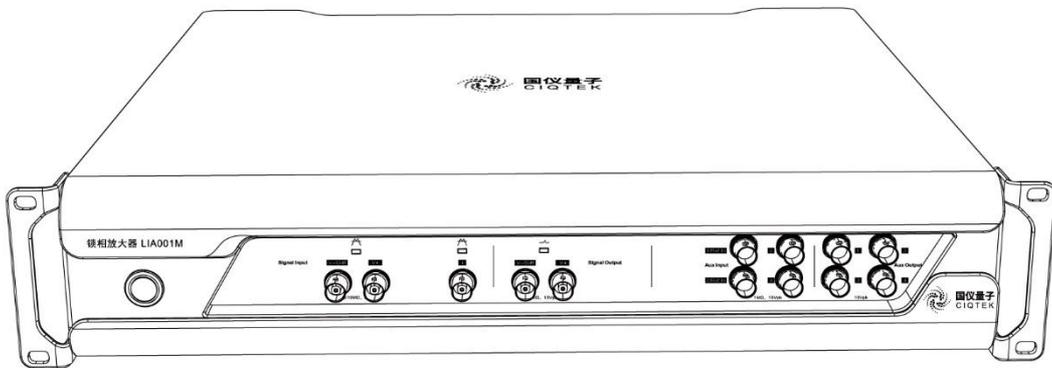


用户手册

LIA001M 锁相放大器



版权所有

© 2023 国仪量子（合肥）技术有限公司版权所有。

- 未经我司事先书面同意，不得以任何形式，包括：影印、复制、电子存储或者改编本手册的任何部分。
- 本手册提供的信息取代以往出版的任何资料。
- 用户一旦使用产品，即视为对本声明的全部内容认可和接受。

商标信息

- National Instruments 和 LabVIEW 是美国国家仪器公司在美国和/或其他国家的商标或注册商标；
- MATLAB 是美国 MathWorks 公司在美国和/或其他国家的商标或注册商标；
- Microsoft、Microsoft Visual C++、Internet Explorer、MS-DOS、Windows、Windows Vista、Windows 7、Windows 8、Windows 8.1 和 Windows 10 是微软公司在美国和/或其他国家的注册商标或商标。
- 本手册中出现的其他公司名和产品名均属于各自公司的商标或注册商标。

版本历史

本手册版本为 V2.1.0，全部产品使用手册的版本主要修订记录如下：

版本	更新时间	更新内容	备注
V1.0.0	2020.08.03	LIA001M 锁相放大器用户手册初始版本	
V1.1.0	2022.11.17	增加“Stage Ctrl（平台控制）”和“PID/PLL（反馈控制器）”功能说明	
V2.0.0	2023.03.08	删除“Stage Ctrl（平台控制）”功能；增加“I/O（输入输出）”、“DAQ（数据采集）”功能；增加 PID 和多解调器功能选件安装	
V2.1.0	2023.07.04	增加“Demo（简易模式）”；增加“Stage Ctrl（平台控制）”和 5M 解调频率选件安装	
V2.2.0	2023.10.16	增加“AM/FM（调幅/调频）”	本版本手册支持 V5.0.8 及以上软件使用

保证和声明

软件版本

软件升级可能会修改产品功能，请联系国仪量子（合肥）技术有限公司升级软件，必要时我司会主动与您联系。

声明

- 本公司产品受中国及其他国家和地区的专利（包括已取得和正在申请的专利）保护。
- 本公司拥有改变产品规格及价格的权利。
- 本手册提供的信息取代以往出版的任何资料。
- 未经我司事先书面许可，不得影印、复制或改变本手册的任何部分。
- 用户一旦使用产品，即视为对本声明的全部内容认可和接受。

质保

公司货物免费保修一年，时间自最终验收合格并交付使用之日起计算。

联系我们

- 电子邮箱: service@ciqtek.com
- 电 话: 4000606976-602
- 企业官网: www.ciqtek.com

安全注意事项

一般安全概要

为避免可能的危险以及防止损坏本产品和与本产品连接的任何设备，用户需了解以下安全措施，并按照规定使用本产品。

使用正确的电源线

为避免对操作人员造成伤害或损坏产品，请使用本产品专用并经所在国家/地区认证的电源线。

确保供电电源正确

为避免对操作人员造成伤害或损坏产品，请在使用产品前仔细阅读本手册，并确保产品供电电源正确。

将产品接地

本产品通过电源电缆的保护接地线接地，为避免电击，在连接本产品的任何输入或输出端子之前，请确认本产品电源电缆的接地端子与保护接地端可靠连接。

断开电源

电源开关可以使产品断开电源，请参阅有关位置的说明，勿将设备放在难以断开电源开关的位置，确保产品需要快速断开电源连接时，用户可以随时操作电源开关。

查看所有终端额定值

为避免起火和过大电流的冲击，请遵守产品上所有的额定值和标记说明；在连接产品之前，请先查看产品手册，了解额定值的详细信息。

使用合适的过压保护

确保没有过电压（如由雷电造成的电压）到达该产品，否则操作人员可能有遭受电击的危险。

请勿开盖操作

请勿在仪器机壳打开时运行本产品。

避免接触裸露电路

产品接通电源时，请勿接触任何裸露的接点和部件。

怀疑产品出故障时，请勿进行操作。

怀疑产品出故障时，请勿进行操作，如果您怀疑本产品出现故障，请联络售后维修人员进行检测；任何维护、调整或零件更换必须由我公司维修人员执行；为防止触电，非本公司授权人员，严禁拆开机器。

保持良好的散热条件

为避免因电路板过热而损坏，在使用本产品的过程中请勿堵住通风口。

请勿在潮湿环境下操作仪器

为避免产品内部电路出现短路等危险情况，请勿在潮湿环境下操作仪器。

请勿靠近易燃易爆物品

为避免人身伤害或产品损坏，严禁易燃易爆物靠近本产品。

远离高温环境

为避免发生危险，严禁将本产品放置于高温环境中。

请保持产品表面的清洁和干燥

为避免灰尘或空气中的水分影响仪器性能，请保持产品表面的清洁和干燥。

防静电保护

静电会造成仪器损坏，应尽可能在防静电区进行测试，在连接电缆到仪器前，应将其内外导体短暂接地以释放静电。

注意搬运安全

为避免对产品面板上的按键、接口、指示灯等部件造成损坏，请注意搬运安全。

严禁不具备操作能力的人使用本产品

为避免造成人身伤害或产品损坏，严禁不具备操作能力的人（未经过培训的人）使用本产品。

异常处理

异常故障	处理
风扇工作不正常或不工作	立即关闭仪器，防止电子元件过热而损坏。
电源线或电源插头损坏	立即关闭仪器，防止仪器过热、电击或起火等危险。 请使用本产品专用并经所在国家/地区认证的电源线。
仪器散发烟气、异常的噪音、气味或火花	立即关闭仪器，以免造成更大的损坏。
仪器损坏	立即关闭仪器，确保仪器不会发生意外操作。

安全术语和符号

以下术语和符号可能出现在本手册中：



警告

警告性声明指出可能会造成人身伤害或危及生命安全的情况或操作



注意

注意性声明指出可能导致本产品损坏或数据丢失的情况或操作

以下术语和符号可能出现在产品上：

“**危险**”表示您看到该标记时可直接导致人身伤害的危险。

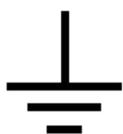
“**警告**”表示您看到该标记时不会直接导致人身伤害的危险。

“**注意**”表示会对本产品或其他财产造成损害的危险。

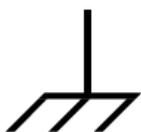


注意请参阅手册

这将通知用户潜在的危险，并表明用户必须参考说明书。



接地端子



壳体接地



表示电源开关的 ON 位置



表示电源开关的 OFF 位置

使用和保养

1. 请勿将仪器放置在高温、湿气极重或受日光直射的地方；
2. 请勿将仪器暴露在灰尘、烟雾或蒸汽中；
3. 请勿将仪器放置在盐雾，酸碱及其它会产生腐蚀气体或物质环境中；
4. 请勿将液体或小颗粒掉入仪器中；
5. 请勿将仪器放置在倾斜、不平稳或易受振荡的地方；

6. 请勿投掷、掉落或踩踏仪器，或使仪器受到强烈的外力冲击；
7. 请勿在仪器上放置重物；
8. 请勿触摸或将异物插入仪器的端子部分。

清洁

请根据使用情况定期对仪器进行清洁，方法如下：

1. 请在开始清洁前，先自电源插座中拔出交流电源线；
2. 使用软布轻柔拭擦，请勿使用溶剂或其他化学药剂来清洁主机外壳；
3. 连接端子若不干净，请勿继续使用，使用干布或者棉质纱布擦拭灰尘，

若在脏污时使用，可能损坏设备或者影响设备性能。



注意

请勿使任何腐蚀性的液体沾到仪器上，以免损坏仪器。



警告

重新通电之前，请确认仪器已经干透，避免因水分造成电气短路甚至人身伤害。

环保处置

本产品中包含的某些物质可能会对环境或人体健康有害，为了避免将有害物质释放到环境或危害人体健康，切勿将本仪器处理为未分类的废弃物，本仪器需做分类回收，以确保大部分材料可以正确地重复使用或回收，有关处理或回收信息，请联系当地相关部门。

目录

版权所有	1
商标信息	1
版本历史	1
保证和声明	2
安全注意事项	3
一般安全概要	3
异常处理	5
安全术语和符号	5
使用和保养	6
清洁	7
环保处置	7
1. 使用前准备	12
1.1 拆包与检查	12
1.1.1 检查运输包装	12
1.1.2 检查包装内容	12
1.1.3 检查整机	13
1.1.4 存储、重新包装、运输	13
1.2 仪器的安装	14
1.2.1 一般注意事项	14
1.2.2 安装环境	15
1.3 连接电源	15
1.4 打开/关闭仪器	17
1.5 软件安装	18
1.6 设置网络 (LAN) 连接	22
1.7 打开操作软件	23

1.8 软件升级和固件升级.....	25
1.8.1 LIA001M 操作软件在线升级.....	25
1.8.2 LIA001M 固件在线升级.....	26
2. 功能概述	30
2.1 锁相放大器基本原理.....	30
2.2 LIA001M 功能原理.....	32
2.2.1 LIA001M 功能原理图.....	32
2.2.2 LIA001M 主要功能介绍.....	33
2.3 LIA001M 面板布局介绍.....	35
2.3.1 LIA001M 前面板.....	35
2.3.2 LIA001M 后面板.....	36
2.3.3 LIA001M 侧面板.....	37
3. 快速启动	39
3.1 运行前准备.....	39
3.2 产生一个测试信号.....	40
3.3 测试信号输入.....	42
3.4 解调测量测试信号.....	46
4. 软件界面功能介绍	49
4.1 连接界面.....	49
4.2 操作主界面概述.....	51
4.2.1 全局参数设置区功能介绍.....	52
4.2.2 设备功能选项介绍.....	53
4.3 “DEVICE（设备）”功能介绍	54
4.4 “LOCK-IN（锁相放大器）”功能介绍.....	57
4.5 “PARAMS（参数表）”功能介绍	64
4.6 “DATA NUMERIC（数据数值显示）”功能介绍	70

4.7 “DATA DISPLAY（数据绘图）”功能介绍	72
4.8 “SCOPE（示波器）”功能介绍	76
4.9 “AUX（辅助）”功能介绍	82
4.10 “SWEEPER（参数扫描）”功能介绍	84
4.11 “PID（反馈控制器）”功能介绍（需安装PID选件）	90
4.12 “IO（输入输出）”功能介绍	93
4.13 “DAQ（数据采集）”功能介绍	97
4.14 “DEMO（简易模式）”功能介绍	103
4.15 “STAGE CTRL（平台控制）”功能介绍（需同时安装STAGE CTRL及PID 选件）	108
4.16 “AM/FM（调幅/调频）”功能介绍（需同时安装AM/FM选件及多解 调器选件）	110
4.17 “SETTING（设置）”功能介绍	116
5. 示例教程	119
5.1 外部参考解调测试	119
5.1.1 运行前准备	119
5.1.2 测试信号输入	120
5.1.3 解调测量测试信号	123
6. 技术规格指标	126
6.1 技术规格指标	126
6.2 部分关键性能说明	136
6.2.1 LIA001M 锁相放大器的电压输入噪声密度	136
6.2.2 LIA001M 锁相放大器的电流输入噪声密度	137
6.2.3 LIA001M 锁相放大器的相位噪声	137
6.2.4 LIA001M 锁相放大器的信号输出的噪声密度	138
7. 信号处理基础	139

7.1 滤波器的带宽和时间常数.....	139
7.2 滤波器稳定时间.....	141
7.3 满量程灵敏度.....	142
7.4 动态储备.....	143
7.5 SINC 滤波器.....	143
8. 接口程序调用	145
8.1 C++ API 接口程序及调用示例	145
8.1.1 调用说明	145
8.1.2 接口说明	146
9. LIA001M FAQs (常见问题解答)	153

1.使用前准备

本章主要概述收到仪器后必须进行的一些检查以及在安装使用仪器之前必须了解和具备的条件等。

1.1 拆包与检查

1.1.1 检查运输包装

LIA001M 锁相放大器出厂前已进行完整测试和严格检查，但运输过程中仍可能出现损坏情况，请在签收产品前进行详细检查。

- 用户收到产品后，请先检查包装是否完整，如果发现包装纸箱严重破损，请保留被损坏的包装，直到整机和附件通过电性和机械性测试。因运输造成仪器损坏，由发货方和承运方联系赔偿事宜。国仪量子（合肥）技术有限公司恕不进行免费维修或更换。
- 如果仪器的包装完好，请您核对一下您所订购的仪器型号和包装箱上所注的型号是否一致；如果不一致，请与供应商或国仪量子（合肥）技术有限公司联系。

1.1.2 检查包装内容

根据装箱清单检查货品是否完整，是否与订单相符合，如有损坏或缺失，请与供应商或国仪量子（合肥）技术有限公司联系。

请您保存好原包装材料，以便在以后运输或存储使用。

包装内容：

本产品提供以下的随机配件：

包装内容	数量	单位
LIA001M 锁相放大器	1	台
附件		
电源线	1	根
LIA001M 锁相放大器用户手册	1	份

U 盘（含 LIA001M 用户手册和 LIA001M 操作软件安装文件）	1	套
网线	1	根
合格证	1	份
检验报告	1	份

1.1.3 检查整机

如产品存在机械损坏，或者产品未通过性能测试，请及时与供应商或国仪量子（合肥）技术有限公司联系。并提供损坏处的照片，便于提供服务。

1.1.4 存储、重新包装、运输

仪器若需要长时间存储设备，需要将其存放在特定的环境条件下：

- 使用原包装箱重新打包，保留干燥。
- 存储温度范围-10℃~50℃，相对湿度范围 0~95%，无冷凝。
- 使用防尘帽将信号或者检测接口封堵防护。

仪器若需要重新包装运输，需要注意以下要求：

- 1、在重新包装运输时，使用足够强度和空间的纸箱方式仪器，并使用填充。
- 2、在运输过程中，请注意避免剧烈震动影响。

1.2 仪器的安装

1.2.1 一般注意事项

LIA001M 锁相放大器可在实验室或生产线环境中使用，可采用桌面安装或 19 英寸 IEC 机架安装两种方式。

注意



1. 本产品采用强制风冷扇热设计，确保出风口与进风口通畅，不要用物体挡住进、出风口，否则可能使仪器内部温度过高，进而导致仪器的损坏。（最小距离不小于 10 cm）
2. 桌面安装时，工作台表面必须平坦，且仪器需要水平放置，不得使用侧面或者背面放置，以免损坏设备接口或者设备跌落的风险。

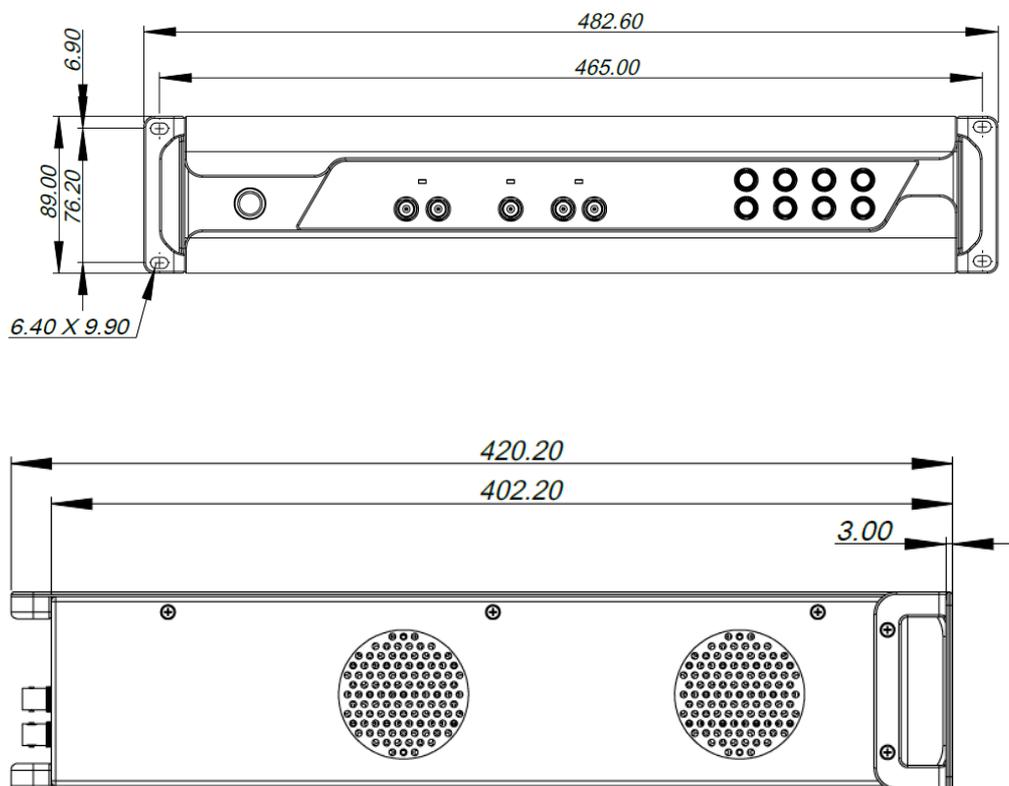


图 1.2.1-1 LIA001M 板机架安装尺寸

1.2.2 安装环境

本产品安装温度和湿度环境需要满足：

特性	说明
温度	工作温度：0℃～40℃ 存贮温度：-10℃～50℃
存储相对湿度	≤95%，无凝露
工作相对湿度	≤90%，无凝露
工作海拔	≤2000 米
安装（过电压）类别	本产品由符合安装（过电压）类别 II 的主电源供电。
其他	1.不得在有易燃易爆气体的环境安装或者使用仪器。 2.不得在室外、阳光直射的地方、靠近火源或热源的环境安装或者使用仪器。 3.远离油烟、蒸汽、灰尘、腐蚀性气体及其他污染物。 4.远离机械振动。 5.远离强电磁场、高压设备/电源线或脉冲噪声源。

1.3 连接电源

连接电源线前，请仔细阅读安全信息，疏忽下述警告可能会导致触电或仪器受损。

警告



1. 确保插座电压与 LIA001M 锁相放大器的额定电压相吻合。
2. 确保 LIA001M 锁相放大器的电源开关为 OFF 状态。
3. 确保电源线是原厂提供 LIA001M 锁相放大器专用电线，使用不合适的电源线可能会引起触电或火灾。
4. 确保将电源线插在标准的带保护地线的 3 脚插座中。
5. 禁止使用不接地的延长线。

LIA001M 锁相放大器配有一个交流电源连接器，可以使用不同的交流电源电压，并能够自适应这些电压，请参阅技术规格指标章节说明，交流电源连接器位于仪器的后面板上。



- 1、确保后面板上的电源开关置为"O"；
- 2、确保前面板上的电源开关状态为 OFF；
- 3、将随供的电源线插进 LIA001M 锁相放大器后面板上的电源接口；
- 4、将电源线的另一端插入带接地保护的 3 脚插座中，接地插座要求如下：

额定电源电压：220±10% VAC

允许电压范围：90~264 VAC

额定电源频率：50/60 Hz

允许电源频率范围：47~65 Hz

最大电源功耗：<60 W

注意



1. 电源输入相线 L、零线 N、地线 E 应与本仪器电源插头相同。
 2. 仪器内部采用高性能电源设计方案减少因 AC 电源端输入带来的杂波干扰，但仍应尽量在低噪声的环境下使用该仪器，如果无法避免，请安装电源滤波器。
-

保险丝额定值：

额定电压：250 VAC

额定电流：10 A

保险丝的更换方法可按如下步骤进行：

- (1) 关闭仪器，移除电源线。
- (2) 使用小一字螺丝刀插入电源插口处的凹槽，轻轻撬出保险丝座。
- (3) 取出保险丝，更换指定规格的保险丝。

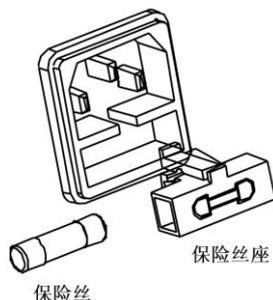


图 1.3-1 电源连接器保险丝

**警告**

为了避免人身伤害，更换保险丝前，请先切断电源；为避免电击和火灾，连接电源前，请选择合适的电源规格，并更换该规格下的保险丝。

1.4 打开/关闭仪器

打开仪器前，请确认机器正确安装且电源已正确连接。

打开仪器

- 1.将后面板上的交流电源开关拨到位置"I"。
- 2.按下前面板上 ON/OFF 键。

启动后，前面板上 ON/OFF 键上的 LED 指示灯亮启，表示产品电源已接通。

**注意**

如果要得到高精度的测量结果，开机后 LIA001M 锁相放大器至少需要 10 分钟的预热时间。请保持环境温度为： $23\pm 2^{\circ}\text{C}$ ，湿度为： $50\pm 10\% \text{RH}$ 。

关闭仪器

1.按下前面板上 ON/OFF 键，关闭后，前面板上 ON/OFF 键上的 LED 指示灯关闭。

2.将后面板上的交流电源开关切换到位置"O"，或将仪器从交流电源上断开。

LIA001M 锁相放大器将进入关机模式。

注意

存在数据丢失的风险



如果直接关闭后面板上的开关或通过断开电源线关闭正运行中的仪器，那么仪器的当前设置将会丢失且程序数据也可能丢失。

为了正确关闭应用程序，请先关闭 ON/OFF 键关机后再关闭后面板上的开关和断开电源线。

1.5 软件安装

将本产品提供的随机 U 盘安装至将要使用的操作电脑上，打开 U 盘，找到 LIA001M 锁相放大器的操作软件安装文件 LIA001MS5.exe（如图 1.5-1 所示），用户也可到我司的官方网站（<https://www.ciqtek.com>）下载操作软件安装文件，具体的下载的路径如下：

- 1) 产品中心→量子测控系列产品→锁相放大器（LIA001M）；
- 2) 服务中心→下载中心→锁相放大器；



图 1.5-1 LIA001M 安装文件

1、双击 LIA001MS5.exe 安装文件，进入软件安装向导界面（注意 LIA001M 的操作软件需要 Windows 管理员权限），如图 1.5-2 所示。



图 1.5-2 LIA001M 安装向导页面

2、仔细阅读安装说明后，点击“浏览”选择你所需要安装的路径和文件夹（软件安装的默认路径为：C:\Program Files\LIA001MS5 文件夹），如图 1.5-3 和图 1.5-4 所示。



图 1.5-3 LIA001M 安装向导页面

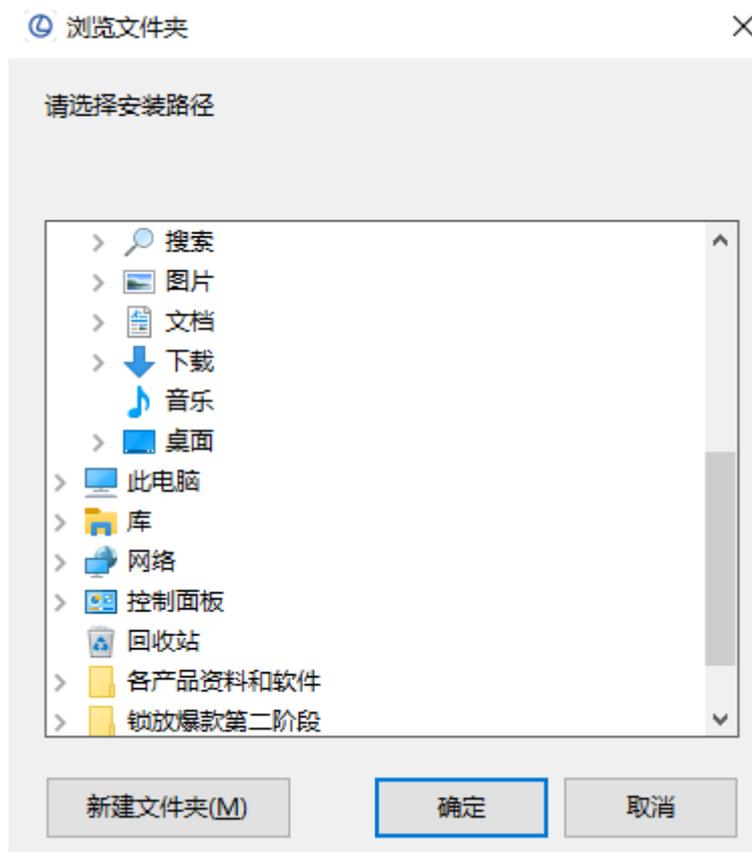


图 1.5-4 选择安装路径

3、选择好安装路径后，勾选“我已经阅读并同意用户许可协议”，点击“快速安装”确认安装操作软件，进入软件安装进程（如图 1.5-5 和图 1.5-6 所示），点击“X”则取消本次安装。



图 1.5-5 确认安装

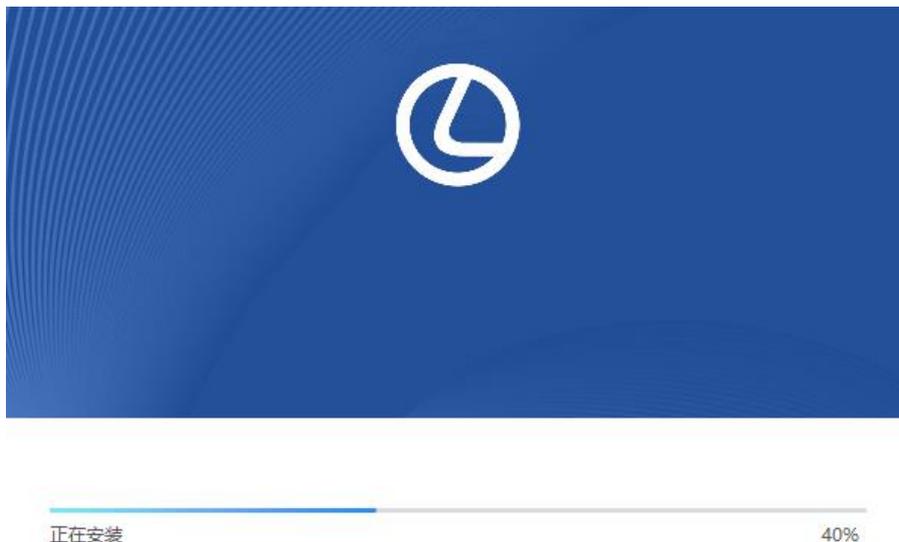


图 1.5-6 操作软件安装进程

4、等待安装进程完成，提示安装完成，点击“开始使用”自动打开操作软件，点击“”关闭软件，如图 1.5-7 所示：



图 1.5-7 操作软件安装完成

1.6 设置网络(LAN)连接

LIA001M 锁相放大器配备网络接口，可连接到以太网 LAN（局域网）或者直接连接上位机，只需要保证设备与上位机处于同一局域网中，即可直接连接设备。

LIA001M 锁相放大器提供两种方法可以建立仪器的局域网连接：

1、使用我司专用的或者符合当地标准的 RJ45 网线将设备的网络接口连接至集线器、交换机或者网关等，建立仪器至现有网络的非专用网络（以太网）连接。仪器将被分配一个 IP 地址，可以与计算机共处于同一个网络中。

2、使用我司专用的或者符合当地标准的 RJ45 网线将设备直接连接至上位机 PC，建立仪器到计算机的专用网络连接（点对点连接），计算机必须配装网络适配器，这种模式无需使用集线器、交换机或者网关。LIA001M 操作软件不支

持跨网段连接，需手动修改上位机静态 IP 地址和设备至同一网段，即可直接连接设备。



注意

若上位机与设备的 IP 地址不在同一网段时，需在上位机操作软件将手动修改仪器的固定 IP 地址。

3、连接网络后，请检查网口出的连接指示灯是否亮起，如图 1.6-1 所示。



图 1.6-1 网络连接状态指示

注：设备默认采用静态 IP 地址模式，随机设置出厂 IP 地址，详见设备标签页；连接进入设备后可在“Device（设备）”功能模块中设置静态 IP 地址模式；设备目前支持千兆局域网环境中使用。

1.7 打开操作软件

1、LIA001M 操作软件默认安装会在桌面建立快捷方式，双击桌面快捷方式（如图 1.7-1 所示）或者在 Windows 开始菜单中找到 LIA001M 程序（如图 1.7-2 所示），打开软件，进入设备连接界面。



图 1.7-1 LIA001M 操作软件快捷方式

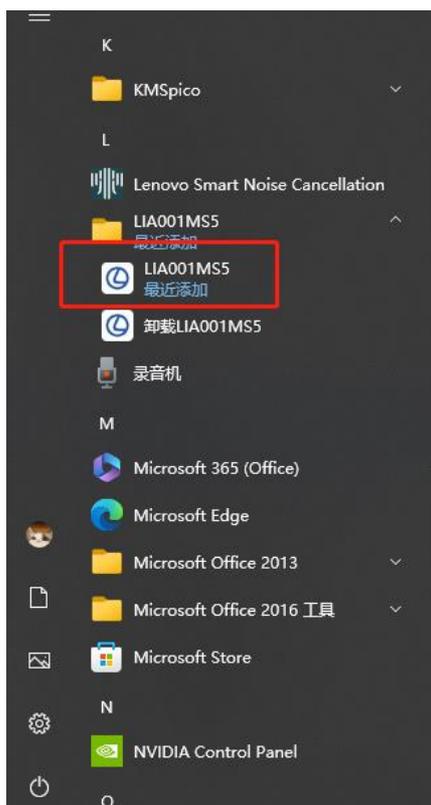


图 1.7-2 LIA001M 程序

2、进入设备连接界面，选中需要连接的设备，点击“Connect（连接）”（如图 1.7-3 所示）。

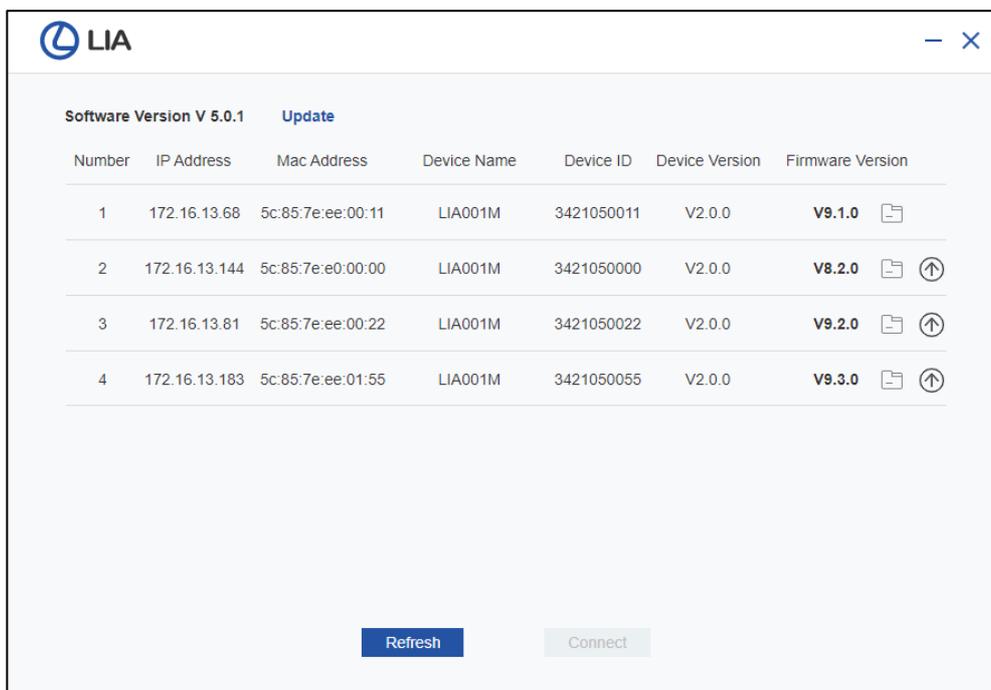


图 1.7-3 LIA001M 操作软件连接界面

1.8 软件升级和固件升级

LIA001M 支持操作软件和固件程序远程升级，同时固件可进行本地升级，可满足客户不同场景下升级需求。

1.8.1 LIA001M 操作软件在线升级

LIA001M 操作软件支持在线实时检测更新信息，设备已连接互联网的情况，用户点击打开操作软件进入连接页面时将自动检测是否有可更新的操作软件，如图 1.8.1-1 所示，客户可点击“Remind next（下次提醒）”按钮忽略本次更新提醒或者点击“Update（更新）”进入软件升级流程。

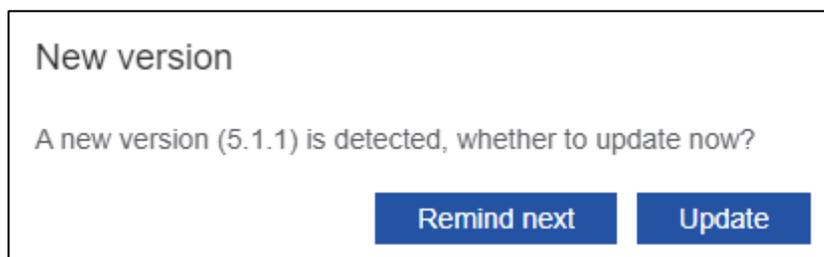


图 1.8.1-1 检测软件更新提示

1、点击“Update（更新）”按钮后，进入软件更新文件下载流程，如图 1.8.1-2 所示。

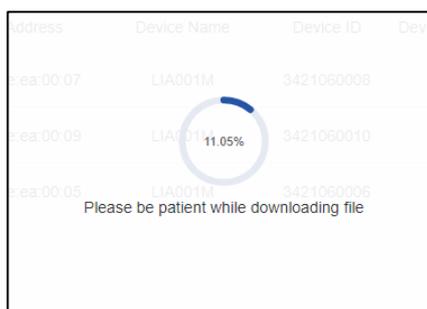


图 1.8.1-2 软件更新文件下载

2、更新文件下载完成后，将进入更新文件安装流程，其于软件安装流程一致，详情参见 1.5 章节介绍。

3、客户可点击“Remind next（下次提醒）”按钮忽略本次更新后，进入设备连接界面，设备连接界面左上角将显示当前软件版本号和需要更新的状态，如图 1.8.1-3 所示。

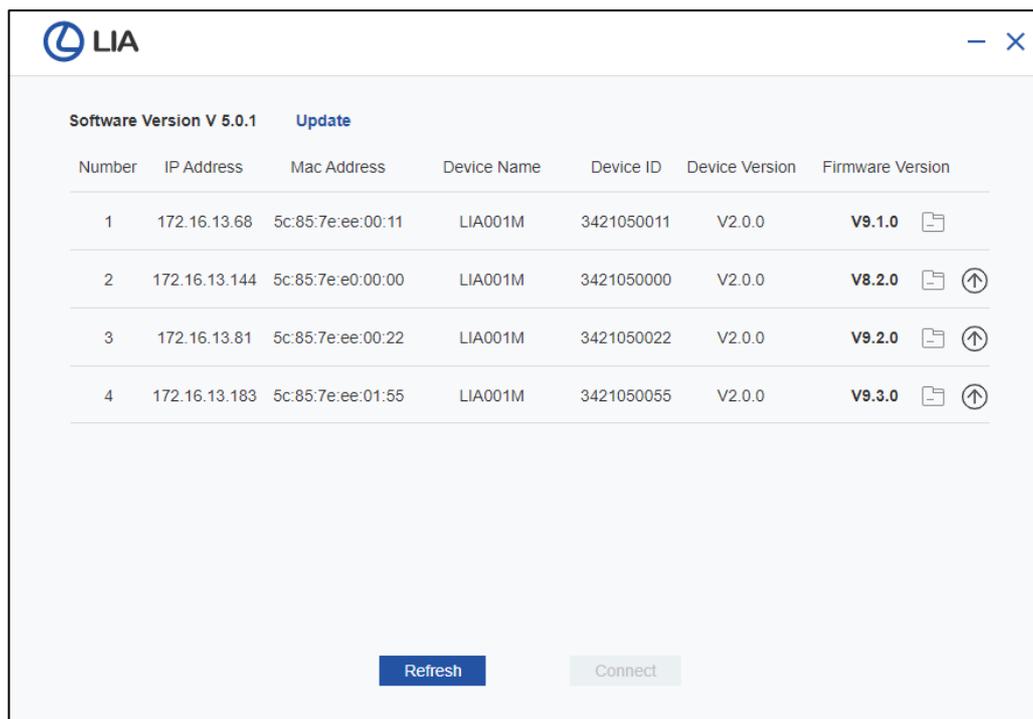


图 1.8.1-3 连接界面

4、点击“Update（更新）”按钮，弹出软件更新提醒信息如图 1.8.1-4 所示，点击“Update（更新）”进入软件更新流程，详情参见上述步骤 1 和 2 介绍。

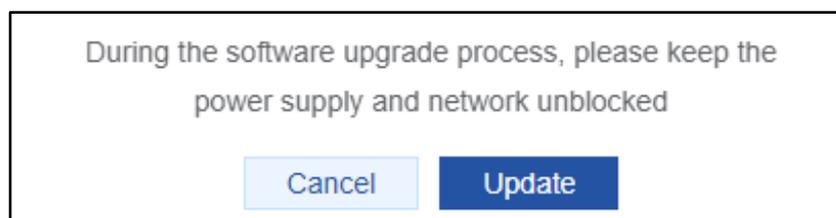


图 1.8.1-4 软件更新提醒

5、点击“Cancel（取消）”按钮，忽略本次软件更新返回设备连接界面。

1.8.2 LIA001M 固件在线升级

LIA001M 设备固件程序支持在线实时检测更新信息的功能，设备已连接互联网的情况，用户点击打开操作软件进入连接界面后，将在局域网搜索到设备列表的左面显示设备的固件程序是否需要更新，如图 1.8.2-1 所示。

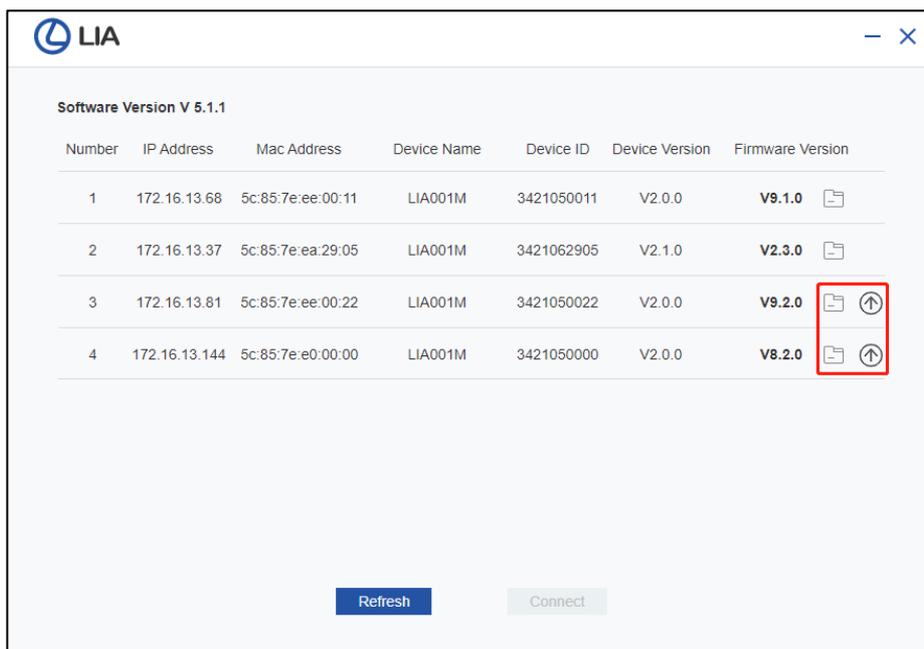


图 1.8.2-1 连接界面设备固件可升级状态显示

若需要更新，可单击  或  控件，进入固件在线或本地更新流程，若不需要更新忽略即可。

固件在线升级：

1、单击  控件，弹出固件更新提醒信息，如图 1.8.2-2 所示。

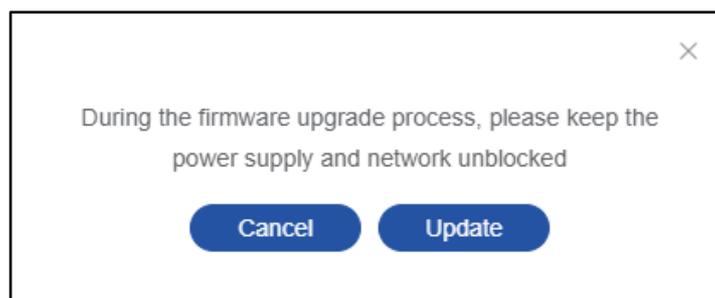


图 1.8.2-2 固件更新提醒信息

2、单击“Update（更新）”进入固件更新文件下载流程（如图 1.8.2-3 所示），单击“Cancel（取消）”退出固件更新流程返回设备连接界面。

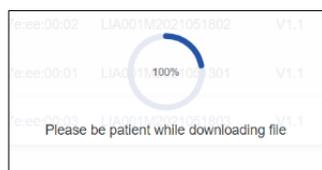


图 1.8.2-3 固件更新文件下载

3、固件更新文件下载完成后，操作软件将升级文件传输至设备硬件中，如 1.8.2-4 所示。



图 1.8.2-4 固件更新文件传输

4、等待设备固件自动更新完成后，将提示固件更新成功以及重启电源，如 1.8.2-5 所示，使用锁相放大器前面板上的电源按钮重启设备。

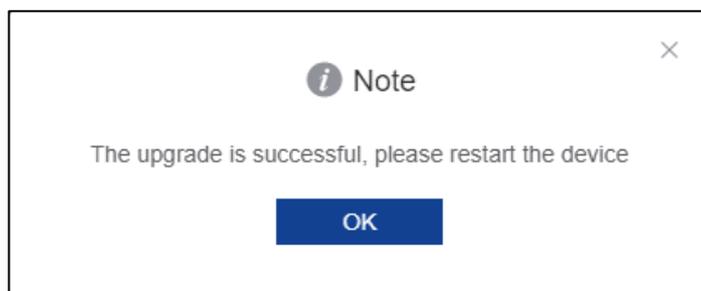


图 1.8.2-5 固件更新完成

固件本地升级：

1、点击  控件，弹出本地固件文件选择窗口，如图 1.8.2-6 所示。

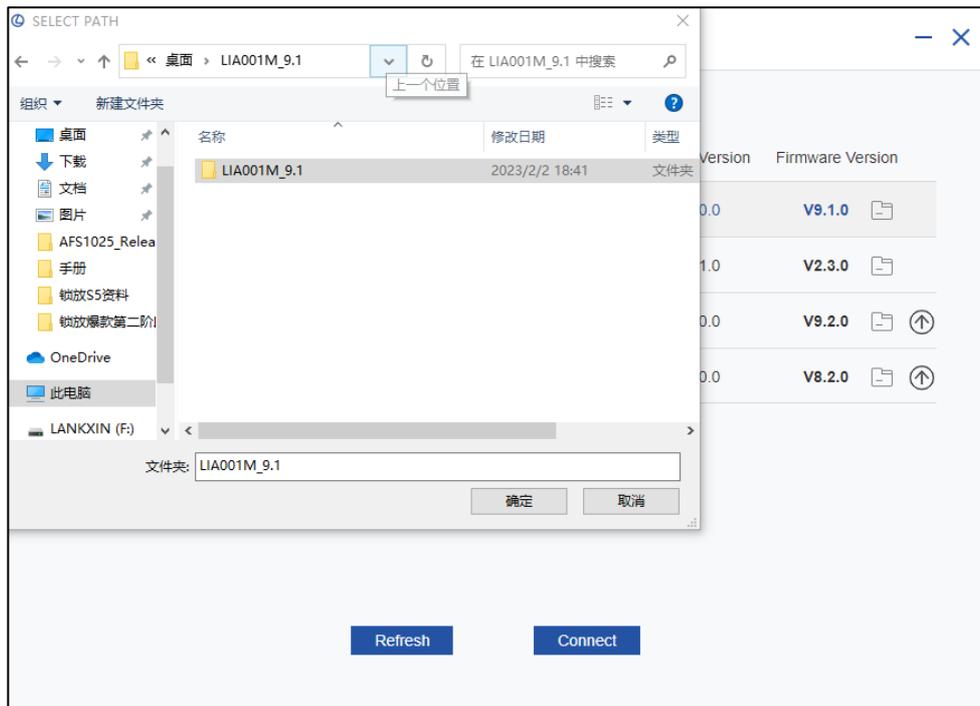


图 1.8.2-6 本地固件文件选择

2、选择本地固件文件夹，操作软件将升级文件传输至设备硬件中，如 1.8.2-7 所示。

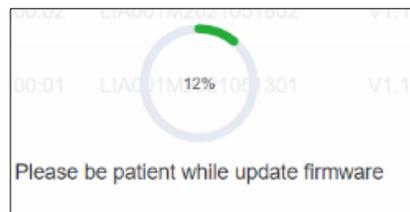


图 1.8.2-7 固件更新文件传输

3、等待设备固件自动更新完成后，将提示固件更新成功以及重启电源，如 1.8.2-8 所示，使用锁相放大器前面板上的电源按钮重启设备。

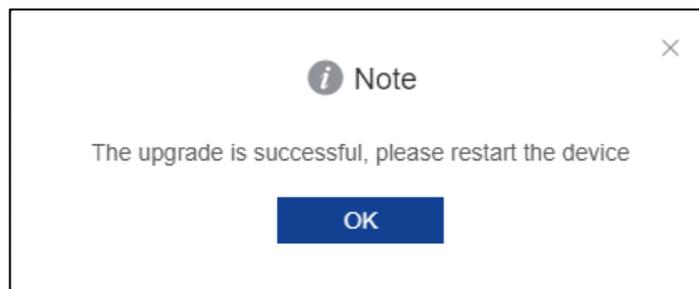


图 1.8.2-8 固件更新完成

2.功能概述

2.1 锁相放大器基本原理

锁相放大器(Lock-In amplifier, 简称 LIA)是提取噪声中微弱信号的常用仪器, 其利用待测信号和参考信号的互相关检测原理实现对信号的窄带化处理, 有效地抑制参考频率不相关的噪声分量, 实现对信号的检测和跟踪。锁相放大器具有抗干扰能力强、大幅提高信号信噪比、动态范围大、时间稳定性强等优点, 已广泛应用于物理、化学、生物、材料科学、通信和医学等领域。

锁相放大器核心技术为锁相解调(也被称为相敏检测), 是一种通过将信号与参考信号进行比较计算测量周期信号的幅度和相位的技术, 其基本结构由信号通道、参考通道、相敏检测器(Phase Sensitive Detector, 简称 PSD)、低通滤波器(Low Pass Filter, 简称 LPF)模块等四部分组成, PSD 将待信号通道的信号和参考信号通道的信号做乘法运算, 再通过一个低通滤波器将高频部分滤除, 即可以形成一路完整的单相锁相放大器功能架构, 如图 2.1-1 所示。

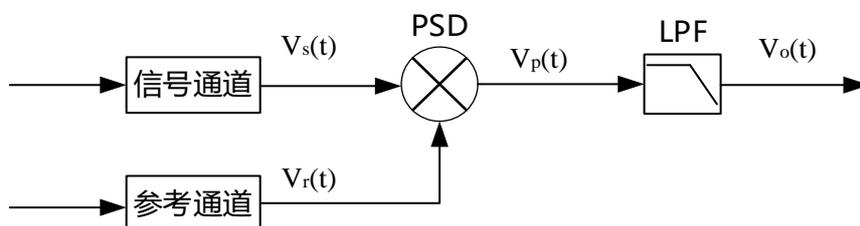


图 2.1-1 单相型锁相放大器结构图

$V_s(t)$ 是通过输入通道输入的掺杂了噪声的时域待测信号, 定义为:

$$V_s(t) = A_s \sin(\omega t + \alpha) + N(t), \quad (1)$$

其中 $A_s \sin(\omega t + \alpha)$ 是待测目标信号, 幅值为 A_s , 角频率为 ω , 相位为 α , $N(t)$ 是总噪声。

$V_r(t)$ 是通过参考通道输入的与待测信号有固定频率关系的参考信号, 定义为:

$$V_r(t) = A_r \sin(\omega t + \beta), \quad (2)$$

其中幅值为 A_r , 角频率为 ω , 相位为 β 。

两路信号同时输入 PSD 模块进行乘法操作, 得到的输出为:

$$V_p(t) = \frac{1}{2}A_s A_r \cos(\alpha - \beta) - \frac{1}{2}A_s A_r \cos(2\omega t + \alpha + \beta) + N(t)A_r \sin(\omega t + \beta), \quad (3)$$

公式 (3) 的结果由三部分组成，其中第一部分包含待测信号幅值 A_s 、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 $(\alpha - \beta)$ 的余弦值，在输入有用信号与参考信号解析均稳定且确定的情况下，可以认为该部分为一个固定值，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，理想状态下，将结果通入低通滤波器可以得到其直流部分如下：

$$V_o(t) = \frac{1}{2}A_s A_r \cos(\alpha - \beta), \quad (4)$$

由上述结果可知，只需要已知或者调解待测信号与参考信号的相位差 $(\alpha - \beta)$ 并确定参考信号幅值 A_r 即可得到待测目标信号的幅值 A_s ；但是实际情况很难调整或确定待测信号与参考信号的相位差 $(\alpha - \beta)$ ，为了解决这一问题，双相锁相放大器技术被提出，双相锁相放大器的原理架构图如图 2.1-2 所示。

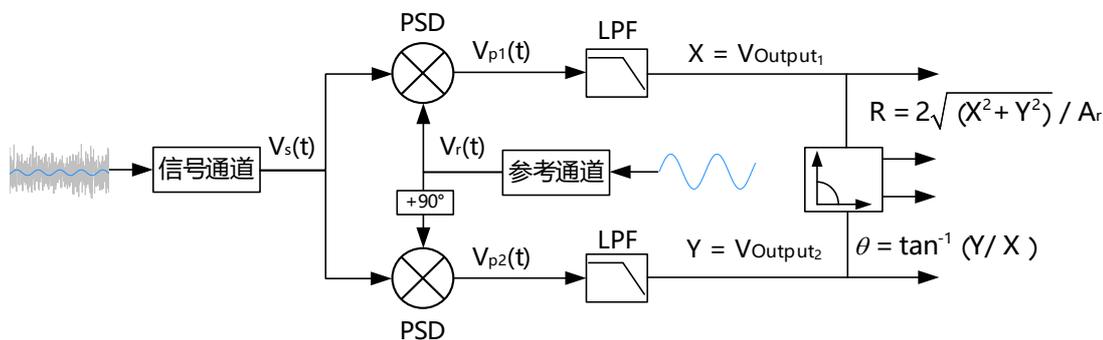


图 2.1-2 双相型 (LIA001M) 锁相放大器结构图

双相型锁相放大器，将待测信号分别输入两路相关解调通道，并将其中一路参考信号相位偏差 90° ，即：

待测信号: $V_s(t) = A_s \sin(\omega t + \alpha) + N(t)$, (5)

参考信号 1: $V_{r1}(t) = A_r \sin(\omega t + \beta)$, (6)

参考信号 2: $V_{r2}(t) = A_r \cos(\omega t + \beta)$, (7)

经计算可得到:

$$X = \frac{1}{2} A_s A_r \cos(\alpha - \beta), \quad (8)$$

$$Y = \frac{1}{2} A_s A_r \sin(\alpha - \beta), \quad (9)$$

令待测信号与参考信号的相位差 $\theta = \alpha - \beta$, 可以计算出不依赖于相位差的输出幅值:

$$R = A_s / \sqrt{2} = 2\sqrt{2(X^2 + Y^2)} / A_r, \quad (10)$$

$$\theta = \alpha - \beta = \tan^{-1}(Y/X), \quad (11)$$

2.2 LIA001M 功能原理

2.2.1 LIA001M 功能原理图

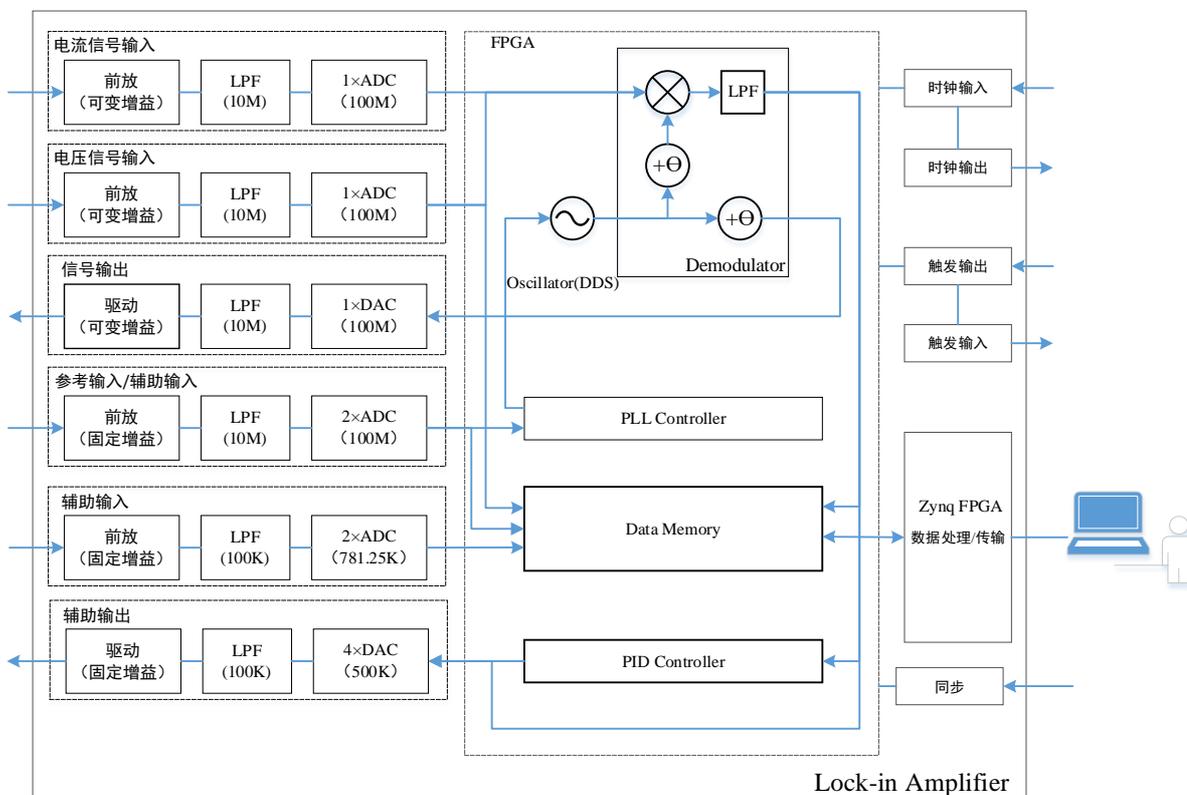


图 2.2.1-1 LIA001M 锁相放大器原理框图

2.2.2 LIA001M 主要功能介绍

1、参考模式

- 内部参考模式
- 外部参考模式
- 双参考模式
- 谐波检测模式

2、中频电压输入

- 低噪声中频电压输入、1 MHz/5 MHz（需安装 5M 选件）模拟带宽
- 单端和差分输出可选
- 支持 8 档输入范围调节
- 支持高阻和 50 Ω 输入阻抗调节
- 支持交/直流耦合调节
- 支持“接地”或“浮地”两种接地方式切换

3、中频电流输入

- 低噪声中频电流输入、1 MHz/5 MHz（需安装 5M 选件）模拟带宽
- 支持 8 档输入范围调节

4、中频信号输出

- 低失真中频信号输出、1 MHz/5 MHz（需安装 5M 选件）模拟带宽
- 单端和差分输出可选
- 支持 4 档输出范围调节
- 可编程直流偏置
- 模拟加法输出

5、解调与参考

- 1 个双相解调器（可安装选件扩展至 4 个双相解调器）
- 最多支持 2 个外部参考信号输入
- 滤波器的阶数和带宽任意可设置
- 陷波滤波器功能

- 64 位数字解调分辨率
- 48 位参考频率分辨率

6、辅助、触发、时钟输入输出功能

- 4 个用户自定义的辅助输出
- 4 个辅助输入
- 1 个触发输入和 1 个触发输出
- 10/100 MHz 参考时钟输入
- 100 MHz 参考时钟输出

7、高速连接

局域网 1 Gbit/s 控制器接口

8、其他操作软件功能

- 图形化锁相放大器
- 虚拟示波
- 数据绘图
- 参数扫描
- 数据采集

9、软件连接

- 支持多客户端的数据服务器
- 支持 C/C++ 等 API 接口

2.3 LIA001M 面板布局介绍

2.3.1 LIA001M 前面板

LIA001M 前面板 BNC 连接器和 LED 指示灯的布置参见如图 2.3.1-1 所示和表 2.3.1-1 说明。

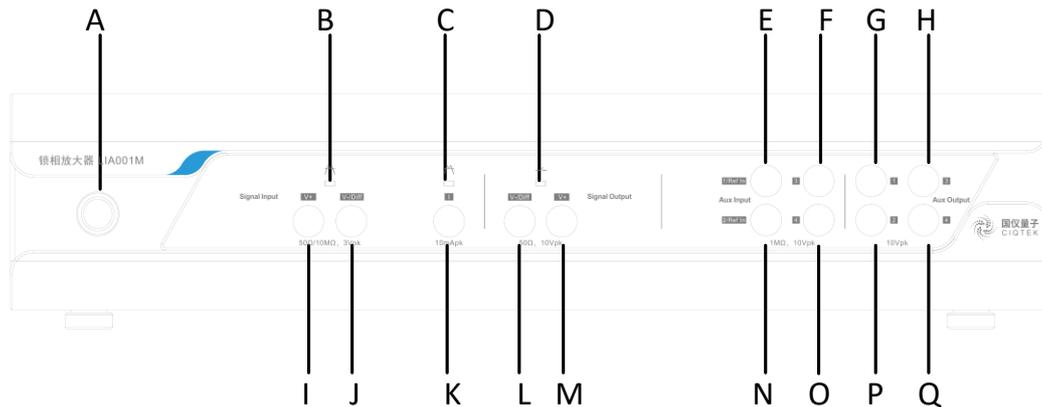


图 2.3.1-1 LIA001M 前面板

表 2.3.1-1 LIA001M 前面板说明

位置	名称	描述
A	电源开关	电源开关和上电状态 LED 指示灯
B	电压输入超限报警灯	当红色 LED 指示灯亮起时，表示电压输入信号已超过 A/D 转换器输入范围，必须改变电压输入量程或者减少电压输入信号的幅值。
C	电流输入超限报警灯	当红色 LED 指示灯亮起时，表示电流输入信号已超过 A/D 转换器输入范围，必须改变电流输入量程或者减少电流输入信号的幅值。
D	信号输出开关指示灯	当蓝色 LED 指示灯亮起时，表示信号输出已打开。
E	Aux Input 1/Ref In (辅助输入 1/参考输入 1)	辅助输入和外部参考输入复用 1 号接口，支持锁相放大器全信号带宽的外部输入；
F	Aux Input 3 (辅助输入 3)	辅助输入 3 接口
G	Aux Output 1 (辅助输出 1)	辅助输出 1，此接口用户可以自定义直流电压输出，或关联 X, Y, R, Phase 解调结果的电压信号输出。

H	Aux Output 3 (辅助输出 3)	辅助输出 3, 此接口用户可以自定义直流电压输出, 或关联 X, Y, R, Phase 解调结果的电压信号输出。
I	Signal Input V+ (电压输入 V+)	电压输入: 单端输入模式时, 单端电压输入 差分输入模式时, 正电压信号输入
J	Signal Input V-/Diff (电压输入 V-)	电压输入: 单端输入模式时, 此端口内部接地 差分输入模式时, 负电压信号输入
K	Signal Input I (电流输入)	单端电流信号输入
L	Signal Output V- (信号输出 V-)	电压输出; 单端输入模式时, 此端口内部接地 差分输入模式时, 负电压信号输出
M	Signal Output V+ (信号输出 V+)	电压输出; 单端输入模式时, 单端电压输出 差分输入模式时, 正电压信号输出
N	Aux Input 2/Ref In (辅助输入 2/参考输入 2)	1、辅助输入和外部参考输入复用 2 号接口, 支持锁相放大器全信号带宽的外部输入。 2、辅助 2 输入的电压值可以作为信号通道输出通道加法器的另一路输入与信号输出信号叠加输出。
O	Aux Input 4 (辅助输入 4)	辅助输入 4 接口
P	Aux Output 2 (辅助输出 2)	辅助输出 2, 此接口用户可以自定义直流电压输出, 或关联 X, Y, R, Phase 解调结果的电压信号输出。
Q	Aux Output 4 (辅助输出 4)	辅助输出 4, 此接口用户可以自定义直流电压输出, 或关联 X, Y, R, Phase 解调结果的电压信号输出。

2.3.2 LIA001M 后面板

LIA001M 后面板主要有电源、触发、时钟、通讯等相关的接口和功能, 详细说明请参见如图 2.3.2-1 所示和表 2.3.2-1 说明。

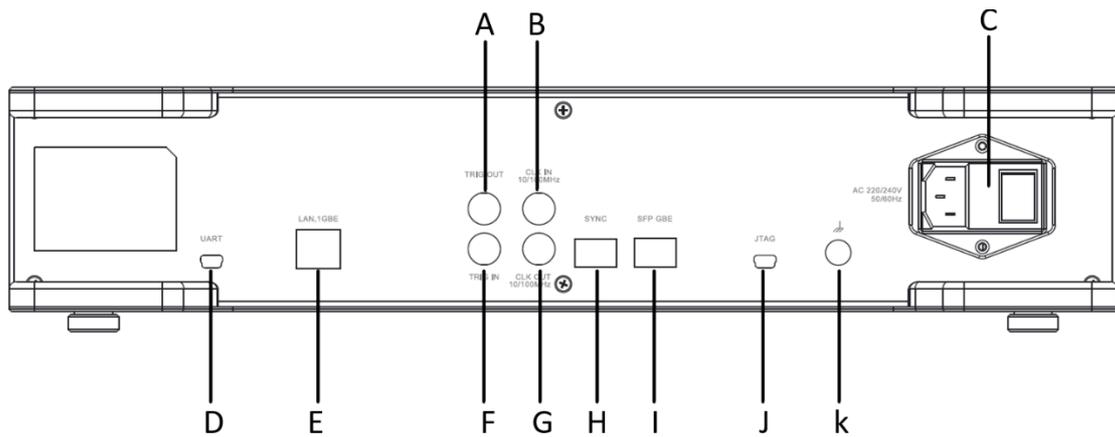


图 2.3.2-1 LIA001M 后面板

表 2.3.2-1 LIA001M 后面板说明

位置	名称	描述
A	TRIG OUT (触发输出)	TTL 触发信号输出
B	CLK IN (参考时钟输入)	10/100 MHz 外部时钟输入，用于与外部时钟同步
C	电源输入	带开关的电源接入插座
D	UART (UART 接口)	UART 通讯接口 (预留)
E	LAN 1GBE (千兆网口)	与上位机通讯的千兆网口
F	TRIG IN (触发输入)	TTL 触发信号输入
G	CLK OUT (参考时钟输出)	100 MHz 外部时钟输出，用于与外部设备同步
H	SYNC (同步接口)	基于以太网同步控制接口 (预留)
I	SFP GBE (SFP 端口)	千兆 SFP 端口 (预留)
J	JTAG (JTAG 接口)	JTAG 调试接口
K	接地螺栓	设备外壳接地螺栓

2.3.3 LIA001M 侧面板

LIA001M 侧面板主要是设备的进、出风口，详情参见如图 2.3.3-1 所示和表 2.3.3-1 说明。

注意


1. 本产品采用强制风冷扇热设计，确保出风口与进风口通畅，不要用物体挡住进、出风口，否则可能使仪器内部温度过高，进而导致仪器的损坏。（最小距离不小于 10 cm。）
2. 桌面安装时，工作台表面必须平坦，且仪器需要水平放置，不得使用侧面或者背面放置，以免损坏设备接口或者设备跌落的危险。

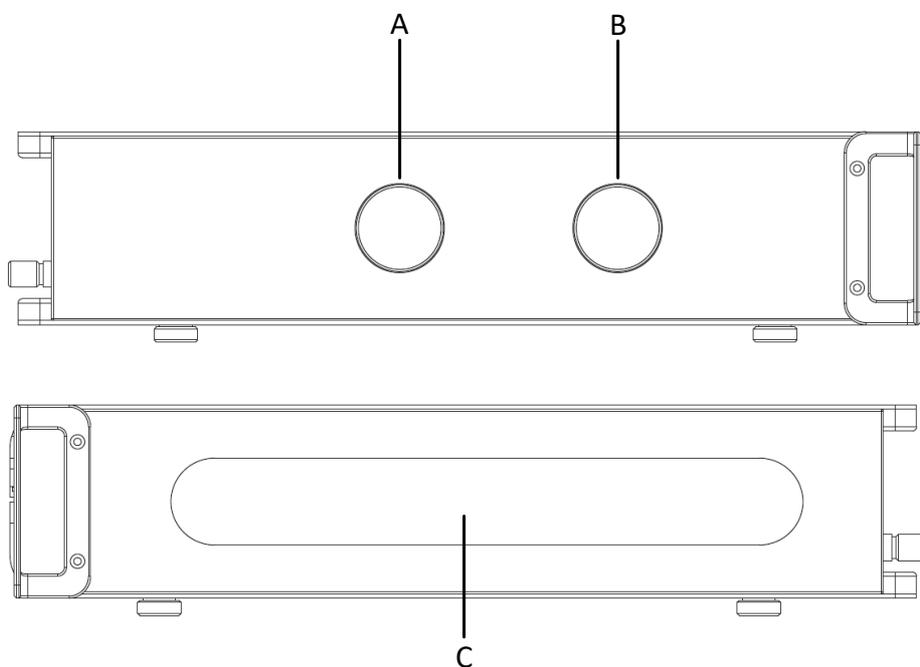


图 2.3.3-1 LIA001M 侧面板

表 2.3.3-1 LIA001M 后面板说明

位置	名称	描述
A	设备出风口	采用强制风冷扇热设计，此为设备散热出风口
B		
C	设备进风口	采用强制风冷扇热设计，此为设备散热进风口

3.快速启动

本章节适用于不熟悉或者几乎没有使用过 LIA001M 的用户，通过将锁相放大器的基本测量功能拆解成多个设置步骤的方式演示锁相放大器的基本测量操作方法，使用户可以快速熟悉和使用设备，为了更好的学习本教程和设备的实际操作，要求用户具有一定的实验室设备和相关设备的操作的知识。

具体的设备清单如下：

- 1、1 根网线
- 2、2 根 BNC 连接同轴电缆
- 3、1 个 BNC 3 通接头
- 4、1 台示波器（选配）

3.1 运行前准备

本章节，主要实现使用锁相放大器产生一个单端的信号以及使用同一台设备实现内部参考解调的功能。

- 1、准备 1 台锁相放大器、1 台示波器、1 台已安装 LIA001M 锁相放大器的操作软件的 PC。
 - 2、将锁相放大器、示波器、PC 的电源线连接好，并上电开机；
 - 3、将锁相放大器和 PC 分别通过一根网线连接至同一台路由器上建立局域网网络；
 - 4、将 BNC 3 通连接器的 1 端连接至锁相放大器的“Signal Out V+（信号输出 V+）”端；
 - 5、将 BNC 3 通连接器的另外 2 端分别通过一个 BNC 同轴电缆连接至锁相放大器的“Signal In V+（电压输入 V+）”端和示波器的 1 个示波通道；
- 详细的设备连线参见图 3.1-1 所示。

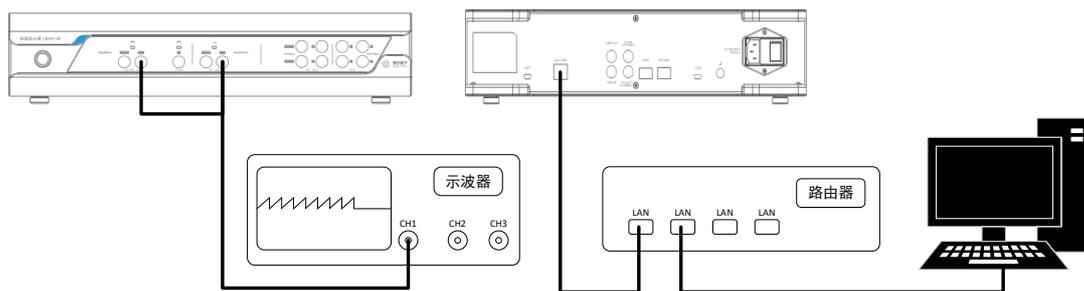


图 3.1-1 实验设备连线示意图

本章节适用于所有 LIA001M，与安装任意特定选件无关。如果安装的是 LIA001M 多解调器选件，须注意说明中的一些更改。

3.2 产生一个测试信号

本章节主要实现使用锁相放大器生成一个峰峰值为 1 V，频率为 200 kHz 的测试信号，具体的操作如下：

- 1、打开操作软件，并连接上设备
- 2、在操作软件的左侧列表中点击打开“Lock-In（锁相放大器）”功能模块选项卡 1 或者“Params（参数表）”功能模块选项卡 1，在“Ref System（参考频率）”模块中选择“Int（内部参考）”模式，并将“Osc 1（数字）”的频率修改成 200 kHz（输入 200000 或者 200k），回车确认。
- 3、在“Output Signal 1（输出信号 1）”模块中将“Mode（信号类型）”设置成“Sine（正弦）”。
- 4、将“Signal output（信号输出）”的“Output（输出模式）”设置成“Single（单端）”；“Impedance（负载阻抗）”选择为 50 Ω ；“Range（量程）”设置为 0.5 V；“Add（加法器）”设置为“off（关闭）”状态。
- 5、将信号输出的“Amp(Vpk)（幅值（峰值））”设置为 500 mV，“Phase（相位）”设置为 0，“Offset（偏置）”设置为 0 V。
- 6、打开信号输出“On/Off（开/关）”。

详情参数配置参见图 3.2-1 和图 3.2-2 以及表 3.2-1 说明，若已将示波器连接至锁相放大器的“Signal Out V+（信号输出 V+）”端，且示波器的输入阻抗设置为 50 Ω ，你可以在示波器中看到峰峰值为 1 V 的正弦信号。

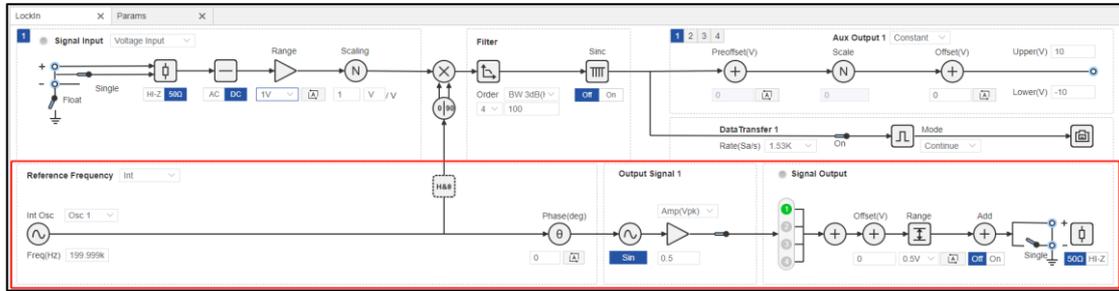


图 3.2-1 生成测试信号的设置（Lock In 中设置）

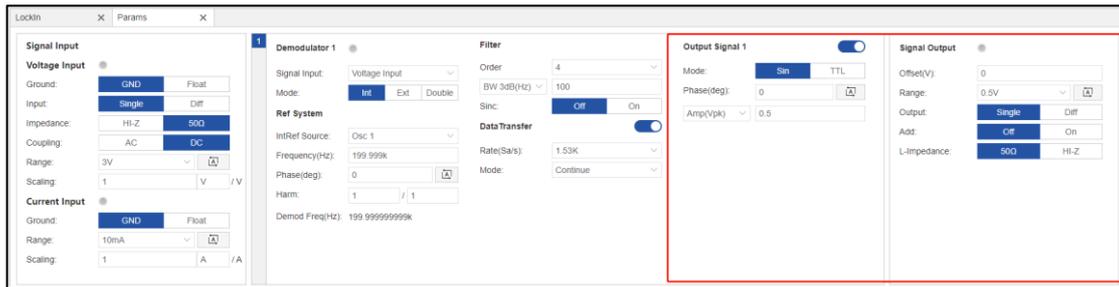


图 3.2-2 生成测试信号的设置（Params 中设置）

表 3.2-1 生成测试信号的设置

功能模块	模块	参数	设置值或状态
Lock-In/ Params（锁相放大器/参数表）	Reference Frequency（参考频率）	Mode（模式）	Int（内部参考）
		Frequency（频率）	200 kHz
		Phase（相位）	0°
	Output Signal 1（输出信号 1）	Mode（信号类型）	Sine（正弦）
		Amp(Vpk)（幅值（峰值））	500 mV
		On/Off（开/关）	On（开）
	Signal output（信号输出）	Offset（偏置）	0 V
		Range（量程）	0.5 V
		Add（加法器）	OFF（关）
		Output（输出模式）	Single（单端）
Impedance（负载阻抗）		50 Ω	

3.3 测试信号输入

本章节操作承接 3.2 章节生产的测试信号，使用锁相放大器的信号输出和“示波器”检查测试信号输入，具体的操作步骤如下：

1、将通过一根 BNC 同轴电缆将锁相放大器的“Signal Output V+（信号输出 V+）”端连接至“Signal Input V+”（电压输入 V+）端。

2、在“Lock-In（锁相放大器）”或者“Params（参数表）”功能模块选项卡 1 中，找到“Signal Input（信号输入）”模块，将信号输入选择为“Voltage In（电压输入）”；

3、将“Voltage In（电压输入）”的“Ground（接地模式）”设置为“Float（浮地）”模式、“Input（输入模式）”设置为“Single（单端）”输入、“Impedance（输入阻抗）”设置为“50 Ω”、“Coupling（耦合方式）”设置为“DC（直流耦合）”、“Range（量程）”设置为 1 V、“Scaling（数字放大器倍率）”设置为 1 V/V，信号输入设置如图 3.3-1 和 3.3-2 所示。

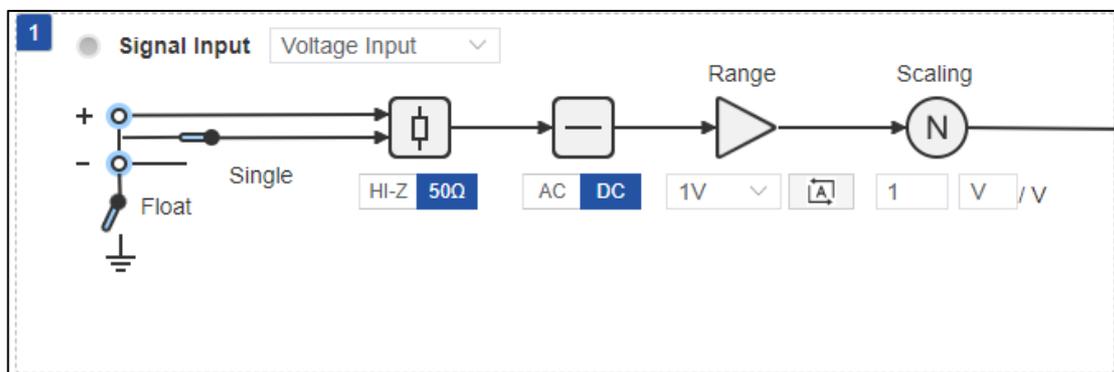


图 3.3-1 信号输入设置（Lock In 中设置）

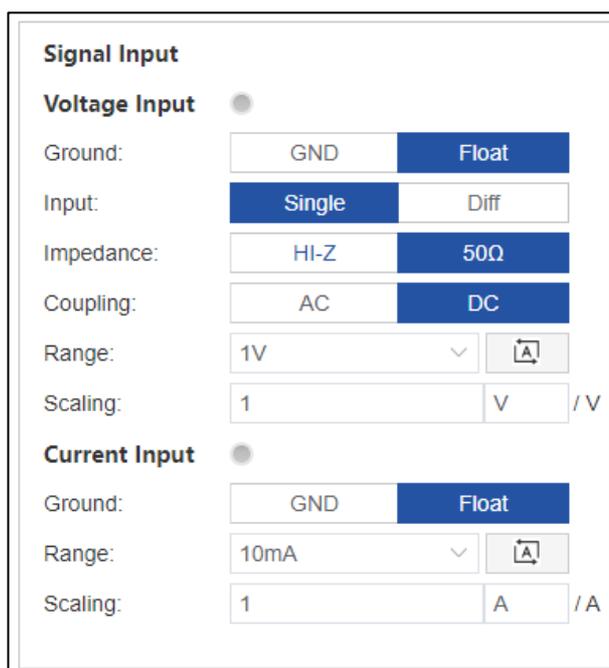


图 3.3-2 信号输入设置（Params 中设置）

4、在操作软件的左侧列表中点击打开“Scope（示波器）”功能模块，并在右侧的“Control（控制）”栏中，将“Mode（示波模式）”设置为“Time（时域模式）”、“Sample Rate（采样率）”设置为 100 MSa/s、“Points（采集点数）”设置为 16384、“Channel 1（示波通道 1）”设置为“Voltage In（电压输入）”，状态为开启、“Channel 1 BW Limit（示波通道 1 带宽限制）”设置为关闭、“Channel 2（示波通道 2）”设置为“Voltage In（电压输入）”，状态为关闭、“Channel 2 BW Limit（示波通道 2 带宽限制）”设置为关闭，设置如图 3.3-3 所示。

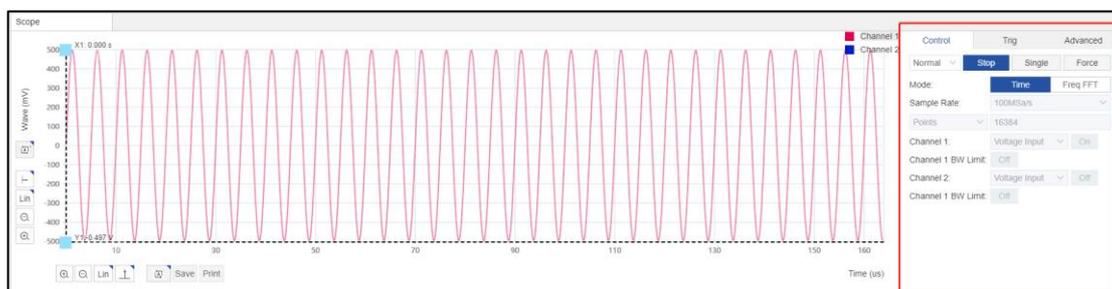


图 3.3-3 示波器“Control（控制）”栏设置

5、在右侧的“Trig（触发）”栏中，将“Source（触发源）”设置为“Voltage In（电压输入）”、“Level（触发电平）”设置为 0 V、“Hysteresis

（迟滞电压）”设置为 0V、“Time Out（触发超时）”设置为 1s、“Hold Off（触发释抑）”设置为 0s、“Reference（触发参考）”设置为 0、“Delay（触发延迟）”设置为 0 s、“Slope（触发边沿）”设置为“Rising（上升沿）”，设置如图 3.3-4 所示。

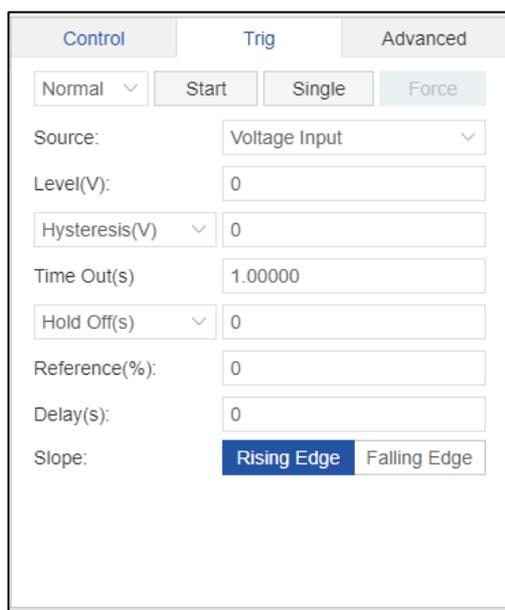


图 3.3-4 示波器设置

6、选择“Normal（常规）”模式，点击开始按钮，示波观察采集到信号波形和幅值。

“测试信号输入”的详细参数配置参见表 3.3-1 说明，若已将示波器连接至“Signal Output V+（信号输出 V+）”，且示波器的输入阻抗设置为 $50\ \Omega$ ，可以将锁相放大器的“Scope（示波器）”采集的波形与示波器上的波形进行对比观察。

表 3.3-1 生成测试信号的设置

功能模块	模块	参数	设置值或状态
Lock-In/ Params（锁相放大器/ 参数表）	Signal Input（信号输入）	Signal Input（信号输入）	Voltage In（电压输入）
		Ground（接地模式）	Float（浮地）
		Input（输入模式）	Single（单端）

Scope		Impedance (输入阻抗)	50 Ω
		Coupling (耦合方式)	DC (直流耦合)
		Range (量程)	1 V
		Scaling (数字放大器倍率)	1 V/V
	Control (控制)	Mode (示波模式)	Time (时域模式)
		Sample Rate (采样率)	100 MSa/s
		Points (采集点数)	16384
		Channel 1 (示波通道 1)	Voltage In (电压输入), 状态为开启
		Channel 1 BW Limit (示波通道 1 带宽限制)	关闭
		Channel 2 (示波通道 2)	Voltage In (电压输入), 状态为关闭
		Channel 2 BW Limit (示波通道 2 带宽限制)	关闭
	Trig (触发)	Source (触发源)	Voltage In (电压输入)
		Level (触发电平)	0 V
Hysteresis (迟滞电压)		0 V	
Time Out (触发超时)		1 s	
Hold Off (触发释抑)		0 s	
Reference (触发参考)		0	
Delay (触发延迟)		0 s	
Slope (触发边沿)		Rising (上升沿)	

3.4 解调测量测试信号

本章节操作承接 3.3 章节的信号输入，使用 LIA001M 解调测试输入信号的幅度和相位，本章节将使用到锁相放大器的“Data Numeric（数据数值显示）”和“Data Display（数据绘图）”功能，具体操作如下。

1、将“Filter（滤波器）”模块的“Order（滤波器阶数）”设置为“4”阶、滤波器的“TC（时间常数）”设置为“BW 3dB（-3 dB 带宽）”显示，“BW 3dB（-3 dB 带宽）”设置为 20 kHz，“Sinc（陷波滤波器）”的状态设置为“Off”关闭状态；

2、在“Data Transfer（数据传输）”模块中，将“Rate(Sa/s)（传输速率）”设置 6.1 kSa/s，“Mode（传输模式）”设置“Continue（连续模式）”，打开“Data Transfer（数据传输）”开关按钮；

设置详情参见图 3.4-1 所示

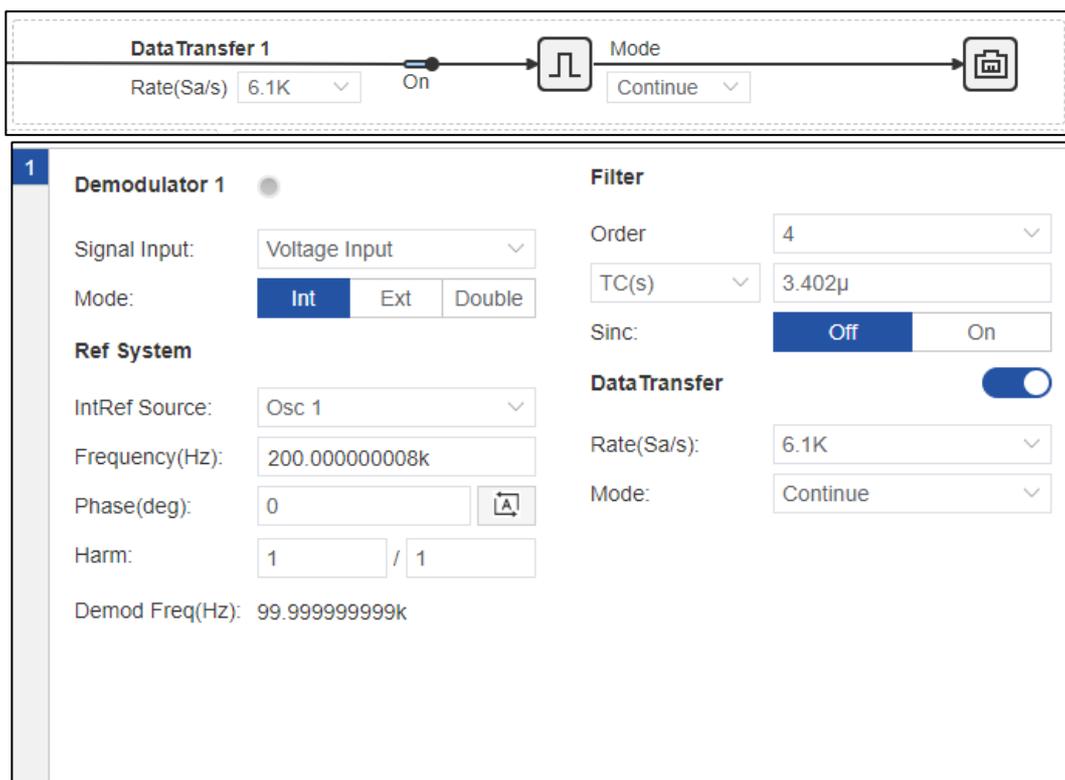


图 3.4-1 解调滤波器和数据传输设置

3、在操作软件的左侧列表中点击打开“Data Numeric（数据数值显示）”功能，并在“Data Numeric（数据数值显示）”功能的右侧的 Display（显示）栏中勾选显示 R、Phase，观察解调的幅值和相位；

设置详情参见图 3.4-2 所示

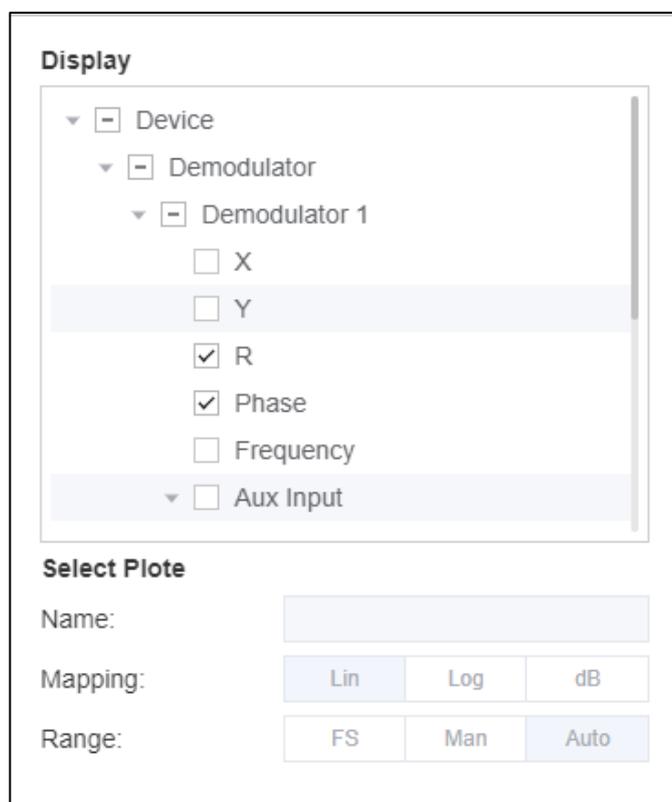
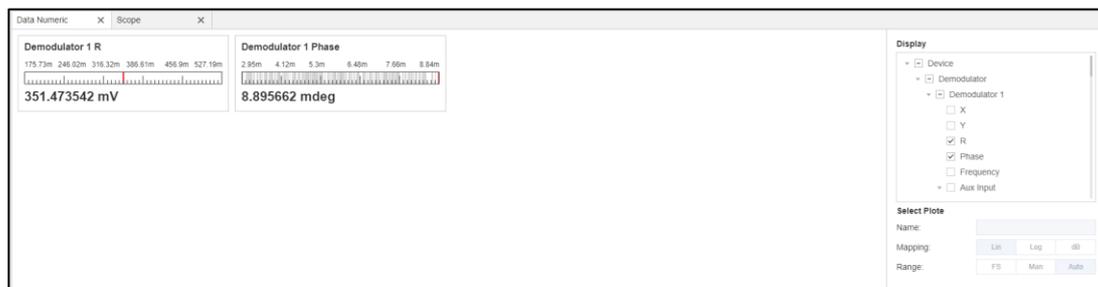


图 3.4-2 解调数值显示设置

4、在操作软件的左侧列表中点击打开“Data Display（数据绘图）”功能，并在“Data Display（数据绘图）”功能的右侧栏“Display（显示）”中勾选选择显示 R、Phase，并将“Length（采集时间）”设置 2 s，点击“Start（开始）”按钮，观察解调的幅值和相位绘图结果；

设置详情参见图 3.4-3

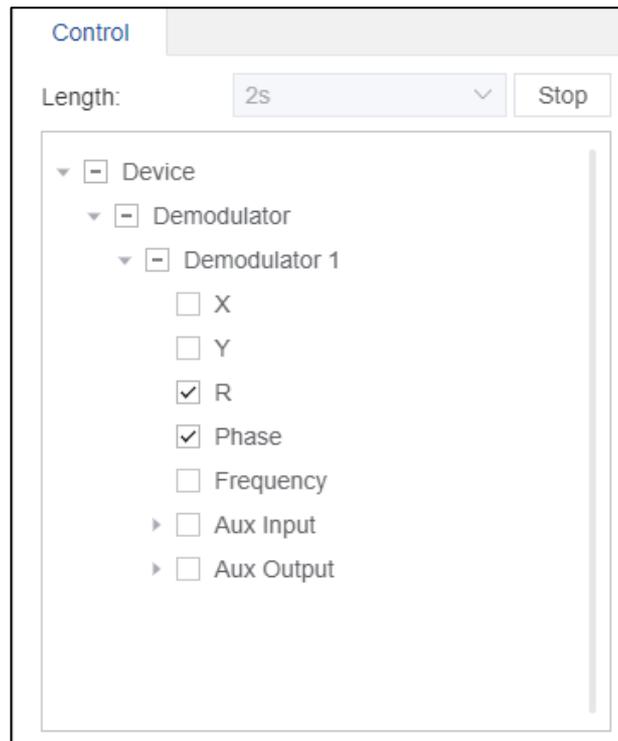
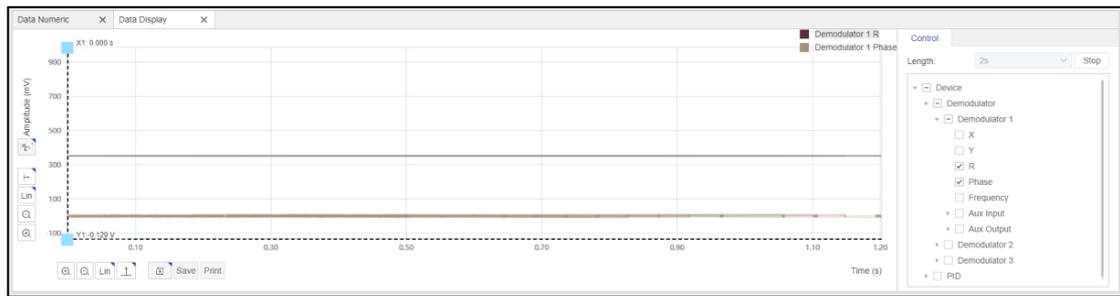


图 3.4-3 数据绘图设置

注：上述的滤波器设置为 4 阶滤波器、20 kHz 的 (-3 dB) 带宽，用户也可以将滤波器的带宽选择为等效噪声带宽 (BW-NEP) 或者积分时间常数 (TC)，另外上述的“传输速率”为 6.1 kSa/s，其含义为解调滤波后每秒传输 6.1 k 数据样本。

4. 软件界面功能介绍

4.1 连接界面

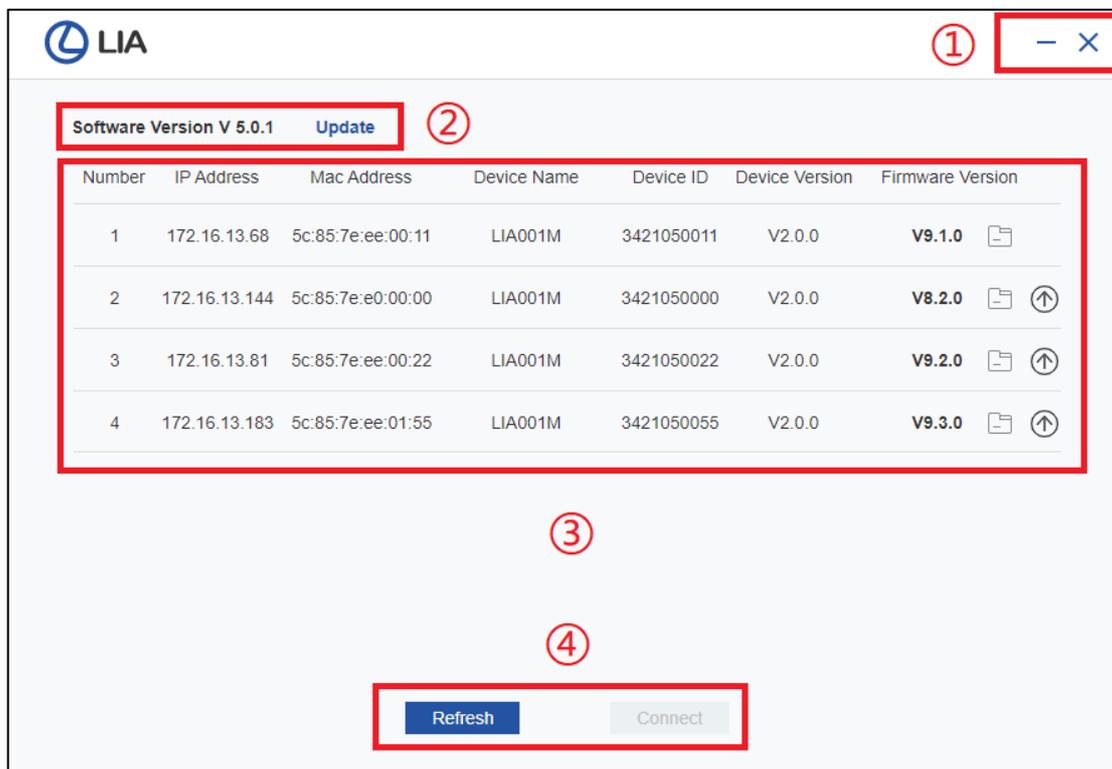


图 4.1-1 设备连接界面

1、窗口最小化和关闭区：

用户左击  最小化按钮，将连接界面最小化，连接界面最小化后，用户可以左击 Windows 桌面下方的任务栏中 LIA001M 操作软件图标  恢复连接界面。

用户左击  按钮后，将退出 LIA001M 操作软件

2、当前操作软件版本号和需要更新状态显示区：

其中 **Update** 表示当前操作软件有可更新的软件版本（若没有可升级的软件版本则不显示），若需要更新，左击 **Update** 按钮即可进入软件更新流程，详情参见 1.8 章节介绍，若不需要更新忽略即可。

3、局域网搜索到设备列表，该区域显示在局域中搜索到设备的 IP Address（IP 地址）、Mac Address（Mac 地址）、Device Name（设备名称）、Device Version（硬件版本）、Firmware Version（固件版本号）、固件可更新状态，用

用户可通过移动鼠标左击选中所需要连接的设备，点击“Connect（连接）”按钮即可进入设备操作的软件界面。

其中表示有可更新的固件版本（若没有可升级的固件版本则不显示此控件），若需要更新，左击控件即可进入固件更新流程；其中表示从本地选择固件文件更新，详情参见 1.8 章节介绍，若不需要更新忽略即可。

4、设备搜索和设备连接区：

“Refresh（刷新）”按钮：用户左击该按钮，操作软件再次在局域网内搜索可连接的设备，搜索后更新设备展示列表中的设备信息。

“Connect（连接）”按钮：用户左击该按钮，执行软件和对应硬件设备之间的连接（默认此按钮为禁用状态，当用户选中设备展示列表中的一台设备后启用该按钮），用户可通过移动鼠标左击选中所需要连接的设备，点击“Connect（连接）”按钮即可进入设备操作的软件界面。

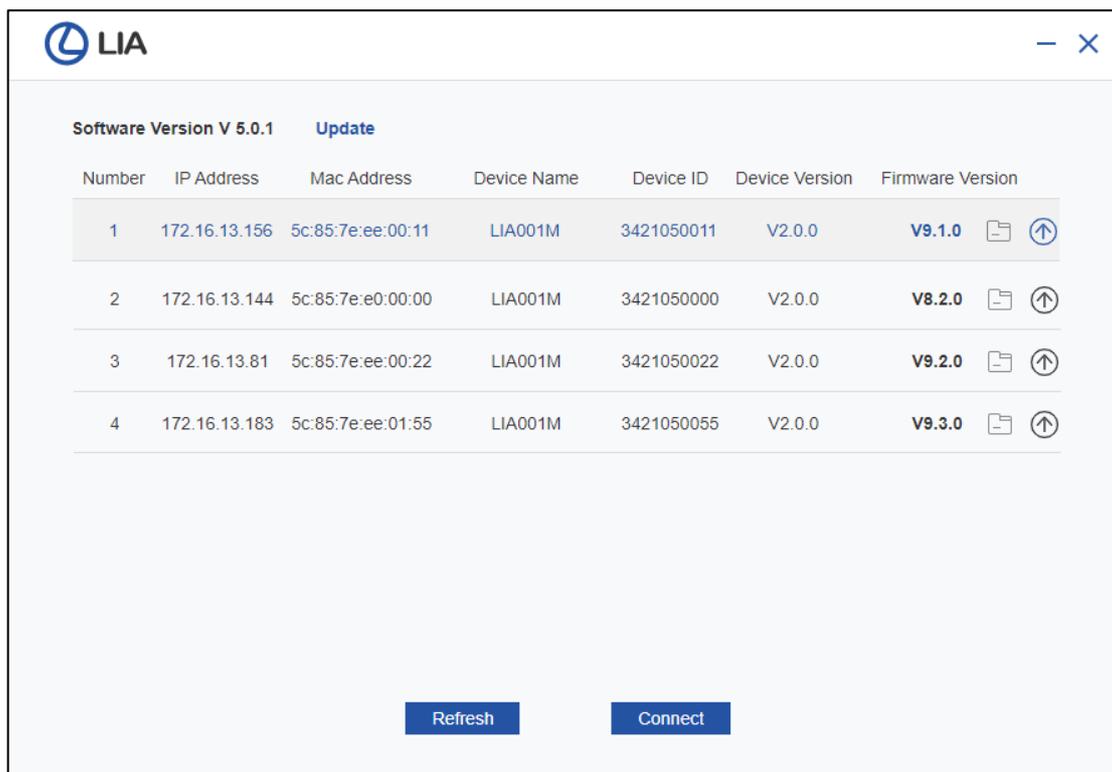


图 4.1-2 选中设备

4.2 操作主界面概述

LIA001M 锁相放大器操作软件集成了“Device（设备）”、“Lock-In（锁相放大器）”、“Params（参数表）”、“Data Numeric（数据数值显示）”、“Data Display（数据绘图）”、“Scope（示波器）”、“Aux（辅助）”、“Sweeper（参数扫描）”、“PID（反馈控制器）”、“IO（输入输出）”、“DAQ（数据采集）”、“Demo（简易模式）”、“Stage Ctrl（平台控制）”、“AM/FM（调幅/调频）”等多种功能（多解调器、PID、Stage Ctrl 和 AM/FM 功能需安装选件），可满足用户不同的应用需求，软件操作界面采用分区式设计，共分为 5 个功能区如图 4.2-1 所示。

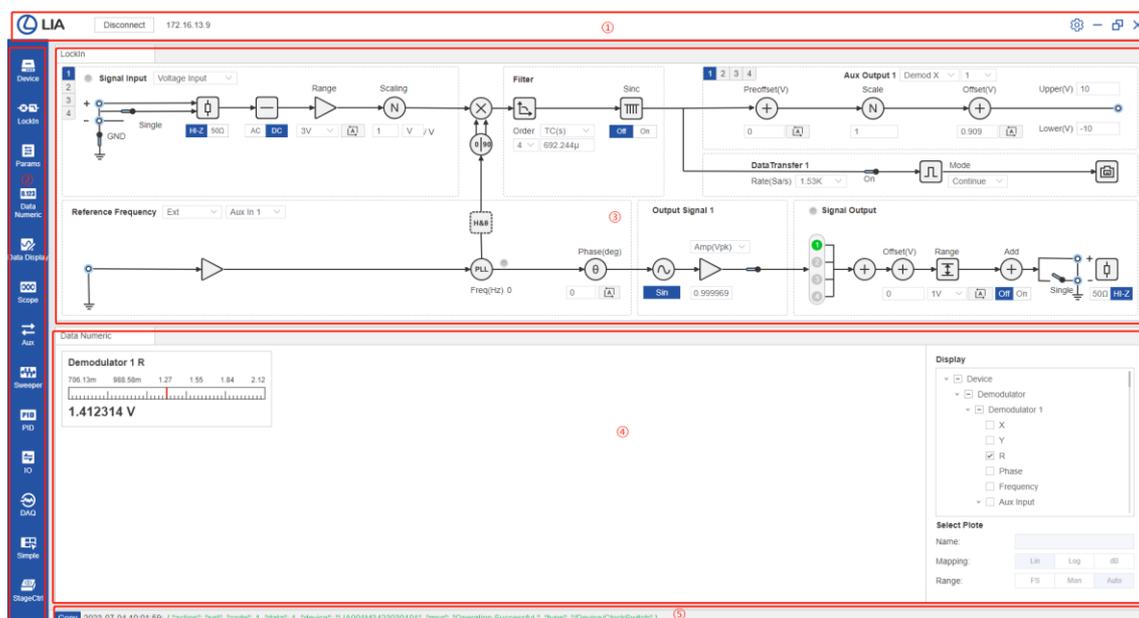


图 4.2-1 操作软件主界面

操作主页面主要分为 5 个基本功能区：

- 1、全局参数设置区：主要有操作软件与设备断开连接控制和当前设备 IP 地址显示、设备设置，软件窗口的最小化、最大化，关闭操作等功能。
- 2、设备功能选项区：主要有“Device（设备）”、“Lock-In（锁相放大器）”、“Params（参数表）”、“Data Numeric（数据数值显示）”、“Data Display（数据绘图）”、“Scope（示波器）”、“Aux（辅助）”、“Sweeper（参数扫描）”、“PID（反馈控制器）”、“IO（输入输出）”、

“DAQ（数据采集）”、“Demo（简易模式）”、“Stage Ctrl（平台控制）”“AM/FM（调幅/调频）”等多种功能（多解调器、PID、Stage Ctrl 和 AM/FM 功能需安装选件）。

3、功能操作展示区（上半区）：“Device（设备）”、“Lock-In（锁相放大器）”、“Params（参数表）”等功能默认在此区域打开展示和操作。

4、功能操作展示区（下半区）：“Data Numeric（数据数值显示）”、“Data Display（数据绘图）”、“Scope（示波器）”、“Aux（辅助）”、“Sweeper（参数扫描）”、“PID（反馈控制器）”、“IO（输入输出）”、“DAQ（数据采集）”、“Stage Ctrl（平台控制）”“AM/FM（调幅/调频）”等多种功能（多解调器、PID、Stage Ctrl 和 AM/FM 功能需安装选件）默认在此区域打开展示和操作。

5、运行操作日志展示区：本区域主要用于展示运行操作的指令、反馈状态、错误告警等日志信息。

注：

a、功能操作展示区（上半区）和（下半区）在有多个功能选项卡时，可以将鼠标移动对应的选项卡上，长按鼠标左键，拖动选项卡切换功能选项显示区域，另外功能操作展示区（上半区）和（下半区）的每个区域只有一个选项卡时无法拖动或者关闭相应的功能选项卡；

b、“Demo（简易模式）”功能占据整个功能区，不以选项卡方式显示。

4.2.1 全局参数设置区功能介绍

该区域主要用于操作软件的一些全局信息的控制和显示，包含：操作软件 logo 显示、软件与设备断开连接控制和当前设备 IP 地址显示、设备和软件状态设置，软件窗口的最小化、最大化，关闭操作等功能。

1、为软件与设备断开连接控制，左击该按钮，退出操作软件主界面进入设备连接界面。

2、为当前已连接设备的 IP 地址显示

- 3、 为设备和软件状态设置按钮，左击该按钮进入设置界面
- 4、   软件窗口的最小化、切换小窗口显示、关闭操作，
 - 左击  按钮，将软件操作界面最小化，用户可以左击 Windows 桌面下方的任务栏中 LIA001M 操作软件图标  恢复软件操作界面。
 - 左击  按钮，将 LIA001M 操作软件主界面由最大尺寸显示（1920*1080）切换至最小尺寸显示（1600*900）。
 - 左击  按钮，将 LIA001M 操作软件主界面由最小尺寸显示（1600*900）切换至最大尺寸显示（1920*1080）。
 - 左击  按钮，将 LIA001M 操作软件断开与设备的连接并退出软件。

4.2.2 设备功能选项介绍

本章主要是设备功能选项区的功能选项简介，详情参见表 4.2.2-1 介绍，各功能选项的详细介绍下述各功能详细介绍章节。

表 4.2.2-1 设备功能选项区的功能选项简介

功能	功能选项控件	描述
Device（设备）		选件安装、参考时钟、运行参数、IP地址、设备监控等功能的设置
Lock-In（锁相放大器）		以流程图的形式展示和设置信号输入输出、锁相解调等功能的参数
Params（参数表）		以参数列表的形式展示和设置信号输入输出、锁相解调等功能的参数
Data Numeric（数据数值显示）		实时以数值形式展示连续解调测试的数据
Data Display（数据绘图）		实时展示连接解调数据的绘图轨迹
Scope（示波器）		以时域和频域（FFT）形式显示信号输入、辅助输入等采集数据样本轨迹。
Aux（辅助）		辅助输入输出等接口的信息展示和设置
Sweeper（参数扫描）		设置扫描参数，并展示相应的响应轨迹
PID（反馈控制器） （需安装选件）		根据系统的误差，利用比例、积分、微分计算出控制量进而来实现控制

IO（输入输出）		信号输入输出及时钟输出、触发输出等功能的设置
DAQ（数据采集）		对解调、辅助输入、输出等数据的采集
Demo（简易模式）		锁相放大器单解调器快速上手的简易模式
Stage Ctrl（平台控制）（需同时安装本选件及PID选件）		对X/Y方向平台扫描的控制
AM/FM（调幅/调频）（需同时安装本选件及多解调器选件）		同时利用三个解调器实现调幅、调频等调制功能

4.3 “Device（设备）”功能介绍

“Device（设备）”功能主要是实现选件安装、参考时钟、运行参数、IP地址、设备监控等功能的设置。

用户可在操作软件的左侧功能列表中左击  功能键，即可打开“Device（设备）”功能。此功能选项卡默认在功能操作展示区（上半区）打开此功能，如图 4.3-1 所示。

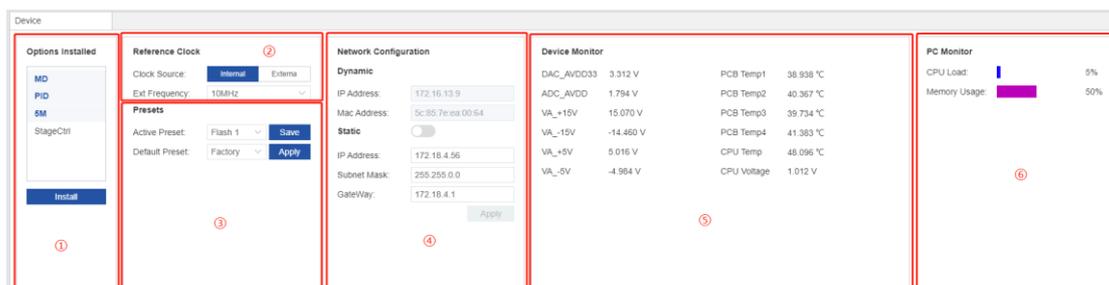


图 4.3-1 “Device（设备）”功能界面

1、Options Installed（选件安装）

用户可以根据功能需求安装选件，包括“MD（多解调器）”、“PID（反馈控制器）”、“5M”、“Stage Ctrl（平台控制）”功能选件，安装后的选件功能会在该模块高亮显示。

安装流程：点击 Install 后，弹出上传密钥界面，如图 4.3-2 所示。

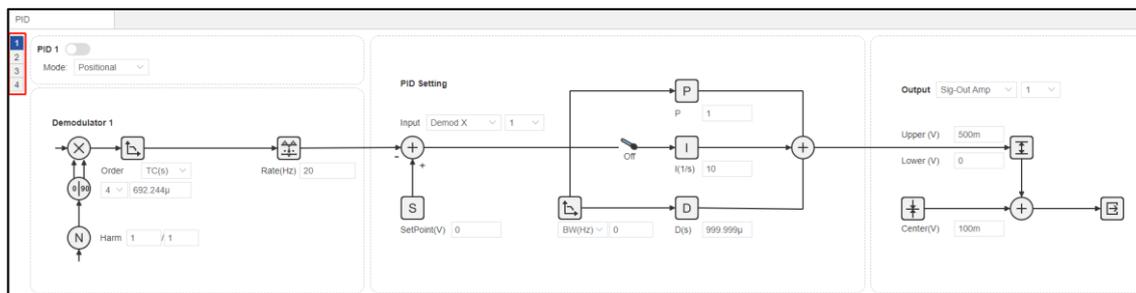


图 4.3-5 多解调器和 PID 选件安装后界面

2、Reference Clock（参考时钟）

用户可以在此功能区设置设备的工作时钟来源和时钟频率，默认采用的是内部时钟。（切换外部时钟时需先接入外部时钟，再选择频率范围，点击“Externa（外部）”按钮切换，方可锁定）

3、Presets（预设）

用户可以在此功能区将当前设备运行的锁相解调的参数保存到设备的 flash 闪存中以及设置设备上电启动后加载默认参数的 flash 闪存位置。

4、Network Configuration（网络配置）

默认选择 Dynamic（动态）IP 地址设置方式，可显示设备 IP 地址和 Mac 地址；

可采用 Static（静态）IP 地址设置方式，设置 IP 地址、子网掩码、网关等信息并点击 Apply（应用）后，打开  使能开关后生效。

5、Device Monitor（设备监控）

用户在此功能区可实时监控设备 DAC、ADC、PCB、CPU 等相关信息。

6、PC Monitor（电脑监控）

用户在此功能区可实时监控电脑 CPU 和内存占用情况。

表 4.3-1 “设备”功能设置元素的详细介绍

功能	选项	描述	备注
Clock（时钟）	Clock Source（时钟源）	左击  和  按钮，实现设备工作时钟的内外切换。	若需要采用外部时钟，在切换前需确保设备上的外部时钟输入通道已连接外部时

	Frequency (频率)	下拉选择时钟频率（10 MHz和100 MHz），此按钮在选择内部时钟时禁用状态。	钟源，且频率与选择频率一致。
Presets (预设)	Active Present (工作参数)	下拉选择当前工作参数保存的flash位置，点击 Save 按钮后，将信号、辅助的输入输出、锁相解调、时钟、触发等参数设置保存至所选的flash闪存中。	下拉可选：flash1、flash2、flash3、flash4等4个闪存。
	Default Preset (默认参数)	下拉选择下次上电启动后默认加载参数的flash闪存位置，点击 Apply 按钮后，将当前设置下发至设备中。	下拉可选：Factory、flash1、flash2、flash3、flash4共5个闪存。
Static (静态)	开关	打开后启用静态IP模式	
	IP Address (IP地址)	IP地址设置	注意设置为与电脑IP同一网段
	Subnet Mask (子网掩码)	子网掩码设置	
	GateWay (网关)	网关设置	
	Apply	修改静态IP时应用按钮	动态IP模式下禁用

4.4 “Lock-In（锁相放大器）” 功能介绍

“Lock-In（锁相放大器）”功能主要是流程图的形式实现电压输入、电流输入、解调器、滤波器、辅助输出、数据传输等设置。

用户可在操作软件的左侧功能列表中左击  功能键，即可打开“Lock-In（锁相放大器）”选项卡1功能页面，默认在功能操作展示区（上半区）打开此功能，如图4.4-1所示。

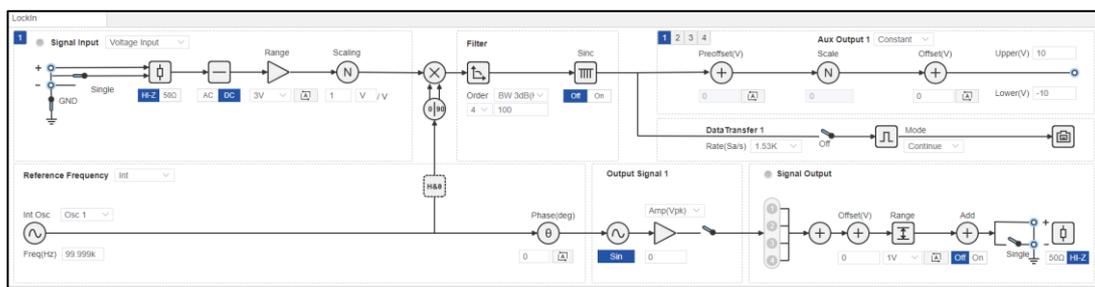


图 4.4-1 “Lock-In（锁相放大器）” 功能界面

1、Signal Input（信号输入）

“Signal Input（信号输入）”功能区主要是完成对 Voltage In（电压输入）、Current In（电流输入）的参数设置。

2、Demodulator1（解调器 1）（多解调器需安装选件）

①Signal Input（信号输入）信号、Mode（解调模式）的选择。

②Ref System（参考系统）

参考源、频率、相位、谐波等参数设置。

③Filter（滤波器）

解调后滤波器的 Order（阶数）、TC（时间常数）的设置以及 Sinc（陷波滤波器）的开关。

④Data Transfer（数据传输）

完成解调数据上传 PC 端操作软件的开关和 Rate（传输速率）、Mode（传输模式）的设置。

⑤Output Signal1（输出信号 1）

完成解调器 1 输出信号的信号形式、相位、幅值等参数的设置。

3、Signal output（信号输出）

“Signal output（信号输出）”功能区主要是完成偏置、输出形式、负载阻抗等设置以及加法器的开关。

表 4.4-1 “锁相放大器” 功能设置元素的详细介绍

功能	选项	描述	备注
Signal Input	Voltage In（电	超限警告指示灯	需要减小电压输入的幅值或

(信号输入)	压输入)			者增加电压输入的量程
		Ground (接地模式)	选择电压输入的接地预外壳连接与断开, 接地: 连接电压输入的地线与设备外壳连接; 浮地: 断开电压输入的地线与设备外壳的连接	
		Input (输入模式)	选择电压输入采用单端输入还是差分输入	
		Impedance (输入阻抗)	选择电压输入的阻抗值 (50 Ω 或者高阻)	选择高阻时, 输入阻抗为 10 M Ω
		Coupling (耦合方式)	选择电压输入的耦合方式, 可选择 AC 耦合或者 DC 耦合	
		Range (量程)	下拉选择电压输入的量程范围 (±1 mV, ±3 mV, ±10 mV, ±30 mV, ±100 mV, ±300 mV, ±1 V, ±3 V) 自动: 点击后, 采集约 100 ms 的电压输入的数据, 根据 100 ms 内的最大和最小值, 自动调整合适的信号输入量程。	
		Scaling (数字放大器倍率)	在数字域实现电压信号进行数字放大和单位转换。设置范围为: $10^{-12} \sim 10^{12}$	设置最小步进为: 10^{-12}
	Current In (电流输入)	超限警告指示灯	电流输入的幅度超过电流输入量程时, 指示灯亮起 (红色)	需要减小电流输入的幅值或者增加电流输入的量程
		Ground (接地模式)	选择电流输入的接地预外壳连接与断开, 接地: 连接电压输入的地线与设备外壳连接; 浮地: 断开电压输入的地线与设备外壳的连接	此接地方式与电压输入的接到方式关联一致
		Range (量程)	下拉选择电流输入的量程范围 (±1 nA, ±10 nA, ±100 nA, ±1 μA, ±10 μA,	

			±100μA, ±1 mA, ±10 mA) 自动: 点击后, 采集约 100 ms 的电流输入的幅值, 根据 100 ms 内电流幅值的最大和最小值, 自动调整合适的电流输入量程。	
		Scaling (数字放大器倍率)	在数字域实现电流信号进行数字放大和单位转换。设置范围为: $10^{-12} \sim 10^{12}$	设置最小步进为: 10^{-12}
Demodulator1 (解调器 1) (多解调器需安装选件)	Signal Input (信号输入)		可下拉选择: “Voltage In (电压输入)”、“Current In (电流输入)”、“Aux In 1 (辅助输入 1)”、“Aux In 2 (辅助输入 2)”、Constant (恒压)”作为解调器的信号输入	
	Mode (解调模式)		可选择 “Int (内部参考)”、“Ext (外部参考)”、“Double (双参考)”三种解调模式	
Ref System (参考系统)	Osc 1	Frequency (频率)	设置数字振荡器 1 的频率值, 设置范围 0~1.2 MHz, 设置最小步进 355nHz。	安装 “5M” 选件后, 设置范围为 0-5.5MHz
	External (外部参考)	Reference Signal (参考信号)	在外部参考模式和双参考模式下, 可下拉选择 “Voltage In (电压输入)”、“Current In (电流输入)”、“Aux In 1 (辅助输入 1)”、“Aux In 2 (辅助输入 2)”作为参考信号的外部输入	
		Frequency (频率)	外部锁定频率显示	
		锁定状态灯	当锁定外部输入信号的频率后, 指示灯亮起 (绿色), 未锁定时为灰色	
	解调数字振荡器	Phase(相位)	设置参考信号的相位偏移, 设置范围为 $\pm 180^\circ$, 设置的最小精度为 1 udeg, 自动功	

			能：根据当解调的相位值调整相位（反向偏移）	
		Harm(谐波)	设置基于参考通道频率的谐波阶数，最终以相应的谐波频率作为解调频率，设置范围为 1/1023~1023	
		Demod Freq(解调频率)	最终解调器的解调频率显示	
Filter (滤波器)	Order (阶数)		下拉选择滤波器阶数 (1~8)	
	TC (时间常数)		设置滤波器的带宽、用户可下来选择“TC”、“BW3 dB”、“BWNEP” 3 种显示形式，默认显示为 3dB 带宽：默认值为：100Hz，TC 的设置范围为：126 ns~30 ks；时间常数、3 dB 带宽、等效噪声带宽 3 者转换关系详见：表 7.1-1 说明	
	Sinc (陷波滤波器)		点击启用或关闭	
Data Transfer (数据传输)	Rate (传输速率)		设置解调数据传输至 PC 端的传输速率，可下拉选择：46.57mSa/s~1.56MSa/s	
	Mode (传输模式)		选择解调数据传输至 PC 端的传输模式，可下拉选择:连续模式或触发模式	
	Slope(边沿)		在解调数据传输至 PC 端的传输模式选择为触发模式时，设置 Trigger In 检测边沿的模式，可下拉选择上升沿或下降沿两种模式	
Output Signal1 (输出信号 1)	输出开关		开关或关闭信号输出	
	Mode (信号类型)		选择信号输出类型，可选择 Sine 或 TTL 信号	
	Phase (相位)		设置信号输出相位偏置，设置范围为±180°，设置的最小精度为 1 udeg，自动功能：根据当解调的相位值调整相位（反向偏移）	

	Amp(Vpk)/(Vrms)/(dBm) (幅值/峰值/功率)	设置信号输入的电压幅值，可下拉选择“峰值”、“有效值”或者“功率”的3种输入方式；设置范围：±量程，量程范围参见表 4.5-2 说明，设置步进精度参见表 4.5-3 说明	输出阻抗匹配必须为 50 Ω 时可设置选择功率，高阻模式下禁用
Signal output (信号输出)	Offset (偏置)	设置信号输出的直流偏置电压，设置范围：±量程，量程范围参见表 4.5-2 说明，设置步进精度参见表 4.5-3 说明	
	Range (量程)	下拉选择信号输出的电压量程范围，详见表 4.5-2 说明，自动功能：打开后实时根据信号输出的幅值实时调整输出的量程	使用 PID 和 Sweeper 功能时需关闭自动量程功能
	Output (输出模式)	设置信号输出为单端输出还是差分输出	
	Add (加法器)	信号输出的加法器开关，打开后将信号输出的设置电压与辅助输入 2 的电压相加	
	Impedance (负载阻抗)	选择锁相放大器信号输出的负载阻抗，可选择高阻或 50 Ω	
Aux Output 1、2、3、4 (辅助输出 1、2、3、4)	Signal (信号源)	选择辅助输出通道的信号源，可下拉选择“解调 X 值”、“解调 Y 值”、“R 解调值”、“解调 Phase 值”、“Constant (恒压值)”	
	Preoffset (预偏置)	将辅助输出选择的信号上增加一个直流偏置 (数字域)，设置范围 ±10 V，设置精度：20/2 ¹⁸ ，自动调整 Preoffset,将辅助输出值设置为零	
	Scaling (数字增益)	在数字域实现电流信号进行数字放大和单位转换。设置范围为：10 ⁻¹⁰ ~10 ¹⁰	设置精度为 10 ⁻⁹
	Offset (偏置)	将辅助输出信号上增加一个直流偏置 (数字域)，设置范围 ±10 V，设置精度：	

		20/2 ¹⁸ , 自动调整 offset,将辅助输出值设置为零	
	Lower Limit (输出限位 (下限))	设置信号输出的最小限值, 设置范围±10 V, 设置精度 20/2 ³²	注: 最小限值需小于最大限值
	Upper Limit (输出限位 (上限))	设置信号输出的最最大限值, 设置范围±10 V, 设置精度 20/2 ³²	
	Value (电压值)	实时显示辅助输出最终输出的电压值	

4.5 “Params（参数表）”功能介绍

“Params（参数表）”功能主要是以参数列表的形式实现 Signal Input（信号输入）（含：Voltage In（电压输入）、Current In（电流输入））、Demodulator1（解调器1）（多解调器需安装选件）（含 Signal Input（信号输入）信号、Mode（解调模式）的选择、Ref System（参考系统）、Filter（滤波器）、Data Transfer（数据传输）、Output Signal1（输出信号1））、Signal Output（信号输出）等设置。

此功能面板在打开操作软件时为默认打开，也可在操作软件的左侧功能列表中左击  功能键打开“Params（参数表）”功能页面，默认在功能操作展示区（上半区）打开此功能，如图 4.5-1 所示。

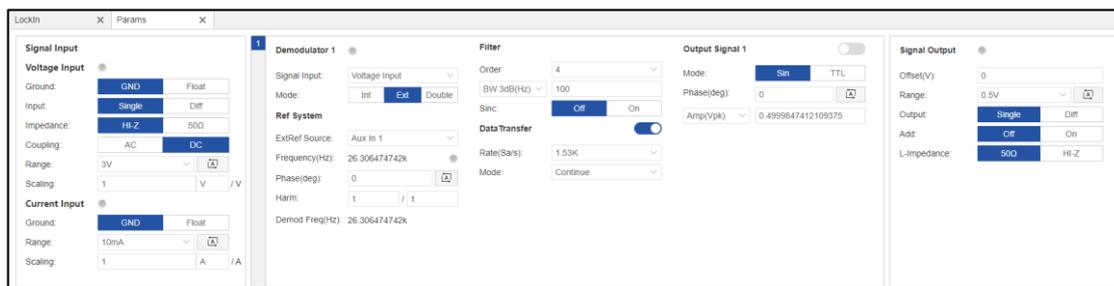


图 4.5-1 “Params（参数表）”功能界面

1、Signal Input（信号输入）

“Signal Input（信号输入）”功能区主要是完成对 Voltage In（电压输入）、Current In（电流输入）的参数设置。

2、Demodulator1（解调器1）（多解调器需安装选件）

①Signal Input（信号输入）信号、Mode（解调模式）的选择。

②Ref System（参考系统）

参考源、频率、相位、谐波等参数设置。

③Filter（滤波器）

解调后滤波器的 Order（阶数）、TC（时间常数）的设置以及 Sinc（陷波滤波器）的开关。

④Data Transfer（数据传输）

完成解调数据上传 PC 端操作软件的开关和 **Rate**（传输速率）、**Mode**（传输模式）的设置。

⑤Output Signal1（输出信号 1）

解调器 1 输出信号的信号形式、相位、幅值等参数的设置

3、Signal output（信号输出）

“Signal output（信号输出）”功能区主要是完成偏置、输出形式、负载阻抗等设置以及加法器的开关。

表 4.5-1 “参数表”功能设置元素的详细介绍

功能	选项	描述	备注	
Signal Input (信号输入)	Voltage In (电压输入)	超限警告指示灯	电压输入幅度超过电压输入量程时，指示灯亮起（红色）	需要减小电压输入的幅值或者增加电压输入的量程
		Ground (接地模式)	选择电压输入的接地预外壳连接与断开，接地：连接电压输入的地线与设备外壳连接；浮地：断开电压输入的地线与设备外壳的连接	
		Input (输入模式)	选择电压输入采用单端输入还是差分输入	
		Impedance (输入阻抗)	选择电压输入的阻抗值（50 Ω 或者高阻）	选择高阻时，输入阻抗为 10M Ω
		Coupling (耦合方式)	选择电压输入的耦合方式，可选择 AC 耦合或者 DC 耦合	
		Range (量程)	下拉选择电压输入的量程范围（±1 mV，±3 mV，±10 mV，±30 mV，±100 mV，±300 mV，±1 V，±3 V） 自动：点击后，采集约 100 ms 的电压输入的数据，根据 100 ms 内的最大和最小值，自动调整合适的信号输入量程。	

		Scaling (数字放大器倍率)	在数字域实现电压信号进行数字放大和单位转换。设置范围为： $10^{-12} \sim 10^{12}$	设置最小步进为： 10^{-12}
	Current In (电流输入)	超限警告指示灯	电流输入的幅度超过电流输入量程时，指示灯亮起（红色）	需要减小电流输入的幅值或者增加电流输入的量程
		Ground (接地模式)	选择电流输入的接地预外壳连接与断开，接地：连接电压输入的地线与设备外壳连接； 浮地：断开电压输入的地线与设备外壳的连接	此接地方式与电压输入的接到方式关联一致
		Range (量程)	下拉选择电流输入的量程范围（ $\pm 1 \text{ nA}$ ， $\pm 10 \text{ nA}$ ， $\pm 100 \text{ nA}$ ， $\pm 1 \mu\text{A}$ ， $\pm 10 \mu\text{A}$ ， $\pm 100 \mu\text{A}$ ， $\pm 1 \text{ mA}$ ， $\pm 10 \text{ mA}$ ） 自动：点击后，采集约 100 ms 的电流输入的幅值，根据 100 ms 内电流幅值的最大和最小值，自动调整合适的电流输入量程。	
		Scaling (数字放大器倍率)	在数字域实现电流信号进行数字放大和单位转换。设置范围为： $10^{-12} \sim 10^{12}$	设置最小步进为： 10^{-12}
Demodulator1 (解调器 1) (多解调器需安装选件)	Signal Input (信号输入)		可下拉选择：“Voltage In (电压输入)”、“Current In (电流输入)”、“Aux In 1 (辅助输入 1)”、“Aux In 2 (辅助输入 2)”、“Constant (恒压)”作为解调器的信号输入	
	Mode (解调模式)		可选择“Int (内部参考)”、“Ext (外部参考)”、“Double (双参考)”三种解调模式	
Ref System (参考系统)	Osc 1	Frequency (频率)	设置数字振荡器 1 的频率值，设置范围 0~1.2 MHz，设置最小步进 355nHz。	安装“5M”选件后，设置范围为 0-5.5MHz

	External 1 (外部参考)	Reference Signal (参考信号)	在外部参考模式可下拉选择“Voltage In (电压输入)”、“Current In (电流输入)”、“Aux In 1 (辅助输入 1)”、“Aux In 2 (辅助输入 2)”作为参考信号的外部输入；在双参考模式可下拉选择“Aux In 1 (辅助输入 1)”、“Aux In 2 (辅助输入 2)”作为参考信号的外部输入	
		Frequency (频率)	外部锁定频率显示	
		锁定状态灯	当锁定外部输入信号的频率后，指示灯亮起（绿色），未锁定时为灰色	
	解调数字振荡器	Phase(相位)	设置参考信号的相位偏移，设置范围为 $\pm 180^\circ$ ，设置的最小精度为 1 udeg，自动功能：根据当解调的相位值调整相位（反向偏移）	
		Harm(谐波)	设置基于参考通道频率的谐波阶数，最终以相应的谐波频率作为解调频率，设置范围为 1/1023~1023	
		Demod Freq(解调频率)	最终解调器的解调频率显示	
Filter (滤波器)	Order (阶数)	下拉选择滤波器阶数 (1~8)		
	TC (时间常数)	设置滤波器的带宽、用户可下来选择“TC”、“BW3 dB”、“BWNEP” 3 种显示形式，默认显示为 3dB 带宽：默认值为：100Hz，TC 的设置范围为：126 ns~30k s；时间常数、3 dB 带宽、等效噪声带宽 3 者转换关系详见：表 7.1-1 说明		
	Sinc (陷波滤波器)	点击启用或关闭		

Data Transfer (数据传输)	Rate (传输速率)	设置解调数据传输至 PC 端的传输速率, 可下拉选择: 46.57mSa/s~1.56MSa/s	
	Mode (传输模式)	选择解调数据传输至 PC 端的传输模式, 可下拉选择:连续模式或触发模式	
	Slope(边沿)	在解调数据传输至 PC 端的传输模式选择为触发模式时, 设置 Trigger In 检测边沿的模式, 可下拉选择上升沿或下降沿两种模式	
Output Signal1 (输出信号 1)	输出开关	开关或关闭信号输出	
	Mode (信号类型)	选择信号输出类型, 可选择 Sine 或 TTL 信号	
	Phase (相位)	设置信号输出相位偏置, 设置范围为 $\pm 180^\circ$, 设置的最小精度为 1 udeg, 自动功能: 根据当解调的相位值调整相位 (反向偏移)	
	Amp(Vpk)/(Vrms)/(dBm) (幅值/峰值/功率)	设置信号输入的电压幅值, 可下拉选择“峰值”、“有效值”或者“功率”的 3 种输入方式; 设置范围: \pm 量程, 量程范围参见表 4.5-2 说明, 设置步进精度参见表 4.5-3 说明	输出阻抗匹配必须为 50Ω 时可设置选择功率, 高阻模式下禁用
Signal output (信号输出)	Offset (偏置)	设置信号输出的直流偏置电压, 设置范围: \pm 量程, 量程范围参见表 4.5-2 说明, 设置步进精度参见表 4.5-3 说明	
	Range (量程)	下拉选择信号输出的电压量程范围, 详见表 4.5-2 说明, 自动功能: 点开后实时根据信号输出的幅值实时调整输出的量程	使用 PID 和 Sweeper 功能时需关闭自动量程功能
	Output (输出模式)	设置信号输出为单端输出还是差分输出	
	Add (加法器)	信号输出的加法器开关, 打开后将信号输出的设置电压与辅助输入 2 的电压相加	

	Impedance (负载阻抗)	选择锁相放大器信号输出的负载阻抗, 可选择高阻或 50 Ω	
Aux Output 1、2、3、4 (辅助输出 1、2、3、4)	Signal (信号源)	选择辅助输出通道的信号源, 可下拉选择“解调 X 值”、“解调 Y 值”、“R 解调值”、“解调 Phase 值”、“Constant (恒压值)”	
	Preoffset (预偏置)	将辅助输出选择的信号上增加一个直流偏置 (数字域), 设置范围 ± 10 V, 设置精度: $20/2^{18}$, 自动调整 Preoffset, 将辅助输出值设置为零	
	Scaling (数字增益)	在数字域实现电流信号进行数字放大和单位转换。设置范围为: $10^{-10} \sim 10^{10}$	设置精度为 10^{-9}
	Offset (偏置)	将辅助输出信号上增加一个直流偏置 (数字域), 设置范围 ± 10 V, 设置精度: $20/2^{18}$, 自动调整 offset, 将辅助输出值设置为零	
	Lower Limit (输出限位 (下限))	设置信号输出的最小限值, 设置范围 ± 10 V, 设置精度 $20/2^{32}$	注: 最小限值需小于最大限值
	Upper Limit (输出限位 (上限))	设置信号输出的最大限值, 设置范围 ± 10 V, 设置精度 $20/2^{32}$	
	输出电压值实时显示	实时显示辅助输出最终输出的电压值	

表 4.5-2 信号输出量程选择规则

输出形式	负载阻抗	输出量程
单端	50 Ω	± 5 mV, ± 50 mV, ± 500 mV, ± 5 V
差分	50 Ω	± 10 mV, ± 100 mV, ± 1 V, ± 10 V
单端	高阻	± 10 mV, ± 100 mV, ± 1 V, ± 10 V

差分	高阻	$\pm 20 \text{ mV}, \pm 200 \text{ mV}, \pm 2 \text{ V}, \pm 20 \text{ V}$
----	----	--

表 4.5-3 信号输出幅值和偏置设置精度

输出量程	设置精度
$\pm 20 \text{ V}$	305.2 μV
$\pm 10 \text{ V}$	152.6 μV
$\pm 5 \text{ V}$	76.29 μV
$\pm 2 \text{ V}$	488.3 μV
$\pm 1 \text{ V}$	503.5 μV
$\pm 500 \text{ mV}$	7.629 μV
$\pm 200 \text{ mV}$	3.052 μV
$\pm 100 \text{ mV}$	1.526 μV
$\pm 50 \text{ mV}$	762.9 nV
$\pm 20 \text{ mV}$	305.2 nV
$\pm 10 \text{ mV}$	152.6 nV
$\pm 5 \text{ mV}$	76.29 nV

4.6 “Data Numeric（数据数值显示）”功能介绍

“Data Numeric（数据数值显示）”功能主要是用于解调器解调结果（X、Y、R、Phase、frequency）、辅助输入 4 个通道、辅助输出 4 个通道以及 4 个 PID（Error、Shift、Out）（需安装 PID 选件）的实时数值显示，其包含展示区和显示控制区、绘图选中设置区 3 个功能区，如图 4.6-1 所示。

此功能面板在打开操作软件时为默认打开，也可在操作软件的左侧功能列表中左击  功能键打开“Data Numeric（数据数值显示）”功能页面，默认在功能操作展示区（下半区）打开此功能。



图 4.6-1 “数据数值显示”功能界面

1、“Data Numeric（数据数值显示）”展示区

“Data Numeric（数据数值显示）”展示区主要用于解调结果（X、Y、R、Phase、frequency）、辅助输入 4 个通道、辅助输出 4 个通道以及 4 个 PID（Error、Shift、Out）（需安装 PID 选件）的实时以及历史分布的显示，多个结果显示时，可以通过右侧的“Display（显示）”控制区勾选添加或者取消展示的结果，单击选中可通过鼠标滚轮进行放大或缩小。

2、“Display（显示）”控制区

“Display（显示）”控制区主要完成数据数值显示的元素打开或关闭等功能。

3、“Selected Plot（选中绘图）”设置区

①Name：选择相应的显示栏，显示信号名

②Mapping：映射关系，可选项包括 Lin、Log、dB，单击选中一个数据显示单元，启用 Lin、Log、dB；默认为禁用状态；

③Range：码表显示范围设置，默认为禁用，选中一个码表显示启用

FS：根据信号的输入量程最大量程范围设置坐标轴；

Man：手动调整，选中时根据当前的坐标轴范围，通过鼠标滚动键进行手动缩放；

Auto：0.5s 刷新一次，根据 200ms 内统计值的最大值和最小值进行调整坐标轴。

表 4.6-1 “数据数值显示”功能设置元素的详细介绍

功能	选项	描述	备注
Data Numeric (数据数值显示)	Display (显示)	用于选择在展示区展示的信号, 用户可选择解调结果的X、Y、R、Phase、frequency、辅助输入4个通道、辅助输出4个通道以及4个PID (Error、Shift、Out) (需安装PID选件) 的实时以及历史分布的显示, 可以基于元素树来选择不同的显示元素, 可在元素名前的勾选框, 左击选择显示	
	Selected Plot (选中绘图)	Name: 选择相应的显示栏, 显示信号名; Mapping: 映射关系, 可选项包括Lin、Log、dB, 单击选中一个数据显示单元, 启用Lin、Log、dB; 默认为禁用状态; Range: 码表显示范围设置, 默认为禁用, 选中一个码表显示启用	

4.7 “Data Display (数据绘图)”功能介绍

“Data Display (数据绘图)”功能主要是用于解调器解调结果(X、Y、R、Phase、frequency)、辅助输入4个通道、辅助输出4个通道以及4个PID(Error、Shift、Out) (需安装PID选件) 的实时数据绘图, 其包含数据绘图展示区和绘图显示控制区两功能区。

用户可在操作软件的左侧功能列表中左击  功能键打开“Data Display (数据绘图)”功能页面, 默认在功能操作展示区(下半区)打开此功能面板, 如图 4.7-1 所示。

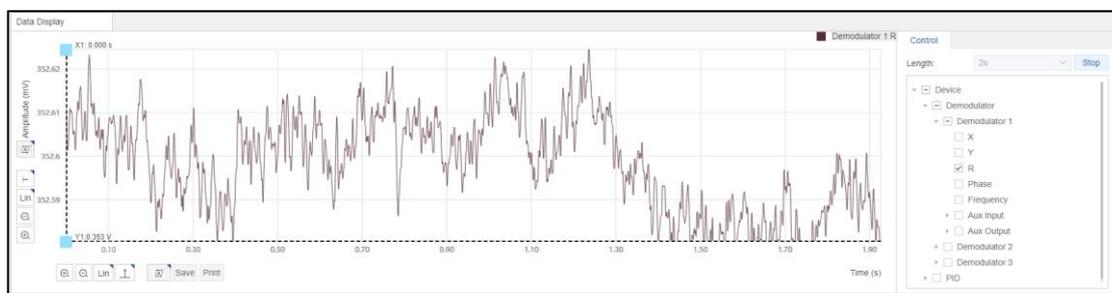


图 4.7-1 “Data Display（数据绘图）” 功能界面

1、“Data Display（数据绘图）”展示区

“Data Display（数据绘图）”展示区主要用于解调结果（X、Y、R、Phase、frequency）、辅助输入4个通道、辅助输出4个通道以及4个PID（Error、Shift、Out）（需安装PID选件）的实时数据的绘图展示，用户可以在功能面板的右侧绘图显示控制勾选添加或者关闭展示的结果，以及对于绘图区域的缩放、游标、坐标轴、绘图类型、数据和图片保存的控制。

绘图展示主要分为5部分组成，如图4.7-2所示：

①绘图轨迹展示区；

②Y坐标轴（显示元素结果及单位）；

③X坐标轴（显示时间）；

④Y坐标轴工具栏，包含放大、缩小、Y游标、绘图类型、自动缩放显示等功能键。

⑤X坐标轴工具栏，包含放大、缩小、X游标、绘图类型、自动缩放显示、数据保存、图片保存等功能键。

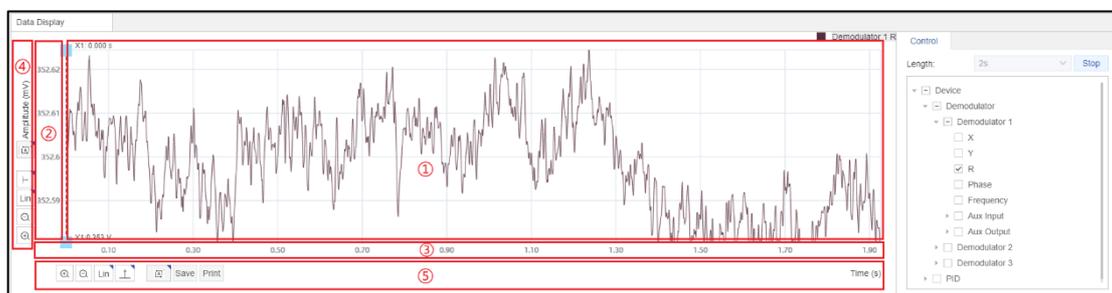


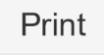
图 4.7-2 “Data Display（数据绘图）”展示区

2、绘图显示控制

绘图显示控制主要用于控制绘图的开始和停止、需要绘图的元素的选择以及绘图数据的时长设置等。

表 4.7-1 “Data Display（数据绘图）”功能设置元素的详细介绍

功能	选项	描述	备注	
数据绘图展示区	绘图轨迹展示区	用以展示已选择元素的实时数据绘图轨迹，用户可将鼠标移动到展示区后，滚动鼠标滚轮，基于鼠标中心沿X轴缩放图形；按住shift滚动滚轮,基于鼠标中心沿Y轴缩放图形。		
	Y坐标轴	用以展示已选择元素的实时数据数值范围和单位		
	X坐标轴	用以展示已选择元素的实时数据时间范围		
	Y坐标轴工具栏		图形放大：单击控件后，图形基于绘图中心，沿Y轴放大图形。	
			图形缩小：单击控件后，图形基于绘图中心，沿Y轴缩小图形。	
			绘图模式，可选项包括Lin、Log、dB，默认选择Lin模式	
			Y轴游标控制：单击控件后，可选择关闭游标、单标显示、双游标显示、双游标联动等	
			Auto：0.5s刷新一次，根据200ms内统计值的最大值和最小值进行调整坐标轴； Man：手动调整，选中时根据当前的坐标轴范围，通过鼠标滚动键进行手动缩放； FS：根据信号的输入量程最大量程范围设置坐标轴。	
	X坐标轴工具栏		图形放大：单击控件后，图形基于绘图中心，沿X轴放大图形。	
			图形缩小：单击控件后，图形基于绘图中心，沿X轴缩小图形。	
			绘图模式，可选项包括Lin、Log、dB，默认选择Lin模式	
			X轴游标控制：单击控件后，可选择关闭游标、单标显示、双游标显示、双游标联动等	

		<p>Auto: 0.5s刷新一次，根据200ms内统计值的最大值和最小值进行调整坐标轴；</p> <p>Man: 手动调整，选中时根据当前的坐标轴范围，通过鼠标滚动键进行手动缩放；</p> <p>FS: 根据信号的输入量程最大量程范围设置坐标轴。</p>	
		<p>数据保存: 保存当前屏幕显示绘图轨迹，单击控件后，进入Windows文件保存路径选择流程，选择好需要保存的文件后确认，即可保存当前绘图全屏数据，默认数据格式为TXT。</p>	
		<p>图片保存: 保存当前屏幕显示绘图图片，单击控件后，进入Windows文件保存路径选择流程，选择好需要保存的文件后确认，即可保存当前绘图轨迹图片，默认图片格式为JPG。</p>	
Control (绘图显示控制)	Start (开始) / Stop (停止)	单击按钮后，开始/停止绘制选择元素的数据轨迹	
	绘图元素选择	<p>用于选择在展示区展示的信号，用户可选择解调结果 (X、Y、R、Phase、frequency)、辅助输入4个通道、辅助输出4个通道以及4个PID (Error、Shift、Out) (需安装PID选件)。</p> <p>可以基于元素树来选择不同的显示元素，可在元素名前的勾选框，左击选择显示</p>	
	Length (绘图时间长度)	设置绘制轨迹的时长，下拉可选择：2 s、10 s、20 s、1 min、5 min、30 min、1 h、2 h、12 h。	

注：

a、绘图速率和点数与解调传输速率直接相关，建议用户根据所需要采集数据的时间以及数据密度合理的解调数据传输速率。

b、绘图时间太长会影响 PC 性能，导致内层以及 CPU 占用率过，建议用户根据电脑的性能以及所需要采集数据的时间合理的设置绘图时间长度。

c、鼠标操作绘图缩放，默认“鼠标滚轮”为横向放大/缩小，“Shift+鼠标滚轮”为纵向放大/缩小，“Ctrl+鼠标滚轮”为整体放大/缩小，以下各绘图模块操作相同。

d、高带宽情况下，下发指令可能会出现超时，在日志区提示，各绘图模块现象一致。

4.8 “Scope（示波器）”功能介绍

LIA001M 操作软件集成了虚拟示波器的功能，可实现电压输入、电流输入、辅助输入等信号输入通道虚拟示波器功能，可满足用户对于信号时域和频域分析的需求，“Scope（示波器）”功能面板包含示波器绘图展示区和示波器控制区两功能区。

用户可在操作软件的左侧功能列表中左击  功能键打开“Scope（示波器）”功能页面，默认在功能操作展示区（下半区）打开此功能面板，如图 4.8-1 所示。

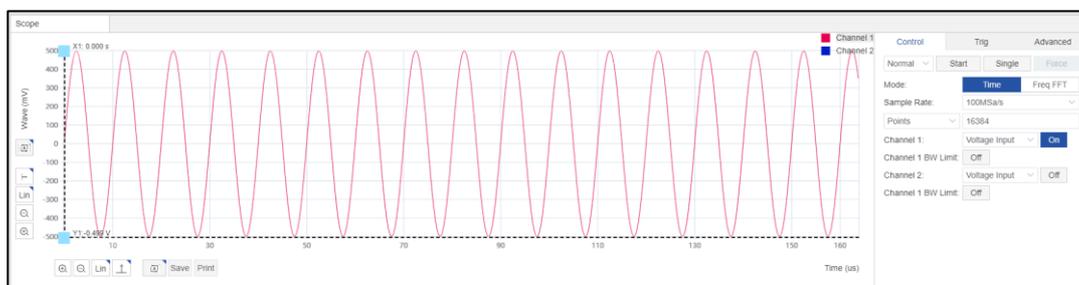


图 4.8-1 “Scope（示波器）”功能界面

1、示波器绘图展示区

示波器绘图展示区主要显示所选信号通道的波形展示以及绘图区域的缩放、游标、坐标轴、数据和图片保存的控制等功能。

绘图展示主要分为 5 部分组成（参考“Data Display（数据绘图）”功能）：

- ①绘图轨迹展示区；
- ②Y 坐标轴（显示元素结果及单位）；

③X 坐标轴（显示时间）；

④Y 坐标轴工具栏，包含放大、缩小、Y 游标、绘图类型、自动缩放显示等功能键。

⑤X 坐标轴工具栏，包含放大、缩小、X 游标、绘图类型、自动缩放显示、数据保存、图片保存等功能键。

如图 4.8.-2 所示。



图 4.8-2 “Scope（示波器）”绘图展示区

2、示波器控制区

①公共参数栏，控制示波的开始/停止及不同的运行模式。

②“Control（控制）”栏，包含示波模式的选择、时域与频域绘图模式的选择、采样率设置、采样点数设置、两个示波通道选择及通道带宽限制等。

③“Trig（触发）”栏，包含触发源的选择、触发电平设置、迟滞电平设置、触发超时设置、触发释抑设置、触发参考设置、触发延时设置、触发边沿检测等。

④“Advanced（高级模式）”栏，包含时域与频域模式的选择、窗口函数选择、分辨率显示等。

如图 4.8-3 所示。

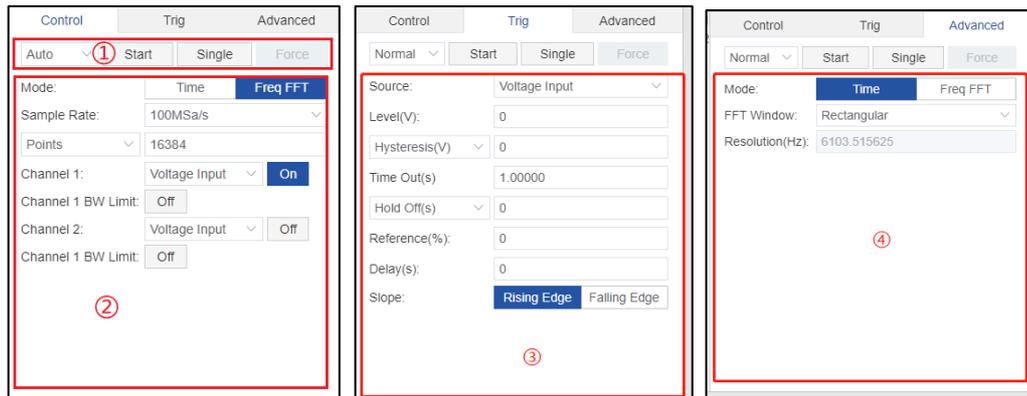
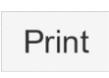


图 4.8-3 “Scope（示波器）”控制区界面

表 4.8-1 “Scope（示波器）”功能设置元素的详细介绍

功能	选项	描述	备注	
示波器绘图展示区	绘图轨迹展示区	用以展示已选择元素的实时数据绘图轨迹，用户可将鼠标移动到展示区后，滚动鼠标滚轮，基于鼠标中心沿X轴缩放图形；按住shift滚动滚轮,基于鼠标中心沿Y轴缩放图形。		
	Y坐标轴	用以展示已选信号通道采集数据的数值范围和单位		
	X坐标轴	用以展示已选信号通道采集数据的时间范围		
	Y坐标轴工具栏		图形放大：单击控件后，图形基于绘图中心，沿Y轴放大图形。	
			图形缩小：单击控件后，图形基于绘图中心，沿Y轴缩小图形。	
			绘图模式，可选项包括Lin、Log、dB，默认选择Lin模式	
			Y轴游标控制：单击控件后，可选择关闭游标、单标显示、双游标显示、双游标联动等	
		Auto: 0.5s刷新一次，根据200ms内统计值的最大值和最小值进行调整坐标轴； Man: 手动调整，选中时根据当前的坐标轴范围，通过鼠标滚动键进行手动缩放；		

			FS: 根据信号的输入量程最大量程范围设置坐标轴。	
X坐标轴 工具栏			图形放大: 单击控件后, 图形基于绘图中心, 沿X轴放大图形。	
			图形缩小: 单击控件后, 图形基于绘图中心, 沿X轴缩小图形。	
			绘图模式, 可选项包括Lin、Log、dB, 默认选择Lin模式	
			X轴游标控制: 单击控件后, 可选择关闭游标、单标显示、双游标显示、双游标联动等	
			Auto: 0.5s刷新一次, 根据200ms内统计值的最大值和最小值进行调整坐标轴; Man: 手动调整, 选中时根据当前的坐标轴范围, 通过鼠标滚动键进行手动缩放; FS: 根据信号的输入量程最大量程范围设置坐标轴。	
			数据保存: 保存当前屏幕显示绘图轨迹, 单击控件后, 进入Windows文件保存路径选择流程, 选择好需要保存的文件后确认, 即可保存当前绘图全屏数据, 默认数据格式为TXT。	
			图片保存: 保存当前屏幕显示绘图图片, 单击控件后, 进入Windows文件保存路径选择流程, 选择好需要保存的文件后确认, 即可保存当前绘图轨迹图片, 默认图片格式为JPG。	
示波器 控制区	公共参数	Auto (自动)	该模式下, 开始采用自动触发模式连续采集数据, 并展示波形, 需手动点击开始/停止按钮进行数据采集和绘图	
		Normal (常规)	该模式下, 开始采用常规触发模式连续采集数据, 并展示波形, 需手动点击开始/停止按钮进行数据采集和绘图	

		Start/Stop (开始/停止)	单击按钮后, 开始/停止数据采集和绘图	
		Single (单次)	单击按钮后, 开始采用常规触发模式单次采集数据, 并展示波形, 采集完成后自动停止采集和绘图	
		Force (强制触发)	强制触发, 默认为禁用状态, 点击开始时, 强制触发控件为启用状态, 单击按钮, 下发强制采集指令。当锁相放大器正在采集数据时, 下发强制指令将不响应。	
	Control (控制)	Mode (示波模式)	选择使用时域或频域模式绘制图形, 默认时域模式	
		Sample Rate (采样率)	下拉选择信号通道的采样率, 采样率设置范围详见表4.8-2说明	
		Points (采集点数)	设置单次触发采集数据点数, 设置范围为: 1~16384个点, 用户也可下拉选择采集时间设置范围为: 采集点数/采样率(s)。	
		Channel 1 (示波通道1)	下拉选择示波通道信号源, 用户可选择电压输入、电流输入、4个辅助输入等。	
		Channel 1BW Limit (示波通道1带宽限制)	降低采样率开关, 开启后该通道每两个点取平均	
		Channel 2 (示波通道2)	下拉选择示波通道信号源, 用户可选择电压输入、电流输入、4个辅助输入等。	
		Channel 2BW Limit (示波通道2带宽限制)	降低采样率开关, 开启后该通道每两个点取平均	
	Trig (触发)	Source (触发源)	选择触发信号源, 可下拉选择电压输入、电流输入、4个辅助输入和触发输入; 默认为电压输入	
		Level (触发电平)	默认为0; 设置范围为: 选择信号的量程±Range; 设置精度为对应输入信号的分辨率; 当触	

			发源选择触发输入时，触发电平参数禁用，参数显示1.65V	
		Hysteresis (V/%) (迟滞电平)	设置范围为(0~100%)*触发电平；设置精度0.01%*触发电平（设置范围为根据level的值设置）；下拉选择电压值和比例值显示切换。	
		Time Out (触发超时)	设置范围：0~3600s；设置精度10us；默认值1s。	
		Hold Off (s/Trig) (触发释抑)	设置重启触发等待时间，设置范围：0~13 s，最小设置精度10 ns,可切换为按照触发生效。	
		Reference (%) (触发参考)	设置范围：0%~100%；设置精度1%	
		Delay (触发延迟)	触发延时设置，设置范围：0~10.486 s，最小设置精度为10 ns	
		Slope (触发边沿)	选择触发边沿检测模式，可选择上升沿或下降沿	
	Advanced (高级模式)	Mode (模式)	选择使用时域或频域模式，默认时域模式	
		FFT window (FFT窗口函数)	下拉选择窗口函数：Rectangular/Hanning/Hamming/ Flap Top/Blackman Harris/Exponential	
		Resolution (Hz) (采样率)	以采集时间的倒数显示定义的频谱分辨率	

表 4.8-2 “Scope (示波器)” 不同通道的采样率设置范围

电压输入、电流输入、参考输入 (1和2)	参考输入 (3和4)
100 MSa/s	/
50 MSa/s	/
25 MSa/s	/
12.5 MSa/s	/
6.25 MSa/s	/
3.12 MSa/s	/

1.56 MSa/s	/
781.25 kSa/s	781.25 kSa/s
390.62 kSa/s	390.62 kSa/s
195.31 kSa/s	195.31 kSa/s
97.66 kSa/s	97.66 kSa/s
48.8 kSa/s	48.8 kSa/s
24.4 kSa/s	24.4 kSa/s
12.2 kSa/s	12.2 kSa/s
6.1 kSa/s	6.1 kSa/s
3.05 kSa/s	3.05 kSa/s
1.53 kSa/s	1.53 kSa/s
762.94 Sa/s	762.94 Sa/s

4.9 “Aux（辅助）”功能介绍

“Aux（辅助）”功能主要是用于辅助输入和输出的检测和控制，其包含辅助输入和辅助输出两功能区。

用户可在操作软件的左侧功能列表中左击  功能键，即可打开“Aux（辅助）”功能页面，默认在功能操作展示区（下半区）打开此功能，如图 4.9-1 所示。

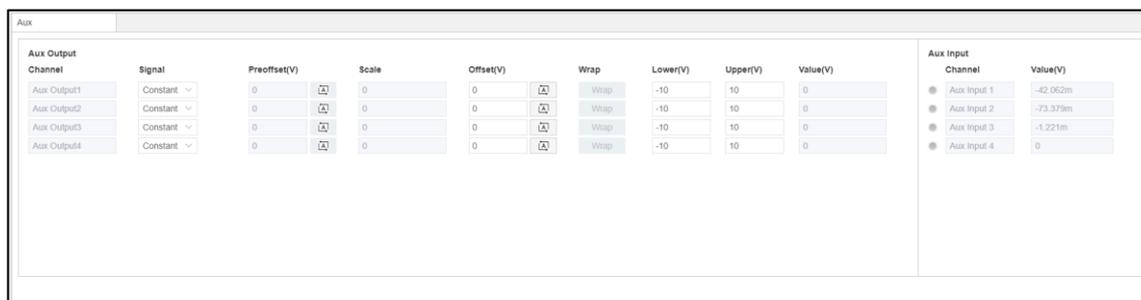


图 4.9-1 “Aux（辅助）”功能界面

1、Aux Output（辅助输出）

“Aux Output（辅助输出）”功能区主要是完成对辅助输出4个通道的信号选择、预偏置、数字增益、偏置、输出电压限位等参数设置。

2、Aux Input（辅助输入）

“Aux Input（辅助输入）”功能区主要用以辅助输入的4个通道电压值实时检测功能。

表 4.9-1 “锁相放大器”功能设置元素的详细介绍

功能	选项	描述	备注
Aux Output1、2、3、4（辅助输出1、2、3、4）	Signal（信号源）	选择辅助输出通道的信号源，可下拉选择“解调X值”、“解调Y值”、“R解调值”、“解调Phase值”、“Constant（恒压值）”	
	Preoffset（预偏置）	将辅助输出选择的信号上增加一个直流偏置（数字域），设置范围±10 V，设置精度： $20/2^{18}$ ，自动调整Preoffset,将辅助输出值设置为零	
	Scaling（数字增益）	在数字域实现电流信号进行数字放大和单位转换。设置范围为： $10^{-10} \sim 10^{10}$	设置精度为 10^{-9}
	Offset（偏置）	将辅助输出信号上增加一个直流偏置（数字域），设置范围±10 V，设置精度： $20/2^{18}$ ，自动调整offset,将辅助输出值设置为零	
	Lower Limit（输出限位（下限））	设置信号输出的最小限位值，设置范围±10 V，设置精度 $20/2^{32}$	注：最小限位值需小于最大限位值
	Upper Limit（输出限位（上限））	设置信号输出的最最大限位值，设置范围±10 V，设置精度 $20/2^{32}$	
	Value（电压值）	实时显示辅助输出最终输出的电压值	
Aux Input（辅助输入）	Channel（通道）	显示4个辅助输入通道	
	Value（电压值）	实时显示4个辅助输入接口的电压值	

4.10 “Sweeper（参数扫描）”功能介绍

LIA001M 操作软件集成了参数扫描功能，可实现频率、幅值、偏置等参数扫描解调的功能，“Sweeper（参数扫描）”功能面板包含参数扫描绘图展示区和参数扫描控制区两功能区。

用户可在操作软件的左侧功能列表中左击功能键打开“Sweeper（参数扫描）”功能页面，默认在功能操作展示区（下半区）打开此功能面板，如图 4.10-1 所示。

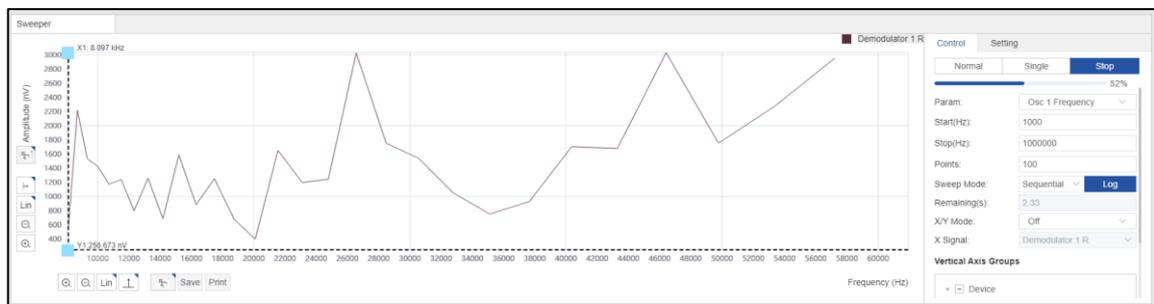


图 4.10-1 “Sweeper（参数扫描）”功能界面

1、参数扫描绘图展示区

参数扫描展示区主要显示设置频率扫描后，对于选择解调结果绘图波形展示以及绘图区域的缩放、游标、坐标轴、数据和图片保存的控制等功能。

绘图展示主要分为 5 部分组成（参考“Data Display（数据绘图）”功能）：

①绘图轨迹展示区；

②Y 坐标轴（显示元素结果及单位）；

③X 坐标轴（显示时间）；

④Y 坐标轴工具栏，包含放大、缩小、Y 游标、绘图类型、自动缩放显示等功能键。

⑤X 坐标轴工具栏，包含放大、缩小、X 游标、绘图类型、自动缩放显示、数据保存、图片保存等功能键。

如图 4.10-2 所示。

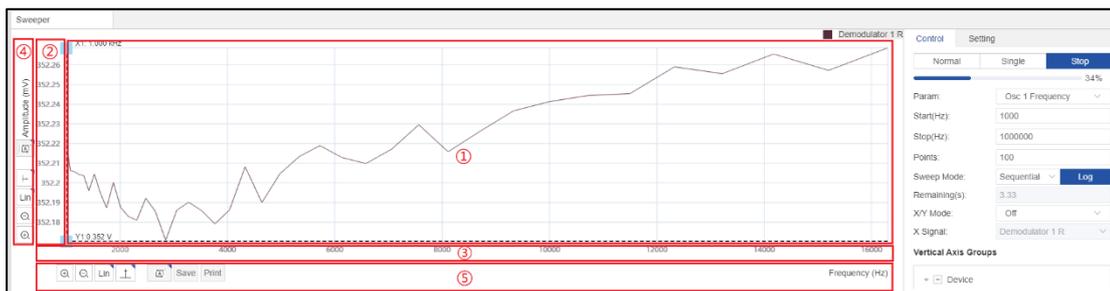


图 4.10-2 “Sweeper（参数扫描）”绘图展示区

2、参数扫描控制区

①公共参数栏，主要用于控制参数扫描的开始和停止，扫描进度的展示。

②“Control（控制）”栏，主要包含扫描参数的选择、扫描起始点的设置、扫描点数的设置、扫描模式的选择、剩余时间的显示、坐标模式的切换、绘图元素的选择等。

③“Setting（设置）”栏，主要包含应用模式的选择，应用类型的选择、扫描精度的选择等。

如图 4.10-3 所示。

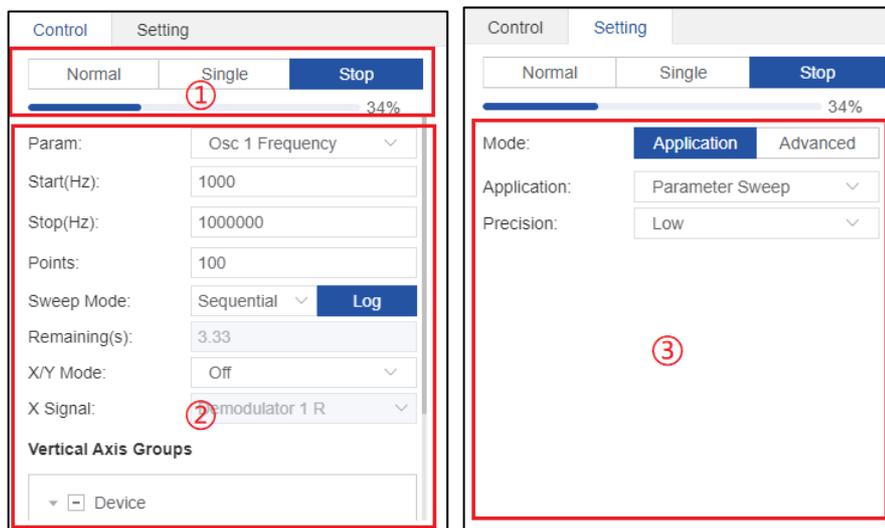
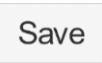
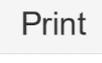


图 4.10-3 “Sweeper（参数扫描）”控制区界面

表 4.10-1 “Sweeper（参数扫描）”功能设置元素的详细介绍

功能	选项	描述	备注
参数扫描绘图	绘图轨迹展示区	用以展示已选择元素的实时数据绘图轨迹，用户可将鼠标移动到展示区后，滚动鼠标滚轮，基于	

展示区			鼠标中心沿X轴缩放图形；按住shift滚动滚轮,基于鼠标中心沿Y轴缩放图形。	
		Y坐标轴	用以展示已选信号通道采集数据的数值范围和单位	
		X坐标轴	用以展示扫描参数的范围	
	Y坐标轴工具栏		图形放大：单击控件后，图形基于绘图中心，沿Y轴放大图形。	
			图形缩小：单击控件后，图形基于绘图中心，沿Y轴缩小图形。	
			绘图模式，可选项包括Lin、Log、dB，默认选择Lin模式	
			Y轴游标控制：单击控件后，可选择关闭游标、单标显示、双游标显示、双游标联动等	
			Auto: 0.5s刷新一次，根据200ms内统计值的最大值和最小值进行调整坐标轴； Man: 手动调整，选中时根据当前的坐标轴范围，通过鼠标滚动键进行手动缩放； FS: 根据信号的输入量程最大量程范围设置坐标轴。	
	X坐标轴工具栏		图形放大：单击控件后，图形基于绘图中心，沿X轴放大图形。	
			图形缩小：单击控件后，图形基于绘图中心，沿X轴缩小图形。	
			绘图模式，可选项包括Lin、Log、dB，默认选择Lin模式	
			X轴游标控制：单击控件后，可选择关闭游标、单标显示、双游标显示、双游标联动等	
			Auto: 0.5s刷新一次，根据200ms内统计值的最大值和最小值进行调整坐标轴； Man: 手动调整，选中时根据当前的坐标轴范围，通过鼠标滚动键进行手动缩放； FS: 根据信号的输入量程最大量程范围设置坐标轴。	

			数据保存：保存当前屏幕显示绘图轨迹，单击控件后，进入Windows文件保存路径选择流程，选择好需要保存的文件后确认，即可保存当前绘图全屏数据，默认数据格式为TXT。	
			图片保存：保存当前屏幕显示绘图图片，单击控件后，进入Windows文件保存路径选择流程，选择好需要保存的文件后确认，即可保存当前绘图轨迹图片，默认图片格式为JPG。	
参数扫描控制区	公共参数	Normal（常规）	单击按钮后，开始连续参数扫描，并展示波形，需手动点击停止按钮停止扫描和绘图。	
		Single（单次）	单击按钮后，开始单次参数扫描，并展示波形，参数扫描后自动停止采集和绘图。	
		Stop（停止）	单击按钮后，停止参数扫描	
		扫描进度	显示参数扫描进度	
	Control（控制）	Sweep param（扫描参数）	扫描参数的选择，可选择解调器1的频率、信号输出偏置、输出信号1幅值、解调1相位、辅助输出4个通道偏置。	多解调器需安装选件
		Start（起点）/Stop（终点）	扫描源为内部解调器1的频率时，默认参数：起点为1kHz，终点为1MHz，参数范围为：0-1.2MHz（安装“5M”选件后，设置范围为0-5.5MHz）； 扫描源为输出信号1幅值时，默认参数：起点为0，终点为2V； 扫描源为信号输出偏置时，默认参数：起点为-2V，终点为2V； 扫描源为解调1相位时，默认参数：起点为0，终点为180，相位不展开时范围为-180-180，展开时为0-360； 扫描源为辅助输出4个通道偏置时，默认参数：起点为0，终点为1V，参数范围为：-10-10V。	当输入参数小于0时，扫描模式只支持线性扫描，无法切换对数扫描

		Points (点数)	设置参数扫描的取样点数，设置范围：1~100000，且 $(\text{stop/start})^{1/n} \geq 2$ ；设置精度为：1，默认100。	
		Sweep Mode (扫描模式)	1、设置扫描模式：正向、反向、往返； 2、设置扫描取样点递增方式：log或lin。	
		Remaining (剩余时间)	扫描剩余时间显示	
		X/Y Mode (坐标模式)	关闭、开启、开启并反转，默认关闭，关闭时“X Signal (横轴)”选项禁用。	
		X Signal (横轴)	选择横坐标的信号源	
		Vertical Axis Groups (垂直轴)	用于选择在展示区垂直方向展示的信号，用户可选择解调结果的X、Y、R、Phase、frequency以及辅助输入的4个通道，可以基于元素树来选择不同的显示元素，可在元素名前的勾选框，左击选择显示。	
	Setting (设置)	Mode (模式)	模式选择，应用模式和高级模式，默认为应用模式	
		Application (应用模式)	“Application (应用模式)”，下拉选择参数扫描、参数扫描(取平均)、噪声幅度扫描、频率响应分析、3- ω 扫描、频率响应分析(陷波滤波器)	
			“Precision (精度)”，下拉选择标准、低精度、高精度	
		Advanced (高级模式)	带宽模式选择：可选自动、固定、手动，默认为自动模式； 带宽设置 (TC/等效噪声带宽/3dB带宽选择),参照转换表7.1.1 (仅在固定带宽下可设置)； 滤波器阶数：1~8可选 (在自动模式和固定模式下可选，手动模式无此参数设置)，默认值为4； 最大带宽：0~1MHz；分辨率355nHz；默认值为1MHz (在自	安装“5M”选件后，最大带宽设置值设置范围为0-5 MHz

		<p>动模式和固定模式下可选，手动模式无此参数设置）；</p> <p>带宽重叠开关，默认为关闭（在自动模式可设置，手动和固定带宽模式不做此参数设置）；</p> <p>ω分量抑制：默认为40；设置范围0~1000；分辨率为：0.0000001（在自动模式可设置，手动和固定带宽模式无此参数设置）。</p>	
		<p>建立稳定时间：</p> <p>最小等待时间：从扫描点参数改变到记录解调值最小等待时间，默认值0，分辨率0.00000001s，设置范围0~10Ms；</p> <p>解调滤波器稳定不确定度：10^{-13}时间常数的滤波器，稳定度达到99.9%的等待时间：默认值为100us，设置范围1fs~100ms；分辨率0.001f；转换成时常比率显示；</p> <p>解调器选择，默认为解调器1，可选择1-4解调器（多解调器需安装选件）。</p>	
		<p>数据统计：</p> <p>统计算法选择：平均，标准差、平均功率，默认为平均；</p> <p>统计计算样本数：默认为1；设置范围1~2^{32}；</p> <p>统计计算的时间：设置范围0~10Ms；分辨率1ns；</p> <p>设置每个参数有效测量等效时间常数：0、5、15、25、50、100可选择，默认为0。</p>	
		<p>选项算法：</p> <p>相位展开的算法开关</p>	

4.11 “PID（反馈控制器）”功能介绍（需安装PID选件）

LIA001M 操作软件集成了 PID 控制器选件功能：

P 比例控制：基本作用就是控制对象以线性的方式增加，在一个常量比例下，动态输出。

I 积分控制：基本作用就是用来消除稳态误差。

D 微分控制：基本作用就是减弱超调，加大惯性响应速度。

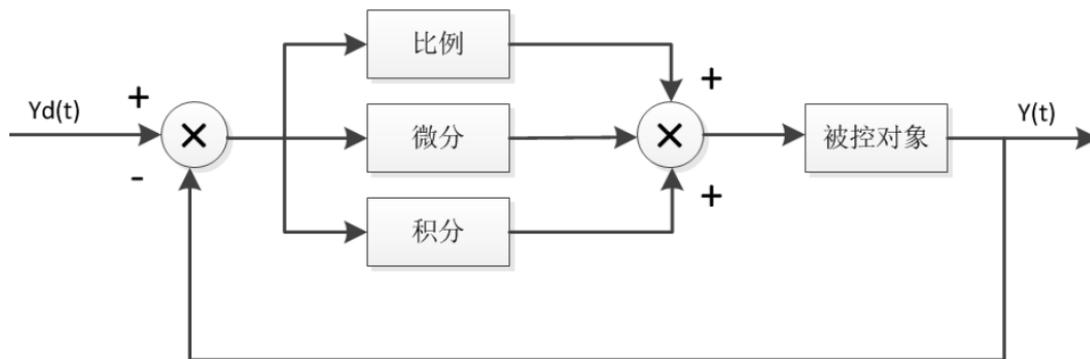


图 4.11-1 “PID/PLL（反馈控制器）”原理框图

上图描述：设定一个输出目标，反馈系统传回输出值，如与目标不一致，则存在一个误差，PID 根据此误差调整输入值，直至输出达到设定值。

$$\text{公式： } U(t) = k_p(\text{err}(t) + \frac{1}{T_i} \int \text{err}(t) dt + \frac{T_D d\text{err}(t)}{dt})$$

$$\text{经过化解后： } u(t) = K_p e(k) + \frac{K_p T}{T_i} \int e \sum_{n=0}^k e(n) + \frac{K_p T_d}{T} (e(k) - e(k-1))$$

K_p ：比例常数——P

$K_i = \frac{K_p T}{T_i}$ ：积分常数——I

$K_d = \frac{K_p T_d}{T}$ ：微分常数——D

“PID（反馈控制器）”包含“PID（反馈控制器）”使能控制、“PID Setting（反馈设置）”参数控制和“Output（输出）”参数设置三块区域。

用户可在操作软件的左侧功能列表中左击  功能键打开“PID（反馈控制器）”功能页面，默认在功能操作展示区（下半区）打开此功能面板，如图 4.11-2 所示。

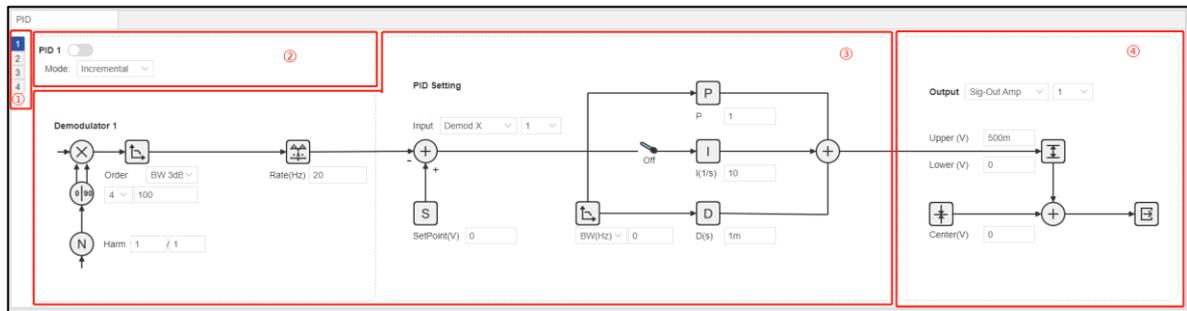


图 4.11-2 “PID/PLL（反馈控制器）” 功能界面

1、PID 通道选择

点击选项卡 1-4，选择切换 PID 通道 1-4。

2、PID 使能控制区

反馈控制器使能控制区域主要用于开启或关闭各通道“PID（反馈控制器）”和模式选择。

3、PID 参数控制区

PID 参数控制区主要是完成 Input（输入）信号选择；输入信号为解调器相关信号时，Demodulator（解调器）滤波器的 Order（阶数）、TC（时间常数）、Harm（谐波）、相位展开、Rate（速率）等参数设置；以及 Setpoint（设定值）、BW（带宽）、积分开关和 P（比例常数）、I（积分常数）、D（微分常数）的参数控制。

4、输出参数设置区

输出参数设置区主要是完成 Output（输出）信号选择、输出 Upper（上限）、Lower（下限）以及 Center（中心偏置）的参数设置

表 4.11-1 “PID 控制器” 功能设置元素的详细介绍

功能	选项	描述	备注
PID使能控制区		PID功能使能开关，默认为关闭	
	Mode（模式）	PID控制模式，可下拉选择位置式和增量式，默认为增量式	
PID参数控制区	Input（输入）	PID输入信号选择，下拉可选择： Demod（X、Y、R、 θ ）（解调值），AUX Input（1、2、3、4）（辅助输入），AUX Output（1、2、3、	多解调器需安装选件

		4) (辅助输出); 默认为Demod 1 X (解调值)	
	Demodulator (解调器)	解调器器的解调相位展开开关, 默认为关闭, 打开是输出的相位值保持相位连续 (即扫描相位时, 在 180° 与 0° ; 以及 $+0^{\circ}$ 与 -180° ; 转换为 $0\sim 360^{\circ}$), 默认为关闭; 解调输出采用率设置范围: $1\sim 2\text{MHz}$; 设置步进精度: 1Hz , 默认为 20Hz ; 滤波器带宽、Order (阶数)、Harm (谐波) 等设置同“Params (参数表)”功能模块, 且相关联; 当选择为AUX Input (辅助输入)、AUX Output (辅助输出) 时, 禁用滤波器带宽、阶数、谐波设置。	
	Setpoint (设定值)	PID控制器设定值, 输入选择Demod X/Y/R (解调值) 时, Setpoint设置范围为当前信号输入量程 (\pm); 输入选择Demod θ (解调值) 时, 相位未展开时, Setpoint (设定值) 设置范围为 $-180\sim 180^{\circ}$, 相位展开时, Setpoint (设定值) 设置范围为 $0\sim 360^{\circ}$, 设置精度 1udeg ; 输入选择Aux Input (辅助输入) 时, Setpoint (设定值) 设置范围为 $\pm 10\text{V}$, 设置精度 10^{-15}V ; 输入选择Aux Output (辅助输出) 时, Setpoint (设定值) 设置范围为AUX (辅助) 模块中设置的lower (V) 及Upper (V) 上限值 (上下限), 设置精度 10^{-15}V 。	
	Error (差)	Error值=设定值-PID输入值	
	BW(带宽)	设置微分前滑动平均滤波器的带宽, 设置范围为: $10.40807\sim 236.3953\text{k}$, 设置步进精度 10.40807Hz , 当设置为0时不启用微分项, 默认为0;	
		打开和关闭积分开关; 默认为开状态	
	P	比例系数设置, 设置范围: $-(2^{64}-1)\sim 2^{64}$, 设置精度: 2^{-64} , 默认: $+1.000$	
	I	比例系数设置, 设置范围: $-(2^{64}-1)\sim 2^{64}$, 设置精度: 2^{-64} , 默认: 10.000	

	D	比例系数设置，设置范围： $-(2^{64}-1) \sim 2^{64}$ ，设置精度： 2^{-64} ，默认： $+1.000m$	
输出参数设置区	Output（输出）	PID输出信号选择，下拉选择：Sig-Out Amp（信号输出幅值）、Osc-Freq（晶振频率）、Demod- θ （解调值）、Aux-Out Offset（辅助输出偏置）、Sig-Out Offset（信号输出偏置）	多解调器需安装选件
	Upper（输出上限）	设置输出上限，设置范围同Output（输出）信号的范围，设置精度： 2^{-32} ，默认为500m	注：输出下限位值需小于输出上限位值
	Lower（输出下限）	设置输出下限，设置范围同Output（输出）信号的范围，设置精度： 2^{-32} ，默认为0	
	Center（中心偏置）	即PID Output Offset（PID输出偏置）设置，设置范围同Output（输出）信号的范围，设置精度： 2^{-32} ，默认100m	
	Shift（移位）	PID Shift值显示， $PID\ Shift = P * Error + I * \int (Error)dt + D * (d(Error))/dt$	
	Out（输出值）	PID Out值显示	

4.12 “IO（输入输出）”功能介绍

“IO（输入输出）”功能主要是用于 LIA001M 信号输入和输出的相关设置，其包含信号输入、输出信号 1（多解调器需要安装选件）、信号输出、参考时钟输出、触发输出五个功能区。

用户可在操作软件的左侧功能列表中左击  功能键，即可打开“IO（输入输出）”功能页面，默认在功能操作展示区（下半区）打开此功能，如图 4.12-1 所示。

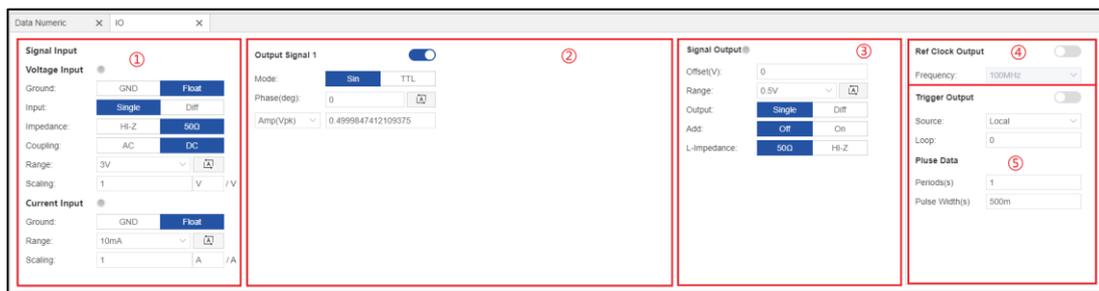


图 4.12-1 “IO（输入输出）”功能界面

1、Signal Input（信号输入）

“Signal Input（信号输入）”功能区主要是完成对 Voltage In（电压输入）、Current In（电流输入）的参数设置。

2、Output Signal1（输出信号1）

完成解调器1输出信号的信号形式、相位、幅值等参数的设置（多解调器需安装选件）。

3、Signal Output（信号输出）

“Signal output（信号输出）”功能区主要是完成偏置、输出形式、负载阻抗等设置以及加法器的开关。

4、Ref Clock Output（参考时钟输出）

“Ref Clock Output（参考时钟输出）”功能区主要是完成参考时钟输出开启及频率显示。

5、Trigger Output（触发输出）

“Trigger Output（触发输出）”功能区主要是完成触发输出开启及信号源、重复次数、周期及脉宽的设置。

表 4.12-1 “输入输出”功能设置元素的详细介绍

功能	选项	描述	备注	
Signal Input（信号输入）	Voltage In（电压输入）	超限警告指示灯	电压输入幅度超过电压输入量程时，指示灯亮起（红色）	需要电压输入的幅值或者增加电压输入的量程
		Ground（接地模式）	选择电压输入的接地预外壳连接与断开，接地：连接电压输入的地线与设备外壳连接；浮地：断开电压输入的地线与设备外壳的连接	
		Input（输入模式）	选择电压输入采用单端输入还是差分输入	
		Impedance（输入阻抗）	选择电压输入的阻抗值（50 Ω 或者高阻）	选择高阻时，输入阻抗为 10M Ω

		Coupling (耦合方式)	选择电压输入的耦合方式，可选择 AC 耦合或者 DC 耦合	
		Range (量程)	下拉选择电压输入的量程范围 (±1 mV, ±3 mV, ±10 mV, ±30 mV, ±100 mV, ±300 mV, ±1 V, ±3 V) 自动: 点击后, 采集约 100 ms 的电压输入的数据, 根据 100 ms 内的最大和最小值, 自动调整合适的信号输入量程。	
		Scaling (数字放大器倍数)	在数字域实现电压信号进行数字放大和单位转换。设置范围为: $10^{-12} \sim 10^{12}$	设置最小步进为: 10^{-12}
	Current In (电流输入)	超限警告指示灯	电流输入的幅度超过电流输入量程时, 指示灯亮起 (红色)	需要电压输入的幅值或者增加电压输入的量程
		Ground (接地模式)	选择电流输入的接地预外壳连接与断开, 接地: 连接电压输入的地线与设备外壳连接; 浮地: 断开电压输入的地线与设备外壳的连接	此接地方式与电压输入的接到方式关联一致
		Range (量程)	下拉选择电流输入的量程范围 (±1 nA, ±10 nA, ±100 nA, ±1μA, ±10μA, ±100μA, ±1 mA, ±10 mA) 自动: 点击后, 采集约 100 ms 的电流输入的幅值, 根据 100 ms 内电流幅值的最大和最小值, 自动调整合适的电流输入量程。	
		Scaling (数字放大器倍数)	在数字域实现电流信号进行数字放大和单位转换。设置范围为: $10^{-12} \sim 10^{12}$	设置最小步进为: 10^{-12}
	Output Signal1 (输出信号 1)	输出开关	开关或关闭信号输入	
Mode (信号类型)		选择信号输出类型, 可选择 Sine 或 TTL 信号		
Phase (相位)		设置信号输出相位偏置, 设置范围为 $\pm 180^\circ$, 设置的最小		

		精度为 1 udeg，自动功能：根据当解调的相位值调整相位（反向偏移）	
	Amp(Vpk)/(Vrms)/(dBm)（幅值/峰值/功率）	设置信号输入的电压幅值，可下拉选择“峰值”、“有效值”或者“功率”的 3 种输入方式；设置范围：±量程，量程范围参见表 4.5-2 说明，设置步进精度参见表 4.5-3 说明	输出阻抗匹配必须为 50 Ω 时可设置选择功率，高阻模式下禁用
Signal output （信号输出）	Offset（偏置）	设置信号输入的直流偏置电压，设置范围：±量程，量程范围参见表 4.5-2 说明，设置步进精度参见表 4.5-3 说明	
	Range（量程）	下拉选择信号输出的电压量程范围，详见表 4.5-2 说明，自动功能：点开后实时根据信号输出的幅值实时调整输出的量程	
	Output（输出模式）	设置信号输出为单端输出还是差分输出	
	Add（加法器）	信号输出的加法器开关，打开后将信号输出的设置电压与辅助输入 2 的电压相加	
	Impedance（负载阻抗）	选择锁相放大器信号输出的负载阻抗，可选择高阻或 50 Ω	
Ref Clock Output （参考时钟输出）		使能开关，默认关闭，点击打开即打开参考时钟输出端口	
	Frequency（频率显示）	此默认禁用，仅显示 100MHz	
Trigger Output （触发输出）		使能开关，默认关闭，开启后输出脉冲信号，默认播放脉冲序列，若序列次数播放完成后，开关跳转值关闭状态	
	Source(信号源)	下拉选择 Local（本地）、High Level（高电平）、Low Level（低电平）、Trigger In（触发输入），默认选择 Local（本地）；选择 Local（本地），则输出脉冲参数设置的脉冲数据；选择 High Level（高电平）、Low Level（低电平）时，禁用重复次数、脉宽、周期；一直输出高	

		电平或者低电平，手动关闭后停止输出；若选择 Trigger In （触发输入），则在上升沿时输出高电平，下降沿时输出低电平，连续播放，手动关闭后停止输出，禁用禁用重复次数、脉宽、周期设置栏。	
	Loop （重复次数）	设置序列的重复次数；默认参数为 0，表示连续播放，最大循环次数为 65535，输入参数必须为大于等于 0 的整数	
	Periods （脉宽）	设置范围 10ns~1000s，步进 10ns	注：周期时间 > 脉宽
	Pulse Width （周期）	设置范围 10ns~1000s，步进 10ns	

4.13 “DAQ（数据采集）” 功能介绍

LIA001M 操作软件集成了数据采集的功能，可对解调器解调结果（X、Y、R、Phase、frequency）、辅助输入 4 个通道、辅助输出 4 个通道以及 4 个 PID（Error、Shift、Out）（需安装 PID 选件）等数据的采集，“DAQ（数据采集）”功能面板包含数据绘图展示区和绘图显示控制区两功能区。

用户可在操作软件的左侧功能列表中左击  功能键打开“DAQ（数据采集）”功能页面，默认在功能操作展示区（下半区）打开此功能面板，如图 4.13-1 所示。

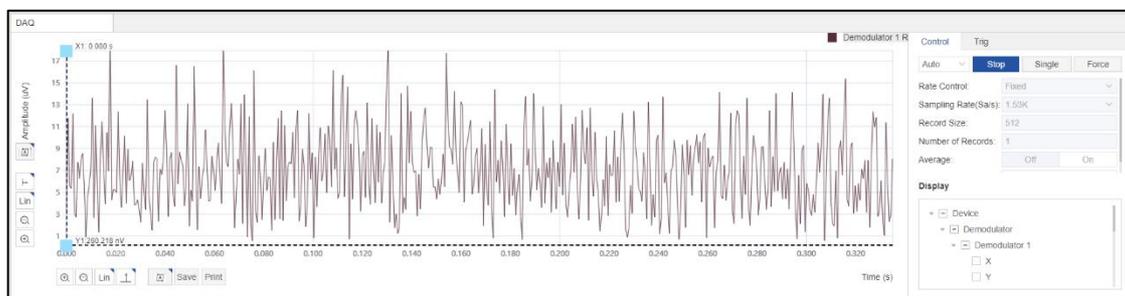


图 4.13-1 “DAQ（数据采集）” 功能界面

1、数据采集绘图展示区

示波器绘图展示区主要显示所选信号通道的波形展示以及绘图区域的缩放、游标、坐标轴、数据和图片保存的控制等功能。

绘图展示主要分为 5 部分组成（参考“Data Display（数据绘图）”功能）：

①绘图轨迹展示区；

②Y 坐标轴（显示元素结果及单位）；

③X 坐标轴（显示时间）；

④Y 坐标轴工具栏，包含放大、缩小、Y 游标、绘图类型、自动缩放显示等功能键。

⑤X 坐标轴工具栏，包含放大、缩小、X 游标、绘图类型、自动缩放显示、数据保存、图片保存等功能键。

如图 4.13-2 所示。

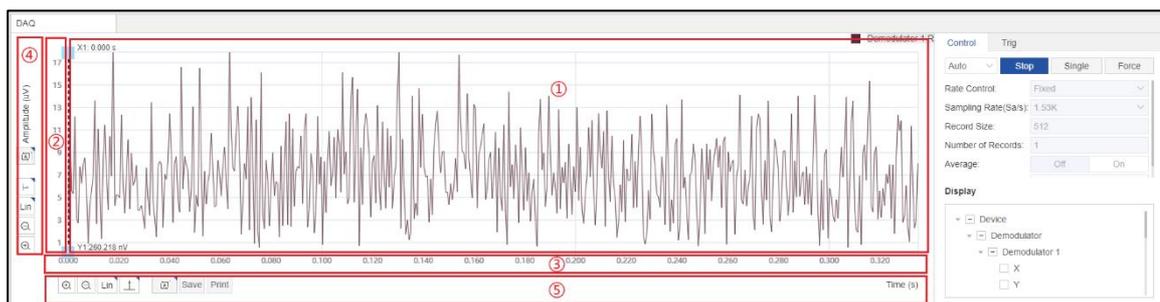


图 4.13-2 “DAQ（数据采集）”绘图展示区

2、数据采集控制区

①公共参数栏，控制数据采集的开始/停止及不同的运行模式。

②“Control（控制）”栏，包含数据采集模式的选择、采样率设置、采样长度设置、记录包数、谱平均、平均次数及绘图元素的选择等。

③“Trig（触发）”栏，包含触发源的选择、触发电平设置、迟滞电平设置、触发超时设置、触发释抑设置、触发延时设置、触发边沿检测等。

如图 4.13-3 所示。

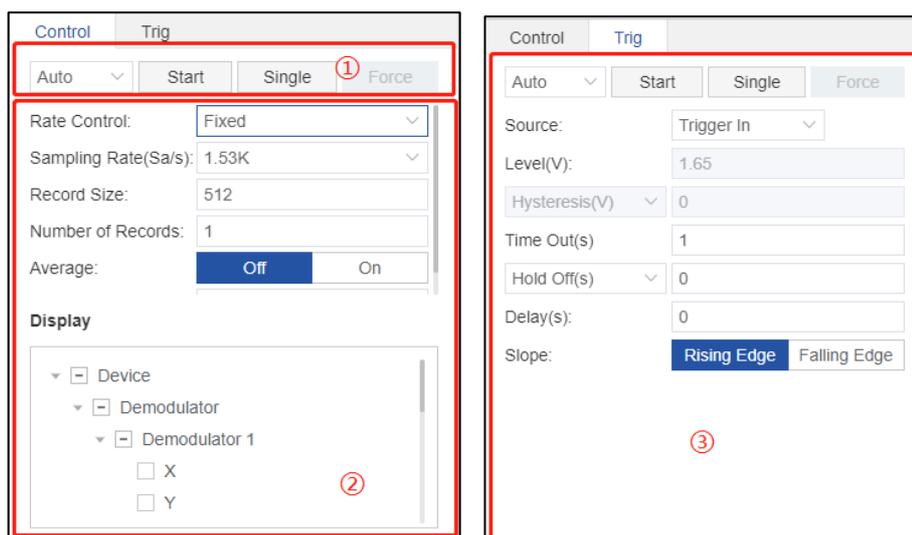
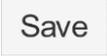


图 4.13-3 “DAQ（数据采集）”控制区界面

表 4.13-1 “DAQ（数据采集）”功能设置元素的详细介绍

功能	选项	描述	备注	
数据采集 绘图展示区	绘图轨迹展示区	用以展示已选择元素的实时数据绘图轨迹，用户可将鼠标移动到展示区后，滚动鼠标滚轮，基于鼠标中心沿X轴缩放图形；按住shift滚动滚轮,基于鼠标中心沿Y轴缩放图形。		
	Y坐标轴	用以展示已选信号通道采集数据的数值范围和单位		
	X坐标轴	用以展示已选信号通道采集数据的时间范围		
	Y坐标轴 工具栏		图形放大：单击控件后，图形基于绘图中心，沿Y轴放大图形。	
			图形缩小：单击控件后，图形基于绘图中心，沿Y轴缩小图形。	
			绘图模式，可选项包括Lin、Log、dB，默认选择Lin模式	
			Y轴游标控制：单击控件后，可选择关闭游标、单标显示、双游标显示、双游标联动等	
		Auto：0.5s刷新一次，根据200ms内统计值的最大值和最小值进行调整坐标轴； Man：手动调整，选中时根据当		

			前的坐标轴范围，通过鼠标滚动键进行手动缩放； FS：根据信号的输入量程最大量程范围设置坐标轴。	
X坐标轴 工具栏			图形放大：单击控件后，图形基于绘图中心，沿X轴放大图形。	
			图形缩小：单击控件后，图形基于绘图中心，沿X轴缩小图形。	
			绘图模式，可选项包括Lin、Log、dB，默认选择Lin模式	
			X轴游标控制：单击控件后，可选择关闭游标、单标显示、双游标显示、双游标联动等	
			Auto：0.5s刷新一次，根据200ms内统计值的最大值和最小值进行调整坐标轴； Man：手动调整，选中时根据当前的坐标轴范围，通过鼠标滚动键进行手动缩放； FS：根据信号的输入量程最大量程范围设置坐标轴。	
			数据保存：保存当前屏幕显示绘图轨迹，单击控件后，进入Windows文件保存路径选择流程，选择好需要保存的文件后确认，即可保存当前绘图满屏数据，默认数据格式为TXT。	
			图片保存：保存当前屏幕显示绘图图片，单击控件后，进入Windows文件保存路径选择流程，选择好需要保存的文件后确认，即可保存当前绘图轨迹图片，默认图片格式为JPG。	
数据 采集 控制 区	公共参数	Auto（自动）	该模式下，开始采用自动触发模式连续采集数据，并展示波形，需手动点击开始/停止按钮进行数据采集和绘图	
		Normal（常规）	该模式下，开始采用常规触发模式连续采集数据，并展示波形，需手动点击开始/停止按钮进行数据采集和绘图	

		Start/Stop (开始/停止)	单击按钮后, 开始/停止数据采集和绘图	
		Single (单次)	单击按钮后, 开始采用常规触发模式单次采集数据, 并展示波形, 采集完成后自动停止采集和绘图	
		Force (强制触发)	强制触发, 默认为禁用状态, 点击开始时, 强制触发控件为启用状态, 单击按钮, 下发强制采集指令。当锁相放大器正在采集数据时, 下发强制指令将不响应。	
	Control (控制)	Rate Control (速率控制)	下拉可选择“Fixed (固定模式)”或“Trig in (触发模式)”	
		Slope (触发边沿)	下拉可选择上升沿、下降沿及双边沿三种, 仅在“Trig in (触发模式)”下显示	
		Sampling Rate (采样率)	单独设置“DAQ (数据采集)”采样率, 不联动解调器, 下拉可选择采样率设置, 默认1.53k, “Trig in (触发模式)”下禁用, 采样率设置范围详见表4.13-2说明	
		Record Size (采样长度设置)	设置范围2~1000000; 设置精度: 1; 默认值为512	
		Number of Records (记录包数)	设置范围为: 1~65536; 默认值为1; 且: (采样长度*记录包数)需 $\leq 1M$; 当设置值计算 $> 1M$ 时, 自动切换至 $< 1M$ 的范围值	
		Average (谱平均)	打开和关闭切换, 默认为关闭, 功能打开后, 将取平均的数量的谱图按照时域对齐累加取平均	
		Counts (平均次数)	平均谱图数量设置, 默认值为: 1; 设置范围1~65536	
Display (显示)	用于选择在展示区垂直方向展示的信号, 用户可选择解调结果的X、Y、R、Phase、frequency、辅助输入、辅助输出的4个通道以及PID (Error、Shift、Out) (需安装PID选件), 可以基于元素树来选择不同的显示元素, 可在			

			元素名前的勾选框，左击选择显示。	
Trig (触发)	Source (触发源)		选择触发信号源，可下拉选择触发输入、解调器解调结果 (X、Y、R、Phase、frequency)、辅助输入4个通道、辅助输出4个通道以及PID (Error、Shift、Out) (需安装PID选件)；默认为触发输入	
	Level (触发电平)		默认为0；设置范围为：选择信号的量程±Range；设置精度为对应输入信号的分辨率；当触发源选择触发输入时，触发电平参数禁用，参数显示1.65V	
	Hysteresis (V/%) (迟滞电平)		设置范围为 (0~100%) *触发电平；设置精度0.01% *触发电平 (设置范围为根据level的值设置)；下拉选择电压值和比例值显示切换，触发信号源选择触发输入时禁用。	
	Time Out (触发超时)		设置范围：0~3600s；设置精度10us；默认值1s。	
	Hold Off (s/Trig) (触发释抑)		设置重启触发等待时间，设置范围为：0~13 s，最小设置精度10 ns,可切换为按照触发生效。	
	Reference (%) (触发参考)		设置范围：0%~100%；设置精度1%	
	Delay (触发延迟)		触发延时设置，设置范围为：0~10.486 s，最小设置精度为10 ns	
	Slope (触发边沿)		选择触发边沿检测模式，可选择上升沿或下降沿	

表 4.13-2 “DAQ (数据采集)” 的采样率设置范围

Fixed (固定模式)	
1.56 MSa/s	190.74 Sa/s
781.25 kSa/s	95.37 Sa/s
390.62 kSa/s	47.68 Sa/s

195.31 kSa/s	23.84 Sa/s
97.66 kSa/s	11.92 Sa/s
48.83 kSa/s	5.96 Sa/s
24.41 kSa/s	2.98 Sa/s
12.21 kSa/s	1.49 Sa/s
6.1 kSa/s	745.06 mSa/s
3.05 kSa/s	372.53 mSa/s
1.53 kSa/s	186.26 mSa/s
762.94 Sa/s	93.13 mSa/s
381.47 Sa/s	46.57 mSa/s

4.14 “Demo（简易模式）”功能介绍

“Demo（简易模式）”功能主要实现 LIA001M 单解调器信号解调功能快速上手，可通过简单设置输出 X、Y、R、 θ 解调值。

用户可在操作软件的左侧功能列表中左击  功能键打开“Demo（简易模式）”功能页面，该模块占据整个功能区，如图 4.14-1 所示。

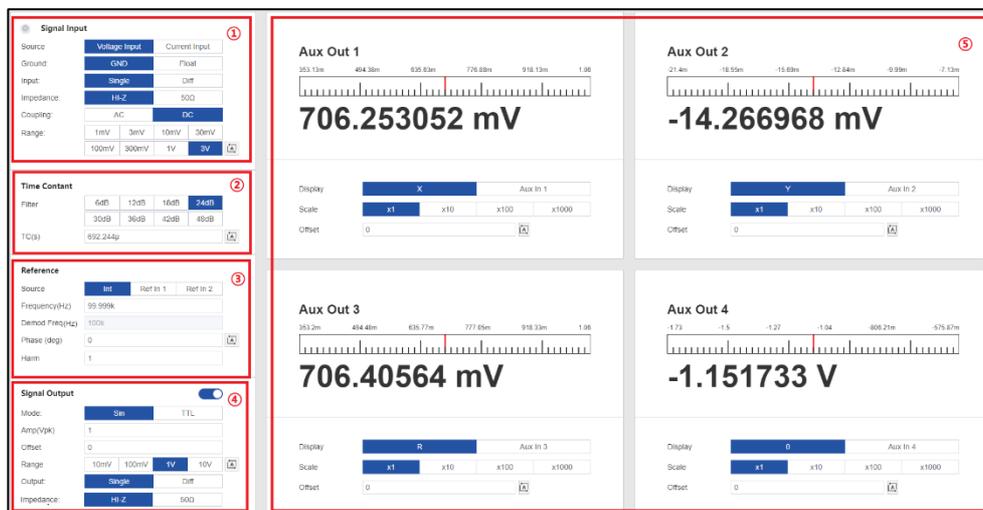


图 4.14-1 “Demo（简易模式）”功能界面

1、Signal Input（信号输入）

“Signal Input（信号输入）”功能区主要是完成对 Voltage In（电压输入）、Current In（电流输入）的参数设置。

2、Time Contant（时间常数）

“Time Contant（时间常数）”功能区主要是完成对滤波器阶数、时间常数的参数设置。

3、Reference（参考）

“Reference（参考）”功能区主要是完成参考源、频率、相位、谐波等参数设置。

4、Signal Output（信号输出）

“Signal output（信号输出）”功能区主要是完成偏置、输出形式、负载阻抗、输出量程等设置以及输出开关使能。

5、Aux Output 1、2、3、4（辅助输出 1、2、3、4）

“Aux Output 1、2、3、4（辅助输出 1、2、3、4）”功能区主要包括 X、Y、R、 θ 解调值及 Aux Input 1、2、3、4（辅助输入 1、2、3、4）的数字显示及信号增益和偏置设置。

表 4.14-1 “Demo（简易模式）”的设置元素的详细介绍

功能	选项	描述	备注	
Signal Input (信号输入)	超限警告指示灯	信号输入幅度超过输入量程时，指示灯亮起（红色）	需要减小信号输入的幅值或者增加信号输入的量程	
	Voltage In（电压输入）	Ground（接地模式）	选择电压输入的接地预外壳连接与断开，接地：连接电压输入的地线与设备外壳连接； 浮地：断开电压输入的地线与设备外壳的连接	
		Input（输入模式）	选择电压输入采用单端输入还是差分输入	

		Impedance (输入阻抗)	选择电压输入的阻抗值 (50 Ω 或者高阻)	选择高阻时, 输入阻抗为 10 M Ω
		Coupling (耦合方式)	选择电压输入的耦合方式, 可选择 AC 耦合或者 DC 耦合	
		Range (量程)	选择电压输入的量程范围 (±1 mV, ±3 mV, ±10 mV, ±30 mV, ±100 mV, ±300 mV, ±1 V, ±3 V) 自动: 点击后, 采集约 100 ms 的电压输入的数据, 根据 100 ms 内的最大和最小值, 自动调整合适的信号输入量程。	
	Current In (电流输入)	Ground (接地模式)	选择电流输入的接地预外壳连接与断开, 接地: 连接电压输入的地线与设备外壳连接; 浮地: 断开电压输入的地线与设备外壳的连接	此接地方式与电压输入的接到方式关联一致
Range (量程)		选择电流输入的量程范围 (±1 nA, ±10 nA, ±100 nA, ±1 μ A, ±10 μ A, ±100 μ A, ±1 mA, ±10 mA) 自动: 点击后, 采集约 100 ms 的电流输入的幅值, 根据 100 ms 内电流幅值的最大和最小值, 自动调整合适的电流输入量程。		
Time Contant (时间常数)	Filter (滤波器)		选择滤波器倍频程衰减速率 (6dB、12dB、18dB、24dB、30dB、36dB、42dB、48dB)	
	TC (时间常数)		TC 的设置范围为: 126 ns ~ 30 ks, 默认 692.244 μ s; 自动: 点击后, 根据当前解调频率值自动调整最佳 TC 值	
Reference (参考)	Int (内参考)	Frequency (频率)	设置内部参考的频率值, 设置范围 0~1.2 MHz, 设置最小步进 355nHz。	安装“5M”选件后, 设置

			范围为 0-5 MHz
		Demod Freq (解调频率)	显示当前解调频率的值
		Phase(相位)	设置参考信号的相位偏移, 设置范围为 $\pm 180^\circ$, 设置的最小精度为 1 udeg, 自动功能: 根据当解调的相位值调整相位 (反向偏移)
		Harm(谐波)	设置基于参考通道频率的谐波阶数, 最终以相应的谐波频率作为解调频率, 设置范围为 1~1023
	Ref in1/2 (外参考通道 1/2)	Demod Freq (解调频率)	显示当前解调频率的值
		Locked	锁定指示灯, 锁定状态下显示绿灯, 未锁定状态下显示红灯
		Phase(相位)	设置参考信号的相位偏移, 设置范围为 $\pm 180^\circ$, 设置的最小精度为 1 udeg, 自动功能: 根据当解调的相位值调整相位 (反向偏移)
		Harm(谐波)	设置基于参考通道频率的谐波阶数, 最终以相应的谐波频率作为解调频率, 设置范围为 1/1023~1023
Signal Output (信号输出)	输出开关	开关或关闭信号输出	
	Mode (信号类型)	选择信号输出类型, 可选择 Sine 或 TTL 信号	
	Phase (相位)	设置信号输出相位偏置, 设置范围为 $\pm 180^\circ$, 设置的最小精度为 1 udeg, 自动功能: 根据当解调的相位值调整相位 (反向偏移)	
	Amp(Vpk) (幅值)	设置信号输入的电压幅值; 设置范围: \pm 量程, 量程范围参见表 4.5-2 说明, 设置步进精度参见表 4.5-3 说明	

	Offset (偏置)	设置信号输出的直流偏置电压, 设置范围: \pm 量程, 量程范围参见表 4.5-2 说明, 设置步进精度参见表 4.5-3 说明	
	Range (量程)	选择信号输出的电压量程范围, 详见表 4.5-2 说明, 自动功能: 点开后实时根据信号输出的幅值实时调整输出的量程	
	Output (输出模式)	设置信号输出为单端输出还是差分输出	
	Impedance (负载阻抗)	选择锁相放大器信号输出的负载阻抗, 可选择高阻或 50Ω	
Aux Output 1 (辅助输出 1)	接口输出信号	输出解调 X 值	
	Display (显示)	点击可选择 X、Aux in1 实时值在上方区域显示	
	Scale (增益)	点击可选择 1、10、100、1000 增益倍数, 默认为 1	
	Offset (偏置)	将辅助输出信号上增加一个直流偏置 (数字域), 设置范围 $\pm 10 \text{ V}$, 设置精度: $20/2^{18}$, 默认为 0; 自动调整 offset, 将辅助输出值设置为零	
Aux Output 2 (辅助输出 2)	接口输出信号	输出解调 Y 值	
	Display (显示)	点击可选择 Y、Aux in2 实时值在上方区域显示	
	Scale (增益)	点击可选择 1、10、100、1000 增益倍数, 默认为 1	
	Offset (偏置)	将辅助输出信号上增加一个直流偏置 (数字域), 设置范围 $\pm 10 \text{ V}$, 设置精度: $20/2^{18}$, 默认为 0; 自动调整 offset, 将辅助输出值设置为零	
Aux Output 3 (辅助输出 3)	接口输出信号	输出解调 R 值	
	Display (显示)	点击可选择 R、Aux in3 实时值在上方区域显示	
	Scale (增益)	点击可选择 1、10、100、1000 增益倍数, 默认为 1	

	Offset (偏置)	将辅助输出信号上增加一个直流偏置 (数字域), 设置范围 $\pm 10\text{ V}$, 设置精度: $20/2^{18}$, 默认为 0; 自动调整 offset, 将辅助输出值设置为零	
Aux Output 4 (辅助输出 4)	接口输出信号	输出解调 θ 值	
	Display (显示)	点击可选择 θ 、Aux in4 实时值在上方区域显示	
	Scale (增益)	点击可选择 1、10、100、1000 增益倍数, 默认为 1	
	Offset (偏置)	将辅助输出信号上增加一个直流偏置 (数字域), 设置范围 $\pm 10\text{ V}$, 设置精度: $20/2^{18}$, 默认为 0; 自动调整 offset, 将辅助输出值设置为零	

4.15 “Stage Ctrl (平台控制)” 功能介绍 (需同时安装 Stage Ctrl 及 PID 选件)

LIA001M 操作软件集成了平台控制功能, 可实现 X/Y 方向平台扫描的控制, “Stage Ctrl (平台控制)” 功能面板包含 “X/Y stage scanning control (X/Y 方向平台扫描控制)” 参数控制和 “Aux Out 1、2、3、4 模块 (辅助输出 1、2、3、4)” 参数设置两块区域。

用户可在操作软件的左侧功能列表中左击  功能键打开 “Stage Ctrl (平台控制)” 功能页面, 默认在功能操作展示区 (下半区) 打开此功能面板, 如图 4.15-1 所示。

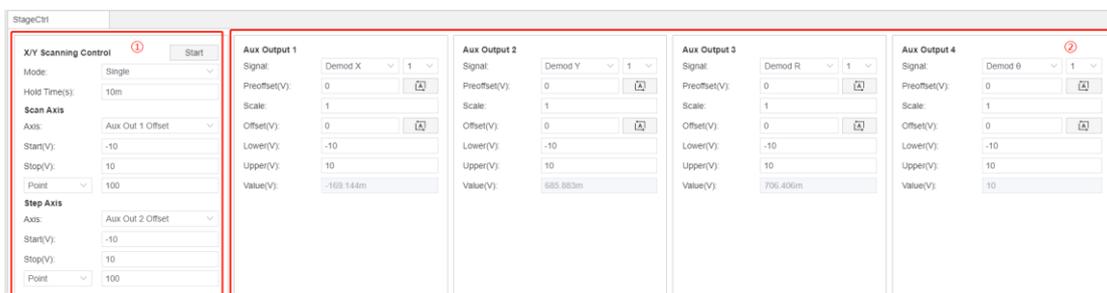


图 4.15-1 “Stage Ctrl (平台控制)” 功能界面

1、X/Y 方向平台扫描控制区

X/Y 方向平台扫描控制区域主要包含扫描模式、扫描轴、步进轴三个模块，对于相应模块的参数进行选择和控制。

2、辅助输出控制区

辅助输出功能区主要是完成对辅助输出 4 个通道的信号选择、预偏置、数字增益、偏置、输出电压限位等参数设置。

表 4.11-1 “平台控制” 功能设置元素的详细介绍

功能	选项	描述	备注
X/Y方向 平台扫描 控制区	Start/Stop (开始/停止)	X/Y平台扫描开关, 点击start后, 禁用所有可设置的参数; 点击stop控件, 使能控件跳转; 默认为stop状态	
	Mode (模式)	下拉选择单次扫描(默认)或者往返扫描, (此模式仅仅为扫描轴适用)	
	Hold time (保持时间)	设置每个扫描点的保持时间, 范围 10 μs(默认)~120s; 步进精度 10 μs	
	Scanning-Axis (扫描轴)	下拉选择: AUX Out Offset 1 (默认)、2、3、4; 与步进轴互斥, 不可同时选择相同的选项; 与PID输出源、Sweeper扫描源选择互斥	
	Start (起始)	扫描起始电压, 设置范围±10V; 设置精度: 20V/2 ¹⁸	
	Stop (结束)	扫描结束电压, 设置范围±10V; 设置精度: 20V/2 ¹⁸	
	Point/Step (点数/步进)	1、Point设置扫描点数, 设置范围1-1024; 设置精度为: 1; 2、切换Point (默认) 与Step, 显示切换, 点数与步进切换规则为: 结束点-起始点 /Point;	
	Stepping-Axis (步进轴)	下拉选择: AUX Out Offset 1 (默认)、2、3、4; 与扫描轴互斥, 不可同时选择相同的选项; 与PID输出源、Sweeper扫描源选择互斥	
	Start (起始)	步进轴起始电压, 设置范围±10V; 设置精度: 20V/2 ¹⁸	
	Stop (结束)	步进轴结束电压, 设置范围±10V; 设置精度: 20V/2 ¹⁸	
	Point/Step (点数/步进)	1、Point设置步进点数, 设置范围1-1024; 设置精度为: 1;	

		2、切换Point（默认）与Step，显示切换，点数与步进切换规则为： 结束点-起始点 /Point；	
辅助输出控制区	同AUX 模块中AUX Out，且与所有界面AUX关联		

4.16 “AM/FM（调幅/调频）”功能介绍（需同时安装 AM/FM 选件及多解调器选件）

Melab 操作软件集成了“AM/FM（调幅/调频）”功能，利用三个解调器的组合实现晶振频率的线性组合，通过载波和边带的设置，控制 AM、FM 和手动模式的解调，如图 4.16-1 所示。

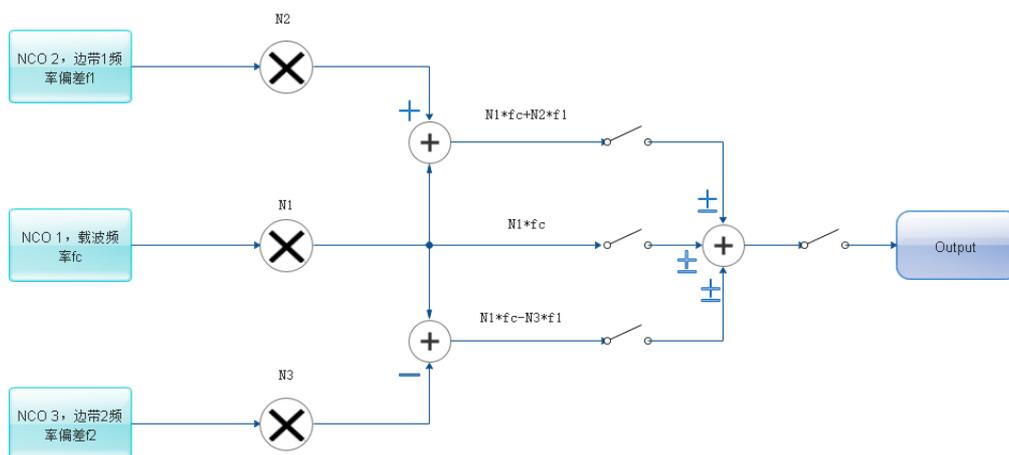


图 4.16-1 “AM/FM（调幅/调频）”框图

1、AM（调幅）：一个载波信号和两个由 AM 调制频率分隔在载波两侧的边带，公式推导如下：

$$\begin{aligned}
 s(t) &= [A_c + A_m * \sin\omega_m t] * \sin\omega_c t \\
 &= A_c * \sin\omega_c t + A_m * \sin\omega_m t \sin\omega_c t \\
 &= A_c * \sin\omega_c t + \frac{A_m}{2} [\cos(\omega_c - \omega_m) t - \cos(\omega_c + \omega_m) t];
 \end{aligned}$$

其中， $m(t) = A_m * \sin\omega_m t$ 为调制信号； $c(t) = A_c * \sin\omega_c t$ 为载频信号。

AM 调制总结：

- ①经过 AM 调制的信号包含三个频率分量：
- ②新的频率分量为简单加减，故也为线性调制；

③边带信号的幅值为调制信号幅值的一半。

2、FM（调频）：由载波信号的相干叠加产生的，载波信号的两侧各有两个边带频率，其幅值相同，但相位相反，公式推导如下：

以单音信号为例，设单音信号为

$$m(t) = A_m * \cos\omega_m t = A_m \cos 2\pi f_m t \quad (\text{公式 1})$$

则单音调制 FM 信号的时域表达式为

$$S_{FM}(t) = A \cos[\omega_c t + m_f \sin\omega_m t] \quad (\text{公式 2})$$

式(2)中： m_f 为调频指数，其表达式

$$m_f = \frac{K_f A_m}{\omega_m} = \frac{\Delta\omega}{\omega_m} = \frac{\Delta f}{f_m} \quad (\text{公式 3})$$

K_f 为调频灵敏度（rad/(s*v)）；

A_m 为调频信号幅度；

Δf 为最大频偏；

f_m 为调制频率。

调制信号展开，有

$$S_{FM}(t) = A \cos\omega_c t * \cos(m_f \sin\omega_m t) - A \sin\omega_c t * \sin(m_f \sin\omega_m t) \quad (\text{公式 4})$$

将式(4)中两个因子分别展开成如下傅里叶级数：

$$\cos(m_f \sin\omega_m t) = J_0(m_f) + \sum_{n=1}^{\infty} 2J_{2n}(m_f) \cos 2n\omega_m t \quad (\text{公式 5})$$

$$\sin(m_f \sin\omega_m t) = 2 \sum_{n=1}^{\infty} J_{2n-1}(m_f) \cos(2n-1)\omega_m t \quad (\text{公式 6})$$

式中： $J_n(m_f)$ 为第一类 n 阶贝塞尔函数，其是调频指数 m_f 的函数，如图 4.16-2 所示。

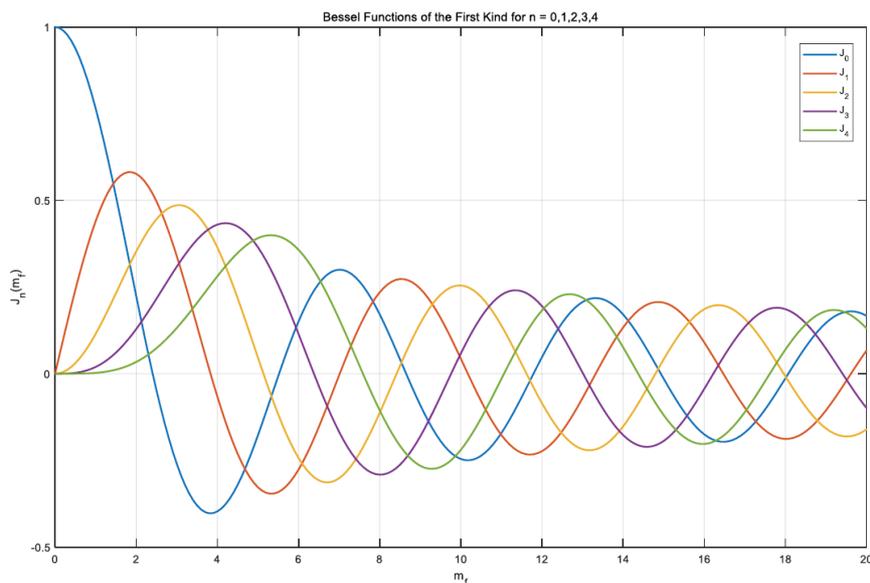


图 4.16-2 $J_n(m_f)$ 随 (m_f) 的变化关系曲线

根据三角函数和贝塞尔函数性质

$$J_{-n}(m_f) = -J_n(m_f), \quad n \text{ 为奇数时}$$

$$J_{-n}(m_f) = J_n(m_f), \quad n \text{ 为偶数时}$$

得到 FM 信号的级数展开式为:

$$\begin{aligned} S_{FM}(t) &= A J_0(m_f) \cos \omega_c t - A J_1(m_f) [\cos(\omega_c - \omega_m) t - \cos(\omega_c + \omega_m) t] + \\ &A J_2(m_f) [\cos(\omega_c - 2\omega_m) t + \cos(\omega_c + 2\omega_m) t] - A J_3(m_f) [\cos(\omega_c - 3\omega_m) t + \\ &\cos(\omega_c + 3\omega_m) t] + \dots \\ &= A \sum_{n=-\infty}^{+\infty} J_n(m_f) \cos(\omega_c + n\omega_m)t \end{aligned} \quad (\text{公式 7})$$

对其进行傅里叶变换, 即得到 FM 信号的频域表达式为

$$S_{FM}(t) = \pi A \sum_{n=-\infty}^{+\infty} J_n(m_f) [\delta(\omega - \omega_c - n\omega_m) + \delta(\omega + \omega_c + n\omega_m)] \quad (\text{公式 8})$$

FM 调制总结:

- ① 调频信号的频谱由载波分量 ω_c 和无数边频分量 $\omega_c \pm n\omega_m$ 组成;
- ② 当 $n=0$ 时是载波分量 ω_c , 其幅度为 $A J_0(m_f)$; 当 $n \neq 0$ 时就是对称分布在载频两侧的边频分量 $\omega_c \pm n\omega_m$, 其幅度为 $A J_n(m_f)$, 相邻边频之间的间隔为 ω_m ;
- ③ 当 n 为奇数时, 上、下边频极性相反; 当 n 为偶数时极性相同;

④FM 信号的频谱不再是调制信号的频谱的线性搬移，而是一种非线性的过程；

⑤在实际实现中，若固定载频幅度不变，则载频和边带幅度根据一类贝塞尔函数求出，且边带幅度并向载频信号幅度做归一化处理。例如，设置载频幅度 A_c ，调制指数 $m_f = 1$ ，那么第一边带幅度

$$A_m = \pm \frac{AJ_1(1)}{AJ_0(1)} A_c, \text{ 式中 } \pm \text{ 表示上下边带极性相反。}$$

3、手动模式：可自由选择所有设置。

“AM/FM（调幅/调频）”功能包括“AM/FM（调幅/调频）”模式设置、“Oscillators（晶振）”设置、“Generation（生成）”及“Demodulators（解调器）”参数设置四个功能区域。

用户可在操作软件的上方功能列表中左击  功能键打开“AM/FM（调幅/调频）”功能页面，默认在功能操作展示区（下半区）打开此功能面板，如图 4.16-3 所示。

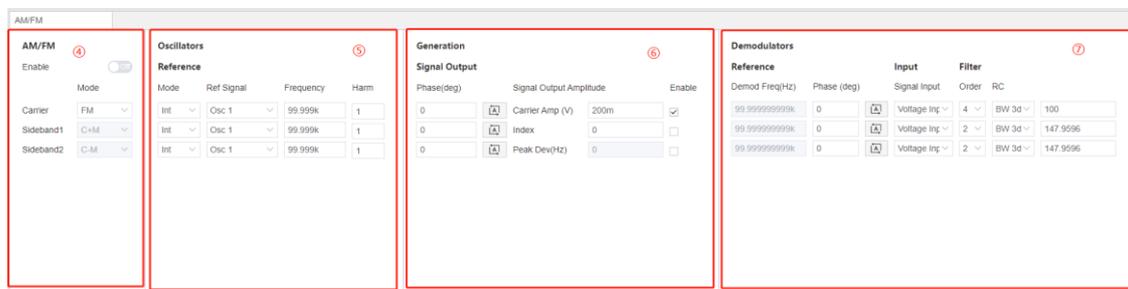


图 4.16-3 “AM/FM（调幅/调频）”功能界面

4、AM/FM（调幅/调频）

“AM/FM（调幅/调频）”设置区主要是完成“AM/FM（调幅/调频）”功能模块的启动、关闭以及载波和边带的对应模式的切换。

5、Oscillators（晶振）

“Oscillators（晶振）”设置区主要是完成不同调制模式下，参考信号的模式、信号源、频率以及谐波的设置。

6、Generation（生成）

“Generation（生成）”区域主要是完成不同调制模式下，三个解调器信号输出的相位、幅值以及输出使能开关的相关设置。

7、Demodulators（解调器）

“Demodulators（解调器）”设置区主要是完成不同调制模式下，三个解调器的解调频率显示、解调相位设置、信号输入选择以及滤波器相关参数设置。

表 4.16-1 “AM/FM（调幅/调频）”功能设置元素的详细介绍

功能	选项	描述	备注
AM/FM (调幅/ 调频)		使能开关，单击开启/关闭 AM/FM 功能	启用后，Lock-in（锁相）中由该单元控制的所有设置都将设为只读。
	Carrier (载波)	选择 AM/FM 的工作模式，默认为 manual，可下拉选择 AM、FM、Manual 3 种调制模式，关联至解调器 1	
	Sideband 1 (边带 1)	设置边带 1 的模式，下拉选择 C+M、C-M、off，默认为 C+M，关联至解调器 2	在 AM 或者 FM 模式下禁止编辑，为 C+M
	Sideband 2 (边带 2)	设置边带 2 的模式，下拉选择 C+M、C-M、off，默认为 C-M，关联至解调器 3	在 AM 或者 FM 模式下禁止编辑，为 C-M
Oscillato rs (晶 振)	Mode (模 式)	选择参考通道的模式，默认为内部参考，可下拉选择 int, Ext	开启 AM/FM 功能后不可设置
	Ref Signal (参考信 号)	选择参考通道频率的来源，默认为 OSC 1，在内部参考模式下，可下来选择 OSC 1、2、3、4；在外参考模式下，可下来选择：Aux in 1、Aux in 2、Trig in 1、Trig in 2	开启 AM/FM 功能后不可设置
	Frequency (频率)	设置参考通道频率的频率，默认为 100.000kHz，设置范围 0~1.2MHz(5M 选件为 5.5M)；分辨率 355nHz；在参考模式为 EXT 时，禁止编辑，仅显示锁相频率	选择 AM 或 FM 模式时，解调器 Sideband 2 的频率禁止编辑，且与 Sideband 1 的频率一致，跟随其变化
	Harm (谐 波)	调制模式下的谐波阶数设置，默认为 1；设置范围 1~23；设置精度：1	选择 AM 或 FM 模式时，解调器 Sideband 2 的频率禁止编辑，

			且与 Sideband 1 的频率一致，跟随其变化
Generation (生成)	Phase (相位)	设置调制模式下的输出相位，默认为 0；设置范围±180°；设置精度：1udeg；点击自动按钮可调整输出 Phase 值归零	选择 AM 或 FM 模式时，解调器 Sideband 2 的频率禁止编辑，且与 Sideband 1 的频率一致，跟随其变化
	Signal Output Amplitude (信号输出幅值)	Carrier Amp (载波幅值)：设置载波幅值，默认 200mV，单击启用	
		Amplitude 1：设置第一个边带分量的幅值，默认 300mV，单击启用	Manual (手动) 模式，该模式下在 Lock-in (锁相) 流程图下可选择是否将载波同步至解调器 2/3
		Amplitude 2：设置第二个边带分量的幅值，默认 300mV，单击启用	
		Modulation 1：设置第一个边带分量的幅值，默认 300mV，单击启用	AM (调幅) 模式
		Modulation 2：设置第二个边带分量的幅值，与第一个边带分量设置一致，状态为禁用	
		Index：为在 FM 模式下，设置调制指数值，默认为 0，调制指数等于峰值偏差除以调制频率，单击启用	此模式只针对窄带操作，峰值频率偏移和解调频率应满足 $\omega_p/\omega_m \ll 1$ 。
Peak Dev：为在 FM 模式下，设置峰值的偏差值显示，单击启用			
Demodulators (解调器)	Demod Freq (解调频率)	解调器解调频率显示	
	Phase (相位)	默认为 0；设置范围±180°；设置精度：1udeg；点击自动按钮可调整解调 Phase 值归零	
	Signal Input (信号输入)	可下拉选择：“Voltage In (电压输入)”、“Current In (电流输入)”、“Aux In 1 (辅助输入 1)”、“Aux In 2 (辅助输入 2)”、“Aux Output 1 (辅助输出 1)”、“Aux Output 2 (辅助输出 2)”、“Aux Output 3 (辅助输出 3)”、	

		“Aux Output 4（辅助输出4）”、Constant（恒压）”作为解调器的信号输入	
	Order（阶数）	滤波器阶数设置，下拉选择滤波器阶数（1~8），默认为4	
	TC（时间常数）	设置滤波器的带宽、用户可下来选择“TC”、“BW3 dB”、“BWNEP”3种显示形式，默认显示为3dB带宽：默认值为：100Hz，TC的设置范围为：126 ns~30 ks；时间常数、3 dB带宽、等效噪声带宽三者转换关系详见：表 7.1-1 说明	

4.17 “Setting（设置）”功能介绍

“Setting（设置）”功能主要显示用户当前操作软件和设备配置信息等。

用户单击按钮后，弹出“设置功能界面”，如图 4.17-1 所示，主要有“About（关于）”和“Configure（配置）”2个功能区。

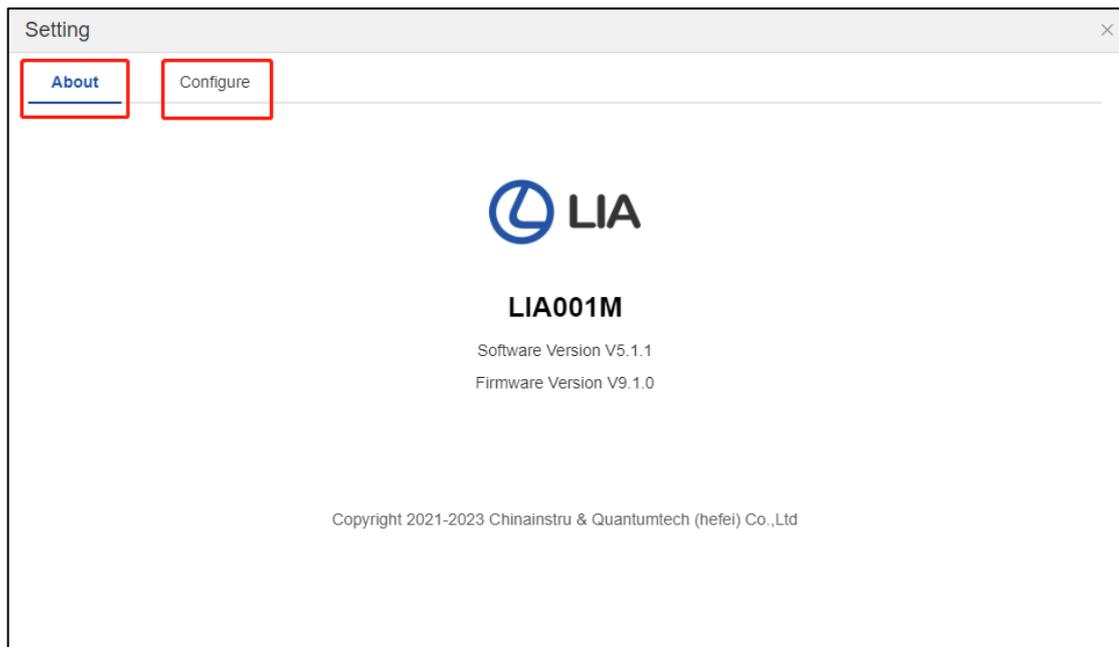


图 4.17-1 “Setting（设置）”功能界面

1、About（关于）

“About（关于）”功能区主要是完成对设备与软件的信息显示。

2、Configure（配置）

“Configure（配置）”功能区主要时完成软件语言切换、日志格式和数据记录。

配置功能区主要分为三个部分组成。

① “Language（语言）”控制栏，完成整个软件语言切换的控制，可下拉切换英文或者中文；

② “Log Format（日志格式）”显示栏，显示运行日志指令的版本；

③ “Recode Data”（数据记录）控制栏，完成数据记录的选择和设置，勾选后保存。

a、用户可可以基于元素树来选择不同的显示元素，包含解调结果的 X、Y、R、Phase、frequency 以及辅助输入的 4 个通道，PID 的 3 个通道（需安装选件）等，可在元素名前的勾选框，左击选择保存的数据。

b、“File Format”（文件格式），下拉可选择保存数据格式；txt、csv，默认为 txt；

c、Interval（保存间隔时间），设置范围为 1~120s；默认为 10s；

d、Points（点数），保存设置点数设置，设置范围为 1~16384；（一帧数据保存完成后，等待间隔时间；再次保存下一帧数据覆盖前一帧数据），默认为 10。

如图 4.17-2 所示

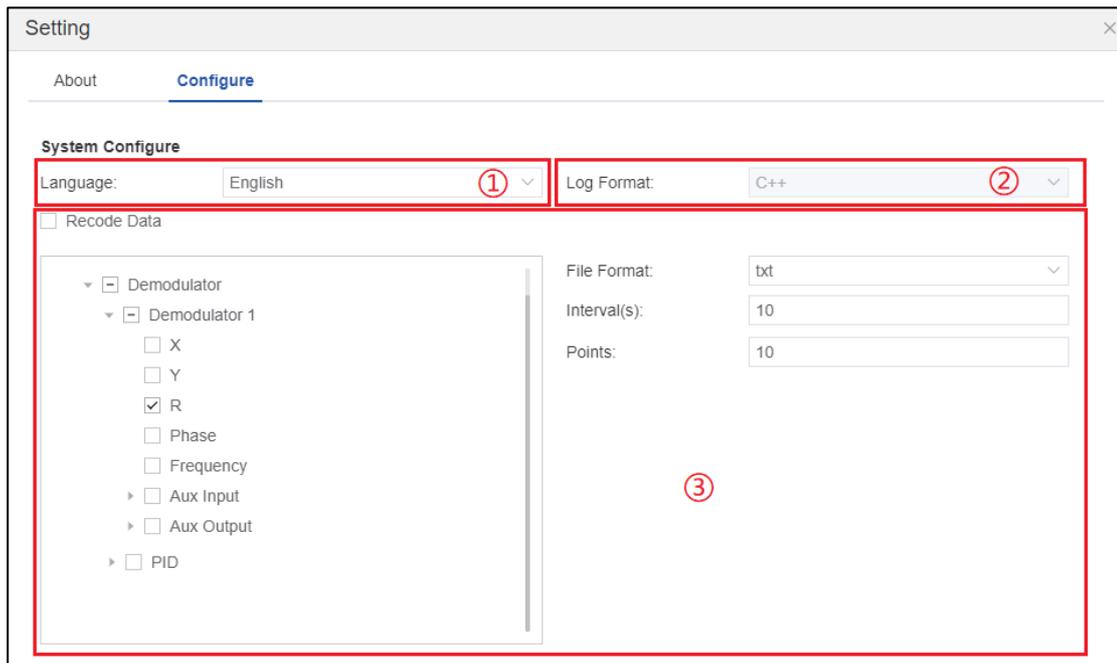


图 4.17-2 “Configure（配置）” 功能界面

5. 示例教程

本章中的教程是为了使用户更加快速学习和熟悉锁相放大器的基本原理、操作以及功能。为了更好的学习本教程和实际操作，要求用户具有一定的实验室设备和相关设备的操作的知识。

5.1 外部参考解调测试

本教程，主要实现使用 1 台双通道的信号发生器产生 2 路同频同相的待测信号并使用锁相放大器的外部参考功能实现信号的解调。

本测试实验需要准备的设备及辅材清单如下：

- 1、1 根网线
- 2、2 根 BNC 连接同轴电缆
- 3、1 台双通道的信号发生器

5.1.1 运行前准备

- 1、准备 1 台锁相放大器、1 台双通道的信号源、1 台已安装 LIA001M 锁相放大器的操作软件的 PC。
- 2、将锁相放大器、信号源、PC 的电源线连接好，并上电开机；
- 3、将锁相放大器和 PC 分别通过一根网线连接至同一台路由器上建立局域网网络；
- 4、用 2 根 BNC 同轴电缆将信号源的 2 路输出连接至锁相放大器的 Signal In 的 V+端和 Ref1 端，详细的设备连线参见图 5.1.1-1。

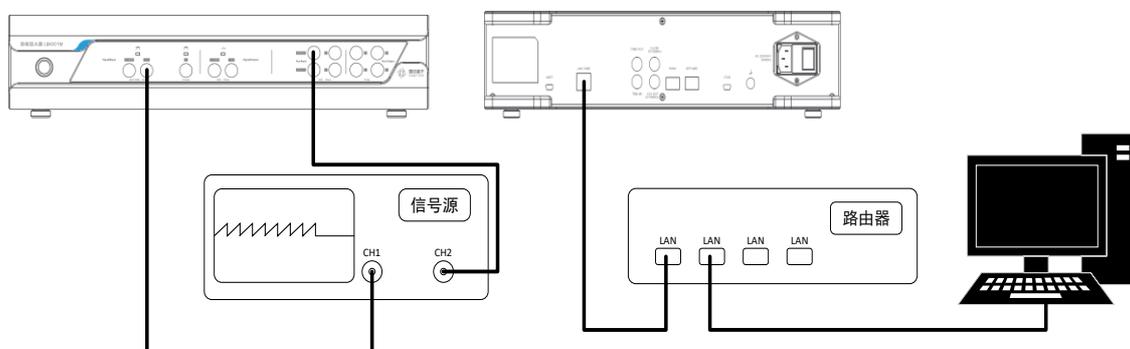


图 5.1.1-1 实验设备连线示意图

5.1.2 测试信号输入

1、使用双通道信号源分别产生同频同相的 2 路信号，信号频率为 200 kHz，输出幅值为 1 V_{pp}，输出阻抗为 50 Ω、输出波形为正弦；

2、打开 LIA001M 锁相放大器操作软件，并连接设备，在“Lock-In（锁相放大器）”或者“Params（参数表）”功能模块中，找到“Signal Input（信号输入）”模块，将信号输入选择为“Voltage In（电压输入）”；

3、将“Voltage In（电压输入）”的“Ground（接地模式）”设置为“Float（浮地）”模式、“Input（输入模式）”设置为“Single（单端）”输入、“Impedance（输入阻抗）”设置为“50 Ω”、“Coupling（耦合方式）”设置为“DC（直流耦合）”、“Range（量程）”设置为 1 V、“Scaling（数字放大器倍率）”设置为 1 V/V，信号输入设置如图 5.1.2-1 和 5.1.2-2 所示。

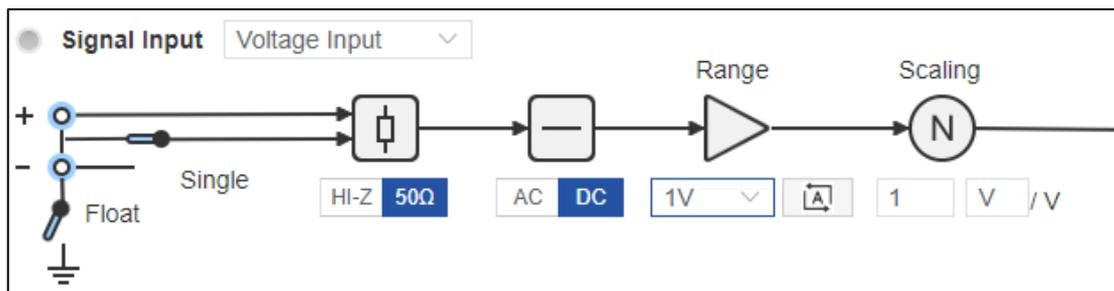


图 5.1.2-1 信号输入设置（Lock In 中设置）

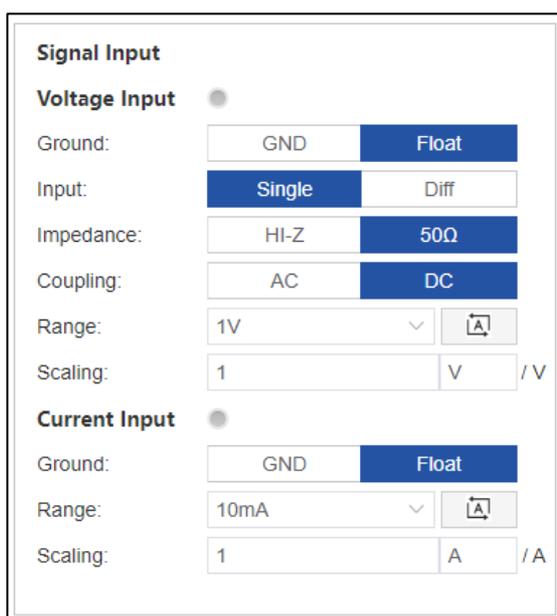


图 5.1.2-2 信号输入设置（Params 中设置）

4、在操作软件的左侧列表中点击打开“Scope（示波器）”功能模块，并在右侧的“Control（控制）”栏中，将“Mode（示波模式）”设置为“Time（时域模式）”、“Sample Rate（采样率）”设置为 100 MSa/s、“Points（采集点数）”设置为 16384、“Channel 1（示波通道 1）”设置为“Voltage In（电压输入）”，状态为开启、“Channel 1 BW Limit（示波通道 1 带宽限制）”设置为关闭、“Channel 2（示波通道 2）”设置为“Voltage In（电压输入）”，状态为关闭、“Channel 2 BW Limit（示波通道 2 带宽限制）”设置为关闭，设置如图 5.1.2-3 所示。

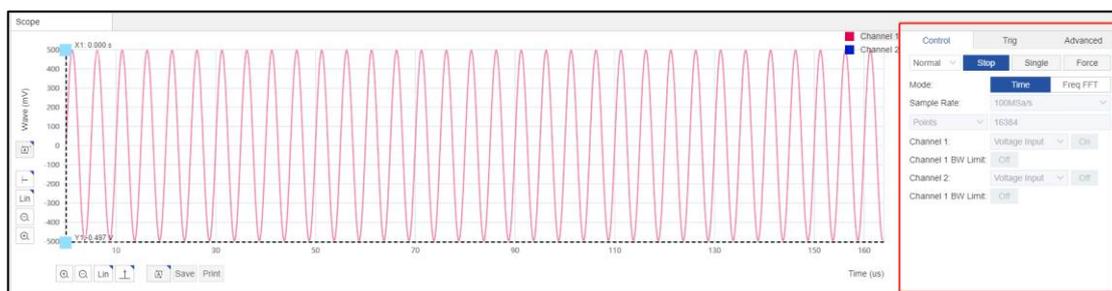


图 5.1.2-3 示波器“Control（控制）”栏设置

5、在右侧的“Trig（触发）”栏中，将“Source（触发源）”设置为“Voltage In（电压输入）”、“Level（触发电平）”设置为 0 V、“Hysteresis（迟滞电压）”设置为 0V、“Time Out（触发超时）”设置为 1s、“Hold Off（触发释抑）”设置为 0s、“Reference（触发参考）”设置为 0、“Delay（触发延迟）”设置为 0 s、“Slope（触发边沿）”设置为“Rising（上升沿）”，设置如图 5.1.2-4 所示。

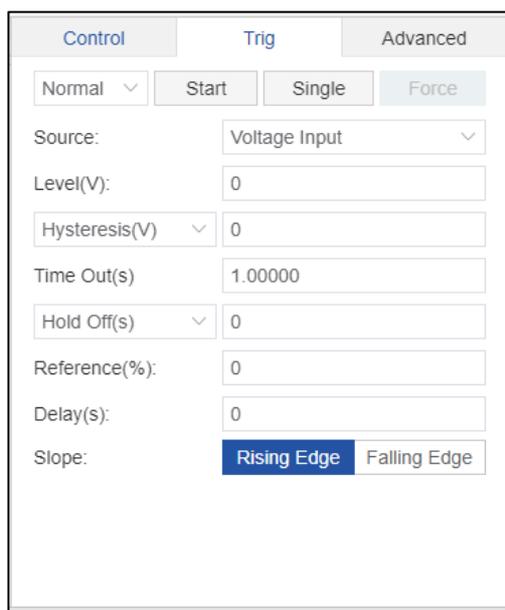


图 5.1.2-4 示波器设置

6、选择“Normal（常规）”模式，点击开始按钮，示波观察采集到信号波形和幅值。

“测试信号输入”的详细参数配置参见表 5.1.2-1 说明，若已将示波器连接至“Signal Output V+（信号输出 V+）”，且示波器的输入阻抗设置为 $50\ \Omega$ ，可以将锁相放大器的“Scope（示波器）”采集的波形与示波器上的波形进行对比观察。

表 5.1.2-1 生成测试信号的设置

功能模块	模块	参数	设置值或状态
Lock-In/ Params（锁相放大器/ 参数表）	Signal Input（信号输入）	Signal Input（信号输入）	Voltage In（电压输入）
		Ground（接地模式）	Float（浮地）
		Input（输入模式）	Single（单端）
		Impedance（输入阻抗）	$50\ \Omega$
		Coupling（耦合方式）	DC（直流耦合）
		Range（量程）	1 V

		Scaling (数字放大器倍率)	1 V/V
Scope	Control (控制)	Mode (示波模式)	Time (时域模式)
		Sample Rate (采样率)	100 MSa/s
		Points (采集点数)	16384
		Channel 1 (示波通道 1)	Voltage In (电压输入), 状态为开启
		Channel 1 BW Limit (示波通道 1 带宽限制)	关闭
		Channel 2 (示波通道 2)	Voltage In (电压输入), 状态为关闭
		Channel 2 BW Limit (示波通道 2 带宽限制)	关闭
	Trig (触发)	Source (触发源)	Voltage In (电压输入)
		Level (触发电平)	0 V
		Hysteresis (迟滞电压)	0V
		Time Out (触发超时)	1s
		Hold Off (触发释抑)	0s
		Reference (触发参考)	0
		Delay (触发延迟)	0 s
		Slope (触发边沿)	Rising (上升沿)

5.1.3 解调测量测试信号

本章节操作承接 5.1.2 章节的信号输入，使用 LIA001M 解调测试输入信号的幅度和相位，本章节将使用到锁相放大器的“Data Numeric (数据数值显示)”和“Data Display (数据绘图)”功能，具体操作如下。

1、将“Reference Frequency (参考频率)”选择 Ext (外部参考)，并选择外部参考源为“Aux In 1”，观察锁相环的频率和锁定状态；

2、将“Filter（滤波器）”模块的“Order（滤波器阶数）”设置为“4”阶、滤波器的“TC（时间常数）”设置为“BW 3dB（-3 dB 带宽）”显示，“BW 3dB（-3 dB 带宽）”设置为 20 kHz，“Sinc（陷波滤波器）”的状态设置为“off（关闭）”关闭状态；

3、在数据传输模块中，将“Rate（传输速率）”设置 6.1 kSa/s,传输模式设置 Continuous（连续模式），打开“Data Transfer”开关按钮；

设置详情参见图 5.1.3-1 所示

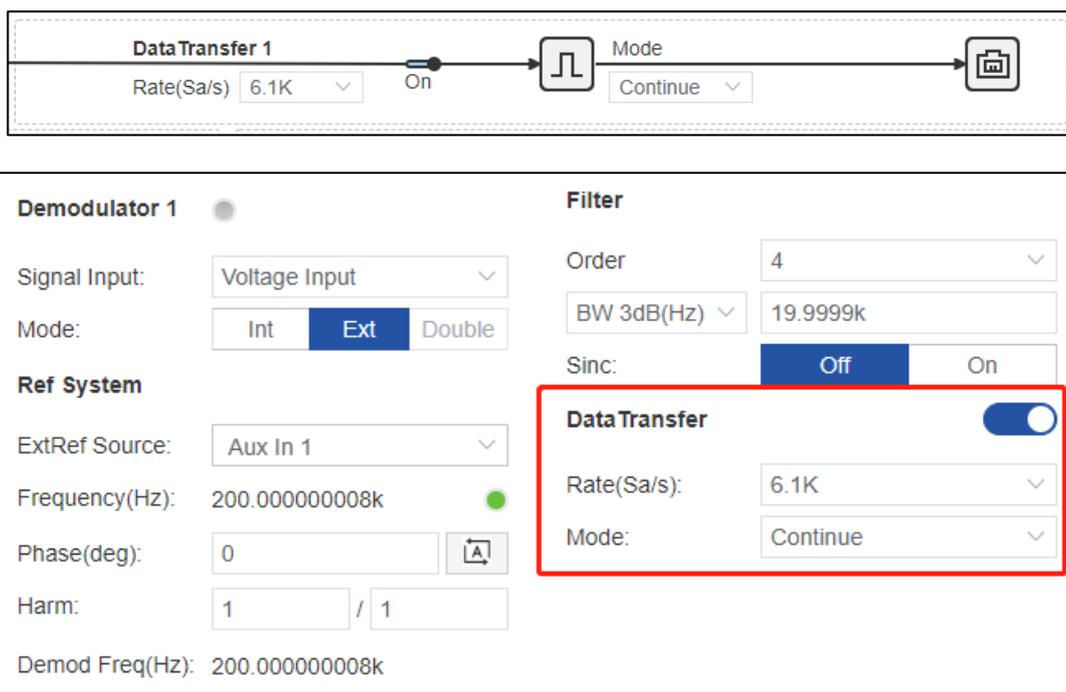


图 5.1.3-1 解调滤波器和数据传输设置

4、在操作软件的左侧列表中点击打开“Numeric（数据数值显示）”功能，并在“Numeric（数据数值显示）”功能的右侧栏中勾选选择显示 R、Phase，观察解调的幅值和相位；

设置详情参见图 5.1.3-2 所示

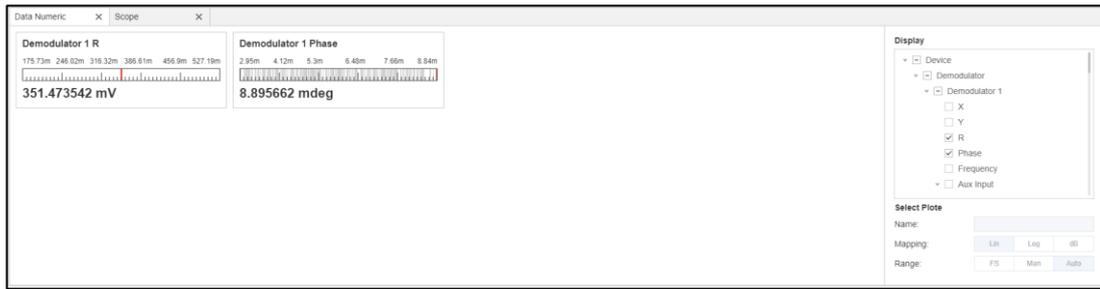


图 5.1.3-2 解调数值显示设置

5、在操作软件的左侧列表中点击打开“Data Display（数据绘图）”功能，并在“Data Display（数据绘图）”功能的右侧栏中勾选选择显示 R、Phase，并将“绘图时间长度”设置 2 s，点击“Start（开始）”按钮，观察解调的幅值和相位绘图结果；

设置详情参见图 5.1.3-3 所示

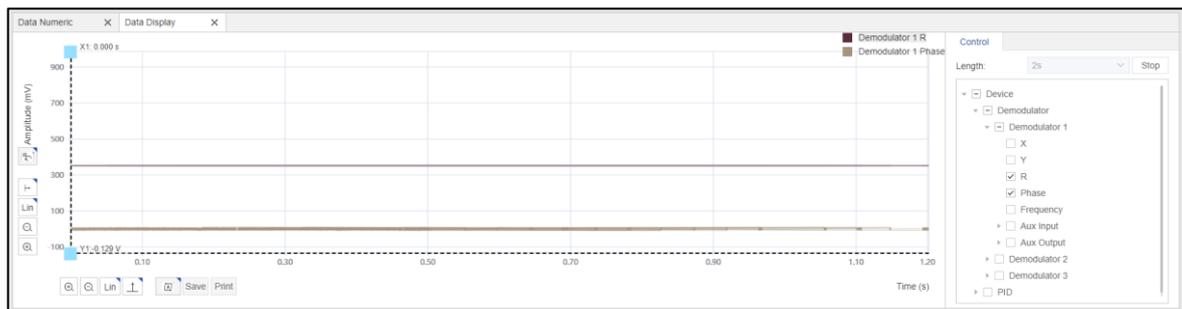


图 5.1.3-3 数据绘图设置

6. 技术规格指标

6.1 技术规格指标

表 6.1-1 一般规格

参数	描述
存储温度	-10℃~50℃
存储相对湿度	<95%,无凝露
使用环境	室内安装、过电压等级 2 级, 污染度 2 级
工作海拔	最大工作海拔高度为 2000 米
工作温度	0℃~40℃
工作相对湿度	≤90%, 无凝露
指标温度	23±2℃; 注: 当环境温度变化达 5℃(9°F)或以上时, 产品性能会发生变化
功耗	<60 W
电源	220/240 V; 50/60 Hz
尺寸	436.6 mm (长) ×89 mm (高) ×302 mm (宽)
重量	<5 kg
推荐的校准时间	每 2 年
质保	1 年

表 6.1-2 电压输入

参数	描述
输入通道	2 个 BNC (前面板), 单端输入 (V+) 或者差分输入 (V+, V-)
输入阻抗	50 Ω 或高阻 (10 MΩ) (软件可设置)
接地形式	浮地或接地 (软件可设置)

耦合方式	AC 或 DC 耦合（软件可设置）
频率范围	DC~1 MHz/5 MHz（需安装 5M 选件）
采样率	100 MSa/s
垂直分辨率	16 bit
电压量程	$\pm 1\text{ mV}, \pm 3\text{ mV}, \pm 10\text{ mV}, \pm 30\text{ mV}, \pm 100\text{ mV}, \pm 300\text{ mV}, \pm 1\text{ V}, \pm 3\text{ V}$
全量程灵敏度（锁相放大器 10 V 输出）	1 nV~3 V
噪声密度	典型值：2.5nV/ $\sqrt{\text{Hz}}$ ，@>1 kHz；8 nV/ $\sqrt{\text{Hz}}$ ，@10 Hz；28nV/ $\sqrt{\text{Hz}}$ ，@1 Hz（在 3 mV 量程下，使用短接冒短接输入端）
输入噪声转折频率	$\leq 1\text{ kHz}$ ，@ $\leq 10\text{ mV}$ 量程
AC 耦合截止频率	1.6 Hz
交流耦合的下，最大可承受直流偏置	$\pm 10\text{ V}$
增益精度	<1%，@ $\leq 1\text{ MHz}$
输入偏置幅度	$\leq 1\%$ ，@ $\geq \pm 30\text{ mV}$ 量程； $\leq 0.5\text{ mV}$ ，@ $< \pm 30\text{ mV}$ 量程
幅值稳定度	0.1%/°C
动态储备	$\geq 120\text{ dB}$
谐波失真	1V 档位：80 dBc@ $\leq 100\text{ kHz}$ ，72dBc@ $\leq 1\text{ MHz}$ ；3V 档位：73 dBc@ $\leq 100\text{ kHz}$ ，62 dBc@ $\leq 1\text{ MHz}$ （载波幅值-1 dBFS）

表 6.1-3 电流输入

参数	描述
输入通道	1 个 BNC（前面板），单端输入（I）
输入阻抗	100 Ω
接地形式	浮地或接地（软件可设置）
耦合方式	AC 或 DC 耦合（软件可设置）

频率范围	DC~1 MHz/5 MHz (需安装 5M 选件)
采样率	100 MSa/s
垂直分辨率	16 bit
输入量程	± 1 nA, ± 10 nA, ± 100 nA, ± 1 μ A, ± 10 μ A, ± 100 μ A, ± 1 mA, ± 10 mA;
全量程灵敏度 (锁相放大器 10 V 输出)	10 fA~10 mA
噪声密度	典型值: 14 fA/ $\sqrt{\text{Hz}}$, @100 Hz; @ ± 1 nA 量程; 14 fA/ $\sqrt{\text{Hz}}$, @100 Hz; @10 nA 量程; 140 fA/ $\sqrt{\text{Hz}}$, @1 kHz; @100 nA 量程 170 fA/ $\sqrt{\text{Hz}}$, @1 kHz; @1 μ A 量程; 1.5 pA/ $\sqrt{\text{Hz}}$, @100 kHz; @10 μ A 量程; 2.5 pA/ $\sqrt{\text{Hz}}$, @100 kHz; @100 μ A 量程; 75 pA/ $\sqrt{\text{H}}$, @100 kHz, @1 mA 量程; 200 pA/ $\sqrt{\text{Hz}}$, @100 kHz; @10 mA 量程
增益精度	<1%, @ ≤ 1 MHz
输入偏置幅度	$\leq 1\%$
动态储备	≥ 120 dB

表 6.1-4 辅助输入 (1&2) /外部参考输入 (1&2)

参数	描述
输入通道	2 个 BNC (前面板), 2 个单端输入; 外部参考输入与辅助输入复用
输入阻抗	1 M Ω
模拟带宽	DC~1 MHz/5 MHz (需安装 5M 选项)
外部参考锁定信号类型	Sine 和 TTL
采样率	100 MSa/s
垂直分辨率	16 bit
输入电压范围	± 10 V
输入电压分辨率	≤ 305 uV

表 6.1-5 辅助输入 (3&4)

参数	描述
输入通道	2 个 BNC (前面板), 2 个单端输入;
输入阻抗	1 M Ω
采样率	781.25 kSa/s
垂直分辨率	16 bit
输入电压范围	± 10 V
输入电压分辨率	≤ 305 uV

表 6.1-6 信号输出

参数	描述
输出通道	2 个 BNC (前面板), 单端输入 (V+) 或者差分输入 (V+, V-)
输出阻抗	50 Ω
输出信号类型	Sine 或者 TTL
频率范围	DC~1 MHz/5 MHz (需安装 5M 选件)
频率分辨率	355 nHz
采样率	100 MSa/s
垂直分辨率	16 bit
输出量程	± 5 mV, ± 50 mV, ± 0.5 V, ± 5 V (单端输出、50 Ω 负载) ± 10 mV, ± 100 mV, ± 1 V, ± 10 V(差分输出、50 Ω 负载) ± 10 mV, ± 100 mV, ± 1 V, ± 10 V(单端输出、高阻抗负载) ± 20 mV, ± 200 mV, ± 2 V, ± 20 V(差分输出、高阻抗负载)
输出相位范围	$\pm 180^\circ$
输出相位分辨率	10 μ deg
输出直流偏置设置范围	± 10 mV 至 ± 10 V, 最大值不超过量程档位值
最大输出功率	24 dBm(± 10 V, 250 mW)
最大输出电流	100 mA
输出增益精度	<1%, @100 kHz
输出幅度偏置	$\leq 1\%$, @ $\geq \pm 100$ mV 量程; ≤ 1 mV, @ $< \pm 100$ mV 量程
谐波失真	≥ 80 dBc, @ ≤ 100 kHz (电压量程 ≤ 1 V, 载波幅值 -1 dBFS); ≥ 70 dBc, @ ≤ 1 MHz (电压量程 ≤ 1 V, 载波幅值 -1 dBFS); ≥ 75 dBc, @ ≤ 100 kHz (电压量程 ≤ 10 V, 载波幅值 -1 dBFS);

	≥ 60 dBc, @ ≤ 1 MHz@ (电压量程 ≤ 10 V, 载波幅值-1 dBFS)
输出噪声	典型值: 26 nV/ $\sqrt{\text{Hz}}$, @10 mV 量程; 26 nV/ $\sqrt{\text{Hz}}$, @100 mV 量程; 50 nV/ $\sqrt{\text{Hz}}$, @1 V 量程; 100 nV/ $\sqrt{\text{Hz}}$, @10 V 量程
模拟加法器	将辅助输入 2 与信号输出相加

表 6.1-7 辅助输出 (1&2&3&4)

参数	描述
输出通道	4 个 BNC (前面板), 4 个单端输出;
输出阻抗	50 Ω
采样率	500 kSa/s
垂直分辨率	18 bit
输出电压范围	± 10 V
输出电压分辨率	≤ 77 μV
驱动电流	20 mA

表 6.1.8 触发输入

参数	描述
输入通道	1 个 BNC (后面板)
触发输入阻抗	10 k Ω
触发输入电平	LVTTL (3.3 V)

表 6.1-9 触发输出

参数	描述
输出通道	1 个 BNC (后面板)

触发输出阻抗	50 Ω
触发输出电平	LVTTL (3.3 V)

表 6.1-10 参考时钟输入

参数	描述
输入通道	1 个 BNC (后面板)
触发输出阻抗	50 Ω
信号类型	标准 sine 或 TTL
输入频率	10/100 MHz
输入电平	0.5 V~3.3 V

表 6.1-11 参考时钟输出

参数	描述
输出通道	1 个 BNC (后面板)
触发输出阻抗	50 Ω
信号类型	LVTTL
输出频率	100 MHz

表 6.1-12 解调器

参数	描述
频率范围	DC~1 MHz/5 MHz (需安装 5M 选件)
解调器数	1 个双相/4 个双相 (需安装多解调器选件)
参考模式	内部参考、外部参考、双参考
时间常数	126 ns~30 ks

滤波器带宽(-3 dB)	2.3 μ Hz-549 kHz(4阶滤波)
滤波器斜率	6、12、18、24、30、36、42、48 dB/oct
附加滤波	sinc 滤波
谐波检测	参照信号的频率按主频率的 n/m 倍频率检测，且 $(n/m) * F \leq 1 \text{ MHz}$; n (谐波) 范围: 1~1023 m (谐波) 范围: 1~1023
频率分辨率	355 nHz
双参考频率	$f_{\text{dual}} = (n/m) * f_{\text{int}} - f_{\text{ext}} , f_{\text{dual}} \leq 1 \text{ MHz}$
相位分辨率	10 udeg
辅助输出采样率	500 kSa/s
至 PC 的最大传输速率	1.56 MSa/s
数据传输触发模式	连续模式，触发模式

表 6.1-13 内置参考频率

参数	描述
类型	VC-TCXO
频率精度	$\pm 9.0 \text{ ppm}$
温度系数	$\pm 2.5 \text{ ppm}/^{\circ}\text{C} (-30 \sim +75^{\circ}\text{C})$
老化率	$< \pm 1 \text{ ppm}/\text{年}$

表 6.1-14 接口和其它规格

参数	描述
通讯接口	LAN, 1 GbE;

表 6.1-15 虚拟示波器

参数	描述
输入通道	电压输入、电流输入、辅助输入 1、2、3、4
示波器模式	时域、频域
显示通道数量	2
触发源选择	通道触发、外触发等
触发模式	上升沿、下降沿
采样率	762.94 Hz~100 MHz
每帧最大样本数	16384

表 6.1-16 参数扫描仪

参数	描述
扫描参数	解调器的频率、信号输出偏置、输出信号幅值、解调相位、辅助输出 4 个通道偏置
扫描参数模式	线性、对数
扫描方式	正向、反向、往返
显示参数	解调器输出(X, Y, R, Phase, f), 辅助输入 1、2、3、4
扫描参数频率范围	0~1 MHz/5 MHz (需安装 5M 选项)
扫描点数设置范围	1~100000

表 6.1-17 最大额定值

参数	下限	上限
电流输入损坏阈值 (V)	- 5 V	+ 5 V
差分电压输入损坏阈值 (V)	- 10 V	+ 10 V
差分电压输出损坏阈值 (V)	- 12 V	+ 12 V

辅助输入 1, 2 损坏阈值 (V)	- 15 V	+ 15 V
辅助输入 3, 4 损坏阈值 (V)	- 15 V	+ 15 V
辅助输出 1, 2, 3, 4 损坏阈值 (V)	- 15 V	+ 15 V
参考时钟输入损坏阈值 (V)	- 0.3 V	+ 3.6 V
参考时钟输出损坏阈值 (V)	- 0.3 V	+ 3.6 V
触发输出损坏阈值 (V)	- 0.3 V	+ 3.6 V
触发输入损坏阈值 (V)	- 0.5 V	+ 3.8 V

表 6.1-18 推荐 PC 配置

参数	描述
CPU	Intel i5-6400@2.7 GHz 及以上
内存	8 GB 以上
网口通讯	1 GbE, 100 MbE

6.2 部分关键性能说明

6.2.1 LIA001M 锁相放大器的电压输入噪声密度

电压输入噪声密度的大小主要受频率以及量程大小的影响，通常情况下选择较小的量程可以有效的降低噪声对于信号解调的影响，所以在使用 LIA001M 锁相放大器测量时（特别是在噪声测量时），建议使用可选择最小测量量程。LIA001M 锁相放大器不同输入量程的噪声密度详情如图 6.2.1-1 所示，在 <100 mV 量程一下的白噪声通常为 $2.5 \text{ nV}/\sqrt{\text{Hz}}$ 以下， $1/f$ 噪声的转折频率在 1 kHz 范围以内。

注：LIA001M 锁相放大器的噪声密度与输入阻抗设置以及耦合方式无关（选择交流耦合时需要高于交流截止频率）。

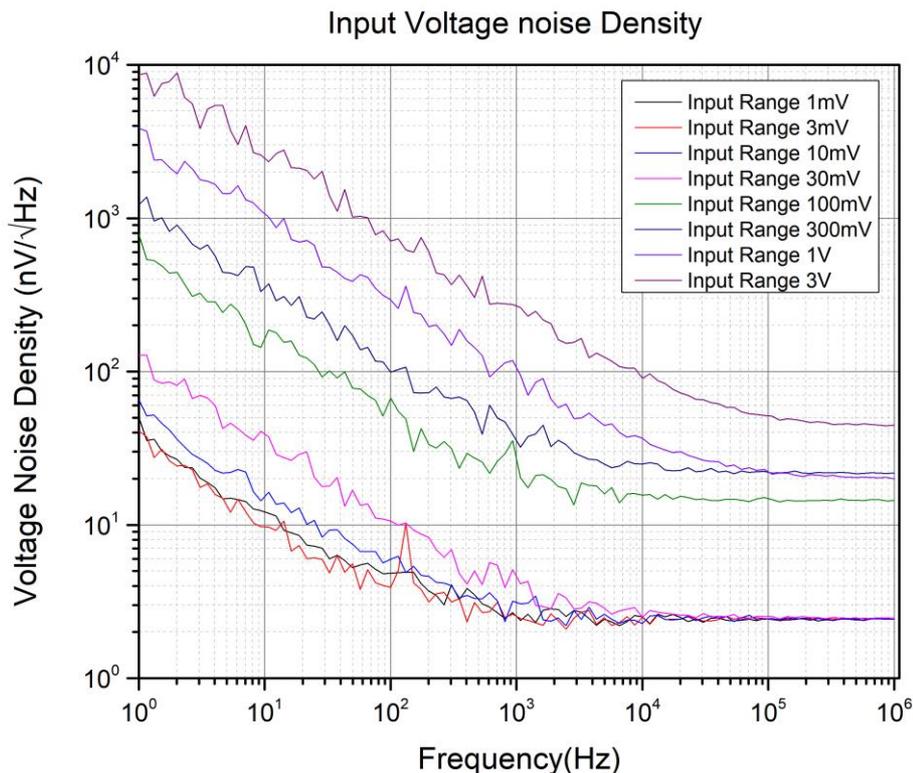


图 6.2.1-1 LIA001M 锁相放大器电压输入噪声密度

6.2.2 LIA001M 锁相放大器的电流输入噪声密度

LIA001M 锁相放大器的电流输入噪声密度的详情如图 6.2.2-1 所示；

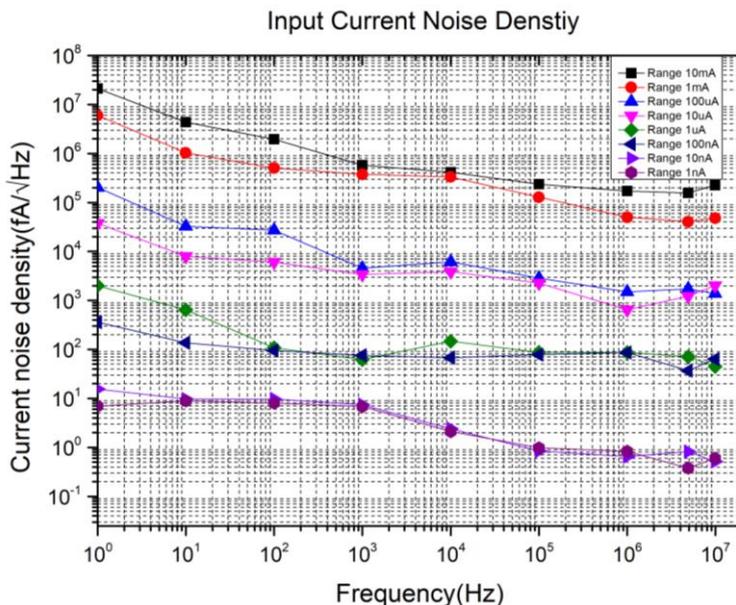


图 6.2.2-1 LIA001M 锁相放大器电流输入噪声密度

6.2.3 LIA001M 锁相放大器的相位噪声

LIA001M 锁相放大器的单边相位噪声（SSB）的详情如图 6.2.3-1 所示（测量条件，信号幅值为 5 V，输出频率为 1 MHz，直接将信号输出连接至相位噪声分析仪）。

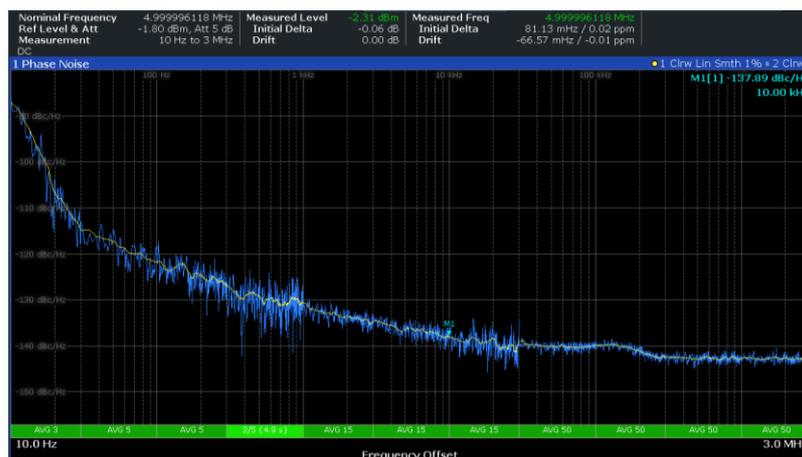


图 6.2.3-1 LIA001M 锁相放大器的相位噪声

6.2.4 LIA001M 锁相放大器的信号输出的噪声密度

本信号输出的噪声密度曲线是将信号输出连接至 $50\ \Omega$ 负载阻抗、且输出信号幅度以及偏置均为 $0\ \text{V}$ 情况下测得，若是负载为高阻的情况下，其噪声密度将是测量结果的 2 倍；具体情况如图 6.2.4-1 所示。

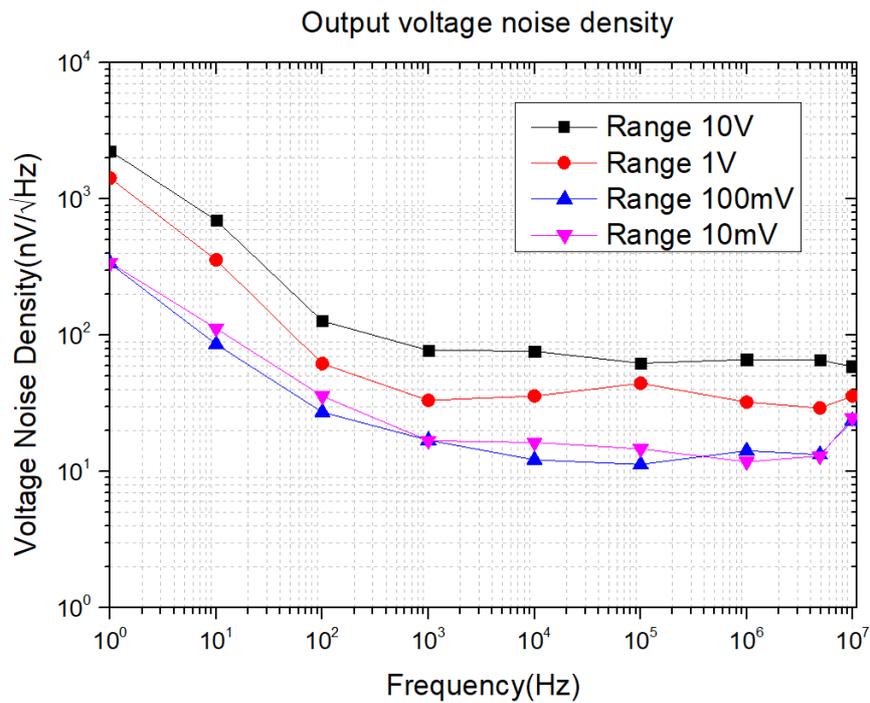


图 6.2.4-1 LIA001M 锁相放大器信号输出的噪声密度

7.信号处理基础

7.1 滤波器的带宽和时间常数

滤波器不会引起显著衰减的频率范围称为通带，滤波器确实导致显著衰减的频率范围称为阻带。

RC 低通滤波器的截止频率 ($f_{cut-off}$) 实际上是输入信号振幅降低 3 dB 的频率 (选择该值是因为振幅降低 3 dB 对应于功率降低 50%)，因此截止频率也称为 -3 dB 频率 (f_{-3dB})，术语带宽是指滤波器通带的宽度，低通滤波器的带宽等于 -3 dB 频率 ($BW = f_{cut-off} = f_{-3dB}$)。

等效噪声带宽 (ENBW)：为测量深埋在噪声中的微弱信号，必须尽可能地压缩频带宽度，锁相放大器采用 RC 低通滤波器实现频带压缩，因此，锁相放大器的等效噪声带宽可引用 RC 低通滤波器等效噪声带宽的定义,且时间常数 $TC=RC$ 。

一个普通 RC 低通滤波器的电压传输系数

$$|H(\omega)| = \frac{1}{\sqrt{1+(\omega RC)^2}} \quad (1)$$

其等效噪声带宽为:

$$f_{NEPBW} = \int_0^{\infty} |H(\omega)|^2 df = \int_0^{\infty} \frac{df}{1+(\omega RC)^2} = \frac{1}{4RC} \quad (2)$$

噪声等效功率带宽 (NEPBW) 与信号带宽不同，通常用于噪声测量，其最初的目的是为了从具有宽带噪声输入的放大器中快速计算输出噪声功率，这个概念也可以推广到信号带宽，为了方便理解，建设一个理想的低通滤波器，其传输的功率总量与滤波器传输的功率总量相同，则 $f_{cut-off}$ 与 f_{NEPBW} 的关于如图 7.1-1 所示 (其中蓝色区域的面积与黄色区域面积相等)：

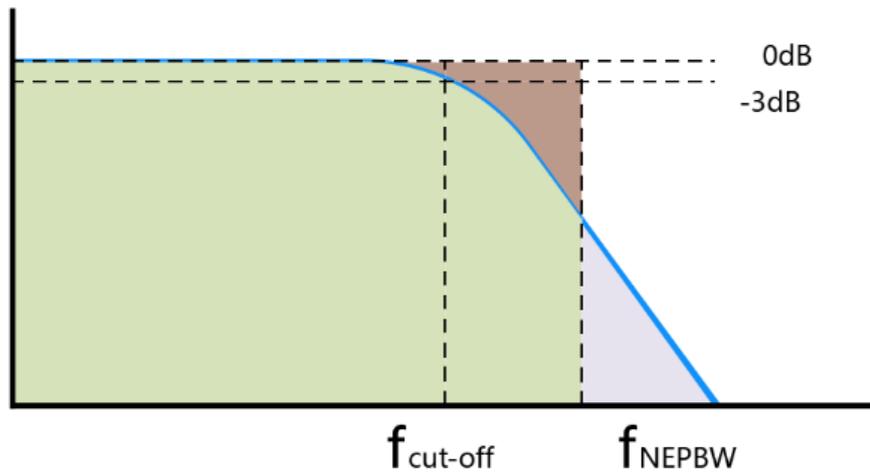


图 7.1-1 信号带宽和噪声等效功率带宽

时间常数 TC 表示过渡反应的时间过程的常数，指该物理量从最大值衰减到最大值的 1/e 所需要的时间。对于某一按指数规律衰变的量，其幅值衰变为 1/e 倍时所需的时间称为时间常数。

滤波器的带宽 (BW) 和时间常数 TC 均是用来描述滤波器宽度参数，它们的相互转化关系可以表示为

$$TC = \frac{F_0}{2\pi f_{cut-off}} \quad (3)$$

其中 $f_{cut-off}$ 为滤波器 -3 dB 处的频率值 (截止频率)， F_0 因子取决于滤波器斜率因子，不同滤波器参数之间相互转换的关系参见表 7.1.1。

表 7.1.1 带宽转换说明

滤波阶数	过滤器滚降	TC (时间常数)	-3 dB 带宽 ($f_{cut-off}$)	等效噪声带宽 (f_{NEPBW})	$f_{cut-off} / f_{NEPBW}$
1	6 dB/oct	1	0.159154943/TC	0.25/TC	0.636619772
2	12 dB/oct	1	0.102431207/TC	0.125/TC	0.819449654
3	18 dB/oct	1	0.081141094/TC	0.09375/TC	0.865505001
4	24 dB/oct	1	0.069229128/TC	0.078125/TC	0.886132843
5	30 dB/oct	1	0.0613724151/TC	0.068359375/TC	0.897790758
6	36 dB/oct	1	0.055695601/TC	0.0615234375/TC	0.905274523

7	42 dB/oct	1	0.051348011/TC	0.0563964844/TC	0.910482472
8	48 dB/oct	1	0.0478809738/TC	0.0523681641/TC	0.914314539

7.2 滤波器稳定时间

解调器之后的低通滤波器会根据滤波器阶次和时间常数 TC 对测量信号造成延迟，即添加一个信号或者更改信号后，锁相解调输出将需要一段时间才能达到正确的测量值。级联低通滤波器对输入信号的阶跃响应如图 7.2-1 所示，级联低通滤波器稳定时间详情参见表 7.2-1。

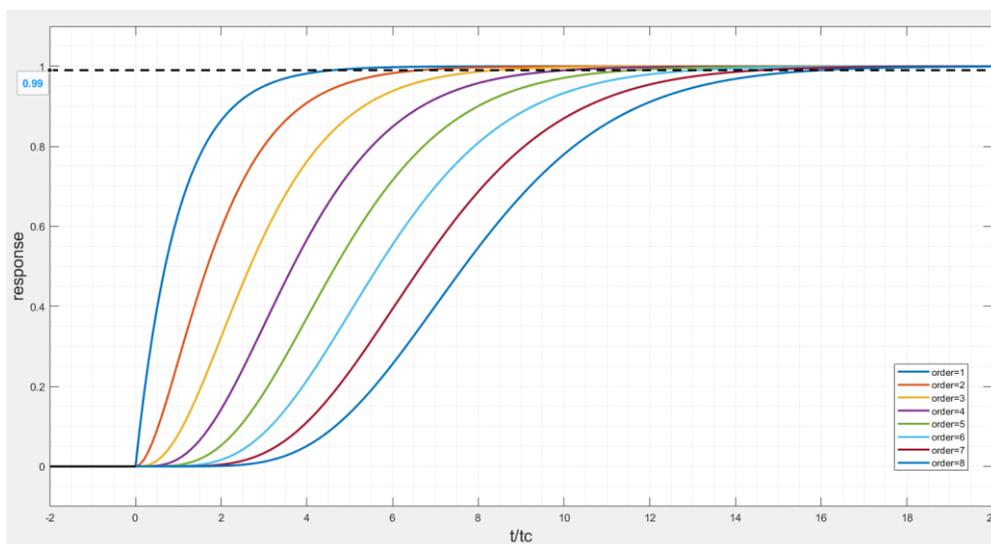


图 7.2-1 RC 低通滤波器的时域阶跃响应

表 7.2-1 RC 低通滤波器的响应时间说明

滤波器阶数	时间常数 (TC)	响应时间 (*TC)			
		63.20%	90%	99%	99.90%
1	1	1	2.3	4.61	6.91
2	1	2.15	3.89	6.64	9.23
3	1	3.26	5.32	8.41	11.23
4	1	4.35	6.68	10.05	13.06
5	1	5.43	7.99	11.6	14.79
6	1	6.51	9.27	13.11	16.45
7	1	7.58	10.53	14.57	18.06
8	1	8.64	11.77	16	19.62

7.3 满量程灵敏度

传统的模拟锁相放大器的满量程灵敏度定义为满刻度输出时的信号输入电平(FS)，满刻度输出时的输入电平 FS 表征了锁相放大器的测量灵敏度，它取决于系统的总增益，在模拟锁相放大器中，满量程灵敏度很容易理解，它表征是仪器输入和输出之间模拟放大倍率的总和，例如许多锁相放大器标注的满量程灵敏度为 1 nV 至 1 V 之间，即表示仪器允许 1 nV 和 1 V 之间的输入信号被放大到 10 V 全量程输出，如图 7.3-1 所示。

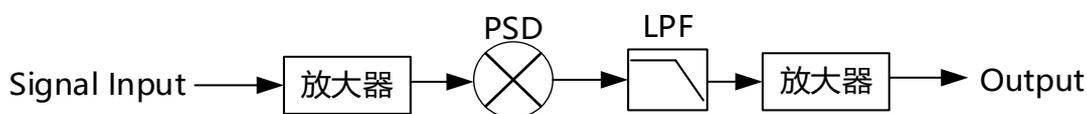


图 7.3-1 模拟锁相放大器满量程灵敏度

在数字锁相放大器中，满量程灵敏度存在一些差异，信号输入通道需要采用可变增益放大器将输入信号放大至模数转换器（ADC）的输入范围，假设锁相放大器提供最大增益倍数(定义为 G_{In})为 1000 倍，即信号输入通道的最小输入范围为模数转换器（ADC）的输入范围（定义为 R_{ADC} ）的 1/1000（如模数转换器（ADC）的输入范围为 1 V，最小输入范围为 1 mV）。

数字放大器的输入范围仅是给定所允许设置的最大信号幅度范围，在数字锁相放大器中，满量程灵敏度主要由输出决定，数字锁相放大器可以看成由数字放大器和一个固定范围为 10 V 的输出数模转换器（DAC）组成，数字放大器是一个数字信号处理单元，其完成解调器输出与比例因子进行数字乘法，在将其传给固定范围为 10 V 的输出数模转换器（DAC）输出，而数字放大器可以根据所需要的输出范围进行任意放大，所以数字锁相放大器的满量程灵敏度要比模拟锁相的满量程灵敏度高的多，如图 7.3-2 所示。

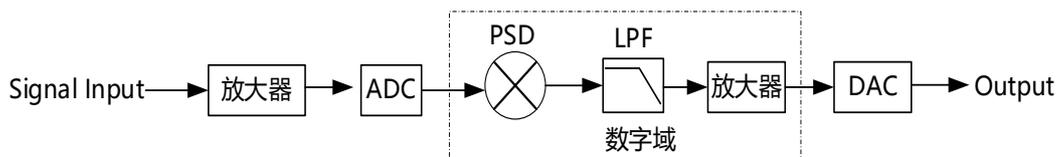


图 7.3-2 数字锁相放大器满量程灵敏度

数字锁相放大器的另一个优势是输入分辨率，当 ADC 以有限的垂直分辨率（如 16 位）工作时，可以检测和数字化的最小信号为 $R_{ADC}/(G_{In} * 2^{16})$ ，假设

R_{ADC} 为 1 V, G_{In} 为 1000 倍, 则最小可分辨的信号大小为 15 nV, 那么在不使用 21 位模数转换器怎么能达到 1 nV 的灵敏度呢? 在没有噪声的情况下这是不可能的, 相反由于噪声和当前的数字技术甚至可以实现低于 1 nV 的灵敏度。

输入放大器、电阻等大多数宽带噪声源都可以视为高斯噪声源, 高斯噪声在信号中平均分布, 从而对输入信号产生平均分布的干扰, 锁相放大器可以将噪声抑制到不影响测量的水平。在有噪声的情况下, ADC 的输入是噪声和信号幅度之和, 即使很小的输入信号 (低至 1 nV 及以下), 大噪声之上的信号幅度也能够使得信号 ADC 结果最后一位跳动, 再通过采样技术有效的增加 ADC 位数, 最终实现 1 nV 信号的分辨。

7.4 动态储备

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。

$$\text{动态储备} = \frac{OVL}{FS} \text{ (dB)}, \quad (13)$$

其中 OVL 表示输入总动态范围, FS 表示输出动态范围。若动态储备为 120 dB, 则表示系统能容忍的噪声电平可以比有用信号高出 10^6 倍。

7.5 Sinc 滤波器

理想的锁相放大器将待解调信号通过外差发将有用信号频率搬运 DC 处后, 其在 2 倍解调频率 (2ω 分量) 的处同时产生一个杂散分量, 通常情况可以通过选择带宽较小和滚降更快的滤波器有效地过滤抑制这一分量, 但是在低解调频率 ($f < 1 \text{ kHz}$) 下, 尤其是对于解调频率接近滤波器带宽的应用, ω 和 2ω 分量会影响测量结果。

Sinc 滤波器是具有陷波频率为解调频率 ($\omega, 2\omega, 3\omega$ 等) 整数倍的梳状滤波器。

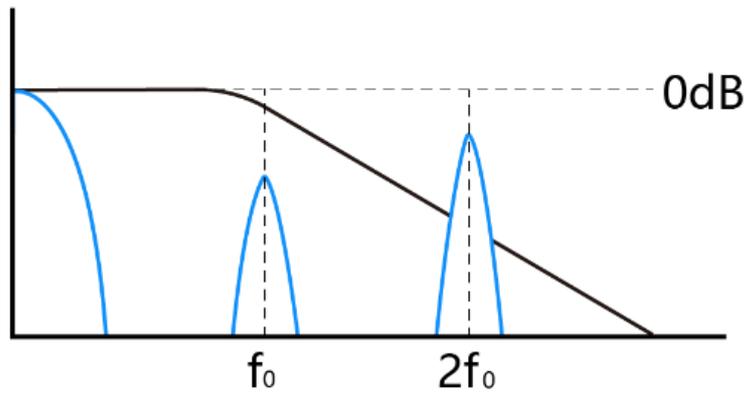


图 7.5-1 无 Sinc 滤波的低频解调

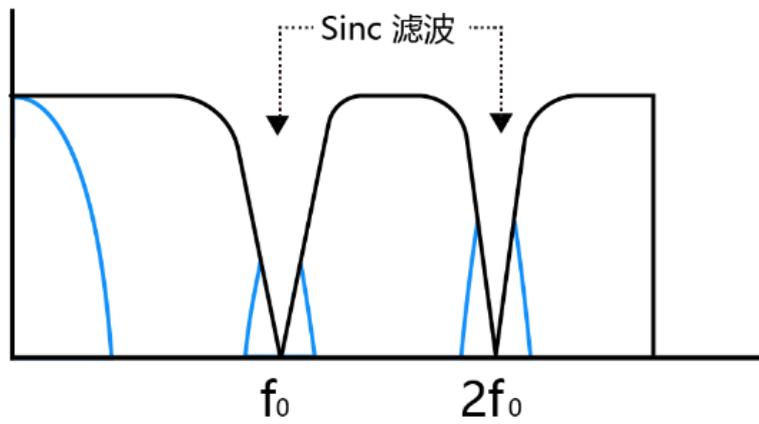


图 7.5-2 有 Sinc 滤波的低频解调

8.接口程序调用

LIA001M SDK 是通过 TCP 协议连接桌面服务端软件，以下简称服务端，需要确保桌面服务端软件正常开启，查看方式见桌面状态栏。



图 8-1 服务端端

服务端是随着开机自启动的，正常情况下不需要特地打开，若取消自启动或者因权限等原因未打开，可以通过打开 LIA 软件，就能同步打开服务端。

SDK 可以看作一个状态机，故所有操作和调用需要先建立连接，再操作，最后断开连接，SDK 只支持同连接一台设备。

8.1 C++ API 接口程序及调用示例

8.1.1 调用说明

首先您需要安装匹配的 Visual Studio 版本，下面我们列出了不同操作系统所需要安装的版本信息

- 32 位或 64 位 Windows，安装 Visual Studio 2017。
- 64 位 Linux，安装 Visual Studio 2017。

需要准备一台 win7 或则 win10 的 64 位主机，推荐 PC 配置：

表 8.1.1-1 一般规格

参数	描述
存储温度	-10°C ~ 50°C
存储相对湿度	<95%,无凝露

其次，API 接口以头文件和 DLL（64 位）形式，兼容 c/c++，约定调用方式为 cdecl。头文件包括 QMC_SDK.h 和 QMCResult.h，前者定义了参数下发接口、数据获取接口等，后者则定义了错误码。

8.1.2 接口说明

1) 错误码和自定义数据类型

错误码:

类型	名称	内容	注释
enum (枚举)	QMCRresult	QMC_OK = 1	正确操作
		QMC_ERROR = -1	一般性错误, 如设置失败、数据获取失败等(建议重新操作)
		QMC_ERROR_DEVICE_NOT_ONLINE = -982	设备不在线
		QMC_ERROR_MODE = -983	当前实验有冲突
		QMC_ERROR_ROLL_BUSY = -984	无终止循环读数据忙
		QMC_ERROR_ROLL_DATA_OVERFLOW = -985	无终止循环出现溢出异常等
		QMC_ERROR_FRAME_LOSS = -986	帧丢失
		QMC_ERROR_ALREADY_EXISTS = -987	操作和现有的设置冲突
		QMC_ERROR_ABORT = -988	操作被终止, 如连接被关闭、连接中断等
		QMC_ERROR_VERSION = -989	当前版本无效
		QMC_ERROR_CLOSED = -990	接口关闭不可用
		QMC_ERROR_STREAM = -991	数据流错误
		QMC_ERROR_DATA_BUFFER = -992	数据大缓冲区不足
		QMC_ERROR_TIMEOUT = -993	操作超时
		QMC_ERROR_MEMORY = -994	内存(溢出/定义)错误, 捕获异常, 返回错误码
		QMC_ERROR_HANDLE = -995	句柄无效
QMC_ERROR_UNIMPLEMENTED = -996	功能未实现		
QMC_ERROR_PARAMETER = -997	参数错误		
QMC_ERROR_COMMAND = -998	该命令不支持		

	QMC_ERROR_NOT_FOUND = -999	未找到设备（USB、网口、COM 等）
	QMC_ERROR_SOCKET = -1000	网络错误
	QMC_CH_ERROR = 2,	获取数据时通道错误
	QMC_NO_DATA = 3,	获取数据时无数据
	QMC_ERROR_DISCONNECT = 4,	断连
	QMC_ERROR_SCOP_SIGNAL = 5,	Scop signal 模式的停止指令
	QMC_ERROR_SWEEP_SIGNAL = 6,	Sweeper signal 模式的停止指令
	QMC_ERROR_DAQ_SIGNAL = 7,	Daq signal 模式的停止指令

2)参数设置

参数设置使用字符串指令集形式调用固定 API，在设置参数之前需要保证已打开服务端软件，并正确连接你想要连接的设备。

在软件的日志区会实时打印出操作设备所下发的指令和值，务必按照日志的顺序和内容调用 SDK。

另，在某些参数设置中，需要同时设置 2 个或 2 个以上的参数，下面会单独列出各自 API。

(1)连接设备

函数	QMCResult LIA_ConnectDevice(const char* str_device_name)
功能	连接设备
参数	[str_device_name] 设备名称 如：LIA_ConnectDevice(“LIA001M3421060009”)
返回	正确返回 QMC_OK，其他见错误码

(2)关闭设备

函数	void LIA_DisconnectDevice(const char* str_device_name)
功能	断开设备连接

参数	[str_device_name] 设备名称
返回	无

(3)设置参数（整数）

函数	QMCResult LIA_SetParamInt(const char* str_device_name, const char* str_cmd, const uint64_t value)
功能	设置参数
参数	str_device_name:设备名称, str_cmd: 指令, value: 值
返回	正确返回 QMC_OK, 其他见错误码

(4)设置参数（浮点数）

函数	QMCResult LIA_SetParamFloat(const char* str_device_name, const char* str_cmd, const double value)
功能	设置参数
参数	str_device_name:设备名称, str_cmd: 指令, value: 值
返回	正确返回 QMC_OK, 其他见错误码

(5) 设置谐波阶数

指令	LIA_SetHarm("LIA001M3421060009", "/Demods/x/Harm", const unsigned int n, const unsigned int m)
参数说明	X = 1,2,3 表示解调器 1,2,3 参数范围: [1, 1023]

(6)获取解调数据

指令	QMCResult LIA_LIA_GetDemodStrem (const char* str_device_name, int channel, DemodData *Data, int *length);
参数说明	[str_device_name] 设备名 [Data] 用户预设缓存结构体指针, 内存由用户申请, 申请内存大小和参数 length 相对应, 内存大小建议大小不低于 10240*sizeof(DemodData)。 备注: 结构体类型 typedef struct

	<pre> { int channel; long long timestamp; double x; double y; double r; double theta; double freq; float aux_out1; float aux_out2; float aux_out3; float aux_out4; float aux_in1; float aux_in2; float aux_in3; float aux_in4; }DemodData; </pre>
	<p>[length] 输入要获取数据的点数，返回实际获取到的数据点数。 注意：解调速率不同，每帧数据点数不同，范围[1,10240]，length 大于数据点数时返回当前数据点数。</p>
返回	<p>正确获取到数据返回 QMC_OK， 通道不合法返回 QMC_CH_ERROR， 未获取到数据返回 QMC_NO_DATA 其他见错误码</p>

(7)获取示波数据

指令	QMCResult LIA_LIA_GetScopeBuffer (const char* str_device_name, ScopData data[2], int mode)
参数说明	[str_device_name] 设备名
	[data] 示波数据数组 备注：结构体类型 <pre> typedef struct { int channel;//通道 int length;//点数 double dt;//采集时间间隔 float data[16384];//数据 }ScopData; </pre>
	[mode] 数据模式，0：一帧数据。 1：一帧数据只取最后一个点
返回	<p>正确获取到数据返回 QMC_OK， 未获取到数据返回 QMC_NO_DATA 其他见错误码</p>

(8)获取 PID 数据

指令	QMCResult LIA_GetPidBuffer (const char* str_device_name, PIDNode *data, int channel)
参数说明	[str_device_name] 设备名
	[data] 传入结构体地址，内存由用户申请，大小为 1*sizeof (PIDNode) 备注：结构体 <pre>typedef struct { int channel; long long timestamp; double demod_x = 0.0; double demod_y = 0.0; double demod_r = 0.0; double demod_theta = 0.0; double pid_error = 0.0; double pid_shift = 0.0; double pid_out = 0.0; }PIDNode;</pre>
	[channel]要获取的通道，可取 0,1,2 表示 PID 通道 0,1,2
返回	正确获取到数据返回 QMC_OK, 通道不合法返回 QMC_CH_ERROR, 未获取到数据返回 QMC_NO_DATA 其他见错误码

(9)获取 DAQ 数据

指令	QMCResult LIA_GetPidBuffer (const char* str_device_name, PIDNode *data, int channel)
参数说明	[str_device_name] 设备名
	[data] 传入结构体 SDKDaqDataList 地址，内存由用户申请。 每帧数据最大 1000000 个数据包，每个数据包最多有 40 个元素。 最大申请内存字节数为 20000024 字节 【sizeof (SDKDaqDataList) + 1000000*sizeof (SDKDaqDataPtr) + 1000000*sizeof (SDKDaqData)】。 备注：结构体 <pre>typedef struct { int channel;//通道 double data[1]; }SDKDaqData, *SDKDaqDataPtr; typedef struct { int number;//包数</pre>

	<pre> int size;//数据点数，同一个大包里的小包长度相同 long long timestamp; double dt; SDKDaqDataPtr data[1];//每个数据节点的内存地址，实际上每个节点内存相邻 }SDKDaqDataList; </pre>
	<p>[channel]要获取的通道，取值如下</p> <ul style="list-style-type: none"> 0: Demodulator 1 X 1: Demodulator 1 Y 2: Demodulator 1 R 3: Demodulator 1 Phase 4: Demodulator 1 Frequency 5: Demodulator 2 X 6: Demodulator 2 Y 7: Demodulator 2 R 8: Demodulator 2 Phase 9: Demodulator 2 Frequency 10: Demodulator 3 X 11: Demodulator 3 Y 12: Demodulator 3 R 13: Demodulator 3 Phase 14: Demodulator 3 Frequency 20: PID 1 Error 21: PID 1 Shfit 22: PID 1 Out 23: PID 2 Error 24: PID 2 Shfit 25: PID 2 Out 26: PID 3 Error 27: PID 3 Shfit 28: PID 3 Out 32: AUX Output 1 32: AUX Output 2 34: AUX Output 3 35: AUX Output4 36: AUX Input 1 37: AUX Input 2 38: AUX Input 3 39: AUX Input 4 <p>0~39 通道均合法，上述未列举的返回 QMC_NO_DATA</p>
返回	<p>正确获取到数据返回 QMC_OK， 通道不合法 QMC_CH_ERROR， 未获取到数据立即返回 QMC_NO_DATA 其他见错误码</p>

(10)获取扫描数据

指令	QMCResult LIA_GetSweepAllBuffer(const char* str_device_name, PIDNode *data, int channel)
参数说明	<p>[str_device_name] 设备名</p> <p>[data] 传入结构体 SweepDataType 地址，内存由用户申请，大小为 SweeperMaxPointSize。</p> <p>备注： 占用内存空间大小的宏定义 #define SweeperMaxPoint 10000 #define SweeperOnePointSize ((13 * sizeof(double) * 3 + 4 + 8) * 4 + 4) #define SweeperMaxPointSize (SweeperOnePointSize*SweeperMaxPoint)</p> <p>结构体</p> <pre> typedef struct { double avg;//平均 double std;//标准差 double pwr;//功率 }SweepItem; typedef struct { int channel; long long grid; SweepItem x; SweepItem y; SweepItem r; SweepItem theta; SweepItem freq; SweepItem aux_out1; SweepItem aux_out2; SweepItem aux_out3; SweepItem aux_out4; SweepItem aux_in1; SweepItem aux_in2; SweepItem aux_in3; SweepItem aux_in4; }SweepDemodType; typedef struct { SweepDemodType d1;//通道1 SweepDemodType d2;// 通道2 SweepDemodType d3;// 通道3 SweepDemodType d4;// 通道4预留 }SweepDemod4Type; typedef struct </pre>

	<pre>{ int sweepDataNums; SweepDemod4Type demod[1]; }SweepDataType;</pre>
	[channel]要获取的通道，可取 0,1,2 表示 PID 通道 0,1,2
返回	正确获取到数据返回 QMC_OK, 通道不合法返回 QMC_CH_ERROR, 未获取到数据返回 QMC_NO_DATA 其他见错误码

注：SDK 调用手册存放在软件安装目录下。

9. LIA001M FAQs（常见问题解答）

Q: 使用 LIA001M 的外部参考时钟功能时，发现同步效果不好？

A: 1、测试外部参考时钟同步效果的方法：

如图 9-1 所示，将外部时钟源信号通过分路器分别接到 LIA001M 的 CLK IN 端与示波器的通道 1，将 LIA001M 的 CLK OUT 接到示波器的通道 2，示波器通道 1 设置为直流耦合、高阻输入，通道 2 设置为直流耦合、50 欧输入，触发源可选择通道 1。

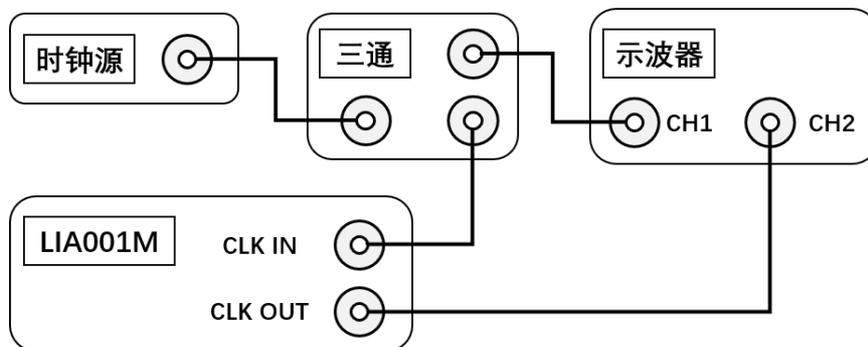


图 9-1 LIA001M 外部时钟同步方案

2、启动 LIA001M 设备并连接上位机，在软件中在 Device 选项卡设置参考时钟输入频率后打开 External 开关，并打开 Reference Clock OUT 开关，在示波器上观察通道 1 与通道 2 是否能正常采集并显示波形。

Q: 使用 LIA001M 的外部参考时钟功能时，当在桌面端软件打开 Device 选项卡，在 Clock Source 开关选择 External 后会跳变回 Internal，如何解决（如图 9-2）？

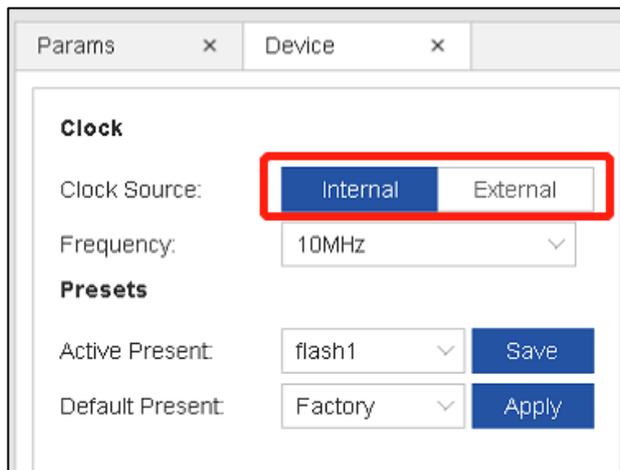


图 9-2 LIA001M 内外参考切换

A: 当出现外部时钟无法切换问题时，可尝试以下方法：

1、切换参考时钟频率

当输入的外部参考时钟频率为 10M 时，将外部时钟信号接到 LIA001M 后面板的 CLK IN 接口后，先选择时钟频率为 100M，等待软件最下方的日志区显示 Operation Successful 信息后再切换时钟频率到 10M，之后可通过 Clock Source 开关从 Internal 自由切换到 External（如图 9-3、图 9-4）。



图 9-3 切换时钟步骤

```

2022-08-31 15:15:27 SetParamInt("/Device/ClockFreq",1)
2022-08-31 15:15:27 [{"action":"set","code":1,"data":1,"device":"LIA001M3421120020","msg":"Operation Successful","type":"/Device/ClockFreq"}]
2022-08-31 15:15:40 SetParamInt("/Device/ClockFreq",0)
2022-08-31 15:15:40 [{"action":"set","code":1,"data":0,"device":"LIA001M3421120020","msg":"Operation Successful","type":"/Device/ClockFreq"}]
2022-08-31 15:15:42 SetParamInt("/Device/ClockSwitch",1)
2022-08-31 15:15:42 [{"action":"set","code":1,"data":1,"device":"LIA001M3421120020","msg":"Operation Successful","type":"/Device/ClockSwitch"}]
    
```

图 9-4 切换参考时钟频率后日志区内容示例

2、重启设备

某些异常的输入会导致时钟管理芯片工作异常，此类问题需要重启设备，即：关闭 LIA001M 电源开关，稍等片刻后再次打开设备电源。重启设备可重置时钟管理芯片，避免因时钟芯片卡死导致系统检测不到外部时钟。

Q: 使用 LIA001M SDK，提示错误码-984，如何解决？

A: 错误码定义 `QMC_ERROR_ROLL_BUSY=-984`，表示本次数据读取失败，原因是上位机还未接收到 LIA001M 设备发来的新数据，即读取解调结果速度快于数据上传速度。

此错误码可用于数据的循环获取，即建立循环进行数据读取，如果读到错误码-984，则进行短暂延时后进行下一次数据读取。

Q: 使用 LIA001M SDK，提示错误码-993，如何解决？

A: 错误码定义 `QMC_ERROR_TIMEOUT = -993`，表示操作超时。导致操作超时的原因通常是网络连接不畅通或网路故障，请尝试重启后台的 `QMC Server` 并重新进行设备连接，若仍不能进行正常连接，可尝试重启网路中连通的各设备，包括控制主机、交换机与 LIA001M 设备。



国仪量子公众号



国仪量子售后服务小程序

用量子技术感知世界
FEEL THE WORLD IN A QUANTUM WAY

国仪量子（合肥）

合肥市高新区创新产业园二期E2楼

国仪量子（广州）

广州市黄埔区瑞和路39号H5栋1-2楼

国仪量子（重庆）

重庆市涪陵区马鞍街道中科大厦19层10号

国仪量子（北京）

北京市海淀区大钟寺东路9号1幢B座四层413室

无锡量子感知技术有限公司

无锡市惠山区惠山城铁站区站前路2号

☎ 4000606976-602

🌐 www.ciqtek.com

✉ service@ciqtek.com