择<DC>直流耦合输入。
ISAMD (?) i {,j}	ISAMD 指令用于设置或查询切换高低频 ADC。 参数 i=1 选择通道 1； i=2 选择通道 2。 参数 j=0 选择<HF>高频 ADC； j=1 选择<LF>低频 ADC。
IRAGD(?) i {,j}	IRNG 指令用于设置或查询系统的输入量程。 参数 i=1 选择通道 1； i=2 选择通道 2。 参数 j 用于选择不同量程。具体如下：

j	Input Range
0	1.3 V
1	200mV
2	50mV
3	10mV
4	2mV
5	500μV
6	100μV

5.2.2 解调器的参考设置指令

RSLPD (?) i {,j}

RSLPD 指令用于设置或查询参考输入通道的参考触发模式。

参数 i=1 选择 REF IN 1； i=2 选择 REF IN 2。

参数 j=0 时设置<SINEDC>正弦波过零检测；

j=1 时设置<Sine>有偏正弦波过零检测；

j=2 时设置<TTL>方波上升沿检测。

参考触发模式与参考输入阻抗、耦合方式、仪器内部前级偏置电压有关，根据设置的参考触发模式，参考通道的硬件配置如下：

	<SINEDC>	<Sine>	<TTL>
输入阻抗	50Ω	50Ω	1MΩ
耦合方式	DC	AC	DC
前级偏置电压	0V	0V	-1.4V
频率范围	DC-400MHz	10kHz-400MHz	DC-400MHz

下表列出不同参考触发模式的典型参考信号。

	<SINEDC>	<Sine>	<TTL>
典型输入波形	标准正弦波	带偏正弦波	方波
典型电压值 (信号源输出负载为 HiZ)	500mVpp + 0Vdc	500mVpp + xVdc(|x| < 4)	V_H = 3.3V V_L = 0V
参考输入量程	LOW	LOW	HIGH

推荐优先使用<SINEDC>模式，该模式下覆盖全部系统测量频率范围，并优先使用<LOW>的参考输入量程，以获得最低的噪声水平。

<Sine>模式在正弦波叠加了过大的偏置电压时候应用，参考通道可以隔除偏置电压进行锁定，不止正弦波，方波、三角波等周期信号可以使用。

<TTL>模式通常是在上述两种模式都无法应用时才使用，比如弱驱动能力的信号源设备输出的 3.3V TTL 方波。高频方波难以做到快速上升沿，并且在高频下 1 MΩ输入阻抗会有信号反射，**不推荐超过 10 MHz 的测量使用方波信号和<TTL>模式**。

<table>
<tr>
<td>RRAGD(?) i {,j}</td>
<td>
RRNGD 指令用于设置或查询参考输入通道的输入量程。
参数 i=1 选择 REF IN 1； i=2 选择 REF IN 2。
参数 j=0 选择高电压挡位;
j=1 选择低电压挡位。
需要配合 RSLPD 指令使用，正常工作参考信号电压范围（信号源输出负载 HiZ）如下：
<table>
<tr><th></th><th><SINEDC >/<Sine ></th><th><TTL></th></tr>
<tr><td>低电压</td><td>> 250 mVpp
< 2.5 Vpp</td><td>0.25 V < V_{IH} < 2.5 V
-0.1 V < V_{IL} < 0.1 V</td></tr>
<tr><td>高电压</td><td>> 2.5 Vpp
< 10 Vpp</td><td>2.5 V < V_{IH} < 5.0 V
-0.5 V < V_{IL} < 0.5 V</td></tr>
</table>
推荐参考信号电压值（信号源输出负载 HiZ）如下：
<table>
<tr><th></th><th><SINEDC>/<Sine></th><th><TTL></th></tr>
<tr><td>低电压</td><td>500 mVpp</td><td>V_{IL} = 0 V, V_{IH} = 0.33 V</td></tr>
<tr><td>高电压</td><td>5 Vpp</td><td>V_{IL} = 0 V, V_{IH} = 3.3 V</td></tr>
</table>
注意即使在高电压挡位时，输入电压不应超过±5V，否则会损坏仪器。
</td>
</tr>
</table>

5. 2. 3 解调器的信号设置指令

DSELD (?) i {,j}	DSELD 指令用于设置或查询解调器的输入信号源。 参数 i=1, 2, 3, 4 选择四个解调器。 参数 j=0 时选择 SIGNAL IN 1; j=1 时选择 SIGNAL IN 2。
PHASD (?) i {,x}	PHASD 指令用于设置或查询解调器的参考相移。 参数 i=1, 2, 3, 4 选择四个解调器。 参数 x 是指相位值（实数值，单位：°）。用 PHAS x 命令可以设置当前的相移值为 x°。相位值限制在[-180°, 180°)。
FMODD (?) i {,j}	FMODD 指令用于设置或查询解调器的参考信号源。 参数 i=1, 2, 3, 4 选择四个解调器。 参数 j=0 时选择外部参考; j=1 时选择内部参考。
FREQD (?) i {,x}	FREQD 指令用于设置或查询解调器的内部参考信号频率。 参数 i=1, 2, 3, 4 选择四个解调器。 x 可设置范围为 1mHz-400 MHz。

FEMSD (?) i {,j}	FEMSD 指令用于设置或查询解调器的外部参考模式下的参考输入通道源。 参数 i=1, 2, 3, 4 选择四个解调器。 参数 j=0 时选择 REF IN1; j=1 时选择 REF IN2。
DMODD (?) i {,j}	DMODD 指令用于设置或查询解调器的解调模式。 当前每个信号通道具有 1 个解调器。 参数 i=1, 2, 3, 4 选择四个解调器。 参数 j=0 时选择谐波模式。
HARMD (?) i {,j}	HARMD 指令用于设置或查询谐波阶数。 参数 i=1, 2, 3, 4 选择四个解调器。 参数 j 可设置范围为 1 至 65535。 默认基波使用 j=1，谐波频率不应超过系统带宽 400MHz。

5. 2. 4 解调器的滤波器设置指令

OFLTD (?) i {,x}	OFLTD 指令用于设置或查询解调器滤波器的时间常数。 参数 i=1，2，3，4 选择四个解调器。 参数 j 用于选择不同的时间常数。可设置范围为 25E-9 至 3E3。
OFSLD (?) i {,j}	OFSLD 指令用于设置或查询解调器的滤波器陡降。 参数 i=1, 2, 3, 4 选择四个解调器。 参数 j 用于选择不同陡降，即级联滤波器的阶数。 具体如下： j | Filter dB/oct 0 | 6 dB/oct 1 | 12 dB/oct 2 | 18 dB/oct 3 | 24 dB/oct 4 | 30 dB/oct 5 | 36 dB/oct
SYNCD (?) i {,j}	SYNCD 指令用于设置或查询同步滤波器使能。 参数 i=1, 2, 3, 4 选择四个解调器。 参数 j=1 启用同步滤波器，j=0 关闭同步滤波器，默认关闭。

5.2.5 正弦波输出指令

<table>
<tr><td>SWVTD (?) i {,j}</td><td>SWVTD 指令用于设置或查询正弦输出通道的输出类型。
参数 i=1 选择通道 1; i=2 选择通道 2。
参数 j=0 时选择关闭 Sineout 输出;
j=1 时选择固定幅值模式输出。</td></tr>
<tr><td>SLVLD (?) i {,x}</td><td>SLVLD 指令用于设置或查询输出的同步正弦波固定幅值模式的幅度。
参数 i=1 选择通道 1; i=2 选择通道 2。
参数 x 可设置范围为 1 μVpp ≤ x ≤ 1.5 Vpp 或 0.353μVrms ≤ x ≤ 0.53 Vrms</td></tr>
<tr><td>SLVTD ? i</td><td>SLVTD 指令用于查询当前 Sineout 幅值的最大可设置值。
参数 i=1 选择通道 1; i=2 选择通道 2。
最大可设置值与当前的 Sineout 输出幅值单位以及负载阻抗都有关。
<table>
<tr><th>输出幅值单位</th><th>负载阻抗</th><th>最大可设置值</th></tr>
<tr><td>Vpp</td><td>50Ω</td><td>1.5</td></tr>
<tr><td>Vpp</td><td>10MΩ</td><td>3.0</td></tr>
<tr><td>Vrms</td><td>50Ω</td><td>0.530</td></tr>
<tr><td>Vrms</td><td>10MΩ</td><td>1.060</td></tr>
</table></td></tr>
<tr><td>SLVBD ? i</td><td>SLVBD 指令用于查询当前 Sineout 幅值的最小可设置值。
参数 i=1 选择通道 1; i=2 选择通道 2。
最小可设置值与当前的 Sineout 输出幅值单位以及负载阻抗都有关。
<table>
<tr><th>输出幅值单位</th><th>负载阻抗</th><th>最小可设置值</th></tr>
<tr><td>Vpp</td><td>50Ω</td><td>1.0μ</td></tr>
<tr><td>Vpp</td><td>10MΩ</td><td>2.0μ</td></tr>
<tr><td>Vrms</td><td>50Ω</td><td>0.354μ</td></tr>
<tr><td>Vrms</td><td>10MΩ</td><td>0.707μ</td></tr>
</table></td></tr>
<tr><td>SOFFD (?) i {,x}</td><td>SOFFD 指令用于设置或查询输出的信号偏置电压值(负载阻抗 50Ω)。
参数 i=1 选择通道 1; i=2 选择通道 2。
参数 x 可设置范围为-1.5Vdc ≤ x ≤ 1.5Vdc。</td></tr>
<tr><td>SUITD (?) i {,j}</td><td>SUITD 指令用于设置或查询输出信号幅值的单位。
参数 i=1 选择通道 1; i=2 选择通道 2。
参数 j=0 选择 VPP; j=1 选择 VRMS。</td></tr>
</table>

SNHZD (?) i {,j}	SNHZD 指令用于设置或查询输出负载阻抗。 参数 i=1 选择通道 1； i=2 选择通道 2。 参数 j=0 选择 50Ω 负载阻抗； j=1 选择 HiZ 负载阻抗。 设置输出负载阻抗会改变幅值以及偏置电压的显示值。

5.2.6 CH 通道输入输出指令

OAUXD ? i	OAUXD 指令用于查询后面板 AUX-IN 接口的输入电压值。 参数 i=0 选择 CH1； i=1 选择 CH2; i=2 选择 CH3； i=3 选择 CH4。 查询返回结果以伏特(V)为单位，单位不输出。
COUTD (?) i {, j}	COUTD 指令用于设置或查询后面板的 CHOUT/AUXOUT 输出信号选择。 参数 i=0 选择 CH1； i=1 选择 CH2; i=2 选择 CH3； i=3 选择 CH4。 参数 j 用于选择输出值的类型。具体如下：

j	CH 通道源
0	AUXOUT
1	X1
2	Y1
3	R1
4	θ1
5	X2
6	Y2
7	R2
8	θ2
9	Frequency1
10	Frequency2
11	AUX-IN1
12	AUX-IN2
13	AUX-IN3
14	AUX-IN4
15	X3
16	Y3
17	R3
18	θ3
19	X4
20	Y4
21	R4
22	θ4

<table>
<tr><td>CAUXD (?) i {, x}</td><td>CAUXD 指令用于设置或查询 AUXOUT 输出的电压值。
参数 i=0 选择 CH1； i=1 选择 CH2;
i=2 选择 CH3； i=3 选择 CH4。
参数 x 用于设置 DAC 的电压值，范围是-10.000 V≤x ≤10.000 V。
例如发送指令 CAUX 2,5.00，会设置<CHOUT3>的 AUXOUT 模式的输出值为 5.00V。</td></tr>
<tr><td>SENSD (?)i {, j}</td><td>SENSD 指令用于设置或查询系统的灵敏度<sensitivity>。
参数 i=0 选择 CH1； i=1 选择 CH2;
i=2 选择 CH3； i=3 选择 CH4。
参数 j 用于选择不同的量程。
具体如下：
<table>
<tr><th>j/sensitivity</th><th>j/sensitivity</th></tr>
<tr><td>0: 1 nV/fA</td><td>14: 50 μV/pA</td></tr>
<tr><td>1: 2 nV/fA</td><td>15: 100 μV/pA</td></tr>
<tr><td>2: 5 nV/fA</td><td>16: 200 μV/pA</td></tr>
<tr><td>3: 10 nV/fA</td><td>17: 500 μV/pA</td></tr>
<tr><td>4: 20 nV/fA</td><td>18: 1 mV/nA</td></tr>
<tr><td>5: 50 nV/fA</td><td>19: 2 mV/nA</td></tr>
<tr><td>6: 100 nV/fA</td><td>20: 5 mV/nA</td></tr>
<tr><td>7: 200 nV/fA</td><td>21: 10 mV/nA</td></tr>
<tr><td>8: 500 nV/fA</td><td>22: 20 mV/nA</td></tr>
<tr><td>9: 1 μV/pA</td><td>23: 50 mV/nA</td></tr>
<tr><td>10: 2 μV/pA</td><td>24: 100 mV/nA</td></tr>
<tr><td>11: 5 μV/pA</td><td>25: 200 mV/nA</td></tr>
<tr><td>12: 10 μV/pA</td><td>26: 500 mV/nA</td></tr>
<tr><td>13: 20 μV/pA</td><td>27: 1 V/μA</td></tr>
</table>
SENSD 和 COFPD、CEXPD 组合使用，见章节 2.6。
$$\text{Output} = \left(\frac{\text{Signal}}{\text{Sensitivity}} + \text{Offset}\right) \times \text{Expand} \times 10(\text{V})$$</td></tr>
<tr><td>COFPD (?) i {, x}</td><td>COFPD 指令用于设置或查询 CHOUT 通道输出的偏置值。
参数 i=0 选择 CH1； i=1 选择 CH2;
i=2 选择 CH3； i=3 选择 CH4。
参数 x 用于设置偏置值，范围是(-100.00≤x ≤100.00)%，最小分辨率为 0.01。</td></tr>
<tr><td>CEXPD (?) i {,j}</td><td>CEXPD 指令用于设置或查询 CHOUT 通道输出的放大倍数值。
参数 i=0 选择 CH1； i=1 选择 CH2;
i=2 选择 CH3； i=3 选择 CH4。
参数 j 用于设置输出放大倍数，范围是(1≤x ≤10000)的整数。</td></tr>
</table>

5.2.7 自动设置指令

ARNGD (?) i	ARNGD 指令用于信号输入通道自动设置量程。 参数 i=1 选择通道 1； i=2 选择通道 2。 该指令作用与在菜单按下<Auto Range>作用相同。查询返回 0 代表空闲，1 代表正在自动设置。
AOFSD (?) i	AOFSD 指令用于信号输入通道自动设置偏置。 参数 i=1 选择通道 1； i=2 选择通道 2。 该指令作用与在菜单按下<Auto Offset>作用相同。查询返回 0 代表空闲，1 代表正在自动设置。
APHSD (?) i	AOFSD 指令用于信号输入通道自动设置偏置。 参数 i=1，2，3，4 选择四个解调器。 该指令作用与在菜单按下<Auto Phase>作用相同。查询返回 0 代表空闲，1 代表正在自动设置。

5.2.8 保存读取设置指令

SSETD i	SSETD i 指令用于把 OE2052 当前的设置保存到设置缓存区中，即 Setting buffer i(1≤i≤4)。 Setting buffer 里面的配置信息在 OE2052 断电后可保存，用于下次开机后使用。
RSETD i	RSETD i 指令用于读取 Setting buffer i(0≤i≤4)里的设置。其中 i=0 表示<Default>默认设置，i=1~4 表示<S1>~<S4>的设置。读取成功后，OE2052 内部参数将会被设置成与 Setting buffer i 里面相同的参数。

5.2.9 复位与 IDN 指令

*RST	RST 指令用于复位仪器。 设备内部的所有状态与参数都会重置为默认值，数据缓存区内的数据也会丢失。
*IDN ?	IDN ?指令用于查询仪器序列号。

5.2.10 数据和状态读取指令

SNAPD ? i,j,k {l,m,n,o,p,q,r,s}	SNAPD 指令用于在同一个时间点记录最多 10 个不同的参数值。 在同一时刻查询<X>、<Y>、<R>、<θ>或<Frequency>等值，该功能在时间常数很短的时候非常实用。因为如果使用 OUTPD 指令来连续读取两个不同的参数值，两个参数返回值之间会有一定的

<table>
<tr>
<td></td>
<td>延时，使得读取的两个数据不是在同一时刻下测量所得，当数据变化速度较快时，就可能导致一定误差。
参数 i=1，2，3，4 选择四个解调器。

SNAPD 指令需要至少读取 2 个，最多可以同时读取 10 个参数。参数 j,k,l,m,n,o,p,q,r,s 的选择具体如下：
<table>
<tr><th>j,k,l,m,n,o,p,q,r,s</th><th>Parameter</th></tr>
<tr><td>0</td><td>X</td></tr>
<tr><td>1</td><td>Y</td></tr>
<tr><td>2</td><td>R</td></tr>
<tr><td>3</td><td>θ</td></tr>
<tr><td>4</td><td>Frequency</td></tr>
<tr><td>5</td><td>AUX-IN1</td></tr>
<tr><td>6</td><td>AUX-IN2</td></tr>
<tr><td>7</td><td>AUX-IN3</td></tr>
<tr><td>8</td><td>AUX-IN4</td></tr>
</table>
返回的值是一个单一的字符串，该字符串内不同值之间用逗号(,)分隔，并且顺序是按照发送指令时 j, k, l, m 的顺序返回。例如，发送 SNAPD?1,2,3,4;会依次返回解调器 1 的<R>、<θ>、<Frequency>的值。</td>
</tr>
<tr>
<td>OUTPD ? i,j</td>
<td>OUTPD 指令用于读取单个参数值。参数 i 对应于下表：
参数 i=1，2，3，4 选择四个解调器。
参数 j 的选择具体如下：
<table>
<tr><th>j</th><th>Parameter</th></tr>
<tr><td>0</td><td>X</td></tr>
<tr><td>1</td><td>Y</td></tr>
<tr><td>2</td><td>R</td></tr>
<tr><td>3</td><td>θ</td></tr>
<tr><td>4</td><td>Frequency</td></tr>
<tr><td>5</td><td>AUX-IN1</td></tr>
<tr><td>6</td><td>AUX-IN2</td></tr>
<tr><td>7</td><td>AUX-IN3</td></tr>
<tr><td>8</td><td>AUX-IN4</td></tr>
</table>
所选参数的值以 ASCII 浮点数的格式返回，以伏特(V)、度(°)或赫兹(Hz)为单位，但单位不会输出。该指令仅用作查询。</td>
</tr>
</table>

INOVD ? i	INOVD 指令用于查询 Input Overload 的状态。 参数 i=1 选择 SIGNAL IN 1; i=2 选择 SIGNAL IN2。 返回值 0 表示现在前级没有溢出；1 表示前级发生溢出，此时需要把输入信号减小以保护仪器不被损坏。
*PLLD ? i	*PLLD 指令用于查询锁相环的状态。 参数 i=1 选择 PLL 1; i=2 选择 PLL 2。 返回值 0 表示现在锁相环没有锁定，或者是处于内部参考模式；1 表示锁相环已经锁定。

5. 2. 11 全局数据配置读取指令

RALLD ?

RALLD 用于返回所有测量数据，RS232 直接打印字符串，USB2.0 和 Ethernet 接口则返回数据包。

使用 RS232 接口发送 RALLD 指令时，返回 24 个浮点数，使用逗号(,)分隔。

序号	Parameter
0	解调器 1 X 值
1	解调器 1 Y 值
2	解调器 1 R 值
3	解调器 1 θ 值
4	解调器 1 Frequency
5	解调器 2 X 值
6	解调器 2 Y 值
7	解调器 2 R 值
8	解调器 2 θ 值
9	解调器 2 Frequency
10	解调器 3 X 值
11	解调器 3 Y 值
12	解调器 3 R 值
13	解调器 3 θ 值
14	解调器 3 Frequency
15	解调器 4 X 值
16	解调器 4 Y 值
17	解调器 4 R 值
18	解调器 4 θ 值
19	解调器 4 Frequency
20	AUX-IN 值 通道 1
21	AUX-IN 值 通道 2
22	AUX-IN 值 通道 3
23	AUX-IN 值 通道 4

使用 USB 或 Ethernet 接口发送 RALLD 指令时，返回 24000Bytes 的数据包，数据中间没有逗号隔开，按照固定空间分配数据组合。RALL? 指令返回数据每 100ms 更新一次，返回之前 100ms 的测量

	数据，数据采样间隔是 1ms。 例如前 800 个 Bytes 数据为 100 个 X 值数据，每个 X 值是 64 位浮点数，占用 8 个 Bytes，按照时间先后顺序排列 50 个 X 值；然后到 Y 值……前 8000Bytes 是返回测量数据，后 4000Bytes 是当前配置信息，每个配置信息不像数据会返回 100 个值，而是只返回 1 次参数。

使用 USB 或 Ethernet 接口时，RALLD? 返回 24000Bytes 数据包的格式如下：

分类	返回数据	数据位置
测量数据	100 个 X 值 通道 1（64 位浮点数）	0~799
	100 个 Y 值 通道 1（64 位浮点数）	800~1599
	100 个 R 值 通道 1（64 位浮点数）	1600~2399
	100 个 θ 值 通道 1（64 位浮点数）	2400~3199
	100 个频率值 通道 1（64 位浮点数）	3200~3999
	100 个 X 值 通道 2（64 位浮点数）	4000~4799
	100 个 Y 值 通道 2（64 位浮点数）	4800~5599
	100 个 R 值 通道 2（64 位浮点数）	5600~6399
	100 个 θ 值 通道 2（64 位浮点数）	6400~7199
	100 个频率值 通道 2（64 位浮点数）	7200~7999
配置参数	/	8000~11999
测量数据	100 个 X 值 通道 3（64 位浮点数）	12000~12799
	100 个 Y 值 通道 3（64 位浮点数）	12800~13599
	100 个 R 值 通道 3（64 位浮点数）	13600~14399
	100 个 θ 值 通道 3（64 位浮点数）	14400~15199
	100 个频率值 通道 3（64 位浮点数）	15200~15999
	100 个 X 值 通道 4（64 位浮点数）	16000~16799
	100 个 Y 值 通道 4（64 位浮点数）	16800~17599
	100 个 R 值 通道 4（64 位浮点数）	17600~18399
	100 个 θ 值 通道 4（64 位浮点数）	18400~19199
	100 个频率值 通道 4（64 位浮点数）	19200~19999
其他测量数据	/	20000~23999

6. PC 软件安装和使用说明

6.1 软件及驱动安装

PC 机软件一般以 U 盘形式提供给用户，打开 U 盘后有如下文件：

图37. U 盘内 PC 软件包

打开 Console 文件夹进行上位机软件的安装。

图38. Console 上位机软件

以 Windows 系统举例，右键“以管理员身份运行”红色方框内的“LIA_Console_V1.3.12.221025.exe”文件，在弹出软件安装窗口，点击“下一步(Next)”按钮。

图39. LIA_Console 安装界面

在选择安装 LIA_Console 的目录界面中单击“下一步（Next)”按钮。

图40. LIA_Console 安装程序界面

在安装组件界面中单击“下一步（Next）”按钮。

图41. LIA_Console 组件安装界面

在开始菜单快捷方式界面中单击“下一步（Next）”按钮。

图42. LIA_Console 开始菜单快捷方式界面

在开始菜单快捷方式界面中单击“安装（Install）”按钮

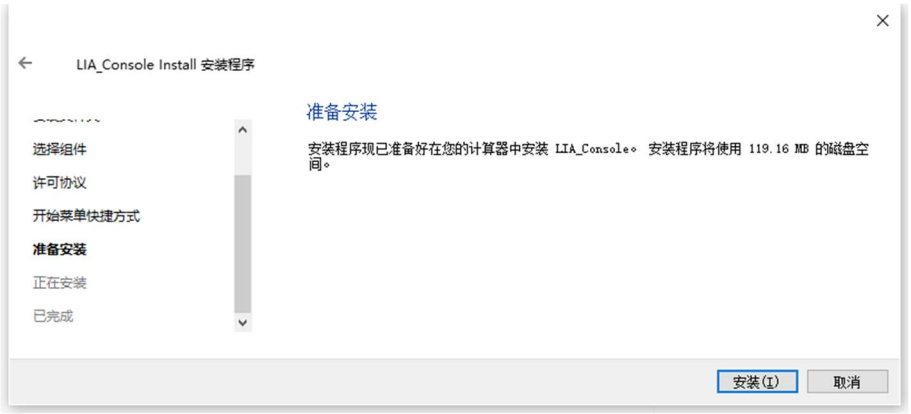

图43. 准备安装界面

则会弹出如下软件窗口，见到以下界面时表示正在安装 LIA_Console 上位机软件，只需要等待几分钟即可。

图44. 正在安装 LIA_Console

在已完成界面中单击“完成（finish)”按钮

图45. 完成安装

安装上位机程序时会在以下路径中创建一个 Windows 开始菜单项：
开始菜单 →LIA_Console→ LIA_Console。此链接将打开 LIA_Console 上位机程序。

图46. LIA_Console

若用户使用 win7 系统，需要额外安装 USB 驱动。打开文件夹<win7 USB 驱动安装>根据<win7 usb 驱动安装流程.docx >文件流程进行安装。

6.2 锁相放大器软件

使用 USB 线连接仪器 USB Type-B 接口，打开软件后进入进入启动界面，上位机会检测连接，若未发现设备请在设备管理器中查看 COM 口设备，插拔 USB 线看是否有设备刷新。

图47. 上位机启动界面

6.2.1 主界面功能介绍

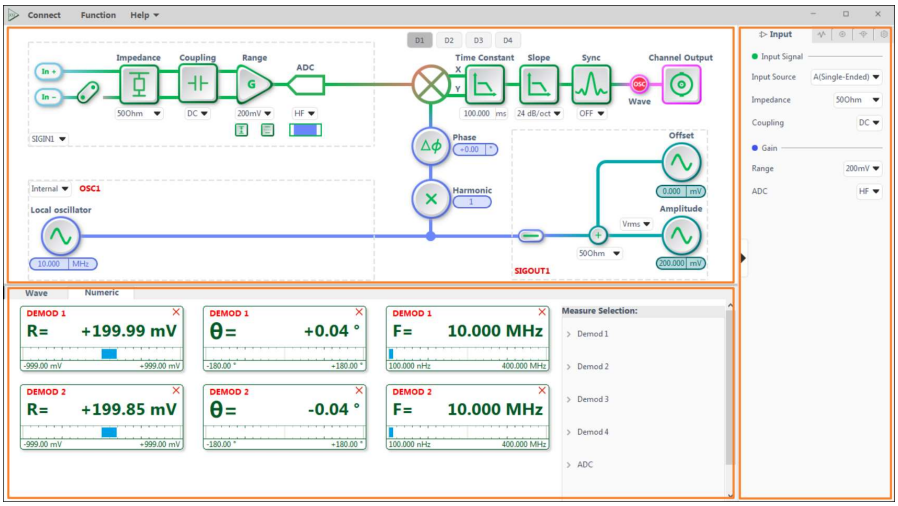

图48. 波形方式显示

上位机主界面主要划分为：图形化配置窗口、参数化配置窗口、波形和数值显示窗口。

- **图形化配置窗口：**

以直观的框图方式配置锁放的参数，包括输入通道、输出通道、振荡器、解调器等控制。仪器通过键盘控制也会同步在上位机显示。

- **参数化配置窗口：**

以参数列表呈现，以更便捷的方式配置锁放的参数。控制功能与图形化配置窗口一致，但同时还有保存文件等上位机软件的配置选项。

- **波形和数值显示窗口：**

用于显示解调结果等数值，可以选择波形方式显示（Wave），也可以选择数值方式显示

（Numeric），在数值方式显示情况下，可以选择多个数值同时显示。

6.2.2 解调器配置

OE2052 共有 4 个解调器，上位机以解调器为核心进行显示。由于每个解调器的输入信号和参考信号均可以选，因此在选择了 D1-D4 会显示不同解调器当前的连接配置。

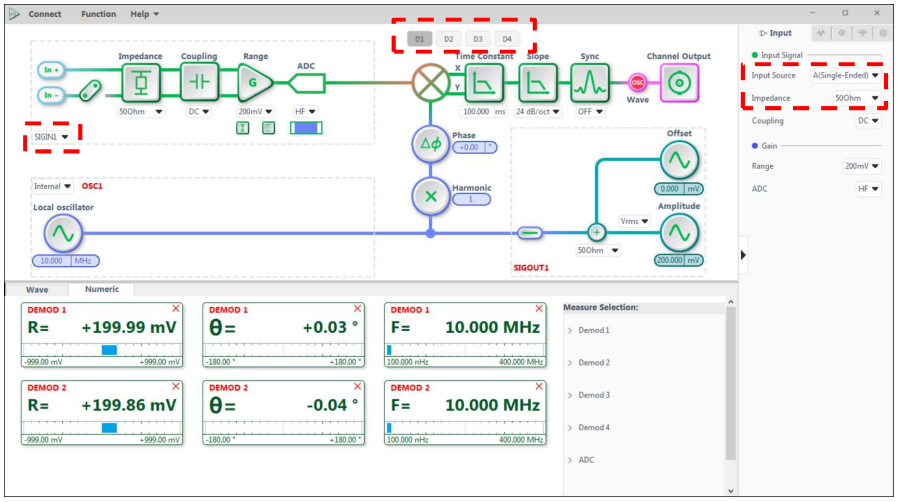

图49. 解调器通道和输入信号选择区域

设置项	设置范围和说明
Demodulator Channel 解调器通道选择	D1 | D2 | D3 | D4 解调器
Demodulator Select 解调器输入信号选择	SIGIN1 | SIGIN2 SIGNAL IN 输入信号通道

以下配置区域为解调器的谐波阶数和相位设置，可以以振荡器的倍频进行解调，并可以通过设置解调器相位偏置影响测量值。

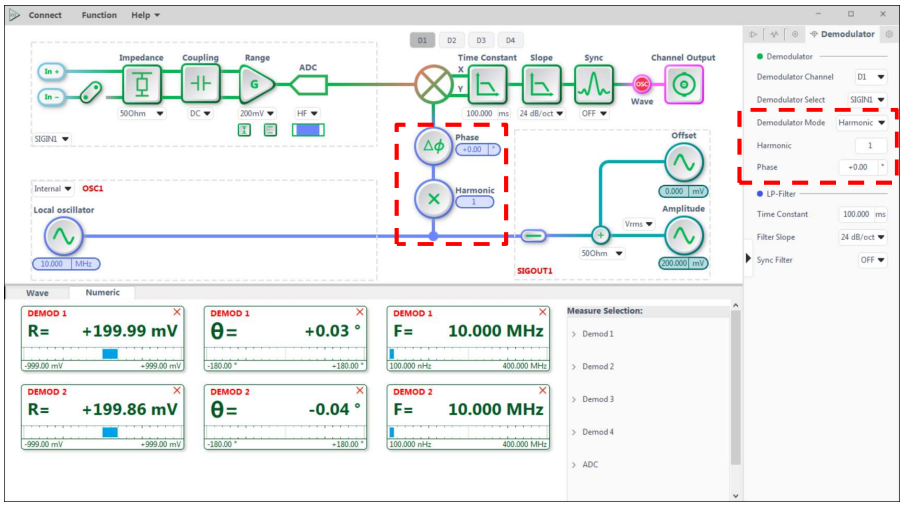

图50. 解调器谐波和相位配置区域

设置项	设置范围和说明
Demodulator Mode 解调器模式	Harmonic 谐波模式
Harmonic 谐波阶数	1~65535 谐波阶数(默认 1 进行基波解调)
Phase 解调相位设置	设置 PSD 算法两路正交参考信号的相移角度，移相精度为 0.001°，输入范围为-180°至+180°

在同样的测量准确度下,使用更高的滤波器陡降可以降低时间常数,使得测量响应更快。具体的时间常数和滤波器陡降搭配，必须根据实际情况来选择，一个判定的准则是只要对测量结果的稳定度满意,此时的时间常数和滤波器陡降就不需要设置太大,以免等待时间过长。当然，若想结果更加平稳，可以适当增大时间常数和滤波器陡降。

滤波器参数的软件配置区域如红框内所示：

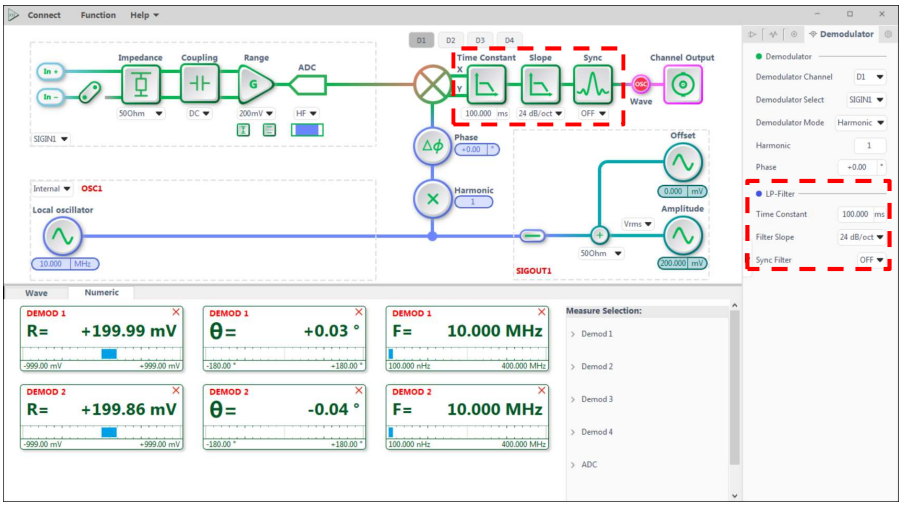

图51. 解调器滤波器配置区域

设置项	设置范围和说明
Time Constant 滤波器时间常数设置	100ns~100s 100ms(默认设置)
Filter Slope 滤波器陡降设置	6 dB/oct 12 dB/oct 18 dB/oct 24 dB/oct(默认设置) 30 dB/oct 36 dB/oct
Sync Filter 同步滤波器使能设置	OFF / ON (默认关闭)

6.2.3 输入信号配置

输入信号的软件配置区域如红框内所示：

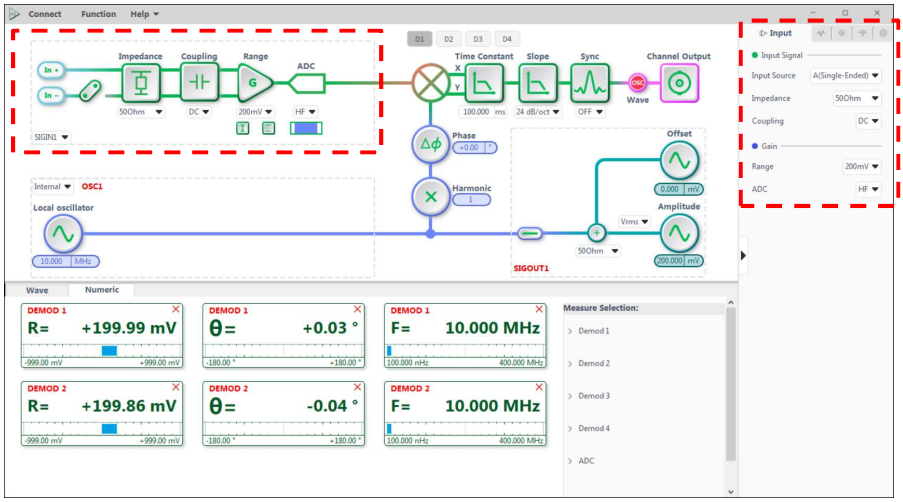

图52. 输入信号的配置区域

可供用户配置的选项如下表：

设置项	设置范围和说明
Input Source 输入信号源设置	单端电压信号(默认设置) A
	差分电压信号 A-B
Input Impedance 输入阻抗设置	50Ohm(默认设置)
	10MOhm
Input Coupling 输入耦合设置	交流耦合 AC
	直流耦合(默认设置) DC
Input Range 输入量程选择	100μV, 500μV, 2mV, 10mV, 50mV, 200mV, 1.3V 共计 7 挡
Input ADC 输入 ADC 采样模式选择	高频 ADC(默认设置) HF
	低频 ADC LF

<Input Source> 输入信号源设置

<A> ：单端电压信号输入模式。

<A-B> ：差分电压信号输入模式。选择此模式时，将双信号的一端由接口 A 输入，另一端由接口 B 输入。

注意：当使用电压模式时，输入最大不能超过 1 Vrms。

<Input Impedance> 输入阻抗设置

<50Ohm >：输入阻抗为 50Ohm，推荐超过 1MHz 使用，以实现阻抗匹配降低信号反射。

<10MOhm>：输入阻抗为 10MOhm，当信号源驱动能力弱时使用，高频时会存在信号反射问题。

<Input Coupling> 输入耦合设置

<AC> ：交流耦合输入。交流耦合输入用于阻隔输入信号中的直流成分，如果信号希望抑制低频的噪声建议使用<AC>交流耦合。

<DC> ：直流耦合输入。直流耦合不阻隔任何输入信号，但要注意输入信号的偏置量而导致的信号溢出。

< Input Range> 信号输入量程设置

选择合适的 Range 使得信号尽可能的放大又不使 ADC 输入过载，Range 图形下方为用户提供了自动量程和自动偏置的功能，ADC 图形下方有归一化的范围条可以动态显示当前信号范围。

Input Range	实际增益倍数	输入过载幅值 (信号源 50Ohm, Vpp)
1.3 V	0.2	4.0Vpp
200mV	1	800Vpp
50mV	4	200mVpp
10mV	20	40mVpp
2mV	80	10mVpp
500μV	400	2mVpp
100μV	1600	0.5mVpp

< Input ADC> 信号输入 ADC 设置

<HF> ：使用 1GSPS 14bit ADC，输入信号带宽为 DC-400MHz。

<LF> ：使用 244.1kSPS 24bit ADC，输入信号带宽为 DC-100kHz。

6.2.4 参考信号设置

OE2052 内部有 2 个振荡器 OSC1、OSC2，为 4 个解调器提供参考信号。解调器选择振荡器之一的输出信号作为参考信号。振荡器 OSC1/OSC2 分别绑定了 REFIN1/REFIN2 参考信号通道作为外部信号源，外部信号源连接到 PLL，并绑定了 SIGOUT1/SIGOUT2 信号输出通道输出同频信号。

若用户需要切换解调器的振荡器选择，需要先切换到 External 外部参考模式，选择 Refin Select，选择 REFIN1 则为 OSC1，选择 REFIN2 则为 OSC2。

以下当参考源配置为内部参考模式时，仅可设置当前选中解调器对应振荡器的频率，会影响使用同个振荡器的解调器。

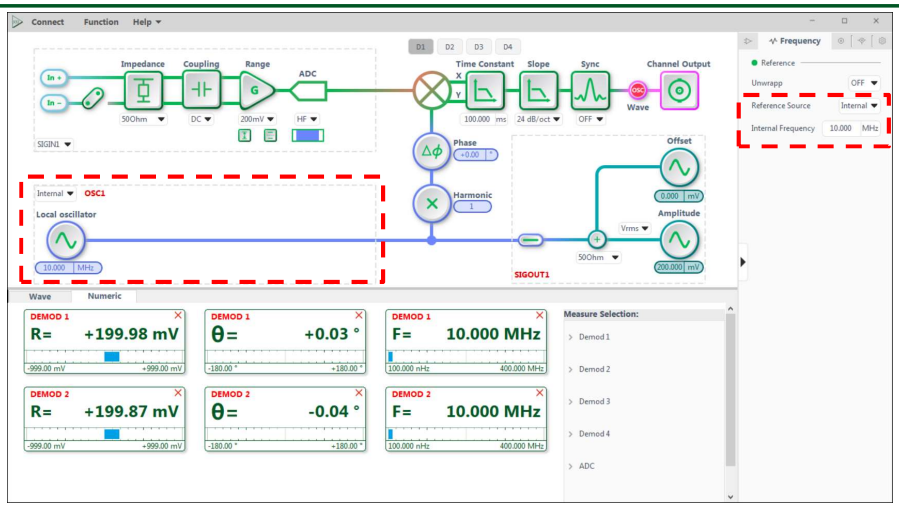

图53. 参考信号配置区域（内部参考模式）

设置项	设置范围和说明
Internal Frequency 振荡器内部参考频率设置	用户手动输入，频率范围为 1 μHz 到 400MHz

以下当参考源配置为外部参考模式时，会展开显示参考输入通道的设置，选择 Refin Select 会切换至不同的 REFIN，实际是切换了不同的振荡器 OSC。外部参考信号会给到 PLL 进行频率锁定，如果锁定会在上位机显示 Locked。

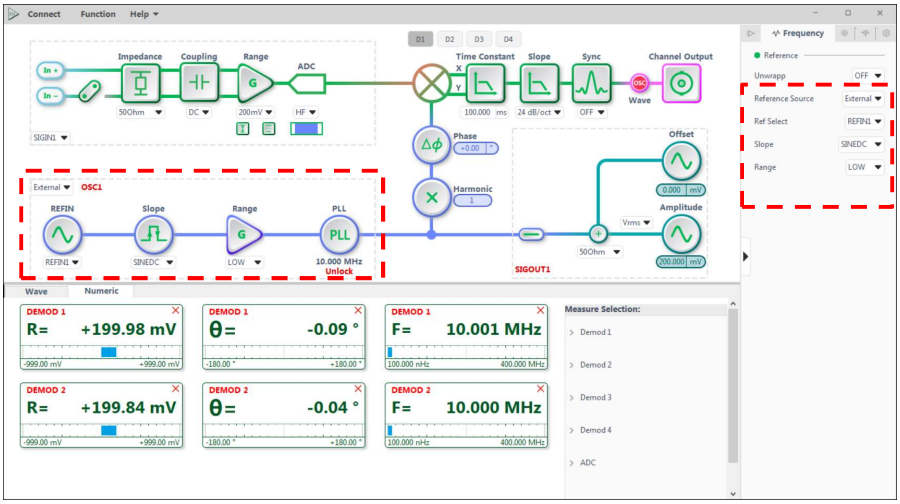

图54. 参考信号配置区域（外部参考模式）

可供用户配置的选项如下表：

设置项	设置范围和说明
Ref Source 参考信号源选择设置	外部参考信号 External
	内部参考信号(默认设置)

	Internal
Refin Select 参考输入 通道源选择	REFIN1 | REFIN2 REF IN 参考信号通道
Ref Slope 参考信号通道 触发模式设置	SINEDC 无偏正弦波 (默认设置)
	Sine 有偏正弦波
	TTL 方波上升沿检测
Ref Range 参考信号通道 输入档位设置	LOW 低电压挡位(默认设置)
	HIGH 高电压挡位

<Reference Source> 参考信号源设置

<External> ：外部参考信号。系统使用参考输入通道 REFIN BNC 参考信号进行锁相。

<Internal> ：内部参考信号。此设置下参考信号将根据内部信号发生器产生的信号作为参考信号。REF IN BNC 的参考信号将不起作用。此时可以对<Reference.frequency>输入参数值进行设置。

仅在<Reference Source>为<External>时有效，可选择<REFIN1>或<REFIN2>。默认配置下，解调器 1、3 通道对应<REFIN1>，解调器 2、4 通道对应<REFIN2>；若需要利用同一个外部参考信号解调 2 个信号输入通道的同频信号时，则要选择同一个<Refin Select>。

<Reference Slope> 外部参考信号触发模式设置

<SINEDC> ：外部信号为标准正弦波，使用正弦波过零检测后进行触发。

<Sine> ：外部信号为有偏正弦波，使用正弦波过零检测后进行触发。

<TTL> ：外部信号为方波，使用上升沿进行触发。

推荐优先使用<SINEDC>模式，以获得最低的噪声水平，，详见章节 2.3 与 5.2.3 对相关配置的描述。

<Reference Range> 参考输入量程设置

<LOW> ：低电压挡位，输入电压小于 2.5V，常在外部参考信号为正弦波时使用。

<HIGH> ：高电压挡位，输入电压大于 2.5V，常在外部参考信号为方波如 3.3V TTL 时使用。

需要配合<Ref Slope>使用，仪器正常工作外部输入参考信号电压范围如下：

	<SINEDC>/<Sine>	<TTL>
低电压	> 250 mVpp < 2.5 Vpp	0.25 V < V_{IH} < 2.5 V -0.1 V < V_{IL} < 0.1 V

高电压	> 2.5 Vpp < 10 Vpp	2.5 V < V_{IH} < 5.0 V -0.5 V < V_{IL} < 0.5 V

推荐参考信号电压值（信号源输出负载 HiZ）如下：

	<SINEDC>/<Sine>	<TTL>
低电压	500 mVpp	V_{IL} = 0 V, V_{IH} = 0.33 V
高电压	5 Vpp	V_{IL} = 0 V, V_{IH} = 3.3 V

注意即使在高电压挡位时，输入电压不应超过±5V，否则会损坏仪器。

6.2.5 辅助输出配置

通过 Channel Output 设置可以在仪器的后面板 AUXOUT(CHOUT)四个 BNC 输出解调器的 X/Y/R/θ 值。选择 Output Channel 为 CH1/CH2/CH3/CH4，可以配置对应的输出信号源和输出信号偏置及增益系数。

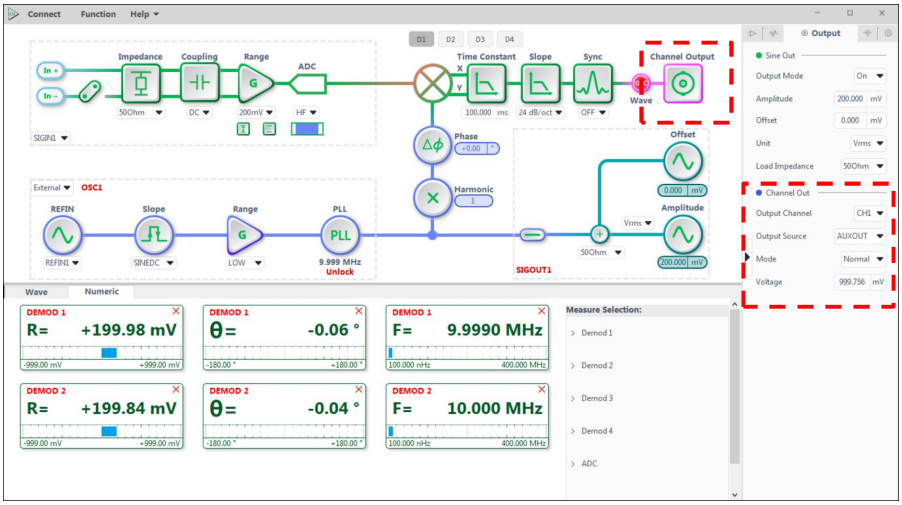

图55. 辅助输出配置区域

设置项	设置范围和说明
Output Channel 输出通道选择	CH1 | CH2 | CH3 | CH4 选择任一通道对其配置
Output Source 输出源	设置<AUXOUT>输出直流电压，由用户手动输入，电压范围为-10 V 至+10 V，默认值输出为 1V，最小分辨率为 1 mV。 也可以输出用户需要的数值，数值类型包括信号的 X/Y/R/θ 值、信号谐波的 X/Y/R/θ 值、频率、噪声值以及辅助输入值；默认设置<AUXOUT>输出直流电压。
Offset(%) 偏置设置	可调范围是 -100% -- +100% ，其中最小步进为 0.01%，默认 0.00%，只能对 R/X/Y/θ 值进行设置，默认值为 0

Expand 放大设置	可调范围是 0.001~10000，默认值为 1
Sensitivity 量程灵敏度	可设置范围为 1nV 至 1V

通过 Console 输入，可调范围是 0.001~10000，默认值为 1。但 Expand 的设置使得计算超出了±10V 的时候，输出值将会维持在±10V。

输出信号的计算公式如下:

当选择信号为<R1>，<X1>，<Y1>，<R2>，<X2>，<Y2>，<R3>，<X3>，<Y3>，<R4>，<X4>，<Y4>时:

$$输出 = \left(\frac{Signal(选择信号)}{Sens} + Offset\right) \times Expand \times 10V$$

当选择信号为<θ1>，<θ2>，<θ3>，<θ4>时:

$$输出 = \left(\frac{\theta}{180°} + Offset\right) \times Expand \times 10\,V$$

除了上面两种情况，还有下面选项：

AUXOUT ：按照用户设定的电压值输出。

AUXIN1~4 ：输出等于 AUX-IN 的输入电压。

频率Freq ：

$$输出 = \left(\frac{Freq}{1GHz} + Offset\right) \times Expand \times 10\,V$$

注：每一个 CH 通道有一个独立的偏置值和放大值。假如设置了 CH1 的<Offset>是 50%和<Expand>是 3，那只有 CH1 通道输出会受影响，CH2 的输出不变。

注：<Offset>设置值在 LCD 上单位为%。

6.2.6 正弦信号输出配置

该项参数的软件配置区域如红框内所示：

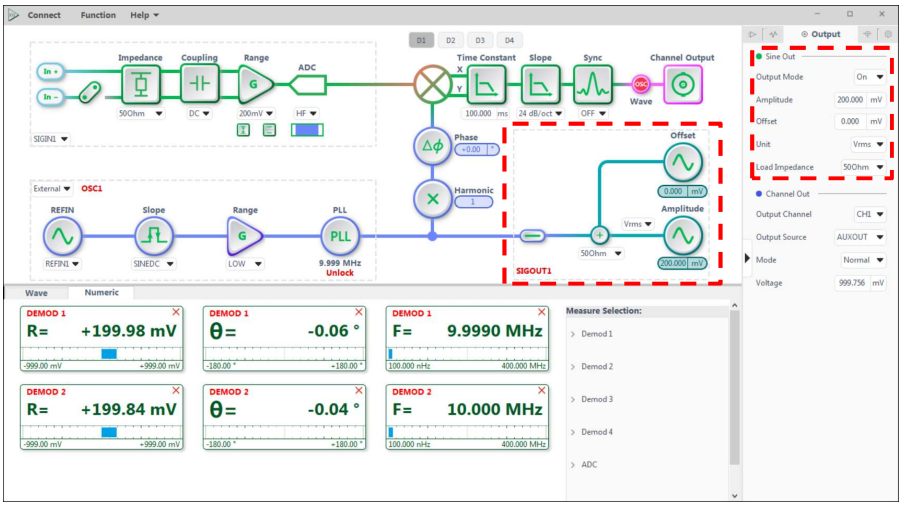

图56. 正弦信号输出配置区域

设置项	设置范围和说明
Output Mode 正弦信号输出开关	OFF/ON 关闭/定值正弦信号，默认关闭
Amplitude 正弦信号幅值设置	可设置幅值范围为 1μVpp 至 1.5 Vpp （负载 50Ohm）。
Offset 偏置电压设置	可设置偏置电压范围为-1.5Vdc 至 1.5 Vdc （负载 50Ohm）。
Unit 输出电压单位	Vpp 或 Vrms
Load Impedance 输出负载电阻	选择输出负载电阻为 50Ohm 或 HiZ，不会影响输出幅值和偏置电压大小，但显示值会改变。如从 HiZ 切换到 50Ohm 会变为两倍。

6.2.7 数据保存配置

上位机可以对仪器传输回 PC 的数据进行保存。

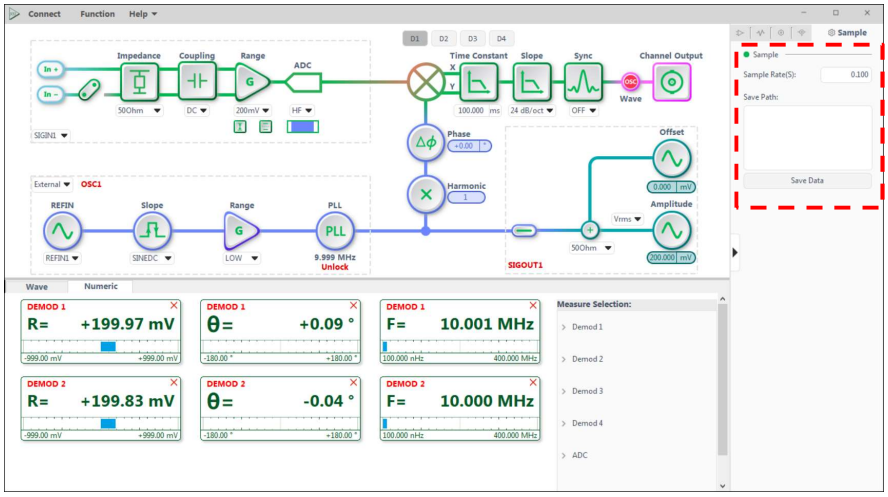

图57. 数据保存配置区域

可供用户配置的选项如下：

Sample Rate(s)	用于设定采样的时间间隔，用户手动输入，时间间隔范围为 1 ms 到 100 s，分辨率最小为 1 ms，默认为 100ms
Save Path:	数据以 csv 表格的形式保存文件，保存在程序目录下。

软件有数据记录保存的功能，可根据用户需要选择是否保存一段时间内的 0E1300 采集到的数据。

保存的数据包括测量信号的 R、X、Y、θ、频率和噪声的值；测量的七路谐波的 R、X、Y 和 θ 的值；以及两路辅助输入的信号值。选择是否存储数据的具体步骤如下：

1） 数据以 csv 表格的形式保存文件，保存在程序目录下。

2） 点击“Save Data”弹出图 41 文件保存窗口，可修改文件名称和保存路径，点击。

3） “保存”按钮保存文件。

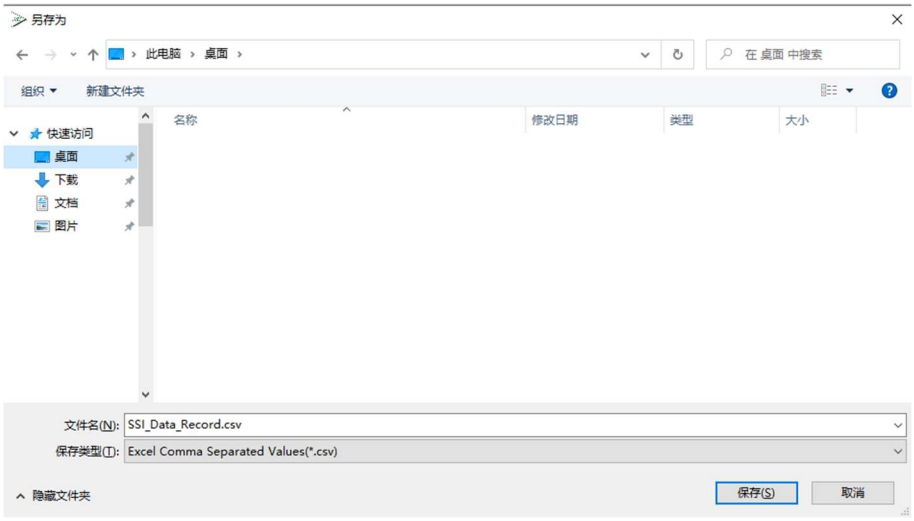

图58. 数据文件保存窗口

当数据保存时，Sample 界面会显示 “saving”。

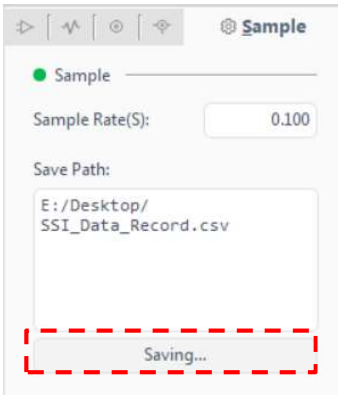

图59. 数据保存配置区域

3. 再次按下“Saving”按钮，按钮状态由“Saving”重新变为“Save Date”，表示停止保存采集的数据。

4. 在“Sample Rate(S)”可以修改当前显示和保存数据的采样率，输入范围为 0.1 s~100s。

6. 2. 8 其他功能配置

上位机软件为方便用户使用在<Range>设置下方分别提供了自动选档(Auto Range)和自动调偏(Auto Bias)，在 Frequency 页面提供了 Phase Unwarpping 相位展开功能。

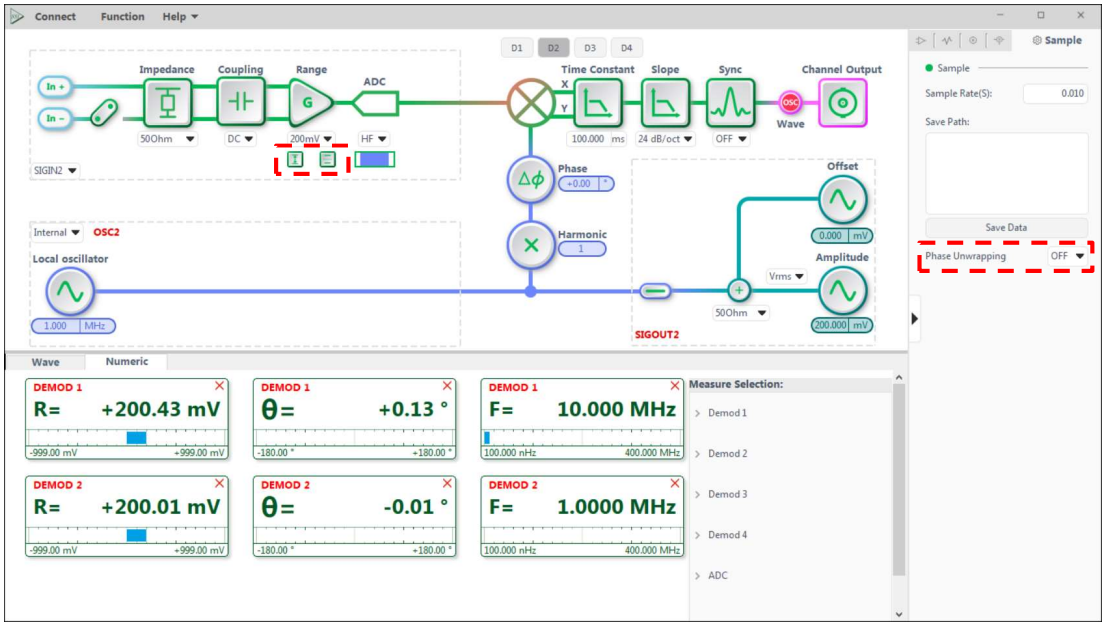

图60. 其他功能配置区域

- Auto Range 自动选档功能，仪器根据当前输入信号的最大最小值选择合适的 Range，与键盘直接触发 Auto Range 功能相同。
- Auto Bias 自动调偏功能，仪器根据当前输入信号的最大最小值进行模拟调偏，使得信号尽可能居中。不建议在外部信号有较大偏置时利用该功能，若错误设置可以在输入 BNC 短接 50ohm 电阻或利用 SIGOUT 连接仪器，重新自动设置偏置，与键盘直接触发 Auto Offset 功能相同。该偏置在仪器断电后不会保存记录。
- Phase Unwarpping 相位展开功能，开启后测量的相位在越过±180°边界后也会不断累计相位，需要观察连续变化相位才有必要打开，并且相位不能快速突变以免计算错误。

6. 3 上位机多功能软件

上位机除了提供锁相放大器的控制软件外，还提供了示波器、FFT 频谱仪、PID 控制器、参数扫描仪软件，一台仪器实现了多种仪器的功能。用户在顶部栏 Function 下也可以选择其他功能软件配置页面，注意 PID 控制器开启后可以在后台同步运行。

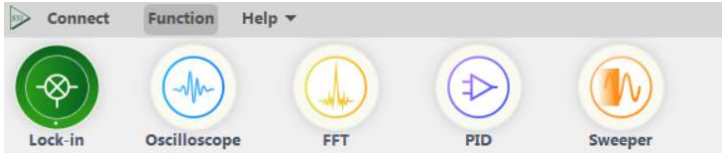

图61. 数据保存配置区域

6. 3. 1 示波器和频谱仪功能

用户可以利用 OE2052 的两个信号输入通道和两个参考输入通道，最高实现 1GSPS 14bit 的四通道示波器，在对简易测试外部信号时十分方便。

每个通道可以任意选择 Signal In, Ref In, Aux In 等信号作为数据源，数据长度可选 8192、16384、32768、65536，需要注意的是数据长度越长上位机软件 PC 占用越高。

用户选择好通道的信号源后，需要设置触发信号源，触发信号源可以选择多种信号或者连续触发。常用做法是用户想观察 Signal In1 信号，那么需要同步设置触发源为 Signal In1 信号，进行 RISIGN 上升沿过零检测，使得零时刻触发点在信号过零点。

当希望观察更长时间的信号或选择了 Aux In 等非 1GSPS 数据源，那么用户需要改变示波器采样速率，采样速率越低相同数据长度对应的时间更长。

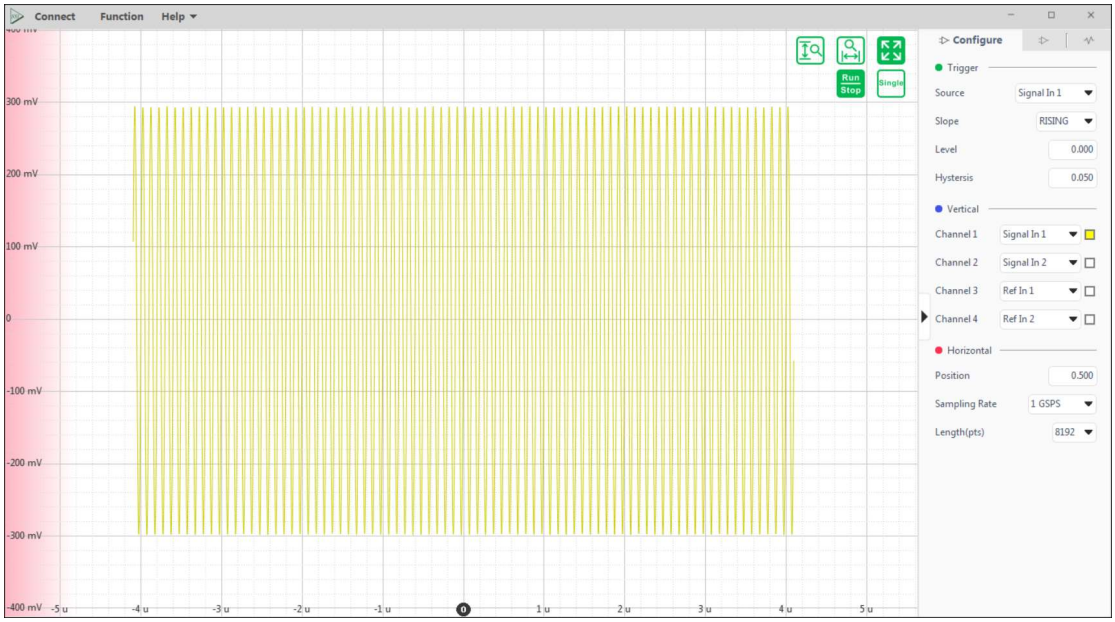

图62. 示波器功能页面

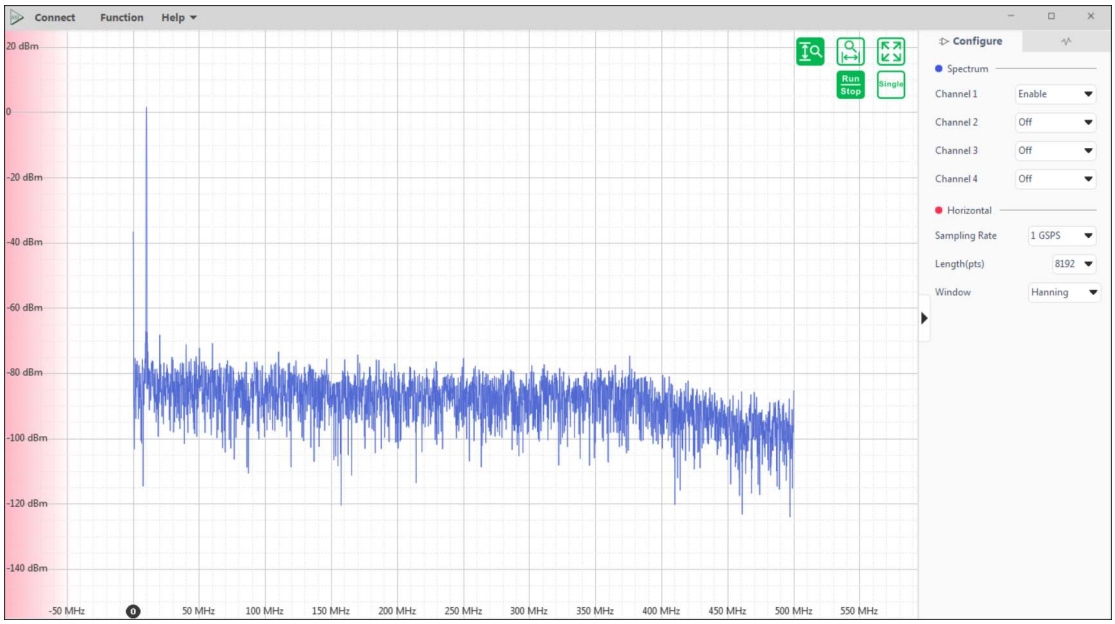

图63. 频谱仪功能页面

四通道频谱仪的数据来源是示波器的数据，用户需要现在示波器页面进行配置后再到频谱仪页面打开信号进行观察。另外，频谱仪页面可以同步修改采样速率和数据长度，以便用户在频域上进行缩放。

6.3.2 PID 控制器功能

OE2052 为用户提供了双通道的 PID 控制器，可以实现复杂的控制场景。PID 控制器的输入可以来自解调器的 X/Y/R/θ、AUXIN、AUXOUT，输出可以控制 AUXOUT、振荡器的频率、解调器的基频解调频率、解调器的相位偏置、SIGOUT 的幅度。

PID 控制器除比例控制、积分控制、微分控制基本功能外，还具有积分饱和限制和微分滤波功能。传输函数如下，其中K_p比例系数、K_i积分系数、K_d微分系数、T_{df}微分滤波器时间常数（f_{df}微分滤波器带宽）。

$$\mathrm{H(s)} = K_p + \frac{K_i}{s} + \frac{sK_d}{s+T_{df}} = K_p + \frac{K_i}{s} + \frac{sK_d}{s+\frac{1}{2\pi f_{df}}}$$

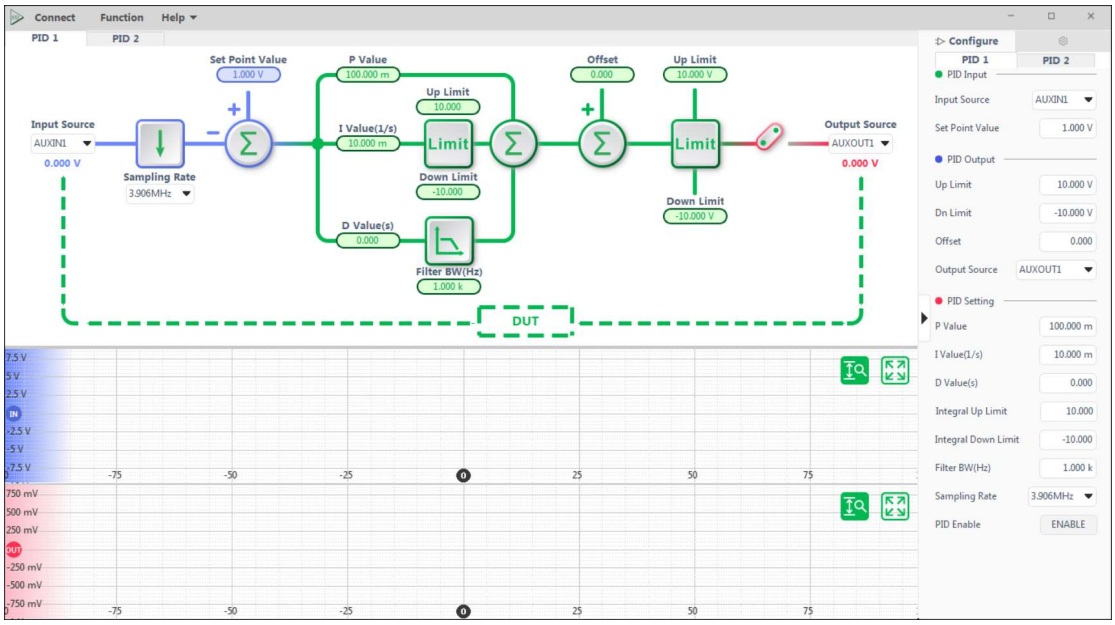

图64. PID 控制器页面

用户如果更倾向使用P_{dB}比例增益系数、f_i积分带宽、f_d微分带宽的 PID 控制器描述方式，可以由以下公式进行换算

$$\mathrm{H(j\omega)} = K_p\left[1 + \frac{f_i}{jf} + \frac{jf}{f_d}\frac{1}{1+\frac{jf}{f_{df}}}\right]$$

$$\begin{cases} K_p = 10^{\frac{P_{dB}}{20}} \\ K_i = 2\pi f_i K_p \\ K_d = \dfrac{K_p}{2\pi f_d} \end{cases}$$

例如$P_{dB} = 0dB, f_i = 10Hz, f_d = 10kHz$，代入后可以计算出$K_p = 1, K_i = 62.832, K_d = 1.592 \times 10^{-5}$，微分滤波带宽$f_{df}$可以最高设置至 1MHz。

6.3.3 参数扫描仪功能

OE2052 上位机为用户提供了参数扫描仪功能，可以实现频率扫描和输出幅度扫描，为测试频率响应和幅度扫描提供便利。用户可在参数扫描仪界面配置滤波器时间常数和陡降，注意步进时间需要最够长，以减小参数改变后带来的数据波动。

图65. 参数扫描仪页面