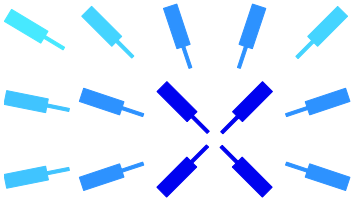
苏黎世仪器
HF2LI用户手册



Zurich
Instruments

HF2LI用户手册

Zurich Instruments AG 瑞士苏黎世仪器有限公司
21.08 修订版

版权所有 © 2008-2021 Zurich Instruments AG 瑞士苏黎世仪器有限公司

本文档内容由瑞士苏黎世仪器有限公司（以下简称“瑞士苏黎世仪器”）按“原样”提供。瑞士苏黎世仪器对本出版物内容的准确性或完整性不作任何声明或保证，并保留随时更改技术参数和产品说明的权利，恕不另行通知。

LabVIEW 是美国国家仪器公司 (National Instruments Inc.) 的注册商标。MATLAB 是 The MathWorks, Inc. 的注册商标。所有其他商标均为其各自所有者的财产。

目录

HF2LI用户手册的新增内容 5
符合性声明 6
第 1 章入门指南 7
1.1. 快速入门指南 8
1.2. 包装箱内的物品检查 9
1.3. 搬运和安全说明 11
1.4. 软件安装 13
1.5. 仪器连接 19
1.6. 软件更新 30
1.7. 故障排查 31
第 2 章功能概述 35
2.1. 功能 36
2.2. 前面板介绍 39
2.3. 后面板介绍 41
2.4. 订购指南 42
2.5. 工作模式 44
第 3 章教程 49
3.1. HF2LI 首次使用用户 50
3.2. 简易回路 56
3.3. 动态信号 60
3.4. 外部参考 64
3.5. 噪声测量 67
3.6. 振幅调制 68
3.7. 频率调制 72
3.8. 锁相环 76
3.9. 自动增益控制 81
3.10. 成像 87
第 4 章 LabOne 用户界面的功能说明 91
4.1. 用户界面概述 92
4.2. 保存和加载数据 104
4.3.“Lock-in”选项卡 121
4.4.“Lock-in”选项卡（HF2LI-MF 选件） 129
4.5.“Numeric”选项卡 137
4.6.“Plotter”选项卡 139
4.7.“Scope”选项卡 141
4.8.“Data Acquisition”选项卡 147
4.9.“Spectrum Analyzer”选项卡 155
4.10.“Sweeper”选项卡 159
4.11.“Auxiliary”选项卡 167
4.12.“Inputs/Outputs”选项卡 169
4.13.“DIO”选项卡 171
4.14.“Config”选项卡 173
4.15.“Device”选项卡 178
4.16.“File Manager”选项卡 180
4.17.“PID”选项卡 182
4.18.“PLL”选项卡 191
4.19.“MOD”选项卡 197
4.20.“Multi Device Sync”选项卡 201
4.21.“Real-time”选项卡 204
4.22.“HF2CA”选项卡 205
4.23.“ HF2TA”选项卡 207
4.24.“ZI Labs”选项卡 209
4.25.“Upgrade”选项卡 210
第 5 章通信与连接 211
5.1. 仪器连接概述 212

5.2. ziServer 基于文本的界面 217
5.3. 通过不安全的网络或防火墙后的网络连接到 ziServer 225
第 6 章设备节点树 228
6.1. 简介 229
6.2. 参考节点文档 232
第 7 章实时选件 265
7.1. 实时开发环境的安装 266
第 8 章规格 270
8.1. 一般规格 271
8.2. 模拟接口规格 273
8.3. 数字接口规格 278
8.4. 性能图 281
8.5. 接地与地面方案 290
8.6. 参考图片 292
8.7. 测试规格 294
第 9 章信号处理基础信息 295
9.1. 锁相检测技术的原理 296
9.2. 信号带宽 299
9.3. 离散时间滤波器 301
9.4. 满量程灵敏度 303
9.5. 正弦滤波 305
9.6. 选带傅里叶变换 308
第 10 章HF2CA 电流放大器数据表 309
10.1. 主要特点 310
10.2. 规格 311
10.3. 功能图解 314
10.4. 应用领域 316
10.5. 电缆推荐 320
第 11 章HF2TA 电流放大器数据表 321
11.1. 主要特点 322
11.2. 规格 323
11.3. 功能图解 326
11.4. 应用领域 328
11.5. 性能测试 333
11.6. 电缆推荐 337
术语表 338
索引 343

HF2LI 用户手册的新增内容

21.08 版

发布日期：2021 年 8 月 31 日

- 用户手册：LabOne 用户界面和在线文档提供 HTML 版本。
- LabOne 软件：支持在 ARM64 架构和 Apple M1 处理器上运行的 GNU/Linux 和 macOS。

21.02 版

发布日期：2021 年 2 月 28 日

- LabOne API：新增在线的编程手册和文档。
- Sweeper：同时显示标准图和 X-Y 图，以便用户同时查看奈奎斯特图和波特图。
- Sweeper：扫频渲染得到改进，有 2000 多个点。

20.07 版

发布日期：2020 年 8 月 20 日

- LabOne：趋势图用于跟踪“Math”子选项卡中一段时间内的读数。
- LabOne：“Device”选项卡中提供设备信息报告。
- LabOne：改进用于 2D 绘图的颜色映射表。
- PID Advisor：将最大建议带宽维持在硬件限制范围内，以确保稳定性。

20.01 版

发布日期：2020 年 2 月 28 日

- LabOne：在“Sweeper”和“DAQ”选项卡的“Math”子选项卡添加了线性拟合。
- LabOne：支持以 CSV 格式保存直方图数据。
- LabOne：在“Plotter”选项卡中添加了显示正态分布或莱斯分布拟合的选项。
- LabOne：改进了将保存的 SVG 图导入主要矢量图编辑器的功能。

符合性声明

制造商

瑞士苏黎世仪器
地址：Technoparkstrasse 1
8005 Zurich Switzerland

谨此声明

HF2LI 系列（HF2LI），50 MHz，210 MSa/s

符合下列欧洲指南的要求

- 2004/108/EC 电磁兼容性
- 2006/95/EC 低电压
- 2011/65/EU 有害物质限制 (RoHS) 指令
- 1907/2006/EC 化学品注册、评估、授权和限制法规 (REACH)

本产品已根据表 1 中的指令执行评估。

表 1. 符合性一览表

EN 61326-1:2006	工业环境辐射标准，工业环境抗干扰标准
EN 55011	1 组，A 类和 B 类（产品在典型配置下测试）
EN 61000-4-2	CD 4 kV、AD 8 kV
EN 61000-4-3	10 V/m 80% AM 80 MHz - 1 GHz
	3 V/m 80% AM 1 MHz - 2 GHz
	1 V/m 80% AM 2 MHz - 2.7 GHz
EN 61000-4-4	2 kV 电源线
	1 kV USB 线
EN 61000-4-5	线-线为 1 kV，线-地为 2 kV
EN 61000-4-6	3 V 80% AM，电源线
IEC 61010:2010/ AMD1:2016	测量、控制和实验室用电气设备的安全要求

第 1 章入门指南

第 1 章可指导您完成 HF2LI 仪器的初始设置，以便进行第一次测量。本章包含以下内容：

- 快速入门指南
- 包装箱内物品和附件清单
- 软件安装说明
- 接通设备电源，通过 USB 连接设备，然后在仪器中执行基本操作检查
- 基本搬运和安全说明列表

本章以纸质版的形式随附仪器提供，也是 HF2LI 用户手册的第 1 章。

1.1. 快速入门指南

当您收到崭新的仪器并希望立即运行仪器时，请参阅本快速入门指南。请按下列步骤操作：

1. 检查包装箱内的物品。除仪器外，包装箱内还应包含符合所在国家/地区标准的电源线、USB 电缆以及纸质版的用户手册第 1 章。
2. 查看第 1.3 节中的搬运和安全说明。
3. 请访问瑞士苏黎世仪器主页（网址：http://www.zhinst.com/downloads/）下载并安装最新版 LabOne 软件。更多详细说明，请参见第 1.4 节。
4. 将电源线连接到仪器上，接通电源，然后使用 USB 电缆将其连接至 PC。前面板上的 LED 将变为蓝色常亮。如果 LED 一直不变为蓝色，请联系瑞士苏黎世仪器获取帮助。
5. 启动 LabOne 用户界面。计算机将打开默认 Web 浏览器，您的仪器将出现在开始屏幕中，如下所示。要获得最佳用户体验，请使用 Chrome、Edge、Firefox 或 Opera 浏览器。 /builds/docs/manuals/HF2LI_user_manual/modules/ROOT/assets/images/

6. 单击页面右下方的“Open”按钮。系统将加载默认配置，并且可执行第一次测量。如果用户界面启动失败，请参阅第 1.5 节。
7. LabOne 安装中随附 HF2LI 用户手册，在 Windows 10 中可通过以下路径查看：[1]Start Menu → Zurich Instruments → User Manual HF2LI - LabOne。

如果设置仪器和软件的过程中遇到任何问题，请参见本章最后的第 1.7 节。

在仪器设置完毕并运行后，我们建议您阅读第 3 章中的相关内容。此外，第 2 章 中还对 LabOne 用户界面进行了描述，简要介绍了各项工具和设置选项卡，并通过每节中的表格对各项 UI 元素进行了详细说明。关于具体的应用知识，瑞士苏黎世仪器网页的博客版块将提供有用的资源，这些资源将会不断更新和扩展。

[1] 在 Windows 7 和 Windows 8 中，可通过以下路径查看用户手册：Start Menu → All programs / All apps → Zurich Instruments → User Manual HF2LI - LabOne。

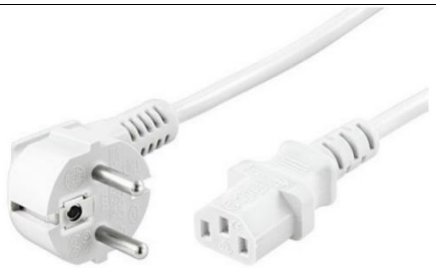
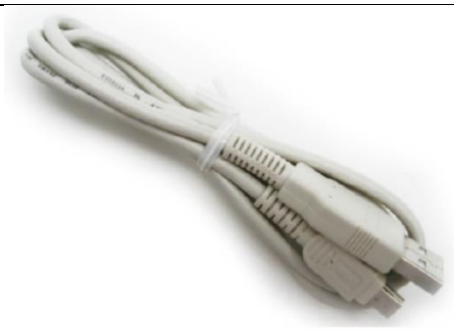
1.2. 包装箱内的物品检查

如果包装箱看起来有破损，请先检查里面的物品是否完好，并进行基本功能测试，然后再处理掉包装箱。

请务必确认以下事项：

- 已收到 1 台瑞士苏黎世仪器的 HF2LI 仪器
- 已收到 1 根符合所在国家/地区标准的电源线（带插头）
- 已收到 1 根 USB 电缆
- 纸质版的“入门指南”章节
- 如果 HF2LI 前置放大器同时送达，交货时还应提供额外电缆
- HF2LI 仪器电源插口上的线电压选择器指示用户所在国家/地区适用的线电压（115 V/60 Hz 或 230 V/50 Hz）。尽管瑞士苏黎世仪器在最初交付仪器时配置电源系统，但对于仪器使用寿命期间任何时刻可能因错误配置或配置不当导致的问题，瑞士苏黎世仪器不承担任何责任
- 仪器后面板上的“Next Calibration”标签显示下次校准的时间为大约 2 年后。瑞士苏黎世仪器建议校准间隔为 2 年
- 仪器的序列号显示在后面板的标签上
- 仅限日本用户：应使用 100 V 转 110 V 的外部变压器为 HF2LI 仪器供电，从而获得可靠的测量结果。请确认在交货时收到随附的变压器。

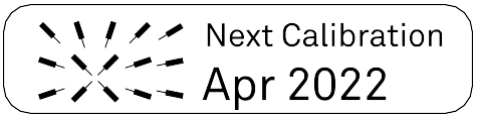
表 1.1. HF2LI 仪器包装箱内的物品

<table>
<tr><td colspan="2">
</td></tr>
<tr><td>  </td><td>  </td></tr>
<tr><td>电源线（例如：欧标电源线）</td><td>USB 电缆</td></tr>
</table>

电源插口（所选电源系统为 230 V/50 Hz）电源插口（所选电源系统为 230 V/50 Hz，红色圈，有保险丝座）。需要 2 根 20 mm 快速保险丝，电流限值为 800 mA。若要抽出保险丝座，请使用一把小螺丝刀在指定位置（红色圈）将其从外壳中取出

电源插口（所选电源系统为 230 V/60 Hz，红色圈，有保险丝座）。需要 2 根 20 mm 快速保险丝，电流限值为 800 mA。若要抽出保险丝座，请使用一把小螺丝刀在指定位置（红色圈）将其从外壳中取出

仪器后面板上的“S/N”标签



仪器后面板上的“Next Calibration”标签

仅限日本用户：100 V 转 110 V 变压器

请仔细检查您的 HF2LI 仪器。如果仪器存在机械损坏或按照第 1.4 节操作后未能正常运行，请参考第 1.3 节和第 1.7 节，然后尽快通过 support@zhinst.com 通知瑞士苏黎世仪器支持团队。

1.3. 搬运和安全说明

HF2LI 仪器是一款灵敏的电子设备，任何情况下均不得打开其外壳，内有高压部件，可能造成人身伤害。仪器内没有备用零件。请勿安装替代零件或擅自对产品进行任何形式的改装。一旦拆开仪器，瑞士苏黎世仪器提供的保修服务即会失效。

请勿以任何制造商未指定的方式使用本产品。若以操作说明中未指定的方式使用本产品，产品的保护功能可能会受到影响。

在仪器操作、维修和搬运的各个阶段，请务必遵守下列一般安全说明。如果忽视这些注意事项和本手册中的其他特定警告，可能会对设备的操作及其使用寿命产生不良影响。

对于用户未遵守本用户手册中的说明而造成不良后果，瑞士苏黎世仪器不承担任何责任。

表 1.2. 安全说明

仪器接地	仪器机箱必须通过随附的电源线正确接地。电源线组插头的接地引脚必须牢固连接到电源插座上的电气接地（安全接地）端子。保护性接地导体的中断或保护性接地端子的断开将存在触电隐患，可能造成人身伤害和仪器受损。有关接地方案的更多信息，请参见“接地方案”部分。
测量类别	本设备属于 I 类 (CAT I) 测量设备。请勿在 CAT II、III 或 IV 环境下使用设备。请勿将测量端子连接到电源插座。
最大额定值	在整个操作过程中，请勿超出仪器连接端口的指定电气额定值。有关完整的额定值列表，请参见第 8 章。
请勿自行维修或调整任何部件	仪器内没有备用零件。
软件更新	软件会经常更新，以便为用户提供大量重要的功能改进和新功能。瑞士苏黎世仪器仅支持最新发布的软件版本。
海外使用	在不改变保险丝座方向的情况下改变电源系统将损坏保险丝，并可能使仪器行为无法预测。
警告	对于仪器通过软件、图形用户界面、仪器上的说明或本手册发布的所有警告，用户都必须遵守其中包含的说明。
注释	本用户手册的注释中包含的说明对于正确解读采集的测量数据至关重要。
电感负荷引起的 高压瞬态	在测量高电感设备时，应采取足够的措施来保护信号输入连接端口免受电感负荷开关瞬态的高压影响。这些电压可能超过信号输入的最大额定电压并导致损坏。
位置和通风条件	根据 IEC 61010-1 标准，本仪器或系统适合在安装类别 II 和污染等级 2 的室内环境中使用。请勿在第 8 章部分规定的环境条件之外操作或存放仪器。请勿挡住背面的通风口或机箱侧面的进风口，并留出适当的空间，确保空气流通。
清洁	为防止触电，请先断开仪器与交流电源的连接并断开所有测试引线，再进行清洁。请用柔软的无绒布蘸水清洁仪器外部。请勿使用清洁剂或其他溶剂。请勿尝试清洁仪器内部。

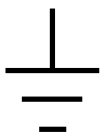
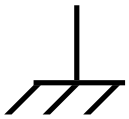
交流电源连接和电源线保险丝	为持续防范火灾，在更换线路保险丝时，请仅使用指定类型和额定值的保险丝。请仅使用针对本产品指定且经过用户所在国家/地区认证的电源线。请将设备放置在合适的位置，确保在操作过程中能够轻松接触到电源开关和电源线。
主电源断开	进行维修前，请从墙上插座拔下产品插头并拔出电源线。只有接受过维修培训的合格人员才能取下仪器外罩。
RJ45 插口	后面板上标有“Peripheral ZCtrl 1/2”和“ZSync In/Out”的四个 RJ45 插口不适用于以太网 LAN 连接。将以太网设备连接到这些插口可能会损坏仪器和/或以太网设备。
操作和存放	请勿在第 8 章部分规定的环境条件之外操作或存放仪器。
搬运	小心轻放，避免仪器掉落。请勿在设备上放置液体，以免液体洒出，导致仪器损坏。
安全关键系统	请勿将本设备用于可能危害生命安全、导致重大财产损失或环境破坏的系统。

一旦出现下列任何一种情况，请立即停止仪器的操作，断开电源线，并填写官网上的表格或发送电子邮件至 info.cn@zhinst.com 联系瑞士苏黎世仪器的支持团队。

表 1.3. 异常情况

风扇转动异常或无法转动	立即关闭仪器，以防止敏感电子元件过热。
电源线或仪器上的电源插头受损	立即关闭仪器，以防止过热、触电或火灾。请仅使用针对本产品指定且经过用户所在国家/地区认证的电源线进行更换。
仪器发出异响、异味或火花	立即关闭仪器，以防止进一步损坏。
仪器损坏	立即关闭仪器并确保在维修之前不再使用。

表 1.4.符号

	接地
	机箱接地
	警告。请参阅随附的文档
	DC（直流）

1.4. 软件安装

HF2LI 系列仪器通过安装有 LabOne 软件的主机进行操作。在 PC 上安装 LabOne 软件需要管理员权限。为了日后方便运行该软件，创建普通的用户帐户即可。有关从瑞士苏黎世仪器网站下载正确版本软件包的说明，请参阅下文与平台相关的部分。建议定期更新至瑞士苏黎世仪器提供的最新软件版本。借助自动更新检查功能，可在用户界面中一键式启动更新，如第 1.6 节所示。

1.4.1. 在 Windows 系统中安装 LabOne

瑞士苏黎世仪器 LabOne 软件的安装包以 Windows 安装程序包 (.msi) 的形式提供。该软件可通过瑞士苏黎世仪器下载中心进行下载。请确保您在要安装软件的 PC 拥有管理员权限。有关受支持 Windows 系统的完整列表，请参见“LabOne 兼容性”。

Windows LabOne 安装

1. 在安装 LabOne 软件的过程中，HF2LI 系列仪器不应连接到计算机。
2. 双击启动名称为 LabOne64-XX.XX.XXXXX.msi 形式的 LabOne 安装程序，然后按照说明进行操作。安装该软件需要 Windows 管理员权限。安装过程如下：

   — 在欢迎界面上单击“Next”按钮。

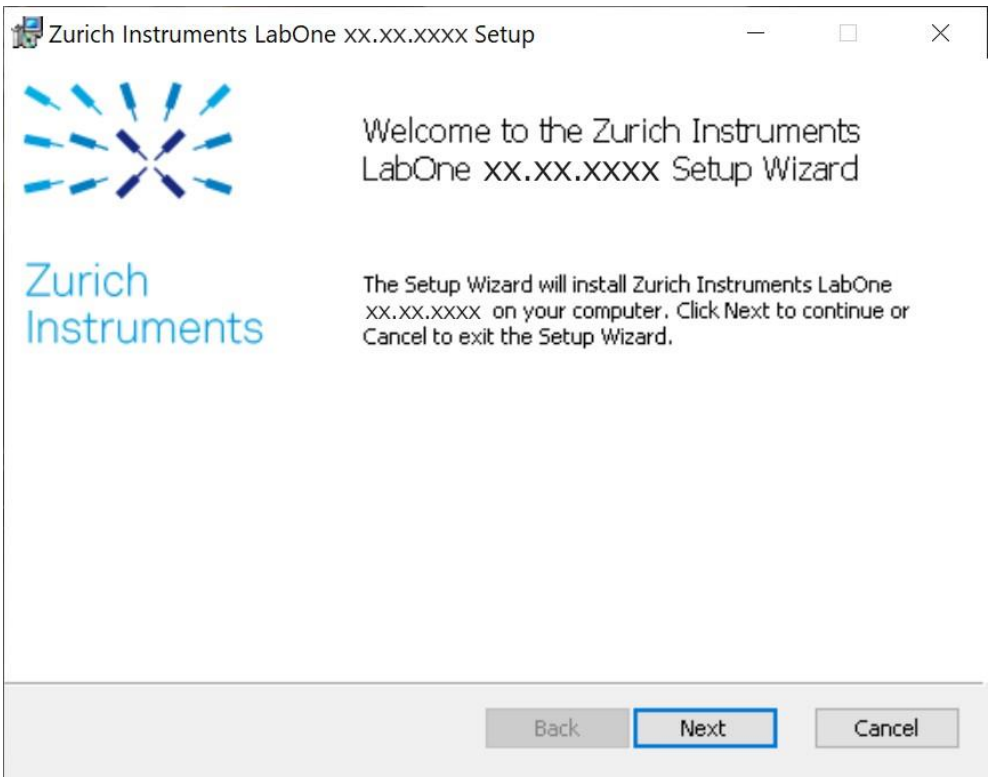


图 1.1. 安装欢迎界面

   — 通读瑞士苏黎世仪器许可协议后，选中“I accept the terms in the License Agreement”复选框并单击“Next”按钮。

   — 核查需要安装的功能。对于 HF2LI 系列仪器，需要安装“HF2LI Series Device”、“LabOne User Interface”和“LabOne APIs”功能。如有需要，请同时安装其他设备类型的功能。要进行下一步操作，请单击“Next”按钮。

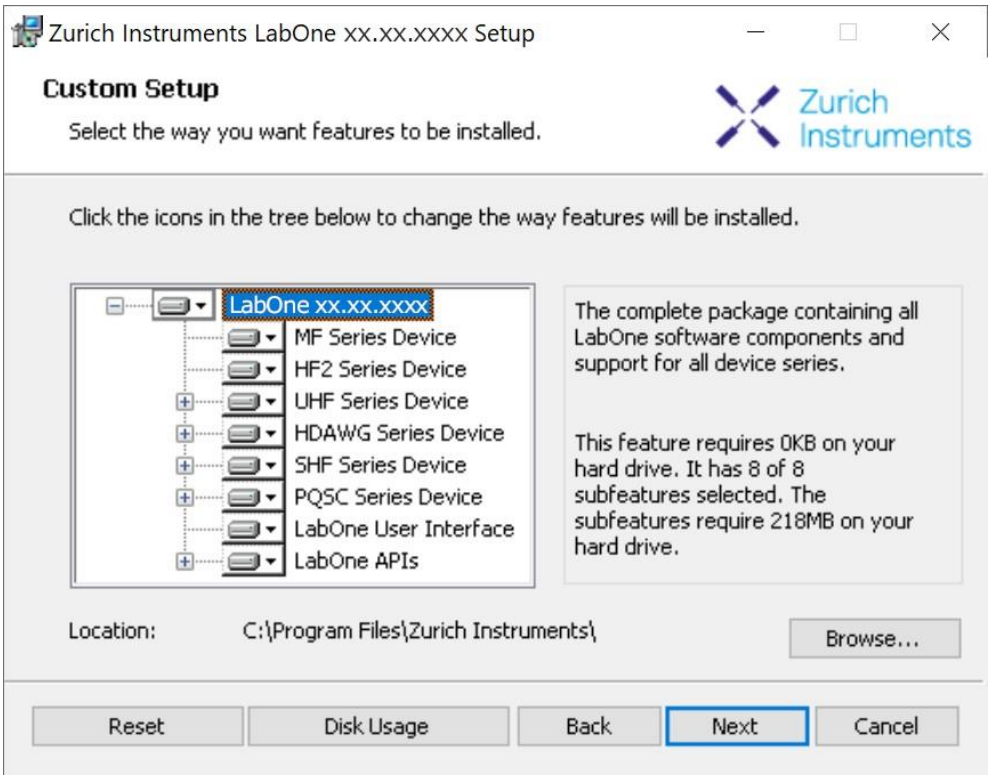


图 1.2. 自定义设置界面

— 请选择是否定期检查软件更新。请注意，该软件仍不会自动更新。后续可在用户界面中更改该设置。

如果您想在桌面上创建快捷方式，请选择“Create a shortcut for this program on the desktop”。要进行下一步操作，请单击“Next”按钮。

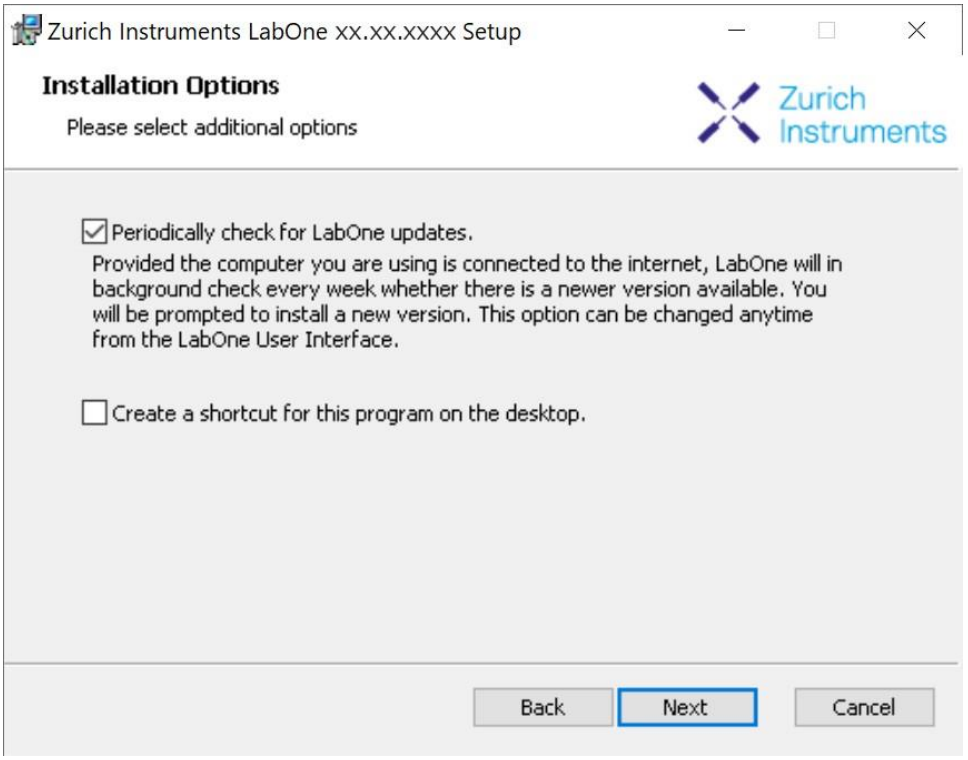


图 1.3. 自动更新检查

- 单击“Install”按钮，启动安装过程。
- 在升级过程中，Windows 可能会要求重启计算机多达两次。确保计算机上没有未保存的工作。

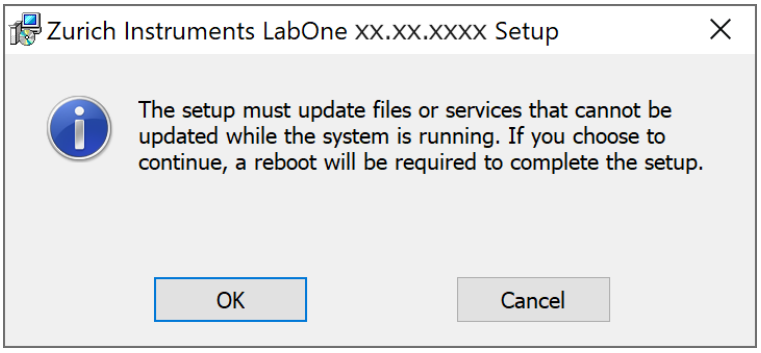


图 1.4. 安装重启请求

- 在首次安装 LabOne 过程中，需要确认已安装受信任的发行方（即瑞士苏黎世仪器）提供的一些驱动程序。单击“Install”。

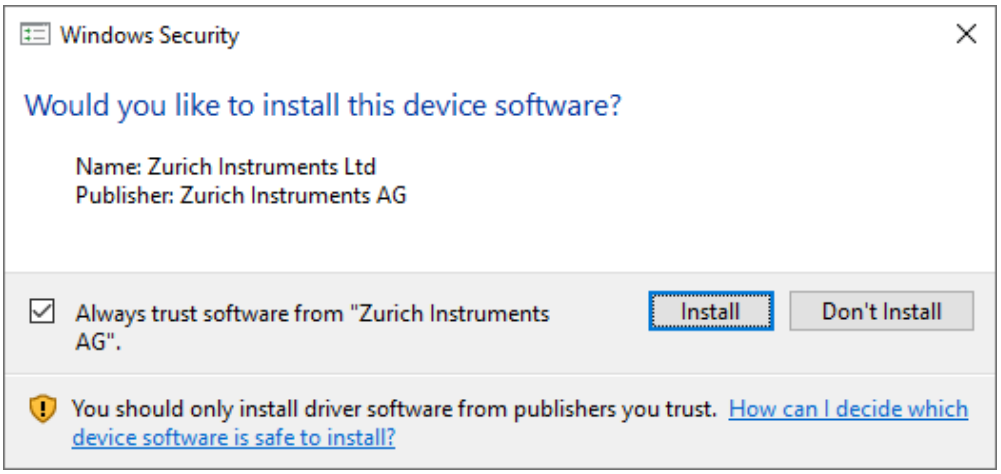


图 1.5. 安装驱动程序确认

- 在下列通知对话框中单击“OK”。

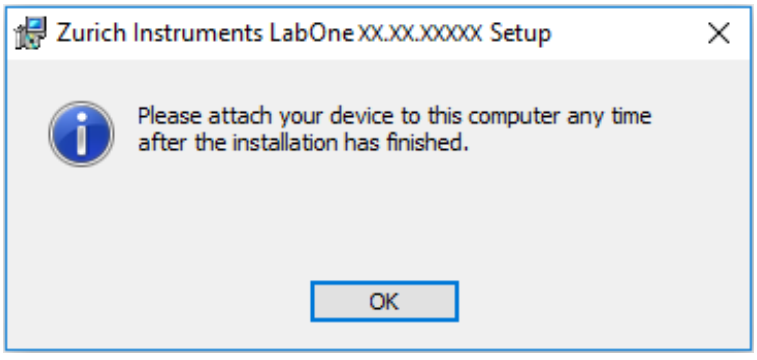


图 1.6. 安装完成界面

3. 单击“Finish”，关闭瑞士苏黎世仪器 LabOne 安装程序。
4. 现在可以按照“LabOne 软件启动”部分中的说明来启动 LabOne 用户界面，然后通过“设备连接对话框”部分中所示的“Device Connection”对话框来选择要连接的仪器。

警告

请勿通过瑞士苏黎世仪器以外的其他来源安装驱动程序。

1.4.2. 在 Linux 系统中安装 LabOne

要求

在尝试安装 LabOne 软件包之前，请确保满足下列要求：

1. LabOne 软件支持流行的 GNU/Linux 发行版（Ubuntu 14.04+、CentOS 7+、Debian 8+）。最低要求是 glibc 2.17+ 和内核 3.10+。
2. 确保您拥有该系统的管理员权限。
3. 适用于用户操作系统和平台的正确版本 LabOne 安装包已通过 瑞苏黎世仪器下载中心下载：

   LabOneLinux<arch>-<release>.<revision>.tar.gz，

请确保下载 LabOne 安装程序的正确架构（x86-64 或 arm64）。要确定您正在使用的架构，可使用 uname 命令，即在命令行终端中运行下列命令：

```
uname -m
```

如果该命令输出 x86_64，则需要 x86-64 版本的 LabOne 软件包；如果显示 aarch64，则需要 ARM64 版本。

Linux LabOne 安装

在命令行 shell 中继续安装，如下所示：

1. 在临时目录中提取出 LabOne tarball：

   ```
   tar xzvf LabOneLinux<arch>-<release>-<revision>.tar.gz
   ```

2. 进入提取的目录。

   ```
   cd LabOneLinux<arch>-<release>-<revision>
   ```

3. 以管理员权限运行安装脚本并继续根据引导安装，如果可能，请使用默认安装路径：

   ```
   sudo bash install.sh
   ```

   安装脚本提供了下列三种模式可供选择：

   - 键入“a”以安装数据服务器程序、Web 服务器程序、文档和 API。
   - 键入“u”以安装 udev 支持（仅当通过安装 LabOne 使用 HF2LI 仪器且不涉及其他仪器类型时才需要）。
   - 键入“ENTER”以同时安装选项“a”和“u”。

4. 通过运行软件来测试安装结果，具体如下节所述。

在 Linux 系统中运行软件

下列步骤说明了如何启动 LabOne 软件以便在用户界面中访问和使用您的仪器。

1. 使用“ziService”程序检查 HF2LI 数据服务器是否处于运行状态：

```
$ ziService status
```

如果安装了 udev 支持，HF2LI 数据服务器程序“ziServer”应处于运行状态。否则，请在命令提示符中手动启动数据服务器：

```
$ ziServer
```

如果安装了 udev 支持，则 HF2LI 数据服务器程序会在插入 HF2LI 的 USB 电缆并为仪器通电后自动启动。

用户应具备仪器的访问权限。如果出现问题，请查阅本章最后的第 1.7 节。

2. 在命令提示符下启动 Web 服务器程序：

```
$ ziWebServer
```

3. 启动最新的 Web 浏览器并在浏览器地址栏中输入 127.0.0.1:8006，以访问 Web 服务器程序并启动 LabOne 用户界面。安装在 PC 上的 LabOne Web 服务器默认侦听 8006 端口（而不是 80 端口），以最大限度地减少冲突的可能性。

4. 现在可以按照“LabOne 软件启动”部分中的说明来启动 LabOne 用户界面，然后通过“设备连接对话框”部分中所示的“Device Connection”对话框来选择要连接的仪器。

重要事项

请勿并行运行两个数据服务器实例；每次仅可运行一个实例。

如果命令日志窗口在启动 HF2LI 数据服务器后溢满消息，请停止数据服务器程序，可能是另一数据服务器实例已在运行。请使用 ziService 程序检查数据服务器是否如上文所述处于运行状态。

在 Linux 系统中卸载 LabOne

LabOne 软件包会将卸载脚本复制到基本安装路径（默认安装目录为 /opt/zi/）。要卸载 LabOne 软件包，请在命令行 shell 中执行以下步骤：

1. 进入 LabOne 的安装路径，例如，如果 LabOne 安装在默认安装路径：

```
$ cd /opt/zi/
```

2. 以管理员权限运行卸载脚本并继续根据引导操作：

```
$ sudo bash uninstall_LabOne<arch>-<release>-<revision>.sh
```

1.4.3. 在命令行中手动启动 LabOne

安装 LabOne 软件后，可使用命令行手动启动 Web 服务器和 HF2LI 数据服务器。“LabOne 软件启动”部分介绍了在 Windows 下启动 LabOne 的较为常用方法。使用命令行的优势在于能够观察和更改 Web 服务器和 HF2LI 数据服务器的行为。要手动启动服务器，请打开命令行终端（命令提示符、PowerShell (Windows) 或 Bash (Linux)）。在 Windows 系统中，当前工作目录必须是 Web 服务器和 HF2LI 数据服务器的安装目录。它们安装在 Program Files 文件夹中（通常是 C:\Program Files），分别位于 WebServer 或 DataServer 文件夹中的 \Zurich Instruments\LabOne 下。Web 服务器和 HF2LI 数据服务器 (ziServer) 分别通过运行每个文件夹中相应的可执行文件来启动。请注意，每台计算机一次只能运行每个服务器的一个实例。服务器的行为可以通过提供命令行参数进行更改。有关所有参数的详细列表，请参见命令行帮助说明：

```
$ ziWebServer --help
```

对于 HF2LI 数据服务器：

```
$ ziServer --help
```

1.5. 仪器连接

瑞士苏黎世仪器的 HF2LI 仪器使用 LabOne 软件进行操作。安装 LabOne 后，仪器可随时使用 USB 电缆与 PC 相连。一旦与仪器建立了正确的物理和逻辑连接，即可通过 Web 浏览器控制 LabOne 软件。

注释

支持下列 Web 浏览器（最新版本）

1.5.1. LabOne 软件架构

借助苏黎世仪器的 LabOne 软件，您可以通过主机 PC 便捷地访问仪器。LabOne 还支持高级配置，即支持多个软件客户端（即 LabOne 用户界面客户端和/或 API 客户端）同时访问，甚至是在不同计算机上工作的多个用户同时访问。本节简要概述了 LabOne 软件的架构。这将有助于更好地理解以下章节。

瑞士苏黎世仪器的设备软件基于服务器。服务器和其他软件组件的结构按层次划分，如图 1.7 所示。

- PC 上运行的最底层是 LabOne 数据服务器，它是连接仪器的接口。
- 中间层包含 LabOne Web 服务器，它是基于浏览器的 LabOne 用户界面的服务器。
- 顶层包含图形用户界面与编程用户界面。

包含中央数据服务器的架构允许多个客户端利用同步设置访问同一设备。以下几节详细介绍了不同层次及其功能。

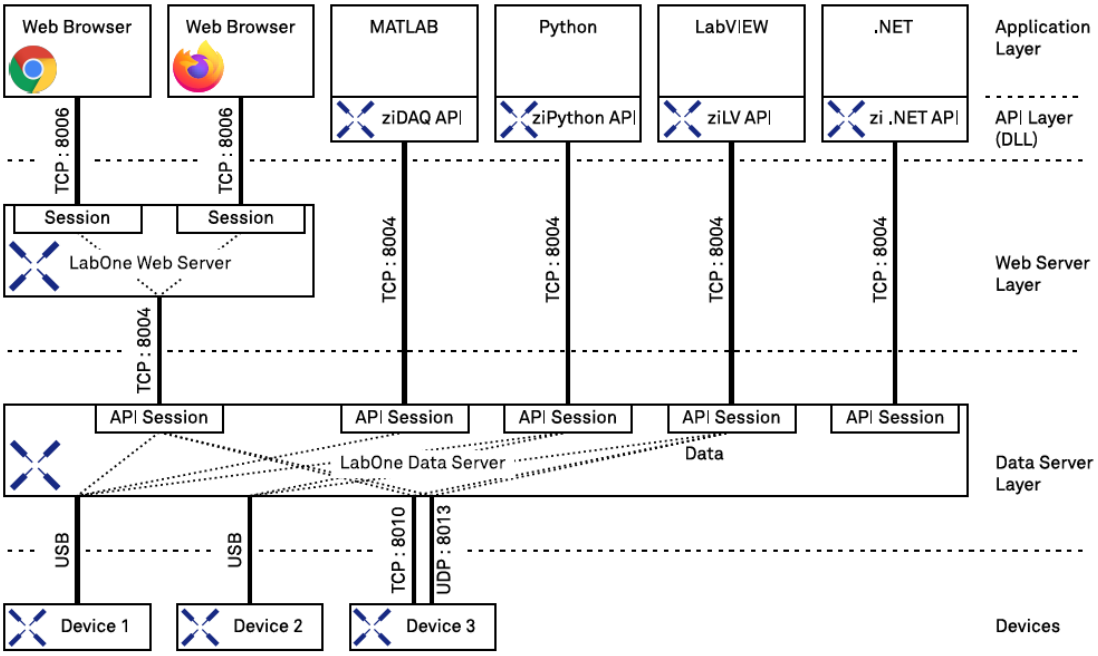


图 1.7. LabOne 软件架构

LabOne 数据服务器

LabOne 数据服务器程序是一个专用服务器，负责与设备之间的所有通信。数据服务器可以控制单台或多台仪器。它将来自仪器的测量数据分发给订阅这些数据的所有客户端。数据服务器还确保将一个客户端更改的设置传递给其他客户端。这样一来，设备设置会在所有客户端上同步。只要有 HF2LI 仪器通过 USB 连接至 PC，HF2LI 数据服务器就会自动启动（在 Windows 中通过 ziService，在 Linux 中通过 udev）。一台 PC 上应仅运行单个 LabOne 数据服务器实例。

LabOne Web 服务器

LabOne Web 服务器是一个专用应用程序，提供构成 LabOne 用户界面的网页。用户界面可使用任何带有 Web 浏览器的设备打开。由于 LabOne 用户界面支持触控功能，因此可以在平板电脑等移动设备上使用。LabOne Web 服务器同时支持多个客户端。这意味着可以通过多个会话来查看数据和操作仪器。会话可以在安装有 LabOne 软件的 PC 上的浏览器中运行，也可以在远程机器上的浏览器中运行。

当 LabOne Web 服务器运行并访问仪器时，您可以通过在浏览器地址栏中输入网络地址和端口号来打开一个新会话。如果 Web 服务器与浏览器在同一台计算机上运行，则地址为本地主机地址（两者等效）：

- 127.0.0.1:8006
- localhost:8006

如果 Web 服务器在**远程**计算机上运行，则地址为远程计算机的 IP 地址或网络名称：

- 192.168.x.y:8006
- myPC.company.com:8006

其支持最常用浏览器的最新版本：Chrome、Firefox、Edge、Safari 和 Opera。

LabOne API 层

该仪器还可以通过瑞士苏黎世仪器提供的应用程序接口 (API) 进行控制。API 以 DLL 的形式提供，可用于以下编程环境：

- MATLAB
- Python
- LabVIEW
- .NET
- C

因此，该仪器可以由外部程序控制，而所产生的数据也可以通过外部程序来处理。该设备可以通过一个或多个 API 和用户界面同时访问。这样便可轻松集成到大型实验室装置中。详情参阅 LabOne 编程手册。通过 API，用户可以访问 LabOne 用户界面中提供的同样功能。

1.5.2. LabOne 软件启动

本节介绍了用于控制 HF2LI 系列仪器的 LabOne 用户界面的启动。如果 PC 上尚未安装 LabOne 软件，请按照第 1.4 节中的说明进行操作。如果设备尚未连接，请参阅第 1.5.3 节中的相关说明。

LabOne 用户界面启动链接可在 Windows 10 开始菜单下找到（在 Windows 7 和 8 中，LabOne 用户界面启动链接的查找路径为：Start Menu → all programs / all apps → Zurich Instruments LabOne）。如图 1.8 所示，单击 Start Menu → Zurich Instruments LabOne。用户界面将在默认 Web 浏览器的新标签页中打开，同时，LabOne 数据服务器和 LabOne Web 服务器程序将在后台启动。有关软件架构的详细说明，请参阅第 1.5.1 节。

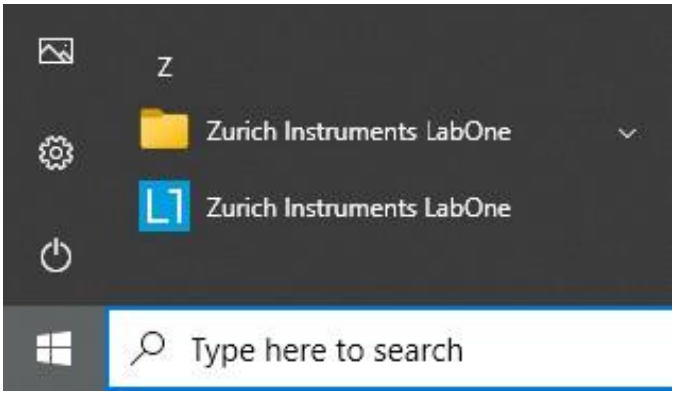


图 1.8. 链接到 Windows 10 开始菜单中的 LabOne 用户界面

LabOne 是一个基于 HTML5 浏览器的程序。这意味着用户界面在 Web 浏览器中运行，也可以使用移动设备进行连接；只需指定运行用户界面的 PC 的 IP 地址（和 8006 端口）即可。

注释

通过在桌面上创建 Google Chrome 的快捷方式，

并在属性中将“Target”字段设置为 path\to\chrome.exe -app=http://127.0.0.1:8006，即可在应用程序模式下在 Chrome 中运行 LabOne 用户界面，由此省略不必要的浏览器控件，从而改善用户体验。

启动 LabOne 后，将显示“Device Connection”对话框（如图 1.9 所示），允许用户选择设备进行会话。“会话”一词用于指用户界面和设备之间的有效连接。此类会话由设备设置和用户界面设置定义。多个会话可以并行启动。会话在共享的 LabOne Web 服务器上运行。有关软件架构的详细说明，请参阅第 1.5.1 节。

图 1.9.“Device Connection”对话框

默认情况下，“Device Connection”对话框在“Basic”视图中打开。在此视图中，所有可连接的设备均表示为带有序列号和状态信息的图标。必要情况下，图标上会出现一个用于固件升级的按钮。在其他情况下，可以通过双击该图标或单击对话框右下角的 Open 按钮来连接设备。

在某些情况下，可以通过单击“Advanced”按钮切换到“Device Connection”对话框的“Advanced”视图。在“Advanced”视图中，用户可以针对新会话来选择自定义设备和 UI 设置，并选择适用于多仪器设置的更多连接选项。

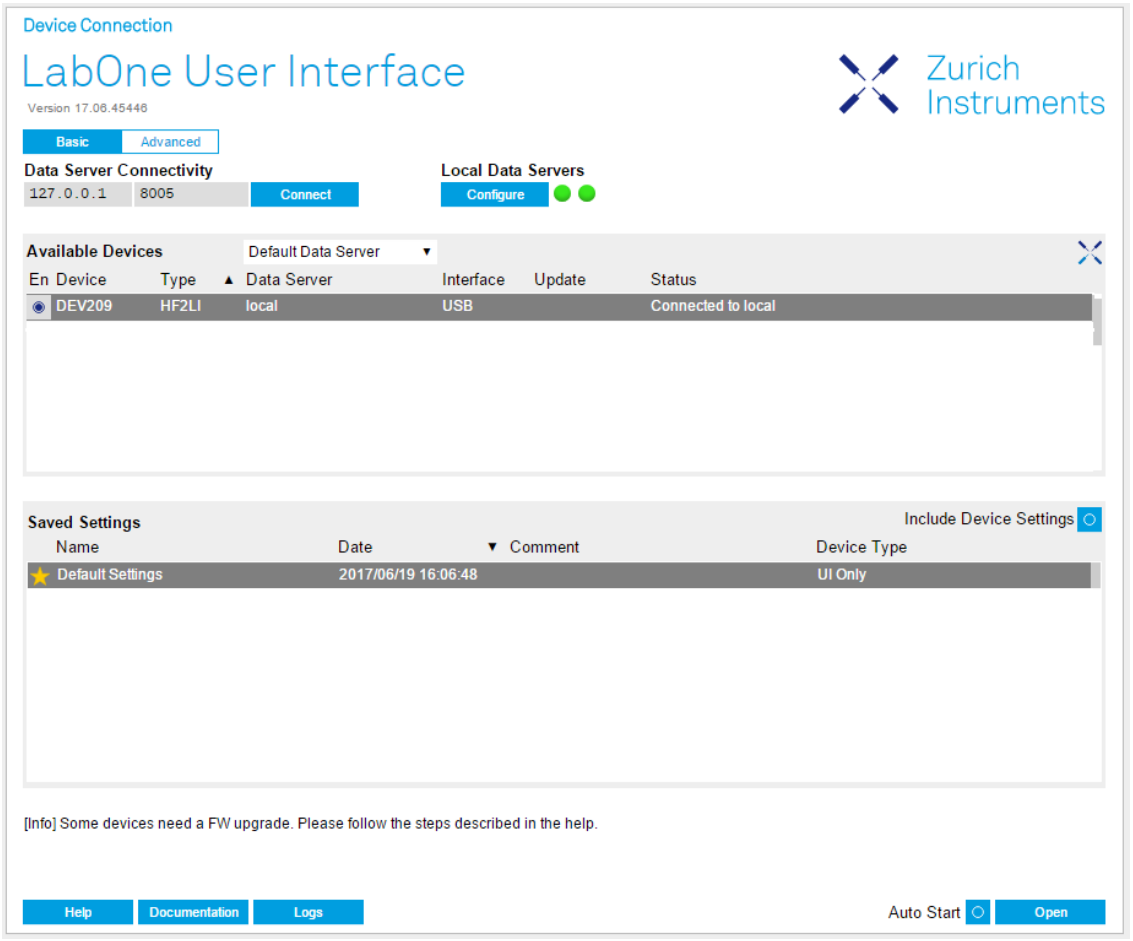


图 1.10.“Device Connection”对话框（“Advanced”视图）

“Advanced”视图由三个部分组成：

- Data Server Connectivity
- Available Devices
- Saved Settings

“Available Devices”列表包含一个显示筛选器，通常设置为“Default Data Server”，可通过表标题行中的下拉菜单来查看。将其更改成“Local Data Servers”时，“Available Devices”列表将仅显示通过主机 PC 上的数据服务器建立的连接，并将包含通过 USB 直接连接到主机 PC 或通过 1 GbE 连接到本地网络的所有仪器。使用“All Data Servers”筛选器时，也可以访问通过在网络中其他 PC 上运行的数据服务器建立的连接。一旦您的仪器出现在“Available Devices”列表中，请执行以下步骤以开始新会话：

1. 从“Available Devices”列表中选择一台仪器。
2. 除非您想使用默认设置，否则在“Saved Settings”列表中选择一个设置文件。
3. 单击 Open 启动会话

注释

默认情况下，打开一个新会话将只加载 UI 设置（例如绘图范围），而不会从保存的设置文件中加载设备设置（例如信号幅值）。要加载设备设置，请启用“Include Device Settings”复选框。请注意，这可能会影响现有会话，因为设备设置会在现有会话之间共享。

注释

如果并行使用瑞士苏黎世仪器其他系列的设备（UHF、HF2LI、MF、HDAWG、PQSC 或 SHF），“Available Devices”部分中的列表也会包含这些设备。

以下几节详细介绍了“Device Connection”对话框的功能。

Data Server Connectivity

“Device Connection”对话框会显示 Web 服务器。但是在启动时，Web 服务器尚未连接到 LabOne 数据服务器。使用“Connect”/“Disconnect”按钮可以打开和关闭与数据服务器的连接。

在使用单台 HF2LI 系列仪器和单个主机时，通常可以忽略此功能。“Data Server Connectivity”对于通过远程 PC（即该 PC 不同于运行数据服务器的 PC）来操作仪器的用户或使用多台仪器的用户来说非常重要。而且，“Data Server Connectivity”功能允许用户将 Web 服务器连接到多个可访问的数据服务器之一。这包括在远程计算机上运行以及在 MF 系列仪器上运行的数据服务器。

要远程使用 UHF、HF2LI、HDAWG、PQSC 或 SHF 仪器，请执行以下操作。在直接连接到仪器的计算机（计算机 1）上，打开用户界面会话并将“Config”选项卡中的连接设置更改为“From Everywhere”。在远程计算机（计算机 2）上，通过启动 LabOne 用户界面打开“Device Connection”对话框，然后单击对话框左上角的 Advanced 进入“Advanced”视图。打开“Available Devices”列表的标题行中的下拉菜单，将显示筛选器从“Default Data Server”更改为“All Data Servers”。完成这一操作后，连接到计算机 1 的仪器将出现在列表中。单击 Connect，选择设备并连接到远程数据服务器。然后如上所述启动用户界面。如果要与 HF2LI 并行使用 UHF 或 MF 仪器，请参见 UHF 或 MF 文档。

注释

使用“All Data Servers”筛选器时，请务必确保连接到正确的仪器，尤其是在较大的本地网络中。务必根据 DEV0000 格式的序列号来识别您的仪器，该序列号标示在仪器的后面板上。

Available Devices

“Available Devices”列表列出了可见设备。该列表的第一列包含用于控制设备和数据服务器之间连接的“Enable”按钮。对于 HF2LI 系列仪器，该按钮始终显示为灰色，因为该连接始终自动建立。第二列表示序列号，第三列显示仪器类型（HF2LI、UHF 或 MFLI）。第四列显示用于控制设备的 LabOne 数据服务器的主机名。下一列显示接口类型。对于 HF2LI 系列仪器，该类型始终为 USB。LabOne 数据服务器将逐秒扫描可用设备和接口。如果某设备刚刚打开或建立了物理连接，则可能需要等待最多 20 秒，才能对 LabOne 数据服务器可见。如果接口以物理方式连接但不显

示，请阅读第 1.5.3 节。最后一列表示设备状态，对于 HF2LI 系列仪器，该列始终显示“Connected”状态

表 1.5. 设备状态信息

Connected	该设备已连接到同一台 PC（表示为本地）或远程 PC（表示为其 IP 地址）上的 LabOne 数据服务器。用户可以启动会话以使用该设备。
Free	该设备未被任何 LabOne 数据服务器使用，可通过单击“Open”按钮进行连接。仅适用于 UHF 和 MF 仪器。
In Use	该设备已被 LabOne 数据服务器使用。因此，该设备不能通过指定接口进行访问。要访问该设备，需要断开连接。仅适用于 UHF 仪器。
Device FW upgrade required/available	设备固件已过期。请首先按照第 1.6 节中的说明升级固件。
Device not yet ready	设备可见且正在启动。

Saved Settings

设置文件可同时包含 UI 设置和设备设置。UI 设置控制 LabOne 用户界面的结构。例如打开的选项卡的位置和顺序。设备设置指定设备的设置。设备设置会一直保存在设备上，直到下一次重启电源或通过加载另一个设置文件进行覆盖。

表 1.6 中对这些列进行了说明。表格行可以通过单击应排序的列标题进行排序。默认为按时间排序。因此，最新的设置显示在顶部。您也可以按收藏标记或设置文件名排序。

表 1.6.关于列的说明

	允许将收藏的设置文件集中到一起。通过激活设置文件旁边的星星标志并单击列标题，所选文件将相应地集中在列表的顶部或底部。 收藏标记会被保存到设置文件中。下次启动 LabOne 用户界面时，该行将再次标记为收藏。
Name	设置文件的名称。在文件系统中，文件名的后缀为 .xml。
Date	上次写入设置文件的日期和时间。
Comment	允许将备注存储在设置文件中。通过单击备注字段，可以输入文本，随后将其存储在设置文件中。此备注有助于说明测量的具体条件。
Device Type	保存此设置文件的仪器类型。

Special Settings Files

某些文件名的前缀是“last_session_”。当会话因用户明确指示或在严重错误条件下被终止时，LabOne Web 服务器会自动创建此类文件，并保存当前的 UI 和设备设置。该前缀附加在最近使用的设置文件的名称之前。这样便可在启动新会话时恢复任何未保存的更改。

如果用户加载此类上次会话设置文件，前缀“last_session_”将从文件名中删除。否则，自动保存可能会覆盖用户明确保存的设置。

名称为“Default Settings”的设置文件包含默认 UI 设置。请参阅表 1.7 中的按钮说明。

表 1.7. 按钮说明

Open	将加载所选设置文件中包含的设置。“Include Device Settings”按钮控制是仅加载 UI 设置，还是同时加载设备设置。
Include Device Settings	控制单击“Open”时加载所选设置文件的哪一部分。如果启用，则会同时加载设备和 UI 设置。
Auto Start	如果所选设备可用，则在启动时跳过会话对话框。启动时将加载默认 UI 设置和未更改的设备设置。

注释

用户设置文件保存在目录结构中的应用程序特定文件夹中。要管理这些文件，最佳方式是使用“File Manager”选项卡。

注释

启动 LabOne 会话并建立所需的 UI 设置后，可以通过将名为“default_ui”的文件保存在“Config”选项卡中来对出厂默认 UI 设置进行自定义调整。要再次使用出厂默认设置，必须使用“File Manager”选项卡将“default_ui”文件从用户设置目录中删除。

注释

双击“Available Devices”列表中的设备行可以快速启动默认 LabOne UI。此操作相当于选择所需设备并单击“Open”按钮。

双击“Saved Settings”列表中的某行可以快速加载 LabOne UI 和这些 UI 设置，如果选中“Include Device Settings”复选框，可以快速加载设备设置。此操作相当于选择所需设置文件并单击“Open”按钮。

任务栏图标

LabOne 启动后，默认在屏幕右下角出现一个任务栏图标，如下图所示。右键单击该图标，可以快速打开一个新的 Web 服务器会话，或者可以通过单击“Exit”来关闭 LabOne Web 和数据服务器。双击该图标也会打开一个新的 Web 服务器会话，在建立与多台仪器的连接等情况下很有用。

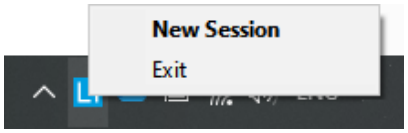


图 1.11. Windows 10 系统中的 LabOne 任务栏图标

消息

LabOne Web 服务器将在缺少组件或出现故障的情况下显示附加消息。这些消息显示有关故障情况的信息。以下几段列出了这些消息，并详细介绍了用户需要采取哪些操作来解决问题。

与 LabOne Web 服务器失去连接

在这种情况下，浏览器无法再连接到 LabOne Web 服务器。当 Web 服务器和数据服务器在不同的 PC 上运行并且网络连接中断时，就可能会发生这种情况。只要 Web 服务器正在运行并且会话尚未超时，就可以仅连接现有会话并继续操作。从而，在大约 15 秒内，可以单击“Retry”来恢复旧的会话连接。单击“Reload”按钮可打开图 1.9 所示的“Device Connection”对话框。下图显示了“Connection Lost”对话框的示例。

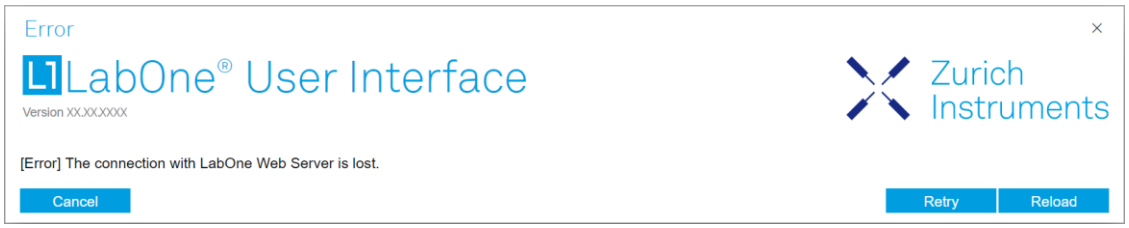


图 1.12. 对话框：失去连接

重新加载中…

如果无法处理会话错误，LabOne Web 服务器将重新启动，以显示图 1.9 所示的新“Device Connection”对话框。在重新启动过程中，会出现一个窗口，指示 LabOne 用户界面将重新加载。如果没有执行重新加载，可以按键盘上的 F5 来触发相同的效果。下图显示了此对话框的示例。

图 1.13. 对话框：重新加载中…

未发现设备

“Available Devices”列表为空意味着没有发现任何设备。这可能意味着没有正在运行的 LabOne 数据服务器，或者 LabOne 数据服务器正在运行但未能检测到任何设备。该设备可能已关闭或接口连接失败。有关设备和 PC 之间接口的更多信息，请参阅第 1.5.3 节。下图显示了此对话框的示例。

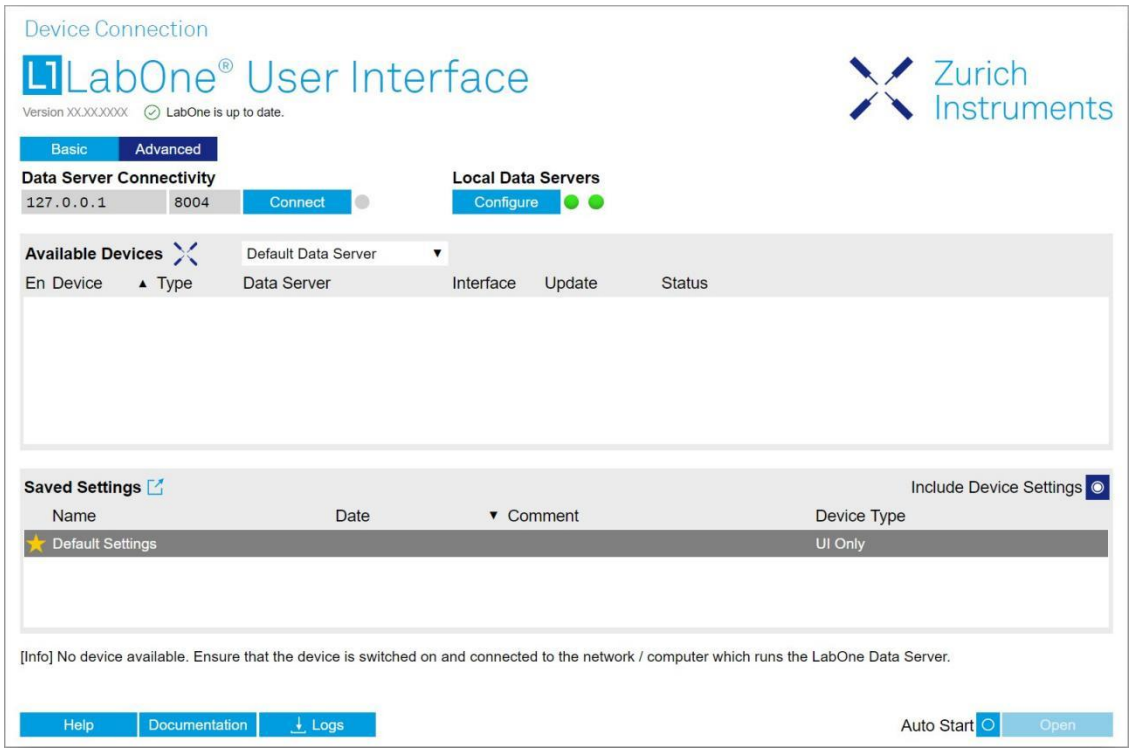


图 1.14. 未发现设备

1.5.3. 设备连接

HF2LI 仪器可通过通用串行总线 (USB) 连接到主机。随后，该设备将与主机 PC 的数据服务器相连。如果数据服务器尚未启动运行，则会在插入 USB 连接时自动启动。一台仪器只能连接一台数据服务器，但一台数据服务器和主机可以同时连接多台仪器。

如果主机位于本地 TCP/IP 网络中，则可以远程控制设备，甚至可以同时从多台计算机进行控制。此外，在此远程配置中，还有一台连接仪器的 LabOne 数据服务器。该数据服务器在通过 USB 电缆与仪器相连的计算机中运行。该数据服务器可以为网络中的一个或多个远程客户端提供服务。所有客户端均可访问同一测量数据。如果一个客户端更改仪器设置，其他所有客户端均能看到更改结果。

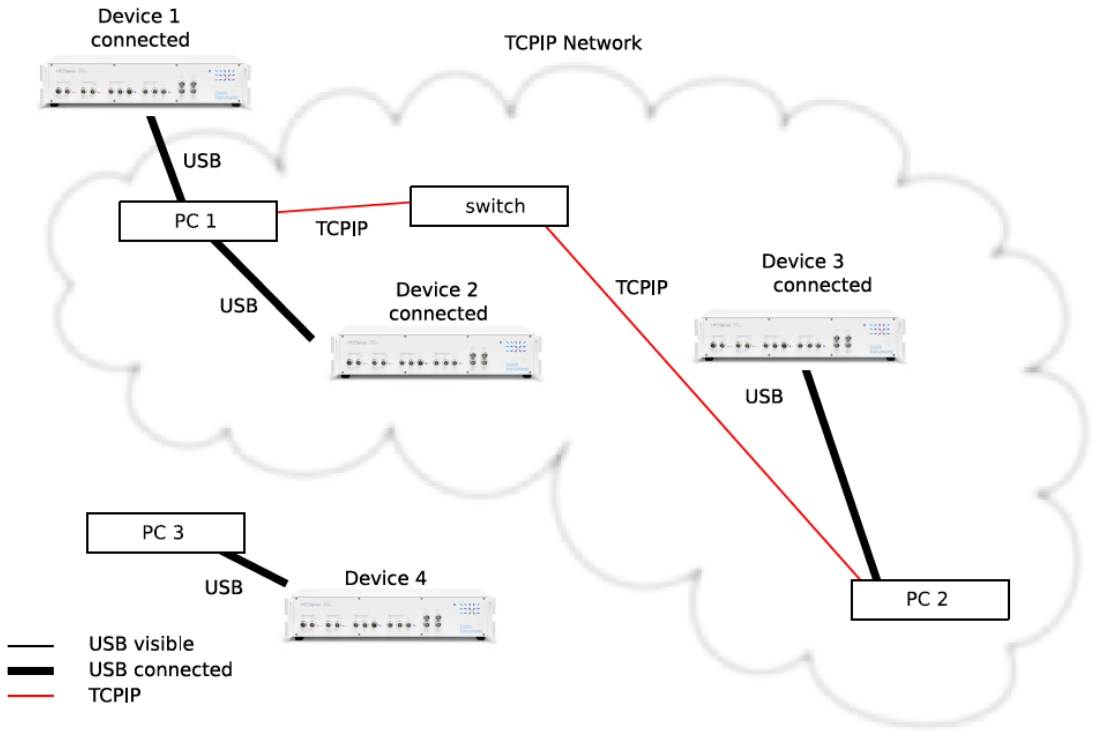


图 1.15. 连接

图 1.15 给出了 PC 与设备之间可能的连接配置的一些示例。

- PC 1 中的服务器与设备 1 (USB) 和设备 2 (USB) 相连。
- PC 2 中的服务器与设备 3 (USB) 相连。
- PC 3 中的服务器与设备 4 相连。
- 通过 TCP/IP，设备 1、2 和 3 对 PC 1 和 PC 2 均可见。

1.6. 软件更新

1.6.1. 概述

建议定期将 HF2LI 仪器上的 LabOne 软件更新到最新版本。如果仪器已经联网，只需单击软件本身即可完成更新，如第 1.6.2 节所示。如果通过独立安装程序使用其中一个 LabOne API，请注意同时更新这部分软件。

1.6.2. 使用自动更新检查功能来更新 LabOne

更新 LabOne 软件需要从瑞士苏黎世仪器下载页面下载并安装最新的 LabOne 软件，如第 1.4 节所示。如果在 LabOne 安装过程中启用了“Periodically check for updates”并且 LabOne 已经联网，则一旦新版本的软件可供下载，“Device Connection”对话框中就会出现通知。后续可以在 LabOne 用户界面的“Config”选项卡中更改该设置。如果禁用了自动更新检查，用户则可以随时通过单击“Device Connection”对话框中的 Check For Update 按钮来手动检查更新。发现更新时，单击图 1.16 中所示的“Update Available”按钮将开始下载适用于 Windows 或 Linux 的最新 LabOne 安装程序，请参见图 1.17。下载后，按照第 1.4 节中的说明来更新 LabOne。

图 1.16.“Device Connection”对话框：LabOne 更新可用

图 1.17. 使用自动更新检查功能来下载 LabOne MSI

1.7. 故障排查

本节旨在帮助用户解决和避免在使用软件和操作仪器时出现的问题。

1.7.1 常见问题

HF2LI 系列仪器是一款先进的实验室设备，相比传统的锁相放大器具有更多的特征和功能。要充分利用这些特征和功能，用户需要使用 LabOne 用户界面中的诸多设置。复杂的设置可能会让初次使用的用户不知所措，即便是专家用户也会对某些设置组合感到意外。为避免出现问题，最好在“Config”选项卡中保存和加载设置。这样，用户便可以基于已知配置来操作仪器，实现对仪器的总体掌控。本节提供了一个简单易懂的清单，可以解决最常见的问题。

表 1.8. 常见问题

问题	检查项
软件无法安装或卸载	请确认您拥有管理员/root 权限。
软件无法更新	请使用“Windows Apps & Features”功能中的“Modify”选项。在软件安装程序中选择“Repair”，然后卸载旧版本的软件，再安装新版本。
仪器无法开机	请确认电源连接并检查保险丝。保险丝座集成在仪器后面板上的电源连接端口中。
HF2LI 仪器已开机，但传递的测量结果明显错误	请确认设备后面板上的电力系统设置与所在国家/地区的电力系统相符（110 V/60 Hz、220 V/50 Hz）。确保保险丝座已设置为正确的电源位置。这意味着，所需电源标签（230 V 或 115 V）必须位于电源插口边缘的旁边（例如，不能在电源开关旁边）。
HF2LI 仪器在采用 100 V 电力系统的国家/地区（如日本）性能表现不好	如果不使用 100 V 转 110 V 变压器，内部电源可能低于规范值，某些电路的性能可能达不到标准。对于所在国家/地区使用 100 V 电力系统的用户，建议使用外部变压器（仪器附带）。
HF2LI 仪器在 USB 上的数据吞吐量受到限制	尽管仪器对主机的要求并不严格，但要达到最高的 USB 吞吐量性能，需要一台性能良好的台式机。USB 可能会限制数据吞吐量，更多详情请参见“最大样本读取速率”。如果通过 USB 进行许多并发传输，将限制单个传输的速度。特别是，当应用不需要时，应该关闭示波器。USB 传输状态可在 STATUS_TAB 中监测。
仪器在单端模式中性能表现不好	原因可能是仪器的信号输入端被设置为差分模式。请确保在“Lock-in”选项卡或“In / Out”选项卡中关闭差分输入模式。

问题	检查项
HF2LI 仪器出现高输入本底噪声	USB 电缆将仪器接地端连接至计算机接地端，这可能会将一些不必要的噪声引入测量结果中。为了将计算机与仪器解耦，可考虑使用支持 480 Mbit/s 数据传输率的电气隔离型 USB 扩展器。瑞士苏黎世仪器推荐的型号为 USB 2.0 Ranger 2201 (Icron technologies) 和 U-Link USB 2.0 扩展器 (Sewell)。为了获得最佳的噪声性能，可能需要将扩展器附带的电源更换为更稳定的电源。
仪器在低频下性能表现不好（10 kHz 以下）：	原因可能是仪器的信号输入端被设置为交流模式。请确认在“Lock-in”选项卡或“In / Out”选项卡中关闭交流耦合。
仪器在工作期间性能表现不好	对于当前应用而言，解调滤波器的带宽可能设置得过宽（噪声过多）或过窄（响应慢）。请确认解调滤波器设置与您的频率噪声方案是否相符。
仪器在工作期间性能表现不好	原因可能是输入信号出现削波现象。检测方法：观察仪器前面板上的红色 LED 灯或用户界面 STATUS_TAB 上的输入溢出 (OVI) 标志。这种情况可通过针对输入范围设置增加足够的裕量（例如最大信号峰值的 50% 至 70%）来避免。
使用 HF2LI-MF 多频选件时，仪器的表现异常	原因很可能是开启了过多的信号发生器。可通过集成的示波器检查生成的信号输出，并检查同时激活的振荡器电压的数量。
仪器的性能表现基本符合规范，但希望获得更佳性能	仪器校准时间达到两年后，少量模拟参数可能发生漂移。这可能造成测量结果不准确。瑞士苏黎世仪器建议每两年对仪器重新校准一次。
仪器测量结果无法预测	请查看“Status”选项卡，检查是否有任何有效警告（红色标志），或者过去是否出现过警告（黄色标志）。
仪器未生成任何输出信号	确认“Lock-in”选项卡或“In / Out”选项卡中的信号输出开关已开启。
仪器以数字量 I/O 作为参考信号时锁相性能不好	确保数字量输入信号具有高转换速率和保持阈值稳定。
仪器以辅助模拟输入作为参考信号时锁相性能不好	输入信号幅值可能过小。请选择合适的输入通道增益设置。
从仪器到主机的样本流不连续	请检查状态栏中的通信 (COM) 标志。这三个标志表示偶发性样本丢失、丢包或停顿。如果采样率设置过高（仪器发送的样本数量超过接口和主机可以接受的数量）时，则会发生样本丢失。丢包表示 与主机的通信出现重大故障，会影响仪器的行为。这两个问题都可以通过降低采样率设置进行避免。停顿标志表示系统主动更改了设置以防止 UI 崩溃。
仪器已连接，但与计算机无通信	请检查状态栏中的锁相失败 (CF) 标志。如果将时钟源设置为“Clk 10 MHz”，但没有时钟信号馈送给仪器，就可能出现这种异常情况。如果选择的是内部时钟源，而 CF 标志仍为活动状态，则可能表示出现严重的硬件故障。如遇此情况，请通过 support@zhinst.com 联系瑞士苏黎世仪器支持团队。

问题	检查项
LabOne 用户界面无法启动	请通过 Windows 任务管理器确认 LabOne 数据服务器 (ziServer.exe) 和 LabOne Web 服务器 (ziWebServer.exe) 是否正在运行。数据服务器应通过 ziService.exe 自动启动，Web 服务器应在单击 Windows 开始菜单中的“Zurich Instruments LabOne”时启动。 如果两者都正在运行，而单击开始菜单无法在默认浏览器的新标签页中打开新的用户界面会话，则可以尝试在浏览器的地址栏中输入 127.0.0.1:8006 来手动创建新会话。
用户界面未启动或启动后保持空闲状态	请确认 ziServer HF2LI 仪器在主机上已经启动并正在运行。
用户界面运行很慢，Web 浏览器进程占用大量 CPU 空间	请确保已针对用于 LabOne 的 Web 浏览器启用了硬件加速。对于 Windows 操作系统，可以通过以下路径启用硬件加速：Control Panel → Display → Screen Resolution。转到“Advanced Settings”，然后前往“Trouble Shoot”。如果您使用的是 NVIDIA 显卡，则需要使用 NVIDIA 控制面板。转到“Manage 3D Settings”，然后前往“Program Settings”，选择要自定义的程序。

1.7.2 日志文件的位置

通过单击用户界面的“LabOne Device Connection”对话框中的 Logs，可以轻松访问 LabOne Web 和数据服务器程序的最新日志文件。“Device Connection”对话框会在软件启动或单击用户界面的“Config”选项卡中的 Session Manager 时打开。

以下几节说明了 Web 和数据服务器日志文件在磁盘上的位置。

Windows

在 Windows 上，Web 和数据服务器日志文件可以在以下目录中找到。

- HF2LI 数据服务器 (ziServer.exe) 由服务启动 (ziService.exe)：

  C:\Windows\ServiceProfiles\LocalService\AppData\Local\Temp\Zurich Instruments\LabOne\ziServerLog

- HF2LI 数据服务器手动启动：

  C:\Users\[USER]\AppData\Local\Temp\Zurich Instruments\LabOne\ziServerLog

- LabOne Web 服务器 (ziWebServer.exe)：

  C:\Users\[USER]\AppData\Local\Temp\Zurich Instruments\LabOne\ziWebServerLog

注释

C:\Users\[USER]\AppData 文件夹默认隐藏在 Windows 下。要快速访问，请在 Windows File Explorer 的地址栏中输入 %AppData%\..。

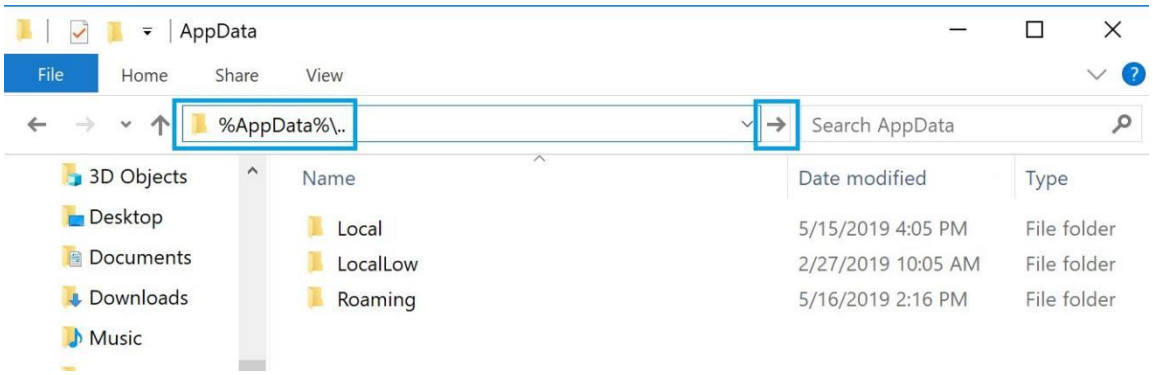


图 1.18. 使用 Windows Explorer 中的 %AppData%\.. 快捷方式来访问隐藏文件夹。

Linux 和 macOS

在 Linux 或 macOS 上，Web 和数据服务器日志文件可以在以下目录中找到。

- HF2LI 数据服务器 (ziServer) 手动启动：

  /tmp/ziServerLog_[USER]

- HF2LI 数据服务器自动启动（根据苏黎世仪器的 udev 规则，仅限 Linux）：

  /tmp/ziServerLog_root

- LabOne Web 服务器 (ziWebServer)：

  /tmp/ziWebServerLog_[USER]

第 2 章功能概述

本章可帮助您快速熟悉 HF2LI 系列的主要功能、面板和操作模式。为支持选择和订购，我们提供了一个产品选择器，列出了产品的关键功能。本节旨在提供概述，因此仅进行粗略的说明，不包含详细说明。

2.1. 特点

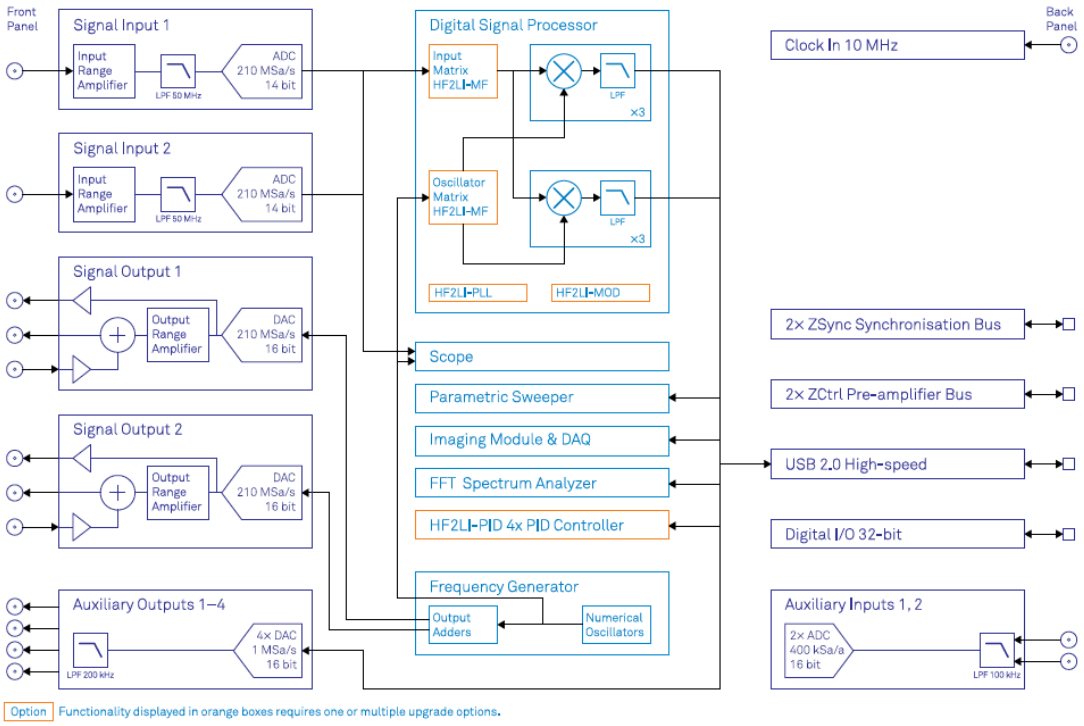


图 2.1. HF2LI 功能图

如图 2.1 所示，HF2LI 仪器由 4 个高频模拟模块、2 个低频辅助模块、内部数字处理模块（浅蓝色）和硬件接口（大多数位于仪器的后面板上）组成。

待测信号连接到两个高频模拟输入中的一个，然后被放大到规定量程，过滤并高速数字化。所产生的样本被反馈入数字信号处理模块，通过多达 8 个双相解调器进行解调。解调器输出信号会流入嵌入式 RISC 处理器进行进一步处理或发送到主机。样本还会被发送到辅助输出，以便在 HF2LI 仪器的前面板上使用。

数字振荡器生成一对正弦和余弦信号，用于解调输入信号以及生成高频输出信号。为此，输出混频器生成发生器输出的加权和，从而生成可用作激励的多频信号。2 个高频输出级提供模拟到数字转换、信号缩放（范围），并可增加一个外部交流或直流信号，以及一个同步信号。

2.1.1. 工作模式

- 内部参考模式
- 外部参考模式
- 自动参考模式
- 双通道操作
- 双谐波模式
- 多谐波模式
- 任意频率模式

2.1.2. 高频模拟输入

- 2 个低噪声高频输入
- 差分和单端操作（A、-B、A-B）
- 可变输入范围
- 可变输入阻抗
- 交流/直流耦合

2.1.3. 高频模拟输出

- 2 个低噪声高频输出
- 大输出范围
- 可变输出范围设置
- 每个输出 1 个同步信号
- 每个输出 1 个加法器信号

2.1.4. 辅助模拟输入/输出

- 4 个辅助高速输出
- 2 个辅助高速输入
- 辅助输出上的用户自定义信号

2.1.5. 解调器和参考

- 多达 8 个双相解调器
- 多达 8 个可编程数值振荡器
- 可编程的解调滤波器
- 超高分辨率内部参考
- 64 位分辨率解调器输出

2.1.6. 测量工具

- 频谱仪
- 数值面板
- 示波器
- 频率响应分析仪
- FFT 频谱分析仪

2.1.7. 用户可编程嵌入式处理器（选件）

- Microblaze 32 位 RISC
- 64 MHz 工作频率可实现实时控制环路
- 32 位浮点单元
- 64 kB 内部内存（最大程序大小）
- 64 MB 外部存储器 DDR2 内存

2.1.8. 其他接口

- USB 2.0 高速 480 Mbit/s 主机接口
- DIO：32 位数字输入输出端口
- ZSync：2 个用于仪器间同步总线的端口（ZI 专有）
- ZCtrl：2 个用于外部前置放大器的控制/电源总线端口（ZI 专有）
- 时钟输入连接端口 (10 MHz)

2.1.9. 软件功能

- LabOne 用户界面，一个功能强大的基于浏览器的图形界面
- ziServer 多模式多连接服务器
- 用于扩展 C、LabVIEW、MATLAB 和 Python 可编程性的 ziAPI — 包括编程示例
- 控制台：连接几乎任何编程语言的文本界面

2.2. 前面板介绍

前面板 BNC 连接端口和控制 LED 分为 5 个部分，如图 2.2 和图 2.3 所示，并在表 2.1 中列出。HF2LI 和 HF2IS 在前面板和后面板上具有相同的连接端口和连接端口功能。

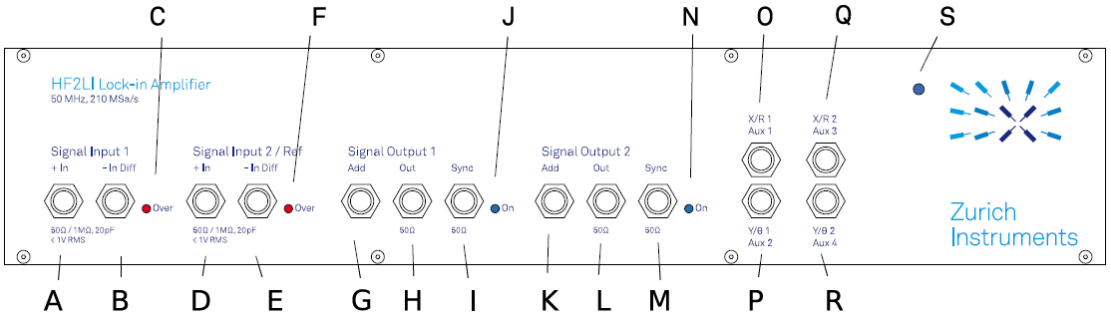


图 2.2. HF2LI 前面板

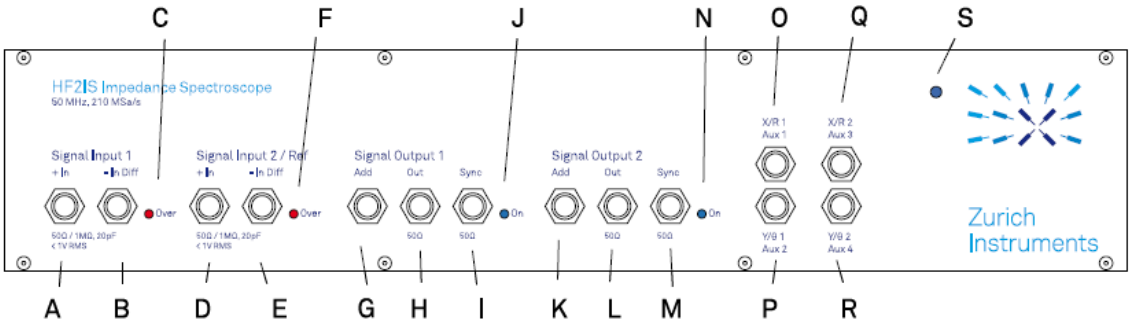


图 2.3. HF2IS 前面板

表 2.1. HF2LI 系列仪器前面板说明

位置	标签/名称	说明
A	Signal Input 1 + In	单端输入
B	Signal Input 1 - In Diff	差分输入负极（不使用时，必须通过图形用户界面上的开关内部短路接地）
C	Signal Input 1 Over	此 LED 指示输入信号使 A/D 转换器饱和
D	Signal Input 2 / Ref + In	用于外部参考模式的单端输入/参考输入
E	Signal Input 2 / Ref - In Diff	负输入（不使用时，必须通过图形用户界面上的开关内部短路接地）
F	Signal Input 2 Over	此 LED 指示输入信号使 A/D 转换器饱和
G	Signal Output 1 Add	应用到连接端口的信号被添加（模拟添加）到输出信号
H	Signal Output 1 Out	高频输出
I	Signal Output 1 Sync	输出增益级之前的输出信号用作同步或监控信号；振幅电压计算为相应输出振幅与其范围设置的比值
J	Signal Output 1 On	此 LED 表示信号输出已打开

位置	标签/名称	说明
K	Signal Output 2 Add	应用到连接端口的信号被添加（模拟添加）到输出信号
L	Signal Output 2 Out	高频输出
M	Signal Output 2 Sync	输出增益级之前的输出信号用作同步或监控信号；振幅电压计算为相应输出振幅与其范围设置的比值
N	Signal Output 2 On	此 LED 表示信号输出已打开
O	X/R 1 / Aux 1	此连接端口提供解调器 (X1)、幅度 (R1) 的同相信号或辅助输出信号 Aux 1
P	Y/θ 1 / Aux 2	此连接端口提供解调器 (Y1)、相位 (θ1) 的正交信号或辅助输出信号 Aux 2
Q	X/R 2 / Aux 3	此连接端口提供解调器 (X2)、幅度 (R2) 的同相信号或辅助输出信号 Aux 3
R	Y/θ 2 / Aux 4	此连接端口提供解调器 (Y2)、相位 (θ2) 的正交信号或辅助输出信号 Aux 4
S	功率	仪器电源开启 LED

2.3. 后面板介绍

后面板是电源、控制、服务以及与其他 ZI 仪器连接的主要接口。各项的详细说明请参见图 2.4 和表 2.2。

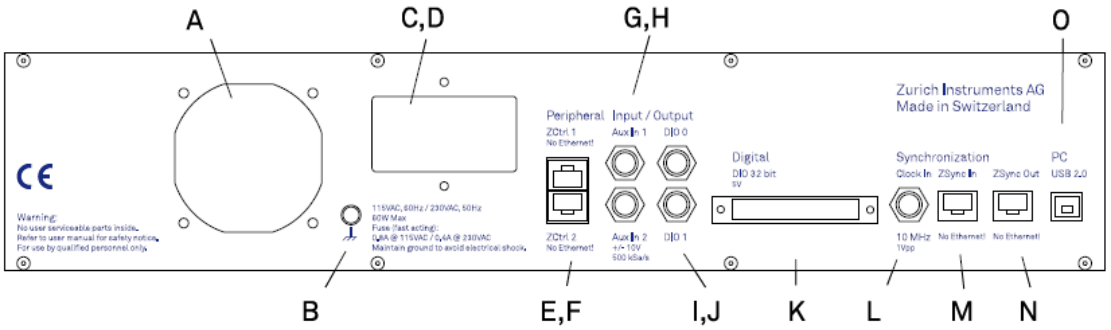


图 2.4. HF2LI 系列仪器后面板

表 2.2. HF2LI 系列仪器后面板说明

位置	标签/名称	说明
A	-	通风口（注意：切勿堵塞）
B	接地	用于接地的 4 mm 蕉形插孔连接端口，电气连接到机箱和电源插口的接地销针
C	电源插口	带 ON/OFF 开关的电源插口
D	电源系统	在 115 V 和 230 V 电源系统之间进行选择
E	ZCtrl 1	外围前置放大器电源和控制总线 1 — 注意：这不是以太网插头，连接到以太网可能会损坏仪器
F	ZCtrl 2	外围前置放大器电源和控制总线 2 — 注意：这不是以太网插头，连接到以太网可能会损坏仪器
G	Aux In 1	辅助高采样率输入 1
H	Aux In 2	辅助高采样率输入 2
I	DIO 0	数字输入/输出 0
J	DIO 1	数字输入/输出 1
K	DIO	数字输入/输出 0-31
L	时钟 In	时钟输入 (10 MHz)
M	ZSync In	仪器间同步总线输入 — 注意：这不是以太网插头，连接到以太网可能会损坏仪器
N	ZSync Out	仪器间同步总线输出 — 注意：这不是以太网插头，连接到以太网可能会损坏仪器
O	USB	主机连接

2.4. 订购指南

HF2 系列是一个产品线，包括阻抗谱仪和数字锁相放大器，可满足实验室设备的高级需求。HF2 系列提供一流的性能、广泛的工作范围、直观的操作和出色的精度。HF2IS 阻抗谱仪由 ziControl 用户界面控制，该界面在 HF2LI 用户手册的 ziControl 版面中有相关说明。

表 2.3 概述了可订购的 HF2 系列产品。可升级功能是可以随时购买的选件，无需将仪器发送到苏黎世仪器 — 可升级功能包括固件升级。

表 2.3. 可订购的 HF2LI 系列仪器产品代码

产品代码	产品名称	说明	是否支持现场升级
HF2LI	HF2LI 锁相放大器	基础锁相放大器	-
HF2LI-MF	HF2LI-MF 多频选件	选件	是
HF2LI-PLL	HF2LI-PLL 双锁相环	选件	是
HF2LI-PID	HF2LI-PID 四通道 PID 控制器	选件	是
HF2LI-MOD	HF2LI-MOD AM/FM 调制选件	选件	是
-	-	-	-
HF2LIPLL	HF2LIPLL 锁相环	HF2LI、HF2LI-PLL 和 HF2LI-PID 选件的捆绑产品	-
-	-	-	-
HF2IS	HF2IS 阻抗谱仪	基础阻抗谱仪	-
HF2IS-MF	HF2IS-MF 多频选件	选件	是
-	-	-	-
HF2TA	HF2TA 电流放大器	低噪声跨阻放大器	是

表 2.4. 产品选择器

特性	HF2LI	HF2LI + HF2LI-MF	HF2IS	HF2IS + HF2IS-MF
内部参考模式	是	是	是	是
外部参考模式	是	是	-	-
自动参考模式	是	是	-	-
双通道操作（2 个独立的测量单元）	是	是	是	是
正弦发生器	2	2	2	2
每个发生器的叠加输出正弦曲线	1	最多 6 个	最多 4 个	最多 8 个
双谐波模式	是	是	-	-

特性	HF2LI	HF2LI + HF2LI-MF	HF2IS	HF2IS + HF2IS-MF
多谐波模式	-	是	-	-
任意频率模式	-	是	是	是
解调器数量	6	6	4	8
支持同时频率（基波/谐波）	2/4	6/-	4/-	8/-
信号输入选择开关矩阵	-	是	是	是
振荡器选择开关矩阵	-	是	-	-
50 MHz，210 MS/s，0.8 µs TC	是	是	是	是
DSP 技术	128 位	128 位	128 位	128 位
动态储备	120 dB	120 dB	-	-
锁相范围	50 MHz	50 MHz	-	-
USB 2.0 480 Mbit/s	是	是	是	是
仪器软件	LabOne 用户界面、ziAPI、ziServer 软件	LabOne 用户界面、ziAPI、ziServer 软件	ziControl、ziAPI、ziServer 软件	ziControl、ziAPI、ziServer 软件
频率响应分析仪	是	是	是	是
示波器	是	是	是	是

2.5. 工作模式

2.5.1. 内部参考模式

内部参考模式利用 HF2LI 仪器内部的 HF 信号发生器。HF2LI 中有 6 个频率发生器，HF2IS 中最多有 8 个频率发生器。这些发生器的输出以数字方式添加到仪器内部，避免了复杂的外部模拟信号加法器，并将产生的信号馈送到被测设备。内部参考模式是首选模式，因为在仪器内部已知所生成的频率时，信号恢复工作处于最佳状态。信号采集立即工作，没有延迟锁定时间。

单通道和双通道操作均支持内部参考模式。这是因为 HF2LI 仪器包括自主工作的两个独立测量单元。每个测量单元提供一个基频和两个谐波频率的并行分析（有时称为双谐波模式）。总的来说，HF2LI 可以测量 2 个基频和 4 个谐波频率，而 HF2IS 可以测量 4 个频率。测量的频率数量可通过多频选件进行增加。

解调器样本可在 HF2LI 仪器的辅助输出上以模拟格式提供，并在通过 USB 接口传输的连接计算机上以数字形式提供。辅助输出在以高采样率进行线性数模转换之后生成模拟信号。有 2 对模拟信号，允许输出任意 2 个解调样本流。所有解调器流可在计算机上使用，并可进一步分析或存储在本地驱动器中。

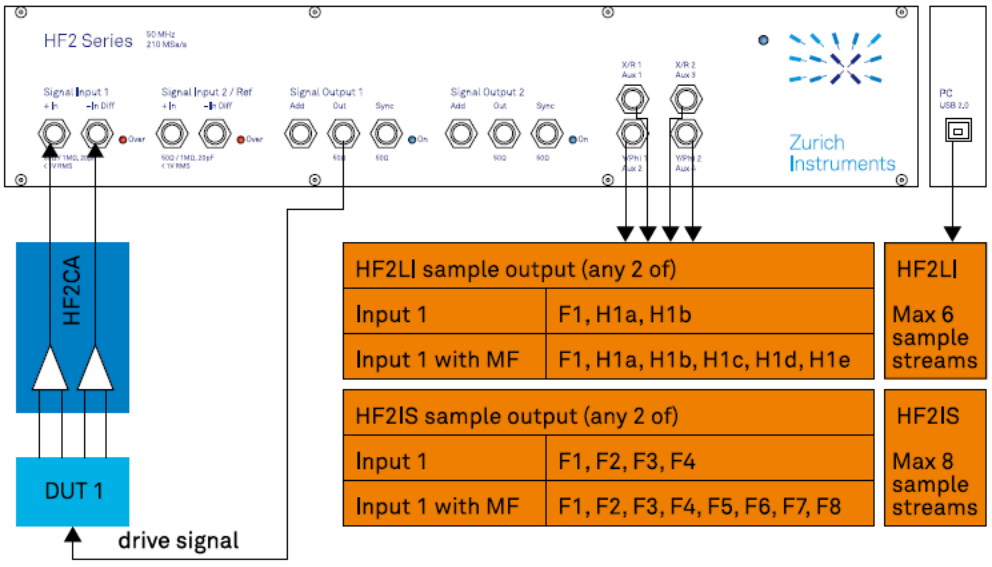


图 2.5. HF2LI 内部参考模式/单通道

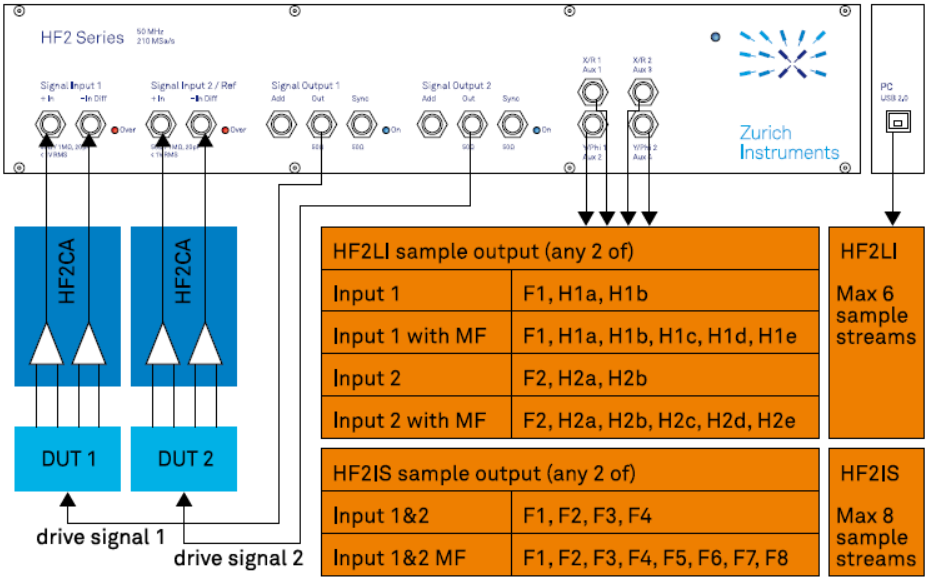


图 2.6. HF2LI 内部参考模式/双通道

2.5.2. 外部参考模式

外部参考模式使用外部参考源来恢复 HF2LI 仪器内部的期望信号。在这种模式下，不使用内部频率发生器来刺激 DUT。由于信号参考是任意周期性信号，HF2LI 需要一定的时间才能锁定参考并能够可靠地恢复待测信号。该锁定时间取决于几个参数，但最重要的是参考信号的电平和相位噪声。

单通道和双通道操作均支持外部参考模式。这是因为 HF2LI 仪器包括自主工作的两个独立测量单元。在单通道模式下，参考信号可以馈入前面板上的输入 2/Ref 连接端口。这种备选方案提供了无与伦比的能力，可以使用小振幅的参考电压源，因为它们可以通过 Input 2 的信号路径放大。在双通道操作中，外部 TTL 参考信号通过后面板上的 DIO0 和 DIO1 连接端口输入 HF2LI。

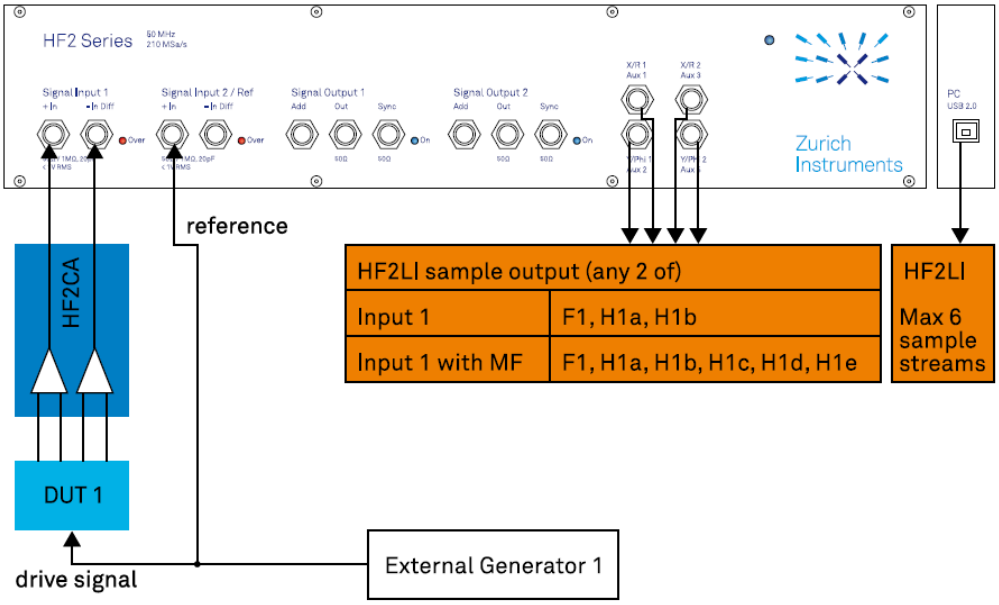


图 2.7. HF2LI 外部参考模式/单通道

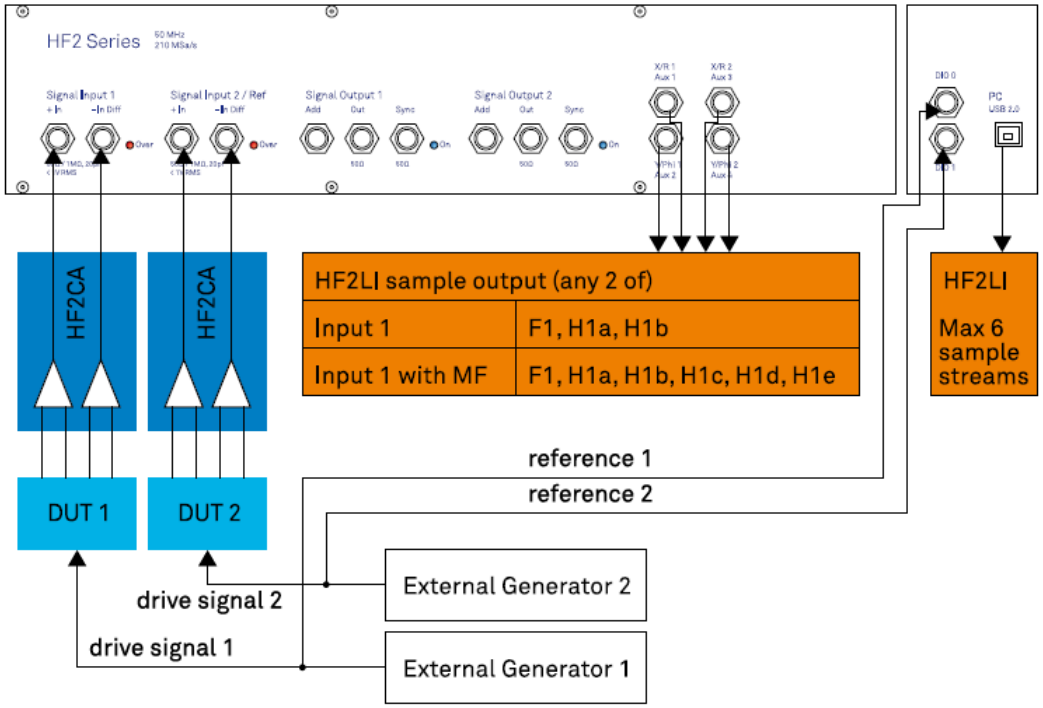


图 2.8. HF2LI 外部参考模式/双通道

2.5.3. 自动参考模式

自动参考模式利用内部 PLL 直接从来自 DUT 的信号恢复参考频率。在这种模式下，不使用内部频率发生器来刺激 DUT。由于参考固有包含在采样信号中，因此专用 PLL 能够锁定频率并恢复参考信号和期望信号。该方法适用于振幅和信噪比足够大的信号。此外，参考信号恢复需要一定的时间，该时间取决于若干个参数，如被测信号的电平和相位噪声。

单通道和双通道操作均支持自动参考模式。这是因为 HF2LI 仪器包括自主工作的两个独立测量单元。在双通道模式下，将 DUT 处捕获的信号连接到 HF2LI 仪器的输入 1 和输入 2 连接端口即可。HF2LI 系列支持单端和差分输入信号，是固定和浮动接地应用的理想选择。

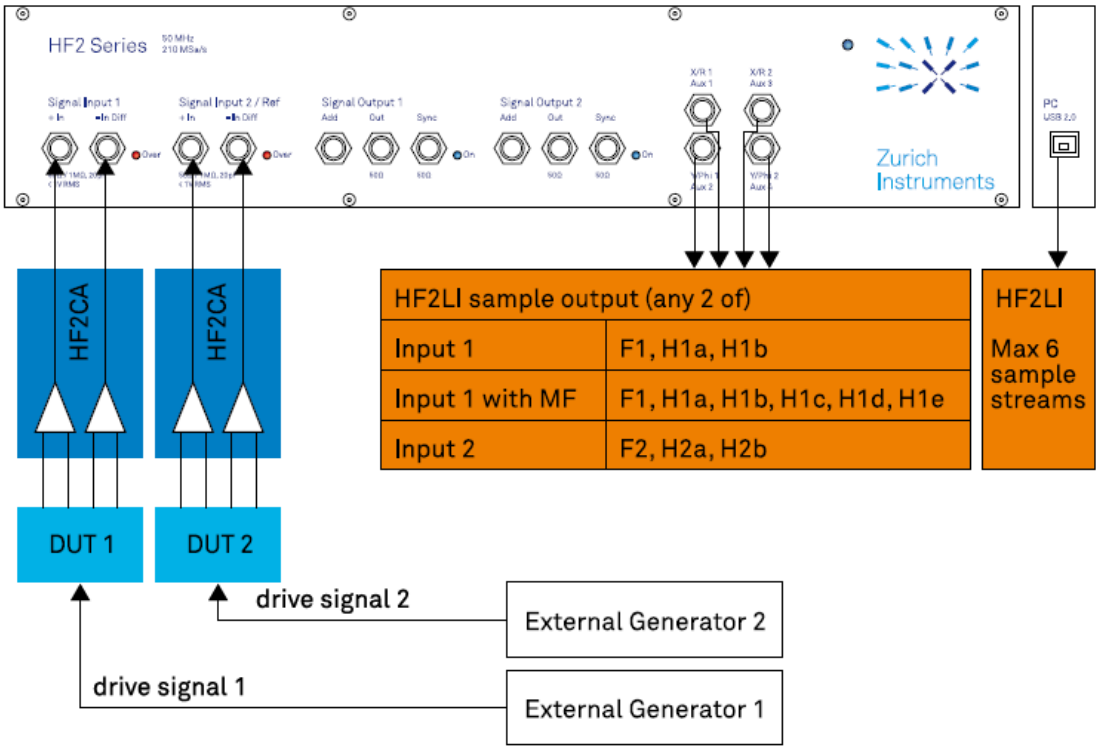


图 2.9. HF2LI 自动参考模式/双通道

2.5.4. 多频运行模式

多频运行模式为 HF2 系列提供了强大扩展的功能，增加了可并行分析的频率数量。此外，多频极大地扩展了用户在输入通道和解调器时钟方面的多路复用选项。请注意，HF2IS-MF 与 HF2LI-MF 不同（见表 2.4），因为其激活了不同的功能和不同数量的解调器。

对于 HF2LI，高次谐波模式和任意频率模式是存在区别的。在多谐波模式下，可以同时分析基频和 5 次谐波的信号，而任意频率模式是在 6 个完全独立的频率下分析期望信号的扩展。

对于 HF2IS，只有任意频率模式是相关的。

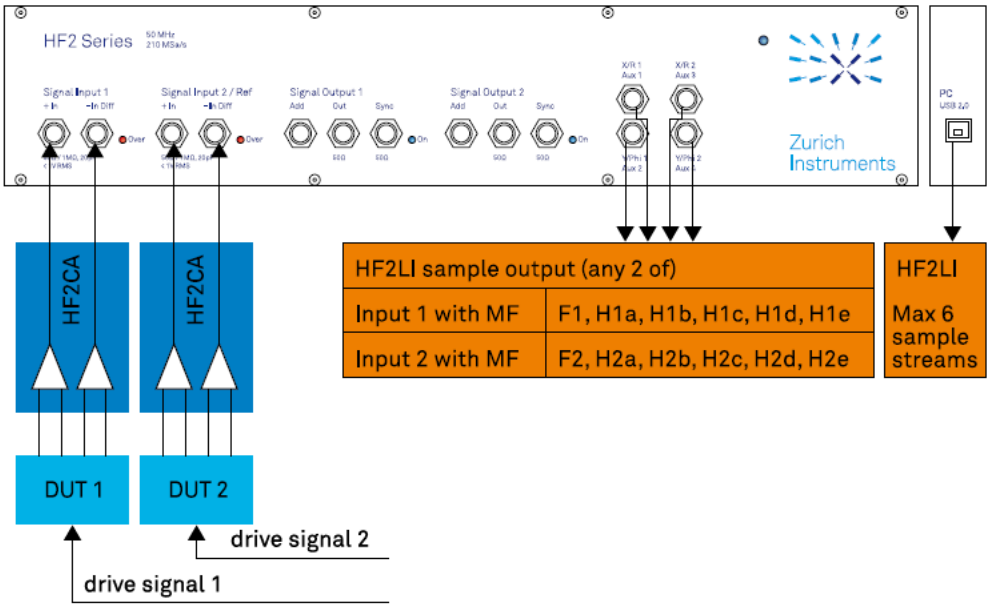


图 2.10. HF2LI 高次谐波模式

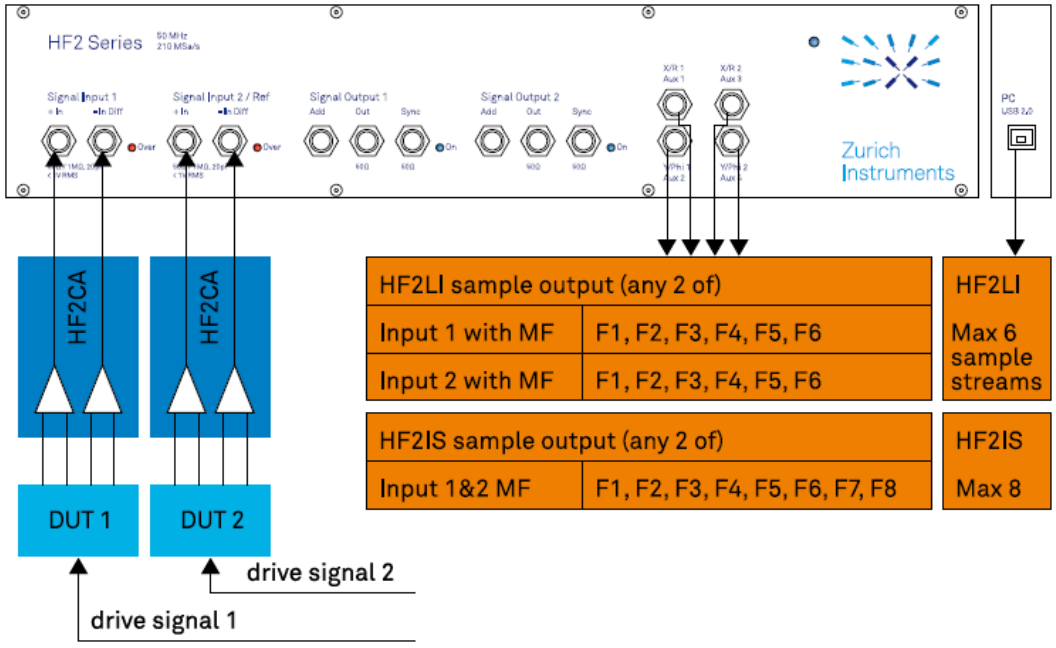


图 2.11. HF2LI 任意频率模式

第 3 章教程

本章中的教程旨在帮助用户基于 LabOne 用户界面使用 HF2LI 锁相放大器上手测量。这些教程需要一些基本的实验室设备和设备操作知识。在教程中，您将需要以下材料：

- 1 根 USB 2.0 电缆（随 HF2 仪器一起提供）
- 3 根 BNC 电缆（2 根为可选）
- 1 个公短接帽（可选）
- 1 个示波器（可选）
- 1 个 T 型件（可选）

注释

在所有教程中，您必须按照“入门章节”中的说明安装 LabOne 软件包。请按第 1.5 节中的说明启动用户界面。

3.1. HF2LI 首次使用

本教程介绍了基于 LabOne 用户界面使用 HF2LI 锁相放大器的基本操作。

LabOne 用户界面将作为 HF2LI 的主界面，但它并不是唯一可以运行仪器的程序。通常，用户会使用 LabOne UI 来设置仪器，然后使用 LabOne UI 进行测量或运行（可能同时）一些自定义程序。

注释

本教程旨在介绍 LabOne 用户界面的主要功能。另请参阅第 4.1 节，了解 UI 布局的概述，并参阅第 4 章，全面了解 LabOne UI 中适用于您所用仪器的所有可用设置的详细说明。

3.1.1. “Lock-in”选项卡

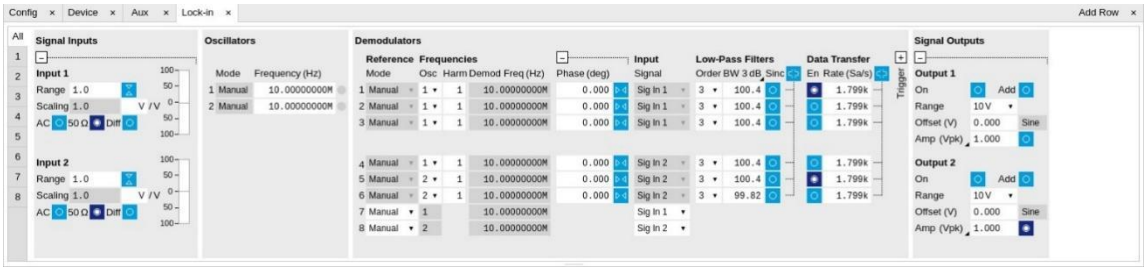


图 3.1.“Lock-in”选项卡

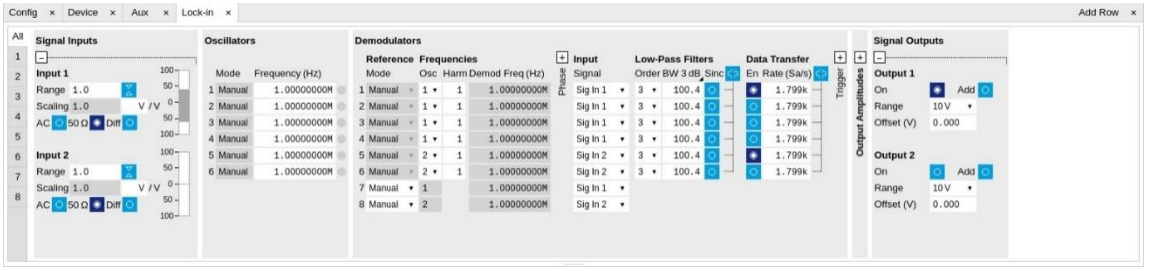


图 3.2.“Lock-in MF”选项卡

通过单击用户界面左侧的锁定图标打开“Lock-in”选项卡。如果找到“Lock-in MF”选项卡，则表示仪器已安装 HF2LI-MF 选件。第 4.3 节提供了“Lock-in”选项卡的完整信息，而第 4.4 节介绍了“Lock-in MF”选项卡。

“Signal Inputs”部分包含一个“Range”字段，可以设置为 1 mV 至 1.6 V 之间的值，对 1 mV 的输入信号实现最大程度的放大。输入端具有保护二极管，可对幅值高于 5 V 的信号进行削波。

重要事项

请遵守输入信号小于最大额定值以防止损坏仪器。

AC 按钮用来设置耦合类型：交流耦合的截止频率为 1 kHz。交流耦合由两个输入放大器级之间的阻断电容组成：这意味着即使启用交流耦合，大于 5 V 的直流信号也会使前置放大器饱和。

Diff 差分模式按钮设置单端/差分测量模式：在差分模式下，+In 和 -In 之间的电压差被放大，而在单端模式下，+In 连接端口处的电压被放大。50 Ω 按钮在低 (50 Ω) 和高（大约 1 MΩ）输入阻抗之间切换输入阻抗。对于高于 10 MHz 的信号频率，应选择 50 Ω 输入阻抗，以避免电缆内多次信号反射生成的伪影。输入阻抗为 50 Ω 时，如果信号源的输出阻抗也为 50 Ω，则被测信号将减至一半。

接下来，找到“Oscillators”部分，该部分用于控制内部参考信号的解调频率。在本教程中，将振荡器 1 的频率设置为 1 MHz。

在“Demodulators”部分，用户可以选择用于解调的谐波和滤波器带宽。通常需要测量不同的谐波（基频的整数倍，在本教程中为 1 MHz）。选择第一个解调器（第一行）的谐波 (Harm) 为 1，将滤波器阶数设置为 4（这对应于滤波器陡度为 24 dB/oct 或 80 dB/dec，频率增加 10 倍时衰减为 10^4），并将 10 Hz 输入 带宽 控制（HF2LI 的数字滤波器在“离散时间滤波器”中进行说明）。用户有时会关注被测设备中的非线性过程可能生成的二次谐波：为第二解调器选择谐波 2，并输入与前一种情况相同的滤波器阶数和 BW 值。您还可以使用更大的带宽测量相同的基波：将谐波设置为 1，将第三个解调器的阶数设置为 24 dB/oct，将 BW 设置为 1 kHz。用不同的带宽测量可以提供信号平均值和瞬态值。单击滤波器旁边的启用按钮，读出 3 个解调器的值。

接下来，将触发器设置为连续，将速率设置为 7.20 kSa/s（速率设置只能是 460 kSa/s 的子倍数，这是一个解调器的最大读取速率）：在这种情况下，HF2LI 将通过 USB 发送以此速率采样的解调信号。由于 USB 连接的带宽有限，最大累积解调器采样率为 700 kSa/s，可以在有源解调器上拆分，请参阅最大样本读取速率。在此示例中，我们使用 3 个有源解调器，因此，由于采样率是 460 kSa/s 的子倍数，因此每个解调器的最大可能输出速率为 230 kSa/s。请注意，根据奈奎斯特采样定理，采样率应至少是信号中存在的最大频率的两倍，以便重建解调信号（如果您只需要一个数据点或解调信号的标准偏差，这并不重要）。由于低通滤波器没有无限滚降（衰减不是无限的，不超过滤波器的 3 dB 频率），因此通常将采样率设置为比滤波器带宽高约 8 倍。

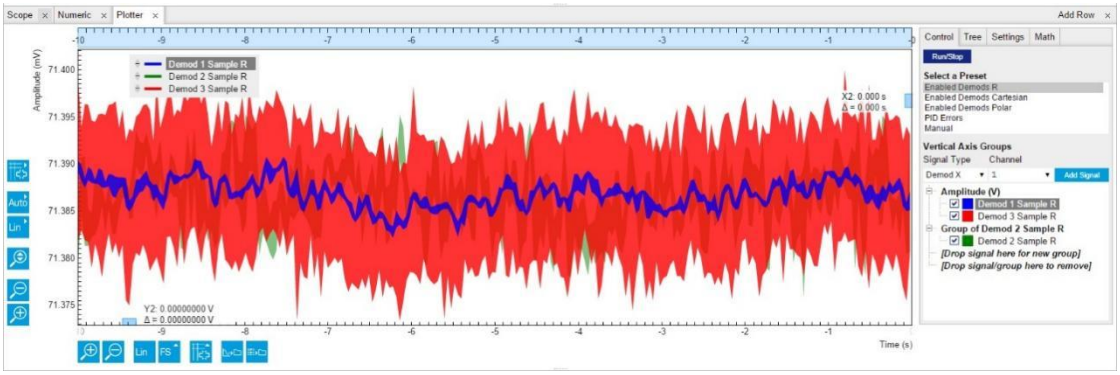
接下来，我们将 HF2LI 配置为在 Signal Output 1/Out 连接端口上输出 1 MHz 信号。如果安装了 HF2LI-MF 选件，请转到“Signal Outputs”部分，将激励振幅放大器 (Vpk) 设置为 100 mV，输出范围尽可能最小，但至少是最小谐波失真振幅的两倍。使用 BNC 电缆将 Signal Output 1 连接到 Signal Input 1 +In，然后在 LabOne 的“Signal Outputs”部分，单击“Output 1”的“On”按钮。安装 HF2LI-MF 选件后，首先进入“Output Amplitudes”部分，将解调器 7 的信号振幅放大器 1 (Vpk) 设置为 100 mV，并启用振幅字段旁边的按钮。使用 BNC 电缆将 Signal Output 1 连接到 Signal Input 1 +In，然后在 LabOne 的“Signal Outputs”部分，单击“Output 1”的“On”按钮。

3.1.2. “Numeric”选项卡

图 3.3.“Numeric”选项卡

在“Numeric”选项卡中，对于解调器 1 的 R 分量，应为71 mV 均方根（在 1 MHz 下解调）。RMS 对应于 100 mV 除以 √2。相位值将取决于 BNC 电缆长度（对于短于一米的长度，相位大约为几度）。解调器 3（也在 1 MHz 下解调）将显示相同的振幅，但数字波动更大，因为测量带宽和噪声更大。解调器 2 仅读取几个毫伏，因为在 2 MHz（二次谐波）时，信号中只有一小部分来自 HF2LI 输出和输入级的谐波失真。

3.1.3. “Plotter”选项卡



现在打开“Plotter”选项卡。这里可以显示随时间变化的解调值。从预设值中选择“Enabled Demods R”，然后单击“Run/Stop”开始采样。界面会显示这 3 个解调器的解调轨迹，相互偏移：如前所述，解调器 1 和 3 具有相同的平均值，但在第 3 个轨迹中可以清楚地看到较大的噪声振幅。在“绘图功能”中，您可以查看绘图窗口功能的详细说明。例如，您可以查看更改水平和垂直比例、删除绘图中的偏移以及使用光标进行精确测量的方法。所存储的数据量取决于“Settings”子选项卡中设置的“Window Length”。

3.1.4. “Scope”选项卡

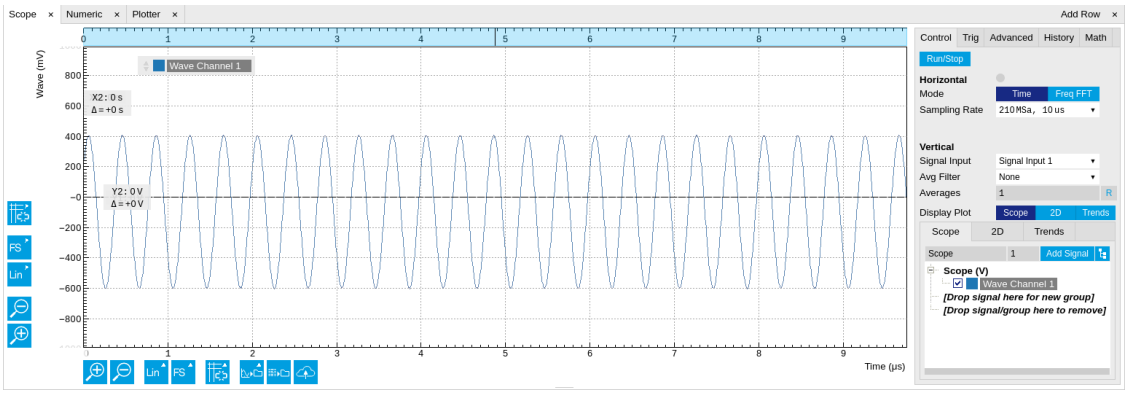


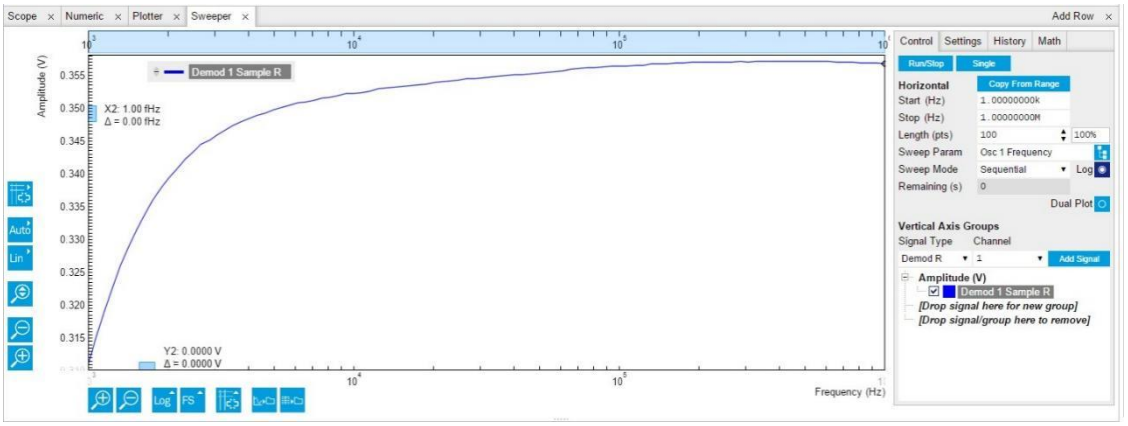
图 3.4.“Scope”选项卡

让我们转到“Scope”选项卡。示波器可用于显示 HF2LI 信号输入和输出处的信号。它有一个 2048 点波形存储器，可用于显示原始信号。它还取代了对外部示波器的需求。在“Control”子选项卡的“Vertical”部分选择“Signal Input 1”，在“Trigger”子选项卡中选择“Signal Output 1”作为信号，然后按“Run/Stop”按钮。如果在“Control”子选项卡中将采样率设置为“210 MSa，10 µs”，则 1 MHz 输入信号显示为 10 个完整周期。请注意，降低采样率以显示更长的时间间隔，可能导致混叠：例如，将采样率设置为“26 kSa/s，80 ms”，将产生看似正确但频率错误的正弦曲线。“Advanced”子选项卡中的“BW Limit”按钮可以减少混叠效果，而不需要完全删除它们。

示波器帧的更新速率由“Trigger”子选项卡中的“Holdoff time”控制：两条轨迹之间的最小时间间隔为 10 ms。这是一个较低的值，会增加 USB 带宽的负载，并可能导致 USB 采样丢失 — 因此，如果没有必要，请避免使用较小的延迟值。

您可以通过在“Control”子选项卡中选择“Freq Domain FFT Mode”，从时域显示转到频域显示。频率分辨率很粗糙，因为时间轨迹包含 2048 个点。对傅立叶功率谱取平均值，可以增加 SNR 比率。

3.1.5. Sweeper 工具



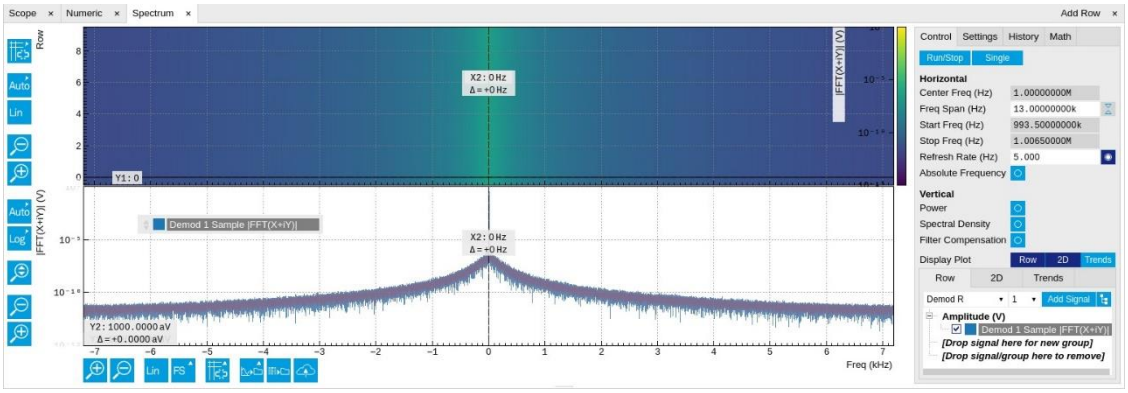
接下来是 Sweeper 工具：它能够将 HF2LI 转变成一个频率响应分析仪，以波特图的形式给出被测设备的传递函数。在 AFM 应用中，这有助于轻松识别悬臂的共振频率以及相位延迟。Sweeper 还可用于扫描频率以外的参数：相位、时间常数、振幅和辅助输出电压。

以使用 Sweeper 扫描频率为例，我们将在 1 kHz 和 1 MHz 之间执行 100 个点的对数扫频。在“Horizontal”部分，将扫频范围的“Start”设置为 1 kHz，“Stop”设置为 1 MHz，长度为 100 点，并启用对数扫频。单击“Run/Stop”进行连续扫频，或单击“Single”进行单次扫频。在“Lock-in”设置中切换交流输入耦合，并观察交流耦合中 1 kHz 响应的衰减，因为交流耦合的截止频率约为 1 kHz。在“History”子选项卡中，显示的测量值可以保存为 ASCII 格式的数据文件。在这里，也可以通过在列表中选择轨迹并单击“Reference”，将多条测量轨迹中的一条设定为参考。然后，所选轨迹会出现在列表下方，旁边是参考模式的启用按钮。在参考模式下，绘图中的所有轨迹都被参考轨迹分割。

在对数扫频期间，NEPBW（噪声等效功率带宽）将针对每个频率点进行调整，并显示在“Lock-in”选项卡下的“Filters BW”字段下。该调整是因为扫频是对数的，并且扫描频率步长不是等距的。为了考虑所有信号功率（和功率密度），必须相应地改变测量带宽。这可以自动完成：在“Settings”子选项卡中从“Application Mode”转到“Advanced”模式，然后选择“Auto”作为“Bandwidth Mode”。有关 NEPBW 的说明，请参阅“信号带宽”章节。请注意，在此配置中，如果信噪比较大，则在禁用“Auto BW”时不会产生任何影响，因为当使用（几乎）任何 NEP 带宽测量时，噪声信号均可以忽略不计。取平均值也有助于改善扫频期间的信噪比。

以噪声测量为例，断开 BNC 电缆与 Signal Output 1 的连接，并将其连接到 Signal Output 2。在“Lock-in”选项卡中，关闭“Signal Output 1”，并生成 100 kHz / 100 mV 刺激信号“Signal Output 2”（请记住打开“Signal Outputs”部分中的输出）。在用于扫描频率的 Sweeper 中，在启用“Auto BW”的情况下执行单次扫频。在 100 kHz 处将出现一个相对较宽的峰值，因为测量是在宽 NEPBW 下进行的。将 X 缩放切换为“Manual”，并放大到 100 kHz 左右的区域；单击“Copy From Range”按钮以使用图形中选定的扫频的新边界，然后再次执行单次扫频。100 kHz 处的峰值将相对较窄，反映了测量带宽的变化。

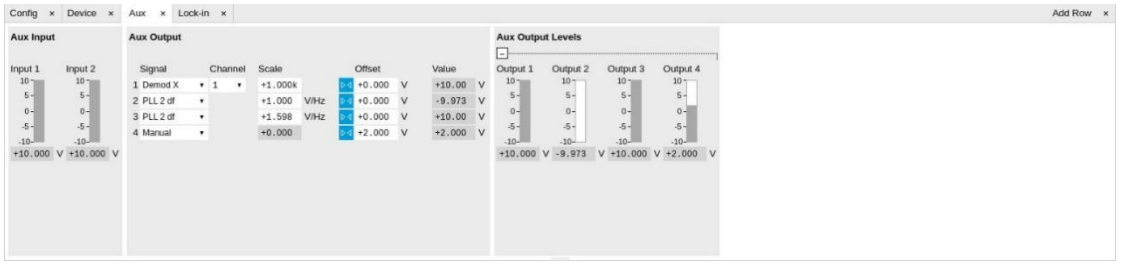
3.1.6. “Spectrum”选项卡



频谱工具（更多信息，参见选带傅里叶变换）允许用户测量特定频率周围的频谱：这通过对信号的解调 X 和 Y（或同相和正交）分量执行傅里叶变换来完成（更确切地说是数量 X + jY，其中 j 是虚数单位）。此方法称为 zoomFFT。通过这种方式可以实现的频率分辨率由采样率除以记录的样本数给出，因此远高于在“Scope”选项卡中获得的频率分辨率。zoomFFT 方法比对原始样本进行 FFT 更高效，后者是对长时间轨迹进行数字化，执行傅里叶变换，并且仅保留目标频谱部分，同时丢弃其余部分。

我们继续上一节的操作，BNC 将 Signal Output 2 连接到 Signal Input 1，并生成 100 mV，100 kHz 正弦波。在“Lock-in”选项卡中，将振荡器 1 频率设置为 101 kHz。设置“Demodulator 1”参数：滤波器阶数设为 4，滤波器带宽设为 500 Hz，数据传输速率设为 7.2 kSa/s。在“Spectrum”选项卡中，启用“Filter Compensation”，并在“Signal Input”中选择“Demodulator 1”。峰值出现在中心频率左侧的 1 kHz 处。在 FFT 中增加行数将得到更精细的频率分辨率。“Filter Compensation”按钮通过将测量的频谱除以解调器滤波器传递函数来补偿解调器滤波器。因此，尽管输入信号在滤波器带宽（分别为 1 kHz 和 500 Hz）之外，输入信号并没有衰减。

3.1.7. “Auxiliary”选项卡



“Auxiliary”选项卡控制 HF2LI 前面板右侧的 4 个辅助输出，以及后面板上的 2 个辅助输入。辅助输出 1 由“Aux Output”部分中的第一行控制参数表示。要在此连接端口上输出锁相信号，请从“Signal”下拉菜单中选择“Demod R”，并将通道（即解调器编号）设置为 1。将比例因子设置为 10 V/V_{RMS}：您应在输出“Value (V)”字段中读取 0.712 V，该值对应于信号的振幅，同时您可以在“Numeric”选项卡中读取该值乘以比例因子。如果关注的是信号振幅的小变化，可以将偏移应用于输出：在“Offset (V)”中键入 – 0.712 或单击“Offset”字段旁边的 按钮：“Value (V)”字段现在应为 0。

3.2. 简单回路教程

3.2.1. 准备

在本教程中，您将使用 HF2LI 仪器产生信号，并使用同一仪器测量生成的信号。具体做法是使用 BNC 电缆连接 Signal Output 1/Out 和 Signal Input 1/+In。本教程演示了单端操作，这意味着没有信号输入 Signal Input 1/-In 连接端口。为了正常工作，Channel 1 必须设置为单端操作，或者 Input 1，连接端口必须使用公短帽短路接地。或者，可以使用 T 形件和额外的 BNC 电缆将 Output 1 处生成的信号连接到示波器。

图 3.5. 教程

注释

本教程适用于 HF2LI 锁相放大器和 HF2IS 阻抗谱仪用户。

请按照上述说明连接线缆。确保 HF2LI 单元已通电，然后使用 USB 2.0 电缆将 HF2LI 连接到计算机。最后启动 LabOne (Start Menu/Programs/Zurich Instruments/LabOne User Interface HF2LI)。

3.2.2. 生成测试信号

采用以下设置，以便在 Signal Output 1/Out 端口生成振幅为 0.5 V 的 2.5 MHz 信号。

- 打开“Lock-in”选项卡并将“Oscillator 1”的频率设置为 2.5 MHz：单击该字段，输入“2.5 M”或“2.5E6”，然后按键盘上的 <TAB> 键确认数据
- 在“Output 1”部分中，将“Range”字段下拉设置为 1 V
- 未安装 HF2LI-MF 选件：在“Output 1”部分中，输入 0.5，然后按 ＜TAB＞ 键，将振幅设置为 0.5 V
- 安装有 HF2LI-MF 选件：在“Output Amplitudes”部分中，将解调器 7 的“Amp 1 (Vpk)”设置为 0.5 V：输入 0.5，然后按 <TAB> 键即可。
- 默认情况下，HF2LI 的所有物理输出都处于关闭状态，以防止损坏连接的电路。现在单击标有“On”的按钮，打开主输出开关。
- 如果将示波器连接到装置，则可以看到生成的信号

表 3.1. 设置：生成测试信号

输出 1 范围	1 V
振荡器 1 频率	2.5 MHz
解调器 7 的振幅 1	0.5 V
输出 1	ON

3.2.3. 获取测试信号

接下来，调整输入参数，以便获取具有适当输入范围的信号。为此，请将信号源和示波器的触发器切换为 Signal Input 1。然后将 Signal Input 1 的范围调整为 1 V。

表 3.2. 设置：获取测试信号

示波器信号输入	Signal Input 1
示波器触发信号	Signal Input 1
示波器采样率	210 MSa，10 us
运行/停止	RUN
信号输入 1 范围	1 V
信号输入 1 AC / 50 / Diff	ON / OFF / OFF

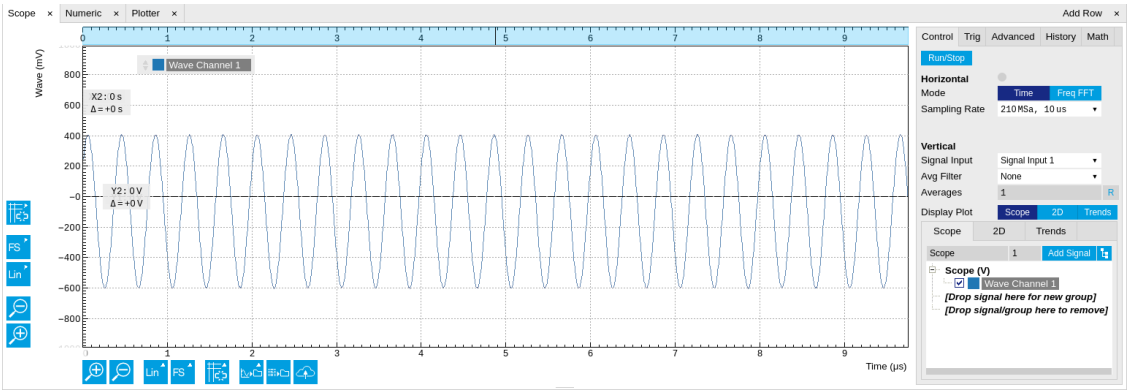


图 3.6. 显示采集信号的 LabOne UI

示波器显示 Input 1 处的测量信号。将输入范围设置为 1 V 可确保不发生信号削波。如果尝试将输入范围设置为 0.3 V，则会在示波器窗口中看到效果。请注意 HF2LI 前面板上的“Over”红色 LED 如何指示错误情况以及窗口右下角设置的 OV (OVI) 状态标志。将输入范围设置为 1 V，然后单击 C 来清除标志。示波器是一个非常方便的工具，可以在进行更高级的测量之前快速检查设置，有关示波器中可用功能的完整说明，请参阅第 4.7 节。

3.2.4. 测量测试信号

接下来，使用 HF2LI 的解调器测量采集的测试信号。您将使用 LabOne 用户界面中的“Numeric”和“Plotter”选项卡。首先应用以下设置（选择解调器 1 至 6 中的任何一个）。

表 3.3. 设置：测量测试信号

滤波器 BW 3 dB	7 Hz（约为 6.8 Hz）
滤波器阶数	2
数据传输率	100 Hz（约为 112 Hz）
数据传输启用 (En)	ON

这些设置将解调滤波器设置为带宽为 7 Hz 的二阶低通操作。根据第 9 章中的公式 3，单击带宽设置列顶部的标签，即可轻松获得相应的时间常数。解调器滤波器的输出以 100 Hz 的频率读出，这意味着每秒向主机 PC 发送 100 个数据样本。在我们接下来研究的“Numeric”和“Plotter”选项卡中，可查看这些样本。

“Numeric”工具提供 6 个测量面板的空间，对应 6 个解调器。每个面板都有以笛卡尔坐标 (X, Y) 或极坐标格式 (R, θ) 显示样本的选项。(X, Y, R) 值的单位默认为 V_{RMS}。

图 3.7. LabOne UI 的“Numeric”选项卡

如果想要调整设置，现在可以更改所生成信号的幅值，并观察解调器输出受到的影响。

接下来，我们来看一下相应的选项卡。此选项卡提供解调器输出的时序图。可以将多达 6 个信号连续绘制为 (X, Y) 或 (R, θ) 对，设置不同的尺度，或使用 2 个光标进行详细测量。有关“Plotter”选项卡中可用功能的详细说明，请参见第 4.6 节和“绘图功能”部分。

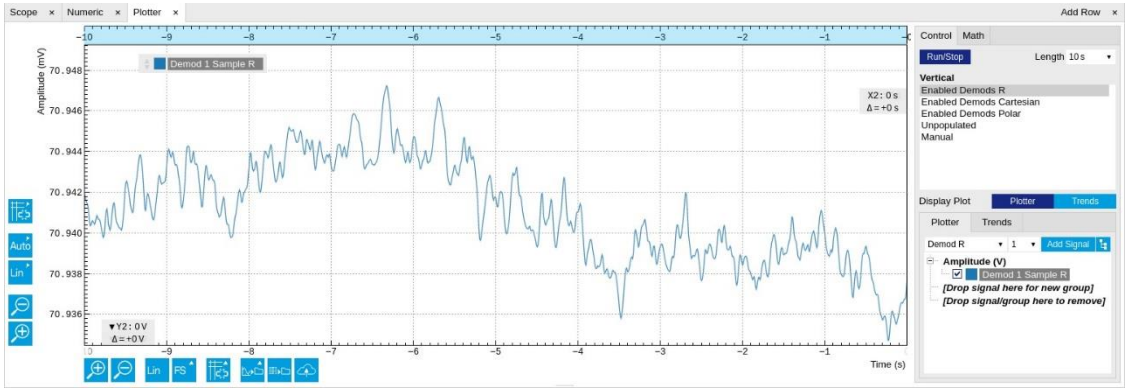


图 3.8. 对解调器 1 输出进行绘图的 LabOne Plotter 视图 (TC = 10 ms)

3.2.5. 不同的滤波器设置

在本教程的最后一步中，您将更改滤波器设置，并查看对测量结果的影响。例如，您可将积分的时间常数更改为 2 秒。

表 3.4. 设置：更改滤波器设置

时间常数 (TC)	2 s
滤波器斜率	12 dB/oct
产生的测量带宽 (BW)	~51 mHz

增加时间常数会增加解调器的积分时间，使解调器输出平滑。这样可以对噪声随时间的变化进行平均，滤波器的输出更稳定。这不仅表现在解调器数据曲线更平滑，也表现在“Numeric”选项卡中出现更多的稳定位数。

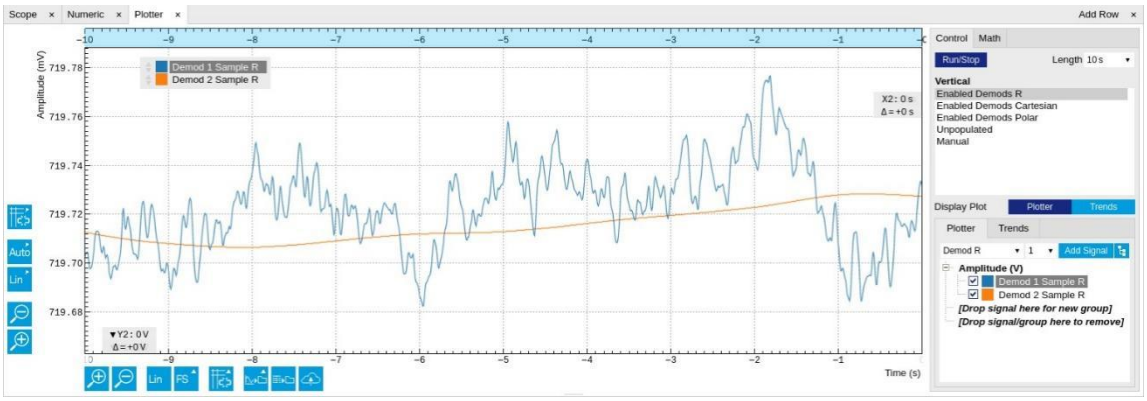


图 3.9. LabOne Plotter 显示两个具有不同时间常数的解调器的数据

3.3. 动态信号

3.3.1. 准备

在本教程中，我们生成一个 2.5 MHz 的测试信号，其振幅在 1 Hz 的频率下调制。然后，我们使用两种不同的滤波器设置来测量测试信号。

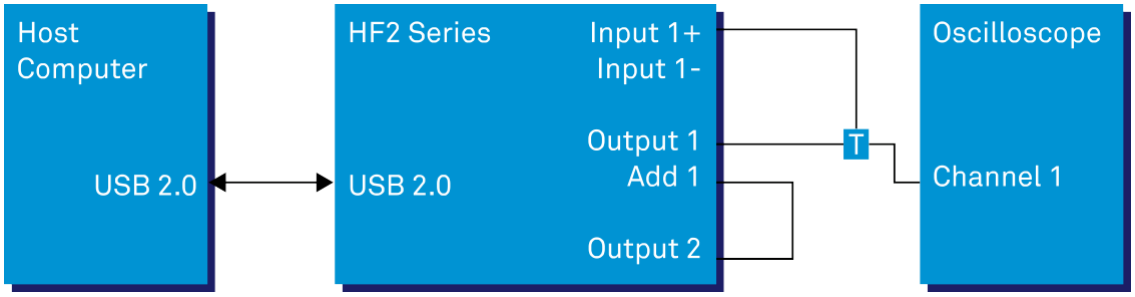


图 3.10. 动态信号设置教程

注释

本教程可以在 HF2LI 锁相放大器和 HF2IS 阻抗谱仪上执行，并将使用输入连接端口。在安装有 HF2LI-MF 选件的 HF2LI 上或在 HF2IS 上生成多频信号非常简单，无需使用 ADD 连接端口。

请按照上述说明连接线缆。确保 HF2LI 单元已通电，然后使用 USB 2.0 电缆将 HF2LI 连接到计算机。最后启动 LabOne (Start Menu/Programs/ Zurich Instruments/LabOne User Interface)。

3.3.2. 生成测试信号

在本节中，您将生成一个 2.5 MHz 的正弦信号，其振幅在 1 Hz 的频率下振荡。这也被称为拍频信号。为了获得这个测试信号，您要添加两个振幅相同但频率相差 1 Hz 的正弦信号。

表 3.5. 设置：生成测试信号

输出 1 范围	1 V / ON
输出 2 范围	1 V / ON
振荡器 1 频率	2'500'000 Hz
解调器 7 的振幅 1	0.3 V / ON
振荡器 2 频率	2'500'001 Hz
解调器 8 的振幅 2	0.3 V / ON
信号输出 1 Add（加法输出）	ON

将示波器连接到 Output 1 连接端口时，应该能够观察到 2 个正弦波的叠加。要在 LabOne 用户界面内查看所采集的信号，请切换到“Scope”选项卡。“Scope”视图如下所示，具有以下设置。

表 3.6. 设置：获取测试信号

示波器信号输入	Signal Input 1
示波器触发信号	Signal Input 1
示波器采样率	6.4 kSa，320 ms
运行/停止	Run
信号输入 1 范围	1 V
信号输入 1 AC耦合 / 50 / 差分输入	ON / OFF / OFF

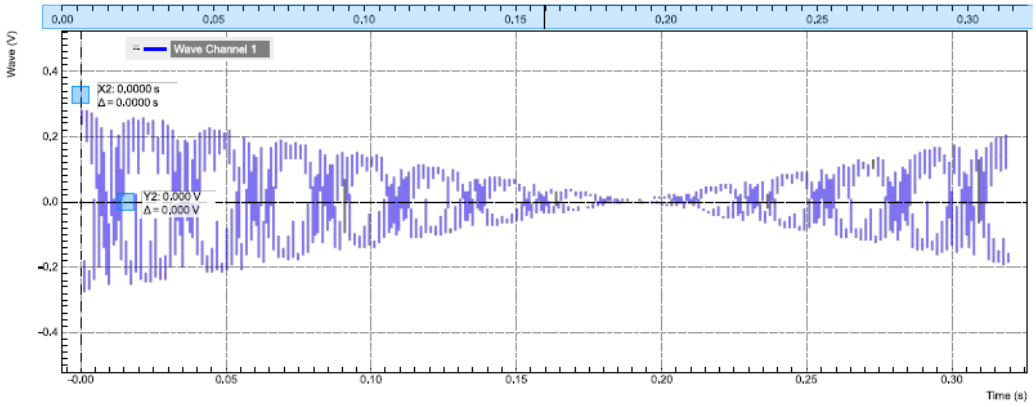


图 3.11. 显示所采集信号的 LabOne UI

拍频信号的最大幅值为 0.6 V，在 1 V 的设定范围内。范围设置将防止电压高于设置值 — 即使如本节所述添加 2 个幅值为 0.7 V 的正弦波，输出也会在所设范围 1 V 处削波。尝试将输出范围更改为 0.1 V，并查看输出电压如何更改，以防止设置不一致。

3.3.3. 测量测试信号

首先，转到“Plotter”选项卡，设置尺度以查看一组目标数据，并将解调器滤波器设置为低时间常数，以测量 2.5 MHz 信号的振幅（赫尔曲线）。

表 3.7. 设置：低时间常数的滤波器

时间常数 (TC)	10 ms（约为 10.2 ms）
滤波器阶数	2
等效测量带宽 (BW 3dB)	~10 Hz
数据传输速率	100 Sa/s（约为 112 Sa/s）
数据传输启用 (En)	ON

这些设置将解调低通滤波器设置为 10 ms 的时间常数（对应的带宽约为 10 Hz），并将滤波器斜率设置为二阶。滤波器的输出以 100 Hz 的速率进行采样，并将样本发送到主机。

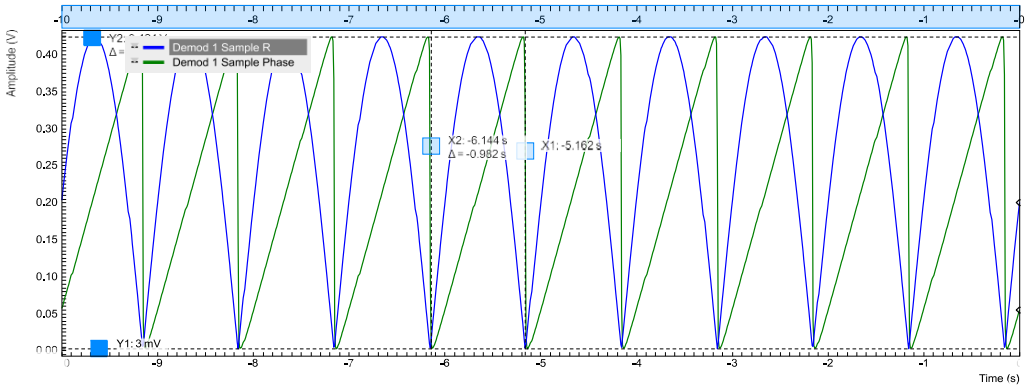


图 3.12. 显示所测量信号的 LabOne UI

如果按“Run/Stop”按钮停止采集，可以通过 C1 和 C2 两个光标方便地测量 1 Hz 信号的振幅：394.4 mV_{RMS}，半周期为 498.1 ms。您可以通过使用更低的时间常数（如 1 ms），增加读出速率（如 1.8 kHz），并放大到“Plotter”视图来实现更高的测量精度。

接下来，使用高时间常数来分离 2 个原始正弦曲线（即使它们叠加在一个信号中）。在“Lock-in”选项卡中应用以下设置。

表 3.8. 设置：高时间常数的滤波器

时间常数 (TC)	2 s
滤波器阶数	2
等效测量带宽 (BW 3dB)	~35 mHz
数据传输率	100 Hz（约为 112 Hz）
数据传输启用 (En)	ON

这些设置将解调低通滤波器设置为 2 s 的时间常数，产生的测量带宽为 35 mHz。通过这些设置，HF2LI 能够区分 2'500'000 Hz 的信号分量和 2'500'001 Hz 的信号分量，因为测量带宽远小于 2 个信号分量的频率间隔。解调器的输出在稳定时间之后是保持稳定的。

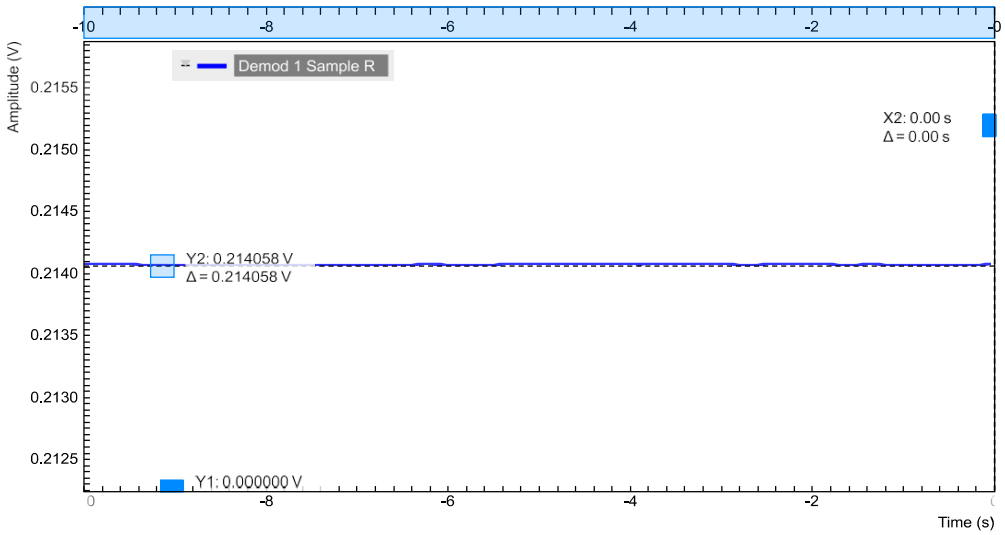


图 3.13. 显示所测量信号的 LabOne UI

解调器的输出没有像先前那样显示任何振荡：数值为 214 mV_{RMS}。如果切换到示波器视图，您会看到 Input 1 处的信号仍与先前一样跳动，而解调器滤波器设置为忽略 2'500'001 Hz 处的干扰源。尝试关闭干扰源。

表 3.9. 设置：移除干扰源

信号输出 2 开关	OFF

稳定所需的时间取决于各种参数，如滤波器设置和关闭时间。在有干扰或无干扰源的情况下，在 2'500'000 Hz 下测量的振幅差在 50 µV 范围内。使用不同的滤波器设置，可以做到更好。

考虑以下情况：有两个相关振幅 (0.3 V) 的信号相互干扰，因为它们的频率非常接近（2.5 MHz 时为 1 Hz）。锁相放大的功能是精确提取一个频率的相关信号能量。对附近干扰源的“免疫力”就是忽略它们的能力。这就是动态储备的简单定义。

3.3.4. 滤波器设置讨论

本节旨在概述锁相放大相关滤波的一些基本概念。在本教程中，您使用了不同的滤波器设置来测量不同的信号属性。

表 3.10. 设置：高时间常数的滤波器

时间常数	测量带宽	测量噪声	稳态变化时的变化	示例
低设置	高，能够检测快速响应	测量结果中的噪声较大	快速调整结果	BW = 10 kHz，能够检测 2-5 kHz 的响应，容易得到噪声
高设置	低，能够得到稳态	测量结果中的噪声较小	缓慢调整结果	BW = 50 mHz，精准确定稳态，对频率高于 0.1 Hz 的响应进行滤波

滤波是测量速度和测量精度之间的权衡。为了测量快速响应，有必要放宽滤波器，允许测量结果中存在更多噪声。反之，使用窄滤波器进行测量会增加信噪比，但限制了检测期望信号变化的能力。任何锁相放大器通常都要进行这种权衡。HF2LI 的强大功能在于，由于每个输入信道有多个解调器，它允许同时进行这两项工作。

3.4. 外部参考

3.4.1. 准备

在本教程中，我们使用 HF2LI 生成测试信号，并将其用作解调的参考信号，操作方法与使用来自外部源的参考信号相同。

具体做法是使用 BNC 电缆连接 Output 2 连接端口和 Input 2+ 连接端口。本教程演示了单端操作，这意味着没有信号输入 Input 2- 连接端口。或者，也可以使用 T 型件和额外的 BNC 电缆将 Output 2 处生成的信号连接到示波器。Output 1 连接端口将连接到 Input 1+ 连接端口。这样，您便可以检查生成的参考信号。测量设置如下图所示。

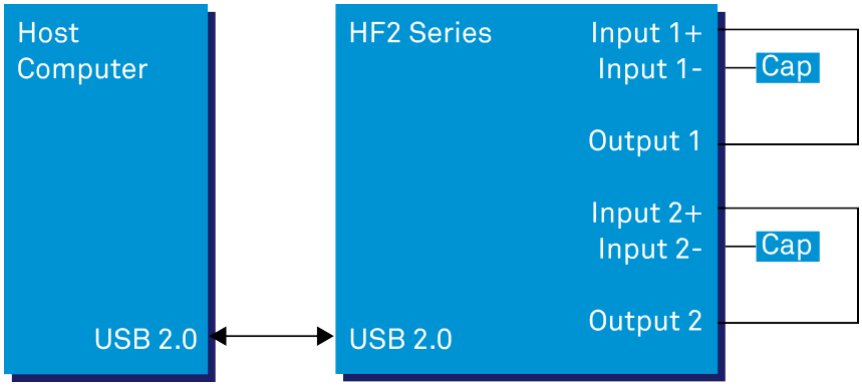


图 3.14. 外部参考设置教程

确保 HF2LI 单元已通电，然后使用 USB 2.0 电缆将 HF2LI 连接到计算机。最后，启动 LabOne (Start Menu/Programs/Zurich Instruments/LabOne User Interface HF2LI)。

3.4.2. 生成参考信号

在本节中，您将在 Output 2 处生成一个振幅为 1 V 的 1.0 MHz 信号，用作外部参考信号。生成参考信号的设置如下表所示。

表 3.11. 设置：生成参考信号

输出 2 范围	1 V
解调器 8 的振幅 2	1.0 V / ON
振荡器 2 频率	1 MHz
信号输入 2 范围 / AC 耦合 / Diff / 50	1.2 V / ON / OFF / OFF

将示波器连接到 Output 2 连接端口时，应该能够观察正弦曲线。或者，您可以使用以下设置在 LabOne UI Scope 中查看信号。

表 3.12. 设置：获取参考信号

示波器信号输入	Signal Input 2
示波器触发信号	Signal Input 2
示波器采样率	53 MSa，39 us

注释

在“Scope”选项卡中，将“Horizontal Mode”设置为“Freq Domain FFT”，以查看信号的频谱。默认情况下，这也将设置对数 Y 尺度。可以在“Avg Filter”字段中启用“Exponential Moving Average”，减少显示的噪声基底。

3.4.3. 激活外部参考模式

在本节中，我们将激活外部参考模式。基于外部参考，我们解调一个单独的期望信号。

表 3.13. 设置：生成期望信号

输出 1 范围	1 V
解调器 7 的振幅 1	1.0 V / ON
振荡器 1 频率	1 MHz
解调器 1 启用 / 数据传输速率	ON / 100 Hz
信号输入 1 范围 / AC / 50 / Diff	1.3 V / ON / OFF / OFF

外部参考模式使用解调器 7 和 8。这两个解调器不能用于测量。它们作为相敏检测器来建立锁相环，锁住一个外部参考和一个内部振荡器。解调器 7 分配给振荡器 1，解调器 8 分配给振荡器 2。之前，我们选择振荡器 2 作为 Signal Output 2 处的参考信号源。现在我们要锁定振荡器 1 到此参考信号。为了实现这一点，我们将解调器 7 的“Mode”字段设置为“ExtRef”。在解调器 7 的“Input”列中的下拉菜单中，选择“Signal Input 2”。

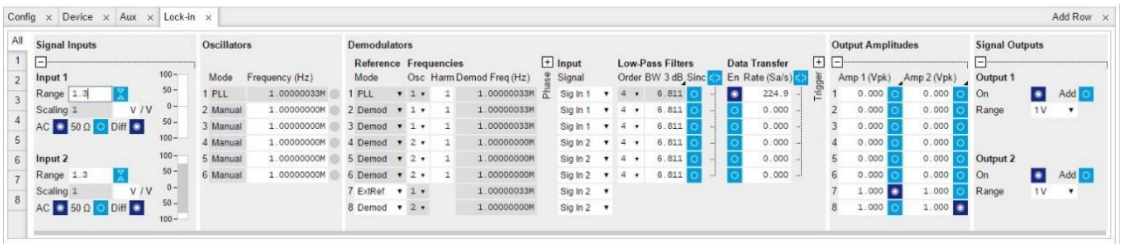


图 3.15.LabOne UI 启用外部参考模式

一旦外部参考模式被启用，振荡器 1 的频率就会不断变化，以适应外部参考信号的频率。通过改变振荡器 2 的频率，并注意振荡器 1 的频率如何跟随变化，可以验证这点。振荡器频率字段旁边的绿灯表示仪器已锁定到外部参考。

在解调过程中，测量信号不会直接与外部参考信号相乘。相反，测量信号与来自内部振荡器的新生成参考信号相乘，仅使用外部参考信号的频率和相位信息。振荡器频率的连续切换表明，新生成的参考信号不断调整为外部参考信号。

3.4.4. 更改外部参考输入

在本节中，您将修改设置，以使用 DIO 0 作为外部参考，而不是 Signal Input 2。这在实践中很有用，因为这意味着仪器的两个敏感信号输入仍可用于实际测量。修改后的设置如图 3.16 所示。请注意，DIO 0 连接端口位于 HF2LI 仪器的后面板上。

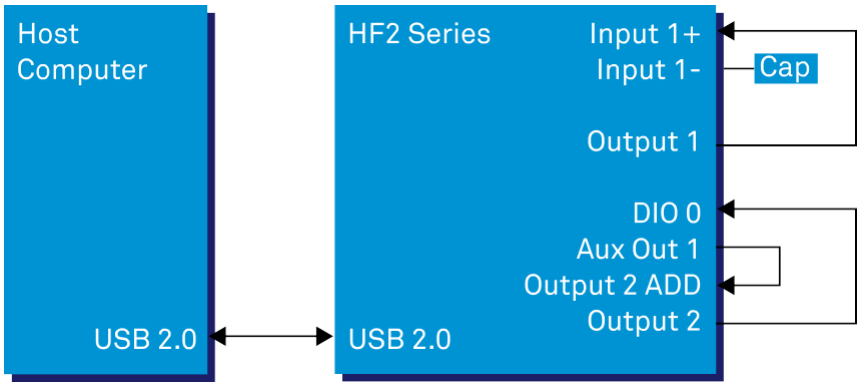


图 3.16. 使用 DIO 0 设置的外部参考教程

在连接 DIO 0 前，务必要确保将 DIO 0 配置为输入。这可以在 LabOne 中的“DIO”选项卡完成。请注意，7…0 位右侧的按钮应关闭。

当使用 DIO 0 作为外部参考信号时，应考虑到这是一个数字 I/O，应在 TTL 电平下操作。因此，Aux 1 输出连接到 Output 2 的 Add 连接端口，以提供测试信号的直流偏移，从而使其与 TTL 兼容。

用于生成测试信号的设置如下表所示。所产生的信号将具有 1.5 V 的直流偏移和 1 V 的振幅，因此将在 0.5 V 和 2.5 V 之间振荡，这是 TTL 兼容的。

表 3.14. 设置：生成测试信号

信号输出 1 范围	1 V
信号输出 1 开启/添加功能	ON / ON
解调器 8 的振幅 2	1.0 V / ON
振荡器 2 频率	1 MHz

表 3.15. 设置：生成直流偏移

辅助 1 信号	Manual
辅助 1 偏移量	1.5 V

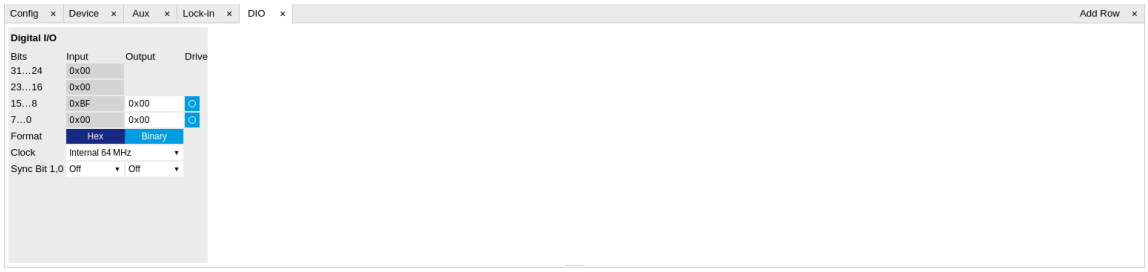


图 3.17. 将 DIO 0 配置为参考输入

最后，在“Lock-in”选项卡中使用解调器 7 的 Input 下拉选择器，并将其设置为“DIO 0”。这使得振荡器 1 锁定在 DIO 0 上。振荡器 1 的频率应该开始更新，类似于第 3.4.3 节中所述。

3.5. 噪声测量

锁相放大器可用于测量信号上的噪声。通过量化系统的噪声，可以估计最大可实现性能。

3.5.1. 锁相如何测量噪声？

锁相放大器测量接近给定参考频率的信号振幅，在该参考频率周围具有定义的带宽。输入信号中接近参考频率的噪声在锁相放大器信号输出中表现为噪声。

噪声是测量的 X 或 Y 值的标准偏差，在测量时，首先会计算在规定的时间段内的平均值 X_{avg}。然后，从 X 值中减去此信号 X_{avg} 获得偏差。最后，计算 RMS（均方根），对应于参考频率周围定义带宽内输入信号的总噪声功率。对于噪声功率为 Gaussian 分布的通常输入噪声，该值是正确的。

大多数时候，噪声频谱密度值得关注，这是独立于滤波器带宽的 X_{noise} 的归一化。要从计算的 RMS 噪声来计算噪声频谱密度，需要将测量值除以带宽的平方根 √BW。噪声频谱密度的单位为 V/√Hz。

相关方程分别为 X_{noise} = RMS(X - X_{avg})/√BW，和 Y_{noise} = RMS(Y - Y_{avg})/√BW。X 和 Y 噪声预期是相同的。

3.5.2. 测量 HF2LI/HF2IS 的噪声

LabVIEW 示例 (ziExample-HF2LI-Noise.vi) 可用于测量输入信号中的噪声。要测量 HF2LI 的等效输入噪声，请从设备输入端移除所有 BNC 连接端口，并在 LabOne UI 中应用以下设置。

表 3.16. 设置：测量 HF2LI 噪声

信号输入 1 范围 / AC / Diff / 50	0.01 V / ON / OFF / ON
解调器 1 低通滤波器	BW 3dB = 100 Hz，Order = 4
振荡器 1 频率	1 MHz
信号输出 1 开关	OFF

运行示例 ziExample-HF2LI-Noise.vi。确保选择了正确的解调器。噪声频谱密度现在应显示一个接近 5 nV/√Hz 的值。通过更改用户界面中的设置，可以更详细地分析设备的噪声行为。例如，将参考频率更改为 10 kHz 将略微增加频谱噪声密度，因为闪烁噪声在较低频率下较大，并且通常存在于所有电子电路中。

3.6. 振幅调制

注释

本教程面向已经购买 HF2LI-MF 多频选件和 HF2LI-MOD AM/FM 调制选件的 HF2LI 锁相放大器用户。

振幅调制 (AM) 和频率调制 (FM) 是指调制振荡信号 $s(t) = A\cos(\omega t + \varphi)$，即所谓的载波。A 和 $\omega t + \varphi$ 分别是信号的振幅和相位。图 3.18 说明了 s(t) 的相量表示。相量遵循半径为 A 的圆，相位在完整旋转 360° 后环绕。信号 s(t) 是相量在横坐标上的投影。

对于 AM 信号，振幅 A 即相量长度，与时间相关，如图 3.18 (b) 所示。对于 FM 信号，相位偏移量 φ 与时间相关，相量振幅恒定，参见图 3.18 (c)。

振幅和频率调制，最广为人知的是无线电传输，也是常见的锁相检测技术。

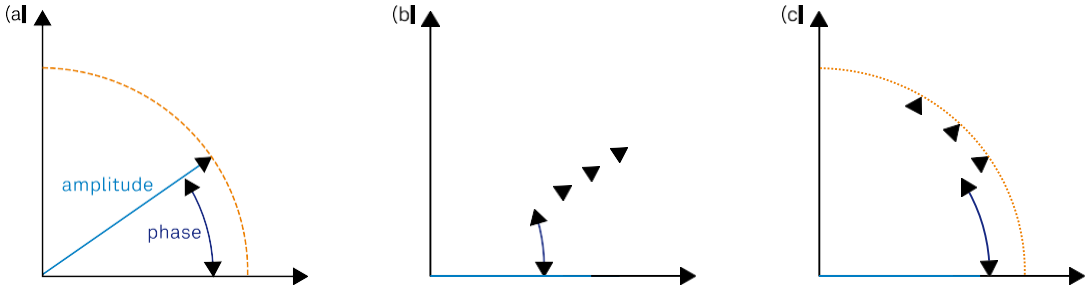


图 3.18. 表示为相量的正弦信号：该信号对应于 x 轴上的投影。振幅 (b) 和频率 (c) 调制信号影响相量或其相位的振幅

3.6.1. 什么是振幅调制？

在时域中，载波信号的振幅调制产生与调制信号振幅成比例的载波振幅变化。例如，当具有 $f_c = \omega_c / 2\pi$ 频率的载波的振幅由具有频率 $f_m = \omega_m / 2\pi$ 的信号（其中有 $f_m > f_c$）调制时，所得信号具有以下形式

$$\begin{aligned} s(t) &= [A + M\sin(\omega_m t)]\sin(\omega_c t + \varphi) \\ &= A\sin(\omega_c t + \varphi) + \frac{M}{I}2\cos[(\omega_c - \omega_m)t + \varphi] - \frac{M}{I}2\cos[(\omega_c + \omega_m)t + \varphi] \end{aligned} \quad (1)$$

其中 A 和 M 分别是快调制和慢调制的振幅，φ 是相位偏移。与 ***A*** 相比， ***M*** 的大小没有限制。目标信息被编码在 A、M 和 φ 这三个参数中。

在频域中，AM 信号 s(t) 由三个频率组成：f_c 的载波以及 $f_c - f_m$ 和 $f_c + f_m$ 的两个附加边带，如图 3.19 所示。两个边带的振幅 M/2 相等，为调制信号的一半，载波振幅与调制振幅无关。

测量 AM 信号的传统方法称为双（或串联）解调，需要两个锁相放大器：第一个放大器解调 f_c 的信号，该信号的带宽至少大于 f_m（但小于 $f_c - f_m$）。这是为了确保调制信号的完整振幅得以保留。第一次锁相后的解调信号变为

$$s(t) \cdot cos(\omega_c t) \xrightarrow[\text{之后}]{\text{滤波}} d_1(t) = \frac{A + M sin(\omega_m t)}{2} cos(\varphi) \qquad (2)$$

在 $d_1(t)$ 中，两个边带现在位于同一频率 f_m，而载波显示为直流分量。当解调信号 $d_1(t)$ 输入到第二个锁相放大器时，在 f_m 处第二次解调的结果与 $M\cos\varphi$ 成比例。

为了恢复振幅 ***M***，必须测量 φ，以便将结果除以因子 $\cos\varphi$。如图 3.19 所示，为了测量相位，可以使用第三个锁相在载波频率 f_c 下解调 s(t)，带宽小于 f_m。

HF2LI-MOD 选件允许用户同时在三个频率 f_c 和 $f_c \pm f_m$ 下直接解调，而无需使用串联配置。三个参数 A、M 和 φ 可以用单个仪器测量和显示。

在内部，HF2LI 产生相位 $\omega_c t$ 和 $\omega_m t$，从中产生 $(\omega_c - \omega_m)t$ 和 $(\omega_c + \omega_m)t$。这确保了边带解调的正确相位关系。

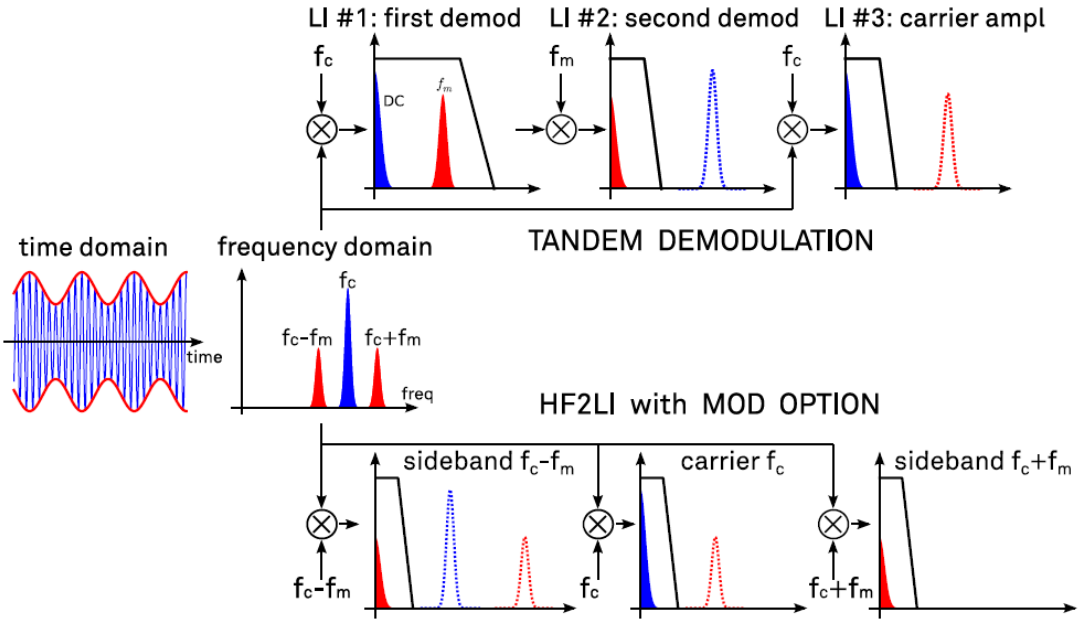


图 3.19. AM 调制信号的串联解调和 HF2LI-MOD 选件之间的比较

3.6.2. 生成测试信号

在本教程中，您将生成载波频率为 1 MHz、调制频率为 100 kHz 的 AM 信号。该信号在 Signal Output 2 生成，并由第一锁相单元将其输入 Signal Input 1 进行解调。HF2LI-MOD 选件需要 HF2LI-MF 多频选件，因为每个调制信号至少需要两个振荡器。请注意，更改“Modulation”选项卡设置将修改“Lock-in MF”选项卡中的一些设置。请参阅第 4.19 节。

首先启用“Lock-in MF”选项卡中的 Signal Output 2，并禁用所有解调器输出振幅。这将确保输出端仅显示振幅调制信号的所需分量。

表 3.17. 设置：生成 AM 信号

信号输出 2 启用	ON
信号输出振幅解调器 1-8	OFF

在“Modulation”选项卡的“MOD 2”部分中，选择以下参数：

表 3.18. 设置：生成 AM 信号

载波振荡器 (Osc)/频率	Osc 1 / 1 MHz
边带 1 振荡器 (Osc)/频率	Osc 2 / 100 kHz
载波模式	AM
生成载波/调制振幅	200 mV / 100 mV
生成载波/调制启用	ON / ON
MOD 2 启用	ON

这将生成两个振幅相等的边带的 AM 信号。要查看此信号，请将 Signal Output 2 连接到 HF2LI 的 Signal Input 1。选择正确的输入参数：在“Lock-in”选项卡中，对于 Signal Input 1，确保禁用差分模式和 50 Ω。然后单击自动范围按钮 。在“Scope”选项卡中，“Source”字段选择“Signal Input 1”，在“Trigger”字段选择“Signal Output 2"，然后单击“Run”激活示波器。观察载波振幅如何在 100 kHz 下调制，如图所示。在频域 FFT 模式下，该图显示了三个峰值：1 MHz 处的载波和 0.9 和 1.1 MHz 处的两个边带（参见图 3.21 中频域表示中的光标）。

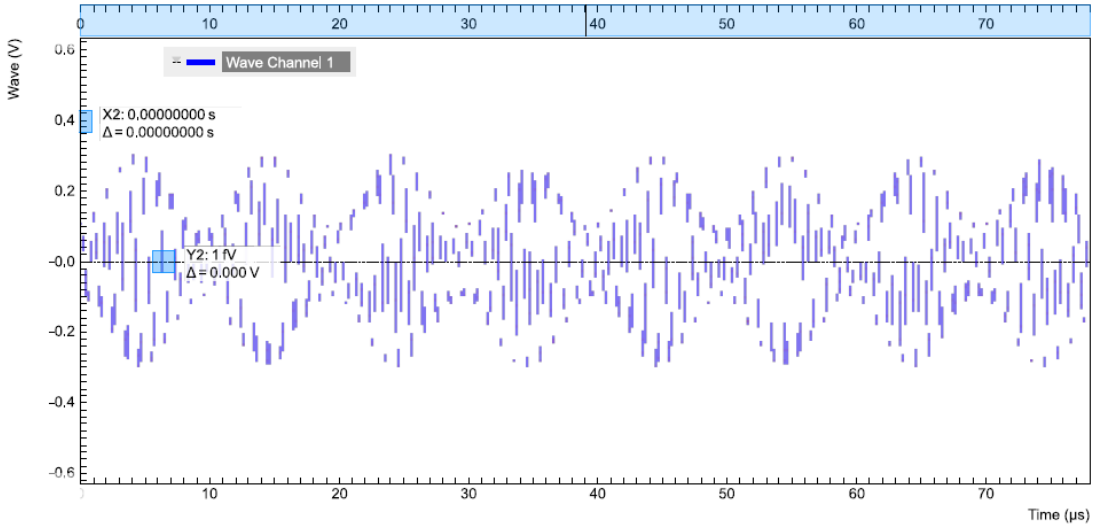


图 3.20. 使用 LabOne Scope 测量的 MOD2 生成的 AM 信号的时域表示

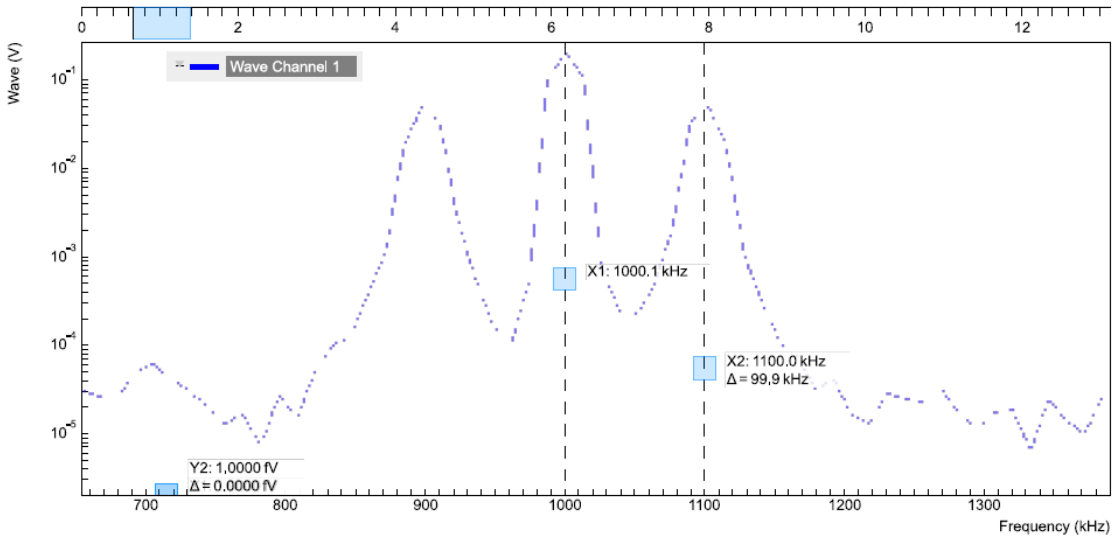


图 3.21. 使用 LabOne Scope 测量的 MOD2 生成的 AM 信号的频域表示

3.6.3. 测量测试信号

在“Modulation”选项卡的“MOD 1”部分中，选择以下参数：

表 3.19. 设置：测量 AM 信号

载波振荡器 (Osc)	1
边带 1 振荡器 (Osc)	2
载波模式	AM
低通滤波器 BW（载波）	10 Hz
低通滤波器 BW （边带 1）	10 Hz
MOD 1 启用	ON
解调器 1、2、3 数据传输启用（“Lock-in”选项卡）	ON

这样设置，可以正确解调具有两个边带的 AM 信号。在“Numeric”选项卡中，查看载波的振幅 142 mV_{RMS} 和两个边带的振幅 35 V_{RMS}，即载波振幅的四分之一：这对应于 50% 的调制指数。

3.7. 频率调制

注释

本教程面向已经购买 HF2LI-MF 多频选件和 HF2LI-MOD AM/FM 调制选件的 HF2LI 锁相放大器用户。

3.7.1. 什么是频率调制？

在频率调制 (FM) 中，调制信号的振幅与固定频率的瞬时频率偏差成比例。在图 3.22(a) 所示的最简单情况下，调制信号

$$s(t) = A\cos[\omega_c t + \frac{\omega_p}{/}\omega_m \sin(\omega_m t) + \varphi] \qquad (3)$$

产生于频率为 $f_c = \omega_c / 2\pi$ 的载波信号通过频率为 $f_m = \omega_m / 2\pi$ 的正弦调制进行调制时。载波频率周围频率的最大变化，即峰值频率偏差，为 $f_p = \omega_p / 2\pi$。物理信息被编码在参数 A、f_p 和 φ 中。

因为频率是相位的时间导数（除以 2π），相位是方程 （3） 中的余弦自变量，我们可以将瞬时频率定义为

$$f(t) = f_c + f_p \cos(2\pi f_m t) \qquad (4)$$

FM 信号 （3） 的频谱比振幅调制的情况更复杂。它由载波和载波频率周围多个整数 f_m 处的一系列边带对组成，参见图 3.22(d)。载波和边带的振幅由称为贝塞尔函数（通常由 J_n 表示）的数学函数给出，该函数在调制指数 $h = f_p / f_m$ 处评估。例如，第 n 对边带对称地位于 f_m 附近（在 $f_c \pm n f_m$ 处），其振幅为 $J_n(h)$。

贝塞尔函数的一个特点是它们在零附近振荡：即使对于载波，随着调制指数的增加，其幅度 $J_0(h)$ 会降低，在 $h \approx 2.41$ 处越过零，然后幅度会增加（反相），然后在 $h \approx 5.52$ 处再次达到零。

在低调制指数下，较高边带的振幅非常低，因此可以忽略：这称为窄带近似。在该限制（通常假设 $h < 0.2$）中，只有在 $f_c \pm f_m$ 处的两个边带具有不可忽略的振幅，信号 s(t) 可近似表示为

$$\tilde{s}(t) = A[J_0(h)\sin(\omega_c t + \varphi) - J_1(h)\cos[(\omega_c + \omega_m)t + \varphi] + J_1(h)\cos[(\omega_c - \omega_m)t + \varphi]] \qquad (5)$$

第一项是载波，另外两项是下边带和上边带。找到 h（和峰值振幅 f_p）的问题现在简化为比较第一对边带的振幅和载波与比率 $J_1(h) / J_0(h)$。图 3.22 (e) 显示了比值 $J_1(h) / J_0(h)$ 和 $J_2(h) / J_0(h)$ 的绘图。

尽管 $\tilde{s}(t)$ 看起来非常类似于 AM 信号，但有一个细微但实质性的区别：边带的相位相对于载波的相位偏移。这导致边带与载波正交。例如，假设 $\varphi = 0$：使用载波信号 $\sin(\omega_c t)$ 解调 $\tilde{s}(t)$

给出直流分量（载波），但没有边带；另一方面，在使用正交 $\cos(\omega_c t)$ 进行解调时，仅观察到 f_m 处的两个边带，并且不存在载波。因此，FM 检测可以采用与 AM 检测方案类似的方式完成，使用前面在“振幅调制”中所述的串联配置。

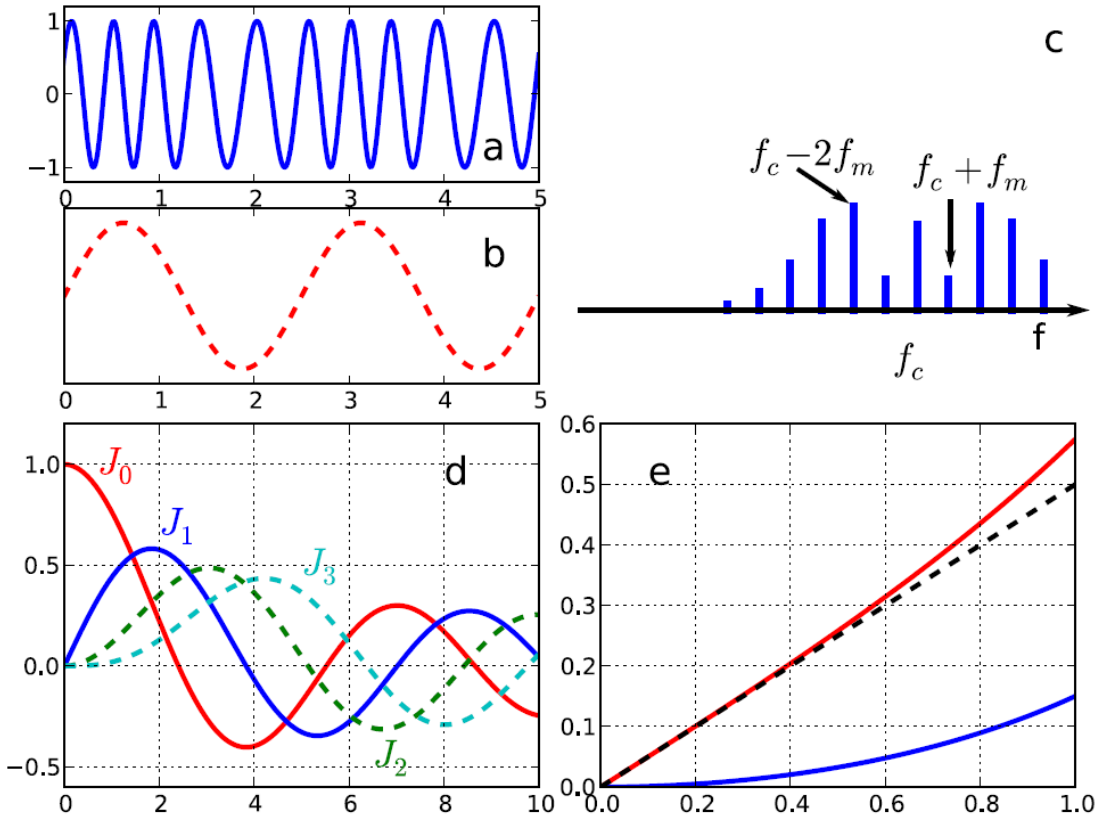


图 3.22. (a) 简单的频率调制信号，(b) 瞬时频率，(c) FM 信号的频域频谱由无限系列边带组成，此处所示为 h = 0.35，(d) 第 n 个贝塞尔函数与 h 的对比，(e) 比率 J_1_(h) / J_0_ (h) （红线），比率 J_2_(h) / J_0_(h)（蓝线），斜率 0.5 线（黑色虚线）

HF2LI-MOD AM/FM 调制选件允许直接生成和解调 FM 信号。对于解调，该选件允许测量参数 A、f_p 和 φ。

在内部，HF2LI 使用上述方法，通过比率 $J_1(h) / J_0(h)$（与载波和第一边带振幅成比例）计算峰值频率 f_p。由于该方法仅对窄带频率调制有效，因此建议用户在调制指数 h < 1 的较小值下操作。

另一种解调 FM 信号的直观方法是使用 PLL 跟踪频率偏差 Δf 并进一步解调该信号。但是，将边带解调与 HF2LI-MOD AM/FM 调制选件结合使用可提供更优的信噪比。这是因为信号可以在几个调制周期内取平均值，同时保持较小的带宽。

3.7.2. 生成测试信号

在本教程中，您将生成载波频率为 1 MHz、调制频率为 100 kHz、调制指数为 0.1 的 FM 信号。该信号在 Signal Output 2 生成，并由第一锁相单元将其输入 Signal Input 1 进行解调。

首先启用“Lock-in MF”选项卡中的 Signal Output 2，并禁用所有解调器输出振幅。这将确保输出端仅显示频率调制信号的所需分量。

表 3.20. 设置：生成 AM 信号

信号输出 2 启用	ON
信号输出振幅解调器 1-8	OFF

在“Modulation”选项卡的“MOD 2”部分中，选择以下参数：

表 3.21. 设置：生成 FM 信号

MOD 2 启用	ON
载波振荡器 (Osc)/频率	Osc 1 / 1 MHz
边带 1 振荡器 (Osc)/频率	Osc 2 / 100 kHz
载波模式/启用	FM / ON
生成载波振幅/启用	100 mV / ON
输出因数	0.1

这产生了由载波和两个边带组成的 FM 信号 $f_C \pm f_m$。要查看此信号，请将 Signal Output 2 连接到 HF2LI 仪器的 Signal Input 1。在“Lock-in”选项卡中选择正确的输入参数：对于 Signal Input 1，确保差分和 50 Ω 关闭。然后单击自动量程按钮。在“Scope”选项卡中，“Source”字段选择“Signal Input 1”，“Trigger”字段选择“Signal Output 2”，然后单击“Run/Stop”激活示波器。观察载波振幅是否恒定。周期性的频率变化几乎不可见。在频域 FFT 模式下，该图显示了 1 MHz 处的载波和两个边带。您可以在“Scope”选项卡的“Horizontal”部分中选择较小的采样率和较大的时间尺度，来提高频率分辨率。

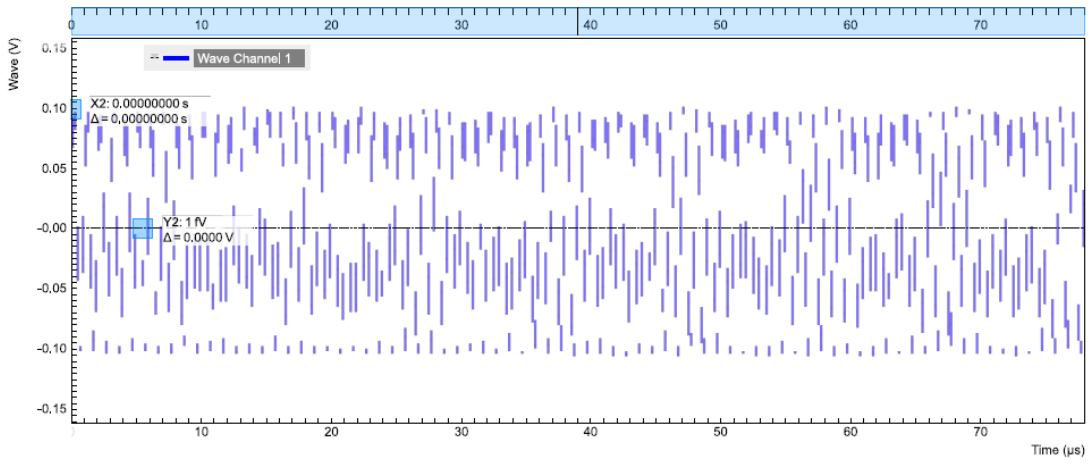


图 3.23. 使用 LabOne Scope 测量的 MOD2 生成的 FM 信号的时域表示

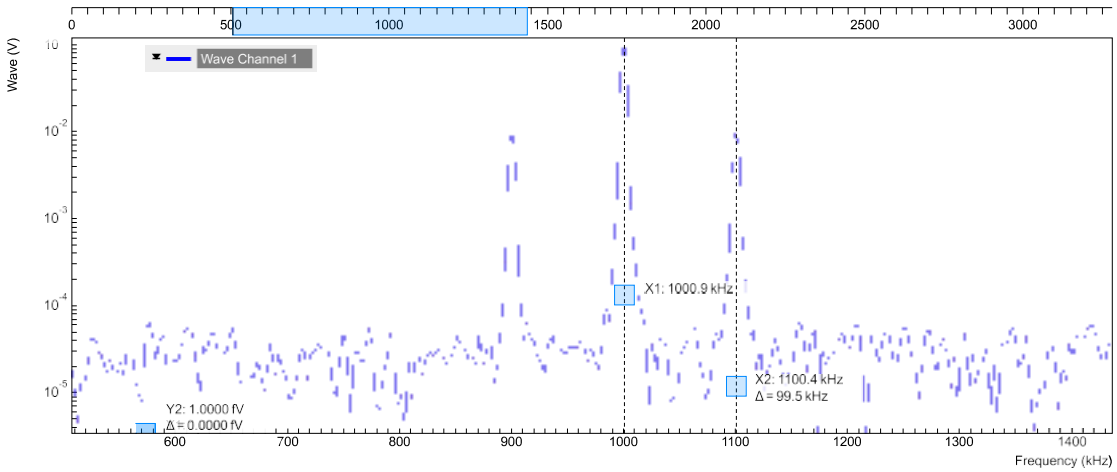


图 3.24. 使用 LabOne Scope 测量的 MOD2 生成的 FM 信号的频域表示

3.7.3. 测量测试信号

在“Modulation”选项卡的“MOD 1”部分中，选择以下参数：

表 3.22. 测量 FM 信号

MOD 1 启用	ON
载波振荡器 (Osc)	1
边带 1 振荡器 (Osc)	2
载波模式	FM
低通滤波器 BW（载波）	10 Hz
低通滤波器 BW （边带 1）	10 Hz
解调器 1、2、3 数据传输启用（“Lock-in”选项卡）	ON

这样设置，可以正确解调 FM 信号。在“Numeric”选项卡中，查看载波的振幅 71 mV_{RMS}。您还可以看到两个边带的振幅为 35 V_{RMS}。这大致相当于载波振幅乘以比率 $J_1(h)/J_0(h)$（参见图 3.22 (e)，调制指数 h = 0.1）。请注意，两个边带的相位相距 180°，这是 FM 的典型特征。

3.8. 锁相环

注释

本教程适用于安装有 HF2LI-PID 四通道 PID 控制器选件的 HF2LI 仪器。

3.8.1. 目标和要求

本教程阐述了如何使用锁相环 (PLL) 追踪谐振器的共振频移。按照教程所述，Signal Output 1 和 Signal Input 1 之间需要连接一个谐振器。

3.8.2. 准备

连接电缆，如下图所示。确保 HF2LI 仪器已通电，然后通过 USB 将 HF2LI 仪器连接到计算机或通过以太网将 HF2LI 仪器连接到主机所在的局域网 (LAN)。LabOne 启动后，打开默认 Web 浏览器，显示 LabOne 图形用户界面。

图 3.25. 使用 HF2LI 仪器进行 PLL 连接

本教程可以使用默认仪器配置（例如，重启后）和默认用户界面设置（例如，在浏览器中按 F5 键后）启动。

3.8.3. 确定石英谐振器的共振

本节首先介绍如何使用“Sweeper”选项卡工具来确定谐振器的共振。在“Sweeper”选项卡中，可以先定义整个仪器带宽范围内的频率扫描，然后通过多次扫描缩小范围，从而找到目标共振峰值。在本例中，我们已经知道共振频率大约在 1.8 MHz，这为我们发现峰值节省了一些时间，因为 Q 因子相当高。“Sweeper”选项卡设置和“Lock-in”选项卡设置如下表所示。

注释

下表适用于未安装 HF2LI-MF 多频选件的仪器。如果安装了该选件，需要在“Lock-in”选项卡的“Output Amplitude”部分配置输出幅值。

表 3.23. 设置：扫描测量频率

选项卡	子选项卡	部分	#	标签	设置/值/状态
Lock-in	All	Signal Outputs	1	Amp (V)	100.0 m / ON

选项卡	子选项卡	部分	#	标签	设置/值/状态
Lock-in	All	Signal Outputs	1	Output 1	ON
Lock-in	All	Signal Inputs	1	50 Ω	ON
Lock-in	All	Signal Inputs	1	Diff	OFF
Lock-in	All	Demodulators	1	Osc	1
Lock-in	All	Demodulators	1	Input	Sig In 1
Lock-in	All	Data Transfer	1	Enable	ON
Sweeper	Control	Horizontal		Sweep Param.	Osc 1 Frequency
Sweeper	Control	Vertical Axis Groups		Signal Type/ Channel	Demod Θ / 1
Sweeper	Control	Vertical Axis Groups		Add Signal	单击
Sweeper	Control	Vertical Axis Groups		Signal Type/ Channel	Demod R / 1
Sweeper	Control	Vertical Axis Groups		Add Signal	单击
Sweeper	Control	Horizontal		Start (Hz)	1 M
Sweeper	Control	Horizontal		Stop (Hz)	3 M
Sweeper	History			Length	2
Sweeper	Control	Settings		Dual Plot	ON
Sweeper	Control	Settings		Run/Stop	ON

我们使用解调器 1 生成扫描信号，再解调通过谐振器传输的信号。“Lock-in”设置确保用于生成和测量的振荡器是同一个（振荡器 1）。此外，应按照接线图将输入设置为“Signal Input 1”。

单击“Sweeper”选项卡中的 Run/Stop 按钮，Sweeper 将重复扫描石英振荡器的频率响应。“History Length”设为 2，允许在调整扫描范围的同时在屏幕上保留前一次扫描。可以使用放大工具在共振峰值时获得更高的分辨率。只需单击 Copy From Range 按钮，便可重新定义起始频率和结束频率，获得更精细的 Sweeper 范围。这样，绘图频率范围将自动粘贴到“Sweeper”频率范围的“Start”和“Stop”字段中。

注释

即使不改变点数，使用 Copy From Range 按钮水平放大时，扫描频率的分辨率也会变得更精细。

发现共振峰值后，应该会得到和下面两图中的实线差不多的测量值。我们可以通过共振拟合工具来轻松确定共振参数，比如 Q 因子、中心频率或峰值幅度。要使用该工具，先要在共振左右两侧放两个 X 光标，然后打开“Sweeper”选项卡的“Math”子选项卡，再从左侧下拉菜单中选择“Resonance”，最后单击 Add。重复这一操作，一次使用解调器幅值作为绘图中的活动迹线，一次使用解调器相位（参见“纵坐标组”）。该工具将对 LCR 电路的响应函数执行最小二乘拟合算法。在 Q 因子较大的极限情况下，这相当于对幅值的洛伦兹函数的平方根和相位反正切的拟合。具体的拟合函数参见“光标和数学”部分。

绘图中的虚线为添加的拟合曲线，参见图 3.26 和图 3.27。由于这两种拟合是独立的，如果共振明显偏离简单的 LCR 电路模型，那么它们可能会导致不同的结果。引线之间若存在电容耦合，

通常就会发生这种情况。在本例中，对相位曲线的拟合明显优于对幅值曲线的拟合，产生的 Q 因子约为 12,800，中心频率为 1.8428 MHz。

当设置输入阻抗为 50 Ω 输时，图 3.27 中的相位遵循从 +90° 到 –90° 的典型谐振器响应。直接在共振处测到的相位接近 0°。我们将用这个值作为 PLL 的相位设定值。完成 Sweeper 测量后，单击 Run/Stop 关闭扫描操作。这将从 Sweeper 的控制中释放振荡器频率。

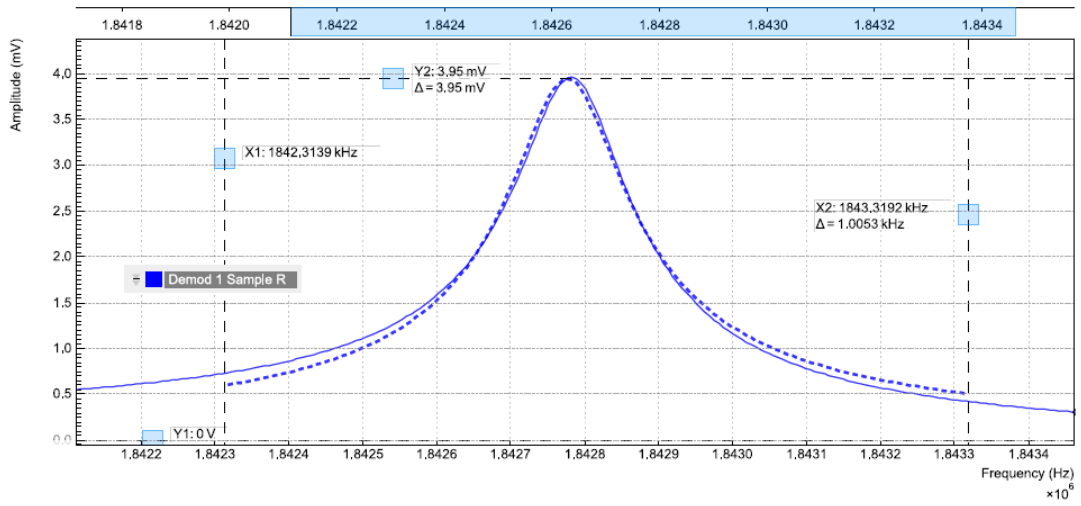


图 3.26. 使用 LabOne Sweeper 测量的谐振器频率响应的幅值。实线指测量数据，虚线指使用共振拟合工具对 LCR 电路模型的响应函数进行的拟合。

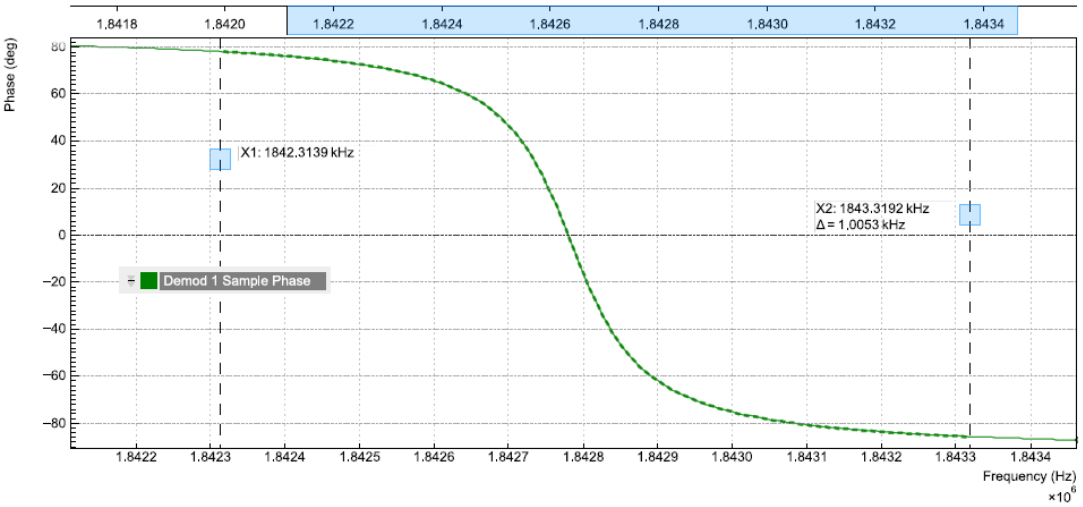


图 3.27. 使用 LabOne Sweeper 测量的谐振器频率响应的相位。实线指测量数据，虚线指使用共振拟合工具对 LCR 电路模型的响应函数进行的拟合。

3.8.4. 使用 PLL 进行谐振峰跟踪

现在我们知道了共振频率和在这个频率测量到的相位。我们可以通过锁定到这个相位来跟踪共振频率的偏移情况，因此这也叫做锁相环 (PLL)。锁相环可在“PLL”选项卡中找到。每个 HF2LI 系列仪器中有两个 PLL 控制器。本教程将使用 PLL 1。首先使用之前测量到的值来设置基本的 PLL 1 字段，如下表所示。

表 3.24. 设置：设置锁相环

选项卡	子选项卡	部分	#	标签	设置/值/状态
PLL	PLL		1	Mode	PLL
PLL	PLL		1	Auto Mode	PID Coeff
PLL	PLL	Input	1	Setpoint (deg)	0.0
PLL	PLL	Output	1	Output	Oscillator Frequency / 1
PLL	PLL	Output	1	Center Freq (Hz)	1.8428 M
PLL	PLL	Output	1	Lower / Upper Limit (Hz)	–10k / +10 k

相对于“Center Frequency”的上下限频率（或范围）要选择得足够窄，这样设备的相位才能形成单调曲线，在设定值处有一个交叉点，否则反馈控制器将无法正确锁定。接下来，我们需要找到合适的反馈增益参数（P、I、D），这就需要用到 Advisor。将“Target BW (Hz)”设置为 1.0 kHz。目标带宽应至少与频率变量的预期带宽一样大。在本例中，谐振器频率其实是稳定的，因此 1 kHz 的带宽就足够了。单击 Advise 按钮，让 Advisor 使用数值优化算法确定一系列反馈增益参数。图 3.28 显示的是 Advisor 操作完成后的典型“PLL”选项卡视图。Advisor 尝试在模拟中匹配或超越目标带宽。获得的带宽可以从“BW (Hz)”字段读取，也可以直接从右侧模拟的波特图的 3 dB 点读取。模拟的相位裕度值显示在“PM (deg)”字段并且应该超过 45°，这样才能确保稳定的反馈操作，不会出现振荡。如果对 Advisor 的结果感到满意，请单击 To PLL 按钮，将反馈增益参数传输到物理 PLL 控制器上。要启动 PLL 操作，请单击“PLL”选项卡顶部的“Enable”按钮。

表 3.25. 设置：设置并运行 PID Advisor

选项卡	子选项卡	部分	#	标签	设置/值/状态
PLL	Advisor	Advisor	1	Target BW (Hz)	1 k
PLL	Advisor	DUT Model	1	DUT Model	Resonator Frequency
PLL	Advisor	DUT Model	1	Res Frequency (Hz)	1.8 M
PLL	Advisor	DUT Model	1	Q	12.8 k
PLL	Advisor	Advisor	1	Advise	单击

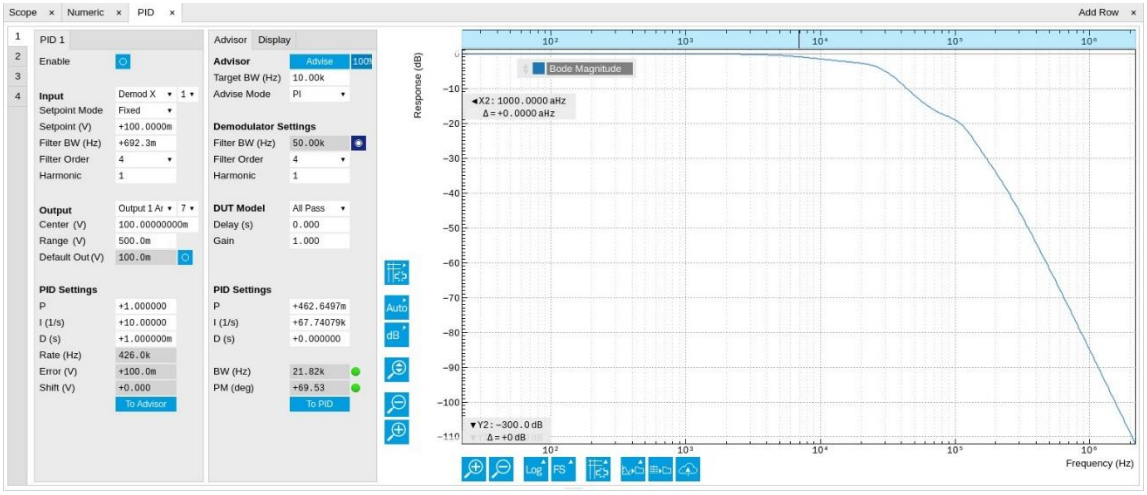


图 3.28.“PLL”选项卡中的设置和 Advisor 模拟（典型 — 参数可能与示例不同）

当 PLL 被锁定时，“Error/PLL Lock”标签旁边的绿色指示灯将亮起。实际频移显示在“Freq Shift (Hz)”字段中。

注释

此时建议单击“Lock-in”选项卡中的自动选择量程按钮 来调整信号输入范围。这通常会增加信噪比，有助于 PLL 锁定输入信号。

最简单的频移可视化办法是使用 Plotter 工具。通过使用树状选择器 导航到 Demodulator 1 → Sample 并选择频率，可将频率添加到画面中。频率噪声随着 PLL 带宽的增加而增加，因此为了获得最佳噪声性能，带宽不应高于实验所需的带宽。频率噪声还与谐振器的驱动幅值成反比。

3.9. 自动增益控制

注释

本教程适用于所有安装有 HF2LI-PID 四通道 PID 控制器选件的 HF2LI 仪器。

3.9.1. 目标和要求

本教程阐述了如何设置 PID 控制器来实现自动增益控制。我们使用 PID Advisor 来模拟反馈回路的阶跃响应，并通过 Data Acquisition 工具来捕捉回路的物理阶跃响应。我们还利用 Signal Output 1 和 Signal Input 1 之间的石英谐振器来进行测试。

3.9.2. 准备

按下图连接电缆。确保 HF2LI 仪器已通电，然后通过 USB 将 HF2LI 仪器连接到 PC 或计算机所在的局域网 (LAN)。LabOne 启动后，打开默认 Web 浏览器，显示 LabOne 图形用户界面。

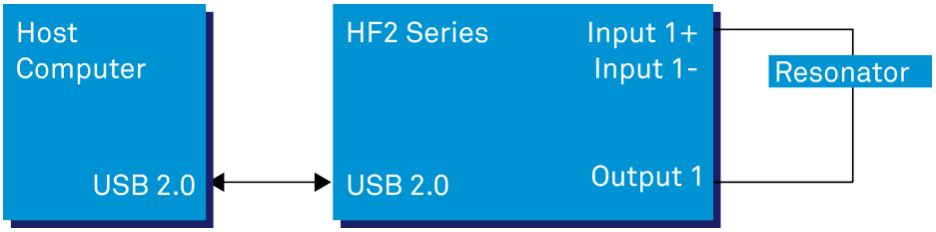


图 3.29. 使用 HF2LI 仪器进行 PID 连接

本教程可以使用默认仪器配置（例如，重启后）和默认用户界面设置（例如，在浏览器中按 F5 键后）启动。

3.9.3. 自动增益控制

本节将介绍如何使用 PID 控制器来控制被测设备的输出幅值。我们将使用石英谐振器，其由仪器的信号发生器进行谐振频率驱动，并用解调器进行测量。

如果从第 3.8 节继续，那么只要启用 PLL 即可。否则，您就要知道如何在所需频率生成激励信号，以及如何测量自己想控制的信号幅值。被测设备不必是谐振器。

如下面的频率响应曲线所示，我们在以 100 mV_{pk} 驱动时，在谐振峰值处测量到大约 4.0 mV 的幅值。目标是让用户在运行中对该幅值进行编程。

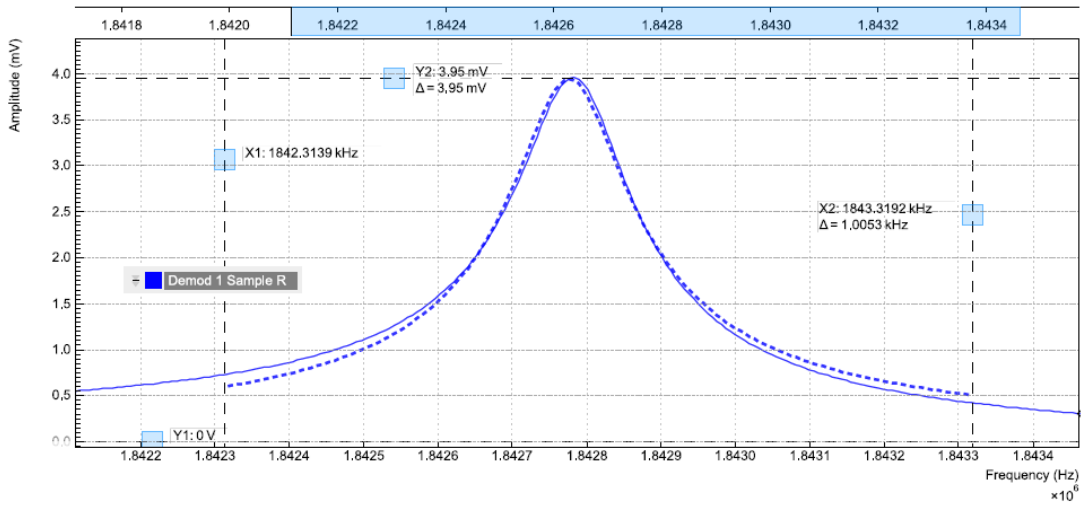


图 3.30. 使用 LabOne Sweeper 测量的谐振器频率响应的幅值。实线指测量数据，虚线指使用共振拟合工具对 LCR 电路模型的响应函数进行的拟合。

要设置自动增益控制，请打开“PID”选项卡，其中四个可用的 PID 控制器显示在不同的侧边栏选项卡中。我们将在本教程中使用 PID 3。我们将控制器的输入定义为测量的锁相 R 信号，输出定义为驱动幅值。设置如下表所示。

注释

下表适用于未安装 HF2LI-MF 多频选件的仪器。安装该选件后，需要将“Output 1 Amplitude”通道设置为用于在“Lock-in”选项卡的“Output Amplitudes”部分中生成信号的解调器的数量。

表 3.26. 设置：设置 PID 控制器

选项卡	子选项卡	部分	#	标签	设置/值/状态
PID	PID		3	Mode	PID
PID	PID	Input	3		Demod R / 1
PID	PID	Input	3	Setpoint (V)	10 m
PID	PID	Output	3		Output 1 Amplitude
PID	PID	Output	3	Center (V)	0.5
PID	PID	Output	3	Lower/Upper Limit (V)	-0.5/+0.5
PID	PID	Output	3	Range	0.5

下一步是选择合适的反馈增益参数（P、I、D）。在 HF2LI 仪器上，我们可以借助 PID Advisor 完成此操作。基于被测设备 (DUT) 的一组数学模型，它可以模拟一组特定反馈增益值的阶跃响应。PID Advisor 对反馈增益参数进行数值优化，以获得匹配或超过用户指定目标带宽的阶跃响应。

有关可用 DUT 模型列表，请参见第 4.17 节。如果您的 DUT 没有被其中一个模型很好地展现出来，这里介绍的方法可帮助您实施某种试探性调谐方法（例如 Good Gain 方法（Finn Haugen，挪威泰勒马克大学学院，2010 年），因为它们可以测量闭环阶跃响应。

PID Advisor 提供了一种高效的图形工具，可手动设置反馈增益参数。要使用该工具，请在“Display”子选项卡中启用“Advanced Mode”，然后从“Transfer Function”菜单中选择 PID。三条光标线将添加到显示部分，代表 PID 控制器传递函数的 P、I 和 D 部分的频率相关性。拖动光标即可定义目标波特图。如果您启用 Advisor Link 按钮，则来自光标的反馈增益参数将与来自 Advisor 的模拟参数相关联，这些参数可以从此处传输到仪器。

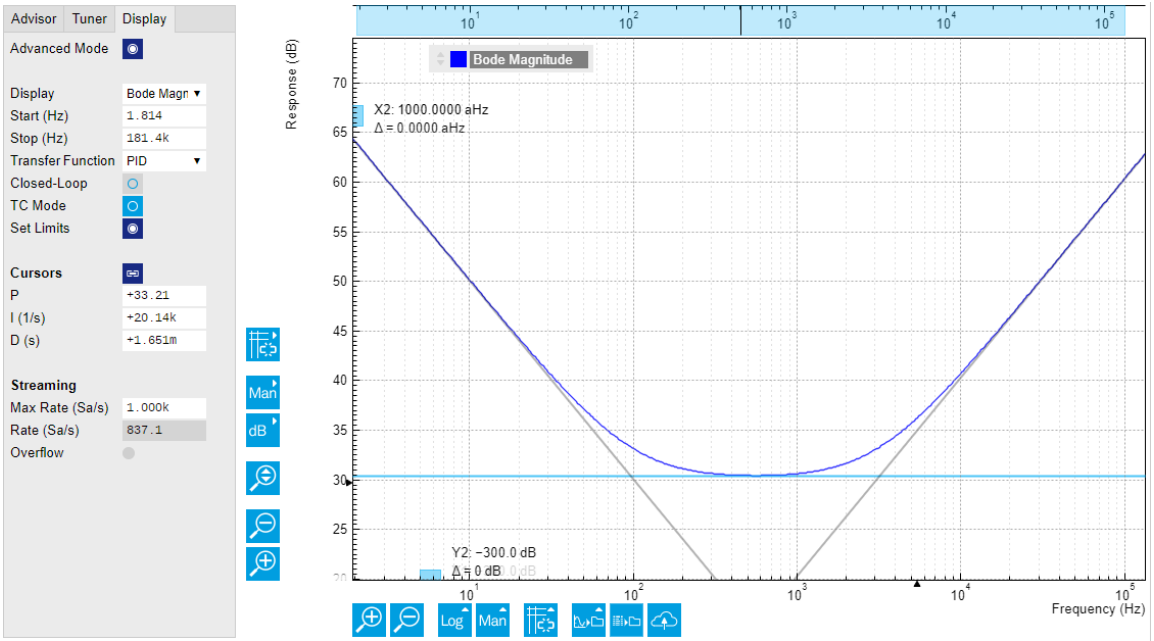


图 3.31. 使用光标对 PID 参数进行图形设置。具有负斜率、零斜率和正斜率的三条光标线分别对应于控制器的 P、I 和 D 部分的频率相关性。

3.9.4. 模拟被测设备

在“Advisor”子选项卡中，选择“Resonator Amplitude”作为 DUT 的模型。该模型有四个参数：延迟、增益、中心频率和 Q。后两者可以使用“Math”子选项卡中的共振拟合工具，通过“Sweeper”选项卡中的频率响应测量轻松确定，如“确定石英谐振器的共振”中所述。我们得出 Q 因子约为 12,800，中心频率为 1.8428 MHz。延迟值表示额外的延迟，例如来自电缆的延迟（通常为每米 4-5 ns）。由于我们使用的是短电缆，这些延迟可以忽略不计，我们可以将延迟参数保持在 0 s。增益值让 PID 控制器输出和输入之间的整体信号增益或衰减实现了参数化，包括单位转换。在本例中，当驱动幅度设置设为 100 mV_{pk} 时，测量共振时的 R 幅值为 4.0 mV_{rms}，得到的增益为 0.040。

使用“Advisor”子选项卡中的模式选择器，您可以定义 Advisor 使用哪些反馈增益参数进行优化。例如，当您选择 PI 建议模式时，P 和 I 参数会发生变化，但 D 保持在当前设置的值。这样一来，您可以选择使用 Advisor 的最有效方式：您可以让 Advisor 完成所有工作，或者手动控制一些参数并让 Advisor 处理其余部分，也可以手动完成所有调整并仅使用 Advisor 来模拟结果。

我们将 D 参数保持在 0，让 Advisor 在 PI 模式下运行。输入 1 kHz 的目标带宽并单击 Advise 按钮。Advisor 将给出 P 和 I 的一些建议值。“BW”字段指示模拟回路的带宽，绿色灯表示达到或超过目标带宽。“PM”字段显示相位裕度，绿色灯表示反馈回路稳定。

在给定的示例中，谐振器的带宽约为 140 Hz，因此基本可以达到 1 kHz 的目标带宽。但是，为了达到该值，可能需要调整相应的解调器滤波器带宽。它应该大于目标带宽，但不能过大，以免产生过多噪声。启用“Auto Bandwidth”（“Demodulator Settings”中“Filter BW”字段旁边的复选框）时，PID Advisor 会选择合适的解调器带宽，稍后这些带宽将自动传输到解调器。

选项卡右侧的波特图对应于基于 P、I 和 D 增益值以及当前在“Advisor”子选项卡中设置的 DUT 模型的模拟闭环频率响应。在本例中，为了显示模拟闭环阶跃响应，如图 3.32 所示，在“Display”子选项卡中将“Display”设置为“Step Response”。

注释

如果选择解调器测量值作为 PID 输入，Advisor 将控制相应的解调器滤波器带宽，但不控制滤波器阶数。如果遇到振荡反馈问题，请记住低阶滤波器通常会让反馈回路行为更稳定，因为它们的延迟较小。

表 3.27. 设置：设置并运行 PID Advisor

选项卡	子选项卡	部分	#	标签	设置/值/状态
PID	Advisor	Advisor	3	Target BW (Hz)	1 k
PID	Advisor	Advisor	3	Advise Mode	PI
PID	Advisor	Demodulator Settings	3	Filter BW / Auto Bandwidth	ON
PID	Advisor	DUT Model	3	DUT Model	Resonator Amplitude
PID	Advisor	DUT Model	3	Delay	0.0 s
PID	Advisor	DUT Model	3	Gain	0.040
PID	Advisor	DUT Model	3	Center Frequency	1.8 M
PID	Advisor	DUT Model	3	Q	12.8 k
PID	Display		3	Display	Step Response
PID	Advisor	Advisor	3	Advise	ON

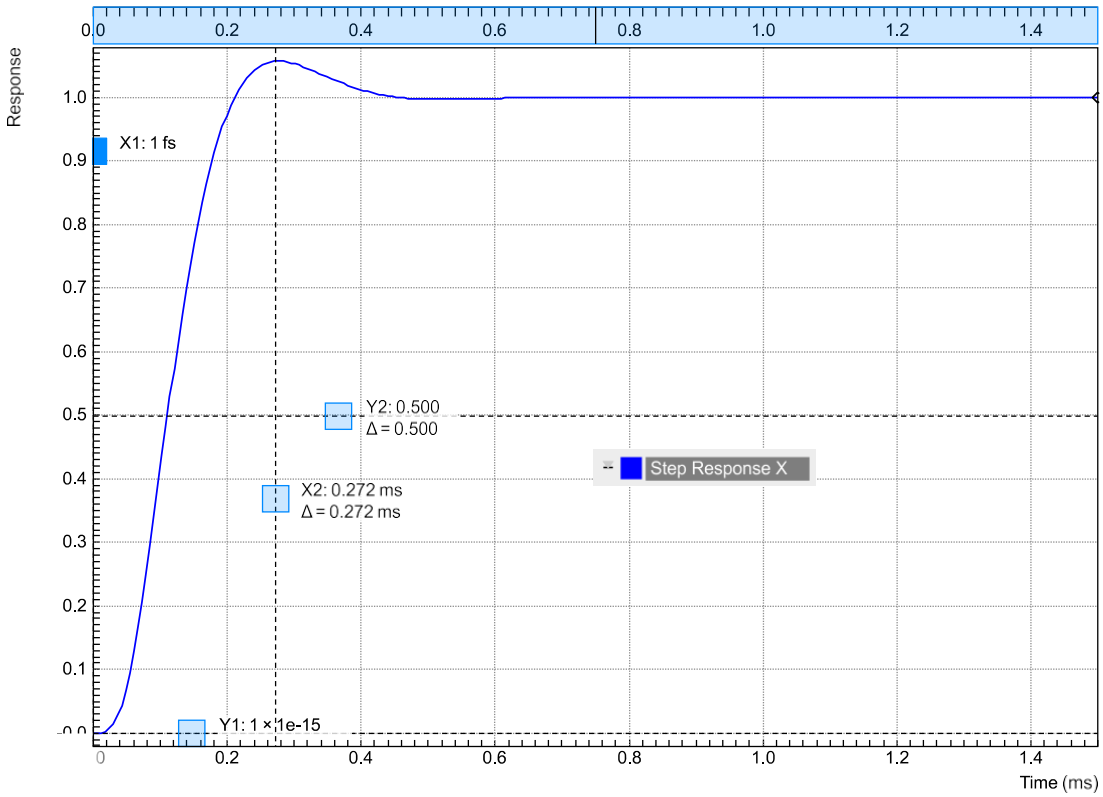


图 3.32. 使用 PID Advisor 模拟的闭环阶跃响应

3.9.5. 测量阶跃响应

一旦 Advisor 的结果达到您的要求，单击 To PID 按钮将反馈增益参数传输到左侧显示的物理 PID / PLL 控制器。启用 PID 控制器，并按照第 4.6 节的说明来检查解调器 1 R 是否已稳定在 10 mV 的设定值。在“PID”选项卡中切换设定值，这将在“Plotter”中立即显示一个阶跃。要捕捉阶跃响应，建议按照第 4.8 节的说明来操作。打开“DAQ”选项卡并根据下表在“Settings”和“Grid”子选项卡中配置触发。

表 3.28. 设置：设置 Data Acquisition 工具

选项卡	子选项卡	部分	#	标签	设置/值/状态
DAQ	Settings	Trigger Settings		Trigger Signal	Demod 1 R
DAQ	Settings	Trigger Settings		Level (V)	11 m
DAQ	Settings	Trigger Settings		Hysteresis (V)	0
DAQ	Settings	Horizontal		Delay (s)	– 1 m
DAQ	Grid	Grid Settings		Mode	Linear
DAQ	Grid	Grid Settings		Duration (s)	5 m
Lock-in	All	Data Transfer	1	Rate (Hz) / Enable	100 k / ON

我们还提高了解调器数据传输速率，以确保此测量的高时间分辨率。通过单击 Run/Stop 启动 Data Acquisition 工具，只要切换“Trigger Level”的设定值（例如从 10 mV 到 12 mV），一条迹线就会被记录下来并显示在“DAQ”选项卡中，如下图所示。

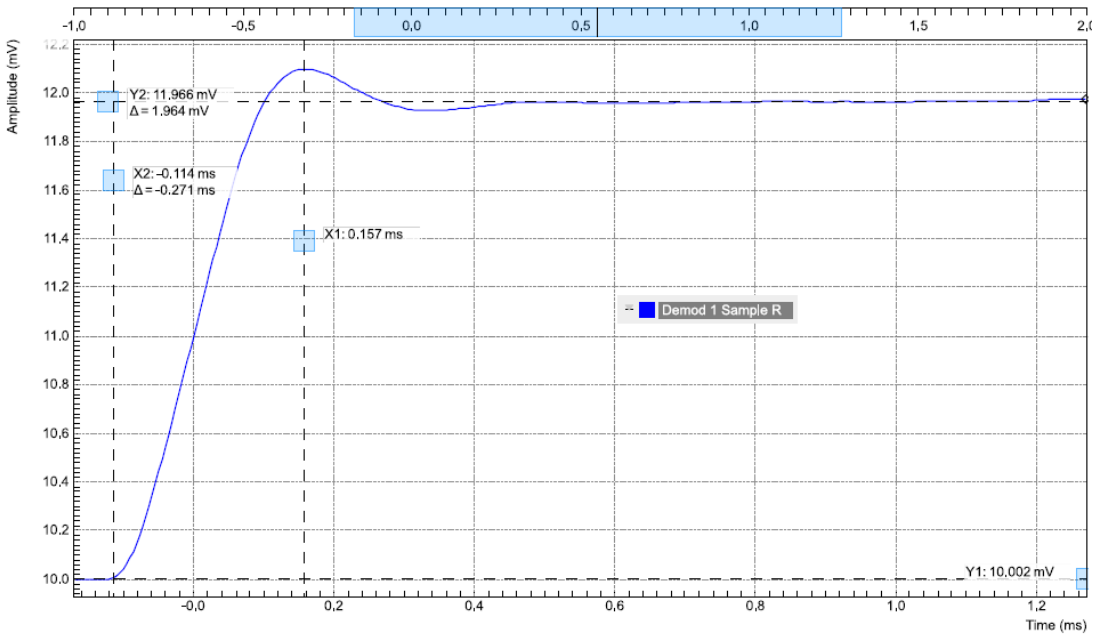


图 3.33. 使用 Data Acquisition 工具测量的闭环阶跃响应

将图 3.33 与图 3.32 进行比较后可以发现，模拟和测量之间定量匹配得非常好。

3.10. 成像

注释

本教程适用于所有 HF2LI 仪器。

3.10.1. 目标和要求

本教程介绍了如何捕获和显示成像信号，即可以构建出二维数据集的线和帧结构的信号。要学习本教程，需要用到第三方可编程任意波形发生器来生成提供线触发的真实成像信号，或访问包括线触发或 EOL 触发在内的真实成像信号，例如来自原子力显微镜的信号。

3.10.2. 准备

连接电缆，如下图所示。确保 HF2LI 仪器已通电，并通过 USB 连接到您的主机。LabOne 启动后，打开默认 Web 浏览器，显示 LabOne 图形用户界面。

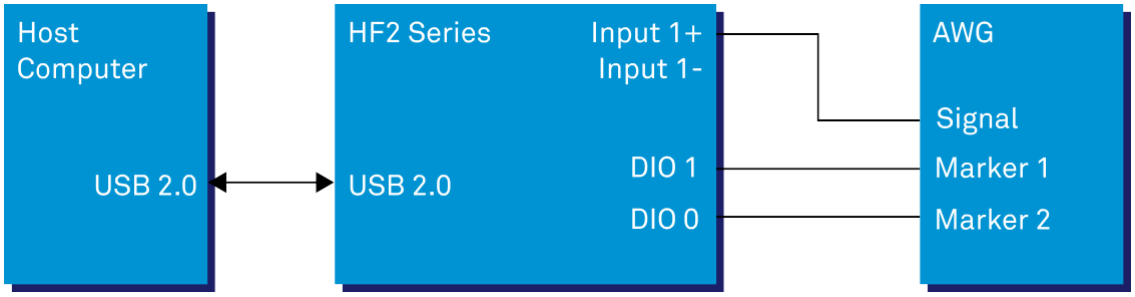


图 3.34. HF2LI 仪器成像教程的设置

本教程可以使用默认仪器配置（例如，重启后）和默认用户界面设置（例如，在浏览器中按 F5 键后）启动。

3.10.3. 成像信号属性

在本节中，我们将讨论本教程中使用的外部信号的属性。为了更好的说明，我们在解释成像功能时是基于任意波形发生器 (AWG) 生成的真实信号，甚至是真实成像信号。我们也可以在没有外部设备的情况下使用该仪器的成像功能，但仅使用 HF2LI 仪器不易生成排布良好的成像信号。为了促进 AWG 和锁定之间的锁相，建议使用具有数字调制能力并且可以将相位参考信号与 AWG 信号分开输出的 AWG。例如来自瑞士苏黎世仪器的 UHFAWG 和 HDAWG。

我们将假设以下扫描参数：线扫描频率约为 200 Hz，线数为 256。然后进一步假设 AWG 信号输出上的成像信号是 300 kHz 固定载波频率的调幅信号。该信号连接到 HF2LI 仪器的 Signal Input 1 +In 连接端口。载波相位参考是一个 300 kHz 的方波，幅值约为 1 V_{pk}，在 AWG 标记输出 1 上生成，并连接到锁相参考输入 DIO 1。在每条线的开始，AWG 会生成 TTL 信号的上升沿，该信号是在其标记输出 2 上生成的。该线触发信号连接到 HF2LI 仪器的 DIO 0 连接端口。正确触发

数据采集所需的最小触发信号宽度等于所使用的逆解调器采样率。原因是 DIO 0 连接端口的状态与解调器数据一起传输到主机，这限制了时间分辨率，从而限制了最小触发脉冲宽度。

3.10.4. 测量成像信号

在本例中，我们对 AWG 进行了编程，以生成幅值在 0 到约 0.6 V_{rms} 之间变化的信号，从而构建出瑞士苏黎世仪器徽标的图像。我们让 AWG 连续运行，这意味着它将永久生成此信号、线触发和相位参考信号。在这里，我们将设置具有足够高解调器带宽和采样率的锁相放大器，以便在外部参考模式下准确地测量成像信号。

为了锁定到外部参考锁相参考输入，我们需要选择参考输入信号并将锁相放大器更改为外部参考模式。您可以按第 4.13 节所述来检查相应的输入连接端口是否显示切换信号。第 3.4 节大致介绍了在外部参考模式下设置测量。

表 3.29. 设置：启用外部参考模式

选项卡	子选项卡	部分	#	标签	设置/值/状态
Lock-in	All	Demodulators	7	Signal	DIO D1
Lock-in	All	Demodulators	7	Mode	ExtRef

我们选择解调器滤波器设置和足够高的采样率，以测量信号中高达数个 10 kHz 的快速分量。您可以在第 3.3 节中找到有关选择滤波器常数的大致说明。下表显示了要完成的设置。

表 3.30. 设置：配置解调器

选项卡	子选项卡	部分	#	标签	设置/值/状态
Lock-in	All	Signal Input	1	Range	1.2 V
Lock-in	All	Low-Pass Filters	1	BW 3 dB	30 kHz
Lock-in	All	Low-Pass Filters	1	Order	8
Lock-in	All	Data Transfer	1	Rate	220 kSa/s
Lock-in	All	Data Transfer	1	Enable	ON

现在我们可以按第 4.6 节所述来监控成像信号和线触发。打开“Plotter”选项卡并将解调器 R 信号以及 DIO 0 添加到绘图中。

表 3.31. 设置：在 Plotter 中测量成像信号和线触发

选项卡	子选项卡	部分	#	标签	设置/值/状态
Plotter	Control	Vertical Axis Groups		树状选择器	Demodulators/1/Sample/R
Plotter	Control	Vertical Axis Groups		树状选择器	Demodulators/1/Sample/DIO 0
Plotter	Control			Run / Stop	ON

Plotter 现在应该显示连续流传输的成像数据。在下图中，蓝色为解调器 R 信号，绿色为线触发信号，表示每条线的开始。光标表明一个线重复周期大约为 1.66 ms，接下来我们想捕获完整的图像帧，而不是将这些数据以连续流的形式显示在 Plotter 中。

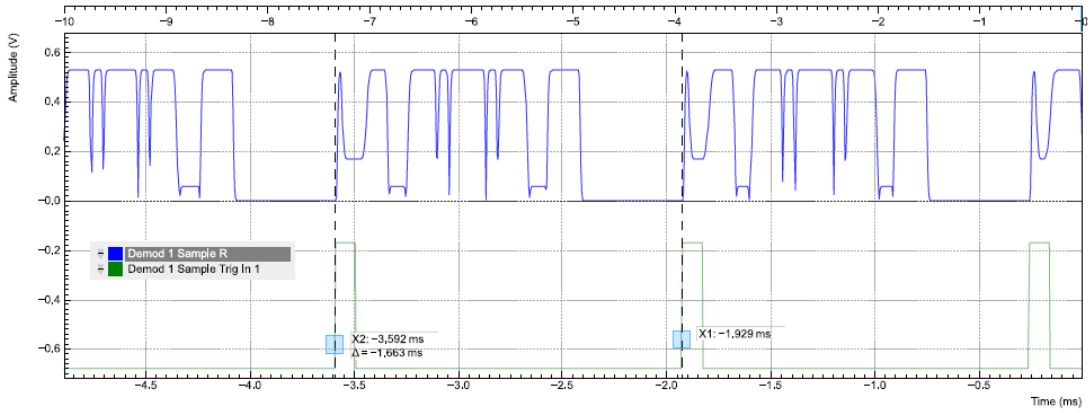


图 3.35. LabOne Plotter 中显示的成像信号（蓝色）和线触发（绿色）

3.10.5. 设置网格模式

第 4.8 节中介绍的 Grid Mode 工具适合用来捕捉图像。本节将介绍这个工具的配置。

网格模式下的 Data Acquisition 工具采集提供预定义行和列的二维数据集，这些行和列由每条线的触发时间、明确规定的线数和线持续时间定义。获取的数据流可以线性内插到每条线明确规定数量的数据点（例如像素）中，也可以在精确模式下以解调器的传输速率精确获取。此外，它还支持多帧求平均值。

这里我们选择 DIO 0 信号作为“Settings”子选项卡中的触发源。我们将延迟时间设置为 0 s，以确保在连续线之间不会丢失触发信号。通过改变延迟，我们可以补偿触发时间和线首之间可能出现的偏差，或者为线尾触发而非线首触发配置 Data Acquisition 工具。

在“Grid”子选项卡中，我们选择了一些行与我们在 AWG 上编程的内容相对应。在“Exact (on-grid)”模式下，我们选择的列数使得持续时间长到足以能捕捉一条线，但又比 1 个线触发周期短，因此 DAQ 工具可以针对每条新线重新激活。这里我们选择 N = 300 列，对应的持续时间为 T = 1.36 ms。这两个数字与解调器采样率 f_s = 220 kSa/s 相关，公式为 $T = N/f_s$。

最后，我们在“Control”子选项卡中选择 2D 显示，确保将解调器 1 R 作为显示信号添加，参见“纵坐标组”部分。“DAQ”选项卡还支持多通道采集，原因是可以记录相位或其他解调器等更多信号。下表汇总了相关设置。

表 3.32. 设置：设置网格模式

选项卡	子选项卡	部分	#	标签	设置/值/状态
DAQ	Settings	Trigger Settings		Trigger Signal	Demod 1 DIO 0
DAQ	Settings	Horizontal		Hold Off Time (s)	0 s
DAQ	Settings	Horizontal		Delay	0 s
DAQ	Grid	Grid Settings		Mode	Exact (on-grid)

选项卡	子选项卡	部分	#	标签	设置/值/状态
DAQ	Grid	Grid Settings		Columns	300
DAQ	Grid	Grid Settings		Duration	1.36 ms（在“Exact”模式下只读）
DAQ	Grid	Grid Settings		Rows	256
DAQ	Control	Time Domain		Plot Type	2D

为捕捉一个新的帧，我们短暂禁用 AWG。通过单击 Single 启用 Data Acquisition 工具，以采集具有之前规定好具体行数的一个单帧，然后再重启 AWG。下图显示了捕捉到的图像。获取的数据在“History”子选项卡中显示为一个条目，可从那里轻松保存下来。

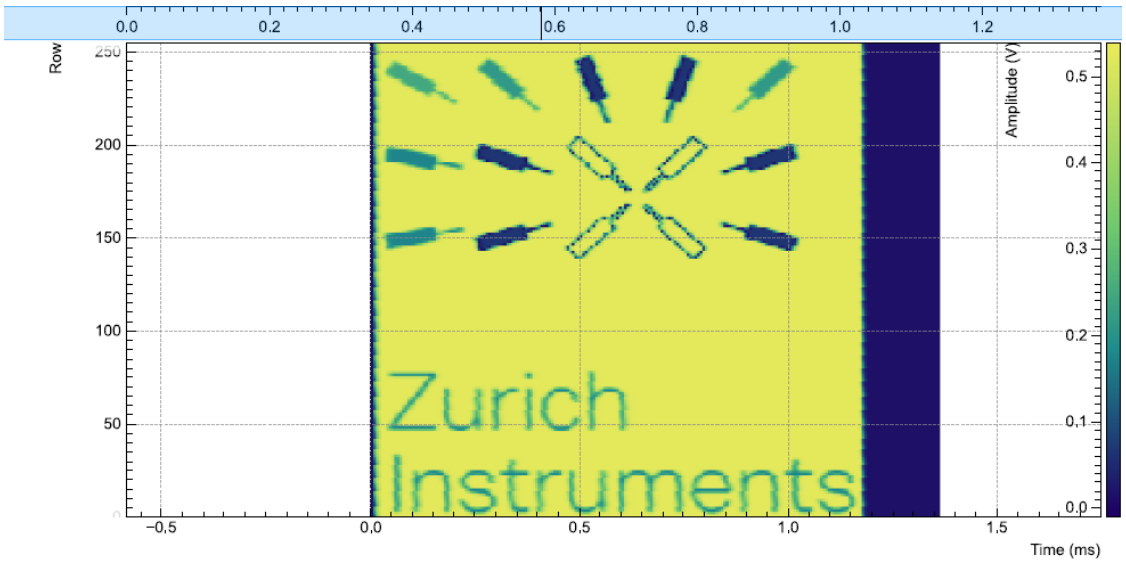


图 3.36. 网格模式下 LabOne Data Acquisition 工具捕捉到的 2D 图像

第 4 章 LabOne 用户界面的功能说明

本章详细介绍了瑞士苏黎世仪器 HF2LI 系列的 LabOne 用户界面 (UI) 中可用的功能。LabOne 提供一个数据服务器和一个网页服务器，支持通过任何最常见的网页浏览器（例如 Firefox、Chrome、Edge 等）来控制仪器。这种独立于平台的架构支持各种设备（PC、平板电脑、智能手机等）与仪器之间的交互，必要时，这些设备甚至可以一起使用。

除了获取和保存数据点等标准功能外，这个 UI 还提供各种测量工具，用于测量数据的时域和频域分析，以及便捷的伺服回路操作。

4.1. 用户界面概述

4.1.1. UI 命名法

本节概述了 LabOne 用户界面及其主要元素和命名约定。LabOne 用户界面是一个基于浏览器的 UI，是 HF2LI 系列仪器的主界面。它支持多个浏览器会话同时访问仪器，也支持在多个计算机屏幕上显示。与 UI 一样，仪器可由自定义程序来控制和读取，这些程序由各种受支持的语言（例如 LabVIEW、MATLAB、Python、C）编写，并通过 LabOne API 连接。

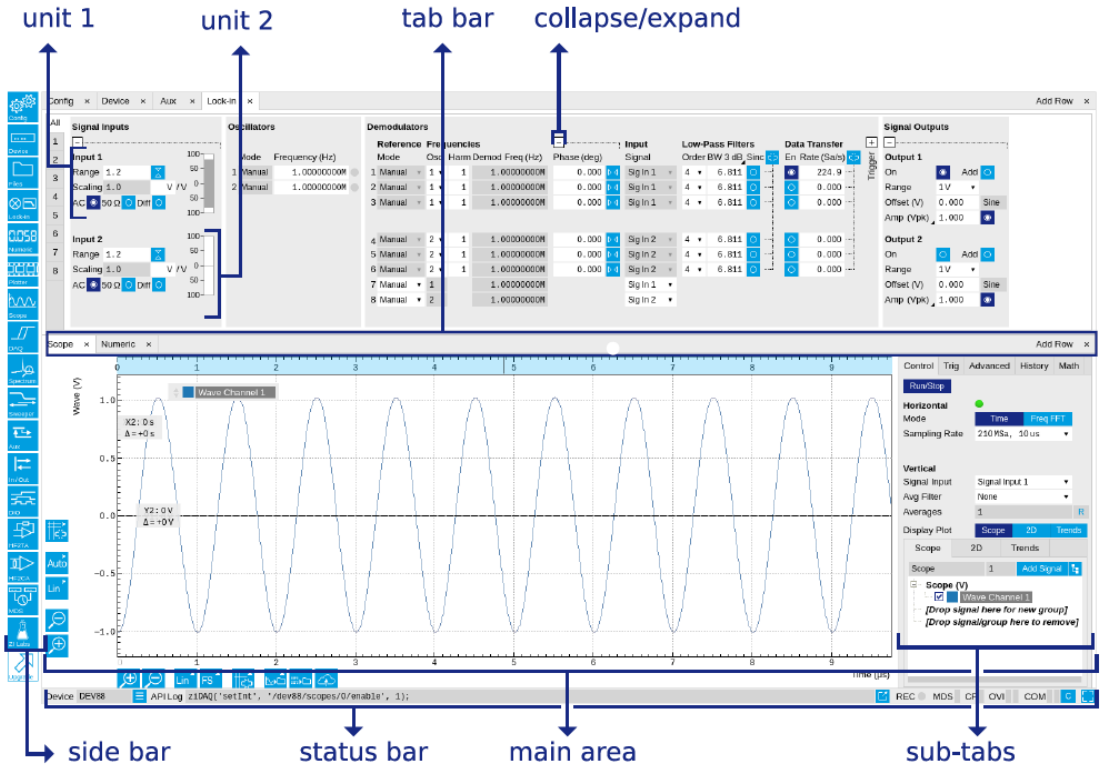


图 4.1. LabOne 用户界面（默认视图）

启动新的 UI 会话后，图 4.1 [LabOne 用户界面]会默认自动打开一些选项卡。UI 被默认分成两个选项卡行，每行均包含一个选项卡结构，可以访问不同的 LabOne 工具。根据显示大小和应用，可使用每个选项卡栏右侧的控件元素自由添加和删除选项卡行。同样，也可以从左侧的侧边栏中选择应用图标来删除或添加单个选项卡。单击图标可将相应的选项卡添加到屏幕中，也可以将图标拖放到其中一个选项卡行中。此外，还可以通过行内或行间拖放操作来替换选项卡。

表 4.1 简要说明了最重要 UI 项的命名约定。

表 4.1.LabOne 用户界面功能

项目名称	位置	说明	组成
侧边栏	UI 的左侧	包含每个可用选项卡的应用图标 — 单击图标可添加或激活活动选项卡行中的相应选项卡	应用图标
状态栏	UI 的底部	包含重要的状态指示灯、警告灯、设备和会话信息和命令日志访问入口	状态指示灯
主要区域	UI 的中间	包含所有活动选项卡 — 使用每个选项卡行右上角的控件元素可添加或删除新的行	选项卡行，每个选项卡行都由选项卡栏和活动选项卡区域组成
选项卡区域	每个选项卡的内部	包含每个选项卡的活动部分，包括设置、控件和测量工具	部分、绘图、子选项卡、单元选择

其他项目在图 4.2 中标记。

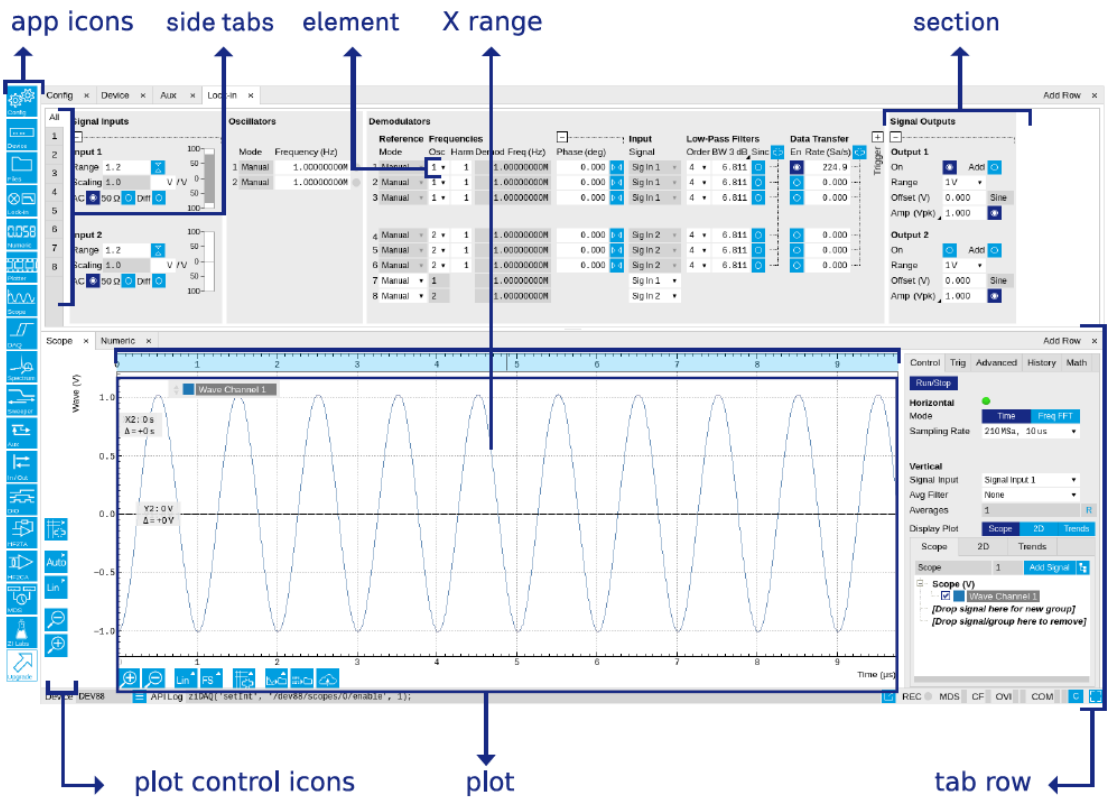


图 4.2. LabOne 用户界面（更多项目）

4.1.2. 独特的分析工具集

所有仪器都提供能够对原始信号和解调信号进行时域和频域分析的综合工具集。

UI 左侧的应用图标可大致分成两类：设置和工具。

设置有关的选项卡与仪器硬件直接连接，这样用户就可以控制所有的设置和仪器状态。

工具有关的选项卡主要用来显示和分析收集到的测量数据。

设置选项卡和工具选项卡之间没有严格的区分，例如“Sweeper”选项卡既可以改变一些解调器设置，也可以执行频率扫描。在工具中，通常可以进一步区分时域和频域分析工具。此外，快速输入信号的分析（典型采样率为 210 Msa/s）与较慢数据的数量级测量（典型采样率）之间的区别，就可能源自解调器输出和辅助输入。表 4.2 对这些工具进行了简单的划分。

表 4.2. 时域和频域分析工具

	时域	频域
快速信号 (210 MSa/s)	Oscilloscope（“Scope”选项卡）	FFT Analyzer（“Scope”选项卡）
慢速信号 (<200 kSa/s)	Numeric	Spectrum Analyzer（“Spectrum”选项卡）
	Plotter	Sweeper
	Data Acquisition	-

下表概述了所有应用图标。请注意，应用图标的选择可能取决于给定仪器上安装的升级选件。

表 4.3. 应用图标和简要说明概览

控件/工具	选项/范围	说明
Lock-in		快速纵览和访问关于信号生成及解调的所有设置和属性。
Lock-in MF		快速纵览和访问关于信号生成及解调的所有设置和属性。
Files		访问主机上的设置和测量数据文件。
Numeric		访问所有连续流传输的测量数据（数值形式）。
Plotter		以迹线形式显示一段时间内的各种连续流传输的测量数据（滚动模式）。
Scope		显示时域表示和频域表示 (FFT) 中的数据样本截图。
DAQ		为所有连续流传输的测量数据样本和时域显示提供复杂的触发功能。
Spectrum		为所有连续流传输的测量数据提供 FFT 功能。
Sweeper		扫描规定范围内的频率、电压及其他物理量，并显示包括统计运算在内的各种响应函数。
Aux		控制与辅助输入和辅助输出有关的所有设置。

控件/工具	选项/范围	说明
In/Out		允许访问仪器与前面板上的 Signal Inputs 和 Signal Outputs 相关的所有控制功能。
DIO		允许访问与数字输入和输出相关的所有控制功能，包括 Ref/Trigger 连接端口。
Config		提供对于软件配置的访问权限。
Device		提供特定于仪器的设置。
PID		提供 PID 控制器的所有控制、分析和模拟功能。
PLL		提供锁相环的所有控制、分析和模拟功能。
MOD		以振荡器频率的线性组合启用调制/解调的控制面板。
MDS		同步多个仪器。
HF2CA		远程控制 HF2CA 电流放大器。
HF2TA		远程控制 HF2TA 电流放大器。
ZI Labs		实验性设置及控件。

表 4.4 大致概述了不同的状态栏元素，并进行了简要说明。

表 4.4. 状态栏说明

控件/工具	选项/范围	说明
OVI	灰色/黄色/红色	信号输入过载 — 红色：表示信号输入发生过载，前面板上的红色 LED 也会显示过载情况。黄色：表示过去曾发生过载。
OVO	灰色/黄色/红色	信号输出过载 — 红色：表示信号输出发生过载。黄色：表示过去曾发生过载。
MOD	灰色/绿色	MOD — 绿色：指示启用哪个调制模块。
PID	灰色/绿色	PID — 绿色：指示启用哪个 PID 单元。红色：指示 PID 单元处于 PLL 或 ExtRef 模式，但未锁定。黄色：指示过去未锁定 PID 单元。
PLL	灰色/绿色	PLL — 绿色：指示启用哪个 PLL。
命令日志	最后一条命令	显示最后一条命令。可以在“config”选项卡中设置不同的格式（Matlab、Python 等）。该日志还保存在 [User]\Documents\Zurich Instruments \LabOne\WebServer\Log 中
Show Log		在单独的浏览器窗口中显示命令日志历史记录。
Errors	错误	在单独的浏览器选项卡中显示系统错误。
Device	devXXX	指示设备序列号。
Identify Device		激活时，设备 LED 灯闪烁
MDS	灰色/绿色/红色/黄色	多设备同步指示灯。灰色：没有设备同步 — UI 上只有一个设备。绿色：UI 上的所有设备均已正确同步。黄色：正在进行 MDS 同步，或者只同步所连设备的子集。红色：设备未同步或在 MDS 同步期间出错。

控件/工具	选项/范围	说明
REC	灰色/红色	指示灯呈红色表示正在进行数据记录（与“Config”选项卡中的全局记录设置相关）。
CF	灰色/黄色/红色	时钟故障 — 红色：表示外部 10 MHz 参考振荡器出现故障。黄色：表示过去曾发生故障。
COM	灰色/黄色/红色	数据包丢失 — 红色：表示设备与主机 PC 之间存在数据丢失情况。黄色：表示过去曾发生数据丢失。
COM	灰色/黄色/红色	样本丢失 — 红色：表示设备与主机 PC 之间存在样本数据丢失情况。黄色：表示过去曾发生样本数据丢失。样本丢失的原因可能是并行运行的示波器。
C		复位状态标志：清除状态标志的当前状态
Full Screen		切换浏览器的全屏模式和普通模式。

4.1.3. 绘图功能

一些工具以绘图的形式实现测量数据的图形显示。这些多功能工具具有缩放、平移和光标功能。本节介绍了一些主要工具。

绘图区域元素

绘图包括绘图区域、X 范围和范围控件。X 范围（位于绘图区域上方）通过蓝色缩放区域指示器来指示显示的是波的哪个部分。这两个范围显示了绘图的满量程，当绘图区域显示缩放视图时，该比例不会改变。但在使用缩放视图时，绘图区域的两个轴会改变。

绘图内的鼠标功能极大地简化并加快了数据查看和导航。

表 4.5. 绘图内的鼠标功能

名称	操作	说明	执行区域
平移	在任何位置单击左键并四处移动	移动波形	绘图区域
缩放 X 轴	鼠标滚轮	放大和缩小 X 轴	绘图区域
缩放 Y 轴	Shift 键 + 鼠标滚轮	放大和缩小 Y 轴	绘图区域
窗口缩放	Shift 键 + 鼠标左键进行区域选择	选择要放大的波形区域	绘图区域
缩放区域的绝对跳转	单击鼠标左键	移动蓝色缩放范围指示器	X 和 Y 范围，但在蓝色缩放范围指示器之外
缩放区域的绝对移动	鼠标左键拖放	移动蓝色缩放范围指示器	X 和 Y 范围，在蓝色范围指示器之内
满量程	双击	将 X 和 Y 轴设置为满量程	绘图区域

每个绘图区域都包含一个图例，其中列出了以相应颜色显示的所有信号。图例可以通过拖放操作移动到任何所需的位置。

X 范围和 Y 范围绘图控件在表 4.6 中进行了说明。

注释

LabOne 的 Net Link 功能可以很方便地将绘图数据导出到其他应用，例如 Excel 或 Matlab，有关详细信息，请参见“LabOne Net Link”。

表 4.6.绘图控件说明

控件/工具	选项/范围	说明
Axis scaling mode		在自动、满量程和手动轴缩放之间进行选择。
Axis mapping mode		在线性、对数和分贝轴映射之间选择。
Axis zoom in		将相应的轴放大为 2 倍。
Axis zoom out		将相应的轴缩小为 1/2。
Rescale axis to data		在所选缩放区域中重新缩放前景 Y 轴。
Save figure		将绘图区域或双绘图区域的 PNG、JPG 或 SVG 生成到本地下载文件夹。
Save data		生成由显示波或直方图数据组成的 CSV 文件（在启用直方图数学运算时）。选择满量程以保存完整波形。保存数据功能一次只保存一个截图（最后显示的波形）。
Cursor control		可用于开启/关闭光标，以及将光标设置为单独移动或一起移动。
Net Link		提供 LabOne Net Link 以在 Excel、Matlab 等工具中使用显示的波形数据。

光标和数学

绘图区域提供两个 X 光标和两个 Y 光标，它们在绘图区域内显示为虚线。分别拖放蓝色手柄即可选择和移动四个光标。每个轴都有一个表示其绝对位置的主光标和一个表示相对于主光标的绝对位置和相对位置的辅助光标。

光标存在绝对位置，该位置在平移或缩放事件中不会改变。如果光标位置移出绘图区域，则在绘图区域的边缘会显示相应的手柄。只要不移动手柄，光标就停在当前位置。此功能非常适用于确保高精度测量大增量（因为其他光标的绝对位置不会移动）。

光标数据还可用于定义对绘制数据执行的数学运算的输入数据。每个工具的“Math”子选项卡均提供此功能。表 4.7 概述了所有元素及其功能。所选的信号和操作仅应用于当前活动的迹线。

注释

LabOne 的 Net Link 功能可以很方便地将光标数据导出到其他应用，例如 Excel 或 MATLAB，有关详细信息，请参见“LabOne Net Link”。

表 4.7. 绘图数学说明

控件/工具	选项/范围	说明
Source Select		从输入源列表中选择数学运算的输入。
	Cursor Loc	将光标坐标作为输入数据。
	Cursor Area	将由光标位置定义的矩形内活动迹线的所有数据视为统计函数（Min、Max、Avg、Std）的输入。
	Tracking	在水平轴光标 X1 或 X2 的位置显示活动迹线的值。
	Plot Area	将当前显示在绘图中的活动迹线的所有数据视为统计函数（Min、Max、Avg、Std）的输入。
	Peak	查找数据中最多 5 个峰值的位置和电平。
	Trough	查找数据中最多 5 个谷值的位置和电平。
	Histogram	显示 x 轴范围内活动迹线数据的直方图。使用直方图作为统计函数（Avg、Std）的输入。 由于数据分箱处理，统计函数所产生的结果通常不同于“Plot Area”选项下的结果。
	Resonance	显示谐振频率的拟合曲线。
	Linear Fit	显示线性回归曲线。
Operation Select		从数学运算列表中选择要对所选源执行的运算。 列表选项取决于所选的源。
	Cursor Loc：X1、X2、X2-X1、Y1、Y2、Y2-Y1、Y2 / Y1	光标的位置、差值和比值。
	Cursor Area：Min、Max、Avg、Std	光标 X1 和 X2 之间的所有样本的最小值、最大值、平均值和偏置校正样本标准差。所有样本值也会一并显示在绘图中。
	Tracking：Y(X1)、Y(X2)、ratioY、deltaY	光标位置 X1 和 X2 处的跟踪值，以及这两个 Y 值的比值和差值。
	Plot Area：Min、Max、Pk Pk、Avg、Std	X 轴范围内的所有样本的最小值、最大值、最大值与最小值之差、平均值以及偏置校正样本标准差。
	Peak：Pos、Level	峰值（从最高峰值开始）的位置和电平。这些值也显示在绘图中以标识峰值。
	Histogram：Avg、Std、Bin Size（仅限“Plotter”选项卡：SNR、Norm Fit、Rice Fit）	使用 x 轴范围内的所有样本生成直方图。bin 大小由屏幕分辨率给出：1 像素 = 1 bin。通过该直方图，可计算平均值和偏置校正样本标准差（基本上假设 bin 中的所有数据点都位于其各自 bin 的中心）。当在“Plotter”选项卡中使用解调器或 Boxcar 信号时，另外会出现 SNR 估计和将统计分布拟合到直方图（正态分布和莱斯分布）的选项。

控件/工具	选项/范围	说明
	Resonance：Q、BW、Center、Amp、Phase、Fit Error	曲线与谐振器拟合。拟合边界由两个光标 X1 和 X2 确定。根据迹线的类型（Demod R 或 Demod Phase），利用洛伦兹函数或反正切函数拟合迹线。Q 是拟合曲线的品质因数。“BW”是拟合曲线的 3dB 带宽 (FWHM)。“Center”是中心频率。“Amp”指定幅值（仅限 Demod R），而“Phase”返回谐振中心频率的相位（仅限 Demod Phase）。“Fit Error”由归一化的均方根偏差指定。它按测量数据的范围归一化。
	Linear Fit：Intercept、Slope、R^2	使用 QR 分解例程执行简单的线性最小二乘回归。拟合边界由两个光标 X1 和 X2 确定。参数输出是 Y 轴截距、斜率和 R^2 值，R^2 值是确定拟合优度的决定系数。
Add	Add	将选定的数学函数添加到下方的结果表中。
Add All	Add All	将所选信号的所有运算添加到下方的结果表中。
Clear Selected	Clear	清除上方结果表中的选定行。
Clear All	Clear All	清除上方结果表中的所有行。
Copy	Copy	将选定行以 CSV 格式复制到剪贴板中
Unit Prefix		为 SI 单位添加合适的前缀，以提高可读性并增加显示的有效数字。
CSV	CSV	当前结果表的值将以文本文件的形式保存到下载文件夹中。
Net Link	Link	提供 LabOne Net Link 以在 Excel、Matlab 等工具中使用数据。
Help	Help	打开 LabOne 用户界面帮助。

注释

使用公式 $\sqrt{\frac{1}{N-1}\sum_{i=1}^{N}(x_i-\bar{x})^2}$ 计算标准偏差，该公式用于样本标准偏差的无偏置估计，共有 N 个样本 X_i 和算术平均值表示为 $\bar{x}$。上述公式用于计算 Histogram Plot Math 工具的标准差。如果是很多点（Cursor Area 和 Plot Area 工具），应使用更准确的 Pairwise 算法 (Chan et al., "Algorithms for Computing the Sample Variance:Analysis and Recommendations", The American Statistician 37 (1983), 242-247)。

注释

Resonance Plot Math 工具中使用的拟合函数取决于所选的信号源。解调器 R 信号采用以下函数进行拟合：

$$R(f) = C + A\frac{f}{\sqrt{f^2 + \left(\frac{Q}{f_0}\right)^2 (f^2 - f_0^2)^2}} \qquad (6)$$

其中 C 表示输出中可能存在的偏移，A 是幅值，Q 是品质因数，f_0 是中心频率。解调器 ϕ 信号采用以下函数进行拟合：

$$\phi(f) = tan^{-1}\left(Q\frac{1 - \left(\frac{f}{f_0}\right)^2}{\frac{f}{f_0}}\right) \qquad (7)$$

使用与上面一样的参数。

树状选择器

使用树状选择器即可通过选中应显示的信号方框来访问分层结构中的流传输测量数据。树状选择器还支持从多个仪器中选择数据（前提是有多个仪器）。根据工具的不同，树状选择器要么显示在单独的“Tree”子选项卡中，要么可以通过单击 来访问。

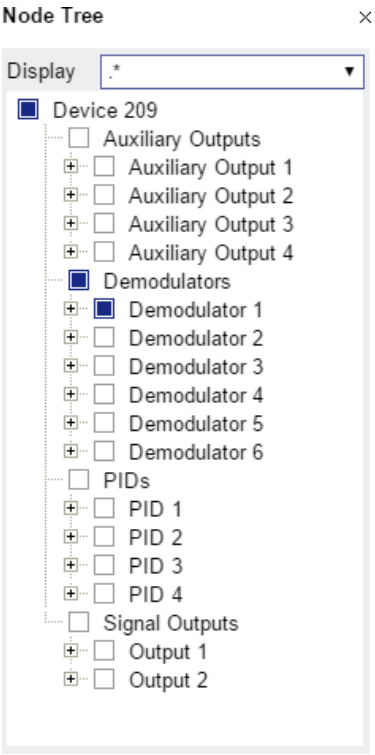


图 4.3. 提供“Display”下拉菜单的树状选择器

纵坐标组

在许多 LabOne 工具中，纵坐标轴组作为绘图功能的一部分提供。它们的作用是在同一绘图中处理具有不同轴属性的信号。单位不同的信号即使显示在同一绘图中，本身也具有独立的垂直尺度。然而，单位相同的信号最好使用一个尺度，以便进行定量比较。为此，信号被分配到特定的轴组。每个轴组都有自己的轴系。通过将一个或多个信号移动到一个新组中，可以更改此默认行为。

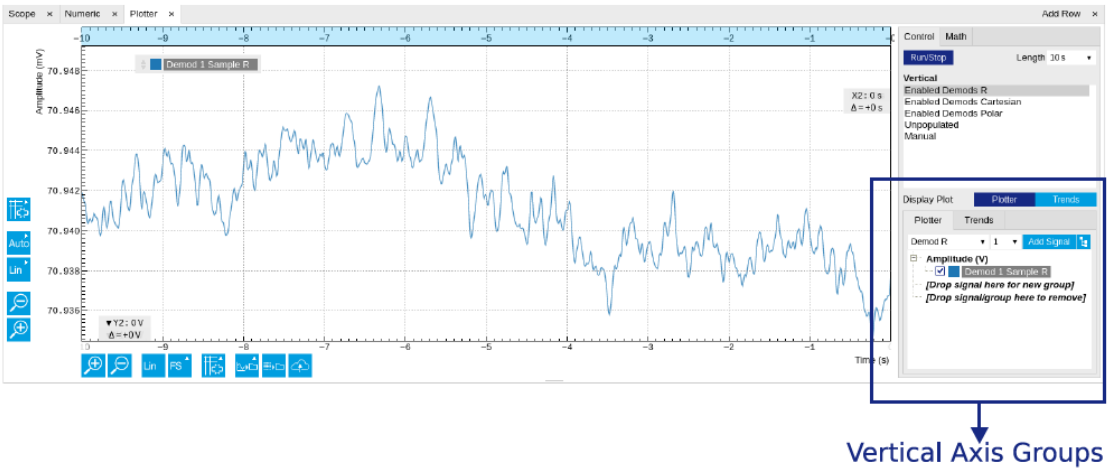


图 4.4. Plotter 工具中的纵坐标组

一次只能显示一个轴组的刻度标签。这是前景轴组。要定义前景组，请单击“Vertical Axis Groups”框中的一个组名称。当前的前景组使用的是对比明显的颜色。

选择前景组	单击“Vertical Axis Groups”内的信号名称或组名称。如果组为空，则不执行选择操作。
拆分默认纵坐标组	将信号拖放到字段 *[Drop signal here to add a new group]_。该信号现在将拥有自己的轴系。
更改信号的纵坐标组	通过拖放将信号从一组移动到单位相同的另一组。
分组	如果一个组包含多个信号并且其中一些信号的单位发生变化，则该组将根据不同的新单位分成几个组。
删除组中的信号	要删除组中的信号，可以将信号拖放到“Vertical Axis Groups”框之外的位置。
删除纵坐标组	自定义组的最后一个信号被删除后，该组也将立即被删除。默认组将保持活动状态，直到通过拖放将其明确删除。如果添加了与组属性匹配的新信号，它将被再次添加到此默认组中。这会确保默认组的设置不会丢失，除非被明确删除。
重命名纵坐标组	新组的默认名称为“Group of …”。可以通过双击组名称来更改此名称。
隐藏/显示信号	取消选中/选中信号的复选框。这比再次从树中获取信号要快。

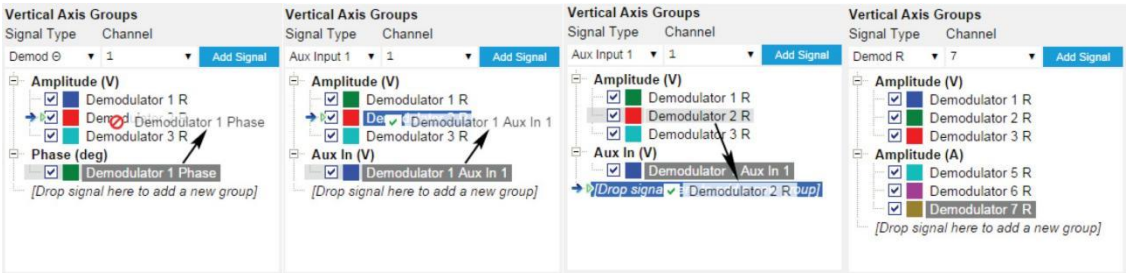


图 4.5. 纵坐标组典型的拖放动作。

表 4.8.“Vertical Axis Groups”说明

控件/工具	选项/范围	说明
Vertical Axis Group		管理共享公共纵坐标的信号组。通过更改复选框状态来显示或隐藏信号。通过将信号拖放到字段 [Drop signal here to add new group] 可拆分组。通过将信号拖动到空闲区域可移除信号。 通过编辑组标签可对组进行重命名。所选组的轴刻度标签显示在绘图中。活动波形（选定）的光标元素将添加到“Cursor Math”选项卡中。
Signal Type	Demod X、Y、R、Theta	选择纵坐标组的信号类型。
	Frequency	
	Aux Input 1、2	
	HW Trigger	
Channel	整数值	选择要添加的通道。
Add Signal	Add Signal	向绘图中添加信号。该信号将被添加到默认组中。可以通过拖放操作将该信号移至其所属的组中。组中的所有信号都共享一个公共的 y 轴。选择一个组以将其轴置于前景并显示其标签。
Window Length	2 s 到 12 h	窗口内存深度。如果数值大于 10 s，采样率较高的信号可能会占用过多的内存。自动缩放或平移会刷新显示，仅考虑所定义窗口长度内的数据。

趋势

Trends 工具让用户可以监控信号特征随时间的演化，例如最小值和最大值，或平均值和标准差。此功能可用于“Scope”、“Spectrum”、“Plotter”和“DAQ”选项卡。通过 Trends 功能可以监控在相应选项卡的“Math”子选项卡中获得的所有参数。

Trends 工具让用户可以分析在不同的、可调整的时间尺度上记录的数据，这种时间尺度比快速采集测量信号的时间要长得多。它避免了对记录信号进行后期处理，从而节省了时间，而且由于它实时提取和显示测量结果，有利于对实验参数进行微调。

要激活趋势图，请启用相应主选项卡的“Control”子选项卡中的“Trends”按钮。可以从“Vertical Axis Groups”部分的“Trends”子选项卡中将各种信号特征添加到绘图中。“Trends”的纵坐标组有自己的“Run/Stop”按钮和“Length”设置，与选项卡的主绘图没有关联。由于“Math”量来自主绘图中的原始信号，因此趋势图仅与主绘图一起显示。“Trends”功能仅在 LabOne 用户界面中可用，在 API 上不可用。

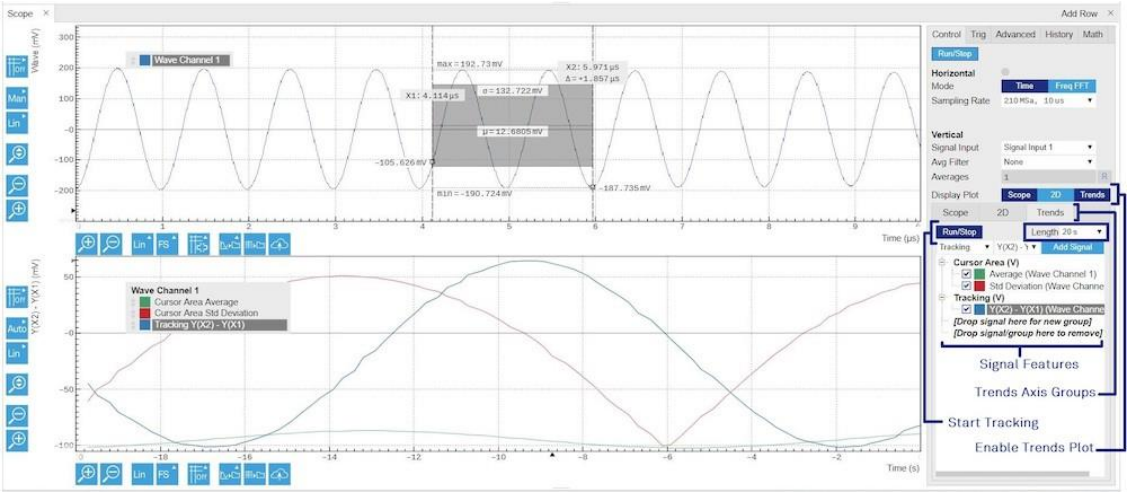


图 4.6. 上图：“Scope”选项卡显示信号迹线的主绘图。下图：对应的趋势图跟踪从主绘图中光标位置得出的平均值、标准差和差分信号。

4.2. 保存和加载数据

4.2.1. 概述

在本节中，我们将讨论如何使用 HF2LI 系列仪器和 LabOne 用户界面来保存和记录测量数据。在 LabOne 用户界面中，有 3 种保存数据的方式：

- 保存当前在绘图中显示的数据
- 后台连续记录数据
- 在“History”子选项卡中保存迹线数据

此外，“History”子选项卡支持加载数据。下面，我们将解释这些方法。

4.2.2. 保存绘图中的数据

要快速保存任何绘图中的数据，请单击绘图底部的保存 CSV 图标，将当前显示的曲线作为逗号分隔值 (CSV) 文件存储到 Web 浏览器的下载文件夹中。单击 即可保存图形文件。

4.2.3. 记录数据

记录功能允许您连续存储测量数据，以及跟踪一段时间内的仪器设置。按照第 4.14 节的说明，您可以访问此功能的主要设置。“Format”选择器定义使用哪种格式：HDF5、CSV 或 MATLAB。可以在“User Preferences”部分更改 CSV 分隔符。默认选项是“Semicolon”。

“Record Data”部分的节点树显示允许您浏览不同的测量数据和仪器设置，并选择要记录的数据。例如，解调器 1 的测量数据可通过以下形式的路径来访问：Device 0000/Demodulators/Demod 1/Sample。仪器设置的一个示例是滤波器时间常数，可通过以下路径来访问：Device 0000/Demodulators/Demod 1/Filter Time Constant。

默认存储位置是“LabOne Data”文件夹，例如可以通过打开文件夹按钮 访问。每当写入文件时，都会在“Folder”字段中显示确切的路径。

单击“Record”复选框，将开始记录到硬盘。对于解调器和 Boxcar 数据，请确保启用相应的数据流，否则将不会有任何数据保存下来。

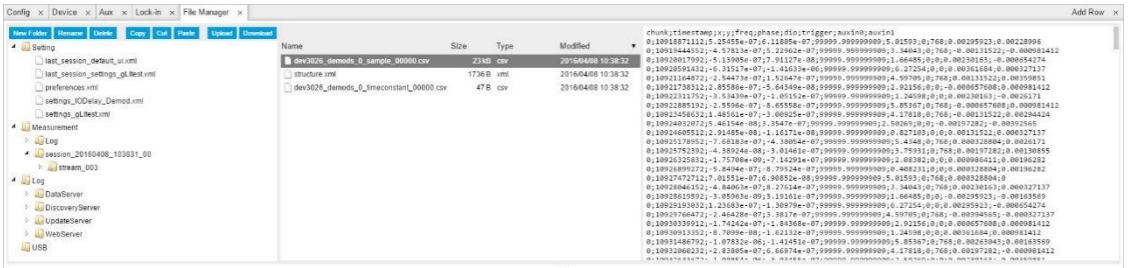


图 4.7. 在“LabOne File Manager”选项卡中浏览和检查文件

如果选择 HDF5 或 MATLAB 作为文件格式，LabOne 将创建一个包含全部选定节点数据的文件。对于 CSV 格式，从一开始就为每个选定节点创建至少一个文件。在可配置的时间间隔内，可以

创建新的数据文件，但文件的大小上限约为 1 GB，以便于数据处理。存储位置会显示在“Record Data”部分的“Folder”字段中。

第 4.16 节清楚介绍了如何检查 CSV 数据文件。选项卡左侧的文件浏览器允许您导航到数据文件的位置，并提供管理“LabOne Data”文件夹结构中文件的功能。此外，您可以使用“Upload/Download”按钮在文件夹结构和首选位置之间方便地传输文件。选项卡右侧的文件查看器显示不超过特定大小限制的文本文件的内容。图 4.7 显示记录解调器样本和滤波器时间常数几秒后的“Files”选项卡。该文件查看器显示解调器数据文件的内容。

注释

包含仪器设置的文件和包含流传输数据的文件，两者结构相同。流传输数据文件每个采样周期包含一行，但若是仪器设置，文件通常只包含几行，每次更改设置才有一行。有关文件结构的更多信息可以参见 LabOne 编程手册。

4.2.4. 历史记录列表

第 4.10 节、第 4.8 节、第 4.7 节、第 4.9 节等包含历史记录列表的选项卡支持功能保存、自动保存和加载功能。这些工具中的绘图区域默认显示最近 100 次测量（即取决于工具、扫描迹线、示波器截图、DAQ 数据集或频谱），并且每次测量都表示为“History”子选项卡中的列表条目。每个列表条目的左侧按钮控制绘图中对应迹线的可见性；右侧按钮控制迹线的颜色。[1]双击列表条目可以对其重新命名。可通过 Save All 保存历史记录列表中的所有测量。单击 Save Sel 按钮（请注意下拉按钮 ▼）仅保存鼠标单击选定的迹线。按住 Control 或 Shift 键的同时单击鼠标，选择多个迹线。使用打开文件夹按钮 访问文件位置。图 4.8 说明了其中部分功能。图 4.8 说明了数据加载功能。

[1] 在上述工具中，Scope 工具是个例外：它显示的是最新采集情况，而且显示颜色固定不变。不过，“Persistence”功能表示一种更专业的多迹线显示功能。

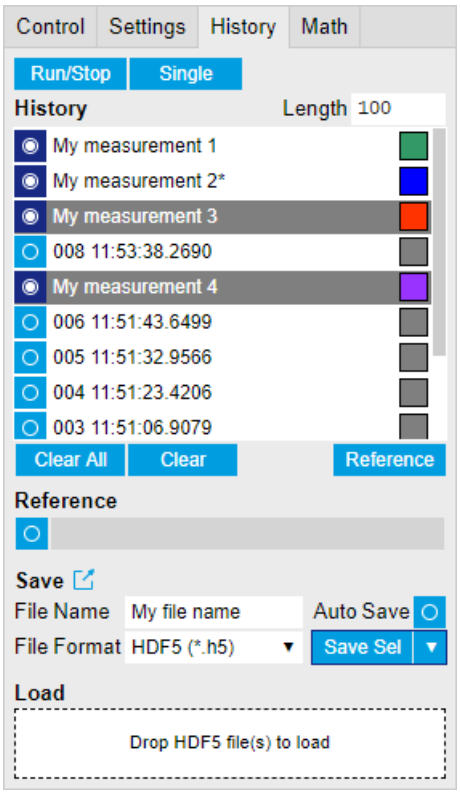


图 4.8.“History”子选项卡功能。用户可重新命名“My measurement 1”等条目。测量 1、2、3、4 当前显示在绘图中，原因是它们各自的左侧按钮已经启用。点击“Save Sel”会将“My measurement 3”和“My measurement 4”保存到文件中，因为这些条目通过 Control 键 + 鼠标点击操作选中（灰色覆盖）。

保存哪些量取决于有哪些信号已添加到“**Control**”子选项卡中的“Vertical Axis Groups”部分。“Lock-in”选项卡中只有启用了“Data Transfer”的解调器的数据才能保存在文件中。

“History”子选项卡具有自动保存功能，可在工具运行时持续存储测量结果。自动保存目录与普通保存目录有所不同，其名称中有“autosave”文字，例如 sweep_autosave_000。在激活“Autosave”的情况下连续运行工具（Run/Stop 按钮），那么当前测量（历史记录条目）完成后就会保存历史记录中的所有测量。每次覆盖同一个文件，意味着一旦达到历史记录“Length”设置定义的限制，以前的测量就会丢失。在激活“Autosave”的情况下执行单次测量（Single 按钮），每次测量后，历史记录列表中的元素都会以递增计数的方式保存到一个新的目录中，例如 sweep_autosave_001、sweep_autosave_002。

以 HDF5 文件格式保存的数据可以重新加载到历史记录列表中。加载迹线在用户界面的历史记录条目中的名称有一个前缀“loaded”。标题数据中的 createdtimestamp 信息标记了测量数据的时间。

- 只能加载通过“History”子选项卡中的“Save”按钮创建的文件。
- 加载文件时，文件中保存的所有历史记录条目会添加到历史记录列表中。以前的条目保存在列表中。
- 如果文件中的数据与工具中“Vertical Axis Group”部分的当前设置匹配，那么这些数据仅显示在绘图中。Sweeper 中的加载（例如 PID 数据）不会显示出来，除非它已在“Control”子选项卡被选定。

— 只有保存和加载数据的设备属于同一个产品系列才能加载文件。数据路径将根据加载数据的设备 ID 设置。

图 4.9 说明了数据加载功能。

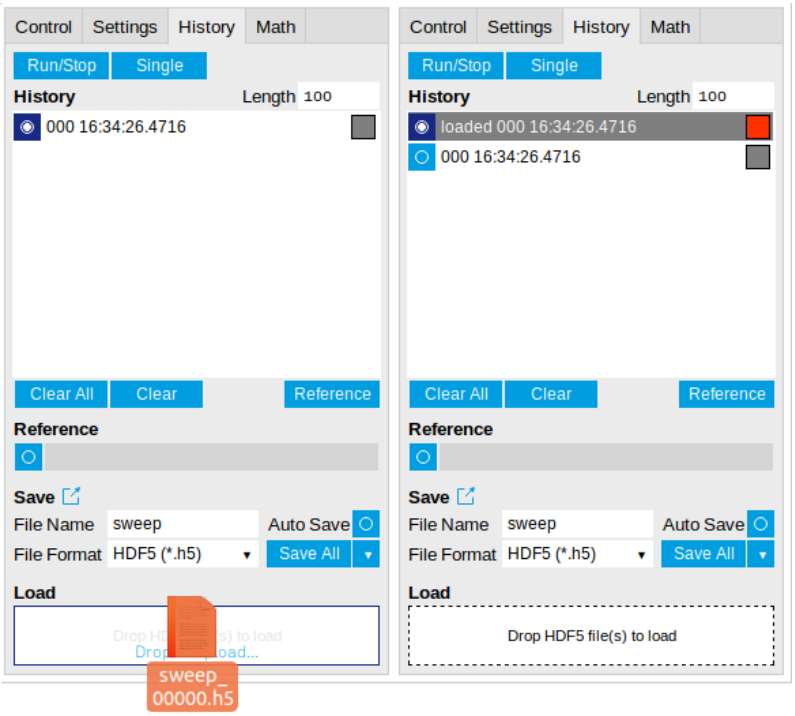


图 4.9. 历史记录数据加载功能。图中的文件 sweep_00000.h5 通过拖放加载。加载数据会被添加到历史记录列表的测量中。

4.2.5. 支持的文件格式

HDF5

层级数据文件 5 (HDF5) 是一种广泛使用且可节省内存的结构性二进制开放文件格式。可以使用专用查看器 HDFview 查看这种格式的数据。HDF5 库或导入工具可用于 Python、MATLAB、LabVIEW、C、R、Octave、Origin、Igor Pro 等。以下示例说明了如何使用 Python 中的 h5py 库访问从扫描中获得的解调器数据：

```
import h5py
filename = 'sweep_00000.h5'
f = h5py.File(filename, 'r')
x = f['000/dev3025/demods/0/sample/frequency']
```

LabOne 的数据加载功能支持 HDF5 格式的文件，不支持其他格式。

MATLAB

MATLAB 文件格式 (.mat) 是 MathWorks 基于 HDF5 开放文件格式的专有文件格式。因此，它具有与 HDF5 格式相似的属性，但在支持向 MATLAB 以外的第三方软件导入 .mat 文件时通常不如支持导入 HDF5 文件。

SXM

SXM 是 Nanonis 用于 SPM 测量的专有文件格式。

4.2.6. LabOne Net Link

测量和光标数据可以作为 CSV 数据从浏览器下载。这样即可在任何支持 CSV 文件格式的应用中进一步处理。由于数据内部存储在 Web 服务器上，因此其他应用可直接通过访问服务器来读取它。大多数的最新软件都支持通过互联网从网页或 CSV 文件导入数据。这样即可在许多应用中自动导入和刷新数据集。要执行导入，应用需要知道加载数据的地址。此链接由 LabOne 用户界面提供。以下章节举例说明了如何将数据导入一些常用应用。

发送到应用的 CSV 数据是发送请求时 Web 服务器上数据集的快照。许多应用支持手动或定期刷新功能。

由于选项卡可以在同一个用户界面中多次实例化，因此该链接是它从中获取数据的选项卡的特定链接。更改 LabOne 用户界面上的会话或删除选项卡可能会使链接无效。

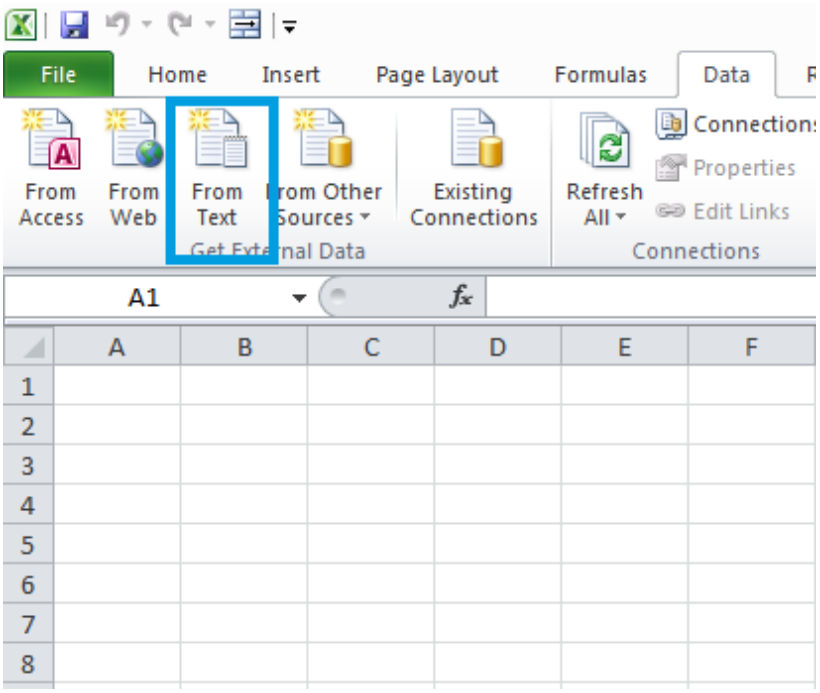
支持的应用：

- “Excel”部分
- “MATLAB”部分
- “Python”部分
- “C#.NET”部分
- “Igor Pro”部分
- “Origin”部分

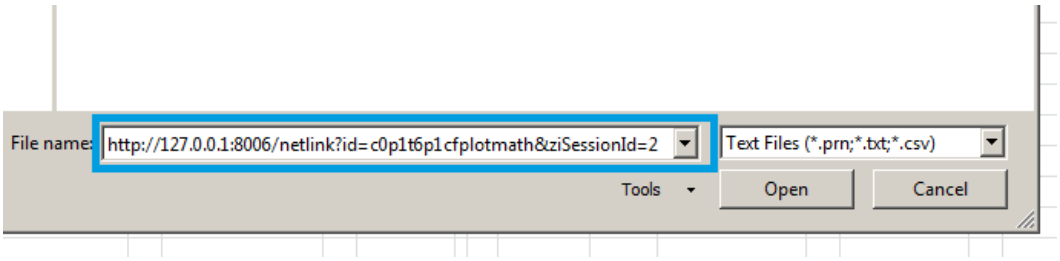
Excel

这些说明适用于 Excel 2010（英文版）。其他版本的程序可能有所不同。

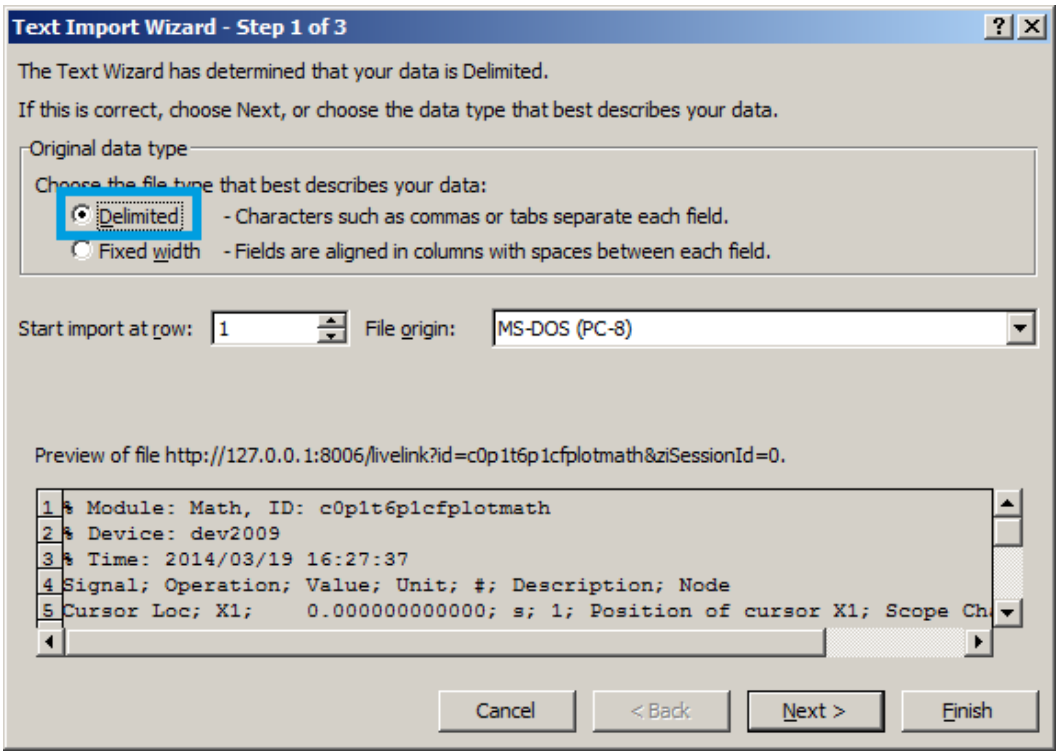
1. 在 Excel 中，单击要放置数据的单元格。从“Data”功能区中，单击“From Text”图标。将出现“Import Text File”对话框。



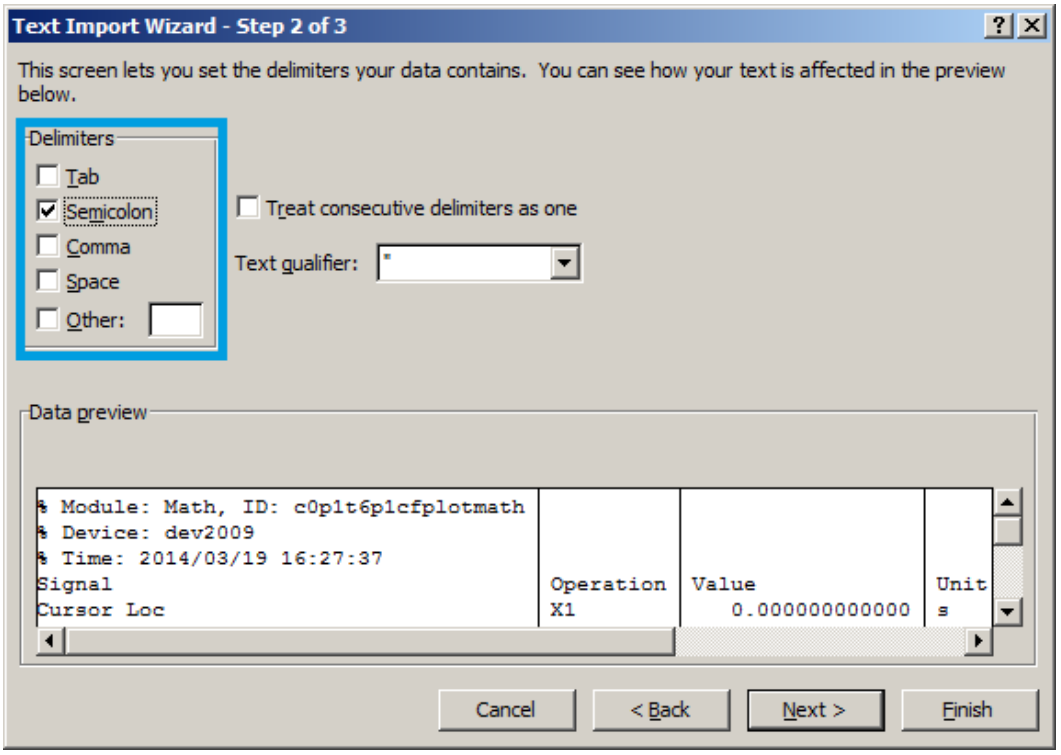
2. 在 LabOne 中，单击相应的“Math”选项卡的“Link”按钮。将选定文本从“LabOne Net Link”对话框复制到剪贴板（使用 Ctrl-C 或右键单击并选择“Copy”）。



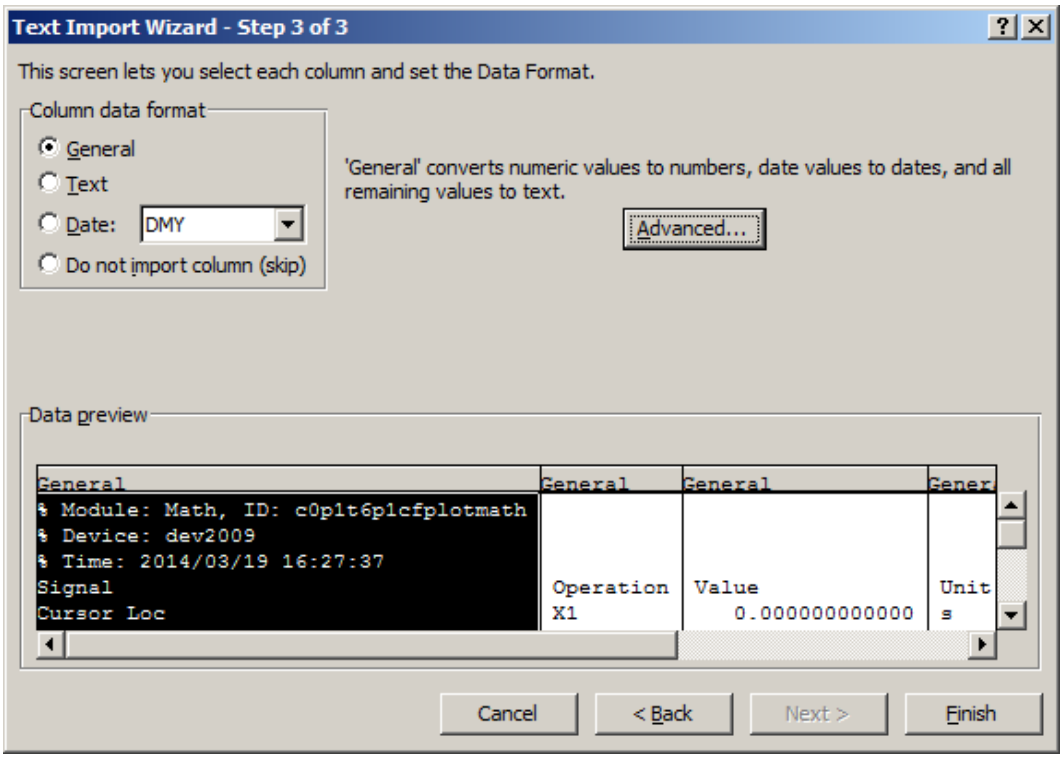
3. 在 Excel 中，将链接粘贴到“Import Text File”对话框的“File name”输入字段中，然后单击“Open”按钮。这将启动文本导入向导。确保选中“Delimited”按钮，然后单击“Next”按钮。



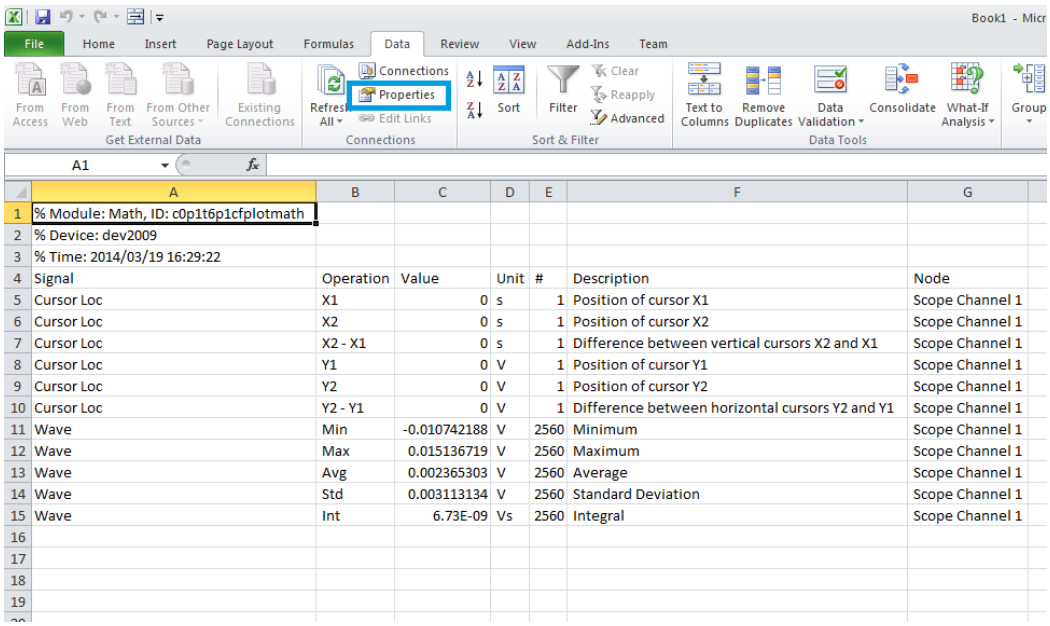
4. 在下一个对话框中，选择与 LabOne 中选定的分隔符相对应的分隔符（可以在“Config”选项卡的“Sessions”部分找到）。默认为分号。单击“Next”按钮。



5. 在下一个对话框中，单击“Finish”，然后在“Import Data”对话框中单击“OK”。“Math”选项卡中的数据现在将出现在 Excel 工作表中。

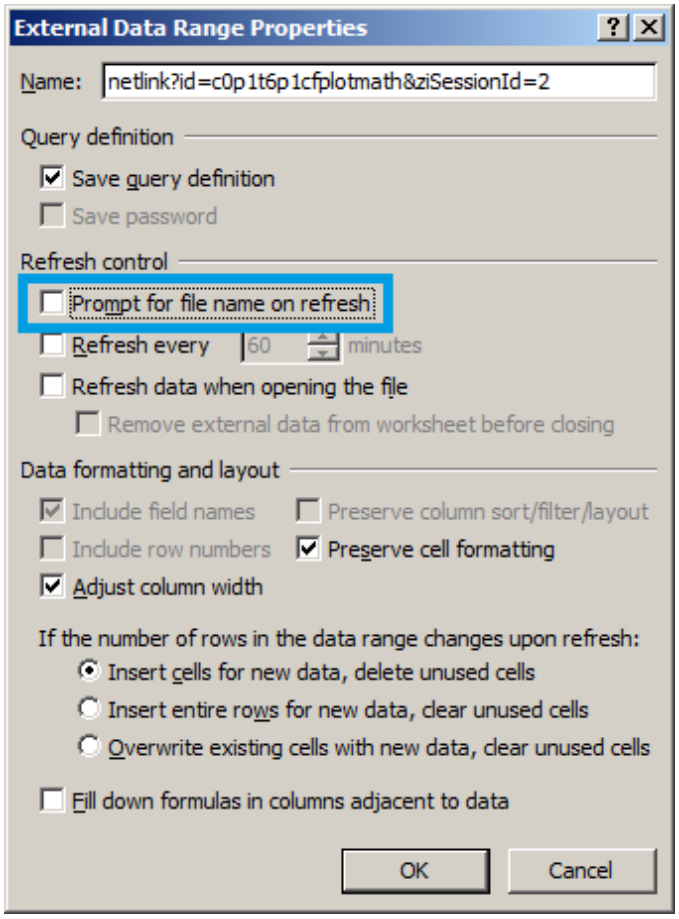


6. 单击“Refresh All”图标可以更新工作表中的数据。要使数据更新更容易，可单击“Properties”取消“Import text file”对话框。



	A	B	C	D	E	F	G
1	% Module: Math, ID: c0p1t6p1cfplotmath						
2	% Device: dev2009						
3	% Time: 2014/03/19 16:29:22						
4	Signal	Operation	Value	Unit	#	Description	Node
5	Cursor Loc	X1	0	s	1	Position of cursor X1	Scope Channel 1
6	Cursor Loc	X2	0	s	1	Position of cursor X2	Scope Channel 1
7	Cursor Loc	X2 - X1	0	s	1	Difference between vertical cursors X2 and X1	Scope Channel 1
8	Cursor Loc	Y1	0	V	1	Position of cursor Y1	Scope Channel 1
9	Cursor Loc	Y2	0	V	1	Position of cursor Y2	Scope Channel 1
10	Cursor Loc	Y2 - Y1	0	V	1	Difference between horizontal cursors Y2 and Y1	Scope Channel 1
11	Wave	Min	-0.010742188	V	2560	Minimum	Scope Channel 1
12	Wave	Max	0.015136719	V	2560	Maximum	Scope Channel 1
13	Wave	Avg	0.002365303	V	2560	Average	Scope Channel 1
14	Wave	Std	0.003113134	V	2560	Standard Deviation	Scope Channel 1
15	Wave	Int	6.73E-09	Vs	2560	Integral	Scope Channel 1
16							
17							
18							
19							

7. 取消选中“Prompt for file name on refresh”复选框。



MATLAB

通过将“LabOne Net Link”对话框中的链接文本复制到剪贴板，可以在 MATLAB 中使用以下代码片段来读取数据。

```
textscan(urlread(clipboard('paste')),'%s%s%f%s%d%s%s','Headerlines',
  4,'Delimiter', ';')
```

Python

在 Python 2 中，可以使用以下代码片段来读取 LabOne Net Link 数据，其中“url”被分配给从“LabOne Net Link”对话框复制的文本。

```
import csv
import urllib2
url = "http://127.0.0.1:8006/netlink?id=c0p5t6p1cfplotmath&ziSessionId=0"
webpage = urllib2.urlopen(url)
datareader = csv.reader(webpage)
data = []
for row in datareader:
    data.append(row)
```

C#.NET

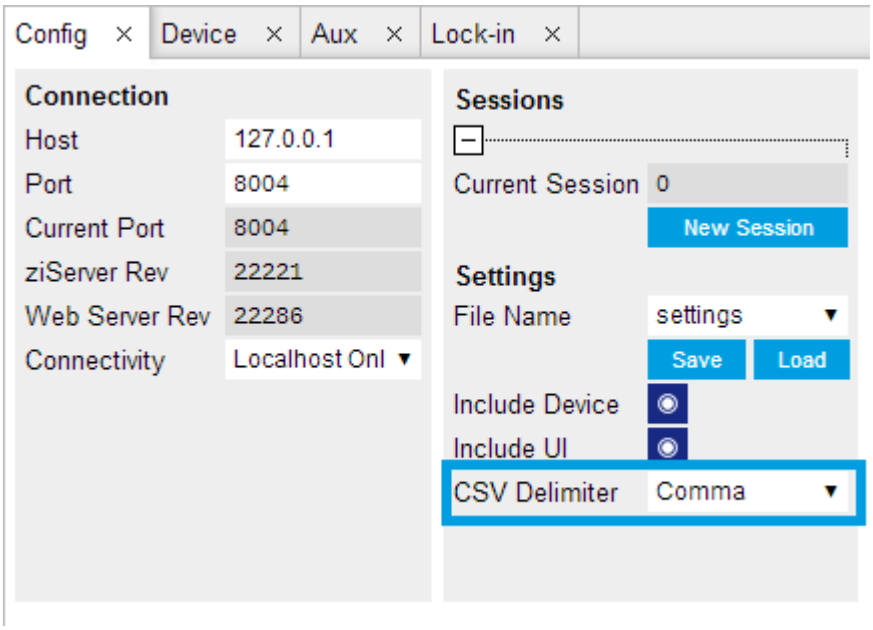
.NET Framework 提供了一个 WebClient 对象，可用于向 LabOne WebServer 发送 Web 请求并下载 LabOne Net Link 数据。可以通过在逗号边框处拆分数据来解析具有逗号分隔内容的字符串。

```
using System;
using System.Text;
using System.Net;
namespace ExampleCSV
{
    class Program
    {
        static void Main(string[] args)
        {
            try
            {
                WebClient wc = new WebClient();
                byte[] buffer = wc.DownloadData("http://127.0.0.1:8006/netlink?
id=c0p1t6p1cfplotmath&ziSessionId=0");
                String doc = Encoding.ASCII.GetString(buffer);
                // Parse here CSV lines and extract data
                // ...Console.WriteLine(doc);
            } catch (Exception e) {
                Console.WriteLine("Caught exception: " + e.Message);
            }
        }
    }
 }
```

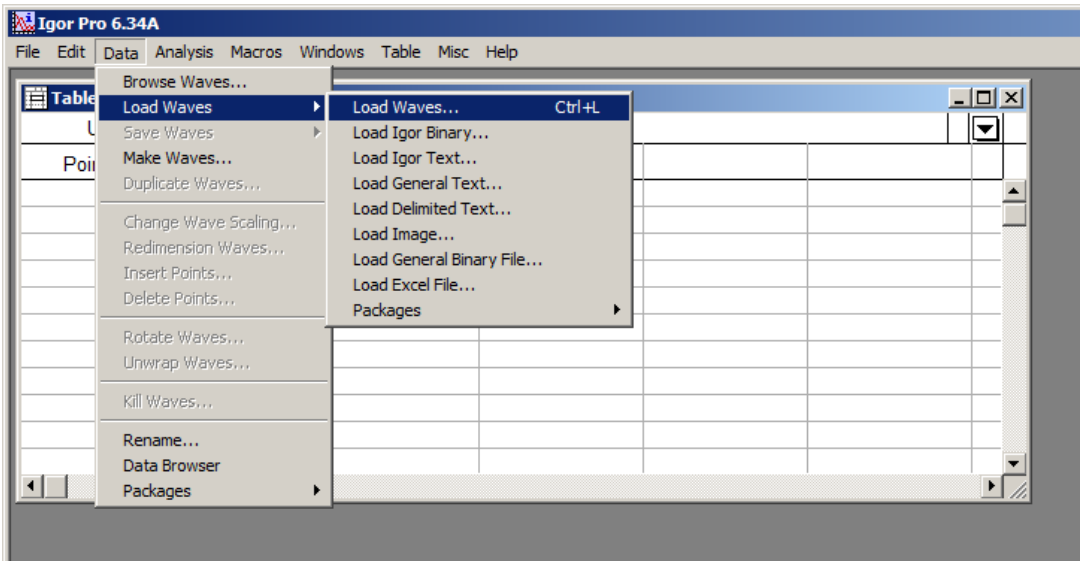
Igor Pro

这些说明适用于 Igor Pro 6.34A（英文版）。其他版本的程序可能有所不同。

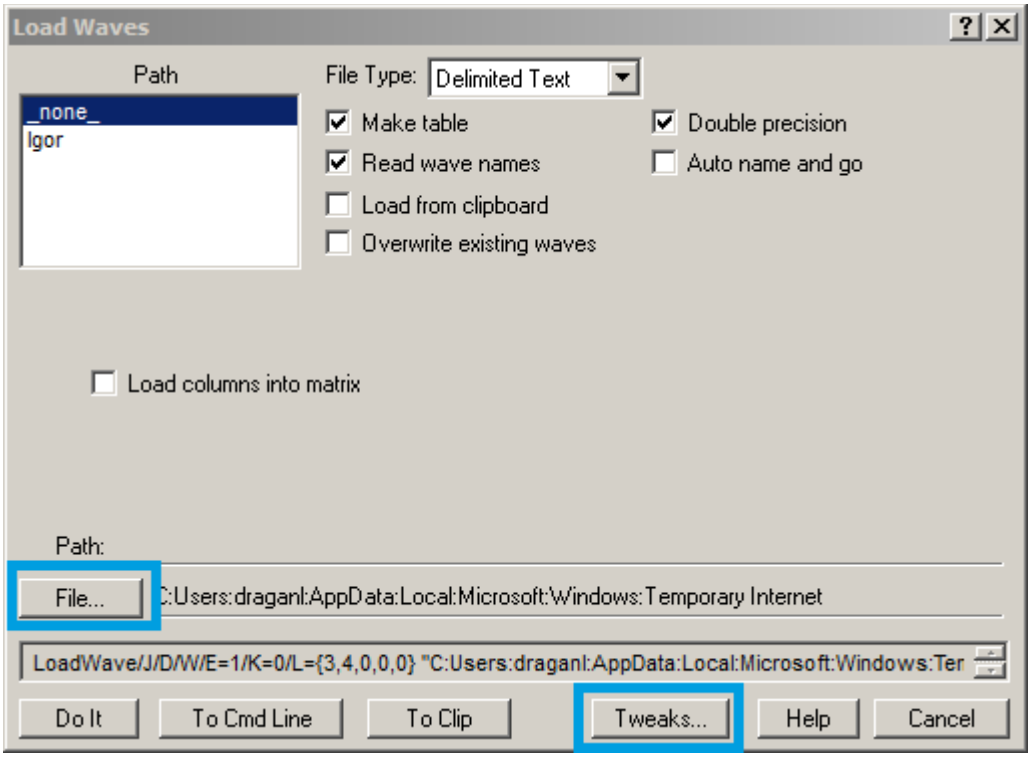
1. 对于 Igor Pro，CSV 分隔符必须是逗号。在 LabOne 的“Config”选项卡中进行如下设置：



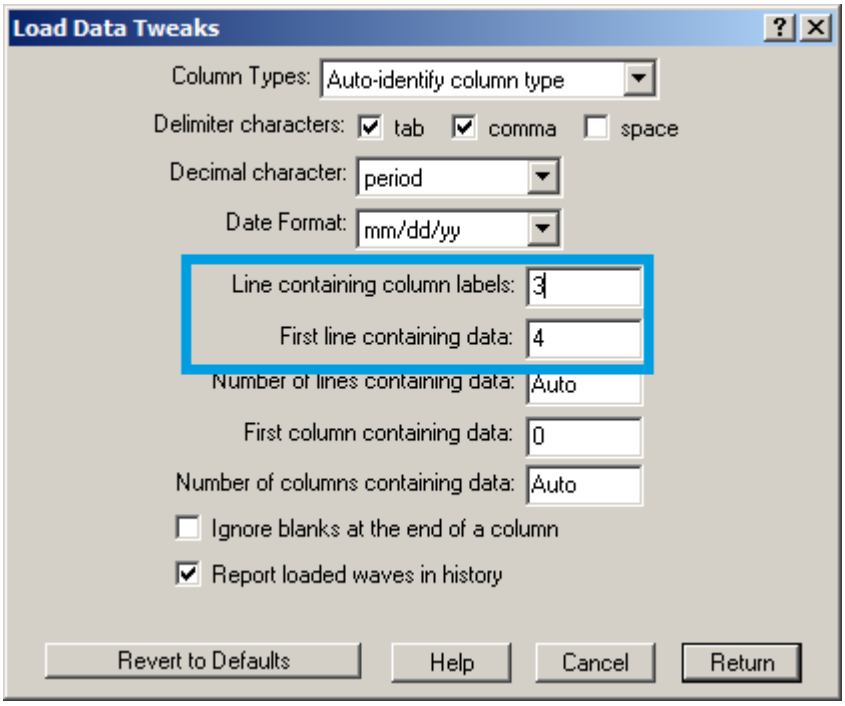
2. 在 Igor Pro 中，选择菜单“Data→Load Waves→Load Waves...”。



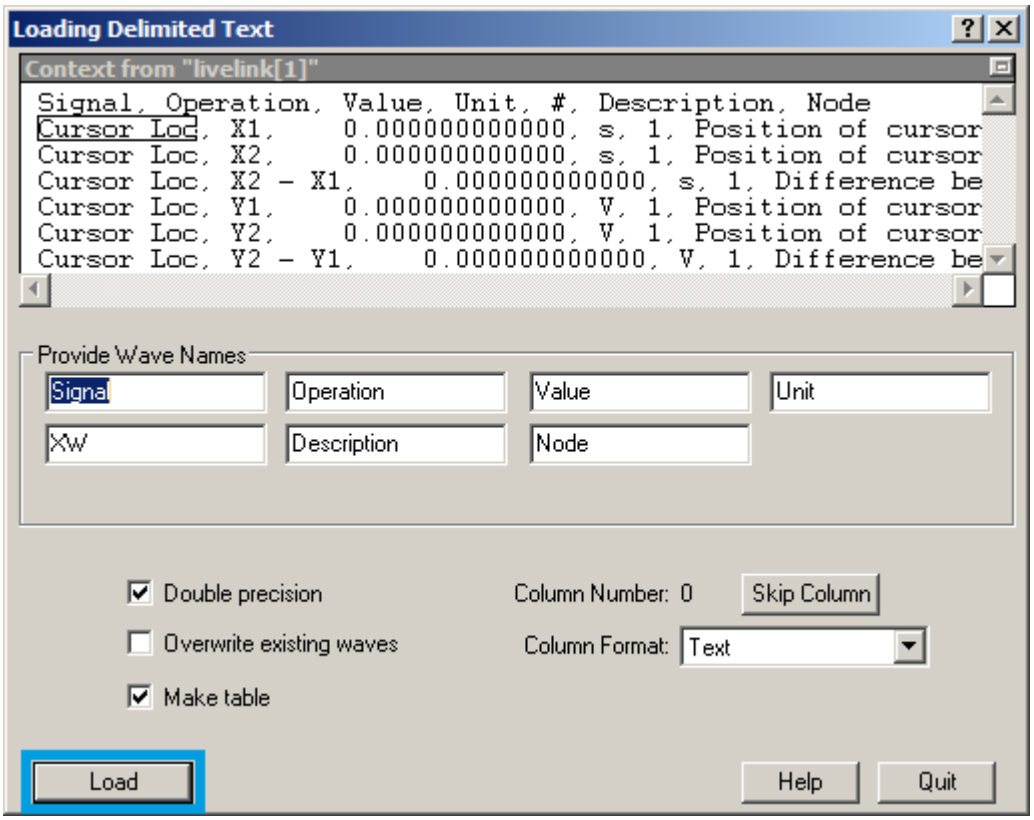
3. 在“Load Waves”对话框中，单击“File...”按钮并将“LabOne Net Link”对话框中的链接文本粘贴到输入字段中。然后单击“Tweaks...”按钮打开“Load Data Tweaks”对话框。



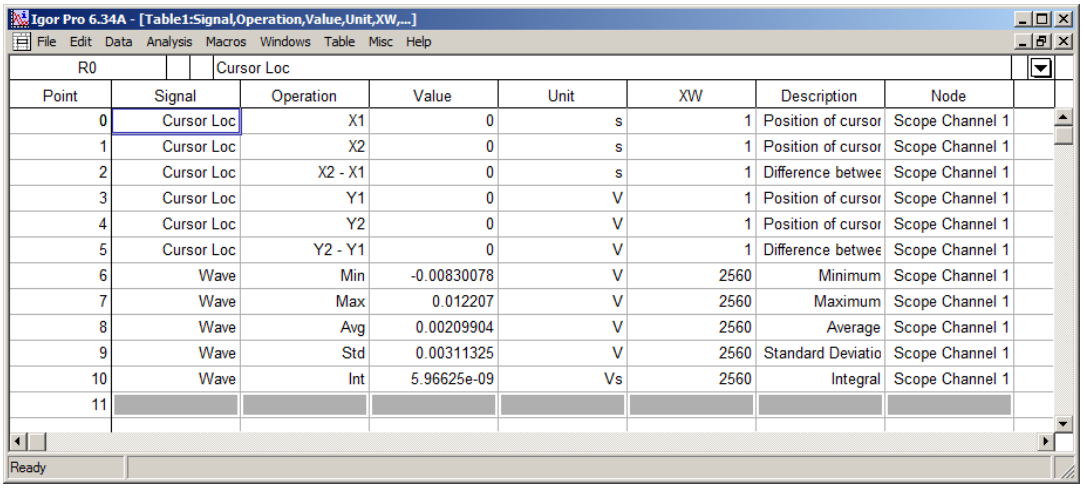
4. 调整下面突出显示的值，然后单击“Return”。将出现“Loading Delimited Data”对话框。



5. 单击“Load”按钮来读取数据。



6. 数据将出现在 Igor Pro 主窗口中。

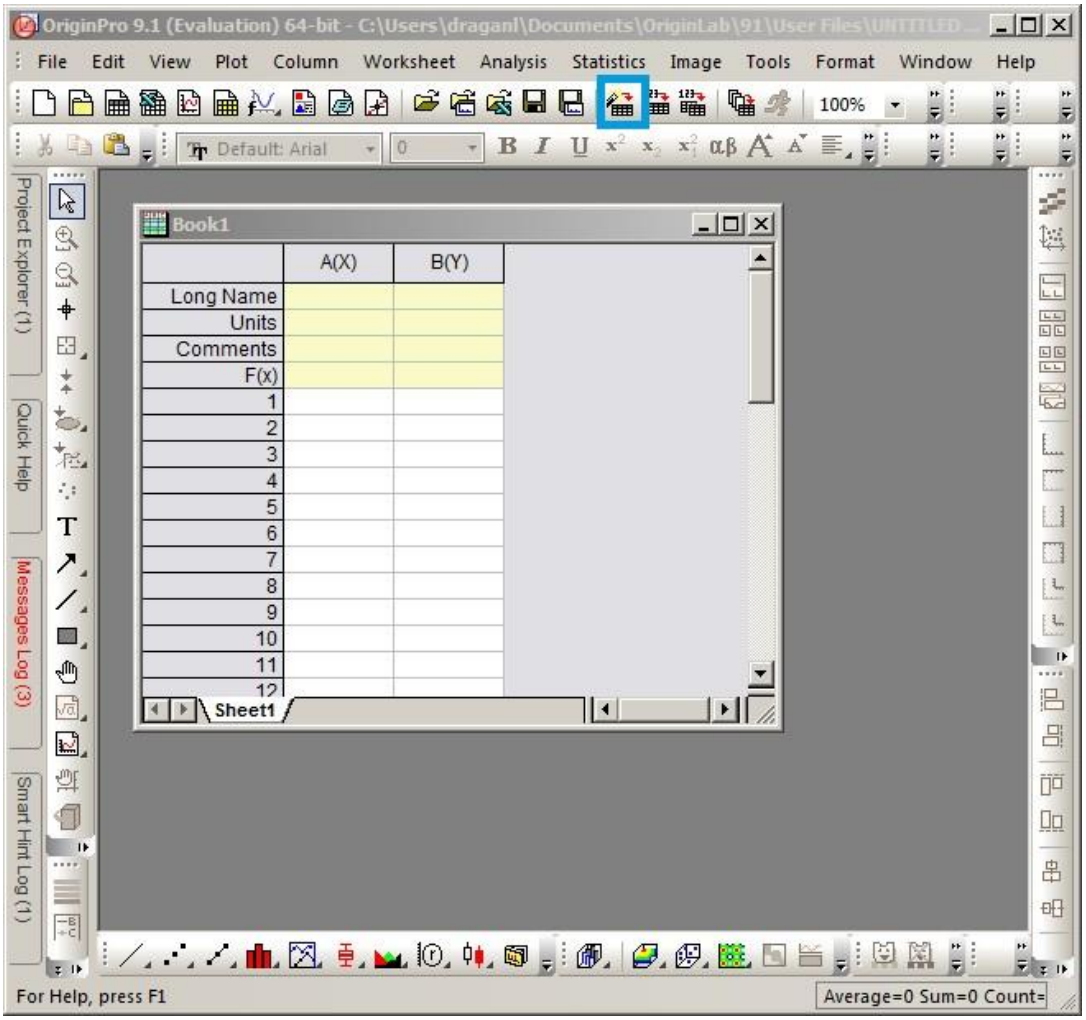


Point	Signal	Operation	Value	Unit	XW	Description	Node
0	Cursor Loc	X1	0	s	1	Position of cursor	Scope Channel 1
1	Cursor Loc	X2	0	s	1	Position of cursor	Scope Channel 1
2	Cursor Loc	X2 - X1	0	s	1	Difference betwee	Scope Channel 1
3	Cursor Loc	Y1	0	V	1	Position of cursor	Scope Channel 1
4	Cursor Loc	Y2	0	V	1	Position of cursor	Scope Channel 1
5	Cursor Loc	Y2 - Y1	0	V	1	Difference betwee	Scope Channel 1
6	Wave	Min	-0.00830078	V	2560	Minimum	Scope Channel 1
7	Wave	Max	0.012207	V	2560	Maximum	Scope Channel 1
8	Wave	Avg	0.00209904	V	2560	Average	Scope Channel 1
9	Wave	Std	0.00311325	V	2560	Standard Deviatio	Scope Channel 1
10	Wave	Int	5.96625e-09	Vs	2560	Integral	Scope Channel 1
11							

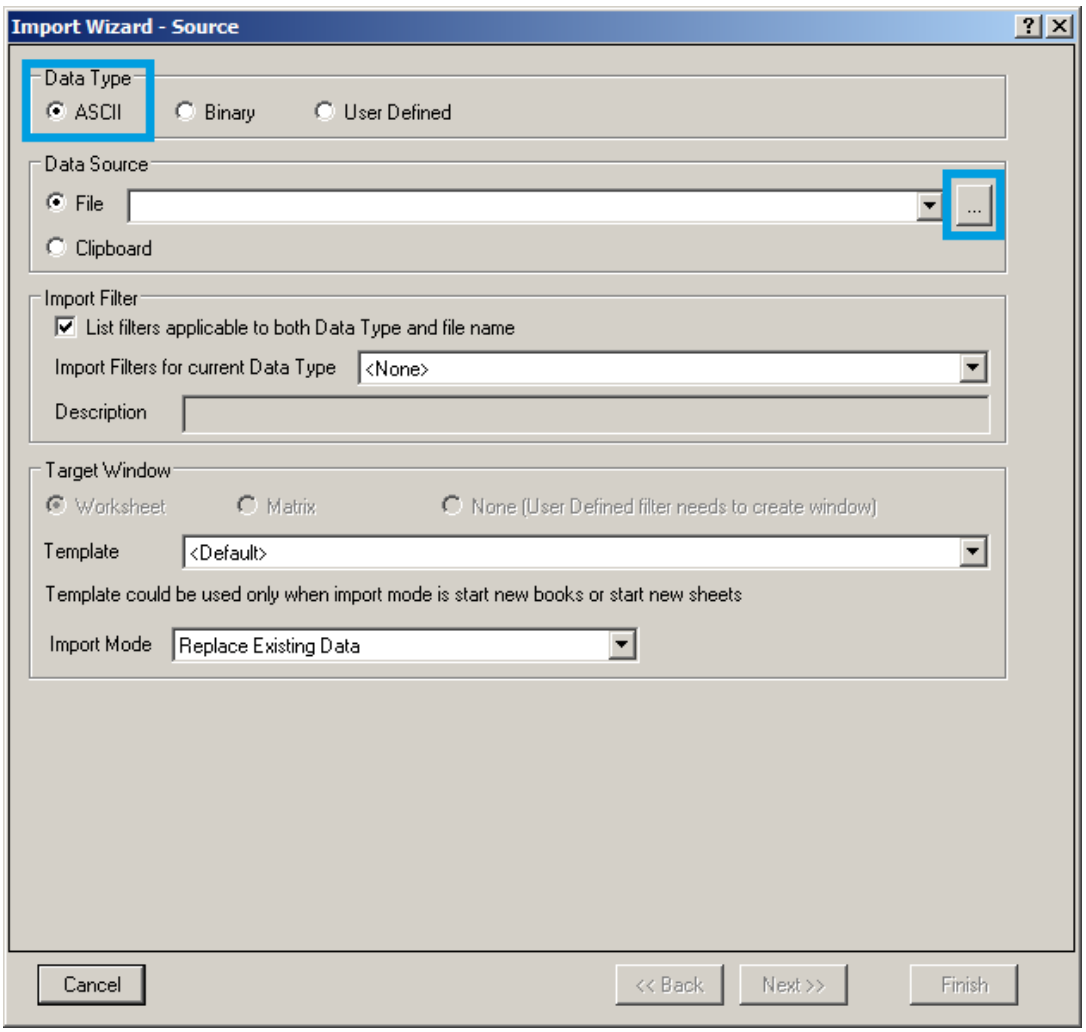
Origin

这些说明适用于 Origin 9.1（英文版）。其他版本的程序可能有所不同。

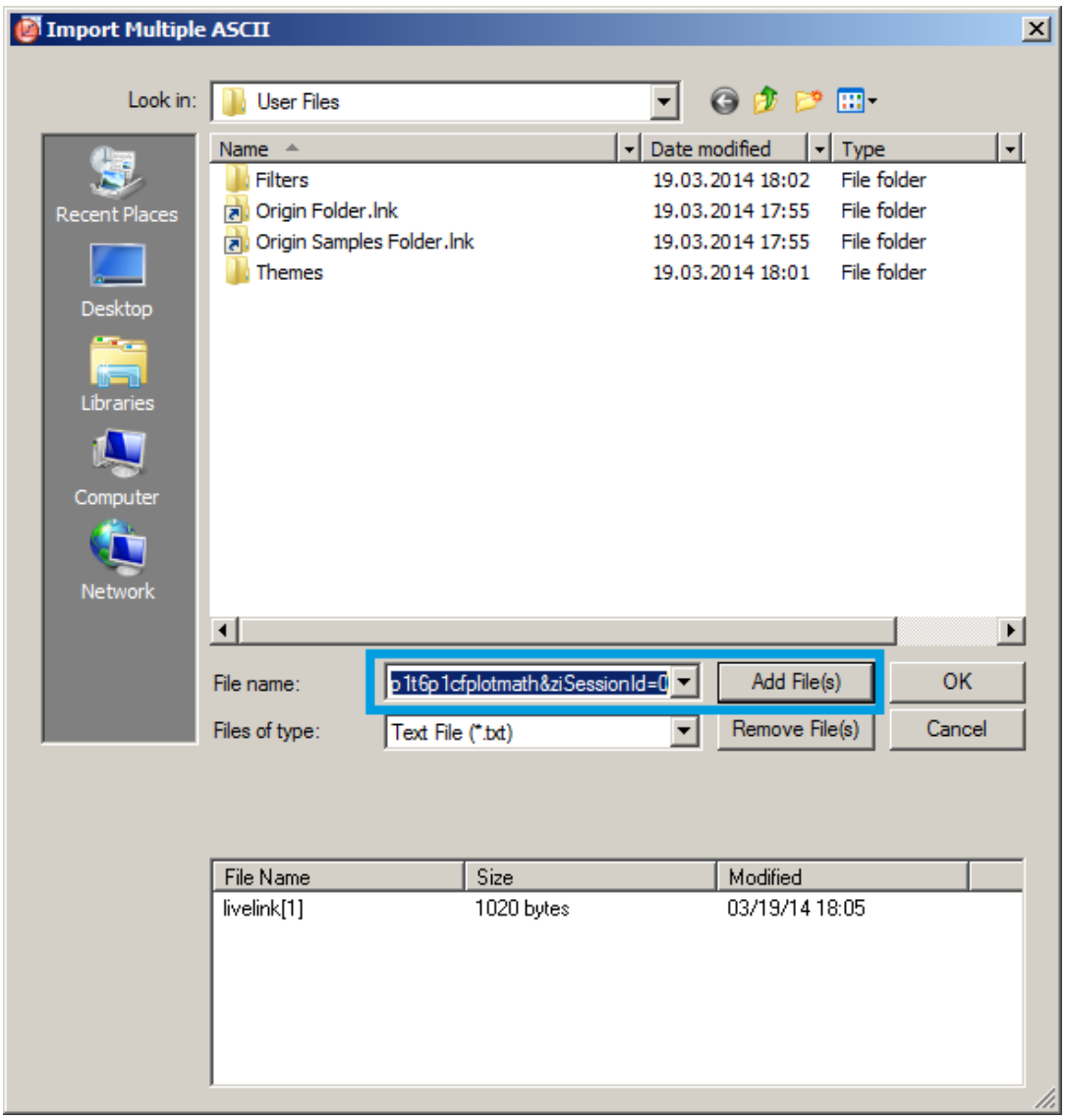
1. 单击下面突出显示的图标，打开导入向导。



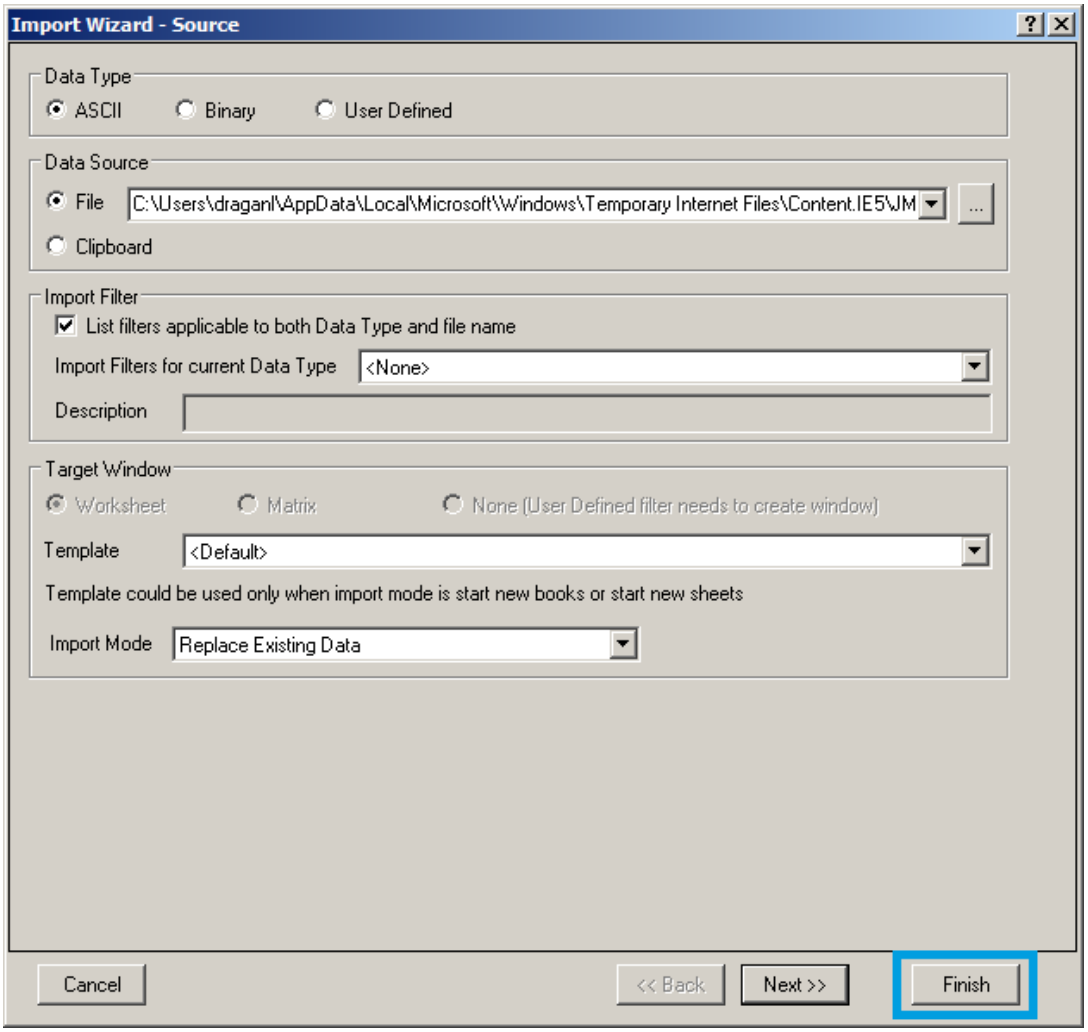
2. 请务必选择 ASCII 按钮。单击“...”按钮。请参见下面的屏幕截图。将出现“Import Multiple ASCII”对话框。



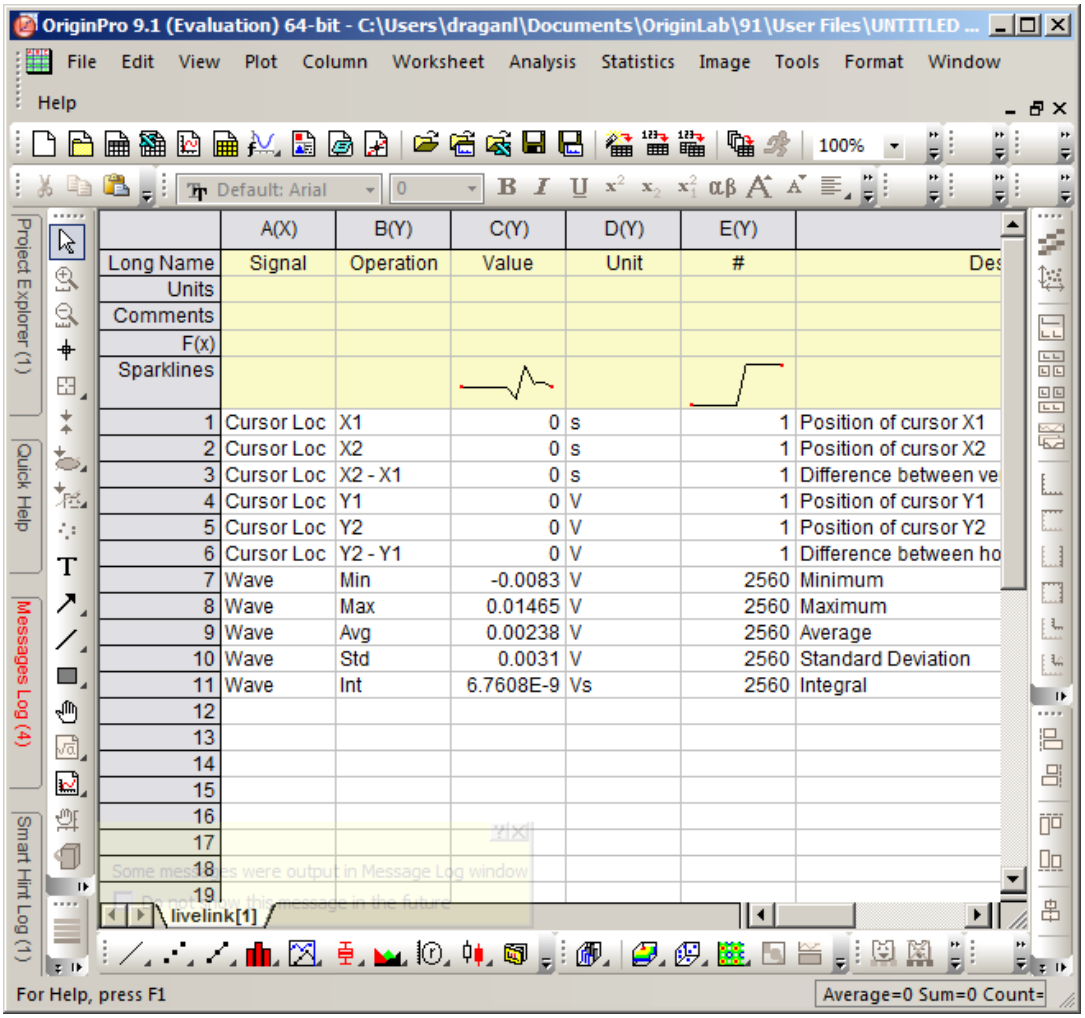
3. 将“LabOne Net Link”对话框中的链接文本粘贴到下面突出显示的输入字段中。然后单击“Add File(s)”，再单击“OK”。



4. 返回到“Import Wizard - Source”对话框，单击“Finish”。



5. 数据将出现在 Origin 主窗口中。



	A(X)	B(Y)	C(Y)	D(Y)	E(Y)	
Long Name	Signal	Operation	Value	Unit	#	Des
Units						
Comments						
F(x)						
Sparklines						
1	Cursor Loc	X1	0	s	1	Position of cursor X1
2	Cursor Loc	X2	0	s	1	Position of cursor X2
3	Cursor Loc	X2 - X1	0	s	1	Difference between ve
4	Cursor Loc	Y1	0	V	1	Position of cursor Y1
5	Cursor Loc	Y2	0	V	1	Position of cursor Y2
6	Cursor Loc	Y2 - Y1	0	V	1	Difference between ho
7	Wave	Min	-0.0083	V	2560	Minimum
8	Wave	Max	0.01465	V	2560	Maximum
9	Wave	Avg	0.00238	V	2560	Average
10	Wave	Std	0.0031	V	2560	Standard Deviation
11	Wave	Int	6.7608E-9	Vs	2560	Integral
12						
13						
14						
15						
16						
17						
18						
19						

4.3. “Lock-in”选项卡

此选项卡是主要的锁相放大器控制面板。用户的仪器如安装有 HF2LI-MF 多频选件，请参见第 4.4 节

4.3.1. 功能

- 可访问主要输入、输出和解调器控件的功能框图
- 具有主要输入、输出和解调器控件的参数表
- 用于 6 个可配置解调器的控件元素
- 用于两个输入通道的自动调整量程、缩放、任意输入单元
- 2 个振荡器的控件
- 主信号输入和信号输出的设置
- 灵活选择参考源、触发选项和数据传输速率

4.3.2. 说明

“Lock-in”选项卡是仪器的主控制中心，默认在启动后打开。当该选项卡关闭或需要其他相同类型的选项卡时，单击以下图标即可打开该选项卡的新实例。

表 4.9.应用图标和简要说明

控件/工具	选项/范围	说明
Lock-in		快速纵览和访问关于信号生成及解调的所有设置和属性。

“Lock-in”选项卡的默认视图是参数表视图。可以在标有“All”的侧边栏选项卡下访问，该视图提供用于仪器中所有解调器的控件。此外，每个单独的解调器都有一个可用的功能框图。可以在标有相应解调器编号的侧边栏选项卡下访问功能框图。

参数表

参数表（参见图 4.10）包含 4 个垂直部分：Signal Inputs、Oscillators、Demodulators 和 Signal Outputs。通过“Demodulators”部分，可以访问可用于测量的解调器 1 至 6 以及可用于外部参考的解调器 7 和 8 的所有设置。解调器 1 至 3（4 至 6）连接到 Signal Input 1 (2)。

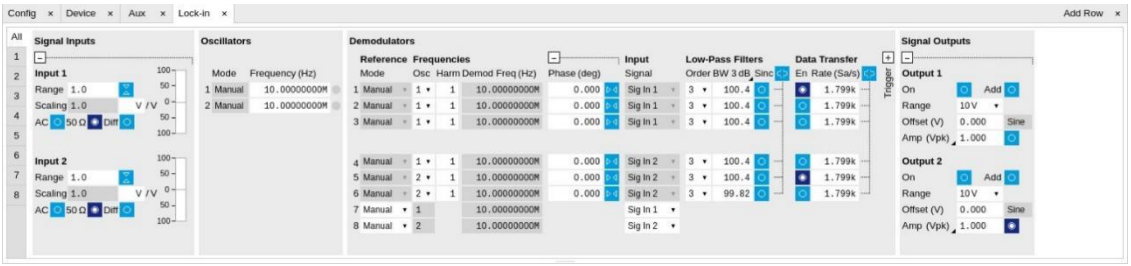


图 4.10. LabOne 用户界面的“Lock-in”选项卡 - 参数表（全部）

“Signal Inputs”部分允许用户定义输入信号的所有相关设置，例如输入耦合、范围等。一些可用选件，如相位调整和触发功能，在默认情况下处于折叠状态。只需用鼠标单击“+”图标即可展开这些控件。在“Lock-in”选项卡的右侧，“Signal Outputs”部分允许定义信号幅值、偏移和范围值。

“Scaling”字段的下方是“AC/DC”按钮和“50 Ω/1 MΩ”按钮。“AC/DC”按钮用来设置耦合类型：交流耦合具有高通截止频率，可用于阻挡大的直流信号分量，以防止放大期间输入信号饱和。“50 Ω/1 MΩ”按钮在低 (50 Ω) 和高（约 1 MΩ）输入阻抗之间切换输入阻抗。对于 50 Ω 输入阻抗，如果信号源也具有 50 Ω 输出阻抗，则预计测量信号会减少 2 倍。“50 Ω”按钮旁边是“Diff”按钮，用于将信号输入在 + 输入上的单端测量与 + 和 - 输入上的差分测量之间切换。

“Oscillator”部分表示两个内部振荡器的频率。当“Mode”指示器显示“Manual”时，用户可以通过在字段中键入频率值来手动定义振荡器频率。如果振荡器参考外部源，“Mode”指示器将显示“ExtRef”，并且频率字段设置为只读。外部参考需要一个 PLL 来将频率映射到内部振荡器上。频率字段旁边的绿灯表示锁定成功。当调制单元或 PID 控制器确定振荡器的频率值时，“Mode”字段中指示 MOD 或 PID，用户不能手动更改频率。

下面，我们将更详细地讨论**“Demodulators”设置**。图 4.11 中的框图指示了主要解调器组件及相互之间的连接。了解如何接线对于成功操作仪器至关重要。

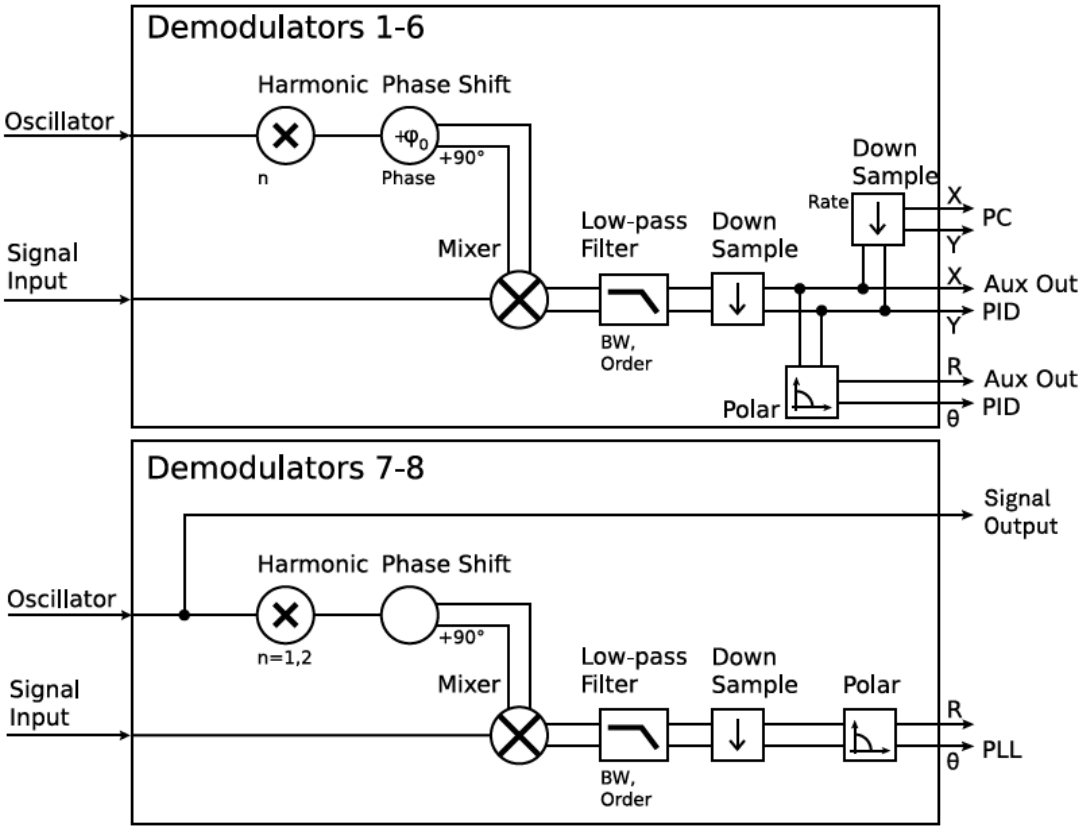


图 4.11. 未安装 HF2LI-MF 多频选件的解调器框图。

“Demodulators”部分的前 6 行代表可用于测量的解调器。“Mode”这一列只读设置为内部参考 (Demod)。第 7 行和第 8 行表示额外的解调器，当模式切换到外部参考 (ExtRef) 时，这些解调器专用于相位检测器。在 ExtRef 模式下，用户可以从多个不同的输入中挑选，用作外部参考信号。但是，解调器 7 和 8 不会产生任何可用于测量的输出数据。在“Input Signal”列中，可从两个信号输入中选择作为给定解调器的输入的信号。对于每个解调器，通过在“Phase”列中输入相移，可

以将额外的相移引入相关的振荡器。该相位被添加到参考通道和解调器的输出。因此，当使用相同的解调器生成和检测频率时，信号相位和参考相位进行等量变化并且解调结果中看不到任何变化。通过在“Harm”列中输入所需的因子，可实现对任何振荡器频率整数倍的频率解调。解调的结果，即幅值和相位可以被读取，例如使用第 4.5 节中说明的“Numeric”选项卡。

“Lock-in”选项卡的中间是“Low-Pass Filters”部分，在该部分中，可以在下拉列表中为每个解调器选择滤波器阶数，并且可通过键入数值来选择滤波器带宽 (BW 3dB)。或者，可以通过单击列标题来选择滤波器的时间常数 (TC) 或噪声等效功率滤波器带宽 (BW NEP)。例如，将滤波器阶数设置为 4 对应于 24 dB/oct 或 80 dB/dec 的滚降，即频率增加 10 倍时衰减 10^4。当“Low-Pass Filter”的带宽与解调频率相当或大于解调频率时，解调器输出可能包含解调频率及其高次谐波的频率分量。在这种情况下，应启用额外的 Sinc 滤波器。它会衰减解调器输出中那些不需要的谐波分量。Sinc 滤波器适用于低频测量，因为它允许使用更接近解调频率的“Low-Pass Filter”带宽，从而加快测量时间。

解调器输出的数据传输由“Data Transfer”部分中的“En”按钮激活，其中还可以定义每个解调器的采样率 (Rate)。

“Data Transfer”旁边的“Trigger”部分允许设置触发条件，以便通过将逻辑信号（例如 TTL）应用到仪器后面板上的 DIO 0 或 1 来控制和启动从仪器到主机 PC 的数据传输。

在**“Signal Outputs”部分**，“On”按钮用于激活信号输出。在这里，信号输出的输出振幅可以设置为可调单位（Vpk、Vrms 或 dBm）。“Range”下拉列表用于选择正确的输出范围设置。通过启用“Add”按钮，可以将施加到添加输入的外部模拟信号添加到信号输出。

框图

主要仪器功能的框图视图有时也称为“图形“Lock-in”选项卡”。通过“Lock-in”选项卡中的一组索引侧边栏选项卡，可以访问每个解调器的框图。框图功能齐全，可为用户提供仪器内部情况的视觉反馈。上一节详述的参数表中可用的所有控件元素也以图形表示。

图 4.12 中的框图显示了使用内部振荡器作为参考时通过仪器的信号路径。“Signal Inputs”和“Reference/Internal Frequency”显示在左侧。实际解调，即混合和低通滤波显示在选项卡的中心。在右下方，用户可以设置“Signal Output”参数。右上方是与测量数据输出相关的设置，即通过数字方式（PC 数据传输）或模拟方式（辅助输出 1 到 4）输出。

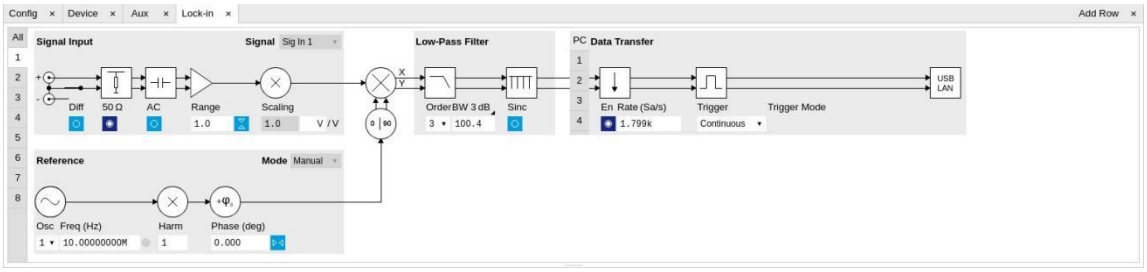


图 4.12. LabOne 用户界面的“Lock-in”选项卡 - 内部参考模式下的图形“Lock-in”选项卡

图 4.13 中的框图显示了使用外部参考时通过仪器的信号路径。此设置仅适用于解调器 7 和 8。要将外部频率映射到振荡器 1/2，请转到解调器 7/8 的“Reference”部分并将模式更改为“ExtRef”。该解调器随后将用作锁相环内的相位检测器。软件将根据参考信号的频率和属性选择合适的滤波器设置。

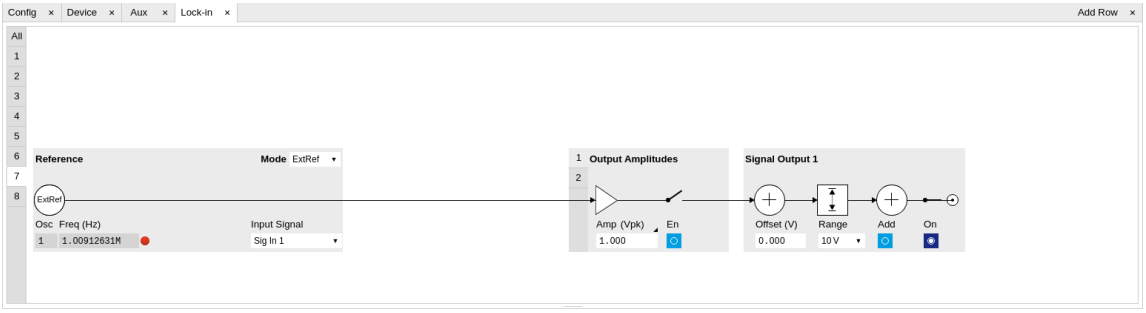


图 4.13. LabOne 用户界面的“Lock-in”选项卡 - 外部参考模式下的图形“Lock-in”选项卡

4.3.3. 功能元素

表 4.10.“Lock-in”选项卡

控件/工具	选项/范围	说明
50 Ω	OFF：1 MΩ	在 50 Ω (ON) 和 1 MΩ (OFF) 之间进行切换。
	ON：50 Ω	
Range	1 mV 至 1.5 V	定义模拟输入放大器的增益。该范围应为输入信号的两倍左右，包括潜在的直流偏移量。 仪器会相对于用户插入的值选择下一个较大的可用范围。适当选择此设置可确保使用输入 ADC 的完整动态范围，从而优化精度和信噪比。
On	ON / OFF	启用信号输入。
Auto		将“Range”自动调整为约 100 ms 时间内测量的最大信号输入幅值的两倍左右。
Scaling	数值	对输入信号进行任意比例的缩放。
Measurement Unit	单位缩写	定义输入信号的物理单位。使用 *、/ 和 ^ 运算符，例如 m 或 m/s^2。 此字段中的值会修改用户界面中所有测量工具的读数。该字段的典型用途是在传感器/换能器之前按此单位进行测量，例如将跨阻抗放大器考虑在内并直接以 A 为单位（而非 V）读取结果。
AC	ON：交流耦合	定义信号输入的输入耦合。交流耦合会插入一个高通滤波器。
	OFF：直流耦合	
Diff	OFF：单端电压输入	在单端 (OFF) 和差分 (ON) 测量之间进行切换。
	ON：差分电压输入	
Mode		指示如何控制相应振荡器的频率（手动、外部参考、PLL 或 PID）。只读标志。
	PLL	通过 HF2LI-PLL 选件控制振荡器频率。
	PID	通过 HF2LI-PID 选件控制振荡器频率。
	Manual	通过用户设置定义振荡器频率。

控件/工具	选项/范围	说明
	ExtRef	使用外部参考映射为振荡器频率。
Frequency (Hz)	0 至 50 MHz	控制各振荡器的频率。
Locked	ON / OFF	振荡器接通后锁定到外部参考。
Mode		选择参考模式（手动或外部参考）或指示使用解调器的单元（例如 PLL）。
	Mod	解调器由 HF2LI-MOD 选件使用，例如用于直接解调载波信号和边带信号。
	Manual	默认锁相工作模式，采用手动设置的参考频率。
	ExtRef	解调器用于外部参考模式并跟踪所选参考输入的频率。自动设置解调器带宽以适应信号属性。
Osc	振荡器索引	将所选振荡器与对应于该线路的解调器相连。可用振荡器的数量取决于安装的选件。
Harm	1 至 1023	将解调器的参考频率与该字段定义的整数因子相乘。 如果在外部参考模式 (PLL) 下将解调器用作相位检测器，则效果为内部振荡器锁定到外部频率除以该整数因子后所得到的频率。
Demod Freq (Hz)	0 至 50 MHz	指示用于解调和生成输出的频率。 通过将振荡器频率乘以谐波因子来计算解调频率。当使用 HF2LI-MOD 选件时，通过振荡器频率（包括谐波因子）的线性组合来定义解调频率。
Phase (deg)	-180° 至 180°	应用到解调器参考输入的相移。 使用 HF2LI-MF 选件时，相移也会应用至信号输出。
Zero		自动调整解调器参考的相位，以便使解调器输出端的读数为零度。 此操作将最大化 X 输出，使 Y 输出为零，使 Θ 输出为零，并保持 R 输出不变。
Signal		选择要与解调器关联的信号源。
	Sig In 2	Signal Input 2 与相应的解调器相连。
	Aux In 1	Auxiliary Input 1 与相应的解调器相连。该输入仅在用于外部参考模式的解调器 7 和 8 上可用。输入带宽限制为 20 kHz。
	Aux In 2	Auxiliary Input 2 与相应的解调器相连。该输入仅在用于外部参考模式的解调器 7 和 8 上可用。输入带宽限制为 20 kHz。
	DIO D0	DIO D0 与相应的解调器相连。该输入仅在用于外部参考模式的解调器 7 和 8 上可用。输入带宽限制为 2 MHz。
	DIO D1	DIO D1 与相应的解调器相连。该输入仅在用于外部参考模式的解调器 7 和 8 上

控件/工具	选项/范围	说明
		可用。输入带宽限制为 2 MHz。
	Sig In 1	Signal Input 1 与相应的解调器相连。
Order		在 6 dB/oct 和 48 dB/oct 之间选择滤波器滚降系数。
	1	1 阶滤波器为 6 dB/oct
	2	2 阶滤波器为 12 dB/oct
	3	3 阶滤波器为 18 dB/oct
	4	4 阶滤波器为 24 dB/oct
	5	5 阶滤波器为 30 dB/oct
	6	6 阶滤波器为 36 dB/oct
	7	7 阶滤波器为 42 dB/oct
	8	8 阶滤波器为 48 dB/oct
TC/BW Select		定义低通滤波器的显示单位：时间常数 (TC) 的单位为秒，噪声等效功率带宽 (BW NEP) 的单位为 Hz，3 dB 带宽 (BW 3 dB) 的单位为 Hz。
	TC	使用滤波器的时间常数定义低通滤波器特性。
	BW NEP	使用滤波器的噪声等效功率带宽 (Hz) 定义低通滤波器特性。
	BW 3 dB	使用滤波器的 3 dB 截止频率 (Hz) 定义低通滤波器特性。
TC/BW Value	数值	使用上面定义的单位来定义低通滤波器特性。
Sinc	ON / OFF	启用梳状滤波器。 当滤波器带宽与解调频率相当或大于解调频率时，解调器输出可能包含解调频率及其高次谐波的频率分量。梳状滤波器是一个附加滤波器，用于衰减解调器输出中这些不需要的分量。
Filter Lock		使所有解调器滤波器设置（阶数、时间常数、带宽）相同。 启用锁定可将解调器 1 中的设置复制到所有其他解调器。此外，通过锁定滤波器，针对滤波器设置进行的任何修改还会应用至所有其他滤波器。解除锁定不会更改任何设置。

控件/工具	选项/范围	说明
Enable Streaming	ON / OFF	为相应的解调器启用对解调样本的数据采集并将解调样本流传输到主机。流传输速率在右侧字段中定义。启用流传输将激活“Numeric”选项卡中的相应元素，并允许在任何 LabOne 测量工具中显示和分析解调样本。请注意：随着激活的解调器数量的增加，主机物理连接的负载也会增加。
Rate (Sa/s)	0.22 Sa/s 至 410 kSa/s	定义解调器采样率，即每秒发送到主机的样本数。该速率通常为滤波器带宽的 7-10 倍左右时，可实现充足的混叠抑制。 这也是 LabOne 数据服务器接收数据并保存到计算机硬盘的速率。此设置对辅助输出连接端口上的采样率没有影响。请注意：用户插入的值可能会被近似处理为仪器所支持的最接近值。
Demodulator Sampling Rate Lock		使所有解调器采样率相等。 启用锁定可将解调器 1 中的设置复制到所有其他解调器。此外，通过锁定采样率，针对采样率进行的任何修改还会应用至所有其他采样率字段。解除锁定不会更改任何设置。
Trigger		选择解调样本的采集模式。连续触发意味着以指示的速率将数据流传输到主机。
	DIO 0	根据 DIO 0 触发，将样本发送到主机。
	DIO 1	根据 DIO 1 触发，将样本发送到主机。
	DIO 0|1	根据 DIO 0 和 DIO 1 触发，将样本发送到主机。
	Continuous	选择连续数据采集模式。以左侧指示的速率将解调样本流传输到主机。在连续模式下，数字和绘图仪工具将持续接收并显示新值。
Trig Mode		为所选触发输入定义边沿触发或电平触发模式。请注意：只有在“Trigger”字段中选择了非连续触发时，才会显示此字段。
	Rising	选择在所选触发输入的上升沿触发的样本采集模式。
	Falling	选择在所选触发输入的下降沿触发的样本采集模式。
	Both	选择在所选触发输入的两个边沿触发的样本采集模式。
	High	选择在所选触发输入为高电平时触发的连续样本采集模式。选择该项时，“Sample rate”字段确定以何种频率将解调样本发送到主机。

控件/工具	选项/范围	说明
	Low	选择在所选触发输入为低电平时触发的连续样本采集模式。选择该项时，“Sample rate” 字段确定以何种传输率将解调样本发送到主机。
Amplitude Unit	Vpk、Vrms	选择所显示幅值的单位。
Amp Enable	ON / OFF	启用单个输出信号幅值。 当使用 HF2LI-MF 选件时，可以生成由多个可用解调器频率线性组合的信号。
Offset	-Range 至 Range	定义添加到输出信号动态部分的直流电压。
Add	ON / OFF	将提供给添加输入的信号添加到信号输出。
On	ON / OFF	仪器前面板上蓝色 LED 指示灯所对应的信号输出的主开关。
Range		定义相应信号输出所生成的最大输出电压。其中包括可能的多个信号幅值和偏移量总和。 选择可能的最小范围以优化信号质量。 此设置可确保生成的电压或峰值不会高于设定值，所以用于限制用户可输入的输出幅值。因此，选定的输出幅值将被限制在定义的范围内，且削波指示灯会亮起。如果启用 50 Ω 目标源或差分输出，可能的最大输出范围将会折半。
	10 mV	选择输出范围 ± 10 mV。
	100 mV	选择输出范围 ± 100 mV。
	1 V	选择输出范围 ± 1 V。
	10 V	选择输出范围 ± 10 V。
Output	-Range 至 Range	将每个解调器频率的输出幅值定义为 rms 或峰峰值。幅值为负值相当于相位变化 180 度。解调器 7 是信号输出 1 的信号源，解调器 8 是信号输出 2 的信号源。

4.4. “Lock-in”选项卡（已安装HF2LI-MF 选件）

该选项卡是安装有 HF2LI-MF 多频选件的 HF2LI 仪器的主锁相放大器控制面板。用户的仪器如未安装此选件，请参阅第 4.3 节。

4.4.1. 功能

- 可访问主要输入、输出和解调器控件的功能框图
- 具有主要输入、输出和解调器控件的参数表
- 6 个 (HF2LI) 或 8 个 (HF2IS) 可单独配置的解调器的控件
- 用于两个输入通道的自动调整量程、缩放、任意输入单元
- 6 个振荡器的控件
- 主信号输入和信号输出的设置
- 选择参考源、触发选项和数据传输速率

4.4.2. 说明

“Lock-in”选项卡是仪器的主控制中心，默认在启动后打开。当该选项卡关闭或需要其他相同类型的选项卡时，单击以下图标即可打开该选项卡的新实例。

“Lock-in”选项卡的默认视图是参数表视图。可以在标有“All”的侧边栏选项卡下访问，该视图提供用于仪器中所有解调器的控件。此外，每个单独的解调器都有一个可用的功能框图。可以在标有相应解调器编号的侧边栏选项卡下访问功能框图。

参数表

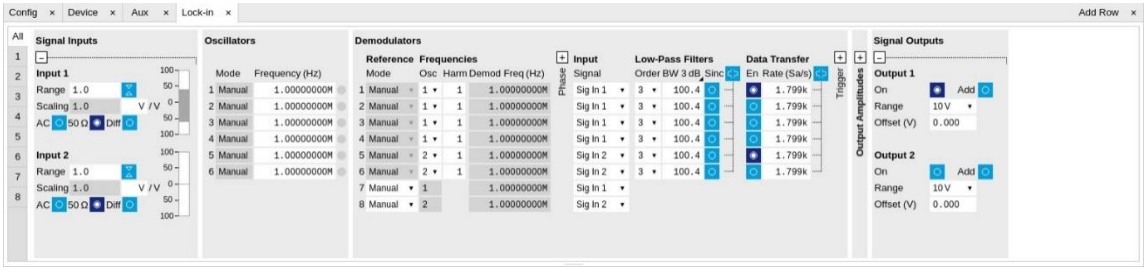


图 4.14. LabOne 用户界面的“Lock-in”选项卡（已安装 HF2LI-MF 多频选件）。

“Signal Inputs”部分允许用户定义输入信号的所有相关设置，例如输入耦合、范围等。一些可用选件，如相位调整和触发功能，在默认情况下处于折叠状态。只需用鼠标单击“+”图标即可展开这些控件。在“Lock-in”选项卡的右侧，“Signal Outputs”部分允许定义信号幅值、偏移值和范围值。

“Range”字段下方的“Scaling”字段可用于乘以信号输入数据，例如表示外部放大器的增益。如果外部输入信号有 10 V/A 的跨阻增益，则可将“Scaling”字段设置为 0.1，将“Units”字段设置为 A，以便通过整个用户界面来显示实际电流读数。

在“Scaling”字段下方有两个可以切换的按钮：“AC/DC”按钮和“50 Ω/1 MΩ”按钮。“AC/DC”按钮用来设置耦合类型：交流耦合具有高通截止频率，可用于阻挡大的直流信号分量，以防止放大期间输入信号饱和。“50 Ω/1 MΩ”按钮在低 (50 Ω) 和高（约 1 MΩ）输入阻抗之间切换输入阻抗。对于 50 Ω 输入阻抗，如果信号源也具有 50 Ω 输出阻抗，则预计测量信号会减少 2 倍。

“Oscillator”部分表示。当“Mode”指示器显示“Manual”时，用户可以通过在字段中键入频率值来手动定义振荡器频率。如果振荡器参考外部源，“Mode”指示器将显示“ExtRef”，并且频率字段设置为只读。外部参考需要一个 PLL 来将频率映射到内部振荡器上。频率字段旁边的绿灯表示锁定成功。

下一部分包含**“Demodulators”设置**。图 4.15 中的框图指示了主要解调器组件及其相互之间的连接。了解如何接线对于成功操作仪器至关重要。

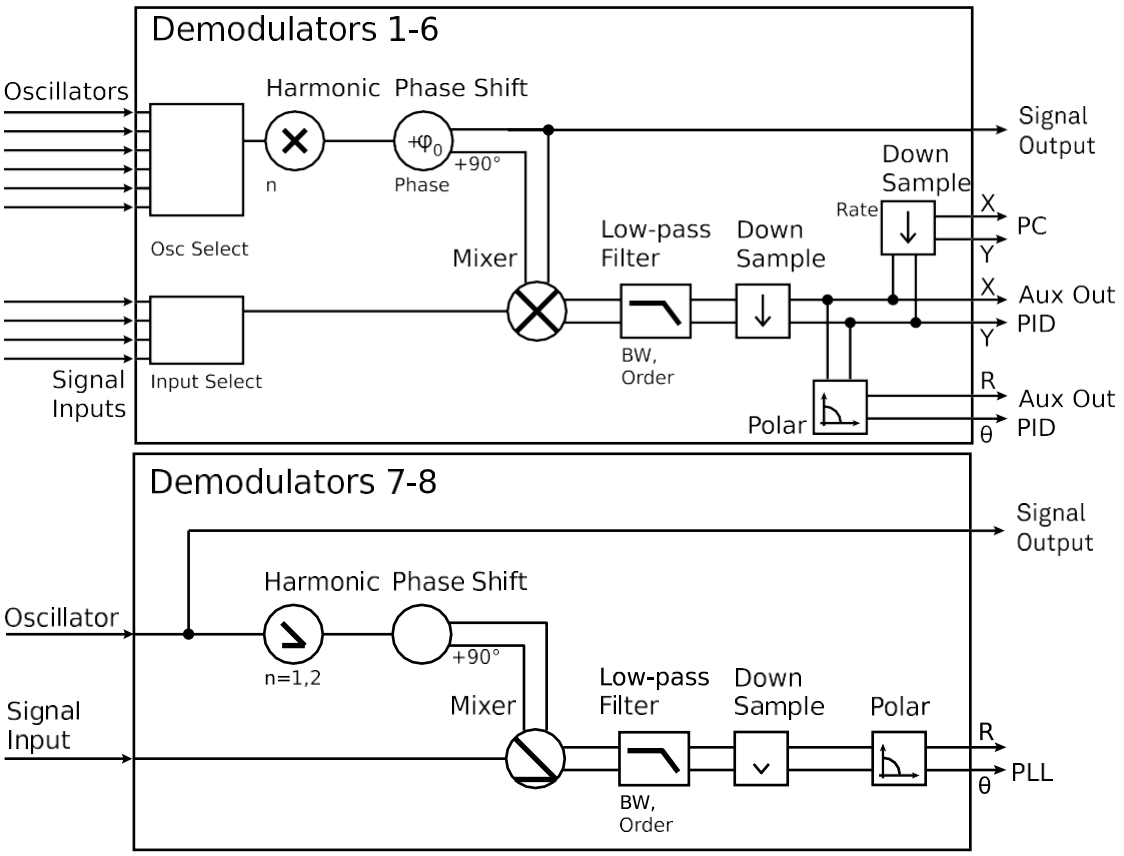


图 4.15. 安装 HF2LI-MF 多频选件的解调器框图。

在“Input Signal”列中，一列定义了作为解调器输入的信号。可以选择多种信号：Signal Inputs、Trigger Inputs、Auxiliary Inputs 和 Auxiliary Outputs。这样仪器即可用于许多不同的测量结构。

对于每个解调器，通过在“Phase”列中输入相移，可以将额外的相移引入相关的振荡器。该相位被添加到参考通道和解调器的输出。因此，当使用相同的解调器生成和检测频率时，信号相位和参考相位进行等量变化并且解调结果中看不到任何变化。通过在“Harm”列中输入所需的因子，可实现对任何振荡器频率整数倍的频率解调。解调器读数可以使用第 4.5 节中说明的“Numeric”选项卡获得。

“Lock-in”选项卡的中间是“Low-Pass Filters”部分，在该部分中，可以在下拉列表中为每个解调器选择滤波器阶数，并且可通过键入数值来选择滤波器带宽 (BW 3dB)。或者，可以通过单击列标

题来选择滤波器的时间常数 (TC) 或噪声等效功率滤波器带宽 (BW NEP)。例如，将滤波器阶数设置为 4 对应于 24 dB/oct 或 80 dB/dec 的滚降，即频率增加 10 倍时衰减 10^4。当“Low-Pass Filter”的带宽与解调频率相当或大于解调频率时，解调器输出可能包含解调频率及其高次谐波的频率分量。在这种情况下，可启用额外的梳状滤波器。它会衰减解调器输出中那些不需要的谐波分量。梳状滤波器还适用于低频测量，因为它允许使用更接近解调频率的“Low-Pass Filter”带宽，从而加快测量时间。

解调器输出的数据传输由“Data Transfer”部分中的“En”按钮激活，其中还可以定义每个解调器的采样率 (Rate)。

“Data Transfer”旁边的“Trigger”部分允许设置触发条件，以便通过将逻辑信号（例如 TTL）应用到后面板上的 Trigger Input 来控制和启动从仪器到主机 PC 的数据传输。

框图

主要仪器功能的框图视图有时也称为“图形“Lock-in”选项卡”。根据仪器中可用的解调器数量，提供一组带编号的侧边栏选项卡，可以通过这些选项卡访问每个解调器的图形“Lock-in”选项卡。框图功能齐全，可为用户提供仪器内部情况的视觉反馈。上一节详述的参数表中可用的所有控件元素也以图形表示。

图 4.16 中的框图说明了使用内部振荡器作为参考时通过仪器的信号路径。左侧显示了“Signal Inputs”和“Reference/Internal Frequency”，混频器和低通滤波器的解调核心位于选项卡的中心，“Signal Outputs”、“Auxiliary Outputs”以及“数据传输到 PC”显示在右侧。

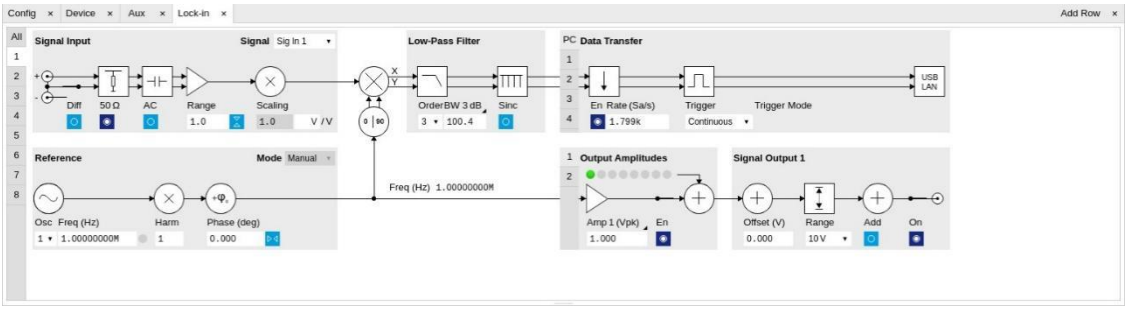


图 4.16. LabOne 用户界面的“Lock-in”选项卡 - 内部参考模式下的图形“Lock-in”选项卡

图 4.17 中的框图说明了使用外部参考时通过仪器的信号路径。此设置仅适用于解调器 7/8。要将外部频率映射到任何振荡器，请转到解调器 7/8 的“Reference”部分并将模式更改为“ExtRef”。该解调器随后将用作锁相环内的相位检测器。软件将根据参考信号的频率和属性选择合适的滤波器设置。一旦使用解调器将外部频率映射到其中一个内部振荡器，它就不能再用于其他测量。

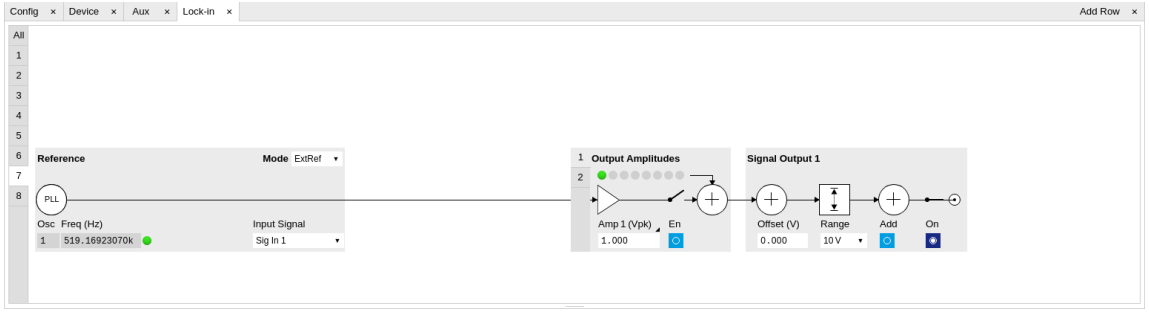


图 4.17. LabOne 用户界面的“Lock-in”选项卡 - 外部参考模式下的图形“Lock-in”选项卡

4.4.3. 功能元素

表 4.11.“Lock-in MF”选项卡

控件/工具	选项/范围	说明
50 Ω	OFF：1 MΩ	在 50 Ω (ON) 和 1 MΩ (OFF) 之间进行切换。
	ON：50 Ω	
Range	1 mV 至 1.5 V	定义模拟输入放大器的增益。该范围应为输入信号的两倍左右，包括潜在的直流偏移量。 仪器会相对于用户插入的值选择下一个较大的可用范围。适当选择此设置可确保使用输入 ADC 的完整动态范围，从而优化精度和信噪比。
On	ON / OFF	启用信号输入。
Auto		将“Range”自动调整为约 100 ms 时间内测量的最大信号输入幅值的两倍左右。
Scaling	数值	对输入信号进行任意比例的缩放。
Measurement Unit	单位缩写	定义输入信号的物理单位。使用 *、/ 和 ^ 运算符，例如 m 或 m/s^2。 此字段中的值会修改用户界面中所有测量工具的读数。该字段的典型用途是在传感器/换能器之前按此单位进行测量，例如将跨阻抗放大器考虑在内并直接以 A 为单位（而非 V）读取结果。
AC	ON：交流耦合	定义信号输入的输入耦合。交流耦合会插入一个高通滤波器。
	OFF：直流耦合	
Diff	OFF：单端电压输入	在单端 (OFF) 和差分 (ON) 测量之间进行切换。
	ON：差分电压输入	
Mode		指示如何控制相应振荡器的频率（手动、外部参考、PLL 或 PID）。只读标志。
	PLL	通过 HF2LI-PLL 选件控制振荡器频率。
	PID	通过 HF2LI-PID 选件控制振荡器频率。
	Manual	通过用户设置定义振荡器频率。
	ExtRef	使用外部参考映射为振荡器频率。
Frequency (Hz)	0 至 50 MHz	控制各振荡器的频率。
Locked	ON / OFF	振荡器接通后锁定到外部参考。
Mode		选择参考模式（手动或外部参考）或指示使用解调器的单元（例如 PLL）。
	Mod	解调器由 HF2LI-MOD 选件使用，例如用于直接解调载波信号和边带信号。
	Manual	默认锁相工作模式，采用手动设置的参考频率。

控件/工具	选项/范围	说明
	ExtRef	解调器用于外部参考模式并跟踪所选参考输入的频率。自动设置解调器带宽以适应信号属性。
Osc	振荡器索引	将所选振荡器与对应于该线路的解调器相连。可用振荡器的数量取决于安装的选件。
Harm	1 至 1023	将解调器的参考频率与该字段定义的整数因子相乘。 如果在外部参考模式 (PLL) 下将解调器用作相位检测器，则效果为内部振荡器锁定到外部频率除以该整数因子后所得到的频率。
Demod Freq (Hz)	0 至 50 MHz	指示用于解调和生成输出的频率。 通过将振荡器频率乘以谐波因子来计算解调频率。当使用 HF2LI-MOD 选件时，通过振荡器频率（包括谐波因子）的线性组合来定义解调频率。
Phase (deg)	-180° 至 180°	应用到解调器参考输入的相移。 使用 HF2LI-MF 选件时，相移也会应用至信号输出。
Zero		自动调整解调器参考的相位，以便使解调器输出端的读数为零度。 此操作将最大化 X 输出，使 Y 输出为零，使 Θ 输出为零，并保持 R 输出不变。
Signal		选择要与解调器关联的信号源。
	Sig In 2	Signal Input 2 与相应的解调器相连。
	Aux In 1	Auxiliary Input 1 与相应的解调器相连。该输入仅在用于外部参考模式的解调器 7 和 8 上可用。输入带宽限制为 20 kHz。
	Aux In 2	Auxiliary Input 2 与相应的解调器相连。该输入仅在用于外部参考模式的解调器 7 和 8 上可用。输入带宽限制为 20 kHz。
	DIO D0	DIO D0 与相应的解调器相连。该输入仅在用于外部参考模式的解调器 7 和 8 上可用。输入带宽限制为 2 MHz。
	DIO D1	DIO D1 与相应的解调器相连。该输入仅在用于外部参考模式的解调器 7 和 8 上可用。输入带宽限制为 2 MHz。
	Sig In 1	Signal Input 1 与相应的解调器相连。
Order		在 6 dB/oct 和 48 dB/oct 之间选择滤波器滚降系数。
	1	1 阶滤波器为 6 dB/oct
	2	2 阶滤波器为 12 dB/oct
	3	3 阶滤波器为 18 dB/oct
	4	4 阶滤波器为 24 dB/oct
	5	5 阶滤波器为 30 dB/oct

控件/工具	选项/范围	说明
	6	6 阶滤波器为 36 dB/oct
	7	7 阶滤波器为 42 dB/oct
	8	8 阶滤波器为 48 dB/oct
TC/BW Select		定义低通滤波器的显示单位：时间常数 (TC) 的单位为秒，噪声等效功率带宽 (BW NEP) 的单位为 Hz，3 dB 带宽 (BW 3 dB) 的单位为 Hz。
	TC	使用滤波器的时间常数定义低通滤波器特性。
	BW NEP	使用滤波器的噪声等效功率带宽 (Hz) 定义低通滤波器特性。
	BW 3 dB	使用滤波器的 3 dB 截止频率 (Hz) 定义低通滤波器特性。
TC/BW Value	数值	使用上面定义的单位来定义低通滤波器特性。
Sinc	ON / OFF	启用梳状滤波器。 当滤波器带宽与解调频率相当或大于解调频率时，解调器输出可能包含解调频率及其高次谐波的频率分量。梳状滤波器是一个附加滤波器，用于衰减解调器输出中这些不需要的分量。
Filter Lock		使所有解调器滤波器设置（阶数、时间常数、带宽）相同。 启用锁定可将解调器 1 中的设置复制到所有其他解调器。此外，通过锁定滤波器，针对滤波器设置进行的任何修改还会应用至所有其他滤波器。解除锁定不会更改任何设置。
Enable Streaming	ON / OFF	为相应的解调器启用对解调样本的数据采集并将解调样本流传输到主机。流传输速率在右侧字段中定义。启用流传输将激活“Numeric”选项卡中的相应元素，并允许在任何 LabOne 测量工具中显示和分析解调样本。请注意：随着激活的解调器数量的增加，主机物理连接的负载也会增加。
Rate (Sa/s)	0.22 Sa/s 至 410 kSa/s	定义解调器采样率，即每秒发送到主机的样本数。该速率通常为滤波器带宽的 7-10 倍左右时，可实现充足的混叠抑制。 这也是 LabOne 数据服务器接收数据并保存到计算机硬盘的速率。此设置对辅助输出连接端口上的采样率没有影响。请注意：用户插入的值可能会被近似处理为仪器所支持的最接近值。
Demodulator Sampling Rate Lock		使所有解调器采样率相等。 启用锁定可将解调器 1 中的设置复制到所有其他解调器。此外，通过锁定采样率，针对采样率进行的任何修改还会应用至所有其他采样率字段。解除锁定不会更改任何设置。

控件/工具	选项/范围	说明
Trigger		选择解调样本的采集模式。连续触发意味着以指示的速率将数据流传输到主机。
	DIO 0	根据 DIO 0 触发，将样本发送到主机。
	DIO 1	根据 DIO 1 触发，将样本发送到主机。
	DIO 0|1	根据 DIO 0 和 DIO 1 触发，将样本发送到主机。
	Continuous	选择连续数据采集模式。以左侧指示的速率将解调样本流传输到主机。在连续模式下，数字和绘图仪工具将持续接收并显示新值。
Trig Mode		为所选触发输入定义边沿触发或电平触发模式。请注意：只有在“Trigger”字段中选择了非连续触发时，才会显示此字段。
	Rising	选择在所选触发输入的上升沿触发的样本采集模式。
	Falling	选择在所选触发输入的下降沿触发的样本采集模式。
	Both	选择在所选触发输入的两个边沿触发的样本采集模式。
	High	选择在所选触发输入为高电平时触发的连续样本采集模式。选择该项时，“Sample rate”字段确定以何种频率将解调样本发送到主机。
	Low	选择在所选触发输入为低电平时触发的连续样本采集模式。选择该项时，“Sample rate”字段确定以何种频率将解调样本发送到主机。
Amplitude Unit	Vpk、Vrms	选择所显示幅值的单位。
Amp Enable	ON / OFF	启用单个输出信号幅值。 当使用 HF2LI-MF 选件时，可以生成由多个可用解调器频率线性组合的信号。
Amp (V)	-Range 至 Range	将每个解调器频率的输出幅值定义为 rms 或峰峰值。 幅值为负值相当于相位变化 180 度。同一输出中多个幅值设置的线性组合将被限制在范围设置内。请注意：用户插入的值可能会被近似处理为仪器所支持的最接近值。
Offset	-Range 至 Range	定义添加到输出信号动态部分的直流电压。
Add	ON / OFF	将提供给辅助输入的信号添加到信号输出。
On	ON / OFF	仪器前面板上蓝色 LED 指示灯所对应的信号输出的主开关。

控件/工具	选项/范围	说明
Range		定义相应信号输出所生成的最大输出电压。其中包括可能的多个信号幅值和偏移量总和。 选择可能的最小范围以优化信号质量。 此设置可确保生成的电压或峰值不会高于设定值，所以用于限制用户可输入的输出幅值。因此，选定的输出幅值将被限制在定义的范围内，且削波指示灯会亮起。如果启用 50 Ω 目标源或差分输出，可能的最大输出范围将会折半。
	10 mV	选择输出范围 ± 10 mV。
	100 mV	选择输出范围 ± 100 mV。
	1 V	选择输出范围 ± 1 V。
	10 V	选择输出范围 ± 10 V。

4.5. “Numeric” 选项卡

“Numeric”选项卡提供强大的基于时域的测量显示，正如独特的分析工具集中所介绍。所有 HF2LI 仪器均提供该选项卡。

4.5.1. 功能

- 显示解调器输出数据和其他流传输数据，例如辅助输入、解调器频率
- 图形和数值范围指示器
- 极坐标和笛卡尔坐标格式
- 支持输入缩放和输入单元

4.5.2. 说明

“Numeric”选项卡用作多个测量数据的主要数值概览显示。可以通过选择显示的值来配置显示，也可以通过拖放重新排列显示图块。当该选项卡关闭或需要其他相同类型的选项卡时，单击以下图标即可打开该选项卡的新实例。

表 4.12. 应用图标和简要说明

控件/工具	选项/范围	说明
Numeric	0.58	访问所有连续流传输的测量数据（数值形式）。

“Numeric”选项卡（参见图 4.18）由左侧的显示部分和右侧的配置部分组成。配置部分还细分为多个子选项卡。

图 4.18. LabOne UI：“Numeric”选项卡

“Numeric”选项卡可用于显示解调信号、相位、频率以及辅助输入处的信号电平。默认情况下，用户可以采用极坐标 (R, Θ) 或笛卡尔坐标 (X, Y) 的格式显示解调数据，使用预设进行切换。要显示任何预设中可用的其他测量物理量，只需单击预设选项卡旁边的树选项卡即可。用户可以在每个解调器的目录树状结构下选择所需的显示字段。

4.5.3. 功能元素

表 4.13.“Numeric”选项卡：“Presets”子选项卡

控件/工具	选项/范围	说明
Select a Preset		根据预设选择数值视图。或者，也可以基于树元素来选择显示的值。
	Demods Polar	显示所有解调器的 R 和相位。
	Enabled Demods Polar	显示已启用解调器的 R 和相位。
	Demods Cartesian	显示所有解调器的 X 和 Y。
	Enabled Demods Cartesian	显示已启用解调器的 X 和 Y。
	Demods R	显示所有解调器的 R。
	Unpopulated	不显示信号。
	Manual	如果添加或删除其他信号，则活动预设将变为手动。

对于“Tree”子选项卡，请参阅“树状选择器”部分。

表 4.14.“Numeric”选项卡：“Settings”子选项卡

控件/工具	选项/范围	说明
Name	文本标签	所选绘图的名称。可以更改默认名称，以反映测量信号。
Mapping		对所选绘图进行映射
	Lin	启用线性映射。
	Log	启用对数映射。
	dB	以分贝为单位启用对数映射。
Scaling	Manual/Full Scale	对所选绘图进行缩放
Zoom To Limits		将缩放比例调整为所显示直方图数据的当前限值。
Start Value	数值	所选绘图的起始值。仅手动缩放时可见。
Stop Value	数值	所选绘图的结束值。仅手动缩放时可见。

4.6. “Plotter” 选项卡

Plotter 是一款强大的时域测量工具，正如独特的分析工具集中所介绍，所有 HF2LI 仪器中均提供该选项卡。

4.6.1. 功能

- 用于灵活轴缩放的纵坐标组
- 极坐标和笛卡尔坐标数据格式
- 用于数据分析的直方图和数学功能
- 4 个用于数据分析的光标
- 支持输入缩放和输入单元

4.6.2. 说明

“Plotter”用作滚动模式下时域数据的图形显示，即连续不触发。当该选项卡关闭或需要其他相同类型的选项卡时，单击以下图标即可打开该选项卡的新实例。

表 4.15. 应用图标和简要说明

控件/工具	选项/范围	说明
Plotter		以迹线形式显示一段时间内的各种连续流传输的测量数据（滚动模式）。

“Plotter”选项卡（参见图 4.19）由左侧的显示部分和右侧的配置部分组成。

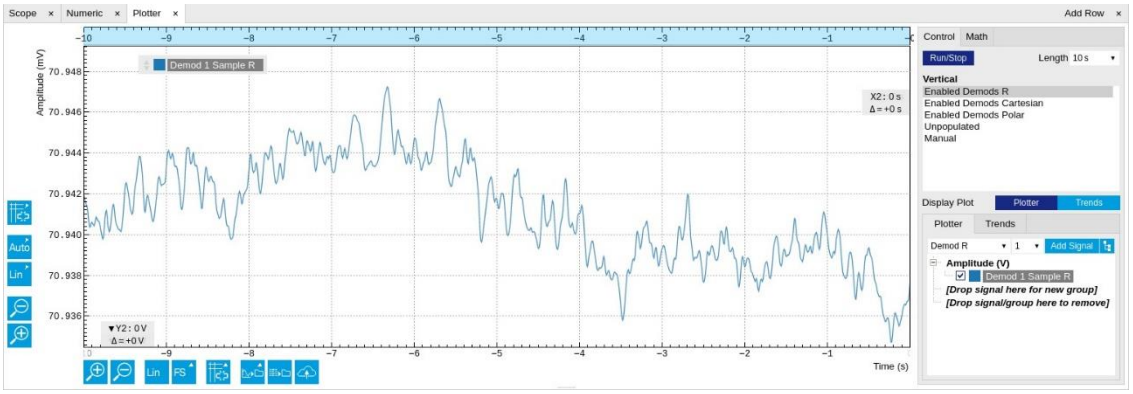


图 4.19. LabOne UI：“Plotter”选项卡

“Plotter”可用于连续监测解调数据和其他流传输数据一段时间内的演变。正如“Numeric”选项卡一样，“Plotter”选项卡也可以显示任何连续流传输的物理量，例如 R、Θ、X、Y、频率等。用户可以通过使用“Control”子选项卡中的预设或通过浏览树结构并在树结构中选择期望信号来添加新信号。纵轴和水平轴可以采用 Lin、Log 或 dB 尺度显示。“Plotter”显示部分可以使用放大镜符号放大和缩小，或可通过“Man”（手动）、“Auto”（自动）和“FS”（全尺度）按钮设置进行放大和缩

小（另请参见“绘图功能”）。保存在内存中的最大持续时间数据可以在“Settings”子选项卡中定义为窗口长度参数。窗口长度还决定了“Record Data”功能的文件大小。

注释

当以高采样率运行时，将窗口长度设置为较大的值可能会导致托管数据服务器的计算机出现内存问题。

解调器数据的采样率由“Lock-in”选项卡中设置的以 Sa/s 为单位的速率值确定。通过单击“Config”选项卡中的记录按钮，绘图仪数据可以连续保存到磁盘，状态栏中的绿色 REC（记录）LED 将指示该按钮。有关数据保存的更多信息，请参见第 4.2 节。

4.6.3. 功能元素

表 4.16.“Plotter”选项卡：“Control”子选项卡

控件/工具	选项/范围	说明
Run/Stop	Run/Stop	启动和停止连续数据绘图（滚动模式）
Select a Preset		选择预定义的组信号。信号组由常用单位和信号类型定义。 组内信号应具有相同的缩放属性，因为它们共用 Y 轴。如果各信号的缩放属性不同，则对组进行拆分。
	Enabled Demods R	选择所有已启用解调器的幅值。
	Enabled Demods Cartesian	选择所有已启用解调器的 X 和 Y。
	Enabled Demods Polar	选择所有已启用解调器的幅值和相位。
	Unpopulated	不显示信号。
	Manual	选择“Tree”子选项卡中定义的信号。

有关纵坐标组的信息，请参见“纵坐标组”部分中的“纵轴组说明”表。

有关“Math”子选项卡的信息，请参见“光标和数学”部分中的“绘图数学说明”表。

4.7. “Scope” 选项卡

Scope 是一款强大的时域和频域测量工具，正如独特的分析工具集中所介绍，所有 HF2LI 系列仪器均提供该选项卡。

4.7.1 功能

- 一条内存容量为 2 kSa 的输入通道
- 14 位标称分辨率
- 快速傅里叶变换 (FFT)：高达 100 MHz 的跨度、频谱密度和功率转换、窗函数选择
- 采样率从 6.4 kSa/s 到 210 MSa/s；在 210 MSa/s 时的采样时间可高达 10 µs，在 6.4 kSa/s 时的采样时间可高达 320 ms
- 4 个信号源；多达 13 个触发源和 2 种触发方法
- 独立的延迟和触发电平设置

4.7.2 说明

“Scope”选项卡用作时域数据的图形显示。当该选项卡关闭或需要其他相同类型的选项卡时，单击以下图标即可打开该选项卡的新实例。

表 4.17. 应用图标和简要说明

控件/工具	选项/范围	说明
Scope		显示时域表示和频域表示 (FFT) 中的数据样本截图。

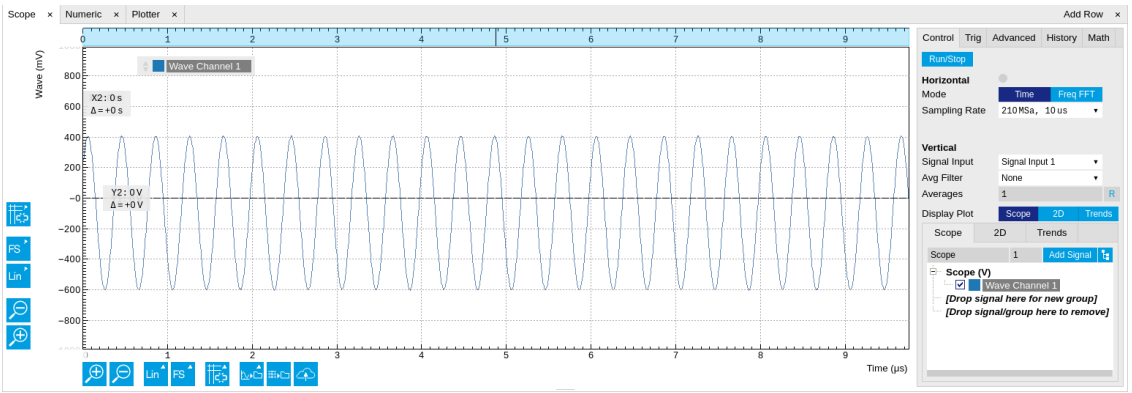


图 4.20. LabOne UI：“Scope”选项卡 - 时域

“Scope”选项卡由左侧的绘图部分和右侧的配置部分组成。配置部分还细分为多个子选项卡。它允许访问单通道示波器，该示波器可用于监测时域或频域中的信号选择。因此，绘图区域的 X 轴显示时间（用于时域显示，参见图 4.20）或频率（用于频域显示，参见图 4.22）。通过打开“Scope”选项卡的第二个实例，可以同时显示时间轨迹和相关的 FFT。

Scope 以高达 210 MSa/s 的速度记录来自单个通道的数据。用户可以在两个信号输入和两个信号输出之间选择通道。Scope 在标准配置中记录最多 2 kSa 样本的数据集，这相当于在最高采样率下的 10 µs 采样时间。

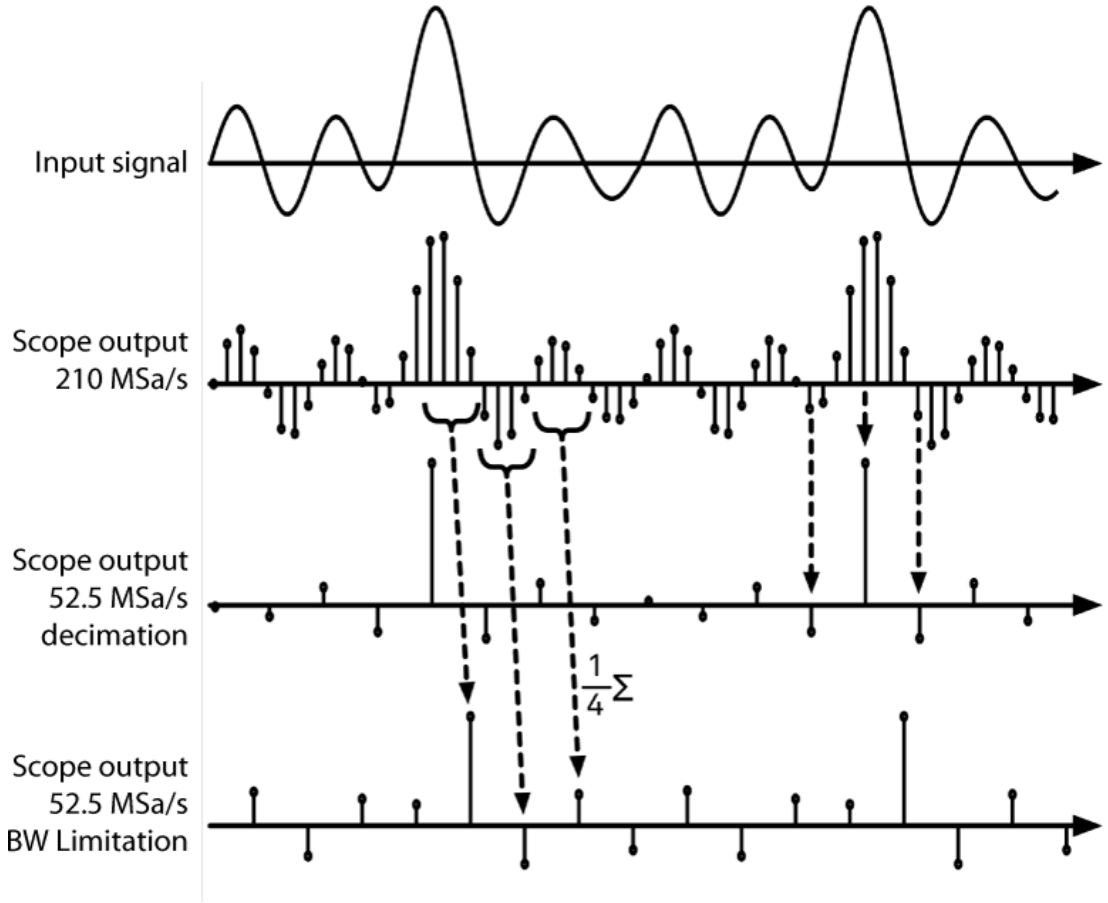


图 4.21. 显示当采样率从默认的 210 MSa/s 降低到 52.5 MSa/s 时，如何在带宽限制和抽取模式下生成示波器输出

通过选择“Freq Domain FFT”作为“Horizontal Mode”，可以在“Control”子选项卡中激活频域表示。这样一来，用户就可以观察采集到的样本截图的频谱。所有控件和设置在时域和频域表示之间共享。

Scope 支持对多个截图求平均值。该功能通过具有可配置滤波器深度的指数移动平均滤波器实现。求平均值有助于抑制与主信号不相关的噪声分量。特别适合与“Frequency Domain FFT”模式结合使用，可以帮助显示谐波信号和干扰，否则这些信号和干扰可能隐藏在本底噪声之下。

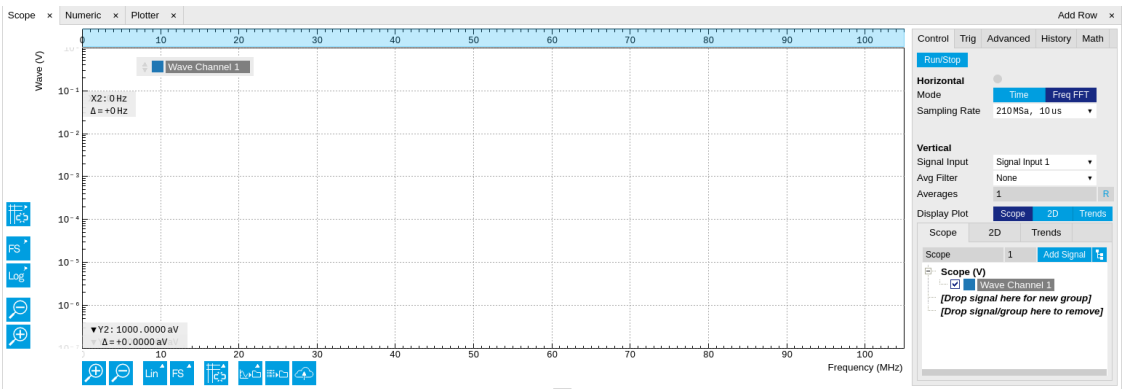


图 4.22. LabOne UI：“Scope”选项卡 - 频域

“Trigger”子选项卡提供在不同信号源上触发所需的所有控件。启用触发后，只要满足触发条件，就会采集示波器截图。触发和滞后电平可以在绘图中表示为图形。禁用触发相当于连续采集示波器截图。

4.7.3 功能元素

表 4.18.“Scope”选项卡：“Control”子选项卡

控件/工具	选项/范围	说明
Signal Input	Signal Output 1	选择示波器输入的源。
	Signal Output 2	
	Signal Input 1	
	Signal Input 2	
Run/Stop	Run/Stop	连续运行示波器/FFT。
Mode	Time Domain	切换显示时域或频域。
	Freq Domain (FFT)	
Sampling Rate	6.4 kSa/s 至 210 MSa/s	定义示波器的采样率。 显示的数值是四舍五入后的结果。确切值等于基本采样率除以 2^n，其中 n 是整数。
Average Filter		启用在计算和显示多个示波器截图的平均值时所应用的指数移动平均 (EMA) 滤波器。
	Off	关闭求平均值。
	Exponential Moving Average	将对连续示波器截图进行指数加权求平均值。
Averages	整数值	达到 63% 的稳定程度所需的截图数量。截图数量加倍可达到 86% 的稳定程度。
Reset	R	复位均值滤波器。

有关纵坐标组的信息，请参见“纵坐标组”部分中的“纵坐标组说明”表。

表 4.19.“Scope”选项卡：“Trigger”子选项卡

控件/工具	选项/范围	说明
Signal		选择触发源信号。
	Off	关闭示波器。
	Continuous	在延迟时间之后获取并显示新波形。将忽略触发源。
	Signal Inputs 1/2	当相应的信号输入与触发条件匹配时，获取并显示新的波形。
	Signal Outputs 1/2	当相应的信号输出与触发条件匹配时，获取并显示新的波形。

控件/工具	选项/范围	说明
	Oscillators 1-8	当相应的振荡器与触发条件匹配时，获取并显示新的波形。
	DIO 0/1	当相应的 DIO 信号与触发条件匹配时，获取并显示新的波形。
Level (%)	数字百分比值（允许负值）	定义相对于信号满量程的触发电平。
Trigger	灰色/绿色/黄色	闪烁时，表示正在捕获新的示波器截图并显示在绘图区域中。并非必须启用触发，此指示灯才会闪烁。禁用触发相当于连续采集。 发生数据丢失的示波器截图将以黄色指示。这种无效的示波器截图不会得到处理。
Slope	上升沿触发	选择应激活触发的信号边沿。
	下降沿触发	
Holdoff (s)	数值	定义在记录事件后重新激活触发之前的时间。
Plot Type		选择绘图类型。
	None	不显示绘图。
	2D	将指定数量的网格行显示为一个 2D 绘图。
	Row	仅显示“Active Row”字段中定义的索引的迹线。
	2D + Row	显示 2D 和 Row 绘图。
Active Row	整数值	在 Row 绘图中设置要显示的行索引。
Track Active Row	ON / OFF	启用后，活动行标记将跟踪最后记录的行。禁用后，活动行控制字段为只读。
Palette	Viridis	选择当前绘图的颜色映射表。
	Inferno	
	Balance	
	Turbo	
	Grey	
	Solar	
Colorscale	ON / OFF	启用/禁用 2D 绘图中的色度栏显示。
Mapping		映射色度。
	Lin	启用线性映射。
	Log	启用对数映射。
	dB	以 dB 为单位启用对数映射。
Scaling	Full Scale/Manual/Auto	缩放色度。
Clamp To Color	ON / OFF	启用后，超出定义的最小区域或最大区域的网格值将使用最小或最大等效色绘制。禁用后，超出定义的最小值或最大值的网格值将保持透明。

控件/工具	选项/范围	说明
Start	数值	色度下限。 仅手动缩放时可见。
Stop	数值	色度上限。 仅手动缩放时可见。

表 4.20.“Scope”选项卡：“Advanced”子选项卡

控件/工具	选项/范围	说明
BW Limit	ON / OFF	在示波器样本抽取和求平均值之间进行选择。求平均值可避免混叠，但可能会隐藏单个样本的峰值。
FFT Window	Rectangular	可供选择的七种不同的 FFT 窗。每个窗函数在幅值精度和频谱泄漏之间会有不同程度的折衷。请查看相关文献，以便找到最符合您需求的窗函数。
	Hann	
	Hamming	
	Blackman Harris	
	Exponential (ring-down)	
	Cosine (ring-down)	
	Cosine squared (ring-down)	
Resolution (Hz)	mHz 至 Hz	以采集时间的倒数定义的频谱分辨率（采样率，记录的样本数）。
Spectral Density	ON / OFF	计算并显示频谱密度。如果启用“Power”，则会计算功率谱密度值。功率谱密度用于分析噪声。
Power	ON / OFF	计算并显示功率值。要提取功率谱密度 (PSD)，应将此按钮与“Spectral Density”一起启用。
Persistence	ON / OFF	保留显示先前的示波器截图。 颜色方案会通过多种颜色以时间和幅值的形式来显示在某些位置上的出现次数。
Rate		示波器通道的流传输速率。可以独立于示波器采样率来调整流传输速率。最大速率取决于传输接口。注：示波器流传输需要使用 DIG 选件。

表 4.21.“Scope”选项卡：“History”子选项卡

控件/工具	选项/范围	说明
History	History	列表中的每个条目对应于历史记录中的单条迹线。绘图中显示的迹线数量最多为 20。使用切换按钮可隐藏或显示各迹线。使用颜色选择器可更改绘图中迹线的颜色。双击列表条目可编辑其名称。

控件/工具	选项/范围	说明
Length	整数值	历史记录中的最大记录数。列表中显示的条目数被限制为最近的 100 个条目。
Clear All	Clear All	从历史记录列表中删除所有记录。
Clear	Clear	从历史记录列表中删除所选记录。
Load file		将数据从文件加载到历史记录。加载操作不会改变在绘图中显示的数据类型和范围，如果数据未显示，则需要手动调整。
Name		输入一个名称用作文件夹名称以保存历史记录。另外向文件夹名称中添加一个三位数计数器，以标识连续保存到同一文件夹名称。
Auto Save		激活自动保存功能。激活后将自动保存历史记录中的所有测量结果以及之后的每一个测量结果。自动保存目录可通过名称中的文本“autosave”来识别，例如“sweep_autosave_001”。如果在连续运行模块期间激活自动保存功能，则每次连续的测量结果都会保存到同一个目录下。对于单触发操作，会创建一个新目录来包含历史记录中的所有测量结果。根据不同的文件格式，测量结果会附加到同一文件中或保存在单独的文件中。对于 HDF5 和 ZView 格式，测量结果会附加到同一文件中。对于 MATLAB 和 SXM 格式，每一个测量结果都保存在单独的文件中。
File Format		选择保存数据时采用的文件格式。
Save	Save	将历史记录中的迹线保存到可在“File Manager”选项卡中访问的文件中。该文件包含“Control”子选项卡的“Vertical Axis Groups”中的信号。保存的数据取决于下拉列表中的选择。Save All：保存所有迹线。Save Sel：保存所选迹线。

有关“Math”子选项卡的信息，请参见“光标和数学”部分中的“绘图数学说明”表。

4.8. “Data Acquisition” 选项卡

Data Acquisition 工具是独特的分析工具集中引入的功能强大的时域测量工具之一，可用于所有 HF2LI 仪器。该选项卡在 LabOne 软件老版本中曾被称为 “Software Trigger” 选项卡。

4.8.1. 功能

- 所有连续流传输数据的时域和频域显示
- 成像数据的捕获和色度显示
- 帧求平均值和像素插值
- 确定自动触发电平
- 显示多条迹线
- 记录历史可调整
- 用于信号分析的数学工具箱

4.8.2. 说明

“Data Acquisition” 选项卡支持在触发事件时显示并记录逐次成像数据集。当该选项卡关闭或需要其他相同类型的选项卡时，单击以下图标即可打开该选项卡的新实例。

表 4.22. 应用图标和简要说明

控件/工具	选项/范围	说明
DAQ		为所有连续流传输的测量数据样本和时域显示提供复杂的触发功能。

“Data Acquisition” 选项卡（参见图 4.23）由左侧的显示部分和右侧的配置部分组成。配置部分还细分为多个子选项卡。

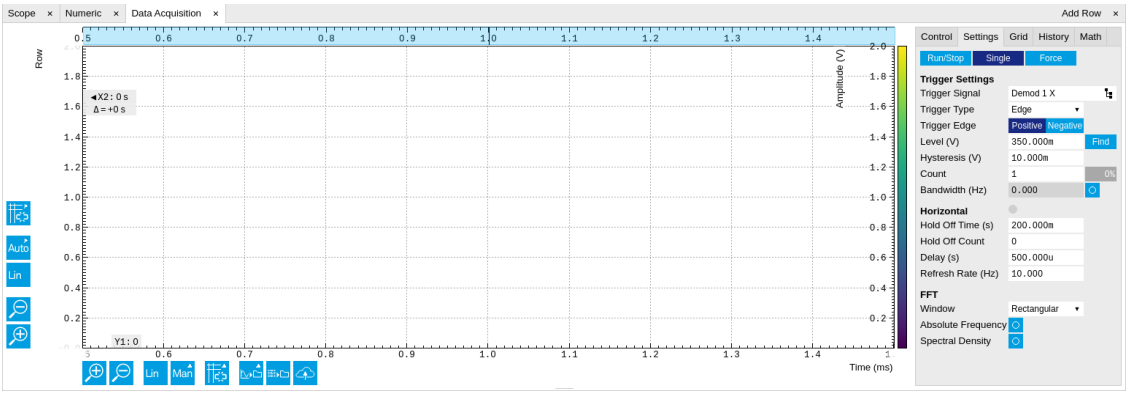


图 4.23. LabOne UI： “Data Acquisition” 选项卡

Data Acquisition 工具为解调器信号和其他流传输数据带来了具有 FFT 能力的示波器触发功能。用户可以在时域和频域中的各种不同触发和显示选项之间进行选择。

使用 “Control” 子选项卡配置在时域和频域中要测量哪些信号。测量信号可以添加到 “Vertical Axis Groups” 部分，如纵坐标组中所述。时域和频域数据各有一个纵坐标组。

触发条件在 “Settings” 子选项卡中配置。在此处提供的 “Trigger Types” 选择中， “Edge” 和 “Pulse” 适用于模拟触发源，例如解调器数据、辅助电压或振荡器频率。通过使用插值，触发时间分辨率提高到超过模拟数据的采样率。无需手动设置 “Trigger Level” ，您可以单击 Find，让 LabOne 通过分析数据流找到一个值。对于嘈杂的触发源， “Bandwidth” 和 “Hysteresis” 设置都有助于预防假触发事件。 “Bandwidth” 设置提供应用于触发源的可配置低通滤波器。启用此功能时，请务必选择足够高的带宽来解析应触发的信号特征，例如信号边沿或脉冲。 “Bandwidth” 设置不会影响记录的数据。

对于偏移缓慢变化的触发源， “Trigger Types” 中的 “Tracking Edge” 和 “Tracking Pulse” 提供 “Level” 和 “Hysteresis” 的连续调整。在 “Tracking” 模式下， “Bandwidth” 设置的作用不同于 “Edge” 和 “Pulse” 触发类型。在这里，应该选择足够低的 “Bandwidth” 以过滤掉所有快速特征，只让缓慢偏移通过。 “Trigger Types” 中的 “HW Trigger” 和 “Digital” 用于 DIO 线上的 TTL 信号。通过 “Bits” 和 “Bit Mask” 设置，可以定义 DIO 线上的复杂多位触发条件。由于 DIO 线的状态与解调器数据一并传输，因此数字触发的计时分辨率由解调器的采样率予以确定。

“Settings” 子选项卡的 “Horizontal” 部分包含关于截图 “Duration” 和 “Delay” 的设置（负延迟对应于预触发时间）。此处还定义了 “Pulse” 和 “Tracking Pulse” 触发类型的最小和最大脉冲宽度。

“Grid” 子选项卡提供成像功能，可捕获和显示组织在由行和列组成的帧中的二维数据集。默认情况下，行数为 1，这意味着 Data Acquisition 工具的操作类似于示波器。 “Rows” 设置大于 1 时，每个新捕获的数据截图都会分配到一行，直到达到行数且帧完成。完整帧完成后，根据所选的 “Operation and Repetitions” 设置，执行新数据替换旧数据或执行求平均值的操作。在水平轴上，截图的 “Duration” 被划分为由 “Columns” 设置指定的多个样本。 “Mode” 设置提供对流传输数据进行后处理以进行插值、重新采样和与触发事件对齐的功能。这适用于从多个来源捕获数据，例如解调器和 PID 控制器。如图 4.24 所示，在这种情况下，流传输数据默认不会位于同一时间网格上。这可以通过将 “Mode” 设置为 “Linear” 或 “Nearest” 来更改。在这些模式下，来自多个来源的数据流将被上采样以匹配最快数据流的采样率和时间网格。这意味着保存后对数据进行处理变得更加方便，但请注意，实际数据流传输速率并没有提高，并且数据在时间分辨率上也没有增加。可以在 “Display” 部分启用和控制数据的二维色度图像。显示具有可配置的缩放比例、范围和色度等功能。

启用网格模式后，求平均后的完整帧数据显示为 “History” 子选项卡中的列表条目。有关如何管理和存储历史记录列表中的数据的更多详细信息，请参见历史记录列表。

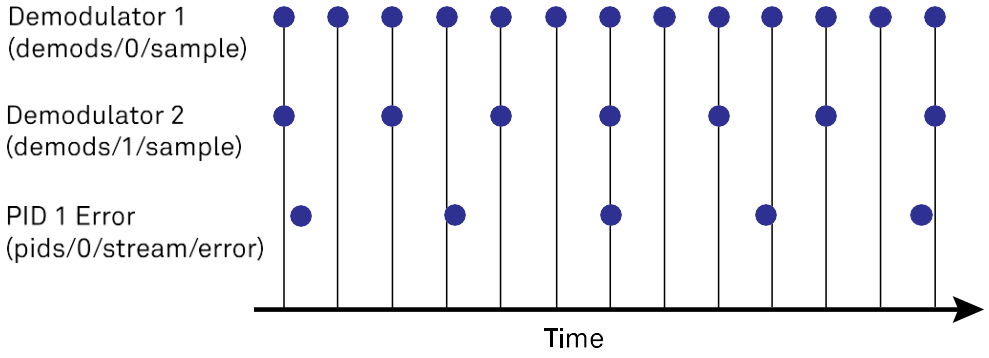


图 4.24. 来自不同来源的样本配置为不同的采样率：解调器 1 为 2N kSa/s、解调器 2 为 N kSa/s，PID Error 1 为 M kSa/s（N 不能被 M 整除）。虽然每个数据流由时间上等距间隔的样本组成，但由于采样率不同，来自不同数据流的样本时间戳不一定一致。

4.8.3. 功能元素

表 4.23. “DAQ” 选项卡： “Control” 子选项卡

控件/工具	选项/范围	说明
Run/Stop		启动和停止 Data Acquisition 工具
Single		运行一次 Data Acquisition 工具（记录（计数）触发事件）
Force		强制输出单个触发事件。
Triggered	灰色/绿色	绿色表示正在捕获新的触发截图并显示在绘图区域中。

有关纵坐标组的信息，请参见“纵坐标组”部分中的“纵坐标组说明”表。

表 4.24. “DAQ” 选项卡： “Settings” 子选项卡

控件/工具	选项/范围	说明
Trigger Signal		触发条件的源信号。浏览显示的树视图，然后单击所需信号。
Trigger Type		选择要使用的触发类型。可选用的选件取决于所选的触发信号。
	Continuous	连续触发。
	Edge	基于高电平和低电平的模拟边沿触发。可通过电平滞后和低通滤波技术来降低误触发含噪声触发信号的风险。
	Digital	32 位 DIO 线上的数字触发。通过位值定义触发条件。通过位掩码控制用于触发器评估的位。使用 “Positive Edge” 触发设置时，一旦满足等式 (DIO 数值)AND(位掩码) = (位)AND(位掩码)（并且之前未能满足），就会发生触发事件。若要在 DIO0 上触发，则将位值和位掩码均设置为 1；若要在 DIO1 上触发，则将位值和位掩码均设置为 2。
	Pulse	当模拟信号中的脉冲介于最小脉冲宽度与最大脉冲宽度之间时触发。脉冲可以定义为如下变化：低电平-高电平-低电平（正）、高电平-低电平-高电平（负）或以上两者。

控件/工具	选项/范围	说明
	Tracking Edge	边沿触发，自动调节触发电平以补偿漂移。跟踪速度通过低通滤波器的带宽控制。对于此滤波器，只能通过电平滞后来实现噪声抑制。
	HW Trigger	由四个触发输入之一触发。确保已正确调整触发电平和触发耦合。可以在绘图仪上监测触发输入状态。
	Tracking Pulse	脉冲触发，自动调节触发电平以补偿漂移。跟踪速度通过低通滤波器的带宽控制。对于此滤波器，只能通过电平滞后来实现噪声抑制。
Pulse Type	Positive/Negative/Both	选择用于触发的信号脉冲类型：负脉冲、正脉冲或以上两者。
Trigger Edge	Positive/Negative/Both	选择在触发输入信号从高电平变为低电平的过程中达到触发电平时触发，还是从低电平变为高电平的过程中达到触发电平时触发，或者上述两种情况都触发。此字段仅在触发类型为“Edge”、“Tracking Edge”和“Event Count”时显示。
Bits	0 至 2^32-1	指定用于触发的 DIO 值。必须在所有指定位都完成设置后才能触发。此字段仅在触发类型为“Digital”时显示。
Bit Mask	0 至 2^32-1	为 DIO 触发值指定位掩码。触发值为“位 AND 位掩码”（按位）。此字段仅在触发类型为“Digital”时显示。
Level	全信号范围	指定触发电平值。
Find	Find	根据当前信号自动查找触发电平。
Hysteresis	全信号范围	在噪声环境下，若想在正确的边沿触发，滞后非常重要。如果选择正边沿触发，则在触发电平以下应用滞后。如果选择负边沿触发，则在触发电平以上应用滞后。如果选择在两种边沿均触发，则在触发电平两侧均应用滞后。
Count	整数	要记录的触发事件数（在“Single”模式下）
Trigger progress	0% 至 100%	已获取的触发所占百分比（在“Single”模式下）
Bandwidth (Hz)	0 至 0.5 * 采样率	应用于触发信号的低通滤波器的带宽。对于边沿和脉冲触发，使用的带宽应大于信号采样率的 1/20，以便保持相位延迟。对于跟踪滤波器，使用的带宽应小于信号采样频率的 1/100，以便仅跟踪漂移等慢速信号分量。
Enable	ON / OFF	启用触发信号的低通滤波。
Hold Off Time (s)	正数值	重新激活触发器之前的延迟时间。如果延迟时间短于持续时间，将会导致触发帧发生重叠。

控件/工具	选项/范围	说明
Hold Off Count	整数值	再次记录下一次触发之前跳过的触发次数。
Delay (s)	-Duration 至 Duration	触发帧位置（左侧）相对于触发边沿的时间延迟。如果延迟小于 0，则表示触发边沿在触发帧内（预触发）。如果延迟大于 0，则表示触发边沿在触发帧之前（后触发）。
Refresh Rate	100 mHz 至 10 Hz	设置用于绘图更新的最大刷新率。实际刷新率还取决于延迟时间和持续时间等其他因素。
Pulse Min (s)	0 至 Duration	用于触发的最小脉冲宽度。
Pulse Max (s)	0 至 Duration	用于触发的最大脉冲宽度。
Window	Rectangular	可供选择的七种不同的 FFT 窗函数。根据应用的不同，使用的窗函数也会有巨大差异。请查看相关文献，以便找到最符合您需求的窗函数。
	Hann	
	Hamming	
	Blackman Harris	
	Exponential (ring-down)	
	Cosine (ring-down)	
	Cosine squared (ring-down)	
Absolute Frequency	ON / OFF	关闭时，移动 x 轴标记以显示中心解调频率，而不是 0 Hz。
Spectral Density	ON / OFF	计算并显示频谱密度。如果启用“Power”，则会计算功率谱密度值。功率谱密度用于分析噪声。

表 4.25. “DAQ”选项卡：“Grid”子选项卡

控件/工具	选项/范围	说明
Mode		选择二维数据记录的重新采样方法。
	Off	禁用二维数据记录。
	Nearest	使用最接近的数据点代替执行重新采样。
	Linear	使用线性插值来执行重新采样。
	Exact (on-grid)	调整持续时间，以使得网格距离与所选信号的最大采样率相匹配。这样可以按网格对测量数据进行采样。如果信号使用的采样率较低，则将通过线性插值对其进行上采样。
On Grid Sampling	绿色或黄色	绿色表示捕获的所有数据都与网格对齐。黄色表示某些数据未与网格对齐并进行了插值处理。当其中一个或多个数据源的采样率不同或采样率发生变化时，就会出现这种情况。
Operation		选择行更新方法。
	Replace	新行替换旧行。

控件/工具	选项/范围	说明
	Average	每行的数据是多次重复采样的平均值。
	Std	每行的数据是多次重复采样的标准差。
Columns	数值	列数。将沿水平轴的数据重新采样到由此设置定义的多个样本。
Duration	最长 1000 s	记录每个触发的数据集的长度。在精确采样模式下，Duration 是只读字段。Duration 由最大采样率和列大小定义。
Rows	数值	行数
Scan Direction		选择扫描方向和模式
	Forward	扫描方向从左到右
	Reverse	扫描方向从右到左
	Bidirectional	两个方向交替扫描
Repetitions	数值	用于求平均值的重复采样次数
Row-wise repetition	ON / OFF	启用逐行重复。对于逐行重复，每一行都在连续进行多次重复采样后计算数据，然后再开始下一行。对于网格重复，每次重复采样后便计算整个网格。
Waterfall	ON / OFF	允许以瀑布模式显示 2D 绘图。将始终更新最后一行。
Overwrite	ON / OFF	允许以连续模式覆盖网格。不会收集历史记录。只有在分析停止后才会创建历史记录元素。
Plot Type		选择绘图类型。
	None	不显示绘图。
	2D	将指定数量的网格行显示为一个 2D 绘图。
	Row	仅显示“Active Row”字段中定义的索引的迹线。
	2D + Row	显示 2D 和行绘图。
Active Row	整数值	在 Row 绘图中设置要显示的行索引。
Track Active Row	ON / OFF	启用后，活动行标记将跟踪最后记录的行。禁用后，活动行控制字段为只读。
Palette	Viridis	选择当前绘图的颜色映射表。
	Inferno	
	Balance	
	Turbo	
	Grey	
	Solar	
Colorscale	ON / OFF	启用/禁用 2D 绘图中的色度栏显示。
Mapping		映射色度。
	Lin	启用线性映射。

控件/工具	选项/范围	说明
	Log	启用对数映射。
	dB	以 dB 为单位启用对数映射。
Scaling	Full Scale/Manual/Auto	缩放色度。
Clamp To Color	ON / OFF	启用后，超出定义的最小区域或最大区域的网格值将使用最小或最大等效色绘制。禁用后，超出定义的最小值或最大值的网格值将保持透明。
Start	数值	色度下限。 仅手动缩放时可见。
Stop	数值	色度上限。 仅手动缩放时可见。

表 4.26. “DAQ” 选项卡： “History” 子选项卡

控件/工具	选项/范围	说明
History	History	列表中的每个条目对应于历史记录中的单条迹线。绘图中显示的迹线数量最多为 20。使用切换按钮可隐藏或显示各迹线。使用颜色选择器可更改绘图中迹线的颜色。双击列表条目可编辑其名称。
Length	整数值	历史记录中的最大记录数。列表中显示的条目数被限制为最近的 100 个条目。
Clear All	Clear All	从历史记录列表中删除所有记录。
Clear	Clear	从历史记录列表中删除所选记录。
Load file		将数据从文件加载到历史记录。加载操作不会改变在绘图中显示的数据类型和范围，如果数据未显示，则需要手动调整。
Name		输入一个名称用作文件夹名称以保存历史记录。另外向文件夹名称中添加一个三位数计数器，以标识连续保存到同一文件夹名称。
Auto Save		激活自动保存功能。激活后将自动保存历史记录中的所有测量结果，以及之后的每一个测量结果。自动保存目录可通过名称中的 “autosave”文本来识别，例如 “sweep_autosave_001”。如果在连续运行模块期间激活自动保存功能，则每次连续的测量结果都会保存到同一个目录下。对于单触发操作，会创建一个新目录来包含历史记录中的所有测量结果。根据不同的文件格式，测量结果会附加到同一文件中或保存在单独的文件中。对于 HDF5 和 ZView 格式，测量结果会附加到同一文件中。对于 MATLAB 和 SXM 格式，每一个测量结果都保存在单独的文件中。

控件/工具	选项/范围	说明
File Format		选择保存数据时采用的文件格式。
Save	Save	将历史记录中的迹线保存到可在“File Manager”选项卡中访问的文件中。该文件包含“Control”子选项卡的“Vertical Axis Groups”中的信号。保存的数据取决于下拉列表中的选择。Save All：保存所有迹线。Save Sel：保存所选迹线。

有关“Math”子选项卡的信息，请参见“光标和数学”部分中的“绘图数学说明”表。

4.9. “Spectrum Analyzer” 选项卡

正如独特的分析工具集一节所述，Spectrum Analyzer 是强大的频域测量工具，可用于所有 HF2LI 系列仪器。

4.9.1. 功能

- 高速高分辨率 FFT 频谱分析仪
- 信号：解调数据（X+iY、R、Θ、f 和 dΘ/dt/(2π)）、PID、Boxcar、辅助输入等
- 可调节的中心频率、频率分辨率和频率范围
- 自动带宽
- 瀑布模式显示
- 4 种不同的 FFT 窗函数可选
- 以不同类型的平均功能连续和分块采集
- 详细的噪声功率分析
- 支持输入缩放和输入单元
- 数学工具箱用于信号分析

4.9.2. 说明

可通过 “Spectrum Analyzer” 选项卡对解调器数据进行频域分析。当该选项卡关闭或需要其他相同类型的选项卡时，单击以下图标即可打开该选项卡的新实例。

表 4.27. 应用图标和简要说明

控件/工具	选项/范围	说明
Spectrum		为所有连续流传输的测量数据提供 FFT 功能。

“Spectrum” 选项卡（参见图 4.25）由左侧的显示部分和右侧的配置部分组成。配置部分还细分为多个子选项卡。

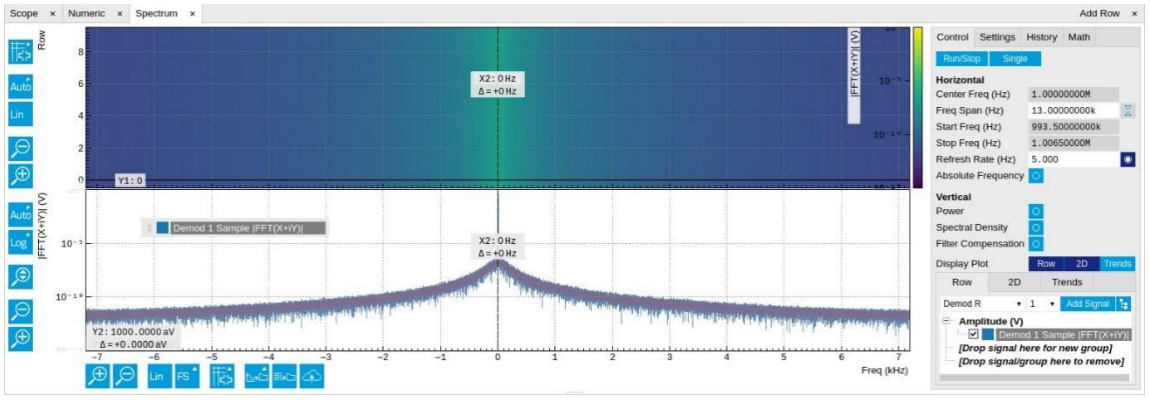


图 4.25. LabOne UI： “Spectrum Analyzer” 选项卡

“Spectrum Analyzer” 选项卡通过对复数解调器数据样本 X+iY（以 i 为虚部）执行快速傅里叶变换 (FFT)，允许对所有解调器数据进行频谱分析。此 FFT 结果是解调频率周围的频谱，而直接

对原始输入数据应用 FFT 则将产生零频率周围的频谱。后者对应的过程是第 4.7 节的频域操作。二者的主要区别在于，Spectrum Analyzer 工具可在更长的时段内获取数据，因此可在解调频率周围实现非常高的频率分辨率。默认情况下显示的是零频率周围的频谱。然而，有时通过解调频率来移动频率轴是很方便的，这使得人们可以用信号输入处的物理频率来识别水平轴上的频率。方法是在“Settings”子选项卡上激活“Absolute Frequency”。

显示部分默认包括频谱的线绘图，以及最近获取的几个频谱的彩色瀑布图。瀑布图更便于查看一段时间内的频谱变化。显示部分的布局以及彩色绘图中的行数均可在“Settings”子选项卡中配置。

“Spectrum”子选项卡中所示的数据均已通过低通滤波器按明确定义的阶数和带宽完成滤波。噪声基底的形状清晰地反映出了滤波的效果。为防止因混叠而造成的测量误差，必须注意所选择的频率范围（等于解调器采样率）要比滤波器带宽高 5 到 10 倍。“Auto Bandwidth”按钮 A 用于根据滤波器设置调整采样率。“Spectrum”选项卡还具有 FFT 显示功能，显示“Signal Type”下拉列表中除了复数解调器样本 X+iY 之外的一系列可选数据。查看极坐标解调器值 R 和 θ 的 FFT，即可区分信号中的相位噪声分量和幅度噪声分量。借助相位导数 dΘ/dt 的 FFT，能够从定量角度了解解调器频率的频谱。这在与 PLL 或 ExtRef 功能结合使用时尤其实用。频率样本的 FFT 能够从定量角度说明参考信号中呈现的频率噪声分量，并有助于找到追踪信号的最优 PLL 带宽。需要注意的是，“Signal Type”列表中的很多信号都是实值的，而非复值的。其频谱都是单侧的，最低频率为 0 Hz。

4.9.3. 功能元素

表 4.28. “Spectrum”选项卡：“Settings”子选项卡

控件/工具	选项/范围	说明
Run/Stop	Run/Stop	连续运行 FFT 频谱分析
Single	Single	运行一次 FFT 频谱分析
Center Freq (Hz)	数值	将所选解调器的解调频率用作频谱的输入。对于复数 FFT (X+iY)，解调频率定义了所显示 FFT 的中心频率。
Frequency Span (Hz)	数值	设置复数 FFT 的期望频率范围。基于实际输入数据的 FFT 将显示频率范围的一半，上限为奈奎斯特频率。
Auto Bandwidth	A	自动调整解调器带宽，以便在所选频率范围（等于采样率）内实现最佳混叠抑制。该功能仅在已启用频谱的情况下可用。
Start Frequency (Hz)	数值	表示 FFT 的起始频率。
Stop Frequency (Hz)	数值	表示 FFT 的结束频率。
Refresh Rate (Hz)	数值	设置绘图的最大刷新率。实际刷新率还取决于“FFT length”等其他参数。在重叠模式下，刷新率定义重叠量。

控件/工具	选项/范围	说明
Overlapped FFT	ON / OFF	启用重叠的 FFT。如果禁用，则在不同的邻接数据集上执行 FFT。如果启用，则连续 FFT 的数据集将根据所定义的刷新率重叠。
Power	ON / OFF	计算并显示功率值。要提取功率谱密度 (PSD)，应将此按钮与“Spectral Density”一起启用。
Spectral Density	ON / OFF	计算并显示频谱密度。如果启用“Power”，则会计算功率谱密度值。功率谱密度用于分析噪声。
Filter Compensation	ON / OFF	通过解调器滤波器传递函数校正频谱。允许对频谱不同部分的幅值进行定量比较。
Absolute Frequency	ON / OFF	关闭时，移动 x 轴标记以显示中心解调频率，而不是 0 Hz。
FFT length	数值	用于 FFT 的样本数。如果输入的值不是 2 的幂，则会被截断为最接近的 2 的幂。
Sampling Progress	0% 至 100%	FFT 缓冲区中已获取的样本数所占的百分比。进度包括行数和平均值。
FFT Duration (s)	数值	表示样本进行单次 FFT 所使用的时长。
Window	Rectangular	可供选择的七种不同的 FFT 窗函数。根据应用的不同，使用的窗函数也会有巨大差异。请查看相关文献，以便找到最符合您需求的窗函数。
	Hann	
	Hamming	
	Blackman Harris	
	Exponential (ring-down)	
	Cosine (ring-down)	
	Cosine squared (ring-down)	
Resolution (Hz)	mHz 至 Hz	以采集时间的倒数定义的频谱分辨率（采样率，记录的样本数）。
Rows	数值	行数
Averages	数值	每行的 FFT 平均数。将该值设置为 1 会禁用任何求平均值。
Waterfall	ON / OFF	允许以瀑布模式显示 2D 绘图。将始终更新最低一行。
Overwrite	ON / OFF	允许以连续模式覆盖网格。不会收集历史记录。只有在分析停止后才会创建历史记录元素。
Plot Type		选择绘图类型。
	None	不显示绘图。
	2D	将指定数量的网格行显示为一个 2D 绘图。
	Row	仅显示“Active Row”字段中定义的索引的迹线。
	2D + Row	显示 2D 和行绘图。

控件/工具	选项/范围	说明
Active Row	整数值	在 Row 绘图中设置要显示的行索引。
Track Active Row	ON / OFF	启用后，活动行标记将跟踪最后记录的行。禁用后，活动行控制字段为只读。
Palette	Viridis	选择当前绘图的颜色映射表。
	Inferno	
	Balance	
	Turbo	
	Grey	
	Solar	
Colorscale	ON / OFF	启用/禁用 2D 绘图中的色度栏显示。
Mapping		映射色度。
	Lin	启用线性映射。
	Log	启用对数映射。
	dB	以 dB 为单位启用对数映射。
Scaling	Full Scale/Manual/Auto	缩放色度。
Clamp To Color	ON / OFF	启用后，超出定义的最小区域或最大区域的网格值将使用最小或最大等效色绘制。禁用后，超出定义的最小值或最大值的网格值将保持透明。
Start	数值	色度下限。 仅手动缩放时可见。
Stop	数值	色度上限。 仅手动缩放时可见。

有关“Math”子选项卡的信息，请参见“光标和数学”部分中的“绘图数学说明”表。

4.10. “Sweeper” 选项卡

Sweeper 是应用极为广泛的测量工具，可用于所有 HF2LI 仪器。Sweeper 能够扫描规定范围内的仪器参数，同时测量选定的连续流传输的数据。在扫描参数是振荡器频率的特殊情况下，Sweeper 可提供功能强大的频率响应分析仪 (FRA)。

4.10.1. 功能

- 功能全面的参数扫描工具，可扫描频率、相移、输出幅值、直流输出电压等参数
- 同步显示来自不同数据源（解调器、PID、辅助输入等）的数据
- 不同的应用模式，例如频率响应分析仪（波特图）、噪声幅值扫描等
- 不同的扫描类型：单相、持续（运行/停止）、双向、二进制
- 持续显示之前的扫描结果
- 对奈奎斯特图或 I-V 曲线应用 “XY Mode”
- 标准化扫描
- 自动带宽、均化值和显示标准化
- 支持输入缩放和输入单元
- 相位展开
- 全面支持 Sinc 滤波器

4.10.2. 说明

Sweeper 支持多种参数逐步变化且图形化显示诸多测量数据的实验。在 UI 侧栏单击相应图标即可打开该工具。 “Sweeper” 选项卡（参见图 4.26）由左侧的绘图部分和右侧的配置部分组成。配置部分还细分为多个子选项卡。

表 4.29. 应用图标和简要说明

控件/工具	选项/范围	说明
Sweeper		扫描规定范围内的频率、电压及其他物理量，并显示包括统计运算在内的各种响应函数。

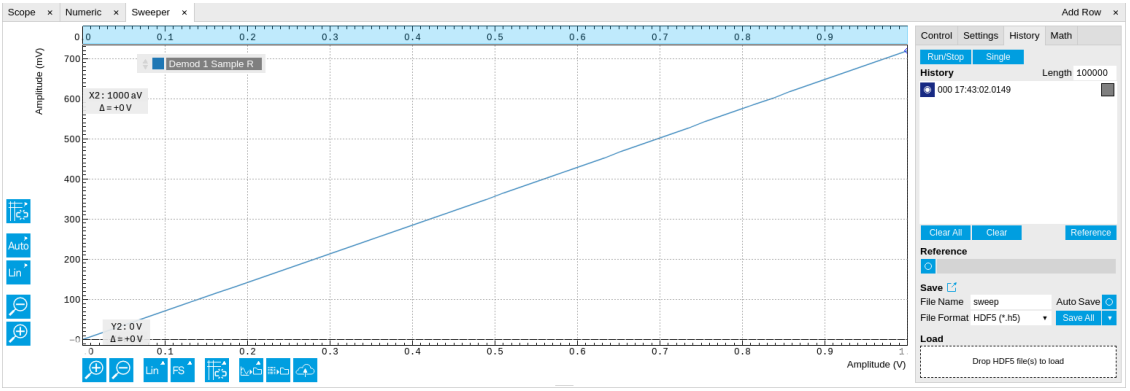


图 4.26. LabOne UI： “Sweeper” 选项卡

“Control” 子选项卡包含基础测量设置，例如扫描参数、起始值/结束值以及 “Horizontal” 部分中的点数（长度）。测量信号可通过 “Vertical Axis Groups” 部分添加。Sweeper 常用于执行频率扫描，以波特图的形式测量被测设备的响应情况。例如，AFM 和 MEMS 用户需要确定其振荡器的谐振频率和相位延迟。Sweeper 还可用于扫描频率以外的参数，例如信号幅值和直流偏移电压。例如，扫描辅助输出偏移可用于测量电流电压 (I-V) 特性。在 “XY Mode” 下，允许用户在水平轴上使用测量信号而非扫描参数。这对在阻抗测量中获得奈奎斯特图，或在非线性设备的四探头测量中显示 I-V 曲线非常有用。

扫描频率时，默认情况下起始值和结束值之间的扫描点是以对数而非线性方式分布的。这一功能可以帮助跨越多个数量级的频率，并可通过 “Log” 复选框禁用。 “Sweep Mode” 设置用于识别出现测量问题的原因在于滞后样本性能还是扫描速度太快。此类问题可导致双向扫描时出现非重叠曲线。

注释

Sweeper 会主动修改解调器和振荡器的主要设置。因此，尤其是在涉及多个实验，甚至来自不同的控制计算机的实验时，应非常小心，确保 Sweeper 模块改变的参数不会对别处产生不利影响。

Sweeper 提供 “Application Mode” 和 “Advanced Mode” 这两种操作模式，二者的可访问设置的细节水平不同，但都可通过 “Settings” 子选项卡访问。 “Application Mode” 提供六种测量方法供您选择，有助于快速获得大范围应用的正确测量结果。倾向于控制所有设置的用户可以切换到 “Advanced Mode” 。

在 “Advanced Mode” 的 “Statistics” 部分，可控制每个扫描点的数据均分方式：通过指定样本计数或指定滤波器时间常数 (TC) 的数量。考虑到解调器采样率和滤波器设置，实际测量时间取两种设置得出的较大值。 “Algorithm” 设置决定了使用测量数据计算出的统计数据：一般情况下是平均值，噪声测量时是偏差，功率测量时是均方值。相位展开功能可确保相位测量曲线在 PM180 度范围内的连续性。启用 “Sinc Filter” 设置意味着在 “Auto” 和 “Fixed” 模式下，解调器Sinc 滤波器会在扫描点低于 50 Hz 时被激活。这就像梳状滤波中解释的那样，加快了小频率的测量速度。

在 “Settling” 部分，可以控制参数设置和首次测量之间的等待时间。与 “Statistics” 设置相似的是，可以选择两种不同的等待时间代表方法。实际稳定时间是以绝对时间为单位设定的值和从解调器滤波器和所需的不精确度（如 0.1% 为 1 m）中得出的时间的最大值。举个例子。对于频率为 100 Hz、带宽为 3 dB 的 4 阶滤波器，在约 4.5 ms 后得到 90% 的阶跃响应。这可以使用图 4.27 中指示的 Data Acquisition 工具轻松测量得到。离散时间滤波器中也有说明。如果全量程设定为 1 V，这意味着测量由于不完美稳定而造成的最大误差约为 0.1 V。然而，对于大多数测量而言，相比满量程，相邻值更为接近，因此造成的实际误差通常要小得多。

在 “Advanced Mode” 的 “Filter” 部分，“Bandwidth Mode” 设置决定如何配置已激活的解调器的滤波器。在 “Manual” 模式下，Sweeper 不会改变当前设置（位于 “Lock-in” 选项卡）。在 “Fixed” 模式下，可在 “Sweeper” 选项卡中控制滤波器设置。在 “Auto” 模式下，Sweeper 根据想要的 ω 抑制来确定每个扫描点的滤波器带宽。ω 抑制取决于测量频率和滤波器陡度。对于频率扫描，带宽将根据 “Max Bandwidth” 设置中所设范围内的每个扫描点进行调整。“Auto” 模式尤其适用于跨越数个量级的频率扫描，因为带宽的持续调整可大幅缩短整体测量时间。

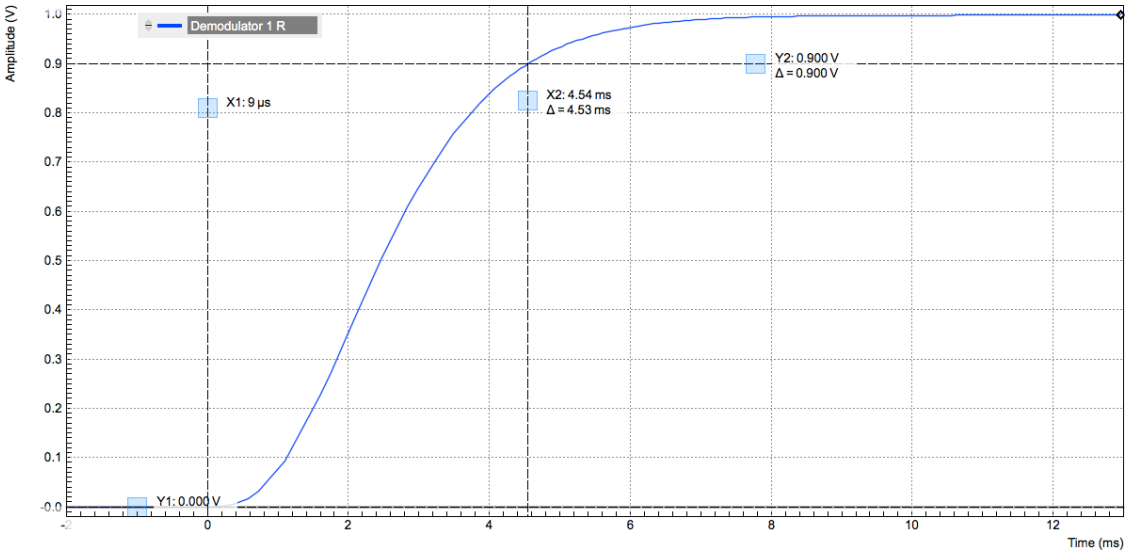


图 4.27. 解调器稳定时间和不精确度：使用 Data Acquisition 工具进行测量，以说明频率为 100 Hz、带宽为 3 dB 的 4 阶滤波器的稳定时间。

默认情况下绘图区域会保存并显示最近的 100 次扫描，可通过 “**History**” 子选项卡中的列表查看。有关如何管理和存储历史记录列表中的数据的更多详细信息，请参见历史记录列表。借助 “Reference” 功能，可以用参考测量来划分历史记录中的所有测量。例如，这一功能在消除频率响应扫描的寄生效应时非常实用。在将某个测量确定为参考时，只需在列表中标记该测量，然后单击 Reference。然后通过勾选列表下方的复选框来启用 “Reference” 模式，更新绘图显示。注意，“Reference” 设置并不影响数据保存：已保存的文件仍包含原始数据。

注释

Sweeper 会在接受不到任何数据的时候卡住。常见的错误是选择显示解调器数据，而不在 “Lock-in” 选项卡中启用相关解调器的数据传输。

注释

Sweeper 会在执行扫描时存储来自已启用的解调器和辅助输入的所有数据，即使它们并没有立即显示在绘图区域。这些数据可在稍后的时间点通过选择相应的信号显示设置（“Input Channel”）来访问。

4.10.3. 功能元素

表 4.30. “Sweeper” 选项卡：“Control” 子选项卡

控件/工具	选项/范围	说明
Run/Stop	Run/Stop	持续运行 Sweeper。
Single	Single	运行一次 Sweeper。
Copy From Range	Copy From Range	从绘图区域获取起始值和结束值。
Start (unit)	数值	扫描参数的起始值。根据所选的扫描参数调整单位。
Stop (unit)	数值	扫描参数的结束值。根据所选的扫描参数调整单位。
Length	整数值	设置测量点数。
Progress	0 至 100%	以记录的点数所占比例报告扫描进度。
Sweep Param		选择要扫描的参数。浏览显示的树视图，然后单击所需参数。可用的选项因设备配置而异。
Sweep Mode		选择扫描类型，默认顺序扫描（从起始值到结束值进行增量扫描）
	Sequential	从起始值到结束值的顺序扫描
	Binary	在整个范围内以不断增加的分辨率进行非顺序扫描
	Bidirectional	从起始值到结束值再返回到起始值的顺序扫描
	Reverse	从结束值到起始值的逆序扫描
X Distribution	Linear/Logarithmic	选择扫描参数的线性分布或对数分布。
Remaining	数值	报告当前扫描的剩余时间。只有 Sweeper 启动后才会显示有效数字。未定义的扫描时间用 NaN 表示。
Invert Y Axis	ON / OFF	显示 xy 绘图，使用反向 y 轴。此模式用于奈奎斯特图，允许在 y 轴上显示 -imag(z)，在 x 轴上显示 real(z)。
X Signal		选择用于定义 xy 绘图的 x 轴的信号。可用的选项因设备配置而异。显示所选的信号源将得到一条对角直线。

有关纵坐标组的信息，请参见“纵坐标组”部分中的“纵坐标组说明”表。

表 4.31. “Sweeper” 选项卡：“Settings” 子选项卡

控件/工具	选项/范围	说明
Filter		“Application Mode”：预设配置。 “Advanced Mode”：手动配置。
	Application Mode	Sweeper 自动设置滤波器和其他参数。
	Advanced Mode	Sweeper 使用手动配置的参数。
Application		选择扫描应用模式
	Parameter Sweep	每个参数扫描点仅获取一个数据样本。
	Parameter Sweep Averaged	每个参数扫描点获取的多个数据样本及其平均值。
	Noise Amplitude Sweep	每个参数扫描点获取的多个数据样本及其标准差（例如，用于确定输入噪声）。
	Freq Response Analyzer	窄带频率响应分析。启用求平均值。
	3-Omega Sweep	优化的 3-omega 应用参数。启用求平均值。
	FRA (Sinc Filter)	在 FRA 模式下，Sinc 滤波器有助于加速测量 50 Hz 以下的频率。对于更高的频率，会自动禁用。关闭求平均值。
	Impedance	此应用模式使用窄带宽滤波器设置来实现高准确度的校准。
Precision		在高速扫描速度与高精度/准确度之间权衡取舍。
	Low → fast sweep	低精度/准确度，快速扫描。
	High → standard speed	高精度/准确度，标准速度扫描（测量需要较长时间）。
	Very high → slow sweep	超高精度/准确度，慢速扫描（测量需要很长时间）。
Bandwidth Mode		推荐选择自动模式，尤其是对数扫描，可确保覆盖整个频谱。
	Auto	所选解调器的所有带宽设置都会自动调整。对于对数扫描，可在整个测量过程中调整测量带宽。
	Fixed	为所有选定的解调器定义一个特定的带宽用于测量。
	Manual	Sweeper 模块会使解调器的带宽设置完全不受影响。
Time Constant/Bandwidth Select		定义用于固定带宽模式下扫描的低通滤波器显示单位：时间常数 (TC)、噪声等效功率带宽 (NEP)、3 dB 带宽 (3 dB)。
	TC	使用滤波器的时间常数定义低通滤波器特性。
	Bandwidth NEP	使用滤波器的噪声等效功率带宽定义低通滤波器特性。

控件/工具	选项/范围	说明
	Bandwidth 3 dB	使用滤波器的截止频率定义低通滤波器特性。
Time Constant/Bandwidth	数值	定义固定带宽扫描模式下的测量带宽，并根据选择对应到噪声等效功率带宽 (NEP)、时间常数 (TC) 或 3 dB 带宽 (3 dB)。
Order	数值	选择要用于固定带宽模式下扫描的滤波器滚降系数。范围在 6 dB/oct 和 48 dB/oct 之间。
Max Bandwidth (Hz)	数值	自动带宽模式下使用的最大带宽。有效带宽将基于该最大值、频率步长和 omega 抑制来计算。
BW Overlap	ON / OFF	如果启用，扫描点的带宽可能会与相邻扫描点的频率重叠。有效带宽仅受最大带宽设置和 omega 抑制的限制。因此，带宽与扫描点数量无关。对于频率响应分析，应启用带宽重叠以实现最大扫描速度。
Omega Suppression (dB)	数值	抑制 omega 和 2-omega 分量。大幅抑制将对扫描时间产生显著影响，尤其是对于低阶滤波器。
Min Settling Time (s)	数值	从扫描参数更改到记录下一个扫描点的最短等待时间（以秒为单位）。此参数可用于定义实验测量装置所需的稳定时间。有效等待时间取该值与解调器滤波器稳定时间（由指定的“Inaccuracy”值确定）之间的最大值。
Inaccuracy	数值	解调器滤波器稳定不精确度，定义从扫描参数更改到记录下一个扫描点的等待时间。稳定时间计算的是达到输入阶跃函数的指定剩余比 [1e-13, 0.1] 所需的时间。典型的不精确度值：对于大信号的最高扫描速度为 10 m，对于精确幅值测量为 100 u，对于精确噪声测量为 100 n。稳定精度将定义 Sweeper 必须等待的时间（以滤波器时间常数的数量表示），具体取决于阶数。取该值与稳定时间之间的最大值作为记录下一个扫描点之前的等待时间。
Settling Time (TC)	数值	计算的等待时间以指定滤波器稳定不精确度定义的时间常数表示。
Algorithm		选择测量方法。
	Averaging	计算每个数据集的平均值。
	Standard Deviation	计算每个数据集的标准差。
	Average Power	基于 50 Ω 输入阻抗计算电功率。
Count (Sa)	整数	设置测量中考虑的每个参数扫描仪参数点的数据样本数。取样本、时间和时间常数的数量三者之间的最大值作为有效计算时间。

控件/工具	选项/范围	说明
Count (s)	数值	设置处理数据样本的时间。取样本、时间和时间常数的数量三者之间的最大值作为有效计算时间。
Count (TC)	0/5/15/50/100 TC	设置测量中考虑的每个参数扫描仪参数点的有效测量时间。取样本、时间和时间常数的数量三者之间的最大值作为有效计算时间。
Phase Unwrap	ON / OFF	允许在 +/-180 度附近展开缓慢变化的相位。
Spectral Density	ON / OFF	选择是否将测量结果相对于解调带宽进行归一化处理。
Sinc Filter	ON / OFF	如果扫描频率低于 50 Hz，则启用 Sinc 滤波器。启用后将改善低频条件下的扫描速度，因为不需要通过正常低通滤波器来抑制 omega 分量。

表 4.32. “Sweeper” 选项卡： “History” 子选项卡

控件/工具	选项/范围	说明
History	History	列表中的每个条目对应于历史记录中的单条迹线。绘图中显示的迹线数量最多为 20。使用切换按钮可隐藏或显示各迹线。使用颜色选择器可更改绘图中迹线的颜色。双击列表条目可编辑其名称。
Length	整数值	历史记录中的最大记录数。列表中显示的条目数被限制为最近的 100 个条目。
Clear All	Clear All	从历史记录列表中删除所有记录。
Clear	Clear	从历史记录列表中删除所选记录。
Load file		将数据从文件加载到历史记录。加载操作不会改变在绘图中显示的数据类型和范围，如果数据未显示，则需要手动调整。
Name		输入一个名称用作文件夹名称以保存历史记录。另外向文件夹名称中添加一个三位数计数器，以标识连续保存到同一文件夹名称。
Auto Save		激活自动保存功能。激活后将自动保存历史记录中的所有测量结果，以及之后的每一个测量结果。自动保存目录可通过名称中的 “autosave”文本来识别，例如 “sweep_autosave_001”。如果在连续运行模块期间激活自动保存功能，则每次连续的测量结果都会保存到同一个目录下。对于单触发操作，会创建一个新目录来包含历史记录中的所有测量结果。根据不同的文件格式，测量结果会附加到同一文件中或保存在单独的文件中。对于 HDF5 和 ZView 格式，测量结果会附加到同一文件中。对于 MATLAB 和 SXM 格式，每一个测量结果都保存在单独的文件中。

控件/工具	选项/范围	说明
File Format		选择保存数据时采用的文件格式。
Save	Save	将历史记录中的迹线保存到可在 “File Manager” 选项卡中访问的文件中。该文件包含 “Control” 子选项卡的 “Vertical Axis Groups” 中的信号。保存的数据取决于下拉列表中的选择。Save All：保存所有迹线。Save Sel：保存所选迹线。
Reference	Reference	使用所选迹线作为所有活动迹线的参考。
Reference On	ON / OFF	启用/禁用参考模式。
Reference name	name	所用参考迹线的名称。

有关 “Math” 子选项卡的信息，请参见“光标和数学”部分中的“绘图数学说明”表。

4.11. “Auxiliary” 选项卡

通过 “Auxiliary” 选项卡可访问辅助输入端和辅助输出端的设置，该选项卡可用于所有 HF2LI 系列仪器。

4.11.1. 功能

- 监控辅助输入连接器的信号电平
- 监控辅助输出连接器的信号电平
- 辅助输出信号源：解调器、PLL 和手动设置
- 定义辅助输出值的偏移和缩放
- 控制辅助输出范围限制

4.11.2. 说明

“Auxiliary” 选项卡主要监视和控制辅助输入和输出。当该选项卡关闭或需要其他相同类型的选项卡时，单击以下图标即可打开该选项卡的新实例。

表 4.33. 应用图标和简要说明

控件/工具	选项/范围	说明
Aux		控制与辅助输入和辅助输出有关的所有设置。

“Auxiliary” 选项卡（参见图 4.28）分为三个部分。“Aux Input” 部分有两个图形监控器和两个数字监控器，监控应用于后面板上的辅助输入端的信号幅值。选项卡中间是 “Aux Output” 部分，能够将任何测量信号关联到仪器前面板的 4 个辅助输出端中的任何一个。通过 “Offset” 值旁边的操作按钮，可将辅助输出端的有效电压自动设置为零。模拟输出电压可限制到特定范围，以免损害连接到输出端的部件。

注释

请注意，比例因子的单位的变化取决于所选的测量信号。

右侧的两个 “Aux Output Levels” 提供 4 个图形指示器和 4 个数字指示器，用于监控辅助输出端当前设置的电压。

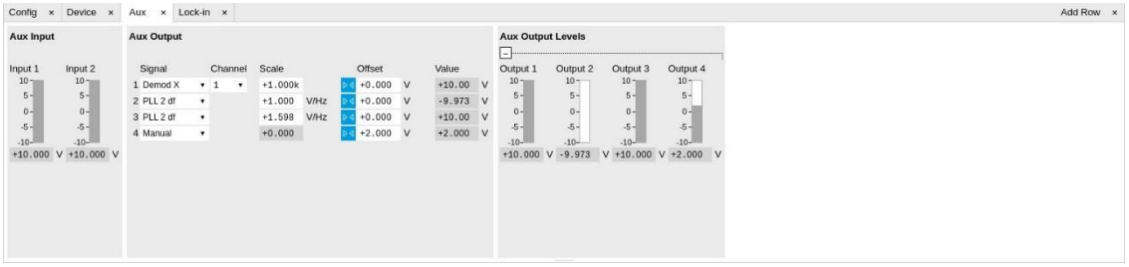


图 4.28. LabOne UI： “Auxiliary” 选项卡

4.11.3. 功能元素

表 4.34. “Auxiliary” 选项卡

控件/工具	选项/范围	说明
Scale	数值	用于缩放信号的乘法因子。辅助输出值 = Signal*Scale + Offset
Offset	以伏特为单位的数值	在缩放后将指定的偏移电压添加到信号。辅助输出值 = Signal*Scale + Offset
Value	-10 V 至 10 V	辅助输出端的电压。辅助输出值 = Signal*Scale + Offset
Auxiliary Input Voltage	-10 V 至 10 V	在辅助输入端测得的电压。
Signal		选择辅助输出所表示的信号源。
	PLL 1 df	选择 PLL 1 delta 频率结果。需要安装 HF2LI-PLL 选件。
	PLL 2 df	选择 PLL 2 delta 频率结果。需要安装 HF2LI-PLL 选件。
	PID 1 Out	选择 PID 1 控制器的输出。需要安装 HF2LI-PID 选件。
	PID 2 Out	选择 PID 2 控制器的输出。需要安装 HF2LI-PID 选件。
	PID 3 Out	选择 PID 3 控制器的输出。需要安装 HF2LI-PID 选件。
	PID 4 Out	选择 PID 控制器的输出。需要安装 HF2LI-PID 选件。
	X	选择解调器 X 分量作为辅助输出。
	Y	选择解调器 Y 分量作为辅助输出。
	R	选择解调器幅值分量作为辅助输出。
	Θ	选择解调器相位分量作为辅助输出。
	Manual	使用 Offset 字段手动定义辅助输出电压。
Channel	索引	根据所选信号源选择通道。
Auto-zero		自动调整偏移量以将辅助输出值设置为零。

4.12. “Inputs/Outputs” 选项卡

通过“In / Out”选项卡可访问仪器主要信号输入和信号输出的设置。该选项卡可用于所有 HF2LI 系列仪器。

4.12.1. 功能

- 信号输入配置
- 信号输出配置

4.12.2. 说明

通过“In / Out”选项卡可访问与“Lock-in”选项卡最左侧和最右侧部分相同的设置。该选项卡主要用于无法一次显示整个“Lock-in”选项卡的小屏幕。当该选项卡关闭或需要其他相同类型的选项卡时，单击以下图标即可打开该选项卡的新实例。

表 4.35. 应用图标和简要说明

控件/工具	选项/范围	说明
In/Out		允许访问仪器前面板上与信号输入和信号输出相关的所有控件。

“In / Out”选项卡包括两个部分，分别为“Signal Inputs”部分和“Signal Outputs”部分。所有对应连接端口均位于仪器前面板。安装或未安装 HF2LI-MF 多频选件的仪器上的“In / Out”选项卡也不同。

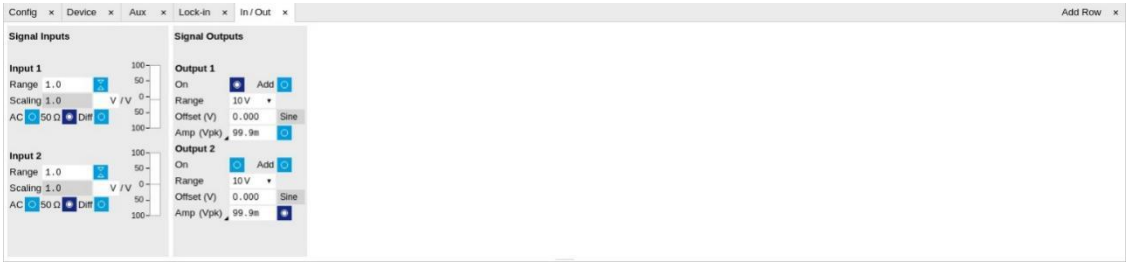


图 4.29. LabOne UI： “Inputs/Outputs” 选项卡（基础配置）

图 4.30. LabOne UI： “Inputs/Outputs” 选项卡（安装 HF2LI-MF 多频选件）

4.12.3. 功能元素

所有功能元素均与“Lock-in”选项卡相同。有关功能元素的详细描述，请参见“Lock-in”选项卡或“Lock-in MF”选项卡。

4.13. “DIO” 选项卡

通过“DIO”选项卡可访问数字 I/O 和触发通道的设置和控件，该选项卡可用于所有 HF2LI 系列仪器。

4.13.1. 功能

- 监视和控制数字 I/O 连接端口
- 控制外部参考和触发的设置

4.13.2. 说明

“DIO”选项卡是控制数字输入和输出以及触发电平和外部参考通道的主面板。当该选项卡关闭或需要其他相同类型的选项卡时，单击以下图标即可打开该选项卡的新实例。

表 4.36. 应用图标和简要说明

控件/工具	选项/范围	说明
DIO		允许访问与数字输入和输出相关的所有控件，包括 Ref/Trigger 连接端口。

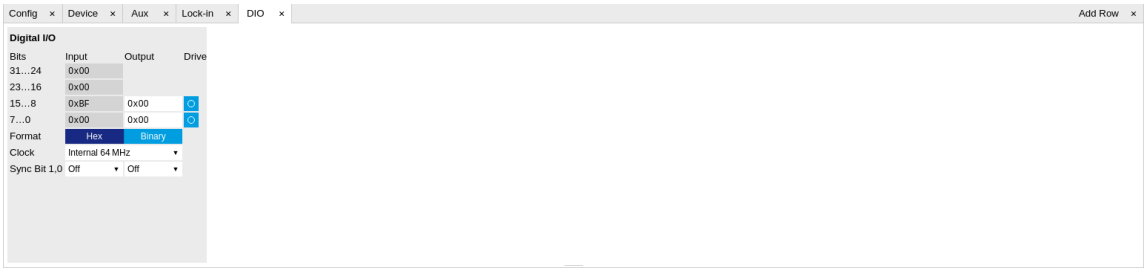


图 4.31. LabOne UI：“DIO”选项卡

“Digital I/O”部分提供数字监控器，用于观察数字输入和输出的状态。此外，通过设置“Output”列中的值并激活“Drive”按钮，还可以不同的数字格式主动设置状态。

通过“Sync Bit 1,0”设置，可在仪器后面板的一个 DIO BNC 连接端口上激活 TTL 同步信号。

4.13.3.功能元素

表 4.37. 数字输入和输出通道，参考和触发

控件/工具	选项/范围	说明
Sync Bit 1		选择要在 DIO 1 上施加的解调器参考信号。
	Off	DIO 输出 1（BNC 连接器）不用于 sync 输出，可用于其他用途。

控件/工具	选项/范围	说明
	Demod 1 to 8	所选解调器的参考信号在 DIO 1 上输出。请注意：DIO 1 上的 sync 与前面板输出之间存在 166 ns 的延迟（DIO 1 上的 sync 先出现），这会导致在高频条件下出现相关相移。
Sync Bit 0		选择要在 DIO 0 上施加的解调器参考信号。
	Off	DIO 输出 0（BNC 连接器）不用于 sync 输出，可用于其他用途。
	Demod 1 to 8	所选解调器的参考信号在 DIO 0 上输出。请注意：DIO 0 上的 sync 与前面板输出之间存在 166 ns 的延迟（DIO 0 上的 sync 先出现），这会导致在高频条件下出现相关相移。
QA Result Overflow	灰色/黄色/红色	红色：读取时 DIO 接口发生溢出。黄色：表示过去曾发生溢出。当读取的触发速度超过 DIO 接口的数据速率上限时，可能发生溢出。
DIO bits	标签	将 32 位 DIO 分成 4 条总线，每条总线 8 位。每条总线都可以用作输入或输出。
DIO input	十六进制或二进制格式的数值	DIO 输入端口的当前数字值。
DIO output	十六进制或二进制格式的数值	数字输出值。启用驱动器以将信号施加到输出端。
DIO drive	ON / OFF	开启时，相应的 8 位总线处于输出模式。关闭时，相应的 8 位总线处于输入模式。
Format		选择 DIO 视图格式。
	Hexadecimal	DIO 视图格式为十六进制。
	Binary	DIO 视图格式为二进制。
Clock		为 DIO 选择内部或外部时钟。
	Internal 64 MHz	在内部为 DIO 提供 64 MHz 固定频率的时钟。
	Clk Pin 68	通过将时钟信号连接到 DIO 引脚 68，从外部为 DIO 提供时钟。 可用频率范围为 1 Hz 至 64 MHz。

4.14. “Config” 选项卡

通过“Config”选项卡可访问所有主要 LabOne 设置，该选项卡可用于所有 HF2LI 系列仪器。

4.14.1. 功能

- 定义仪器连接参数
- 浏览器会话控制
- 定义 UI 外观（网格、主题等）
- 存储和加载仪器设置和 UI 设置
- 配置数据记录

4.14.2. 说明

“Config”选项卡作为所有常规 LabOne 设置的控制面板，默认在仪器启动时开启。当该选项卡关闭或需要其他相同类型的选项卡时，单击以下图标即可打开该选项卡的新实例。

表 4.38. 应用图标和简要说明

控件/工具	选项/范围	说明
Config		提供对于软件配置的访问权限。

“Config”选项卡（参见图 4.32）分为五个部分，分别控制连接、会话、设置、用户界面外观和数据记录。

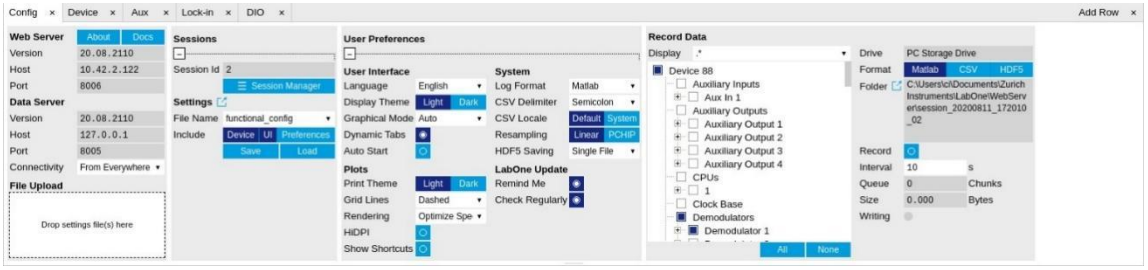


图 4.32. LabOne UI： “Config” 选项卡

“Connection” 部分提供有关连接和服务器版本的信息。可在连接设置中限制远程访问。

“Session” 部分提供会话数量，该信息还会显示在状态栏中。点击“Session Dialog”，即可打开会话对话框窗口（和启动画面中相同），在此加载不同的设置文件以及连接其他仪器。

“Settings” 部分可加载和保存仪器和 UI 设置。保存的设置稍后会应用到会话对话框中。

“User Preferences” 部分包括连续存储的设置，并在下次通过同一计算机帐户使用 HF2LI 系列仪器时自动重新加载。

在低照度环境条件下，建议使用深色显示主题（参见图 4.33）。

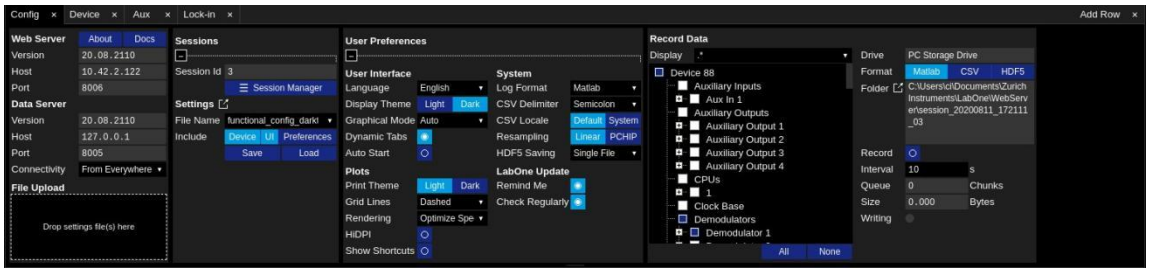


图 4.33. LabOne UI：“Config” 选项卡 - 深色主题

“Record Data” 部分包括获取测量数据的硬拷贝所必需的所有设置。通过树状结构（参见“树状选择器”部分）可访问大量的信号和仪器设置。使用“View Filter”以便减少树状结构，只保留最常用的节点，例如解调器样本节点。无论何时，只要启用“Record”按钮，所有选中的节点将以 MATLAB、逗号分隔值 (CSV) 或其他支持的文件格式连续保存下来。每个选中的节点生成至少一个文件，但是在长时间记录中，数据可能会分布在多个文件上。有关数据保存的更多信息，请参见第 4.2 节。在记录后检查文件的最快方法是使用“File Manager”选项卡，参见第 4.16 节。除了数值数据和设置，文件还包括时间戳。这些整数以仪器时钟周期 1/(210 MHz) 为单位对测量时间进行编码。同一个仪器内的时间戳是通用的，可用于对齐来自不同文件的数据。

4.14.3.功能元素

表 4.39.“Config” 选项卡

控件/工具	选项/范围	说明
About	About	获取关于 LabOne 软件的信息。
Web Server Version and Revision	字符串	Web 服务器版本和修订号
Host	默认为 localhost:127.0.0.1	LabOne Web 服务器的 IP 地址
Port	4 位整数	LabOne Web 服务器的 TCP/IP 端口
Data Server Version and Revision	字符串	数据服务器版本和修订号
Host	默认为 localhost:127.0.0.1	LabOne 数据服务器的 IP 地址
Port	默认为 8004	用于连接 LabOne 数据服务器的 TCP/IP 端口。
Connect/Disconnect		连接/断开当前选定设备的 LabOne 数据服务器。如果连接了 LabOne 数据服务器，则只有对该服务器可见的设备才会显示在设备列表中。
Status	灰色/绿色	指示 LabOne 用户界面是否连接到所选的 LabOne 数据服务器。灰色：未连接。绿色：已连接。
Connectivity	Localhost Only	禁止/允许从其他计算机连接此数据服务器。
	From Everywhere	

控件/工具	选项/范围	说明
File Upload	拖放区域	在此框中拖放文件即可上传文件。单击此框会打开一个关于文件上传的文件对话框。 支持的文件：设置 (*.xml)。
Session Id	整数	会话标识符。会话是客户端与 LabOne 数据服务器之间的连接。
Session Manager	Session Manager	打开会话管理器对话框。允许切换设备或会话。按取消可以继续当前会话。
File Name	选择可用的文件名	将设备和用户界面设置保存到内部闪存盘上的选定文件，或者从内部闪存盘上的选定文件加载设备和用户界面设置。可以使用 “Files” 选项卡下载/上传设置文件。
Include		启用特别设置的 “Save/Load” 。
	No Include Settings	请启用 “Save/Load” 期间将包括的设置类型。
	Include Device	启用设备设置的 “Save/Load” 。
	Include UI	启用用户界面设置的 “Save/Load” 。
	Include UI and Device	启用用户界面和设备设置的 “Save/Load” 。
	Include Preferences	启用从设置文件加载 “User Preferences” 。
	Include UI, Device and Preferences	启用用户界面、设备和用户首选项的 “Save/Load” 。
Save	Save	将用户界面和设备设置保存到文件。
Load	Load	从文件加载用户界面和设备设置。
Language		选择工具提示的语言。
Display Theme	Light	选择用户界面的主题。
	Dark	
Plot Print Theme	Light	选择打印 SVG 图的主题。
	Dark	
Plot Grid	Dashed	为所有 SVG 图选择活动网格设置。
	Solid	
	None	
Plot Rendering		选择渲染提示，了解浏览器渲染 SVG 图时要做出的权衡。无论是显示的绘图还是保存的绘图，此设置都会对其渲染速度和绘图显示产生影响。
	Auto	指示浏览器会在平衡速度、清晰边缘和几何精度之间进行适当的权衡，其中几何精度要比速度和清晰边缘更为重要。
	Optimize Speed	与几何精度和清晰边缘相比，浏览器应更加侧重渲染速度。此选项有时会导致浏览器关闭形状抗混叠。
	Crisp Edges	指示与渲染速度和几何精度相比，浏览器应尝试更加侧重绘图清晰边缘之间的对比度。为实

控件/工具	选项/范围	说明
		现清晰边缘，用户代理可关闭所有线条和曲线的抗混叠，更多情况下可能只需关闭接近水平或垂直的直线的抗混叠。
	Geometric Precision	指示与渲染速度和清晰边缘相比，浏览器应更加侧重几何精度。
Resampling Method		选择重新采样插值方法。重新采样可更正后续示波器截图中的样本偏差情况。当使用的采样率较低并且时间分辨率低于触发时间分辨率时，这一点很重要。
	Linear	线性插值
	PCHIP	分段三次 Hermite 插值多项式
Show Shortcuts	ON / OFF	显示用于操作绘图的键盘和鼠标滚轮快捷键列表。
Dynamic Tabs	ON / OFF	如果启用，应用选项卡内的各部分会根据窗口宽度自动折叠。
Graphical Mode	Auto	选择图形元素的显示模式。“Auto”格式将选择最适合当前窗口宽度的格式。
	Expanded	
	Collapsed	
Log Format	Telnet	选择命令日志格式。查看状态栏和 [User]\Documents\Zurich Instruments\LabOne\WebServer\Log
	Matlab	
	Python	
	.NET	
CSV Delimiter	Comma	选择要为 CSV 文件插入的分隔符。
	Semicolon	
	Tab	
CSV Locale	默认区域设置。使用点号代表小数点，不使用数字分组，例如 1005.07。	选择用于定义小数点的区域设置以及 CSV 文件中数值的数字分组符号。默认区域设置使用点号代表小数点，不使用数字分组，例如 1005.07。系统区域设置使用在计算机的语言和区域设置中设置的符号。
	系统区域设置。使用在计算机的语言和区域设置中设置的符号。	
HDF5 Saving	单个文件。所有测量均存储在一个文件中	仅限 HDF5 文件格式：选择每个测量存储在单独的文件中，还是所有测量均存储在一个文件中。
	多个文件。每个测量存储在单独的文件中	
Auto Start	ON / OFF	如果所选设备可用，在启动时跳过会话管理器对话框。 如果出现错误或设备断开，将重新激活会话管理器。
Update Reminder	ON / OFF	如果 LabOne 软件已有 180 天未更新，则启动时会显示提醒。

控件/工具	选项/范围	说明
Update Check	ON / OFF	定期通过互联网检查 LabOne 软件是否有新版本。
Drive		选择用于保存数据的驱动器。
	PC Storage Drive	运行 LabOne Web 服务器的 PC 的存储器。
Format	Matlab	已记录和已保存数据的文件格式。
	CSV	
	SXM (Nanonis)	
Open Folder		在系统文件资源管理器中打开已记录数据。
Folder	指示文件位置的路径	包含已记录数据的文件夹。
Save Interval	时间（秒）	保存到磁盘之间的时间间隔。时间间隔越短，系统内存占用越少，但对于某些文件格式（例如 MATLAB），磁盘上存储更多的小文件。时间间隔越长，系统内存占用越多，但对于某些文件格式（例如 MATLAB），磁盘上存储更少的大文件。
Queue	整数	尚未写入磁盘的数据块数。
Size	整数	当前会话中已保存数据的累计大小。
Record	ON / OFF	按选择过滤器中的定义启动和停止将数据保存到磁盘的操作。文件长度由“Plotter”选项卡中的“Window Length”设置确定。
Writing	灰色/绿色	指示数据当前是否写入磁盘。
Display	过滤器或正则表达式	使用其中一个预设视图过滤器或自定义正则表达式显示特定树分支。
Tree	ON / OFF	单击树节点即可将其激活。
All		选择所有树元素。
None		取消选择所有树元素。

有关“Record Data”部分树状功能的更多信息，请参见树状选择器。

4.15. “Device” 选项卡

“Device” 选项卡是所连接的仪器的主要设置选项卡，可用于所有 HF2LI 系列仪器。

4.15.1. 功能

- 选件和升级管理
- 外部时钟参考 (10 MHz)
- 仪器连接参数
- 设备监控器

4.15.2. 说明

“Device” 选项卡主要作为一个控制面板，用于此特定会话中 LabOne 控制的仪器的所有特定设置。当该选项卡关闭或需要其他相同类型的选项卡时，单击以下图标即可打开该选项卡的新实例。

表 4.40. 应用图标和简要说明

控件/工具	选项/范围	说明
Device		提供特定于仪器的设置。

“Device” 选项卡（参见图 4.34）分为四个部分：一般仪器信息、配置、通信参数和设备监控器。

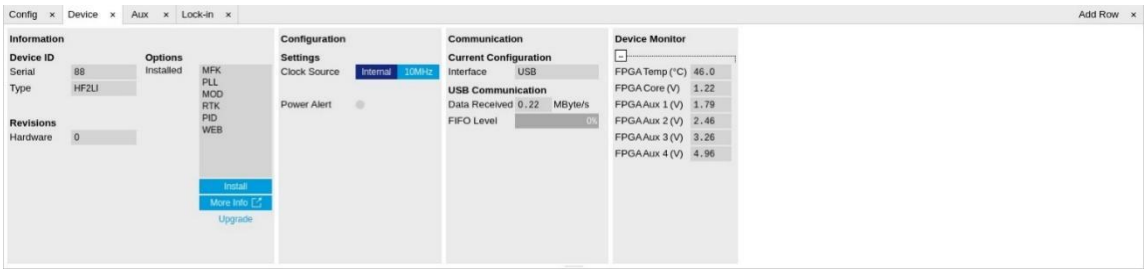


图 4.34. LabOne UI： “Device” 选项卡

“Information” 部分提供给有关仪器硬件的详细信息，并指示已安装的升级选件。用户还可通过输入提供的选件密钥在此添加新的选件。

“Configuration” 部分允许用户将参考从内部时钟更改为外部 10 MHz 参考。参考应连接仪器后面板上的 Clock Input。

“Communication” 部分显示 USB 接口的当前数据传输速率。

注释

TCP 或 USB 上命令流的数据包丢失：由于命令包可创建新的无效状态，因此命令包不会丢失。

“Device Monitor” 部分在默认情况下处于折叠状态，通常仅在维修时需要。此部分显示仪器部分硬件组件的活动信号。

4.15.3. 功能元素

表 4.41. “Device” 选项卡

控件/工具	选项/范围	说明
Hardware	整数	仪器的硬件版本
Serial	1-4 位数字	设备序列号
Type	字符串	设备类型
Installed Options	每个选件的简称	此设备上安装的选件。
Install	Install	单击即可在此设备上安装选件。需要输入唯一的功能代码，然后重启。
More Information		在单独的浏览器选项卡中显示更多设备信息。
Upgrade Device Options		显示可用的升级选件。
Clock Source		10MHz 参考时钟源。
	Internal	使用内部 10MHz 时钟作为频率和时基参考。
	Clk 10MHz	计划使用外部 10MHz 时钟作为频率和时基参考。为相应的后面板连接器提供干净且稳定的 10MHz 参考。
Power Alert		如果激活，请检查 115 V/230 V 设置。5 V 电源电压降至 4.8 V 以下时激活。
Data received (MB/s)		USB 数据速率：从设备到主机 PC 的当前 USB 数据速率
USB FIFO Level (%)		USB FIFO 级别：指示设备内部 USB FIFO 的填充级别。当填充级别达到 100% 时，数据会丢失
Interface		设备和数据服务器之间的活动接口。如果有多个选项可用，则左侧所示的优先级适用。

4.16. “File Manager” 选项卡

4.16.1. 功能

- 快速访问测量文件、日志文件和设置文件
- 对设置文件和日志文件进行文件预览

4.16.2. 说明

“File Manager” 选项卡提供标准工具来查看和整理与仪器使用相关的文件。可便利地复制、重命名和删除文件。当该选项卡关闭或需要其他相同类型的选项卡时，单击以下图标即可打开该选项卡的新实例。

表 4.42. 应用图标和简要说明

控件/工具	选项/范围	说明
Files		访问主机上的设置和测量数据文件。

“Files” 选项卡（参见图 4.35）提供三种浏览窗口。左侧窗口允许用户通过目录结构浏览，中间窗口显示在左侧窗口中选定的文件夹中的文件，右侧窗口显示在中间窗口中选定的文件中的内容，例如一个设置文件或日志文件。

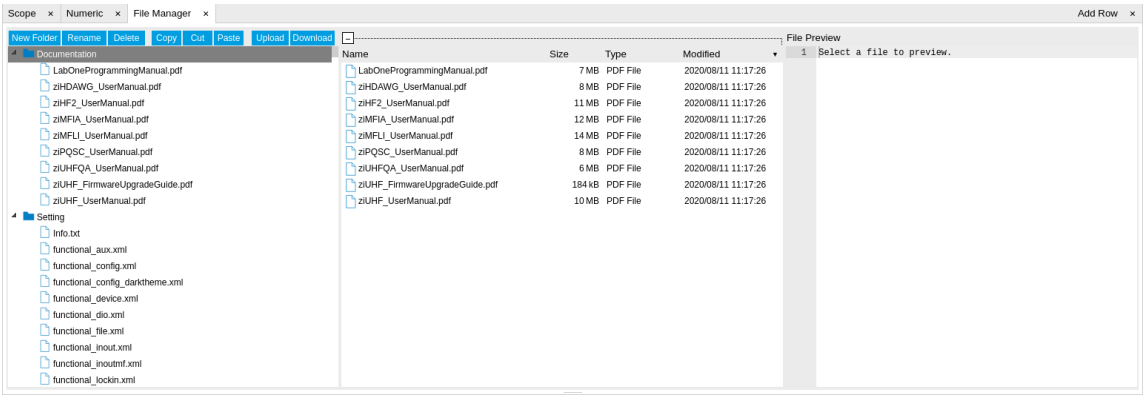


图 4.35. LabOne UI： “File Manager” 选项卡

4.16.3.功能元素

表 4.43. “File” 选项卡

控件/工具	选项/范围	说明
New Folder		在当前位置创建新文件夹。
Rename		重命名所选文件或文件夹。
Delete		删除所选文件和/或文件夹。

控件/工具	选项/范围	说明
Copy	Copy	将所选文件和/或文件夹复制到剪贴板。
Cut	Cut	将所选文件和/或文件夹剪切到剪贴板。
Paste	Paste	将文件和/或文件夹从剪贴板粘贴到所选目录。
Upload	Upload	将文件和/或文件夹上传到所选目录。
Download	Download	下载所选文件和/或文件夹。

4.17. “PID” 选项卡

“PID” 选项卡仅可用于已安装 HF2LI-PID 四通道 PID 控制器选件的 HF2LI 系列仪器（已安装的选件显示在 “Device” 选项卡中）。

注释

“PID” 选项卡中的部分设置与可从其他选项卡访问的设置是相互关联的。如果 PID 输出控制某个变量，例如 “Signal Output Offset”，则该变量在其他选项卡中（在此例中即为 “Lock-in” 选项卡）显示为只读。

4.17.1.功能

- 四个完全可编程的比例、积分和微分 (PID) 控制器
- 带多个 DUT 模型、传递函数和阶跃函数建模的 PID Advisor
- 调节带宽大于 5kHz
- 输入参数：解调器数据、辅助输入、振荡器频率
- 输出参数：输出幅值、振荡器频率、辅助输出以及 DIO

4.17.2.说明

“PID” 选项卡是仪器中反馈回路控制器的主要控制中心。当该选项卡关闭或需要其他相同类型的选项卡时，单击以下图标即可打开该选项卡的新实例。

表 4.44. 应用图标和简要说明

控件/工具	选项/范围	说明
PID		具有 PID 控制器的所有控制、分析和模拟功能。

“PID” 选项卡（参见图 4.36）包括四个相同的侧边栏选项卡，每一个都可用于访问四个 PID 控制器之一的功能和相关的 PID Advisor 功能。

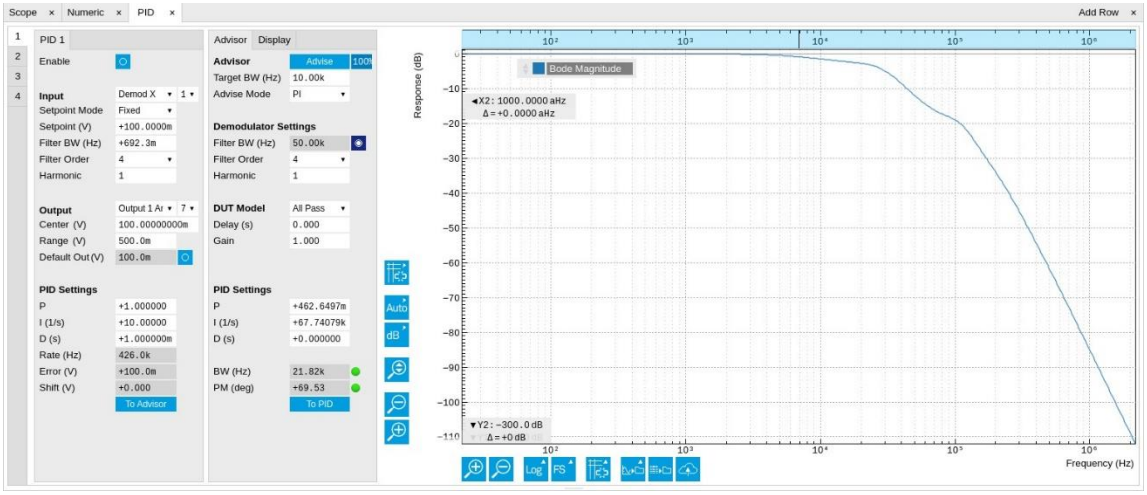


图 4.36. LabOne UI： “PID” 选项卡

LabOne PID 控制器具有许多不同的输入和输出连接，使用范围极其广泛，可用于许多不同的应用，包括激光同步或高速 SPM。图 4.37 所示框图包括了所有的 PID 控制器元件、其互相连接以及可供用户指定的变量。

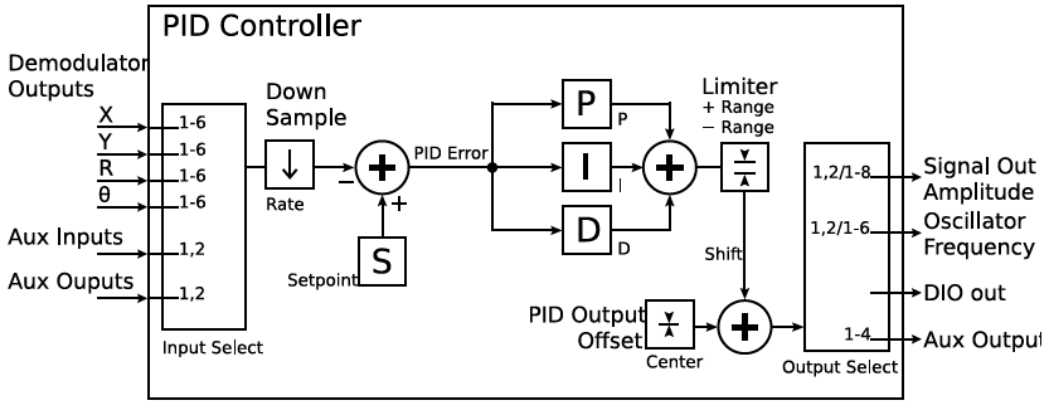


图 4.37. PID 控制器框图

设置一个控制环

不同应用设置控制环的方法也不同。以下考虑几种不同的方法，探索 Advisor 如何在减少工作量的同时改进设置结果，提升对设置的理解。

手动设置

如果被测设备 (DUT) 的传递函数未知，并且只有很少的噪声从环境中耦合到系统中，那么通常手动操作是最快的方法。手动配置新的控制环时，建议首先采用较小的 P 值，并将其他参数（I、D）设置为零。通过启用控制器，能够立即看到 P 的符号是否正确以及反馈是否作用于正确的输出参数，例如通过检查显示在 PID 选项卡中的数字（误差、位移、输出）。积分增益 I 的逐步提高有助于将 PID 误差信号完全归零。启用微分增益 D 可提高反馈回路的速度，但也会导致反馈回路行为不稳定。在此阶段并行监控第 4.6 节所述的 PID 误差会非常有帮助。借助 Plotter 中提供的数学

工具，用户能够显示误差的标准差和平均值。这些值应通过调整 PID 参数来获得最小值，并且相关的直方图应该具有对称的（理想情况下采用高斯分布来实现）包络图。

为定量地表征反馈回路，可测量阶跃响应，参见第 4.8 节。要进行该测量，需要在将 DAQ 触发电平配置在新旧设定值之间一半后手动更改 PID 设定值。选择 DAQ Delay 和 Duration 以粗略匹配预计带宽。对于具有精细时间分辨率的阶跃响应曲线，PID 数据速率应该足够高。

PID Advisor 功能

在许多实验条件下，外部设备或 DUT 可通过一个简单的模型来模拟。借助 LabOne PID Advisor 功能，用户可以在反馈回路中模拟多种不同类型 DUT 的行为，并根据模拟结果选择反馈增益参数。DUT 由模型功能表征，可在 “Advisor” 子选项卡上设置多种参数。所有模型均可设置发生在仪器外的延迟。根据不同的目标伺服带宽，外部延迟通常可作为限制因素，需要明智选择。

注释

为每个模型指定的延迟是对仪表输入上看到的仪表输出逐步变化的最早的可能响应。它描述的是系统的因果关系，不影响 DUT 传递函数的形状。标准同轴电缆导致的信号延迟约为 5 ns/m。

最简单的建模方法是使用 “All Pass” 假设一个具有统一的传递函数的 DUT。低通滤波器允许限制带宽，为二阶滤波器设置整体增益和阻尼。将 “Gain” 设为 1，“Delay” 设置为 0 时，全通可独立于外部设备对 PID 控制器进行建模。“Resonator Frequency” 模型非常适用于具有无源外部组件的情况，例如 AFM 悬臂或石英谐振器，其频率应由 PLL 随时间跟踪。当需要使用第二个控制环（自动增益控制）来稳定谐振器信号的幅值时，“Resonator Amplitude” 模型是合适的选择。设置谐振频率和 Q 因子（二者均可通过使用第 4.10 节所述方法对谐振器进行频率扫描来获得），使 Advisor 能够估计谐振器的增益和低通行为。每当提供一个应由内部振荡器跟踪的外部振荡信号时，都使用 “Internal PLL”。VCO 设置描述的情况是 DUT 的输入变量是电压，输出是频率。该增益参数规定了输入电压的变化会导致 VCO 输出产生多大的频移。如果使用外部参考模式可以跟踪 VCO 的频率，那么用户可以通过扫描辅助输出电压并显示产生的振荡器频率，轻松按照第 4.10 节所述内容测量增益。增益是由所产生的直线在期望频率上的斜率给出的。

模型和参数经过设置后已能够最贴近实际测量情况，现在可以通过为整个控制环定义目标带宽并选择 “Advise” 模式来继续，即用于控制操作的反馈增益参数。只要从其中一个解调器获取输入信号，就可方便地激活目标带宽旁的方框。该方框激活后，Advise 算法会自动将解调器带宽调整到比目标带宽高 5 倍的值，以免受到解调速度的限制。接下来 Advisor 算法将计算目标阶跃响应函数，它将在下一步通过调整反馈增益参数来求得该函数。在此之前，如果使用的是新建的 DUT 模型，该算法将首先尝试使用齐格勒·尼科尔斯方法来估计 PID 参数。如果在此之前已运行过一次，用户也可手动更改模型中的参数，用作下一次 Advise 运行的新启动参数。从初始参数开始，Advisor 将执行数值优化，以实现计算的阶跃响应与根据 “Target Bandwidth” 确定的目标阶跃响应的最小二乘拟合。其结果由得到的带宽 (BW) 和相位裕度 (PM) 进行数值表征。此外右侧的较大绘图区域可通过显示环内不同信号节点之间的传递函数、幅值和相位以及阶跃响应来表征结果。建模完成后，可通过单击 To PID 将结果参数复制到物理 PID。

表 4.45. DUT 传递函数

名称	函数	参数

全通	$H(s) = g$	1. 增益 ***g***
一阶低通	$H(s) = g\frac{1}{t_c s + 1} = g\frac{\omega_n}{s + \omega_n}$	1. 增益 ***g*** 2. 滤波器带宽 (BW) $f_{-3dB} = \omega_n / 2\pi$
二阶低通	$H(s) = g\frac{\omega_n^2}{s^2 + 2\omega_n\zeta s + \omega_n^2}$	1. 增益 ***g*** 2. 谐振频率 $f_{res} = \omega_n / 2\pi$ 3. $f_{-3dB} = 2\zeta f_{res}$ 时阻尼比 ζ
谐振器频率	$H(s) = -360°\frac{t_c}{t_c s + 1}$，其中 $t_c = \frac{1}{2\pi BW} = \frac{2Q}{2\pi f_{res}}$	1. 谐振频率 ***f_{res}*** 2. 品质因数 ***Q***
谐振器幅值	$H(s) = g\frac{\omega / (2Q)}{s + \omega / (2Q)}$，其中 $\omega = 2\pi f_{res}$	1. 增益 ***g*** 2. 谐振频率 ***f_{res}*** 3. 品质因数 ***Q***
内部 PLL	$H8s) = -\frac{360°}{s}$	
VCO	$H(s) = g\frac{360°}{s(t_c s + 1)}$，其中 $t_c = \frac{1}{2\pi f_{res}}$	1.增益 ***g*** (Hz/V) 2.带宽 (BW) ***f-3dB***

注释

使用 Advisor 时建议逐步将自由参数从 P 增加到 PI，再增加到 PID。这样可以防止优化到局部极小值，从而可以节省时间。此外，这还可以直观说明哪些反馈参数会导致反馈行为中的哪些影响。

注释

微分部分的低通滤波器作为指数移动平均滤波器实施，描述为 $y_t = (1-\alpha)\cdot y_{t-1} + a x_t$，其中 $\alpha = 2^{-dshift}$，**xt** 为滤波器输入，y_t 为滤波器输出。dshift 默认值为 0，对应禁用的滤波器。在 UI 中，滤波器属性可以以带宽或时间常数为单位进行更改。

如果反馈输出是施加在敏感外部设备上的电压，则建议使用中心值以及上限和下限值，从而保证即使锁相失败且积分器饱和，输出也仍保持在定义的范围内。

4.17.3.功能元素

表 4.46. “PID” 选项卡： “PID” 部分

控件/工具	选项/范围	说明
Setpoint Mode		定义 PID 设定值的来源。
	Fixed	手动设置设定值。

控件/工具	选项/范围	说明
	Aux Input 1	设定值由 Auxiliary Input 1 提供。
	Aux Input 2	设定值由 Auxiliary Input 2 提供。
	PID Output 4	设定值由其他 PID 的输出提供。
Center	数值	将“Center”值添加到 PID 输出后，信号取值范围为 Center + Range 和 Center - Range 之间。
Range	数值	相对于中心值设置 PID 控制器输出的范围
Output	数值	如果禁用 PID，则设置默认输出的值。
PID	ON / OFF	PID 关闭时启用默认值。
PID Enable	ON / OFF	启用 PID 控制器
Input		选择 PID 控制器的输入源
	Modulation Index	调制深度
	Dual Frequency Tracking |Z(i+1)|-|Z(i)|	用于双频跟踪应用
	Demod X(i+1)-X(i)	用于双频跟踪应用
	Demod |Z(i+1)-Z(i)|	用于双频跟踪应用
	Oscillator Frequency	振荡器频率
	Demodulator X	解调器笛卡尔坐标 X 分量
	Demodulator Y	解调器笛卡尔坐标 Y 分量
	Demodulator R	解调器幅值分量
	Demodulator Theta	解调器相位
	Aux Input	辅助输入
	Aux Output	辅助输出
Input Channel	索引	选择 PID 控制器的输入通道。
Setpoint	数值	PID 控制器设定值
Filter BW	数值	将解调器滤波器的带宽用作输入。
Filter Order		在 6 dB/oct 和 48 dB/oct 之间选择当前解调器的滤波器滚降系数。
	1	1 阶滤波器为 6 dB/oct
	2	2 阶滤波器为 12 dB/oct
	3	3 阶滤波器为 18 dB/oct
	4	4 阶滤波器为 24 dB/oct
	5	5 阶滤波器为 30 dB/oct
	6	6 阶滤波器为 36 dB/oct
	7	7 阶滤波器为 42 dB/oct
	8	8 阶滤波器为 48 dB/oct
Harmonic	1 至 1023	当前解调器的参考频率的谐波倍数。
Output		选择 PID 控制器的输出

控件/工具	选项/范围	说明
	Output 1 Amplitude	反馈到主信号输出幅值 1
	Output 2 Amplitude	反馈到主信号输出幅值 2
	Oscillator Frequency	反馈到内部振荡器频率之一
	Aux Output Offset	反馈到 4 个辅助输出偏移量之一
	DIO (int16)	以 16 位字节的形式反馈到 DIO
Output Channel	索引	选择 PID 控制器的输出通道。
P (Hz/deg)	数值	PID 比例增益 P
I (Hz/deg/s)	数值	PID 积分增益 I
D (Hz/deg*s)	数值	PID 微分增益 D
Rate	与 RT 负载相关	PID 采样率和 PID 输出的更新率。需要设置为远高于目标环路滤波器带宽。 控制器的数值精度受环路滤波器采样率的影响。如果目标带宽低于 1 kHz，则将该速率的值调整为目标带宽的 100 至 500 倍左右就会很有用。对于低带宽应用，如果将速率设置得过高，积分不精确性会导致非线性行为。
Error	数值	误差 = 设定值 - PID 输入
Shift	数值	当前输出值 Out 和 Center 之差。Shift = P*Error + I*Int(Error, dt) + D*dError/dt
To Advisor	To Advisor	将当前 PID 设置复制到 PID Advisor。

表 4.47. “PID” 选项卡： “Advisor” 子选项卡

控件/工具	选项/范围	说明
Advise	Advise	根据使用的 DUT 模型和给定的目标带宽计算 PID 系数。如果可以找到最优值，则更新系数并在绘图上更新响应曲线。 仅优化使用 “Advise” 模式指定的 PID 系数。“Advise” 模式可以增量方式使用，即表示将当前系数用作优化起点，但其他模型参数在其间发生变化的情况除外。
Target BW (Hz)	数值	闭环反馈系统的目标带宽，用于提供 PID 参数建议。该带宽决定 PID 速度和噪声之间的权衡结果。
Advise Mode		选择优化的 PID 系数。其他 PID 系数保持不变，但在优化期间正常使用。这样能够在优化其余部分的同时将所选系数保持在固定值。 建议时间将随着待优化参数数量的增加而显著延长。
	P	只优化比例增益。
	I	只优化积分增益。
	PI	只优化比例增益和积分增益。
	PID	优化比例增益、积分增益和微分增益。

控件/工具	选项/范围	说明
Filter BW	数值	定义所选解调器输入的低通滤波器特性。
Auto Bandwidth	ON / OFF	调整解调器带宽以完美适应整个系统的指定目标带宽。禁用后，如果解调器带宽与目标带宽过于接近，可能会导致过冲和不稳定问题。 在特殊情况下，也可以选择小于目标带宽的解调器带宽。
Filter Order		在 6 dB/oct 和 48 dB/oct 之间选择模型解调器的滤波器滚降系数。
	1	1 阶滤波器为 6 dB/oct
	2	2 阶滤波器为 12 dB/oct
	3	3 阶滤波器为 18 dB/oct
	4	4 阶滤波器为 24 dB/oct
	5	5 阶滤波器为 30 dB/oct
	6	6 阶滤波器为 36 dB/oct
	7	7 阶滤波器为 42 dB/oct
	8	8 阶滤波器为 48 dB/oct
Harmonic	1 至 1023	模型解调器的参考频率的谐波倍数。
DUT Model		由 PID 控制的外部设备所采用的模型类型。 有关每种模型传递函数的详细说明，请参见上一节。
	All Pass	外部设备采用全通滤波器模型。需配置的参数有延迟和增益。
	LP 1st	外部设备采用一阶低通滤波器模型。需配置的参数有延迟、增益和滤波器带宽。
	LP 2nd	外部设备采用二阶低通滤波器模型。需配置的参数有延迟、增益、谐振频率和阻尼比。
	Resonator Frequency	外部设备采用谐振器模型。需配置的参数有延迟、中心频率和品质因数。
	Internal PLL	DUT 是通过锁相环锁定到外部信号的内部振荡器。需配置的参数有延迟。
	VCO	外部设备采用压控振荡器模型。需配置的参数有延迟、增益和带宽。
	Resonator Amplitude	外部设备采用谐振器模型。需配置的参数有延迟、增益、中心频率和品质因数。
Delay	数值	确定阶跃变化最早响应的参数。该参数不影响 DUT 传递函数的形状。
Gain	数值	确定 DUT 传递函数增益的参数。
BW (Hz)	数值	确定一阶低通滤波器带宽或 VCO 带宽的参数。
Damping Ratio	数值	确定二阶低通滤波器阻尼比的参数。
Res Freq	数值	确定谐振器模型谐振频率的参数。
Q	数值	确定谐振器模型品质因数的参数。

控件/工具	选项/范围	说明
P (Hz/deg)	数值	比例增益 P 系数，用于计算 PID 模型的响应。可以使用 PID advise 优化参数或手动更改参数。仅当按下 “To PLL” 按钮后，该参数才会在 PID 上激活。
I (Hz/deg/s)	数值	积分增益 I 系数，用于计算 PID 模型的响应。可以使用 PID advise 优化参数或手动更改参数。仅当按下 “To PLL” 按钮后，该参数才会在 PID 上激活。
D (Hz/deg*s)	数值	微分增益 D 系数，用于计算 PID 模型的响应。可以使用 PID advise 优化参数或手动更改参数。仅当按下 “To PLL” 按钮后，该参数才会在 PID 上激活。
BW (Hz)	数值	采用当前 PID 设置的全闭环模型的模拟带宽。该值应大于目标带宽。
Target BW LED	绿色/红色	绿色表示可以实现目标带宽。对于极高的 PID 带宽，只能通过临界稳定 PID 设置来实现目标带宽。在这种情况下，可尝试降低带宽或优化 PID 系统的环路延迟。
PM (deg)	数值	采用当前设置的 PID 的模拟相位裕度。在稳定条件下，对于内部 PLL，相位裕度应大于 45 度；对于所有其他 DUT，相位裕度应大于 60 度。如果没有单位增益交叉点可用于确定相位裕度，则显示无穷大值。
Stable LED	绿色/红色	绿色表示满足相位裕度，且 PID 系统应达到稳定状态。
To PID		将 PID Advisor 设置复制到 PID。

表 4.48. “PID” 选项卡： “Display” 子选项卡

控件/工具	选项/范围	说明
Advanced Mode	ON / OFF	允许手动选择显示属性和建议属性。如果禁用，显示设置和建议设置会自动使用优化的默认值。
Display		选择用于呈现系统频率或时间响应的显示模式。
	Bode Magnitude	显示波特幅值图。
	Bode Phase	显示波特相位图。
	Step Resp	显示阶跃响应图。
Start (Hz)	数值	波特图显示的起始频率。如果禁用高级模式，则会自动从系统属性获取起始值，输入字段为只读。
Stop (Hz)	数值	波特图显示的结束频率。如果禁用高级模式，则会自动从系统属性获取结束值，输入字段为只读。

控件/工具	选项/范围	说明
Start (s)	数值	阶跃响应显示的起始时间。如果禁用高级模式，则起始值为零，该字段为只读。
Stop (s)	数值	阶跃响应显示的结束时间。如果禁用高级模式，则会自动从系统属性获取结束值，输入字段为只读。
Transfer Function Selector		选择显示的环路传递函数。支持 2 种预设和手动选择。在闭环配置中，从输出到输入的所有元件都将被视为反馈元件。
	System	从设定值到系统输出。
	PID	从设定值到 PID 输出。
	Manual	可以查看开环或闭环中的任何传递函数。
Response In		开环或闭环响应模拟的起点。在闭环配置中，从输出到输入的所有元件都将被视为反馈元件。
	Demod Input	起点位于解调器输入端。
	Setpoint	起点位于 PID 之前的设定值。
	PID Output	起点位于 PID 输出端。
	Instrument Output	起点位于仪器输出端。
	DUT Output	起点位于 DUT 输出端和仪器输入端。
Response Out		开环或闭环响应模拟的终点。在闭环配置中，从输出到输入的所有元件都将被视为反馈元件。
	PID Output	终点位于 PID 输出端。
	Instrument Output	终点位于仪器输出端。
	DUT Output	终点位于 DUT 输出端和仪器输入端。
	Demod Input	终点位于解调器输入端。
	System Output	终点位于受控系统的输出端。
Closed-Loop	ON / OFF	切换显示系统闭环响应或系统开环响应。
TC Mode	ON / OFF	启用 PID 参数的时间常数表示。
Set Limits	ON / OFF	按下“To PID”时，切换 PID 限值写入。仅适用于内部 PLL。
Advisor Link		自动将以下显示的光标值复制到 PID Advisor。要启用光标助手，请打开“Advanced”模式，将“Display”设为 PID 传递函数的“Bode Magnitude”。光标将以对数和 dB 轴标度组合显示。
P		代表 PID 比例增益 P 的光标值。用鼠标指针拖动绘图光标或直接在此处插入数值。
I		代表 PID 积分增益 I 的光标值。用鼠标指针拖动绘图光标或直接在此处插入数值。
D		代表 PID 微分增益 D 的光标值。用鼠标指针拖动绘图光标或直接在此处插入数值。

4.18. “PLL” 选项卡

“PLL” 选项卡可方便地设置两个独立锁相环，用以高速跟踪调频信号。该选项卡仅在已安装 HF2LI-PLL 双锁相环选件的 HF2LI 仪器上可用，参见 “Device” 选项卡的 “Information” 部分。

注释

在 “Lock-in” 选项卡上，将激活 PLL 所用解调器设置为只读值。

4.18.1.功能

- 两个完全可编程的 50 MHz 锁相环
- 可编程 PLL 中心频率和相位设定值
- 50 kHz PLL 带宽
- 可编程 PLL 相位检测器的滤波器设置和 PID 控制器参数
- 基于模型的参数建议和传递函数分析所用的 PLL Advisor
- 中心频率和设定值自动校零功能
- 高级 2-ω PLL 模式（需要安装 HF2LI-MF 选件）

4.18.2.说明

“PLL” 选项卡可便捷地设置锁相环。通过这种方式，外部信号频率可以映射到仪器的某个内部振荡器上。基于数学模型的 Advisor 功能有助于用户查找和优化 PID 参数，快速优化应用的伺服带宽。当该选项卡关闭或需要其他相同类型的选项卡时，单击以下图标即可打开该选项卡的新实例。

表 4.49. 应用图标和简要说明

控件/工具	选项/范围	说明
PLL		具有锁相环的所有控制、分析和模拟功能。

“PLL” 选项卡（参见图 4.38）由与两个 PLL 单元相对应的两个侧边栏选项卡组成。其包含左侧的设置部分和右侧带图形显示的 “Advisor” 部分。

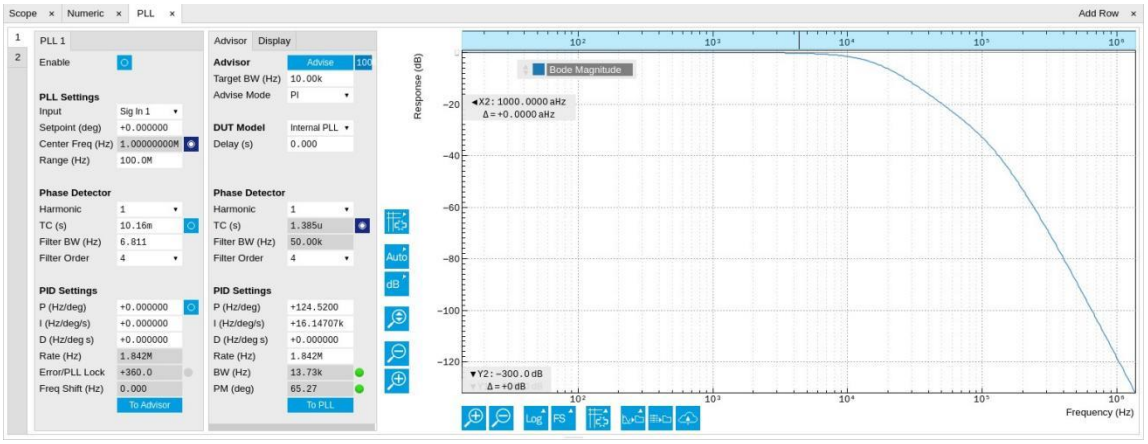


图 4.38. LabOne UI： “PLL” 选项卡

图 4.39 所示框图包括了 PLL 元件、其互相连接以及可供用户指定的变量。此示意图中的解调器略有简化。其完整框图见解调器框图（未安装 HF2LI-MF 选件）或者解调器框图（安装 HF2LI-MF 选件）。

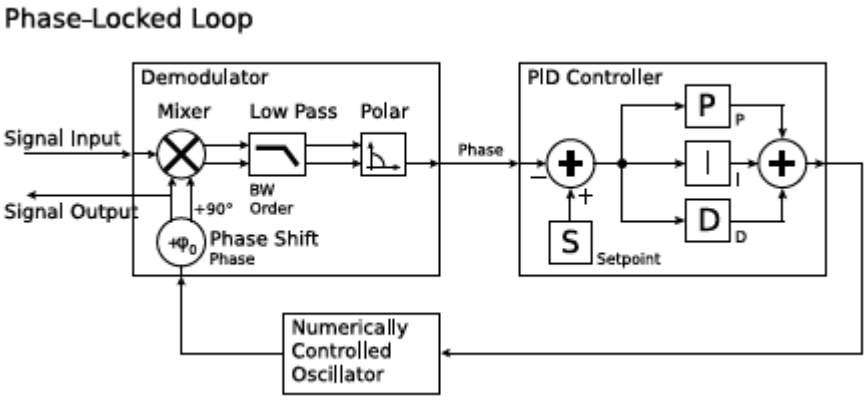


图 4.39. 锁相环框图（元件有所简化）

在设置 PLL 的典型工作流程中，首先在左侧部分确定中心频率、频率范围以及相位设定值。如果事先未知频率，通常可以使用 Sweeper 或 Spectrum 工具来测量频率。然后在 “Advisor” 子选项卡中设定目标带宽，随即点击 To PLL 按钮，然后启用 “PPL” 。如果 “Error” 字段显示非常小的值，则表明锁相已成功。现在可以重复该过程，例如在 PLL Advisor 中使用目标带宽来计算一组新的反馈参数。在 Plotter 中显示振荡器频率以及直方图和数学函数（例如标准差）有助于表征残留相位误差，并通过手动调整进一步提高锁相性能。

注释

“PLL Settings” 部分的频率范围应比目标带宽至少大 5 至 10 倍。

注释

PLL 1 使用解调器 7 作为相位检测器，而 PLL 2 使用解调器 8 作为相位检测器。所选的 Input 确定哪个信号连接到相应的解调器。此设置与 “Lock-in” 选项卡中的 “Input Signal” 设置相同。

4.18.3.功能元素

表 4.50. “PLL” 选项卡： “PLL” 部分

控件/工具	选项/范围	说明
Enable	ON / OFF	启用 PLL

控件/工具	选项/范围	说明
Input	Sig In 1/2、Aux In 1/2、DIO D0/1	选择 PLL 控制器的输入信号
Auto Center Frequency	ON / OFF	自动确定 PLL 中心频率。在此模式下，仪器会持续扫描工作范围，直到找到合适的频率。注释：“Auto Center Frequency” 仅适用于开环系统。闭环系统需要使用手动模式。
Range	数值	相对于中心频率设置 PLL 控制器输出的频率范围
Harmonic	1、2	设置相位检测器中使用的谐波。设置为 2 时表示 PLL 生成的是外部参考的子谐波。
TC (s)	数值	用作相位检测器的解调器的滤波器时间常数。
Auto TC Enable	ON / OFF	开启时，PLL 以全带宽运行。使用手动模式 (off) 可获得低噪声性能。
Filter Order	1-8	用作相位检测器的解调器的滤波器阶数。
Automated adjustment of PID coefficients	ON / OFF	如果与 “Auto TC Enable” 和 “Auto Center Frequency” 一起启用，则 PLL 处于 “ExtRef” 模式
Center Freq (Hz)	0 至 50 MHz	PLL 振荡器的中心频率。PLL 频移以此中心频率为基准。
Filter BW (Hz)	数值	用作相位检测器的解调器的滤波器带宽。
Setpoint (deg)	数值	相位设定值（即 PID 设定值，单位为度）。控制输入信号和所生成信号之间的相位差。
P (Hz/deg)	数值	PID 比例增益 P
I (Hz/deg/s)	数值	PID 积分增益 I
D (Hz/deg*s)	数值	PID 微分增益 D
Rate (Hz)	数值	PLL 控制环的当前采样率。 注释：控制器的数值精度受环路滤波器采样率的影响。 如果目标带宽低于 1 kHz，则将该速率的值调整为目标带宽的 100 至 500 倍左右就会很有用。对于低带宽应用，如果将速率设置得过高，积分不精确性会导致非线性行为。
Error (deg)	数值	PLL 的当前相位误差（设定值 - PID 输入）。
PLL lock LED	灰色/绿色	表示 PLL 何时锁定。 以 5 Sa/s 的速率采样 PLL 误差，并计算其 RMS 值。如果结果小于 5 度，则认为环路已锁定。
Freq Shift (Hz)	数值	PLL 的当前频移（振荡器频率 - 中心频率）。
To Advisor		将当前 PLL 设置复制到 PLL Advisor。

表 4.51. “PLL” 选项卡：“Advisor” 子选项卡

控件/工具	选项/范围	说明
Advise		根据应用模式和给定设置计算 PID 系数。

控件/工具	选项/范围	说明
		仅优化使用 “Advise” 模式指定的 PID 系数。“Advise” 模式可以增量方式使用，即表示将当前系数用作优化起点，但其他模型参数在其间发生变化的情况除外。
Target BW (Hz)	数值	PLL 闭环反馈系统的目标带宽，用于提供 PID 参数建议。该带宽决定 PLL 速度和相位噪声之间的权衡结果。
Advise Mode		选择优化的 PID 系数。其他 PID 系数保持不变，但在优化期间正常使用。这样能够在优化其余部分的同时将所选系数保持在固定值。 建议时间将随着待优化参数数量的增加而显著延长。
	P	只优化比例增益。
	I	只优化积分增益。
	PI	只优化比例增益和积分增益。
	PID	优化比例增益、积分增益和微分增益。
DUT Model		用于参数计算的模型。
Auto Bandwidth	ON / OFF	调整解调器带宽以完美适应整个系统的指定目标带宽。禁用后，如果解调器带宽与目标带宽过于接近，可能会导致过冲和不稳定问题。 在特殊情况下，也可以选择小于目标带宽的解调器带宽。
P (Hz/deg)	数值	比例增益 P 系数，用于计算 PID 模型的响应。可以使用 PID advise 优化参数或手动更改参数。仅当按下 “To PLL” 按钮后，该参数才会在 PID 上激活。
I (Hz/deg/s)	数值	积分增益 I 系数，用于计算 PID 模型的响应。可以使用 PID advise 优化参数或手动更改参数。仅当按下 “To PLL” 按钮后，该参数才会在 PID 上激活。
D (Hz/deg*s)	数值	微分增益 D 系数，用于计算 PID 模型的响应。可以使用 PID advise 优化参数或手动更改参数。仅当按下 “To PLL” 按钮后，该参数才会在 PID 上激活。
Rate (Hz)	与 RT 负载相关	用于模拟的 PID 采样率。 Advisor 将更新采样率以匹配指定的目标带宽。采样率与目标带宽接近以及带宽过高都将导致模拟不匹配。
BW (Hz)	数值	采用当前 PID 设置的全闭环 PLL 的模拟带宽。该值应大于目标带宽。
Target BW LED	绿色/红色	绿色表示可以实现目标带宽。对于极高的 PLL 带宽，只能通过临界稳定 PID 设置来实现目标带宽。
PM (deg)	数值	采用当前设置的 PID 的模拟相位裕度。在稳定的条件下，相位裕度应大于 45 度。如果没有单

控件/工具	选项/范围	说明
		位增益交叉点可用于确定相位裕度，则显示无穷大值。
Stable LED	绿色/红色	绿色表示满足相位裕度，且 PID 系统应达到稳定状态。
To PLL	To PLL	将 PLL Advisor 设置复制到 PLL。
Harmonic	1 至 1023	模型解调器的参考频率的谐波倍数。
TC (s)	数值	定义所选解调器输入的低通滤波器时间常数。
Filter BW	数值	定义所选解调器输入的低通滤波器特性。
Filter Order		在 6 dB/oct 和 48 dB/oct 之间选择模型解调器的滤波器滚降系数。
	1	1 阶滤波器为 6 dB/oct
	2	2 阶滤波器为 12 dB/oct
	3	3 阶滤波器为 18 dB/oct
	4	4 阶滤波器为 24 dB/oct
	5	5 阶滤波器为 30 dB/oct
	6	6 阶滤波器为 36 dB/oct
	7	7 阶滤波器为 42 dB/oct
	8	8 阶滤波器为 48 dB/oct

表 4.52. “PLL” 选项卡：“Display” 子选项卡

控件/工具	选项/范围	说明
Advanced	ON / OFF	允许手动选择显示属性和建议属性。如果禁用，显示设置和建议设置会自动使用优化的默认值。
Display		选择用于呈现系统频率或时间响应的显示模式。
	Bode Magnitude	显示波特幅值图。
	Bode Phase	显示波特相位图。
	Step Resp	显示阶跃响应图。
Start (Hz)	数值	波特图显示的起始频率。如果禁用高级模式，则会自动从系统属性获取起始值，输入字段为只读。
Stop (Hz)	数值	波特图显示的结束频率。如果禁用高级模式，则会自动从系统属性获取结束值，输入字段为只读。
Start (s)	数值	阶跃响应显示的起始时间。如果禁用高级模式，则起始值为零，该字段为只读。
Stop (s)	数值	阶跃响应显示的结束时间。如果禁用高级模式，则会自动从系统属性获取结束值，输入字段为只读。

控件/工具	选项/范围	说明
Response In		开环或闭环工厂响应模拟的起点。在闭环配置中，从输出到输入的所有元件都将被视为反馈元件。
	Demod Input	起点位于解调器输入端。
	Setpoint	起点位于 PID 之前的设定值。
	PID Output	起点位于 PID 输出端。
	Instrument Output	起点位于仪器输出端。
	DUT Output	起点位于 DUT 输出端和仪器输入端。
Response Out		开环或闭环工厂响应模拟的终点。在闭环配置中，从输出到输入的所有元件都将被视为反馈元件。
	PID Output	终点位于 PID 输出端。
	Instrument Output	终点位于仪器输出端。
	DUT Output	终点位于 DUT 输出端和仪器输入端。
	Demod Input	终点位于解调器输入端。
	System Output	终点位于 PID 误差计算（设定值 - 系统输出）之前。
Closed-Loop	ON / OFF	切换显示系统闭环响应或系统开环响应。
TC Mode	ON / OFF	切换显示增益参数（I、D）与积分和微分部分时间常数（Ti、Td）。各参数之间存在以下关系：I=P/Ti，D=P*Td。

4.19. “MOD” 选项卡

通过 “MOD” 选项卡可访问调幅和调频单元。该选项卡仅在已安装 HF2LI-MOD AM/FM 调制选件的仪器上可用，参见 “Device” 选项卡的 “Information” 部分。

注释

安装 HF2LI-MOD AM/FM 调制选件需要先安装 HF2LI-MF 多频选件。

4.19.1.功能

- 以相位相干模式加减振荡器频率及其倍数
- 控制 AM 和 FM 解调
- 控制 AM 和窄带 FM 生成
- 直接分析高阶载波频率和边带

4.19.2.说明

“MOD” 选项卡提供控制设置，以便以相位相干模式加减多个数字振荡器的频率。当该选项卡关闭或需要其他相同类型的选项卡时，单击以下图标即可打开该选项卡的新实例。

表 4.53. 应用图标和简要说明

控件/工具	选项/范围	说明
MOD		以振荡器频率的线性组合启用调制/解调的控制面板。

“MOD” 选项卡（参见图 4.40）分为两个水平部分，各有一个调制单元。

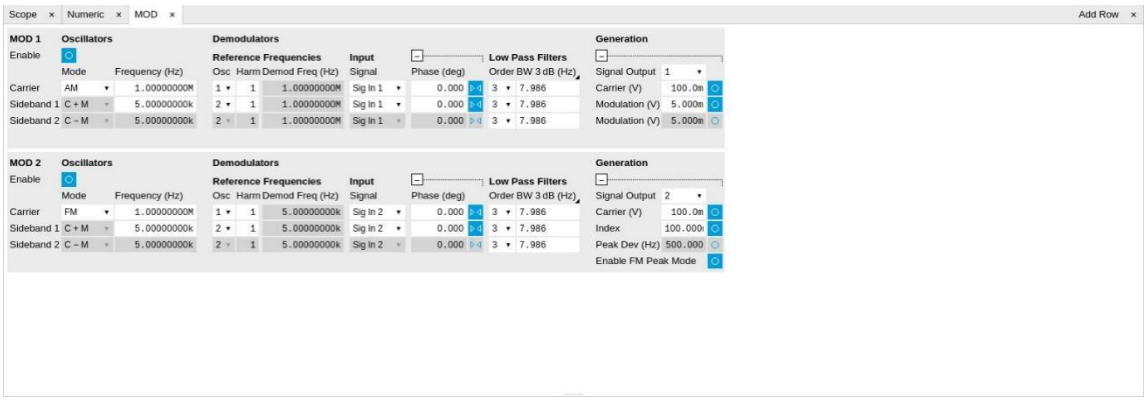


图 4.40. LabOne UI： “MOD” 选项卡

调制单元旨在用于涉及多频率的实验。在许多这类实验中，能够通过关联频谱揭示一个主导中心频率（通常称为载波），以及一个或多个对称分布于载波周围的边带。典型的示例是调幅 (AM) 信

号带一个载波和两个由 AM 调制频率分隔在载波两侧的边带。另一个示例是调频 (FM) 信号，载波的左右两侧可出现多个边带。AM 和 FM 的边带相对幅值都取决于调制深度，这通常由调制指数来表示。

分析此类信号（尤其是当只有模拟仪器可用时）的经典方法是使用串联解调配置。这在本质上是锁相放大器的串行级联。第一个设备参考载波频率，输出同相分量。然后输入到后续的锁相放大器，以提取不同的边带分量。此方案存在数个弊端：

- 参考载波调谐的第一个锁相放大器的正交分量必须通过调整参考相位连续归零。否则，信号强度的很大一部分会因分析而损失，这通常会导致信噪比 (SNR) 下降。
- 此方案在所需硬件资源方面的扩展性很差，尤其是在需要提取多个边带频率的情况下。
- SNR 会因每次信号进出仪器（例如由于仪器输入噪声）而变小。多次重复此步骤会显著降低信号质量。

所有这些缺点都可通过生成振荡器频率的线性组合，并将这些组合用作解调器参考相位来妥善化解。

“MOD”选项卡包含“MOD 1”和“MOD 2”两个部分。除了 MOD 1 链接到解调器 1、2 和 3，而 MOD 2 链接到解调器 4、5 和 6 以外，两个部分在所有方面无差异。每个 MOD 单元可以利用多达 3 个振荡器，甚至可使用 ExtRef 或 PLL 来参考到外部源。图 4.41 简要展示了涉及的不同组件及其相互连接。

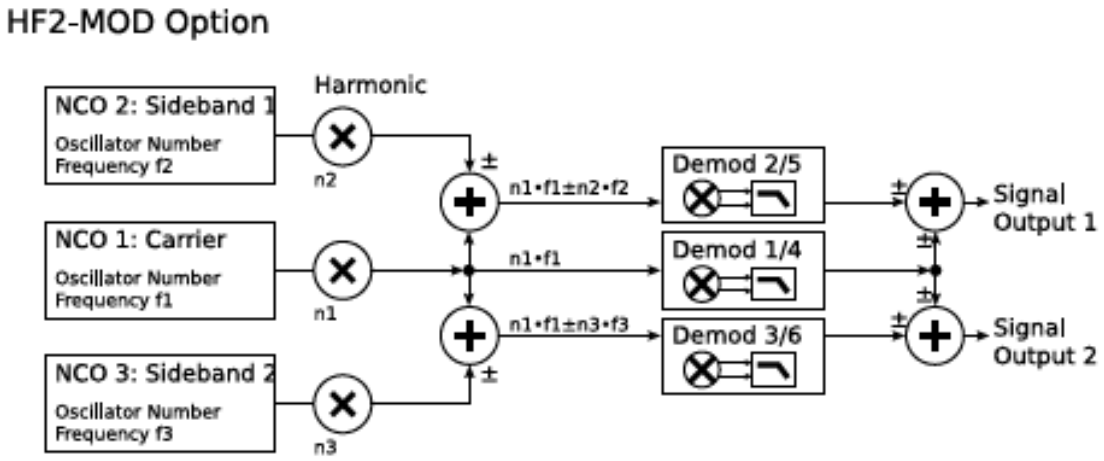


图 4.41. 调制选件框图

用户可在用户界面的“Mode”列方便地访问 AM 和 FM 预设。在“Manual”模式下，可自由选择所有设置。

注释

只要启用了 MOD 单元，“Lock-in”选项卡中由该单元控制的所有设置都将设为只读。

注释

使用参数扫描仪改变 MOD 单元的参数时，建议将最小稳定时间手动设置为 500 ms（“Settings”子选项卡、“Advanced Mode”）。否则测量可能会产生无效数据。

除了信号分析，HF2LI-MOD AM/FM 调制选件还可用于信号生成。“Generation”部分提供用于调整载波和边带幅值的所有必要控件。

注释

FM 信号是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。按照“Lock-in”选项卡中所示，使用负幅值实现相移。只要调制指数远低于 1，也就是可忽略高阶边带，那么使用这种方法生成的 FM 就近似于实际 FM。当调制指数为 1 时，实际 FM 在第二和更高阶边带提供超过 13% 的信号强度。

有关 AM 和 FM 信号分析及生成的更多详细信息，请参见瑞士苏黎世仪器公司的网页。

4.19.3.功能元素

表 4.54. “MOD” 选项卡

控件/工具	选项/范围	说明
SG Channels		选择 SG 通道来显示相应的振荡器频率集。
Frequency (Hz)		振荡器频率。
Oscillator Select		选择用于生成的正弦信号的振荡器。
Harmonic		将振荡器的参考频率与该字段所定义的整数因子相乘。
Frequency (Hz)		所选振荡器的频率。
Phase Shift (deg)		设置正弦信号的相位。
I Sin Amplitude		设置发送至数字混频器的 I 输入的正弦信号的幅值。
I Cos Amplitude		设置发送至数字混频器的 I 输入的余弦信号的幅值。
I Enable	ON / OFF	启用数字混频器的 I 输入。
Q Sin Amplitude		设置发送至数字混频器的 Q 输入的正弦信号的幅值。
Q Cos Amplitude		设置发送至数字混频器的 Q 输入的余弦信号的幅值。
Q Enable	ON / OFF	启用数字混频器的 Q 输入。
Run/Stop	Run/Stop	运行 AWG 定序器。
Sequencer Status	灰色/绿色/红色	显示仪器上的定序器的状态。Off：就绪，未运行。绿色：运行中，不等待任何触发事件。黄色：运行中，等待触发事件。红色：未就绪（例如正在等待 elf 下载，无 elf 下载）。
Modulation Enable	ON / OFF	启用 AWG 生成的波形的数字调制。
AWG Output Amplitude		设置第一个 AWG 输出的幅值。

控件/工具	选项/范围	说明
AWG Output Amplitude		设置第二个 AWG 输出的幅值。
Hold	ON / OFF	即使在波形程序结束后，也要在输出端保留最后一个样本（常量）。建议仅对长度等于 16 的倍数的 AWG 波形使用该功能。对于其他长度的波形，AWG 编译器会通过此功能自动在末尾补上零。对于其他长度的波形，AWG 编译器会自动在末尾补上零。
AWG Output Gain Amplitude		设置指定 AWG 通道的幅值比例因子。幅值是应用于数字信号的无量纲比例因子。
AWG Output Gain Enable	ON / OFF	指示 AWG 信号（行）到数字混频器输入（列）的路径选择。

4.20. “Multi Device Sync” 选项卡

通过 “Multi Device Sync” 选项卡可对来自多个 HF2LI 仪器的测量数据进行自动定时同步。所有 HF2LI 仪器均提供此功能和选项卡。

4.20.1.功能

- 跨仪器自动定时同步
- 定期检查同步
- 可选仪器子组
- 状态显示

4.20.2 说明

“Multi Device Sync” 选项卡包括有关多个仪器上同步测量的控件和状态信息。当该选项卡关闭或需要其他相同类型的选项卡时，单击以下图标即可打开该选项卡的新实例。

表 4.55. 应用图标和简要说明

控件/工具	选项/范围	说明
MDS		同步多个仪器。

图 4.42 所示的 “Multi Device Sync” 选项卡包括 “Available Devices” 部分、“Status” 部分以及一个布线图。

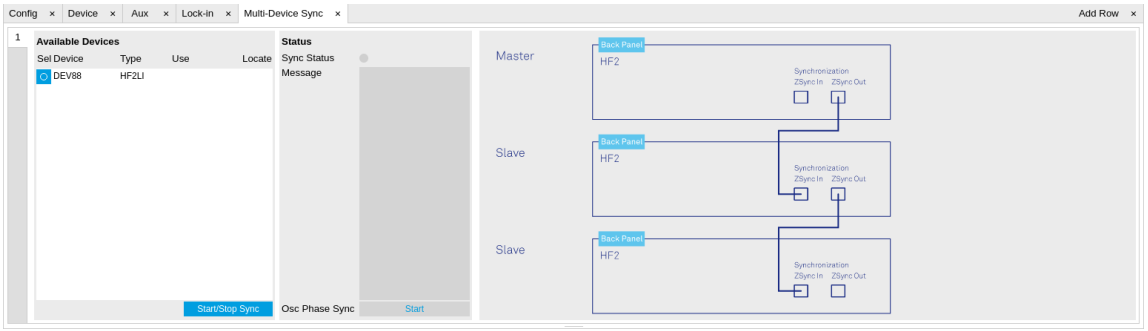


图 4.42. LabOne UI： “Multi Device Sync” 选项卡

多设备同步特性支持自动删除单独 HF2LI 仪器的时钟偏移。这样就能够在第 4.6 节所述的选项卡中正确同步数据显示，便于分析记录的数据。因此，在要求实现亚微秒时间精度的多通道应用中，用户可从一开始就获得同步数据，而无需在后处理中人工测量和补偿时钟偏移。

实现自动同步的首要前提是所有仪器均连接到同一个 LabOne 数据服务器（参见第 1.5 节）。

此类连接均为自动建立，所有 HF2LI 仪器均以物理方式连接到同一台主机。连接所有仪器后，在新打开的 “Plotter” 选项卡的树状选择器中，这些仪器均变为可选状态，供用户同步查看仪器中的数据，即使默认情况下这些数据尚未同步。为每个仪器打开新的 Web 服务器会话，即可并行访

问多个仪器的设置。操作方法是：打开新的浏览器选项卡并分别连接到 localhost:8006 或 127.0.0.1:8006，然后双击“Available Devices”列表中的相应仪器条目。将多个仪器连接到同一个数据服务器后，支持多个仪器的选项卡将显示设备选择器，如图 4.43 所示。

图 4.43. “Device” 选项卡的设备选择器示例

实现自动同步的第二个先决条件是仪器布线正确，如图 4.44 所示。需要以“菊花链”的形式排列仪器，其中第一台仪器的 ZSync Out 连接端口与第二台仪器的 ZSync In 连接端口接线，依此类推。

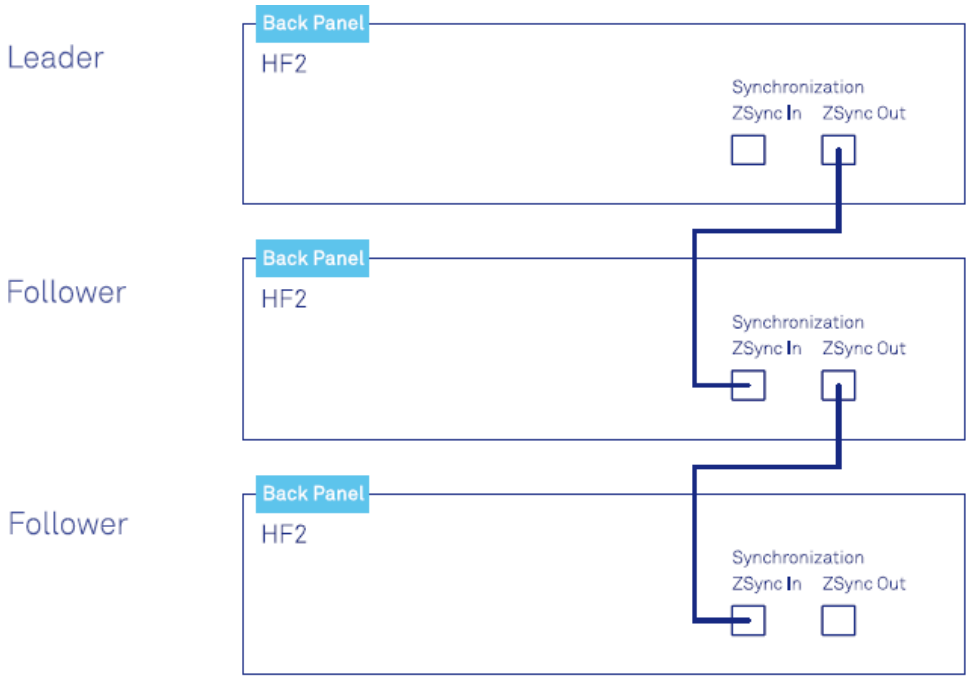


图 4.44. 多个 HF2LI 仪器自动同步的接线

正确接线和连接后，在“Multi Device Sync”选项卡的“Available Devices”列表中勾选仪器的“Enable”按钮，然后单击 Start/Stop Sync，即可开始自动同步。仪器的分配顺序（引导仪器、跟随仪器 1、跟随仪器 2…）可按单击“Enable”按钮的顺序来确定。此分配顺序必须与接线一致。此顺序也与 AWG 序列程序中为仪器寻址相关。然后，右侧的“Message”显示屏将报告进度，如果同步成功，Sync Status 指示灯将变为绿色。这时，在 Plotter 中查看多个仪器的时间相关测量时将演示定时同步。

4.20.3.功能元素

表 4.56. “Multi Device Sync” 选项卡

控件/工具	选项/范围	说明
Start Sync	Start/Stop Sync	启动所选设备的自动同步。
Sync Status		指示该组内同步的状态。绿色：同步已成功执行。黄色：同步正在执行。红色：错误（见消息）。
Message		显示同步组的状态消息。
Cabling		此图显示为进行设备同步设备所采用的连接方式。
Phase Synchronization		复位所有已同步设备上所有振荡器的相位。
Identify Device		使设备正面的 LED 灯闪烁

4.21. “Real-time” 选项卡

注释

LabOne UI 上的 “Real-time” 选项卡不可用。请将 ziControl 与 Real-time 选件协同使用。

4.22. “HF2CA” 选项卡

当 HF2CA 电流放大器充当 HF2LI 锁相放大器的附件时，“HF2CA” 选项卡可对 HF2CA 电流放大器进行远程控制。“HF2CA” 选项卡根据 HF2CA 电流放大器是否连接到 HF2LI 锁相放大器的某个 ZCtrl 连接端口来实现内容的动态调整。

4.22.1.功能

- 输入阻抗范围为 10 V/A 至 1 M V/A（R1、R2）
- 差分或单端输入模式（Diff、Single）
- 输入信号耦合模式（AC、DC）
- 输出级增益（G=1 或 G=10）

4.22.2.说明

“HF2CA” 选项卡含有交互式电路图，用户可按照电路图指示控制前置放大器的输入设置、接地和增益。当该选项卡关闭或需要其他相同类型的选项卡时，单击以下图标即可打开该选项卡的新实例。

表 4.57. 应用图标和简要说明

控件/工具	选项/范围	说明
HF2CA		远程控制 HF2CA 电流放大器。

“HF2CA” 选项卡由两个侧边栏选项卡组成，分别对应于 HF2LI 仪器的两个 ZCtrl 输入。如图 4.45 所示，每个侧边栏选项卡水平分为两个同等部分，分别对应于 HF2CA 的两个信号输入。

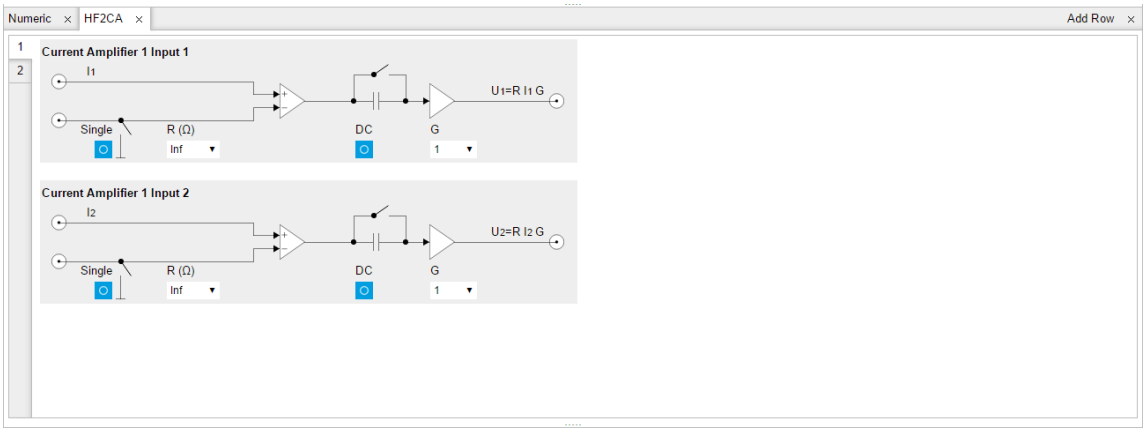


图 4.45. “HF2CA” 选项卡

其他 HF2CA 规格可参见第 10 章。

4.22.3.功能元素

表 4.58. “HF2CA” 选项卡

控件/工具	选项/范围	说明
Single	ON / OFF	在差分和单端输入配置之间切换
R (Ω)	10、100、1k、10k、100k、1M、Inf	选择输入阻抗
DC	ON / OFF	一级放大后在直流和交流耦合之间切换
G1 / G2	1、10	设置二级放大的电压增益

4.23. “ HF2TA” 选项卡

当 HF2TA 电流放大器充当 HF2LI 锁相放大器的附件时， “ HF2TA” 选项卡可对 HF2TA 电流放大器进行远程控制。 “ HF2TA” 选项卡根据 HF2TA 电流放大器是否连接到 HF2LI 锁相放大器的某个 ZCtrl 连接端口来实现内容的动态调整。

4.23.1.功能

- 输入偏移 +/- 10 V
- 跨阻抗增益从 100 V/A 至 100 MV/A（R1、R2）
- 输入信号耦合模式（AC、DC）
- 附加增益（1、10）
- 显示增益总量（R1*G、R2*G）
- 输入屏蔽（GND、Ext Bias）
- 辅助输出 +/- 10 V

4.23.2.说明

“ HF2TA” 选项卡含有交互式电路图，用户可按照电路图指示控制前置放大器的输入设置、接地、增益和偏移量。当该选项卡关闭或需要其他相同类型的选项卡时，单击以下图标即可打开该选项卡的新实例。

表 4.59. 应用图标和简要说明

控件/工具	选项/范围	说明
HF2TA		远程控制 HF2TA 电流放大器。

“ HF2TA” 选项卡由两个侧边栏选项卡组成，分别对应于 HF2LI 仪器的两个 ZCtrl 输入。如图 4.46 所示，每个侧边栏选项卡水平分为三个部分。上面两个部分相同并对应于 HF2TA 的两个信号输入。 HF2TA 的“Aux Output” 电压可在最下面的部分进行设置。

图 4.46. “ HF2TA” 选项卡

详细的 HF2TA 规格可参见第 11 章。

4.23.3.功能元素

表 4.60.“ HF2TA”选项卡

控件/工具	选项/范围	说明
Input Shield	GND、Ext Bias	选择输入 1 和 2 的屏蔽是接地还是通过外部电压偏置
Offset (V)	-10 mV 至 +10 mV	设置应用于当前输入的偏移电压。
R1 / R2 (V/A)	100、1k、10k、100k、1M、10M、100M	设置放大器的跨阻抗增益
DC	ON / OFF	一级放大后在直流和交流耦合之间切换
G1 / G2	1、10	设置二级放大的电压增益
Aux Output	-10 V 至 +10 V	设置 HF2TA 的辅助输出电压

4.24. “ZI Labs” 选项卡

“ZI Labs” 选项卡包括由 ZI 开发团队添加的实验性 LabOne 功能。此处的设置通常与特殊应用相关，但尚未真正出现在其他 LabOne 选项卡中。此选项卡的内容必然会经常更改，对各项特性的说明超出了本用户手册的范围。单击下方图标，即可打开此选项卡的新实例。

表 4.61. 应用图标和简要说明

控件/工具	选项/范围	说明
ZI Labs		实验性设置及控件。

4.25. “Upgrade” 选项卡

“Upgrade” 选项卡作为信息源，提供所用仪器可升级的选件的相关信息。此选项卡无实际功能，仅为用户提供快速链接，以便查看有关升级选件的更多线上信息。

第 5 章通信与连接

本章描述了 HF2LI 仪器连接的各种可能情况。HF2LI 系列仪器秉持以“计算机作为控制中心”的设计理念。HF2LI 仪器的前面板上无控件，而用户可以通过计算机直接配置仪器和传输仪器上的数据。此方法旨在确保用户可自行选择其连接 HF2LI 仪器的位置并确定其控制 HF2LI 仪器的方式。用户可从通过 USB 连接到 HF2LI 仪器的计算机进行直接连接，也可以从远离其实验装置的同一网络中另一台计算机进行远程连接。随即，用户可在任何一台计算机上，通过多种接口（即通过 LabOne UI 和/或用户的自定义程序）配置 HF2LI 仪器和检索 HF2LI 仪器的数据。用户据此可以决定与其实验装置和数据处理需求最为匹配的连接设置及接口组合。

第 5.1 节阐述了用户如何将 HF2LI 仪器连接到 PC；第 5.2 节阐述了如何使用基于文本的控制台快速修改仪器设置。本章最后的第 5.3 节阐释了如何通过公共网络连接到 HF2LI 仪器。

注释

用户还可以通过我们的某个 API 配置 HF2LI 仪器和获取其数据。我们目前的 API 支持 LabVIEW、Matlab、Python 或 C 语言。可参阅单独文档《LabOne 编程手册》了解相关主题。

注释

新用户可以首先使用 LabOne UI 熟悉仪器，进而从中获得帮助，参见第 3 章。

注释

第 7 章阐述了使用实时选件 (ziRTK) 进行编程。

5.1. 仪器连接概述

HF2LI 系列仪器支持基于服务器的连接方法，适用于多用户、多设备操作。这意味着可以通过一台计算机操作多台 HF2LI 仪器，多个用户可以访问同一仪器，且可在局域网内使用一台仪器。“基于服务器”意指用户和 HF2LI 仪器之间的所有通信均通过计算机程序（即服务器）实现，例如我们的 ziServer。ziServer 程序可识别设备，管理仪器与主机之间的所有通信。一侧通过 USB 连接，另一侧接入不同的可用接口。

在详述内容前，先对本章所用术语进行解释。

- **主机**：通过 USB 直接连接 HF2LI 仪器的计算机。虽然 HF2LI 仪器只能接入一台主机，但可以通过在主机上运行的 ziServer 接入局域网中的多台远程计算机。
- **ziServer**：在主机上运行的计算机程序，通过接收客户端指令来管理 HF2LI 仪器的设置以及与 HF2LI 仪器之间的数据传输。其始终搭载了设备的最新配置，并确保实现不同客户端之间的配置同步。
- **远程计算机**：与主机位于同一网络的计算机，可通过在主机上运行的 ziServer 程序与 HF2LI 仪器通信。
- **客户端**：一种通过服务器与 HF2LI 仪器通信的计算机程序。可以在主机上或者远程计算机上运行客户端。
- **应用程序编程接口 (API)**：实现软件组件之间通信的函数与数据结构体的集合。在我们的用例中，HF2LI 仪器的各类 API（例如 LabVIEW、MATLAB®）具备配置设备和接收测得的实验数据的函数。
- **接口**：客户端或 API。
- **TCP/IP**：网络通信协议。在我们的用例中，ziServer 通过 TCP/IP 实现与基本 API (ziAPI) 的通信。可以在本地（完全在主机上）或在主机与远程计算机之间进行这种通信。
- **图形用户界面 (GUI)**：用户可通过图像而非基于文本的命令进行操作的一种计算机程序。
- **模块**：为 API 提供统一接口来执行高级常规任务（如扫描数据）的软件组件。

HF2LI 仪器连接情况概述参见图 5.1。

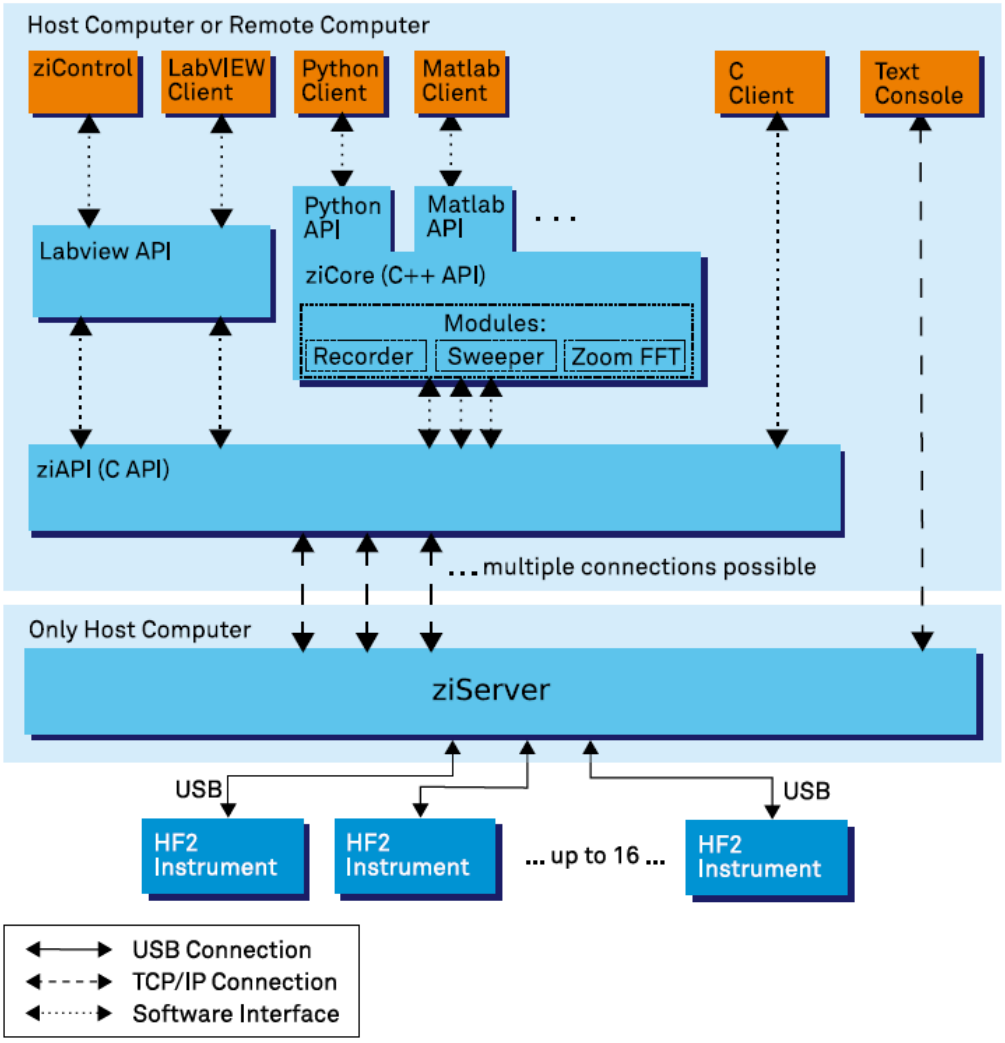


图 5.1. 仪器连接

5.1.1. 物理连接：主机与远程计算机

常用配置中，HF2LI 仪器接入运行服务器和客户端（图 5.1 中以橙色框表示）的主机。ziServer 程序实现了仪器和各客户端之间的连接。例如，用户可以并行使用两个客户端：使用 LabOne UI 配置设备，通过 LabVIEW API 创建的程序可用来绘制仪器生成的自定义数据流结果。这两个客户端均通过同一个 ziServer 实例进行数据通信，ziServer 确保无论何时，两个客户端均使用仪器的当前配置进行更新。但是应注意的是，任何客户端组合（如图 5.1 所示）均可并行使用，仅受主机性能以及对 ziServer 的请求的负载限制。在这项配置中，图 5.1 中的顶部和底部方块（以浅蓝色方框表示）均在主机上运行。

用户有时希望使用客户端来控制远程计算机上的 HF2LI 仪器。在这种情况下， 顶部方块中的软件在远程计算机上运行，利用局域网通过 TCP/IP 接入在主机上运行的 ziServer 实例（主机通过 USB 连接至 HF2LI 仪器）。

HF2LI 仪器的物理接入共有三种可能的情况：

– 接入主机，即所有软件（ziServer、接口）均在通过 USB 连接仪器的同一台计算机上运行。这是最简单也是最常见的设置。

- 接入通过安全局域网连接主机的远程计算机。如果可以使用专用网络，则设置较为简单，即 ziServer 仅需允许远程连接即可，请参阅“启用与 ziServer 的远程连接”部分。
- 接入通过公共非安全网络连接主机的远程计算机。此为高级主题，详见第 5.3 节。

我们可以试想，其实连接 HF2LI 仪器的可能性多种多样。支持下述 HF2LI 仪器的连接方法：

- 从不同计算机的多个客户端连接和操作 HF2LI 仪器，同时在所有连接的客户端上后台自动更新仪器设置。
- 从单台主机连接和操作多达 16 台 HF2LI 仪器。
- 连接和操作通过一台（或多台）主机连接到 TCP/IP 局域网的多台远程 HF2LI 仪器，但接入的仪器数量受远程计算机的性能限制。请注意，对于 HF2LI 仪器，只能运行一个 ziServer 实例。

5.1.2. 软件连接：ziServer

ziServer 程序提供了从本章所述的任何编程接口到 HF2LI 仪器的网关。ziServer 程序可识别设备，管理仪器与主机之间的所有通信。一侧通过 USB 连接，另一侧接入不同的可用接口。由于 ziServer 负责与仪器的所有通信，因此无论何时，确保仅有一个 ziServer 实例在运行，这一点至关重要。通过以下方法检查是否只有一个 ziServer 实例正在运行或者确实在运行：

- **Windows**：使用 CTRL-SHIFT-ESC 组合键打开 Windows 任务管理器并检查 **ziServer.exe** 和 **ziService.exe** 进程是否正在进行。
- **Linux**：手动检查 **ziServer** 进程是否正在运行，或者在终端中使用以下 `ziService` 命令进行检查

  $ ziService status

  用户应能看到下述输出结果：

  Status: ziServer is running.

启用与 ziServer 的远程连接

为了能够从远程计算机连接到 ziServer，须将节点 /zi/config/open 设置为 **1**。如需在 LabOne UI 中设置该值，请转到“Config”选项卡并在“Connectivity”设置下启用“From Everywhere”。

5.1.3. 仪器通信：节点层次结构

为了通过基于文本的命令实现与 HF2LI 仪器通信，有必要了解如何访问仪器的设置和测量数据。HF2LI 仪器的所有设置以类似文件系统的层次结构进行组织。这意味着可以绘制一致的节点树，其中仪器设置充当叶子。

还可以像用户浏览文件系统一样浏览节点树的各个分支。在执行测量时，无论用户使用哪个接口，均可以使用此层次结构。

层次机构的示例即设备上第一个解调器的表示，可通过以下节点得出：

/devX/demods/0

我们已经注意到，其与计算机文件系统上的**路径**极为相似。请注意，该路径的顶层即为用户所连接的设备。然后，在设备节点下给出解调器作为顶层 *_node_，第一个解调器的节点由 **0** 来索引。在这种情况下，如果我们继续推进，则该路径表示节点层次结构中含有以下节点的一个分支：

/devX/demods/0/adcselect
/devX/demods/0/order
/devX/demods/0/timeconstant
/devX/demods/0/rate
/devX/demods/0/trigger
/devX/demods/0/oscselect
/devX/demods/0/harmonic
/devX/demods/0/phaseshift
/devX/demods/0/sinc
/devX/demods/0/sample

这些节点是最底层的节点 *_leaves，表示仪器的设置或可以读取以检索测量数据的字段。例如，*/devX/demods/0/adcselect* 是控制与第一个解调器信号输入选择对应设置的叶子。如需设置信号输入索引，则用户须写入此节点。叶子 */devX/demods/0/sample* 是以 */devX/demods/0/rate* 指定的频率写入解调器输出（时间戳、解调的 x 值、解调的 y 值）的叶子。为了获得解调器输出，用户可以通过 *_polling 轮询这一节点，进而从该节点读取值。对节点进行轮询会从客户端向 ziServer 发送请求，进而获取该节点在特定时间点的数据。

第 6 章阐述了 HF2LI 仪器上节点的全参考方法，详细说明了各节点对应的设置或测量数据，详述了节点是否只读、是否可写，以及节点的取值（例如，布尔值、整数、浮点）。

注释

HF2LI 仪器前面板上的编号与 LabOne UI 上的模块编号一般从 1 开始，而使用编程接口的基础仪器的编号表示法则从 0 开始。

注释

如需了解 HF2LI 仪器中各个路径，查看 LabOne UI 底部的历史记录输出是一种有效手段。状态栏会始终显示最后应用的命令，用户单击“Show History”按钮，可查看整个历史记录。在执行以下操作之后，用户会发现此类路径：

/devx/sigins/0/ac = 1

打开信号输入 1 的交流模式，或者

/devx/demods/1/rate =

7200.000000

解调器 2 的读取速率设置为 7.2 kHz。

用户通过保存仪器设置，可在 LabOne UI 中以文本文件的形式获取仪器的可用节点列表。为此，转到“Settings”部分中的“Config”选项卡，单击“Save”按钮。

注释

我们建议拟对 HF2LI 仪器执行编程的用户，首先通过下一章所述的 ziServer 基于文本的界面浏览节点来熟悉节点层次结构。对于 HF2LI 仪器的编程者而言，基于文本的界面是不可缺少的工具。

5.2. ziServer 基于文本的界面

基于文本的界面是与 HF2LI 仪器通信的最简单、最直接的方式，无需具备任何既往编程经验。在 ziServer 中可以实际浏览文本界面；由于这项操作使用 TCP/IP 套接字，因此用户还可以通过 telnet 或 ssh 进行远程网络连接。与 LabOne UI 相比，这是一种使用 HF2LI 仪器的极客化方式。

通过 telnet 接入基于文本的界面后，用户会发现身处类似 DOS 或 Unix 终端的程序中，用户可在其中浏览节点层次结构中的仪器设置（第 5.1.3 节）。终端会响应诸如 **ls**（列出当前目录中的所有节点）和 **cd**（选择拟于目录层次结构中浏览的路径）之类的已知命令语法。

对于将 HF2LI 仪器与其他接口（例如瑞士苏黎世仪器公司的 LabVIEW 或 MATLAB® API）进行编程的用户，该文本界面是一个非常强大的工具。这种界面极为便捷，可以验证仪器的节点路径并检查用户实际编程的接口是否正确设置值。初出茅庐的 HF2LI 仪器迷也可以使用这种界面来浏览并熟悉节点层次结构。

注释

理论上，可以通过基于文本的界面，与任意编程环境中的 HF2LI 仪器进行通信。但这将需要实现套接字连接和语法分析器，而且如果命令失败，则不存在异常处理。此外，由于是文本界面而非二进制接口，因此数据传输速度较慢。因此，我们一般强烈建议用户使用本章后续介绍的某个现有二进制接口作为其主要编程接口。

5.2.1. 基于文本的界面的入门说明

准备

本节旨在让用户快速熟悉 ziServer 的文本界面。为此，用户需要安装 LabOne（参见第 1.4 节）并通过 USB 将 HF2LI 仪器连接到主机。如欲访问 ziServer 中基于文本的界面，需有搭载控制台的 telnet 或 SSH 客户端。

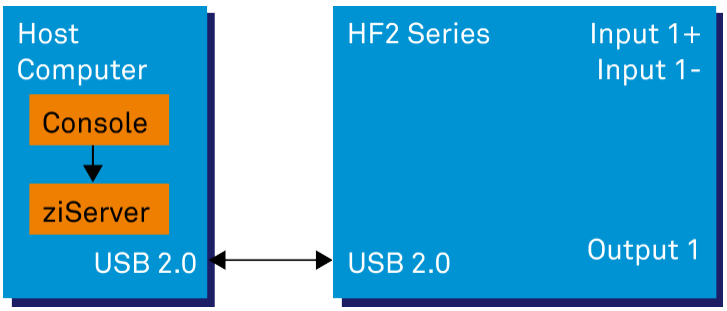


图 5.2. 基于文本的界面的使用设置

在 Windows 系统上连接 ziServer

瑞士苏黎世仪器公司建议使用免费软件 PuTTY 作为 telnet 客户端。如欲连接 ziServer，须使用下述设置配置 PuTTY。

表 5.1. 在 Windows 系统上设置 PuTTY

Terminal category，Implicit CR in every LF	已设置
Session category，Host Name	localhost
Session category，Port	8005
Session category，Connection type	Telnet

允许远程连接 ziServer 后，连接远程 ziServer（并非在本地机器但在局域网内的可用主机上运行的 ziServer）的用户，须相应地配置主机名（例如 computer.domain.com）；请参见第 5.1.2 节。

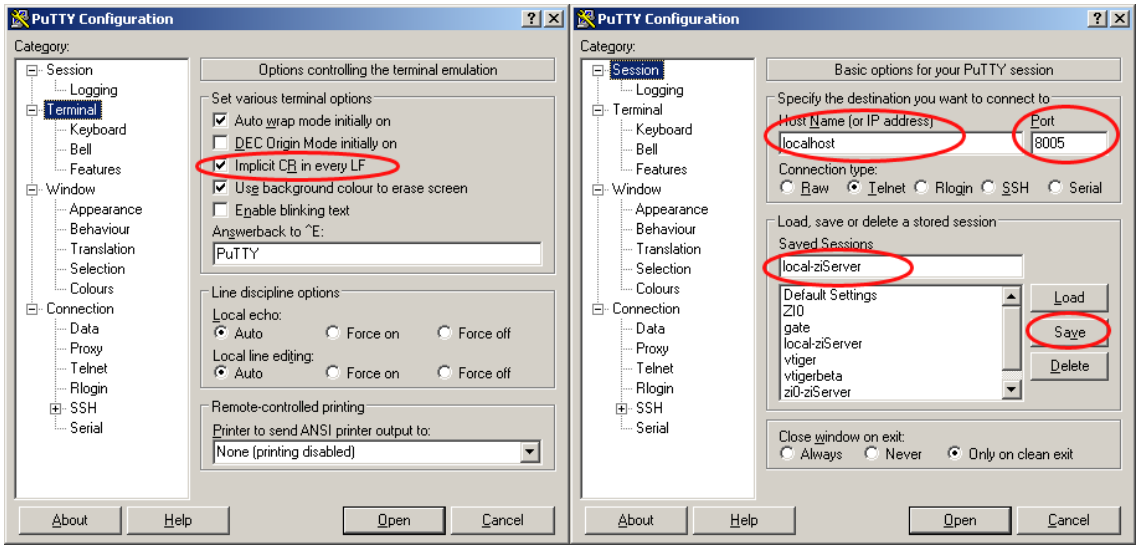


图 5.3. 连接 ziServer 的 PuTTY 配置

以适当名称保存会话设置，便于下次快速接入。按下“Open”按钮后，将出现以下页面：此消息证实已成功连接到 ziServer。如果并未出现这一页面，或者文本丢失，请检查 ziServer 是否正在运行（Windows 任务管理器，请参见第 5.1.2 节）或检查您的 PuTTY 设置。

图 5.4. PuTTY 成功连接 ziServer

在 Linux 操作系统上连接 ziServer

您可以通过在 shell 中调用 telnet，进而连接到主机中正在运行的 ziServer：

```
user@zi:~$ telnet localhost 8005
Trying 127.0.0.1...
Connected to localhost.
Escape character is '^]'.
ziServer V19.05 revision 62216/Linux, (c) 2008-2021 Zurich Instruments AG
```

或者通过 netcat 接入：

```
user@zi:~$ nc localhost 8005
ziServer V19.05 revision 62216/Linux, (c) 2008-2021 Zurich Instruments AG
```

导览基于文本的界面

首先，我们会介绍一些基本命令。连接成功后，可以轻松看到哪些仪器连接了 ziServer。**ls** 即可胜任这项任务。这样会生成包含一个 ZI 节点（ziServer 的节点）和一个 DEVX 节点（表示用户的 HF2LI 仪器）的信息。DEVX 为用户面前的 HF2LI 仪器的序列号。让我们用 **cd zi** 选择 ziServer 节点，然后用 **ls** 列出节点，最后用 /? 读取 /ZI/ 树内节点的所有值。但到目前为止结果并不是很理想。

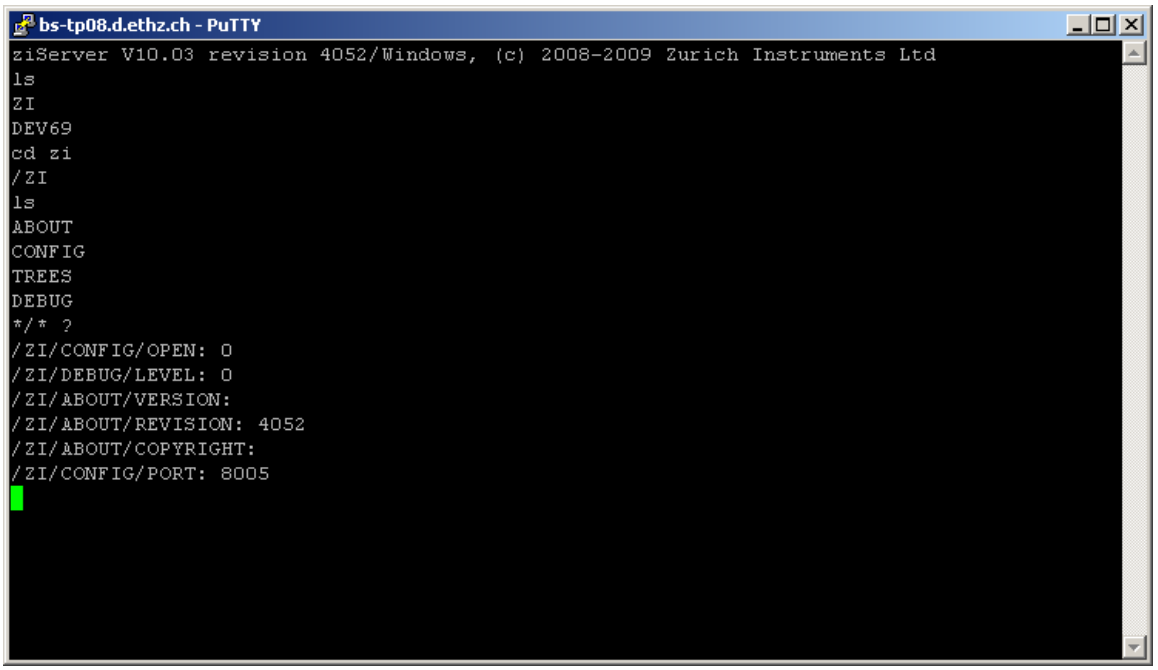


图 5.5. PuTTY 导览：检查服务器版本

让我们使用相对路径 **cd ../devx** 进入 DEVX 层次结构（也可以指定绝对路径，例如，**cd /devx /**）并使用 **ls** 命令调查节点层次结构。这样列出了用户设备内的所有叶子。每个叶子表示可以在仪器内部进行的某项设置或可以读取以检索测量数据的某个字段。仪器内部的第一级层次结构见图 5.6 所示。

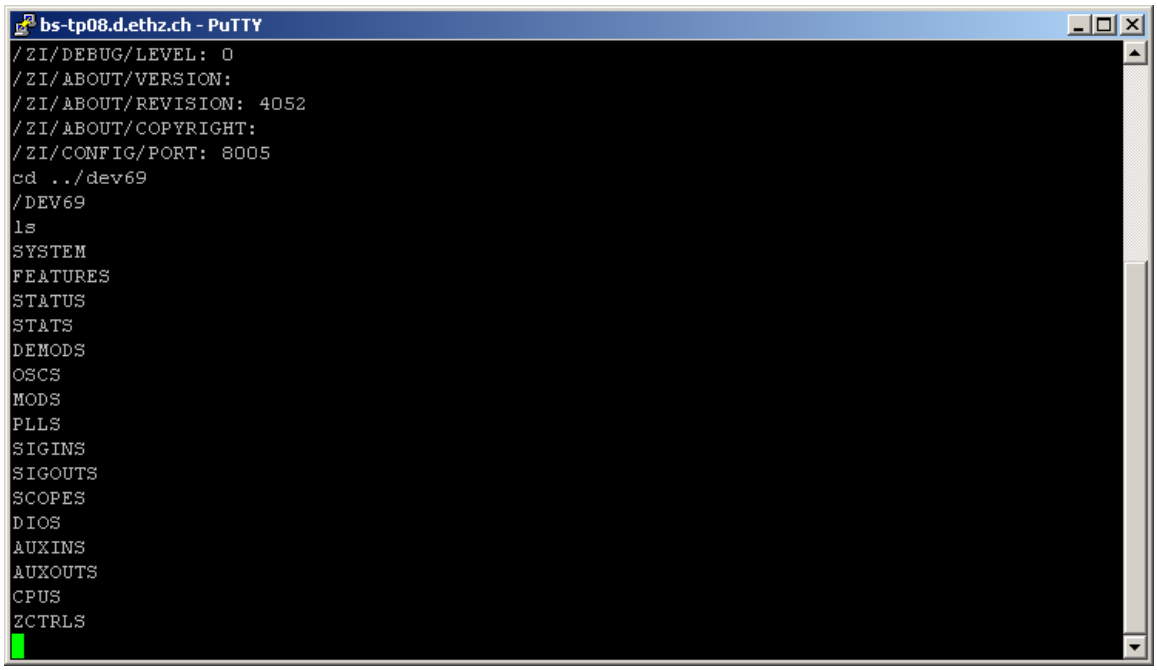


图 5.6. PuTTY 导览：第一级仪器层次结构

此列表列示了对 HF2LI 仪器的顶层目录，显示了 DEMODS（解调器）、OSCS（振荡器）、SIGINS（信号输入）、SIGOUTS（信号输出）、SCOPES（示波器）、AUXINS（辅助输入）、AUXOUTS（辅助输出）、CPUS（集成处理器）等构建模块。从用户的视角来看，分支和叶子将取决于设备中安装的选件：例如，如果用户并未安装 HF2LI-PLL 选件，则看不到 PLLS。

现在，有必要对仪器的分支进行深入研究。我们使用振荡器 0：键入 **cd oscs**，然后键入 **ls** 来查看此级别的分支；接下来键入 **cd 0** 选择第一个振荡器，随即列出该级别的叶子，并使用 *** ?** 返回所有叶子值。例如，我们看到 **/DEVX/OSCS/0/FREQ** 的值为 2.5 MHz，参见图 5.7。

此时可以检查 LabOne UI 在相应字段中是否实际存在相同值。请注意 GUI 内部的模块编号表示法从 1 开始，而基础仪器的编号表示法从 0 开始。也可以将 GUI 内锁相通道 1 的频率改为 2.1 MHz，然后键入 *** ?** 来检查文本界面内的值。可以看到对于连接到 ziServer 的所有客户端而言，设置更改都是透明的。用户始终都可以使用设置和数据一致性进行操作。

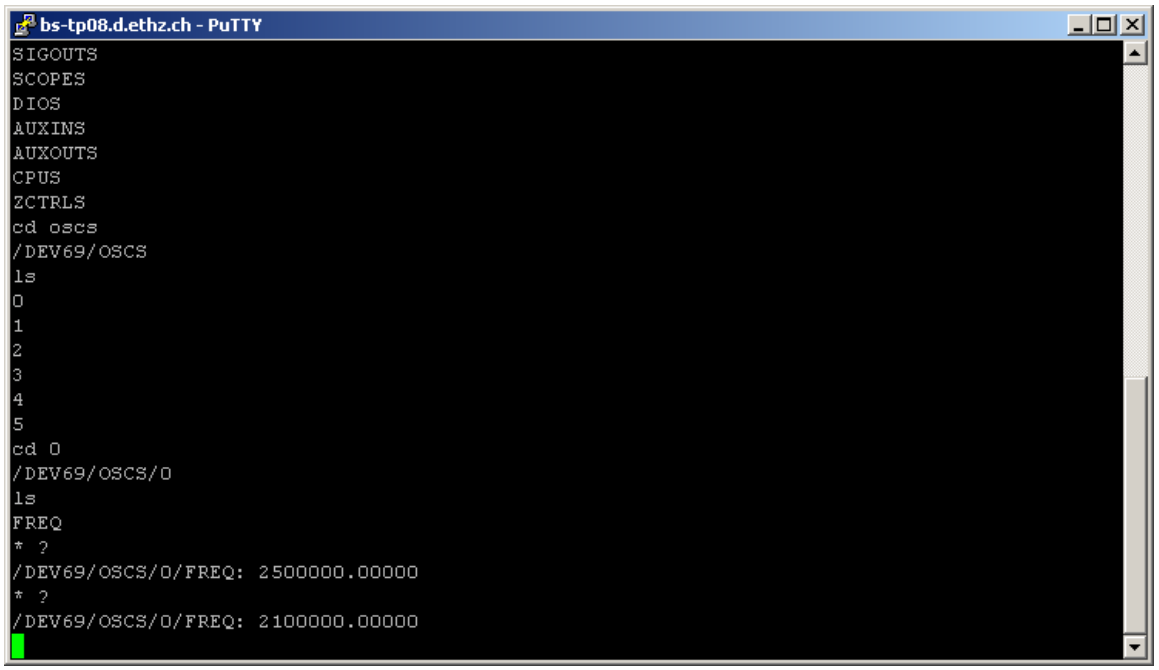


图 5.7. PuTTY 导览：振荡器的

接下来，更改振荡器频率值，例如改为 4.5 MHz，键入 **freq 4500000**。使用绝对路径 **/DEV8/OSCS/0/FREQ 4500000** 也可以达到同样的效果。请注意，GUI 中的值同时从 2.1 MHz 改为 4.5 MHz。

需要进行多项类似设置时，通配符 * 可以简化操作。例如，我们立即检查所有振荡器的频率：键入 **cd ..**，然后键入 ***/freq ?**，再用 ***/freq 3600000** 将所有频率改为 3.6 MHz。这就是文本界面的强大之处。

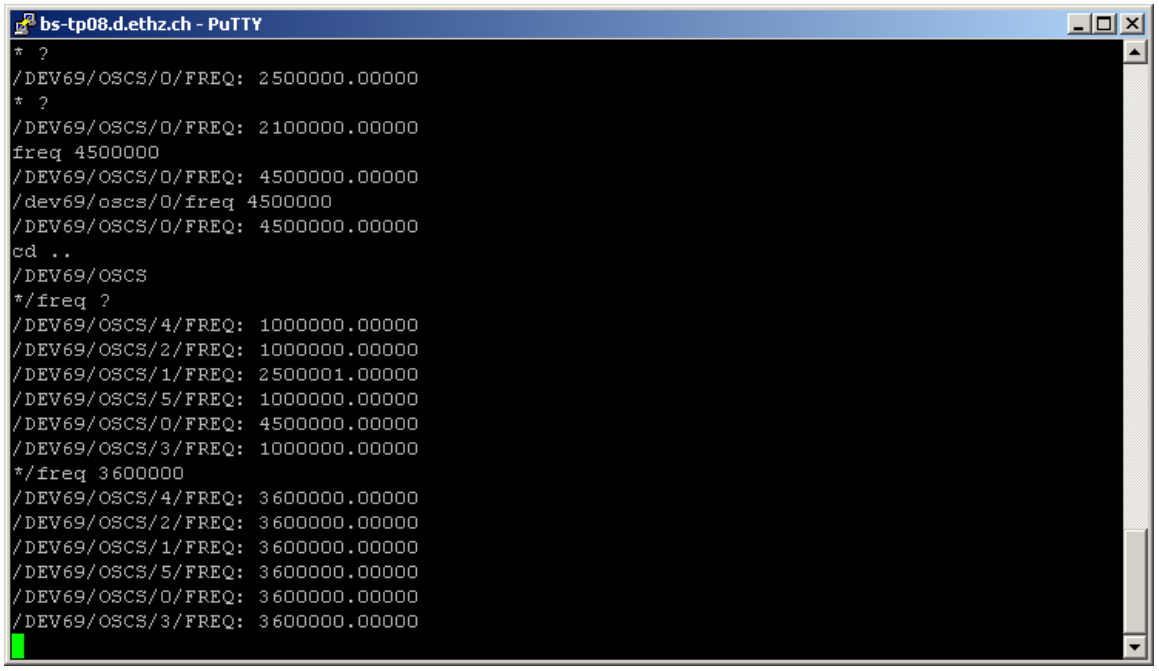


图 5.8. PuTTY 导览：使用通配符

关于脚本撰写。可以使用语法 **path value** 手动编译文件中的多项设置，然后将编译后的内容复制粘贴到终端窗口中。ziServer 将识别该序列，然后将进行所有定义的设置。

请注意，在更改配置后，查看 LabOne UI 的底部是了解 HF2LI 仪器中路径的另一种有效方法（请参阅此注释）。完整会话命令历史记录存储在 **LabVIEW Data** 目录的 **com.zhinst.ziControlStatusLog.txt** 文件中。

基于文本的编程入门到此结束。瑞士苏黎世仪器公司希望本部分对您多有裨益，也希望您将第 3 章中的部分教程付诸实践。感谢您使用瑞士苏黎世仪器公司的设备进行测量工作。

5.2.2. 命令参考

命令

键入 **help** 后，可在界面中查看基于文本的界面中所有可用命令的完整列表。

注释

基于文本的界面不区分大小写。

节点、叶子和路径

仪器的每项设置均由叶子表示成节点树的终端。还有一些叶子并非设置，而是用于从仪器中检索数据。对于每个叶子而言，均存在一个路径和相关值。

path_list = path [path]
path = [/|/..|*]name[/name|*|]**

在上述语法中，名称为一个字符串，路径是由斜杠分隔的名称列表。如果某个路径以斜杠开头，则表示该路径是从层次结构的根开始的绝对路径。星号是通配符，表示某个给定层次结构中的所有节点，连续两个点表示层次结构较高。

导航与树状结构

使用 **sel/cd/ls/tr** 命令执行文本界面内的导航。

sel or cd [?|..|path]
ls [path]
tr [path]
info [path]

命令 **cd ?** 反馈当前路径，**cd ..** 向上移动一级树，**cd path** 向下移动一级树。**sel** 和 **cd** 是等效的命令。**ls** 列示了当前路径上可用的树，**ls path** 列示了指定路径上可用的树，**tr** 列示了当前路径上的完整树，**tr path** 列示了指定路径上的完整树，**info** 反馈当前路径的帮助字符串，**info path** 报告了给定路径的帮助字符串。

获取和设置节点值

使用以下语法读取和更改节点值。

path ?
path_list value

命令 **path ?** 返回路径的 value，**path value** 将指定节点设置为 value，**path_list** 的值指定为节点的 value。以下是几项示例：

```
about/* ?                          // return values of leaves at path
devx/demods/0/* ?
/zi/config/* ?

/devx/demods/0/adcselect ?         // return value at path
/devx/demods/0/adcselect 0         // set value of leaf

/devx/demods/0/adcselect /devx/demods/1/adcselect 1
                                   // multiple set value
```

订阅

ziServer 提供了一项机制，可自动将某个叶子的所有更改发送给已经订阅通知的客户端。每当仪器的设置或数据发生更改时，这项机制可以有效地通知客户端，而无需主动轮询。可以订阅单独叶子或完整树状结构。

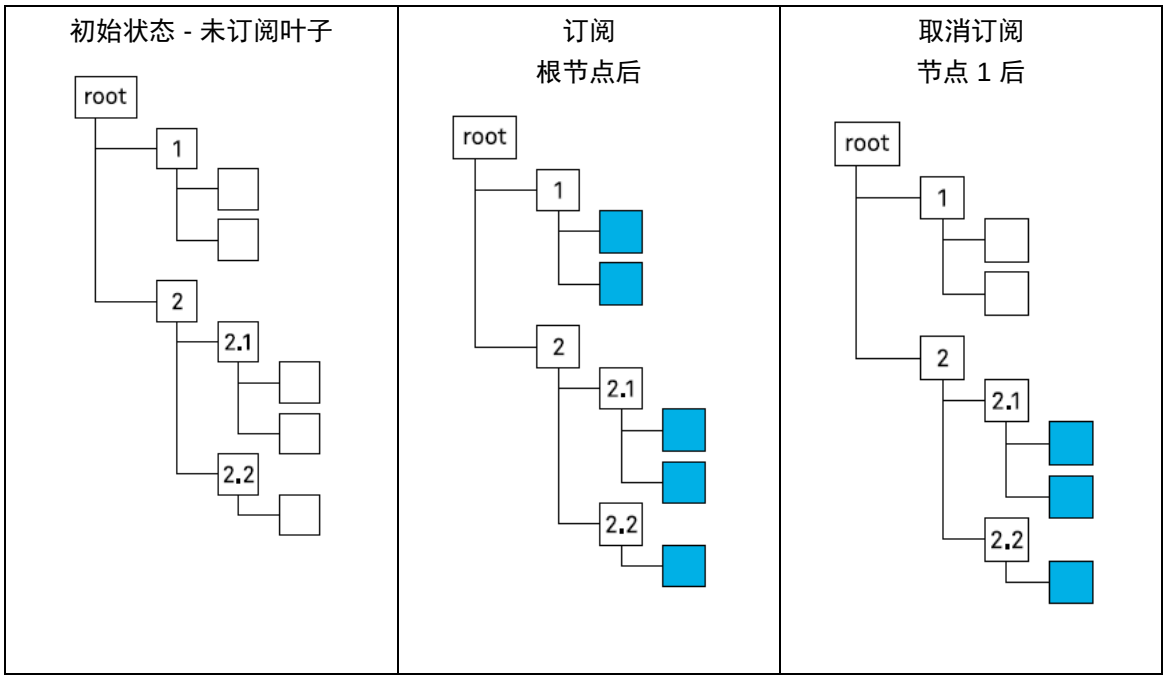
当订阅的叶子值发生更改时，会将更新后的值发送到客户端。多数情况下，订阅了样本、错误和状态节点。如需维护用户界面，可使用订阅项完成这项操作。

如果订阅或取消订阅某个非叶子节点，则会将订阅状态传送到子树结构的所有节点。举例来说，您可以先订阅一个子树，然后取消订阅该子树中的特定节点，但仍会接收除已取消订阅节点以外的所有节点事件。

```
subs path_list          // subscribe
unsubs path_list        // unsubscribe

path value              // return value for subscribed leaf
```

下述序列说明了订阅和取消订阅命令顺序，其中蓝绿色叶子表示已订阅的叶子。



第一张图显示了并未订阅叶子时的初始状态。此状态与新启动的 ziServer 会话相对应。订阅根节点后，所有叶子均被订阅。例如，接下来可以取消订阅节点 1，进而仅订阅节点 2 下面的叶子。

脚本撰写

可在文本编辑器中准备一系列命令，然后将这些命令复制粘贴到终端会话中。控制台会将所有命令发送到 ziServer，然后服务器会逐一进行解译。

注释

使用鼠标右键可复制粘贴到 Windows Putty 会话中。

```
cd [.zinode]#/DEVX#
SIGOUTS/*/ON 0
SIGOUTS/0/RANGE 1
SIGOUTS/0/AMPLITUDES/0 1
SIGOUTS/0/ENABLES/* 0
SIGOUTS/0/ENABLES/0 1
OSCS/0/FREQ 300000
SIGINS/0/RANGE 10
DEMODS/0/ORDER 2
DEMODS/0/RATE 1000
```

5.3. 通过不安全的网络或防火墙后的网络连接到 ziServer

如果您想通过不安全的公共网络（如公共互联网）连接到 ziServer，则需考虑到 ziServer 的 TCP/IP 连接是不安全的。此外，许多防火墙不允许向 8005 端口传输流量。这个问题有两种常见的解决方案。其一是利用 VPN，其二是利用 ssh 端口隧道/转发。本节内容将介绍 ssh 端口隧道/转发。

5.3.1. SSH 端口转发

您可使用 ssh 连接至一台远程计算机，并利用此连接为本地和远程计算机之间的 ziServer 流量搭建隧道。

现在举例说明端口转发的原理。假设您拥有两栋建筑。在 1 号实验室内，实验室的计算机均位于 10.1.1.* 子网内，并且 HF2LI 连接到其中一台计算机。您家里的办公用计算机均位于 10.2.2.* 子网内。1 号实验室内的计算机正在运行 ziServer 应用程序，该应用程序使用未加密的 TCP/IP 会话与您家里的 LabOne UI 进行数据通信。实验室和您家里的防火墙可能不允许发起此连接。端口转发分两种，即本地转发和远程转发，二者分别又称传出隧道和传入隧道。本地端口转发将传至本地端口的流量转发到指定的远程端口。例如，所有传至客户端上的 1234 端口的流量均可被转发到服务器（主机）上的 8005 端口。

本地主机的值在建立安全外壳连接后进行解析，因此在定义本地转发（传出隧道）时，本地主机系指用户已连接到的服务器（远程主机）。远程端口转发则与之相反：其将传至远程端口的流量转发到指定的本地端口。例如，所有传至服务器（主机）上的 1234 端口的流量均可被转发到客户端（本地主机）上的 8005 端口。

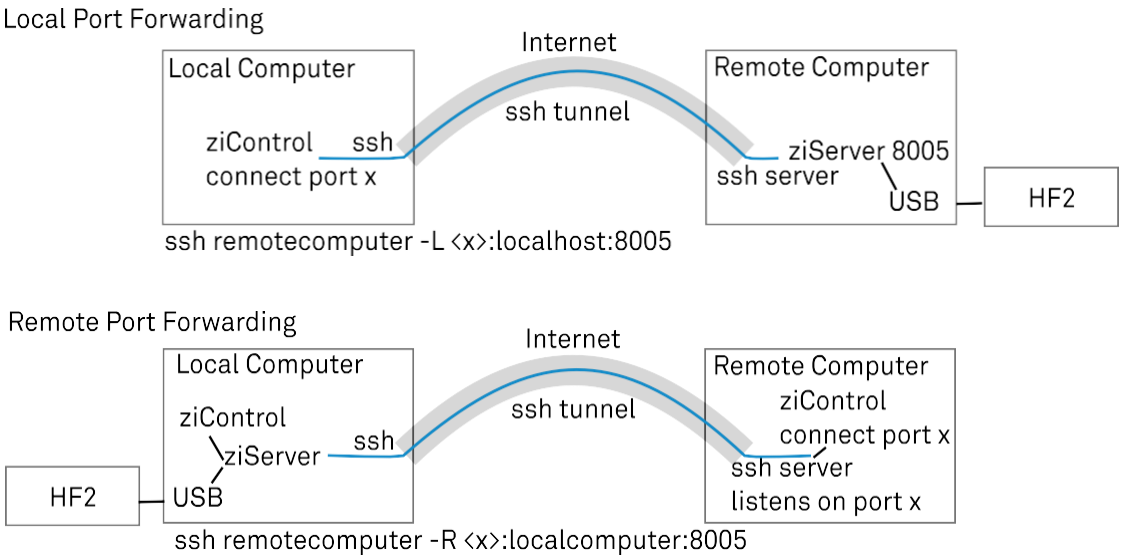


图 5.9. 安全连接

5.3.2. 本地端口转发

只需连接至工作场所的服务器 **work.example.org**，即可**从您家里的机器 (10.2.2.)** 访问实验室内机器 (10.1.1.) 上的服务（在本例中为 ziServer TCP/8005 端口）：

$ssh user@work.example.org -L 10000:172.16.10.10:8005

可以看到，ziServer 仅可用于环回接口，监听 TCP/10000 端口：

$ netstat -tunelp | grep 10000

tcp 0 0 127.0.0.1:10000 0.0.0.0:* LISTEN 1000 71679 12468/ssh

您应该可以从家里的机器连接至工作场所的机器：

$ telnet localhost 10000

通过在 LabOne UI 中指定本地主机和 10000 端口，您可以使用 LabOne UI 进行连接。请注意，10000 端口是随意选择的。

5.3.3. 为家里的任何人提供本地端口转发

如果您希望自己家里子网上的其他人可通过 SSH 访问工作场所的机器，请添加全局选项 -g：

$ ssh user@work.example.org -L 10000:172.16.10.10:22 -g

现在可以看到，此服务可用于您家里计算机 (10.2.2.5) 上的所有接口，可供本地子网上的任何人连接：

$ netstat -tunelp | grep 10000 tcp 0 0 0.0.0.0:10000 0.0.0.0:* LISTEN 1000 72265 12543/ssh

您本地子网上的任何人现在应可按以下方式连接至工作场所的机器：

$ telnet 10.2.2.5 10000

通过在 LabOne UI 中指定主机 10.2.2.5 和 10000 端口，您可以使用 LabOne UI 进行连接。

5.3.4. 远程端口转发

向工作场所的人员授予访问您家里机器 (10.2.2.5) 上的 ziServer（TCP/8005 端口）的权限：

$ ssh user@work.example.org -R 10000:10.2.2.5:8005

在工作场所的服务器（位于 TCP/10000 端口的回环接口上）上可以看到，我们可以访问家里的 SSH 服务器：

work.example.org$ netstat -tunelp | grep 10000 tcp 0 0 127.0.0.1:10000 0.0.0.0:* LISTEN 0 73719534 3809/1

登录机器 **work.example.org** 的人现在应可按以下方式通过 SSH 访问您家里的机器：

work.example.org$ telnet localhost 10000

5.3.5. 为工作场所的任何人员提供远程端口转发

如果您希望工作场所子网上的所有人都可以通过 SSH 访问您家里的机器，但没有添加用于实现远程转发的 -g 选项，则您需要更改 **work.example.org** 的 SSH 配置，添加至 **sshd_config**：

GatewayPorts yes

如前所示连接：

home$ ssh user@work.example.org -R 10000:10.2.2.5:8005

当前正在监听工作场所的服务器上的所有接口：

work.example.org$ netstat -tunelp | grep 10000 tcp 0 0 0.0.0.0:10000 0.0.0.0:* LISTEN 0 73721060 4426/1

工作场所的任何人员现在均可借助服务器通过 SSH 连接至您家里的机器：

anyone.example.org$ telnet work.example.org 10000

第 6 章设备节点树

本章包含 HF2LI 仪器上可用的设置和测量数据的参考文献。虽然第 4 章在 LabOne 用户界面的可用功能方面介绍了其中的许多设置，但本章从设备层面进行介绍，并提供一个按层级组织的设备功能综合列表。

由于这些设置和数据流可使用 LabOne API（应用程序编程接口）来写入和读取，因此本章尤其适用于希望通过 LabVIEW、Python、MATLAB、.NET 或 C 语言以编程方式执行测量的用户。

请参见：

- 第 6.1 节介绍仪器的设置和测量数据在数据服务器的所谓“节点树”中的层级组织。
- 第 6.2 节提供按节点树分支整理的 HF2LI 仪器上可用设置和测量数据的参考列表。

6.1. 简介

本节概述仪器的配置和输出在数据服务器中的组织方式。

与仪器的所有通信均通过与仪器连接的数据服务器程序进行（请参见 LabOne 软件架构获取 LabOne 软件组件的概述）。尽管仪器的设置存储在本地设备上，但数据服务器的任务是确保其保持当前设置的值，并使这些设置（以及任何订阅的数据）可用于所有当前客户端。客户端可以是 LabOne 用户界面，也可以是用户使用某个 LabOne API（例如 Python）执行的自有程序。

仪器的设置和数据由数据服务器以类似文件系统的层级结构来组织，该结构称为节点树。当仪器连接至数据服务器时，其设备 ID 就变为数据服务器节点树内的顶端分支。仪器的各项功能作为设备顶端分支下面的分支，各种仪器设置都作为这些分支的树叶。

例如，仪器的设备 ID 为“dev2006”，其辅助输出在节点树的分支位置为：

/DEV2006/AUXOUTS/

“AUXOUTS”分支下依次是每个辅助输出通道的分支。

/DEV2006/AUXOUTS/0/
/DEV2006/AUXOUTS/1/
/DEV2006/AUXOUTS/2/
/DEV2006/AUXOUTS/3/

辅助输出和其他通道在仪器面板和用户界面上使用以 1 为第一位的索引方式进行标记，但数据服务器的节点树使用的是以 0 为第一位的索引方式。辅助输出的各个设置（和数据）均作为相应通道的分支下的树叶：

/DEV2006/AUXOUTS/0/DEMODSELECT
/DEV2006/AUXOUTS/0/LIMITLOWER
/DEV2006/AUXOUTS/0/LIMITUPPER
/DEV2006/AUXOUTS/0/OFFSET
/DEV2006/AUXOUTS/0/OUTPUTSELECT
/DEV2006/AUXOUTS/0/PREOFFSET
/DEV2006/AUXOUTS/0/SCALE
/DEV2006/AUXOUTS/0/VALUE

以上都是节点树中的单个节点路径；最低一级的节点代表单个仪器设置或数据流。相关仪器特定用户手册的“参考节点文档”部分基于每个节点，对节点是仪器设置还是数据流，以及它包含或提供哪种类型的数据进行了明确的定义和记录。有关不同属性和类型的详细信息见第 6.1.1 节。

对于仪器设置，数据服务器客户端通过向数据服务器指定适当的路径和一个值，即一个（路径，值）对，来修改节点的值。当在 LabOne 用户界面中更改仪器的设置后，更改后的节点的路径和值显示在窗口底部的状态栏中。关于这一点的详细信息见第 6.1.2 节。

模块参数

LabOne 核心模块（例如参数扫描仪）也使用类似的树状结构来组织其参数。但请注意，模块节点不会显示在数据服务器的节点树中；这些节点位于在 LabOne 客户端中创建的模块实例本地，且不在客户端之间同步。

6.1.1. 节点属性和数据类型

一个节点可具有一个或多个以下属性：

读取	可从节点读取数据。
写入	可向节点写入数据。
设置	节点具有对应于仪器配置的写入属性。这些节点中的数据将保存到 LabOne XML 设置文件中，并从这些文件加载。
流传输	节点具有读取属性，通常以用户配置的速率提供仪器数据。该数据通常是更复杂的数据类型，例如解调器数据作为 **ZIDemodSample** 数据返回。《编程手册》的“仪器通信”一章中提供了完整的流传输节点列表。这些节点的可用性取决于设备类别（例如 MF）和设备上安装的选件组。

节点可包含以下类型的数据：

整数	整数数据。
双	双精度浮点数据。
字符串	字符串阵列。
枚举（整数）	整数数据，但是节点仅允许部分数值。
复合数据类型	例如 **ZIDemodSample**。这些自定义数据类型的结构中，字段包含仪器输出、时间戳和其他相关仪器设置，例如解调器振荡器频率。有关自定义数据类型的文档参见

6.1.2. 探索节点树

LabOne 用户界面

要了解哪个节点负责特定的仪器设置，比较方便的方法之一是在 LabOne 用户界面底部查看 Command Log 历史记录。状态栏中的命令会在每次更改配置后更新。图 6.1 所示为修改辅助输出 1 的偏移值后等效 Matlab 命令的显示内容。LabOne UI 的命令历史记录的格式可在“Config”选项卡中进行配置（可选格式包括 Matlab、Python 和 .NET）。当前 UI 会话中生成的整个历史记录都可通过单击“Show Log”按钮来查看。

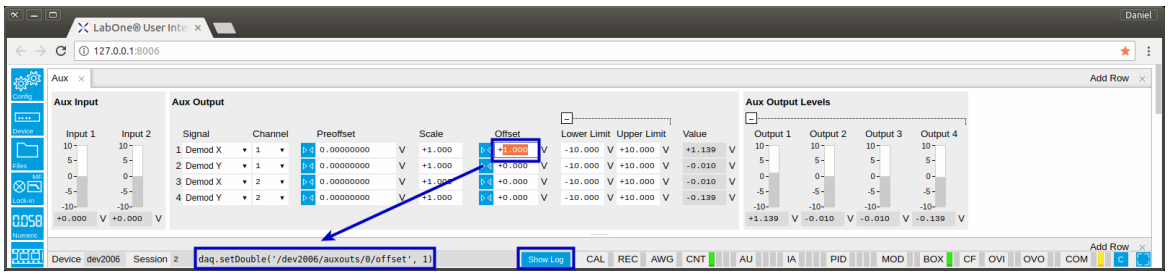


图 6.1. 在 LabOne 用户界面中修改设备配置后，状态栏会通过 LabOne 编程界面显示等效命令来执行相同配置。LabOne 编程界面会提供用于修改辅助输出 1 的偏移值的 Matlab 代码。单击“Show Log”按钮后，整个配置历史记录都会显示在新的浏览器选项卡中。

LabOne 编程界面

使用 **listNodes** 命令（Matlab、Python、.NET）或 **ziAPIListNodes()** 函数 (C API) 可从 API 客户端的数据服务器请求（特定分支下的）节点列表。有关使用 **listNodes** 命令的更多帮助，请参见各 API 的命令参考。为获取从仪器高速提供数据的所有节点（即“流传输节点”）的列表，可向 **listNodes** 提供 **streamingonly** 标志。有关数据流传输和流传输节点的更多信息，请参见 LabOne 编程手册。

第 6.2 节提供的有关节点的详细说明也可通过在 LabOne Matlab 或 Python 编程界面中使用“help”命令直接访问。“**help**”命令在 Python 和 Matlab 中分别为 **daq.help(path)** 和 **ziDAQ('help', path)**。该命令返回有关仪器节点的描述，包括访问属性、数据类型、单位和可用选件。“help”命令还处理通配符，以返回与路径匹配的所有节点的详细描述。以下为相关示例。

```
daq = zhinst.ziPython.ziDAQServer('localhost', 8004, 6)
daq.help('/dev2006/auxouts/0/offset')
# Out:
# /DEV2006/AUXOUTS/0/OFFSET#
# Add the specified offset voltage to the signal after scaling. Auxiliary Output
# Value = (Signal+Preoffset)*Scale + Offset
# Properties: Read, Write, Setting
# Type: Double
# Unit: V
```

6.1.3. 数据服务器节点

数据服务器在节点树的顶端 /ZI/ 分支下有可用的节点。这些节点提供客户端连接的数据服务器的版本和状态信息。例如，以下节点：

- /ZI/ABOUT/VERSION
- /ZI/ABOUT/REVISION

为包含数据服务器的发行版本和修订信息的只读节点。/ZI/DEVICES/ 下的节点列出了数据服务器已连接、可发现且可见的设备。

以下节点：

- /ZI/CONFIG/OPEN
- /ZI/CONFIG/PORT

为设置节点，可用于配置数据服务器从哪个端口监听传入客户端连接，以及它是否可以接受来自本地主机以外主机上的客户端的连接。

对编程者尤其有用的节点是：

- /ZI/DEBUG/LOGPATH - 数据服务器日志在电脑文件系统中的位置，
- /ZI/DEBUG/LEVEL - 数据服务器当前的日志级别（可配置；具有写入属性），
- /ZI/DEBUG/LOG - 作为字符串阵列的最后的数据服务器日志条目。

有关所有数据服务器节点的文档，请参见仪器特定用户手册的“参考节点文档”部分的 /ZI/ 部分。

6.2. 参考节点文档

本节按分支介绍数据服务器的节点树中的所有节点。有关节点属性和类型的说明，请参见节点属性和数据类型。

6.2.1. /DEV

/DEV…./CLOCKBASE

属性： 读取

为设备提供时钟基准值

SYSTEM

/DEV…./SYSTEM/EXTCLK

属性： 读取、写入、设置
类型： 布尔型

布尔值从内部时钟切换至外部时钟。

使用外部时钟时，请确保时钟发生器连接至 Clock In 连接端口。

/DEV…./SYSTEM/HWREVISION

属性： 读取

主板的修订版本。

/DEV…./SYSTEM/SYNCENABLE

属性： 读取、写入、设置
类型： 布尔型

通过 ZSync 启用多设备时间戳同步的布尔值。

在设备间同步时间戳时，请确保在主设备和从设备的 ZSync 端口之间连接适当的电缆。

/DEV…./SYSTEM/SYNCRESET

属性： 读取、写入、设置
类型： 布尔型

通过 ZSync 激活时间戳重置的布尔值。

在设备间同步时间戳时，请确保在主设备和从设备的 ZSync 端口之间连接适当的电缆。

/DEV…./SYSTEM/SYNCTIME

属性： 读取
单位： s

激活时间戳重置时需加载的时间戳。

/DEV…./SYSTEM/ACTIVEINTERFACE

属性： 读取

提供设备活动接口的节点。

/DEV…./SYSTEM/PROPERTIES/MINFREQ

单位： Hz

设备的最小振荡器频率。

/DEV…./SYSTEM/PROPERTIES/MAXFREQ

单位： Hz

设备的最大振荡器频率。

/DEV…./SYSTEM/PROPERTIES/NEGATIVEFREQ

类型： 布尔型

设备支持负频率。

/DEV…./SYSTEM/PROPERTIES/TIMEBASE

属性： 读取
单位： s

设备的时基。

/DEV…./SYSTEM/PROPERTIES/FREQRESOLUTION

属性： 读取
单位： 位

设备的频率分辨率。

/DEV…./SYSTEM/PROPERTIES/MINTIMECONSTANT

属性： 读取
单位： s

设备的最小滤波器时间常数。

/DEV…./SYSTEM/PROPERTIES/MAXTIMECONSTANT

属性： 读取
单位： s

设备的最大滤波器时间常数。

FEATURES

/DEV…./FEATURES/SERIAL

属性： 读取

提供设备序列号的节点。

/DEV…./FEATURES/DEVTYPE

属性： 读取

提供有关设备类型的字符串的节点。

/DEV…./FEATURES/OPTIONS

属性： 读取

提供有关已启用选件的信息的节点。

读取此节点将返回一个字符串，其中包含所有已安装选件的换行符分隔列表。

/DEV…./FEATURES/CODE

属性： 写入
类型： 字节数组

提供特征码编写机制的节点。

STATUS

/DEV…./STATUS/TIME

属性： 读取
单位： s

当前时间戳。

/DEV…./STATUS/FLAGS/BINARY

属性： 读取
单位： 位码

所有标志的二进制表示法。

设置多个标志时，值为 or-ed。

/DEV…./STATUS/FLAGS/PLLLOCK

属性： 读取
类型： 布尔型

表示时钟发生器的内部 PLL 是否已锁定的标志。

/DEV…./STATUS/FLAGS/DCMLOCK

属性： 读取
类型： 布尔型

表示内部数字时钟管理器 (DCM) 是否已锁定的标志。

/DEV…./STATUS/FLAGS/FX2RX

属性： 读取
类型： 布尔型

表示设备是否通过 USB 接收数据的标志。

/DEV…./STATUS/FLAGS/PKGLOSS

属性： 读取
类型： 布尔型

表示设备通过 USB 发送数据时丢失数据的标志。

/DEV…./STATUS/FLAGS/MIXERCLIP/n

属性： 读取
类型： 布尔型

表示该混频器通道正在削波的标志。

/DEV…./STATUS/FLAGS/ADCCLIP/n

属性： 读取
类型： 布尔型

表示该 ADC 通道正在削波的标志。

/DEV…./STATUS/FLAGS/SCOPESKIPPED

属性： 读取
类型： 布尔型

表示示波器数据已被忽略的标志。

通过 USB 发送过多数据时会发生此种情况。

/DEV…./STATUS/FLAGS/DEMODSAMPLELOSS

属性： 读取
类型： 布尔型

表示解调器数据已丢失的标志。

/DEV…./STATUS/FIFOLEVEL

属性： 读取
单位： 百分比

已使用的 TX FIFO 百分比。

/DEV…./STATUS/ADC0MIN

属性： 读取

100 ms 期间 Signal Input 1 (ADC0) 的最小值。

/DEV…./STATUS/ADC0MAX

属性： 读取

100 ms 期间 Signal Input 1 (ADC0) 的最大值。

/DEV…./STATUS/ADC1MIN

属性： 读取

100 ms 期间 Signal Input 2 (ADC1) 的最小值。

/DEV…./STATUS/ADC1MAX

属性： 读取

100 ms 期间 Signal Input 2 (ADC1) 的最大值。

/DEV…./STATUS/ECHOWRITE

属性： 写入
类型： 整数型

写入此节点的 32 位将通过 ECHOREAD 节点回显。

/DEV…./STATUS/ECHOREAD

属性： 读取

写入 ECHOWRITE 节点的 32 位将在此处回显。

STATS

/DEV…./STATS/BYTESSENT

属性： 读取
单位： 字节

通过 USB 发送的字节总数。

/DEV…./STATS/BYTESRECEIVED

属性： 读取
单位： 字节

通过 USB 接收的字节总数。

/DEV…./STATS/MEANPOLLCNT

属性： 读取
单位： 绘制点数/秒

平均投票计数。

/DEV…./STATS/MEANMSGCNT

属性： 读取
单位： 消息数/秒

平均消息计数。

/DEV…./STATS/PHYSICAL/1V2

属性： 读取
单位： 伏特

1.2 伏特电源的实际电压。

/DEV…./STATS/PHYSICAL/1V8

属性： 读取
单位： 伏特

1.8 伏特电源的实际电压。

/DEV…./STATS/PHYSICAL/2V5

属性： 读取
单位： 伏特

2.5 伏特电源的实际电压。

/DEV…./STATS/PHYSICAL/3V3

属性： 读取
单位： 伏特

3.3 伏特电源的实际电压。

/DEV…./STATS/PHYSICAL/5V0

属性： 读取
单位： 伏特

5.0 伏特电源的实际电压。

/DEV…./STATS/PHYSICAL/TEMP

属性： 读取
单位： 摄氏度

实际温度。

/DEV…./STATS/PHYSICAL/OVERTEMPERATURE

属性： 读取
类型： 布尔型

会话期间检测到 FPGA 温度过高。

DEMODS

/DEV…./DEMODS/n/ADCSELECT

属性： 读取、写入、设置
类型： 整数型（范围：0-5）
单位： 索引

选择解调器的信号输入索引。

/DEV…./DEMODS/n/ORDER

属性： 读取、写入、设置
类型： 整数型（范围：1-8，默认值：4）
单位： 阶数

选择低通滤波器的阶数。

/DEV…./DEMODS/n/TIMECONSTANT

属性： 读取、写入、设置
类型： 双（默认值：0.010164）
单位： s

设置低通滤波器的时间常数。

为低通滤波器的每一级设置时间常数。总时间常数和带宽取决于选定的阶数。

/DEV…./DEMODS/n/RATE

属性： 读取、写入、设置
类型： 双
单位： Hz

每秒发送到计算机的输出值的数量。

/DEV…./DEMODS/n/ENABLE

属性： 读取、写入、设置
类型： 布尔型

启用解调器数据流。

/DEV…./DEMODS/n/TRIGGER

属性： 读取、写入、设置
类型： 整数型
单位： 位码

设置解调器的触发和门控功能。

触发器由整数位配置。当设置多位/触发器时，其值为 or-ed。如果触发器设置为 0，则解调器数据将会持续发送。

/DEV…./DEMODS/n/OSCSELECT

属性： 读取、写入、设置
类型： 整数型

单位： 索引

用于解调信号的振荡器索引。

/DEV…./DEMODS/n/HARMONIC

属性： 读取、写入、设置
类型： 整数型（范围：1-1023，默认值：1）
单位： 谐波

要使用的基准频率的谐波。

选择 1 选择基频。

/DEV…./DEMODS/n/FREQ

属性： 读取
单位： Hz

解调器的频率。

/DEV…./DEMODS/n/PHASESHIFT

属性： 读取、写入、设置
类型： 双
单位： 度

解调器的相移。

/DEV…./DEMODS/n/SINC

属性： 读取、写入、设置
类型： 布尔型

启用 Sinc 滤波器功能的布尔值。

/DEV…./DEMODS/n/SAMPLE

属性： 读取

解调器样本在此节点给出。

OSCS

/DEV…./OSCS/n/FREQ

属性： 读取、写入、设置
类型： 双（范围：0-100E6，默认值：1E6）
单位： Hz

振荡器的频率。

MODS

/DEV…./MODS/n/ENABLE

属性： 读取、写入、设置
类型： 布尔型

启用调制。

/DEV…./MODS/n/OUTPUT

属性： 读取、写入、设置
类型： 整数型（默认值：0）

调制输出。

/DEV…./MODS/n/MODE

属性： 读取、写入、设置
类型： 整数型（默认值：0）

调制模式。

/DEV…./MODS/n/FREQDEVENABLE

属性： 读取、写入、设置
类型： 布尔型

在 FM 模式下，启用峰值偏差。

/DEV…./MODS/n/FREQDEV

属性： 读取、写入、设置
类型： 双
单位： V

在 FM 模式下，设置峰值偏差值。

/DEV…./MODS/n/INDEX

属性： 读取、写入、设置
类型： 双

在 FM 模式下，设置调制因子。调制因子等于峰值偏差除以调制频率。

/DEV…./MODS/n/RATE

属性： 读取、写入、设置
类型： 双
单位： Hz

每秒发送到计算机的输出值的数量。

/DEV…./MODS/n/TRIGGER

属性： 读取、写入、设置
类型： 整数型
单位： 位码

设置解调器的触发和门控功能。

/DEV…./MODS/n/CARRIER/INPUTSELECT

属性： 读取、写入、设置
类型： 整数型（默认值：0）

载波解调的信号输入。

/DEV…./MODS/n/CARRIER/ORDER

属性： 读取、写入、设置
类型： 整数型（范围：1-8，默认值：4）
单位： 阶数

载波解调的滤波器阶数。

/DEV…./MODS/n/CARRIER/TIMECONSTANT

属性： 读取、写入、设置
类型： 双
单位： s

设置载波低通滤波器的时间常数。

为低通滤波器的每一级设置时间常数。总时间常数和带宽取决于选定的阶数。

/DEV…./MODS/n/CARRIER/OSCSELECT

属性： 读取、写入、设置
类型： 整数型
单位： 索引

用于解调信号的振荡器索引。

/DEV…./MODS/n/CARRIER/HARMONIC

属性： 读取、写入、设置
类型： 整数型（范围：1-1023，默认值：1）
单位： 谐波

载波频率的谐波。

选择 1 选择基频。

/DEV…./MODS/n/CARRIER/PHASESHIFT

属性： 读取、写入、设置
类型： 双
单位： 度

载波解调器的相移。

/DEV…./MODS/n/CARRIER/ENABLE

属性： 读取、写入、设置
类型： 布尔型

启用载波数据流。

/DEV…./MODS/n/CARRIER/AMPLITUDE

属性： 读取、写入、设置
类型： 双
单位： 增益

载波幅值。添加到输出信号的输出范围分数。

将此值与范围设置相乘，得到以 V 为单位的电压。

/DEV…./MODS/n/SIDEBANDS/n/MODE

属性： 读取、写入、设置
类型： 整数型（默认值：0）

边带选择器。

/DEV…./MODS/n/SIDEBANDS/n/INPUTSELECT

属性： 读取、写入、设置
类型： 整数型（默认值：0）

边带解调的信号输入。

/DEV…./MODS/n/SIDEBANDS/n/ORDER

属性： 读取、写入、设置
类型： 整数型（范围：1-8，默认值：4）
单位： 阶数

边带解调的滤波器阶数。

/DEV…./MODS/n/SIDEBANDS/n/TIMECONSTANT

属性： 读取、写入、设置
类型： 双
单位： s

设置边带低通滤波器的时间常数。

为低通滤波器的每一级设置时间常数。总时间常数和带宽取决于选定的阶数。

/DEV…./MODS/n/SIDEBANDS/n/OSCSELECT

属性： 读取、写入、设置
类型： 整数型
单位： 索引

用于解调信号的振荡器索引。

/DEV…./MODS/n/SIDEBANDS/n/HARMONIC

属性： 读取、写入、设置
类型： 整数型（范围：1-1023，默认值：1）
单位： 谐波

边带频率的谐波。

选择 1 选择基频。

/DEV…./MODS/n/SIDEBANDS/n/PHASESHIFT

属性： 读取、写入、设置
类型： 双
单位： 度

边带解调器的相移。

/DEV…./MODS/n/SIDEBANDS/n/ENABLE

属性： 读取、写入、设置
类型： 布尔型

启用边带数据流。

/DEV…./MODS/n/SIDEBANDS/n/AMPLITUDE

属性： 读取、写入、设置
类型： 双
单位： 增益

添加到输出信号的输出范围边带幅值分数。

将此值与范围设置相乘，得到以 V 为单位的电压。

/DEV…./MODS/n/RAWMODE

属性： 读取、写入
类型： 整数型（默认值：0）

/DEV…./MODS/n/RAWFMCOEFF

属性： 读取、写入
类型： 双（范围：0-12.56618，默认值：0）

/DEV…./MODS/n/RAWSIDEBAND

属性： 读取、写入
类型： 整数型（默认值：0）

/DEV…./MODS/n/SAMPLE

属性： 读取

调制样本。

PLLS

/DEV…./PLLS/n/ADCSELECT

属性： 读取、写入、设置
类型： 整数型（范围：0-5）
单位： 索引

选择 PLL 的输入。

/DEV…./PLLS/n/AUTOCENTER

属性： 读取、写入、设置
类型： 布尔型

切换自动居中。

/DEV…./PLLS/n/FREQCENTER

属性： 读取、写入、设置
类型： 双（范围：0-100E6）
单位： Hz

选择中心频率。

/DEV…./PLLS/n/FREQRANGE

属性： 读取、写入、设置
类型： 双（范围：0-100E6）
单位： Hz

选择 PLL 的频率范围。

/DEV…./PLLS/n/ENABLE

属性： 读取、写入、设置
类型： 布尔型

启用 PLL。

/DEV…./PLLS/n/ERROR

属性： 读取
单位： 度

PLL 错误。

/DEV…./PLLS/n/AUTOTIMECONSTANT

属性： 读取、写入、设置
类型： 布尔型

切换外部时间常数控制。

/DEV…./PLLS/n/TIMECONSTANT

属性： 读取、写入、设置
类型： 双（默认值：0）
单位： s

外部时间常数。

/DEV…./PLLS/n/AUTOPID

属性： 读取、写入、设置
类型： 布尔型

切换外部 PID。

/DEV…./PLLS/n/P

属性： 读取、写入、设置
类型： 双（范围：-36458.33-36458.33，默认值：0）
单位： Hz/deg

PID 控制器的比例增益。

/DEV…./PLLS/n/I

属性： 读取、写入、设置
类型： 双（范围：-8198252.90-8198190.35，默认值：0）
单位： Hz^2/deg

PID 控制器的积分增益。

/DEV…./PLLS/n/D

属性： 读取、写入、设置
类型： 双（范围：-0.00002-0.00002，默认值：0）
单位： 1/deg

PID 的微分增益。

/DEV…./PLLS/n/FREQDELTA

属性： 读取
单位： Hz

与中心频率的频率偏差。

/DEV…./PLLS/n/ADCTHRESHOLD

属性： 读取、写入、设置
类型： 整数型（范围：-4096-4095，默认值：100）

边沿检测的阈值。

满量程对应于 -4096 和 4095。

/DEV…./PLLS/n/AUXAVG

属性： 读取、写入、设置
类型： 整数型（范围：0-128，默认值：8）

Delta 频率平均控制。

/DEV…./PLLS/n/SETPOINT

属性： 读取、写入、设置
类型： 双
单位： 度

PLL 的设定值，以度为单位。

/DEV…./PLLS/n/HARMONIC

属性： 读取、写入、设置
类型： 整数型（范围：1-1023，默认值：1）
单位： 谐波

要使用的基准频率的谐波。

选择 1 选择基频。

/DEV…./PLLS/n/ORDER

属性： 读取、写入、设置
类型： 整数型（范围：1-8，默认值：4）
单位： 阶数

选择低通滤波器的阶数。

/DEV…./PLLS/n/RATE

属性： 读取
单位： Samples/s

更新速率信息。

/DEV…./PLLS/n/OSCSELECT

属性： 读取
单位： 索引

所使用的振荡器索引。

/DEV…./PLLS/n/DEMODSELECT

属性： 读取
单位： 索引

源解调器。

/DEV…./PLLS/n/LOCKED

属性： 读取
类型： 布尔型

PLL 的锁定指示器。

PIDS

/DEV…./PIDS/n/INPUT

属性： 读取、写入、设置
类型： 整数型（默认值：0）

选择 PID 的输入。

/DEV…./PIDS/n/INPUTCHANNEL

属性： 读取、写入、设置
类型： 整数型（默认值：0）

如适用，选择所选 INPUT 的通道。

设置所选 INPUT 的输入通道索引，即 0、1、2 等。可用通道取决于输入类型。

/DEV…./PIDS/n/OUTPUT

属性： 读取、写入、设置
类型： 整数型（默认值：0）

选择 PID 的输出。

/DEV…./PIDS/n/OUTPUTCHANNEL

属性： 读取、写入、设置
类型： 整数型（默认值：6）

如适用，选择所选 OUTPUT 的通道。

设置所选 OUTPUT 的输入通道索引，即 0、1、2 等。可用通道取决于输出类型。

/DEV…./PIDS/n/OUTPUTDEFAULTENABLE

属性： 读取、写入、设置
类型： 布尔型

如果设置了 OUTPUTDEFAULTENABLE，则 PID 关闭时将应用由 OUTPUTDEFAULT 指定的值。

无

/DEV…./PIDS/n/OUTPUTDEFAULT

属性： 读取、写入、设置
类型： 双（默认值：0.100）

如果设置了 OUTPUTDEFAULTENABLE，则由此节点指定将应用的值。

无

/DEV…./PIDS/n/P

属性： 读取、写入、设置
类型： 双（默认值：1）
单位： [OUTPUT Unit]/[INPUT Unit]

比例增益。

设置错误信号的比例增益。负反馈与负增益相对应。

/DEV…./PIDS/n/I

属性： 读取、写入、设置
类型： 双（默认值：10）
单位： [OUTPUT Unit]/[INPUT Unit]/s

积分器的比例增益。

设置积分（累积）错误信号的比例增益。负反馈与负增益相对应。

/DEV…./PIDS/n/D

属性： 读取、写入、设置
类型： 双（默认值：0.001）
单位： [OUTPUT Unit]/[INPUT Unit]*s

微分器的比例增益。

设置微分错误信号的比例增益。负反馈与负增益相对应。

/DEV…./PIDS/n/SETPOINT

属性： 读取、写入、设置
类型： 双（默认值：0.1）
单位： [INPUT Unit]

目标稳定点。

/DEV…./PIDS/n/SETPOINTSELECT

属性： 读取、写入、设置
类型： 整数型（默认值：0）

设定点选择。

/DEV…./PIDS/n/MONITOROFFSET

属性： 读取、写入、设置
类型： 双（默认值：0.0）

监视器输出的偏移量。

/DEV…./PIDS/n/MONITORSCALE

属性： 读取、写入、设置
类型： 双（默认值：1.0）

监视器输出的量程。

/DEV…./PIDS/n/ERROR

属性： 读取
单位： [OUTPUT Unit]

显示错误值。

计算出的错误是：ERROR = SETPOINT - IN.

/DEV…./PIDS/n/CENTER

属性： 读取、写入、设置
类型： 双（默认值：0.1）
单位： [OUTPUT Unit]

设置输出中心点。

/DEV…./PIDS/n/RANGE

属性： 读取、写入、设置
类型： 双（默认值：0.5）
单位： [OUTPUT Unit]

设置输出范围。

输出限制为：OUT = [CENTER - RANGE,CENTER + RANGE]，其中 RANGE > 0.0.

/DEV…./PIDS/n/SHIFT

属性： 读取
单位： [OUTPUT Unit]

显示输出移位。

计算出的输出值为：OUT = CENTER + SHIFT.

/DEV…./PIDS/n/ENABLE

属性： 读取、写入、设置
类型： 布尔型

启用 PID 控制器

/DEV…./PIDS/n/RATE

属性： 读取
单位： Samples/s

控制更新速率。

/DEV…./PIDS/n/TIPPROTECT/ENABLE

属性： 读取、写入、设置
类型： 布尔型

启用 PID 控制器的 TipProtect。

/DEV…./PIDS/n/TIPPROTECT/PLL

属性： 读取、写入、设置
类型： 整数型（默认值：0）

选择 TipProtect 的 PLL。

/DEV…./PIDS/n/TIPPROTECT/ACTIVE

属性： 读取
类型： 布尔型

指示 TipProtect 是否激活。

/DEV…./PIDS/n/TIPPROTECT/ACTIVETIMECONSTANT

属性： 读取、写入、设置
类型： 双（范围：0-100E6）
单位： s

TipProtect 激活时的时间常数。

TipProtect 激活时（即，等待重新启用 PID 控制器时），对 PLL error² 进行低通滤波的时间常数。

/DEV…./PIDS/n/TIPPROTECT/ACTIVETHRESHOLD

属性： 读取、写入、设置
类型： 双（范围：0-129600）
单位： deg²

激活状态的阈值。

TipProtect 激活时（即，等待重新启用 PID 控制器时），PLL error² 的阈值。

/DEV…./PIDS/n/TIPPROTECT/INACTIVETIMECONSTANT

属性： 读取、写入、设置
类型： 双（范围：0-100E6）
单位： s

TipProtect 未激活时的时间常数。

TipProtect 未激活时（即，等待禁用 PID 控制器时），对 PLL error² 进行低通滤波的时间常数。

/DEV…./PIDS/n/TIPPROTECT/INACTIVETHRESHOLD

属性： 读取、写入、设置
类型： 双（范围：0-129600）
单位： deg²

未激活状态的阈值。

TipProtect 未激活时（即，等待禁用 PID 控制器时），PLL error² 的阈值。

/DEV…./PIDS/n/DEMOD/ADCSELECT

属性： 读取、写入
类型： 整数型（范围：0-5）
单位： 索引

选择解调器的信号输入索引。

/DEV…./PIDS/n/DEMOD/ORDER

属性： 读取、写入、设置
类型： 整数型（范围：1-8，默认值：4）
单位： 阶数

选择低通滤波器的阶数。

/DEV…./PIDS/n/DEMOD/TIMECONSTANT

属性： 读取、写入、设置
类型： 双（默认值：0.010164）
单位： s

设置低通滤波器的时间常数。

为低通滤波器的每一级设置时间常数。总时间常数和带宽取决于选定的阶数。

/DEV…./PIDS/n/DEMOD/HARMONIC

属性： 读取、写入、设置
类型： 整数型（范围：1-1023，默认值：1）
单位： 谐波

要使用的基准频率的谐波。

选择 1 选择基频。

SIGINS

/DEV…./SIGINS/n/RANGE

属性： 读取、写入、设置
类型： 双（范围：0.0001-2，默认值：1.2）
单位： V

信号输入的电压范围。

/DEV…./SIGINS/n/AC

属性： 读取、写入、设置
类型： 布尔型

信号输入交流耦合的布尔值设置。

/DEV…./SIGINS/n/IMP50

属性： 读取、写入、设置
类型： 布尔型

启用 50 Ohm 输入阻抗终端的布尔值。

/DEV…./SIGINS/n/DIFF

属性： 读取、写入、设置
类型： 布尔型

切换差分输入模式的布尔值。

SIGOUTS

/DEV…./SIGOUTS/n/ON

属性： 读取、写入、设置
类型： 布尔型

切换输出开关状态。

/DEV…./SIGOUTS/n/ADD

属性： 读取、写入、设置
类型： 布尔型

切换输出加法器开关状态。

/DEV…./SIGOUTS/n/RANGE

属性： 读取、写入、设置
类型： 双（默认值：1.00）
单位： V

选择信号输出的输出范围。

/DEV…./SIGOUTS/n/OFFSET

属性： 读取、写入、设置
类型： 双（默认值：0.00）
单位： 增益

添加到信号输出的偏移量。

将此值与范围设置相乘，得到以 V 为单位的偏移电压。

/DEV…./SIGOUTS/n/ENABLES/n

属性： 读取、写入、设置
类型： 整数型

切换混频器中通道开关状态。

/DEV…./SIGOUTS/n/AMPLITUDES/n

属性： 读取、写入、设置
类型： 双
单位： 增益

添加到输出信号的输出范围分数。

将此值与范围设置相乘，得到以 V 为单位的电压。

/DEV…./SIGOUTS/n/WAVEFORMS/n

属性： 读取、写入、设置
类型： 整数型（默认值：0）

混频器通道的波形。

对于硬件版本 1.4 及更低版本，矩阵输出的输出信号范围限制为 1 V。

SCOPES

/DEV…./SCOPES/n/ENABLE

属性： 读取、写入、设置
类型： 布尔型

启用示波器。

/DEV…./SCOPES/n/CHANNEL

属性： 读取、写入、设置
类型： 整数型（范围：0-3，默认值：0）
单位： 索引

选择应为其提供示波器数据的通道。

/DEV…./SCOPES/n/TRIGCHANNEL

属性： 读取、写入、设置
类型： 整数型（范围：-2-11，默认值：-1）
单位： 索引

选择应作为示波器触发源的通道。

/DEV…./SCOPES/n/BWLIMIT

属性： 读取、写入、设置
类型： 布尔型

示波器的带宽限制。

/DEV…./SCOPES/n/TRIGEDGE

属性： 读取、写入、设置
类型： 整数型（默认值：1）

选择示波器是否应在上升沿或下降沿触发。

/DEV…./SCOPES/n/TRIGLEVEL

属性： 读取、写入、设置
类型： 整数型（范围：-32768-32767，默认值：0）
单位： LSB

引发触发器的电平。

满量程由最小值和最大值覆盖。

/DEV…./SCOPES/n/TRIGHOLDOFF

属性： 读取、写入、设置
类型： 双（范围：0-65.535，默认值：0.250）
单位： s

触发一次后等待重新引发触发器的时间。

/DEV…./SCOPES/n/TIME

属性： 读取、写入、设置
类型： 整数型（范围：0-7，默认值：0）

示波器波形的时间尺度（对数抽取）。

决定采样率的抽取。适用以下公式：span = 2^val * 10 us, sample rate = 210 MSamples/2^val

/DEV…./SCOPES/n/WAVE

属性： 读取

示波器波形样本。

DIOS

/DEV…./DIOS/n/EXTCLK

属性： 读取、写入、设置
类型： 布尔型

选择是否应使用外部时钟源。

当此节点设为 1 时，需要将外部时钟应用于 DIO 连接端口。

/DEV…./DIOS/n/DECIMATION

属性： 读取、写入、设置
类型： 整数型（范围：0-65535，默认值：256）

DIO 采样率的抽取。

/DEV…./DIOS/n/DRIVE

属性： 读取、写入、设置
类型： 整数型（范围：0-3，默认值：0）

选择是否应驱动输出。

/DEV…./DIOS/n/OUTPUT

属性： 读取、写入、设置
类型： 整数型（范围：0-65535，默认值：0）

要输出的位数。

/DEV…./DIOS/n/SYNCSELECT0

属性： 读取、写入、设置
类型： 整数型（范围：0-8，默认值：8）

在 0 位上输出同步信号的源。

/DEV…./DIOS/n/SYNCSELECT1

属性： 读取、写入、设置
类型： 整数型（范围：0-8，默认值：8）

在 1 位上输出同步信号的源。

/DEV…./DIOS/n/INPUT

属性： 读取

输入的样本。

AUXINS

/DEV…./AUXINS/n/AVERAGING

属性： 读取、写入、设置
类型： 整数型（范围：1-32768，默认值：256）

样本的平均值。

/DEV…./AUXINS/n/SAMPLE

属性： 读取

辅助输入样本。

/DEV…./AUXINS/n/VALUES/0

属性： 读取
单位： V

输入 0 值。

/DEV…./AUXINS/n/VALUES/1

属性： 读取
单位： V

输入 1 值。

AUXOUTS

/DEV…./AUXOUTS/n/VALUE

属性： 读取
单位： V

输出值。

/DEV…./AUXOUTS/n/OUTPUTSELECT

属性： 读取、写入、设置
类型： 整数型

要发出的信号。

/DEV…./AUXOUTS/n/DEMODSELECT

属性： 读取、写入、设置
类型： 整数型（默认值：0）
单位： 索引

源解调器。

/DEV…./AUXOUTS/n/SCALE

属性： 读取、写入、设置
类型： 双

所发出信号的缩放比例。

/DEV…./AUXOUTS/n/OFFSET

属性： 读取、写入、设置
类型： 双（范围：-2560-2560，默认值：0）
单位： V

要添加到输出的值。

缩放后应用偏移值。

CPUS

/DEV…./CPUS/n/WORKLOAD

属性： 读取

处理器时间的用法。

/DEV…./CPUS/n/PROGRAM

属性： 写入
类型： 字节数组

用于写入用户程序的节点。

/DEV…./CPUS/n/OUTPUT

包含由实时程序写入的标准输出流的节点。

/DEV…./CPUS/n/USERREGS/n

属性： 读取、写入、设置
类型： 整数型

通用寄存器。

ZCTRLS

/DEV…./ZCTRLS/n/CAMP/AVAILABLE

属性： 读取
类型： 布尔型

当 HF2CA 连接至相应的 ZCtrl 端口时为 1。

/DEV…./ZCTRLS/n/CAMP/R

属性： 读取、写入、设置
类型： 整数型（默认值：0）
单位： Ohm

选择分流电阻的值。

/DEV…./ZCTRLS/n/CAMP/GAIN

属性： 读取、写入、设置
类型： 整数型（默认值：1）
单位： 增益

在增益系数 1 和 10 之间切换。

/DEV…./ZCTRLS/n/CAMP/DC

属性： 读取、写入、设置
类型： 布尔型

在交流耦合和直流耦合之间切换。

/DEV…./ZCTRLS/n/CAMP/SINGLEENDED

属性： 读取、写入、设置
类型： 布尔型

在差分和单端输入之间切换。

/DEV…./ZCTRLS/n/TAMP/AVAILABLE

属性： 读取
类型： 布尔型

当 HF2TA 连接至相应的 ZCtrl 端口时为 1。

/DEV…./ZCTRLS/n/TAMP/BIASOUT

属性： 读取、写入、设置
类型： 双（默认值：0）
单位： V

在内部和外部偏置之间切换。

/DEV…./ZCTRLS/n/TAMP/EXTBIAS

属性： 读取、写入、设置
类型： 布尔型

切换外部偏置。

/DEV…./ZCTRLS/n/TAMP/n/CURRENTGAIN

属性： 读取、写入、设置
类型： 整数型（默认值：1000）
单位： 增益

选择电流增益的值。

/DEV…./ZCTRLS/n/TAMP/n/DC

属性： 读取、写入、设置
类型： 布尔型

在交流和直流模式之间切换。

/DEV…./ZCTRLS/n/TAMP/n/VOLTAGEGAIN

属性： 读取、写入、设置
类型： 整数型（默认值：1）
单位： 增益

选择电压增益的值。

/DEV…./ZCTRLS/n/TAMP/n/OFFSET

属性： 读取、写入、设置
类型： 双（默认值：0）
单位： V

调节偏移值。

6.2.2. ZI（LabOne 数据服务器节点）

/ZI/ABOUT/VERSION

属性： 读取

此程序的版本。

/ZI/ABOUT/REVISION

属性： 读取

此程序的修订版。

/ZI/ABOUT/COMMIT

属性： 读取

此程序的 commit hash 值。

/ZI/ABOUT/FWREVISION

属性： 读取

所用固件的修订版。

/ZI/ABOUT/COPYRIGHT

属性： 读取

此程序受版权保护的字符串。

/ZI/ABOUT/DATASERVER

属性： 读取

此数据服务器的名称标识符。

/ZI/CONFIG/PORT

属性： 读取、写入
类型： 整数型（范围：1024-65535，默认值：8005）

配置 ziServer 监听的 TCP/IP 端口。

/ZI/CONFIG/OPEN

属性： 读取、写入
类型： 布尔型

配置 ziServer 是否应该为来自本地主机之外的连接打开。

/ZI/TREES

有关节点树更改的消息。

每当设备连接或断开连接或其节点树发生更改时，此节点都会发出一条消息。

/ZI/MDS/GROUPS/n/DEVICES

属性： 读取、写入
类型： 字节数组

此组内的设备。

/ZI/MDS/GROUPS/n/STATUS

属性： 读取、写入
类型： 整数型（默认值：0）

此组内的同步状态。

/ZI/MDS/GROUPS/n/LOCKED

属性： 读取、写入
类型： 布尔型（默认值：错误）

已锁定组。

/ZI/MDS/GROUPS/n/KEEPALIVE

属性： 写入
类型： 布尔型（默认值：错误）

获取对此组的锁定。

/ZI/CLOCKBASE

属性： 读取

提供服务器节点的时基值。

第 7 章实时选件

实时选件提供在 HF2LI 仪器的 RISC 微处理器上执行用 C 编程语言编写的程序的能力，具备可预测的延迟并带来广阔的编程环境。

本章内容包括：

- 第 7.1 节所述的实时编程环境的安装。有关在 Windows 系统和 Linux 系统上的安装过程，请分别参见第 7.1.1 节和第 7.1.2 节。第 7.1.3 节对在何处找到 HTML 格式的文档进行说明。

注释

RT 编程仅在购买和激活 HF2LI-RT / HF2IS-RT 选件后方可使用。此选件不可从瑞士苏黎世仪器公司复购。

注释

LabOne 用户界面没有用于配置和使用实时选件的选项卡。请借助 ziControl 图形用户界面来使用实时选件，并参见 HF2LI 用户手册 ziControl 版本以获取更多详情。

注释

实时选件编程参考指南也以 HTML 形式提供。HTML 文档连同实时安装压缩文件可从瑞士苏黎世仪器公司官网下载页面下载。

7.1. 实时开发环境的安装

在本节中，我们将介绍 HF2LI 实时开发环境的安装过程，Windows 系统请参见第 7.1.1 节，Linux 系统请参见第 7.1.2 节。实时开发环境相关文件可从瑞士苏黎世仪器公司官网下载页面下载。

注释

RT 开发环境不包括特殊编辑器。请使用您选择的编辑器，例如：

- 适用于 Windows 系统的 notepad++ 或 PSPad，
- 适用于 Linux 系统的 emacs、vim 等。

7.1.1. 在 Windows 系统上安装

软件要求

为在 Windows 系统上使用编译工具，RT 开发环境要求一个提供类似 Linux 系统环境的 32 位版本的 Cygwin。Cygwin 是一款免费的开源软件，更多详情请参见 Cygwin 网站。唯一必需的 Cygwin 软件包是 make 软件包。此外，Cygwin 的安装详见下文。

注释

即使您的 PC 本身是 64 位，也需要 32 位版本的 Cygwin 才能运行随 RT 开发环境分发的编译器工具。

安装步骤

1. 下载 32 位版本的 Cygwin，并运行 Setup 可执行文件。

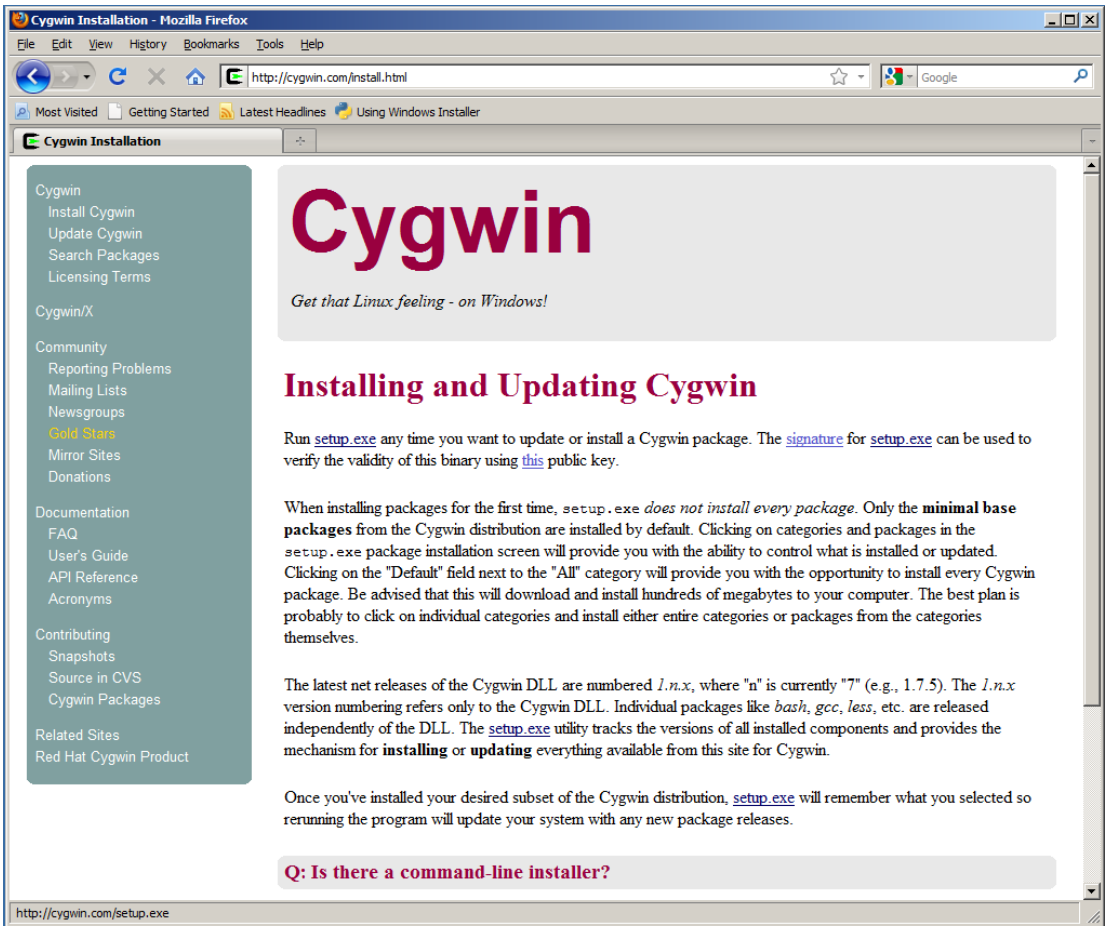


图 7.1. Cygwin 网站的安装链接

2. 完成安装并尽可能使用默认安装设置。除默认安装外，还有一个必须安装的强制性开发包。这个包叫做 **make**。在安装结束时选择此包。选择 **devel**，然后找到 **make** 包并选择以进行安装（请参见以下屏幕截图）。

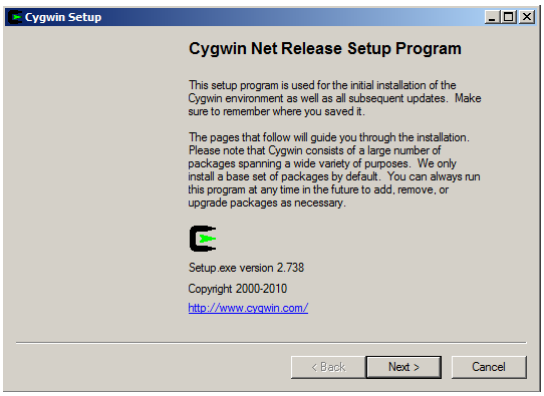


图 7.2. Cygwin 安装

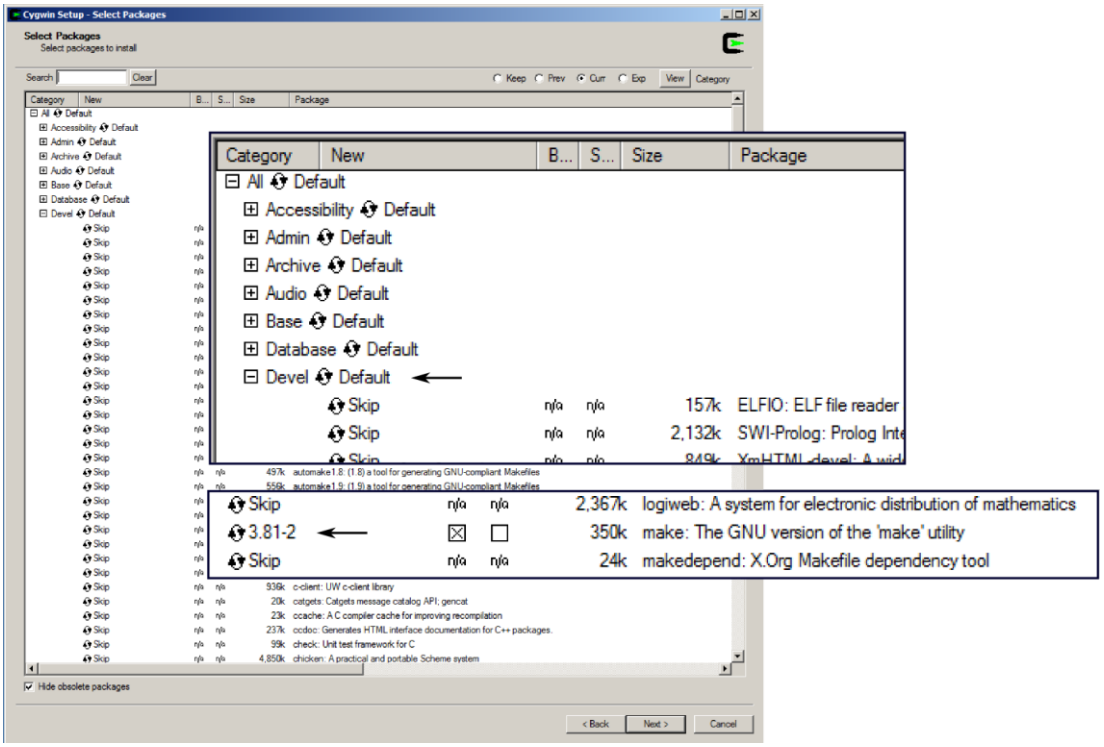


图 7.3. Cygwin 包选择：选择 make 包

3. 完成 Cygwin 安装后，下载 ziRTK 软件包并将其解压到 Cygwin 主文件夹中。

   主文件夹位于：**[Cygwin installation path]\home**

   默认路径为：**C:\cygwin\home**

4. 现在，通过导航至 Cygwin 开始菜单条目或者点击桌面图标来打开 Cygwin shell。

5. 导航进入提取的目录。安装脚本称为“install.sh”。

   cd ziRTK-Win-[VERSION]

6. 运行安装脚本并根据引导完成安装。

   bash install.sh

   您也可以授予安装脚本可执行文件权限并直接运行脚本。如有可能，请使用默认安装路径。

注释

您无需在 Cygwin 内部编辑代码，因其仅用于编译和加载您的实时程序至 HF2LI 仪器上。

7.1.2. 在 Linux 系统上安装

软件要求

官方仅支持 Ubuntu 10.04 LTS，但在任何最新发布的 Linux 系统上应该也可以运行此类工具。编译示例需要程序 GNU make。由于 RT 工具是以 32 位架构编译的，因此为了在 64 位架构上执行

32 位程序，您需要在 64 位架构上安装包 **ia32_libs**。在基于 Debian 的系统上，以上两种包均可安装：

sudo apt-get install ia32_libs make

安装步骤

1. 开始安装 ziRTK 前，确认已安装开发包“make”。

   sudo apt-get install make

2. 将 ziRTK 包提取到一个临时目录中。

   tar xzf ziRTK-[build number]-linux.tar.gz

3. 导航进入提取的目录。安装脚本称为“install.sh”。

   cd ziRTK-Linux-[VERSION]

4. 以 root 权限运行安装脚本并根据引导完成安装。

   sudo bash install.sh

   您也可以授予安装脚本可执行文件权限并直接运行脚本。如有可能，请使用默认安装路径。

7.1.3. 访问文档

瑞士苏黎世仪器公司的开发人员极力推荐您浏览剩余示例和 HTML 格式的参考文档，其中复制了用户手册的以下部分。您可以在以下位置找到文档的 HTML 版本

[INSTALLPATH]/ziRTK/doc/html/index.html，
通常位于

Windows 系统上的

C:\cygwin\usr\share\zi\ziRTK-XX.XX\doc\html\index.html

或者 Linux 系统上的

/opt/zi/ziRTK/doc/html/index.html。

第 8 章规格

重要事项

除非另有说明，否则所有规格均仅适用于预热 30 分钟后的仪器。

重要事项

规格参数的重要变更已明确列于本文档的修订历史中。

8.1. 一般规格

表 8.1. 一般规格和储存条件

参数	最小值	典型值	最大值
储存温度	–25 °C	–	65 °C
储存相对湿度（非凝结状态）	–	–	95%
工作温度	5 °C	–	40 °C
工作相对湿度（非凝结状态）	–	–	90%
建议温度	18 °C	–	28 °C
功耗	–	–	60 W
工作环境	IEC61010，室内位置，安装类别 II，污染等级 2		
工作海拔	最高 2000 米		
电源 AC 线路	110–120/220–240 V，50/60 Hz		
日本电源	根据规格要求，需外置 100 V 到 110 V 的变压器 (50/60 Hz) 才能正常运行		
包含把手与底座的尺寸	45 x 34 x 10 cm，17.7 x 13.6 x 4.0 英寸，可兼容 19 英寸机架		
重量	6.2 kg		
建议校准间隔	2 年		

表 8.2. 最大额定值

参数	最小值	典型值	最大值
HF 输入的损坏阈值（输入 1、输入 2）	–5 V	–	5 V
HF 输出的损坏阈值（输出 1、输出 2）	–12 V	–	12 V
添加输入的损坏阈值（添加 1、添加 2）	–12 V	–	12 V
同步输出的损坏阈值（同步 1、同步 2）	–12 V	–	12 V
辅助输出的损坏阈值	–12 V	–	12 V
辅助输入的损坏阈值	–12 V	–	12 V
数字 I/O 的损坏阈值（包括 DIO 0 和 DIO 1 BNC 连接器）	0 V	–	5 V
时钟输入的损坏阈值	0 V	–	5 V

表 8.3. 主系统要求

参数	说明
支持的 Windows 操作系统	Windows 10、8.1、7，采用 x86-64 架构
支持的 macOS 操作系统	macOS 10.11 及以上版本，采用 x86-64 和 ARMv8 架构
支持的 Linux 发行版本	GNU/Linux（Ubuntu 14.04 及以上版本、CentOS 7 及以上版本、Debian 8 及以上版本），采用 x86-64 和 ARMv8 架构
最低处理器要求	AMD K8 (Athlon 64)、Intel Pentium 4
最低内存要求	推荐 1 GB RAM、2 GB
支持的处理器清单	采用 x86-64 架构（Intel、AMD）、ARMv8 架构（例如 Raspberry Pi 4、Apple M1）

表 8.4. 最大样本读取速率

活跃的解调器	最大样本读取速率	备注
1 个	460 kSamples/s	为达到最高速率，建议移除所有其他加载 USB 的数据传输。当使用高读取速率设置时，建议时常检查样本丢失标志（位于状态选项卡内）。
2 - 3	230 kSamples/s	
4 - 6	115 kSamples/s	
7 - 8	57 kSamples/s	

注释

样本读取速率即解调样本从仪器到主机的传输速率。该速率需按相关解调器的至少 2 倍信号带宽设置，以满足 Nyquist 采样定理的要求。由于总速率受 USB 接口限制，当活跃的解调器数量增加时，最大速率会变小。上表对 HF2LI / HF2LIPLL（6 个解调器）和 HF2IS（8 个解调器）的情况进行了总结。要达到这些速率，需要一台新款且性能良好的主机。

8.2. 模拟接口规格

表 8.5.HF 信号输入

参数	最小值	典型值	最大值
连接端口	前面板单端/差分 BNC		
输入阻抗（低值）	–	50 Ω	–
输入阻抗（高值）	500 kΩ	1 MΩ	–
输入频率范围	0.7 μHz	–	50 MHz
输入 A/D 转换	14 位，210 MSamples/s		
输入噪声幅值（> 10 kHz，AC 耦合，50 Ω 和 1 MΩ），详情请参见图 8.5	–	5 nV/√Hz	–
输入幅值精度 (5 MHz)，详情请参见图 8.10	–	–	5%
输入幅值精度 (10 MHz)，详情请参见图 8.10	–	–	10%
输入幅值稳定性	–	–	0.2%/°C
输入 DC 偏移量（<1 V 输入范围）	–	–	20 mV
输入 DC 偏移量（>1 V 输入范围）	–	–	2%
输入偏置电流 - 注：偏置电流会导致输入抗阻高的 DC 偏移电压。	–	100 nA	6 μA
输入范围设置	1 mV	–	1.5 V
满量程输入灵敏度（10 V 锁相放大器输出）	1 nV	–	1.5 V
带 AC 耦合的输入范围 (AC)	–0.6 V	–	0.6 V
带 DC 耦合的输入范围 (AC)	–1.5 V	–	1.5 V
输入范围（共模）	–3.0 V	–	3.0 V
输入范围（AC + 共模）	–3.3 V	–	3.3 V
动态储备	–	100 dB	120 dB
共模抑制 (CMRR)，详情请参见图 8.9	–	75 dB	–
AC 耦合截止频率	–	1 kHz	-

表 8.6. 参考

参数	最小值	典型值	最大值
内部参考频率范围内部参考	0.7 μHz	–	100 MHz
内部参考频率分辨率	0.7 μHz	–	–
内部参考相位范围	–180 °	–	180 °

参数	最小值	典型值	最大值
内部参考相位分辨率	0.1 μ°	–	–
内部参考采集时间（锁定时间）	瞬时		
外部参考正交性	–	0 °	–
输入 2/Ref 处的外部参考、信号类型	任意、在上升沿激活		
输入 2/Ref 处的外部参考、频率范围外部参考	1 Hz	–	50 MHz
在输入 2/Ref 处的外部参考、幅值 - 注：对于低幅值输入信号，应将增益设置为全幅值范围以实现最优性能	100 mV	–	1 V
在输入 2/Ref 处的外部参考、幅值（使用 HF2LI-PLL 选件）- 注：对于低幅值输入信号，应将增益设置为全幅值范围以实现最优性能	10 mV	–	1 V
在输入 2/Ref 处的外部参考、参考采集时间（锁定时间）	–	–	100 个参考周期或者 1.2 ms，取较大者
DIO0/DIO1 处的外部参考、信号类型	数字 TTL 与接地		
DIO0/DIO1 处的外部参考、频率范围	1 Hz	–	2 MHz
DIO0/DIO1 处的外部参考、高电平	2.0 V	–	5 V
DIO0/DIO1 处的外部参考、低电平	0 V	–	0.8 V
DIO0/DIO1 处的外部参考、参考采集时间（锁定时间）	–	–	100 个参考周期或者 1.2 ms，取较大者
AUXIN1/AUXIN2 处的外部参考、信号类型	正弦或矩形		
AUXIN1/AUXIN2 处的外部参考、频率范围	1 Hz	–	20 kHz
AUXIN1/AUXIN2 处的外部参考、幅值	0.5 V	–	1 V
AUXIN1/AUXIN2 处的外部参考、参考采集时间（锁定时间）	–	–	100 个参考周期
Input 1/Input 2 处的自动参考、信号类型	过零 AC 信号、AC 输入设置		
Input 1/Input 2 处的自动参考、频率范围	1 Hz	–	50 MHz
Input 1/Input 2 处的自动参考、参考采集时间（锁定时间）	–	–	100 个参考周期或者 1.2 ms，取较大者

表 8.7. 解调器

参数	说明
解调器数量	HF2IS：4 个双相解调器、8 个配置有多频套件的双相解调器
	HF2LI：6 个
	HF2LIPLL:6 个
解调器谐波设置范围	1 至 1023
解调器滤波器时间常数	0.8 µs 至 580 s
解调器滤波器斜率/滚降	6、12、18、24、30、36、42、48 dB/oct，由多达 8 个级联的临界阻尼滤波器组成
解调器输出分辨率	X、Y、R、THETA，64 位分辨率
解调器输出速率（读取速率），详细规格请参考表 8.4	通过 Aux 输出：921 kSamples/s
	通过 USB 到主机：最大累积 700 kSamples/s
解调器测量带宽	80 µHz 至 200 kHz
解调器谐波抑制	最大为 –90 dB
解调器 sinc 滤波器工作频率范围	0.1 Hz 至 10 kHz

表 8.8. HF 信号输出

参数	最小值	典型值	最大值
连接端口	前面板单端 BNC		
输出阻抗（输出与同步）	50 Ω		
输入阻抗（添加）	1 MΩ		
输出频率范围	DC	–	50 MHz
幅值为 10 V 的输出频率范围，另请参见图 8.11	DC	–	5 MHz
输出 D/A 转换	16 位，210 MSamples/s		
输出幅值范围（适用于高幅值和高频率的限制条件，参见图 8.11）	±10 mV，±100 mV，±1 V，±10 V		
输出最大电流	–	–	100 mA
在 3 MHz、小于 5 V 条件下的输出幅值精度（适用于高幅值和高频率的限制条件，参见图 8.11）	–	–	1%
输出总谐波失真 THD（1 V，< 10 MHz），参见图 8.12	–50 dB	–	–

参数	最小值	典型值	最大值
输出总谐波失真 THD（0.1 V，< 10 MHz），参见图 8.12	–60 dB	–	–
输出噪声幅值（频率 > 10 kHz），50 Ω 终端	–	25 nV/√Hz	–
在 10 MHz、BW = 0.67 Hz、偏移量为 100 Hz 条件下的输出相位噪声	–100 dBc/Hz	–	–
在 10 MHz、BW = 0.67 Hz、偏移量为 1 kHz 条件下的输出相位噪声	–120 dBc/Hz	–	–
输出偏移幅值（范围设置 < 1 V）	–	–	10 mV
输出偏移幅值（范围设置 > 1 V）	–	–	200 mV
输入加法信号范围	–10 V	–	+10 V
输入加法信号带宽	DC	–	50 MHz
输出同步信号范围（有效范围 = ±1 * set_amplitude / set_range）	–1 V	–	1 V
输出同步信号分辨率	–	30 µV	–

表 8.9. 辅助输入和输出

参数	说明
辅助输出连接端口	前面板单端 BNC
辅助输出阻抗	50 Ω
辅助输出数量和信号类型	4 个，幅值、相位、频率、X/Y、手动
辅助输出规格	± 10 V，200 kHz，16 位，921 kSamples/s
辅助输出分辨率	0.3 mV
辅助输入连接端口	后面板单端 BNC
辅助输入阻抗	1 MΩ
辅助输入数量	2 个
辅助输入规格	± 10 V，100 kHz[4]，16 位，400 kSamples/s
辅助输入分辨率	0.3 mV
群延迟（从 HF 输入到辅助输出的滞后时间）	7 µs（典型值），10 µs（最大值）

表 8.10. 振荡器与时钟

参数	最小值	典型值	最大值
内部振荡器频率	–	10 MHz	–
内部振荡器输出（正弦）	–1 V	–	+1 V
内部振荡器初始精度（序列号 HF2LI-DEV1141 及以下）[1]	–	–	±30 ppm
内部振荡器老化度（稳定性，序列号 HF2LI-DEV1141 及以下）[1]	–	–	±5 ppm/年
内部振荡器温度稳定性（23°C ± 5°C，序列号 HF2LI-DEV1141 及以下）[1]	–	–	±30 ppm
内部振荡器初始精度（序列号 HF2LI-DEV1142 及以上）[2]	–	–	±1.5 ppm
内部振荡器温度稳定性（23°C ± 5°C，序列号 HF2LI-DEV1142 及以上）[2]	–	–	0.05 ppm/C
内部振荡器相位噪声 (100 Hz)	–	–125 dBc/Hz	–
内部振荡器相位噪声 (1 kHz)	–	–140 dBc/Hz	–
UHS（选件）振荡器初始精度[3]	–	–	±0.5 ppm
UHS（选件）振荡器老化度（稳定性）[3]	–	–	±0.4 ppm/年
UHS（选件）振荡器温度稳定性 (23°C ± 5°C)[3]	–	–	±0.03 ppm
UHS（选件）振荡器相位噪声 (100 Hz)[3]	–130 dBc/Hz	–	–
UHS（选件）振荡器相位噪声 (1 kHz)[3]	–140 dBc/Hz	–	–
UHS（选件）振荡器参考稳定性（30 s 内）[3]	0.00005 ppm	–	–
UHS（选件）振荡器达到规格所需时间[3]	–	–	60 s
外部时钟连接端口	后面板单端 BNC		
外部时钟输入阻抗	1 MΩ		
外部时钟输入电压	0 V	–	+3.3 V
外部时钟频率	9.98 MHz	10 MHz	10.02 MHz

8.3. 数字接口规格

表 8.11. 数字接口

参数	说明
主机连接	USB 2.0 高速，480 Mbit/s
ZCtrl 前置放大器控制总线	用于控制外部前置放大器的专有总线
ZSync 同步总线	用于本地互连 ZI 仪器的专有总线
DIO 连接端口	32 位，一般用途

DIO 连接端口是一款 HD 68 引脚连接端口，通常也用于 SCSI-2 和 SCSI-3 接口，宽度为 47 mm 的公连接器。16 位 DIO 端口可按字节配置作为输入或输出，也可仅按 16 位输入。数字信号遵循 CMOS/TTL 规格。

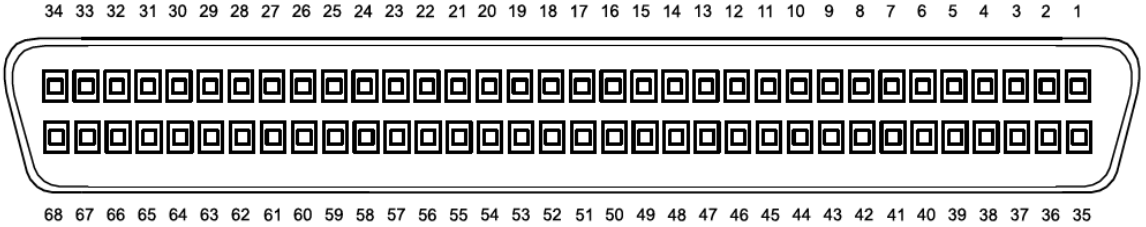


图 8.1. DIO HD 68 引脚连接端口

表 8.12. DIO 引脚分配

引脚	名称	说明	范围规格
68	CLKI	时钟输入，用于锁存数字输入端口的信号，也可以使用外部采样时钟从输出端口检索数字信号	5 V CMOS/TTL
67	DOL	DIO 输出锁存，64 MHz 时钟信号，数字输出同步到此信号的下降沿	5 V CMOS
66–51	DI[31:16]	数字输入	数字输入 CMOS/TTL 电平
50–35	DIO[15:0]	数字输入或输出（由用户设定）	输出为 CMOS 5 V，输入为 CMOS/TTL
34–3	GND	数字接地	–
2–1	PWR	5 V 电源（最大为 100 mA）	–

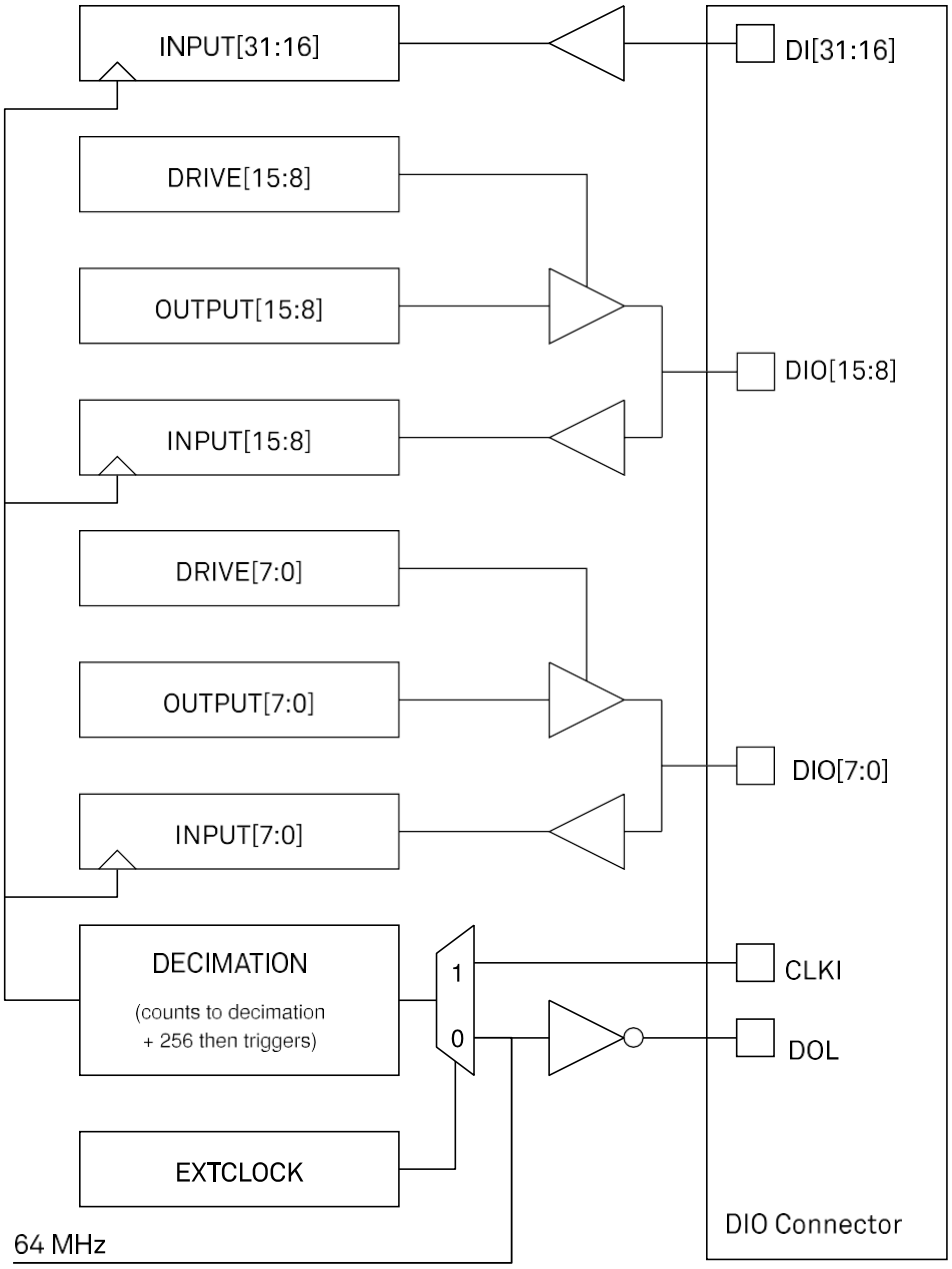


图 8.2. DIO 输入/输出架构

通过 HF2LI 数字 I/O 分接板，可便捷访问 DIO 连接端口的所有引脚。该板由 68 引脚接头和一个 68 引脚母插座组成，可使用带状电缆连接至 HF2LI。有关引脚的说明，请参考表 8.12。瑞士苏黎世仪器可按需提供 HF2LI DIO 分接板。

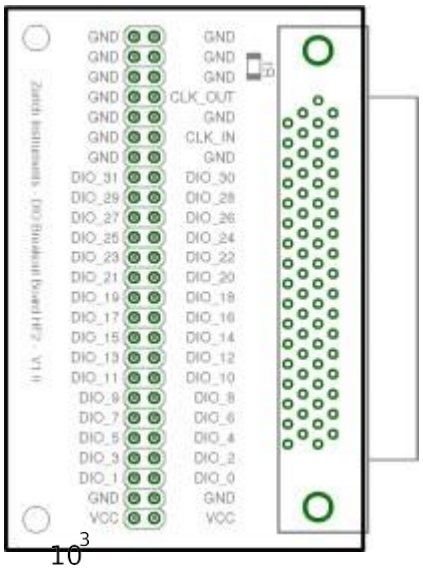


图 8.3. HF2LI 数字 I/O 分接板

内部生成的 10 MHz 时钟可在 ZSync Out RJ45 连接端口用于外部同步。时钟信号位于引脚 1，在引脚 2 处接地。连接：只需准备一个电缆组件，即可将 HF2LI 的 10 MHz 信号连接至其他设备外部时钟的 BNC 输入。

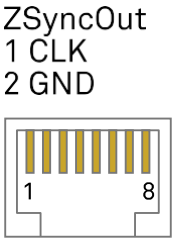


图 8.4. RJ45 插孔的引出线

8.4. 性能图

第 8.2 节提到的许多参数始终有效，而无需特定条件。然而，其他一些参数因其取决于多个参数而成为典型规格参数，例如范围设置和频率。本节通过详细的性能图来补充说明前面的章节，以支持应用程序的验证。

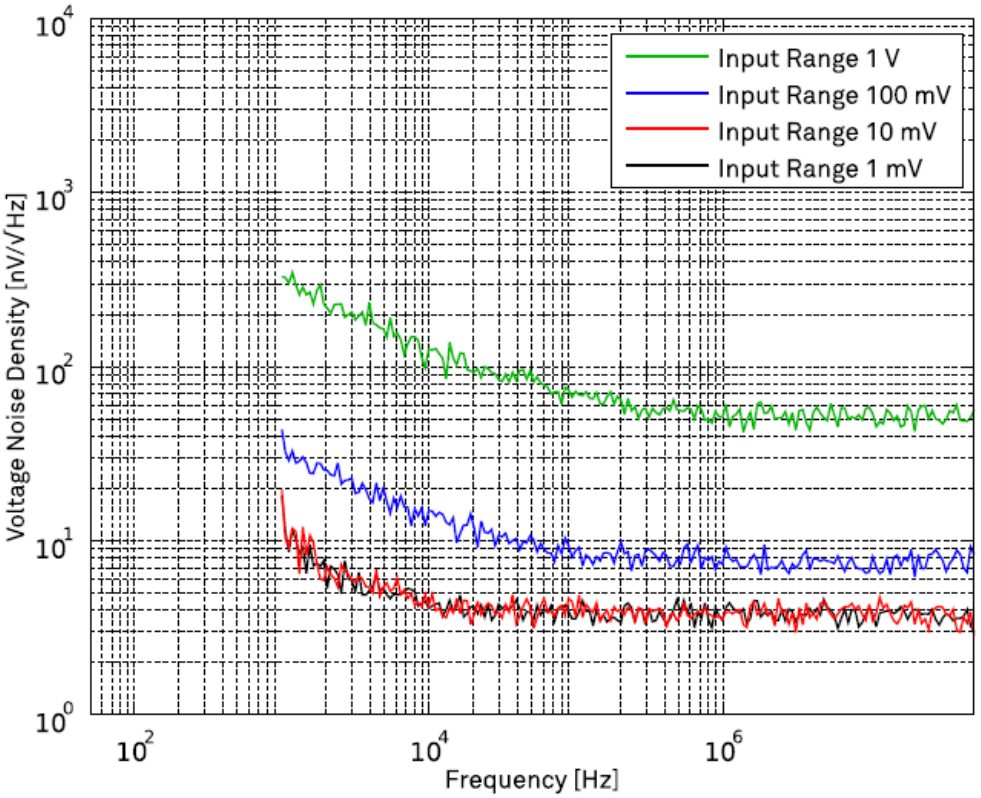


图 8.5. 具有 AC 耦合的 HF 输入噪声

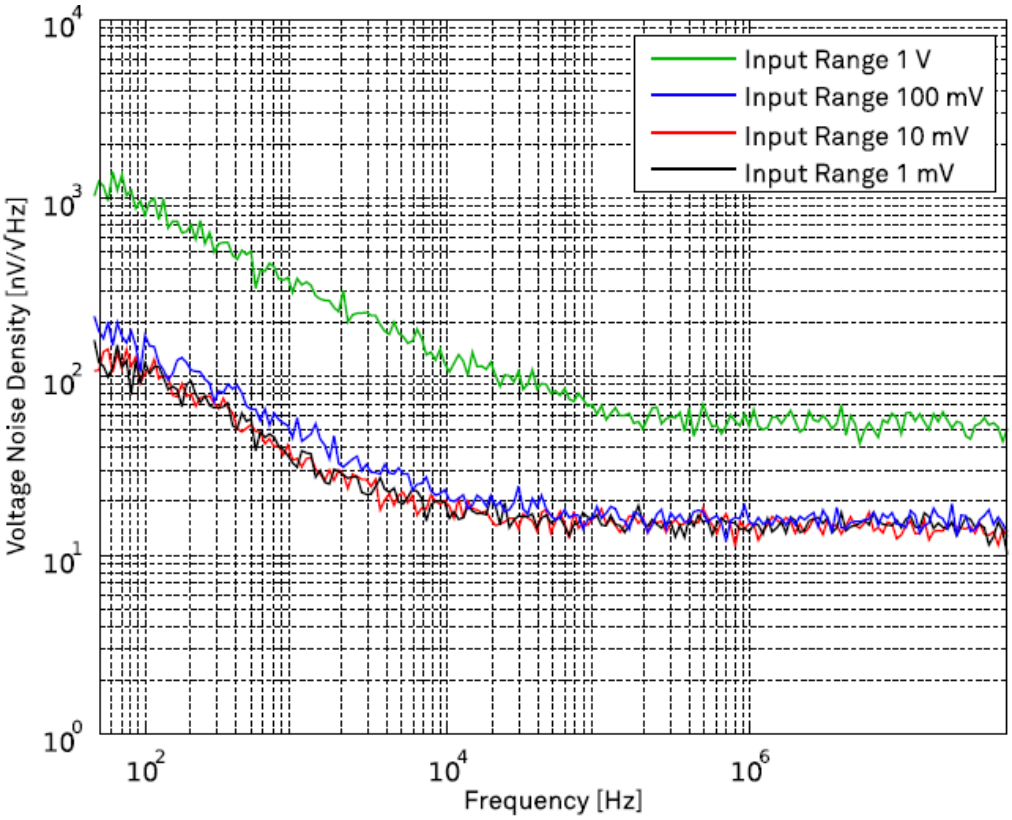


图 8.6. 具有 DC 耦合的 HF 输入噪声

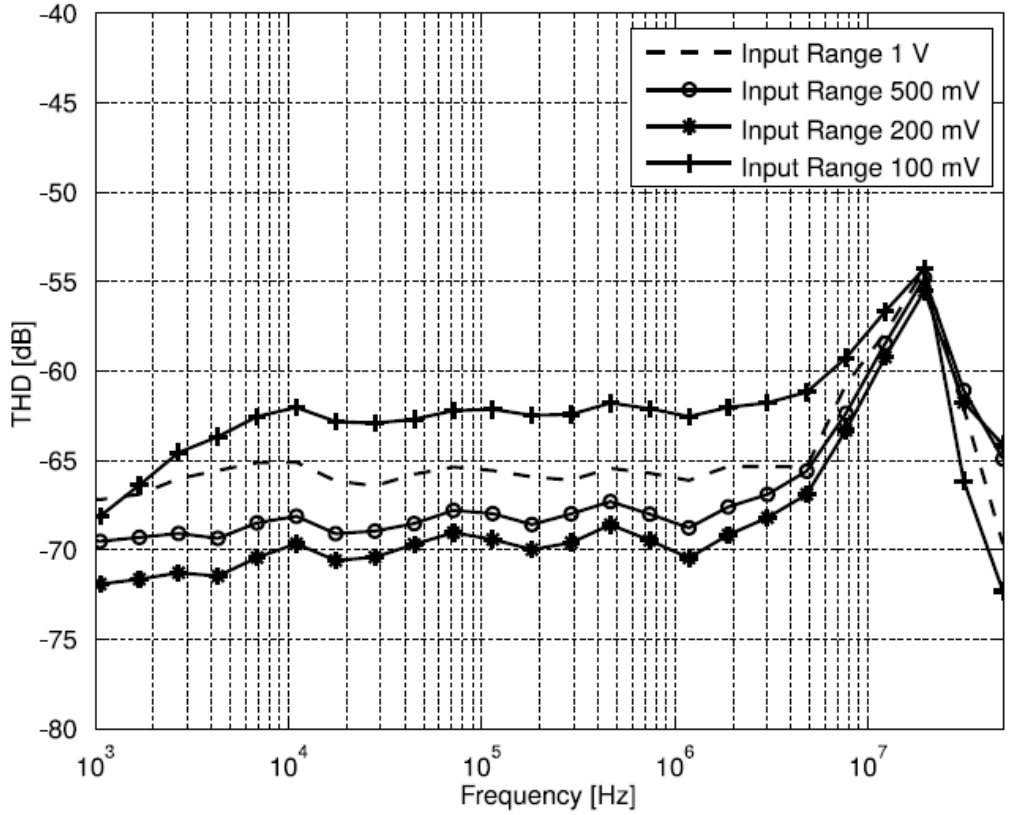


图 8.7. 具有 AC 耦合的 HF 输入总谐波失真

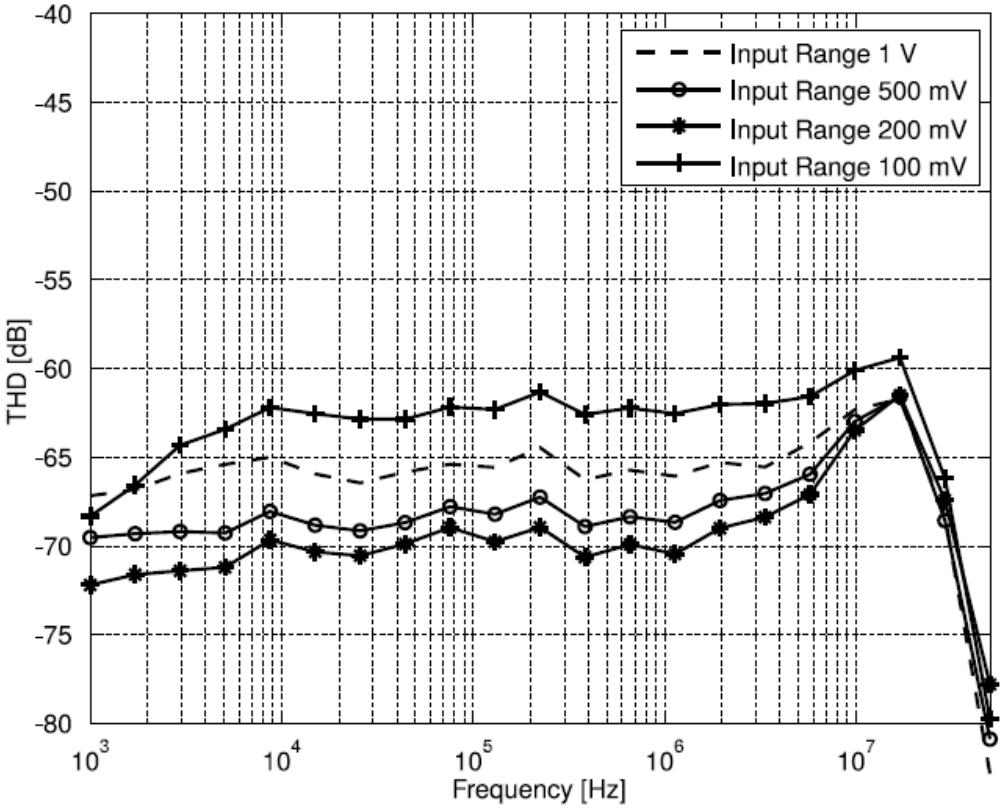


图 8.8. 具有 DC 耦合的 HF 输入总谐波失真

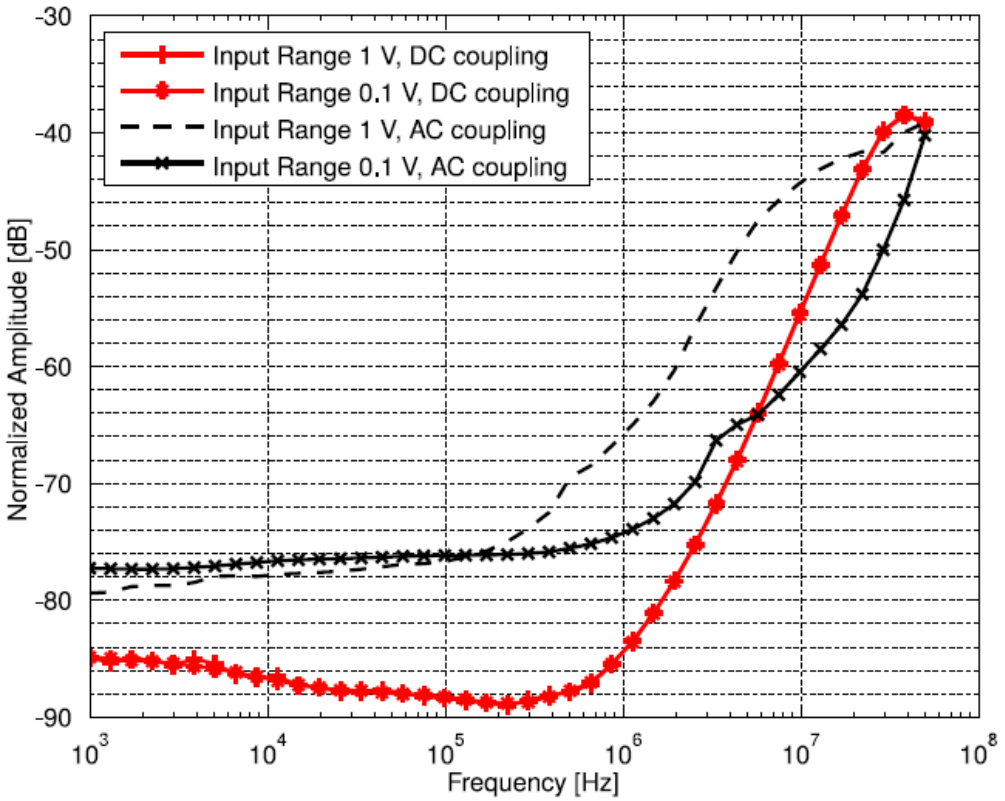


图 8.9. HF 输入共模抑制比率

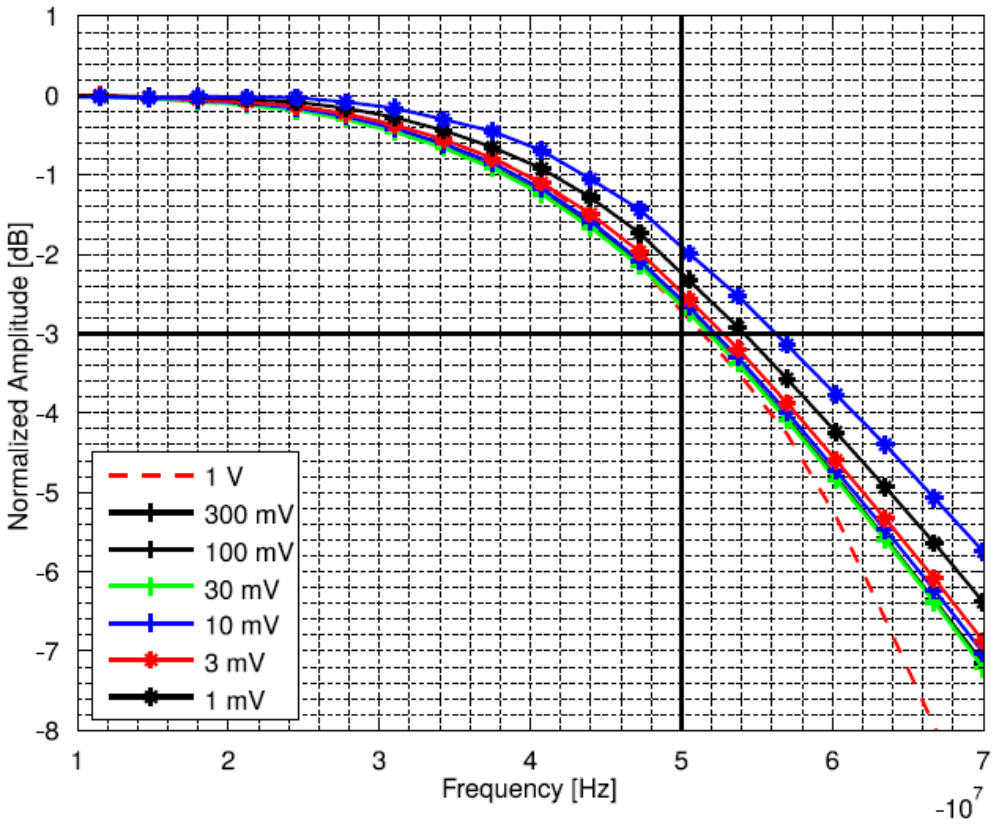


图 8.10. HF 输入带宽

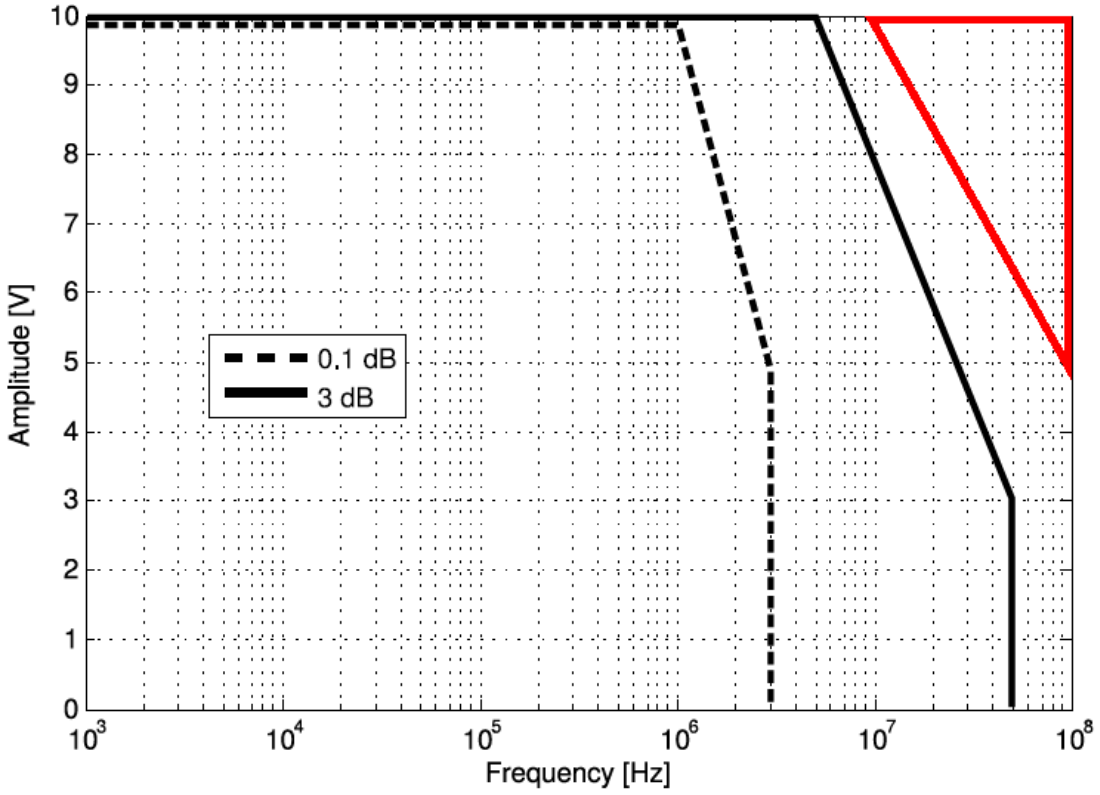


图 8.11. HF 输出幅值精度

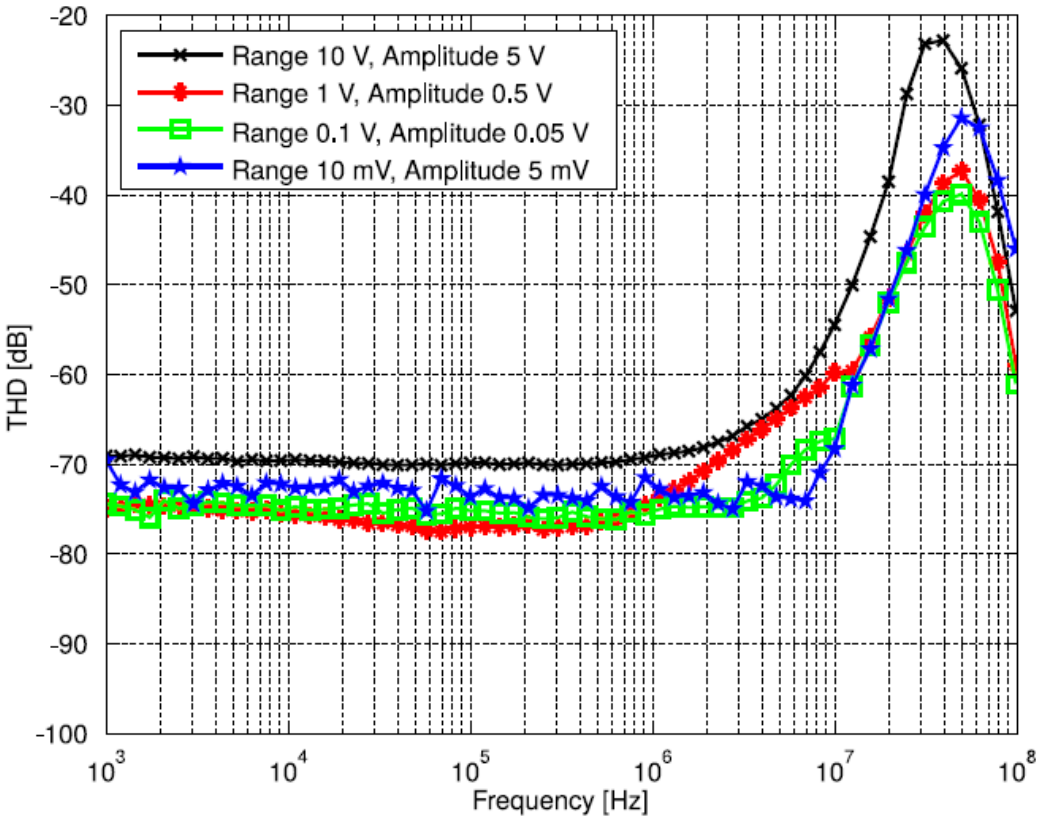


图 8.12. HF 输出总谐波失真

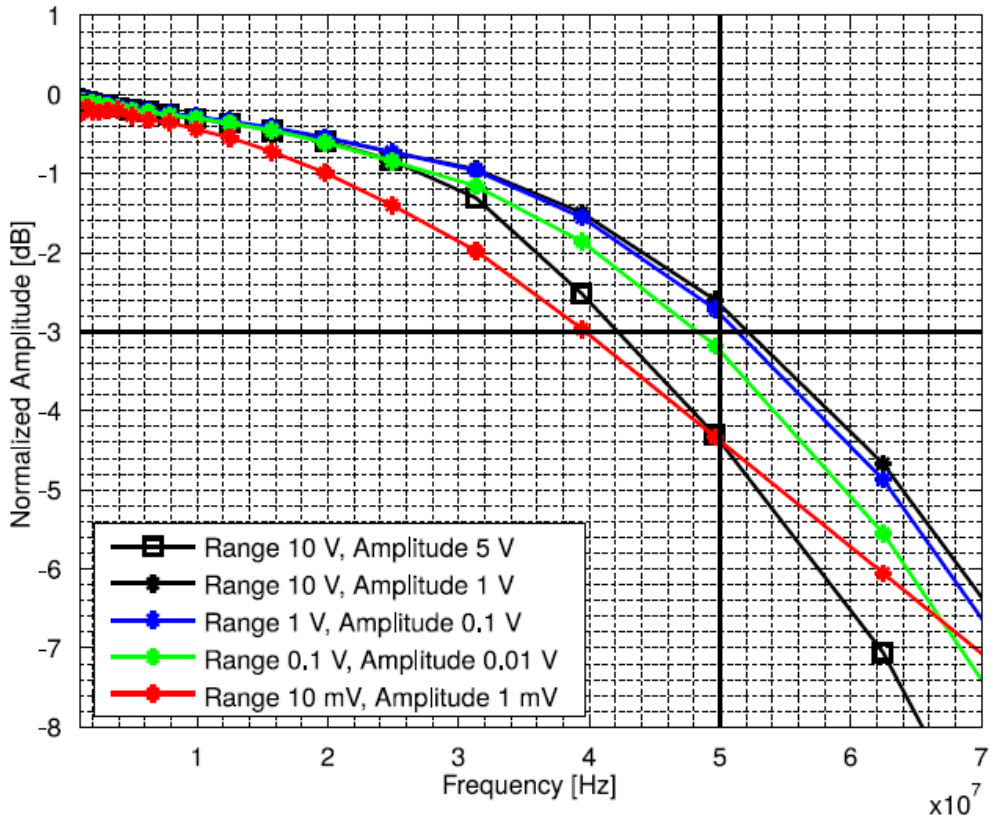


图 8.13. HF 输出带宽

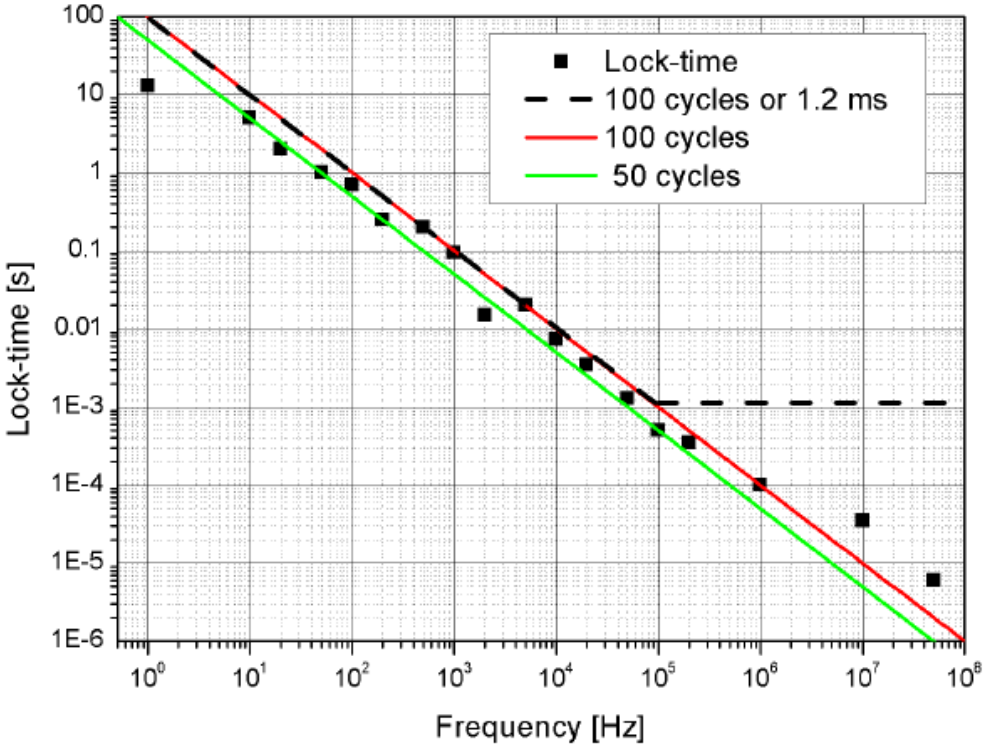


图 8.14. 锁定时间

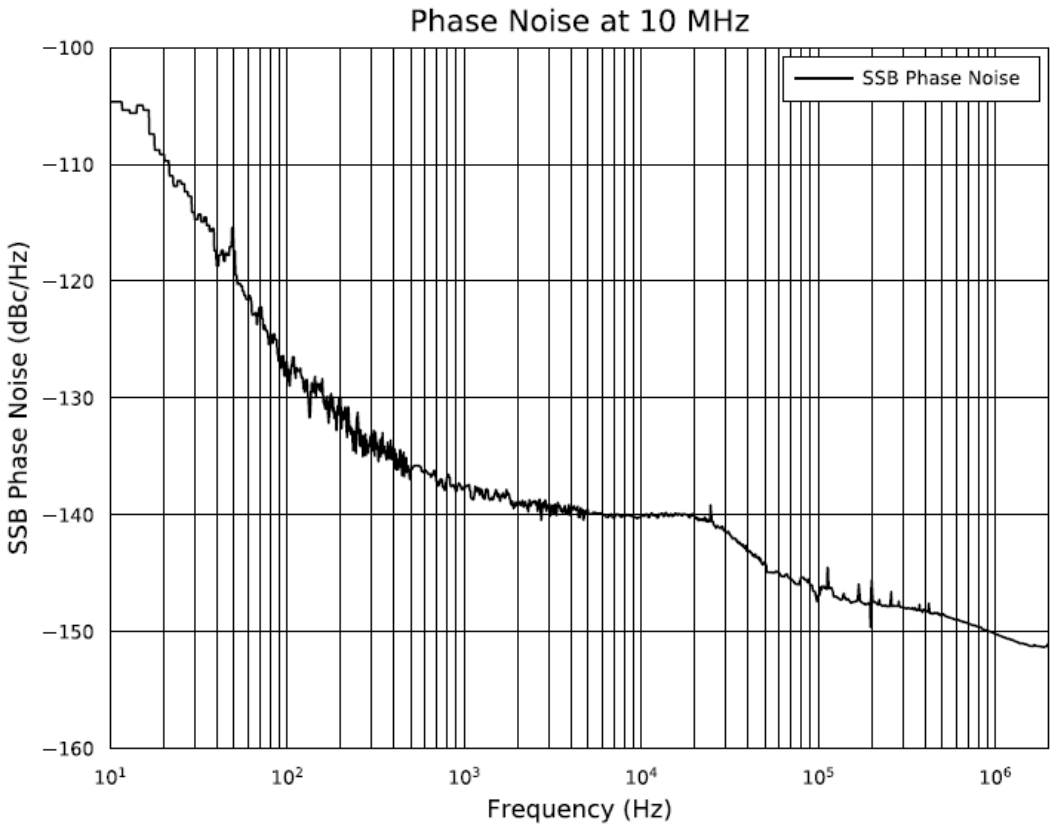


图 8.15. HF2LI 信号输出相位噪声

8.5. 接地与接大地方案

接地回路可在线路频率（主要为 50/60 Hz）及其谐波中引入噪声，并在解调信号（可测量频率高达 10 MHz）中引入混叠。一些锁相放大器可作为线路滤波器使用，具有排除低频测量的效果。对于实施有效接地策略的 HF2LI 仪器而言，情况并非如此。

为抑制线路频率和高次谐波的大信号分量，需要在测量装置中避免接地回路。对于线路频率分量而言，产生回路的可能原因包括不同信号接地之间的寄生电阻、线路变压器和其他电气设备到信号路径的电感耦合，以及产生额外回路的前置放大器。

应对措施是使用差分接线断开回路，通过在测量装置中实施星型接地连接（主接地尽可能靠近装置），将所有仪器外壳接地，并使用光耦合器和变压器在信号路径中提供电流去耦合。

HF2LI 仪器的接地是通过在星型网络中连接模拟接地和数字接地来实现的。此举大大降低了流入模拟域的数字接地噪声。所有模拟接地在其连接至数字接地（例如 USB 接地）之前均连接在一起。所有接地都利用一个 1 MΩ 电阻通过地面去耦合，但通常通过 USB 电缆连接的 PC 使其短路。电源插头的接地端同时连接机箱和仪器后面板的香蕉插头。

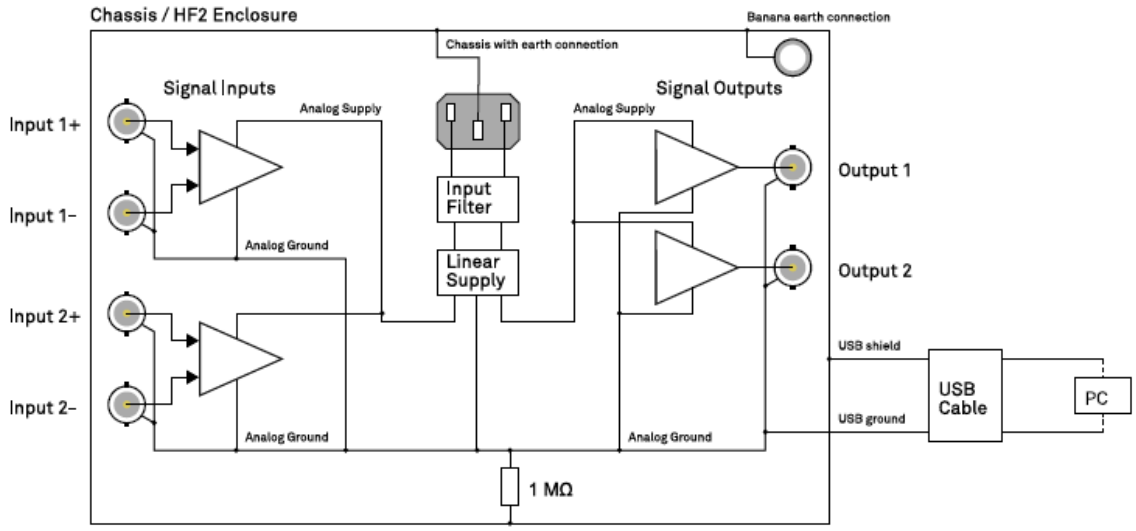


图 8.16. 仪器接地线与地面连接方案

对于需浮动接地的应用，建议通过将 BNC 屏蔽连接到负 BNC 连接端口来利用差分输入。此策略的局限性是浮动接地不应超过指定的最大输入共模偏移量。

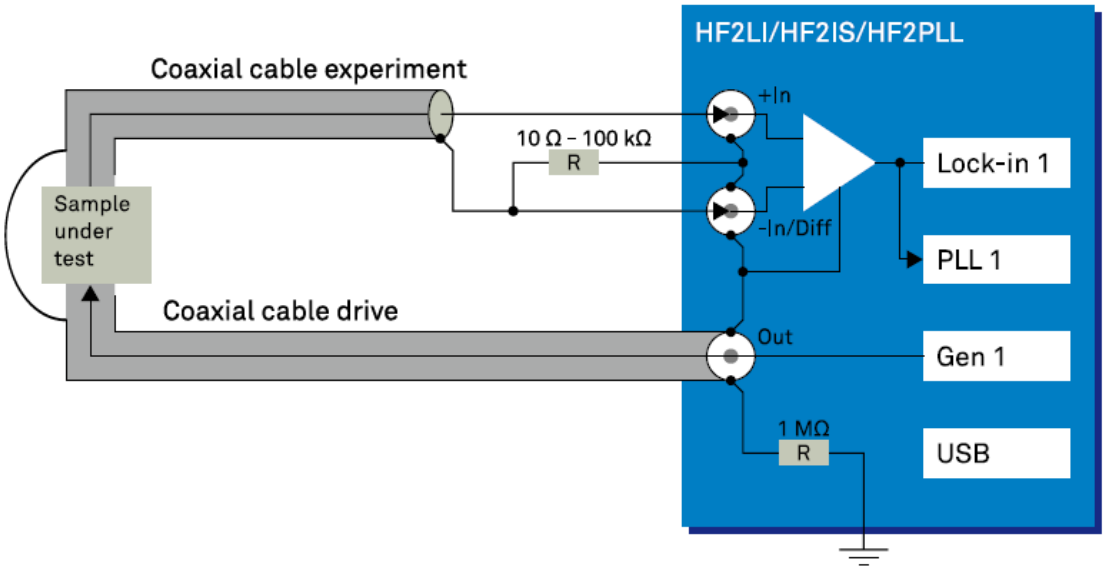


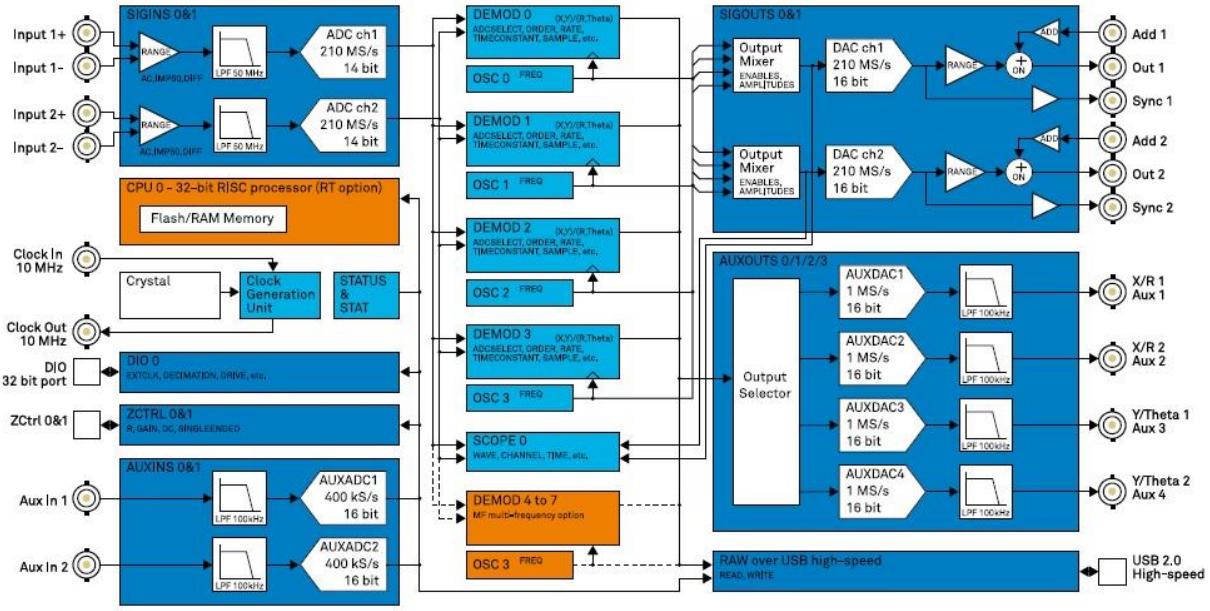
图 8.17. 减少接地回路的差分连接方案

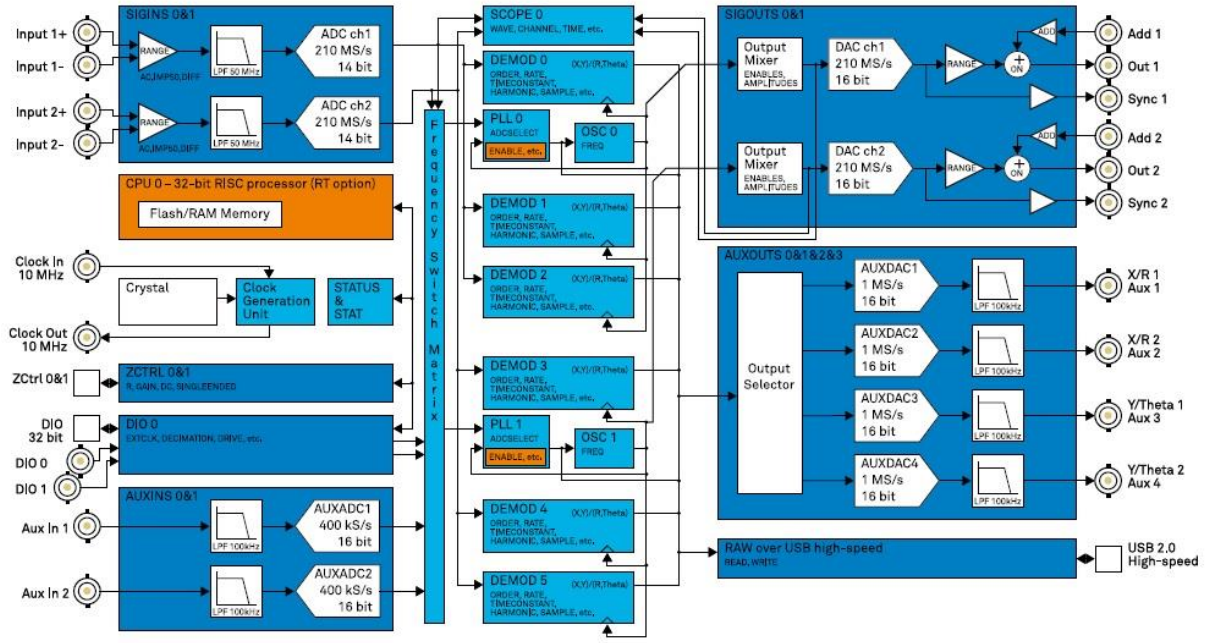
当使用 ZSync 同步两台 HF2LI 仪器时，10 MHz 时钟可能会耦合到信号路径中并干扰某些频率的锁定测量。以下是解决这一潜在问题的两种方式。

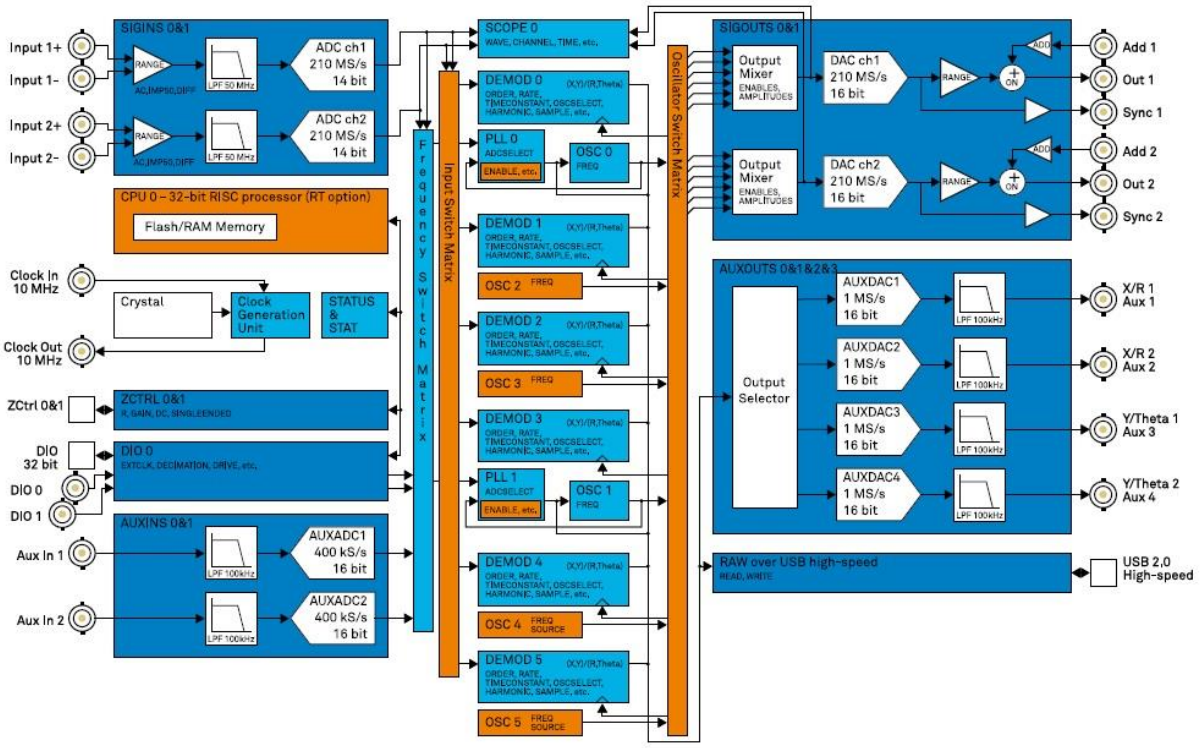
- 使用短 BNC 电缆连接仪器后面板上的 Clock In 连接端口。该电缆仅用于连接仪器的数字接地端，并且不会对 10 MHz 时钟造成干扰。
- 将用于连接 ZSync 端口的以太网电缆缠绕成小线圈和/或将铁氧体磁珠连接到电缆上。

8.6. 参考图片

下列图片可供在 HF2LI 仪器上进行编程项目的高级用户参考。






SIGINS 0&1
Input 1+
Input 1-
Input 2+
Input 2-
RANGE
LPF 50 MHz
ADC ch1
210 MS/s
14 bit
ADC ch2
210 MS/s
14 bit
CPU 0 – 32-bit RISC processor (RT option)
Flash/RAM Memory
Clock In
10 MHz
Clock Out
10 MHz
Crystal
Clock
Generation
Unit
STATUS
&
STAT
ZCtrl 0&1
ZCTRL 0&1
DIO
32 bit
DIO 0
DIO 1
DIO 0
AUXINS 0&1
Aux In 1
Aux In 2
AUXADC1
400 kS/s
16 bit
AUXADC2
400 kS/s
16 bit
LPF 100kHz
Frequency Switch Matrix
Input Switch Matrix
SCOPE 0
WAVE, CHANNEL, TIME, etc.
DEMOD 0
DEMOD 1
DEMOD 2
DEMOD 3
DEMOD 4
DEMOD 5
ORDER, RATE,
TIMECONSTANT, OSCSELECT,
HARMONIC, SAMPLE, etc.
PLL 0
PLL 1
ADCSELECT
ENABLE, etc.
OSC 0
OSC 1
OSC 2
OSC 3
OSC 4
OSC 5
FREQ
FREQ SOURCE
Oscillator Switch Matrix
SIGOUTS 0&1
Output
Mixer
ENABLES,
AMPLITUDES
DAC ch1
210 MS/s
16 bit
DAC ch2
210 MS/s
16 bit
ADD
ON
Add 1
Out 1
Sync 1
Add 2
Out 2
Sync 2
AUXOUTS 0&1&2&3
Output
Selector
AUXDAC1
1 MS/s
16 bit
AUXDAC2
1 MS/s
16 bit
AUXDAC3
1 MS/s
16 bit
AUXDAC4
1 MS/s
16 bit
X/R 1
Aux 1
X/R 2
Aux 2
Y/Theta 1
Aux 3
Y/Theta 2
Aux 4
RAW over USB high-speed
READ, WRITE
USB 2.0
High-speed

8.7. 测试规格

我们鼓励用户验证仪器是否按规格运行，不仅在收货后进行验证，而且要确保长时间维持持续性能。测量关键规格参数的推荐程序基于瑞士苏黎世仪器的 ziControl 软件。有关详细说明，请参阅 HF2LI 用户手册（ziControl 版）的“规格”章节，网址为 https://www.zhinst.com/products/HF2LI-lock-amplifier。

第 9 章信号处理基础信息

本章提供有关多个锁相放大器原理的相关见解，这些原理不一定与瑞士苏黎世仪器的特定仪器相关。自 20 世纪 30 年代首个阀基锁相放大器诞生以来，虽然锁相放大器的物理学特性没有改变，但是其运行和性能都有了很大发展。在过去的几十年间，许多关于锁相放大器的优秀初级读物相继面世，其中一些初级读物是以模拟仪器为对象撰写的，因此现在似乎已经过时了。本节并不意在取代任何已有的初级读物，而是希望以数字锁相放大器为重点来予以补充。第一小节介绍的是锁相放大的原理，接着将介绍离散时间滤波器的功能。之后，我们将讨论满量程灵敏度的定义，这个规格参数对模拟锁相放大器特别重要，但对数字仪器的影响没那么大。随后，我们还将介绍正弦滤波，尤其是其在低频锁相测量中的功能和使用。最后一节将主要介绍选带傅里叶变换功能。随着锁相放大器的创新，选带傅里叶变换可围绕锁相操作频率提供快速、高分辨率的频谱分析。

9.1. 锁相检测技术的原理

锁相解调技术旨在通过比较信号与参考信号来测量具有频率 $\omega_s=2\pi f_s$ 的周期性信号的幅值 A_s 和相位 θ。该技术也称为相敏检测。通过随时间进行平均化处理，信号的信噪比 (SNR) 可提高多个数量级，从而能够以高精度检测非常小的信号，使锁相放大器成为常用的信号恢复工具。无论是信号恢复还是相敏检测，可通过窄带通滤波分离出期望信号，从而降低测量信号中噪声的影响。

图 9.1 所示为基本的测量装置：参考信号 V_r 输入到被测设备。该参考信号由具有衰减、放大、相移和失真的一般非线性设备修改，得到信号 $V_s = A_s cos(\omega_s t + \theta_s)$

外加谐波分量。

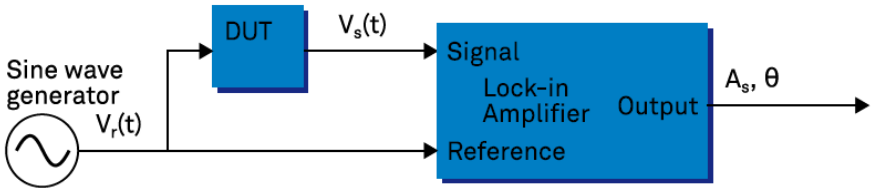


图 9.1. 包含锁相放大器的基本测量装置

出于实践方面的原因，大多数锁相放大器均使用混频器和低通滤波器来实施带通滤波器功能（参见图 9.2）：混频器将期望信号转移到基带（理想情况下转换到 DC），而低通滤波器则切断所有不需要的高频。

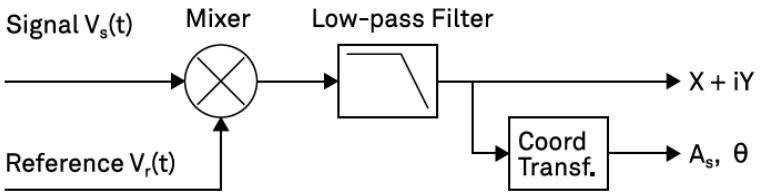


图 9.2. 锁相放大器执行的混频和低通滤波功能

输入信号 $V_s(t)$ 乘以参考信号$V_r(t) = \sqrt{2}e^{-i\omega_r t}$

，其中$\omega_r = 2\pi f_r$

是解调频率并且 i 为虚部。这是构成正交解调器分量的正弦和余弦信号（相移 90°）的复数表示方法，能够测量期望信号的幅值和相位。原则上，期望信号可以乘以任何频率，得出外差运算。但是锁相放大器的目标是移动信号，使其尽可能靠近 DC，因此会选择相似的参考频率和信号频率。各读物中将这称为零差检测、同步检测或零中频直接转换。

相乘后得出信号

$$V_s(t) \cdot V_r(t) = V_s(t \cdot \sqrt{2}e^{-i\omega_r t} = \frac{A_s}{\sqrt{2}}e^{i[(\omega_s - \omega_r)t + \theta]} + \frac{A_s}{\sqrt{2}}e^{-i[(\omega_s + \omega_r)t + \theta]} \quad (8)$$

这包括一个慢速分量（频率为 $\omega_s - \omega_r$）和一个快速分量（频率为 $\omega_s + \omega_r$）。

已解调信号使用无限冲击响应 (IIR) RC 滤波器进行低通滤波，以符号⟨·⟩表示。滤波器 $F(\omega)$ 的频率响应将允许通过低频 $F(\omega_s - \omega_r)$ 的同时大大衰减更高频 $F(\omega_s + \omega_r)$。另一种方法是将低通滤波器作为平均器。

$$X + iY = \left\langle V_s(t) \cdot \sqrt{2} e^{-i\omega_r t} \right\rangle \approx F(\omega_s - \omega_r) \frac{A_s}{\sqrt{2}} e^{i[(\omega_s - \omega_r)t + \theta]} \qquad (9)$$

低通滤波器处理后得到已解调信号 $X + iY$，其中 X 是实部，Y 是复平面上描绘的信号的虚部。这些分量也称为同相和正交分量。X 和 Y 到 $V_s(t)$ 的幅值 R 以及相位 θ 信息的转换可用三角函数运算进行。

有趣的是，测量信号的值对应于信号的 RMS 值，也就是$R = A_s/\sqrt{2}$

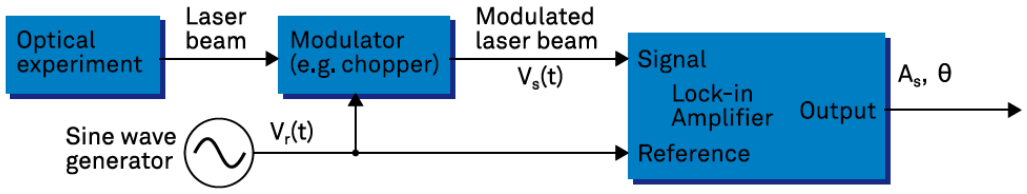
。

当辅助输出信号范围为 –10 V 到 +10 V 时，大部分锁相放大器输出编码值 (X,Y) 和 (R, θ)。

9.1.1. 锁相放大器应用

锁相放大器应用范围非常广泛。在某些情况下，目标是测量具有良好信噪比的信号，这样，即使使用较大的滤波器设置也可以测得该信号。这种情况可以称为相敏检测。在另一些应用中，信号非常弱以致被噪声盖住，必须使用非常窄的滤波器进行测量。这种情况下，可以使用锁相放大器来恢复信号。还有一种情况是，在极高频率（GHz 或 THz）上调制的信号无法采用标准方法测量，因此混频到适合锁相放大器测量频带的较低频率。

例如，测量完全淹没在 1/f 噪声、电源线噪声和缓慢漂移中的平稳或缓慢变化的微弱信号。在这种情况下，可将微弱信号调制到较高频率，远离这些噪声源。此类信号可高效混频回来，并使用锁相放大器在基带中进行测量。图 9.3 所示即为此过程。许多光学应用都采用斩波器、电光调制器或声光调制器进行上混。这种方法的优点是，能够在噪声相对较小的光谱区测量所需信号，并且比直接对 DC 信号进行低通滤波要更加高效。



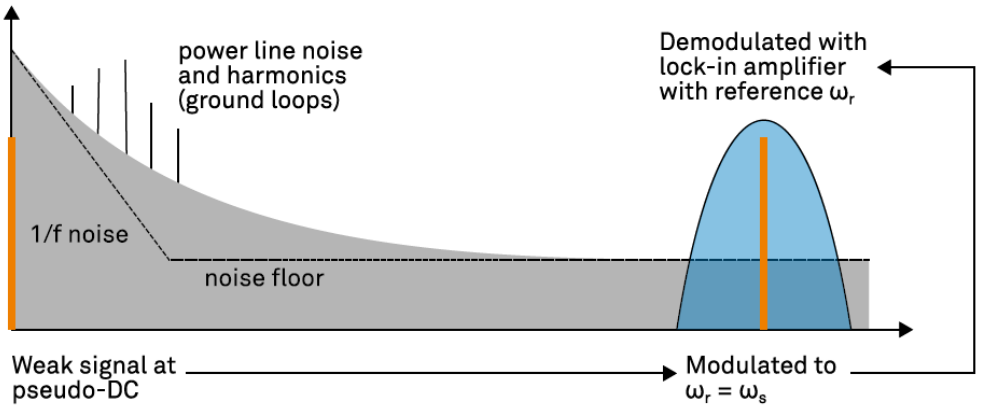


图 9.3. 含噪声的 DC 信号的锁相测量

9.2. 信号带宽

信号带宽 (BW) 理论上对应信号中期望的最高频率分量。但在实际信号中，带宽通常由截止频率来量化。在这个频率下，系统的传递函数相对于 DC 显示 3 dB 的衰减（带宽 = $f_{cut\text{-}off}$ = f_{-3dB}）；也就是说，f_{-3dB} 下的信号功率是 DC 下信号功率的一半。带宽等于截止频率，用于信号的动态行为或不同信号的分离。例如快速变化的幅值，或者 PLL 或成像应用中的相位值，或者频率间隔很小的信号需要分离。

噪声等效功率带宽 (NEPBW) 不同于信号带宽，但也是非常有用的数值。该单位通常用于噪声测量：在这种情况下，用户关注的是通过低通滤波器滤波的总功率，等于图 9.4 中实曲线下方的面积。出于实际原因，用户会定义一个理想砖墙式滤波器，假设噪声呈现平谱（白噪声）密度，让等量的功率通过。该砖墙式滤波器的传输 1 从 DC 传输到 f_{NEPBW}。 中的橙色和蓝色区域的面积在线性尺度中完全相等。

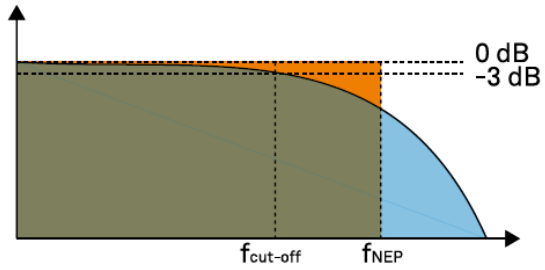


图 9.4. 信号带宽和噪声等效功率带宽

$f_{cut\text{-}off}$ 和 f_{NEPBW} 之间可以建立仅取决于滤波器斜率（或滚降）的简单关系。由于滤波器斜率实际上取决于为滤波器定义的时间常数 (TC)，因此也可以建立与时间常数的关系。可以很直观地看出，滤波器阶数越高，$f_{cut\text{-}off}$ 就越接近 f_{NEPBW}。

时间常数是一个参数，用于在时域中解析滤波器响应，并且与达到最终值的定义百分比所需的时间相关。低通滤波器的时间常数与带宽的关系公式为

$$TC = \frac{FO}{2\pi f_{cut-off}} \qquad (10)$$

其中 FO 是上述取决于滤波器斜率的因子。该因子和不同滤波器参数之间的其他实用转换因子可参见下表。

表 9.1. 带宽定义中的转换因子汇总

滤波器阶数	滤波器滚降	FO	$f_{cut\text{-}off}$	f_{NEPBW}	f_{NEPBW} / $f_{cut\text{-}off}$
1 阶	6 dB/oct	1.0000	0.1592 / TC	0.2500 / TC	1.5708
2 阶	12 dB/oct	0.6436	0.1024 / TC	0.1250 / TC	1.2203
3 阶	18 dB/oct	0.5098	0.0811 / TC	0.0937 / TC	1.1554
4 阶	24 dB/oct	0.4350	0.0692 / TC	0.0781 / TC	1.1285
5 阶	30 dB/oct	0.3856	0.0614 / TC	0.0684 / TC	1.1138

滤波器阶数	滤波器滚降	FO	$f_{cut\text{-}off}$	f_{NEPBW}	f_{NEPBW} / $f_{cut\text{-}off}$
6 阶	36 dB/oct	0.3499	0.0557 / TC	0.0615 / TC	1.1046
7 阶	42 dB/oct	0.3226	0.0513 / TC	0.0564 / TC	1.0983
8 阶	48 dB/oct	0.3008	0.0479 / TC	0.0524 / TC	1.0937

9.3. 离散时间滤波器

9.3.1. 离散时间 RC 滤波器

实施数字低通滤波器的方法很多。一种常见滤波器类型是指数运行均值滤波器。这款滤波器的各项特性都非常接近模拟电阻-电容 RC 滤波器，因此有时被称为离散时间 RC 滤波器。指数运行均值滤波器的唯一可调参数是时间常数$TC = \tau_N$

。它运算的输入信号X_{in}[n,]由离散时间 $nT_s, (n+1)T_s, (n+2)T_s$ 等定义，并以采样时间 T_s 为间隔。它的输出 $X_{out}[n, T_s]$ 可使用以下递推公式计算得出，

$$X_{out}[n, T_s] = e^{-T_s/\tau_n} X_{out}[n-1, T_s] + (1 - e^{-T_s/\tau_N}) X_{in}[n, T_s] \qquad (11)$$

该滤波器在频域的响应可以用以下公式近似表示

$$H_1(\omega) = \frac{1}{1 + i \cdot \omega \cdot \tau_n} \qquad (12)$$

指数滤波器是一阶滤波器。通过级联多个滤波器，即可轻松获得更高阶的滤波器。例如，通过逐一链接 4 个具有相同时间常数 $TC = \tau_N$的滤波器，使一个滤波级的输出为下一个滤波级的输入，即可获得 4 阶滤波器。这种级联滤波器的传递函数是单个滤波级的传递函数的乘积。对于 N 阶滤波器，我们得出以下公式

$$H_n(\omega) = \frac{1}{(1 + i \cdot \omega \cdot \tau_n)^n} \qquad (13)$$

滤波器的衰减和相移都可通过此公式计算得出。也就是说，滤波器衰减由绝对值的平方 $|H_n(\omega)|^2$ 得出。滤波器的传输相位由复变量 $arg[H_n(\omega)]$

得出。

9.3.2. 滤波器稳定时间

低通滤波器在解调器之后，会导致测量信号的延迟，具体取决于滤波器阶数和时间常数$TC = \tau_N$ 。信号发生变化后，锁相输出需要一段时间才能达到正确的测量值。图 9.5 所示为级联滤波器对阶跃输入信号的响应。

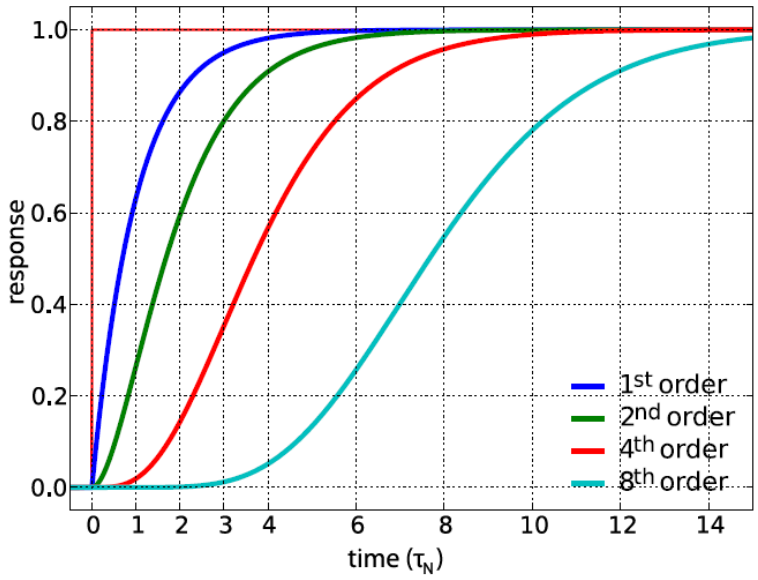


图 9.5. RC 低通滤波器的时域阶跃响应

有关稳定时间的更多定量信息，请参见表 9.2。此表包括 HF2LI 系列锁相放大器可用的所有滤波器阶数的稳定时间（单位为滤波器时间常数）。这些数值表示滤波后的解调器信号达到最终值的 5%、95% 和 99% 所需的时间。这有助于从定量角度正确选择滤波器参数（例如在涉及参数扫描的测量中）。

表 9.2. 滤波器上升时间汇总

滤波器阶数	时间设为		
1 阶	0.025 · TC	3.0 · TC	4.6 · TC
2 阶	0.36 · TC	4.7 · TC	6.6 · TC
3 阶	0.82 · TC	6.3 · TC	8.4 · TC
4 阶	1.4 · TC	7.8 · TC	10 · TC
5 阶	2.0 · TC	9.2 · TC	12 · TC
6 阶	2.6 · TC	11 · TC	12 · TC
7 阶	3.3 · TC	12 · TC	15 · TC
8 阶	4.0 · TC	13 · TC	16 · TC

9.4. 满量程灵敏度

锁相放大器的灵敏度是已解调正弦输入信号的 RMS 值，会产生满量程模拟输出。传统上，X、Y 或 R 分量会映射到 10 V 满量程模拟输出。在这种情况下，锁相放大器从输入到输出的总增益由输入和输出放大器级组成。许多锁相放大器指定的灵敏度在 1 nV 至 1 V 之间。也就是说，仪器允许将 1 nV 至 1 V 之间的输入信号放大至 10 V 满量程输出。

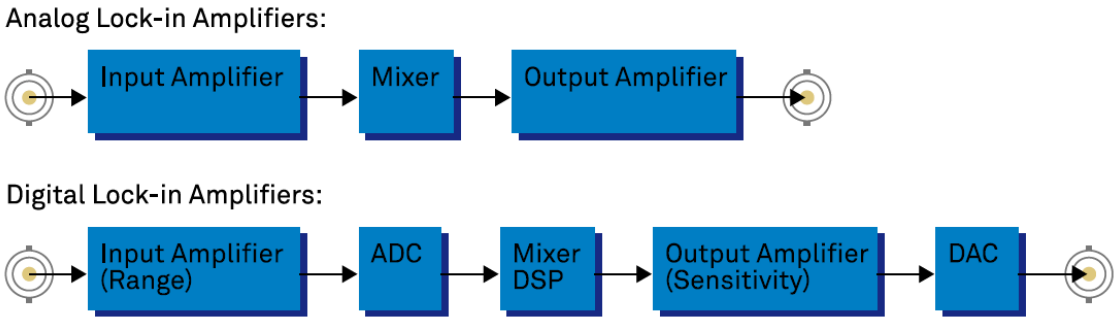


图 9.6.从信号输入到信号输出的灵敏度

模拟锁相放大器的灵敏度很好理解，就是仪器（特别是输入放大器和输出放大器）的输入和输出之间的模拟放大级之和。

数字锁相放大器的灵敏度则不那么容易理解。模数转换器 (ADC) 以固定的输入范围（例如 1 V）运行，因此需要可变增益放大器将输入信号放大到 ADC 给定的范围。该可变增益放大器必须在模拟域，其能力决定了仪器的最小输入范围。在实际中，模拟输入放大器能够放大 1000 倍，因此 1 V 除以 1000 就得到仪器的最小输入范围。

该输入范围是给定范围设置允许的最大信号幅值。该信号在内部以合适的因子（例如 1000 (1 mV)）放大，从而在 ADC 中产生全幅度信号。该范围之外的信号会因为 ADC 饱和而失真，测量结果也变得无效。因此，信号不得超出范围设置。

但是，输入范围与灵敏度不一样。在数字锁相放大器中，灵敏度仅取决于输出放大器——这是一个全数字信号处理单元，执行解调器输出与缩放系数的数乘。然后，该单元的数字输出被馈送到固定范围为 10 V 的输出数模转换器 (DAC)。这个缩放系数可以根据模拟锁相放大器已知的灵敏度进行修改。对于数字放大而言，较大缩放系数和较高灵敏度的成本相对较低。

数字锁相放大器有趣的一点是输入分辨率和灵敏度之间的关系。由于 ADC 以有限分辨率（例如 14 位）运行，因此可检测和数字化的最小信号（例如 1 mV）要除以 ADC 的分辨率。以 14 位为例，可以数字化的最低电平为 122 nV。如何在不使用 21 位模数转换器的情况下达到 1 nV 灵敏度？零噪声的世界是不存在的。相反，正是因为有了噪声和当前的数字技术，才能实现甚至低于 1 nV 的灵敏度。

大多数宽带噪声源（包括输入放大器）均可视为高斯噪声源。高斯噪声均匀分布在信号中，因此产生均匀分布的干扰。噪声经锁相放大器滤波后可达到不影响测量的水平。但是，在与信号相互作用时，噪声确实会对测量产生影响。ADC 的输入等于噪声和信号幅值的总和。较大噪声上的信号幅值，即使是非常小的信号（不超过 1 nV），也能不时切换最低有效位。产生的数字信号在信号频率上具有一个分量，可被锁相放大器检测到。

生物学上也有类似的例子。人眼视杆细胞允许人类在光线很暗的条件下看见东西。人眼视杆细胞可以达到低至单光子的灵敏度。这种灵敏度的实现方式是在低光条件下对细胞进行某种预充电，使其对触发细胞启动脉冲的单光子敏感。在环境光更多的条件下，视杆细胞则不太敏感，需要更多光子来启动。

总之，在数字锁相放大器中，满量程灵敏度仅取决于数字输出放大器的缩放系数能力。由于缩放比例可以任意大，1 nV 最小满量程灵敏度是完全可以实现的。此外，数字锁相放大器利用输入噪声来大幅提高灵敏度，而不影响测量的精度。

9.5. 梳状滤波

如第 9.1 节所述，理想锁相放大器中的解调信号在 DC 上具有一个信号分量，并在两倍的解调频率上具有一个寄生分量。两倍的解调频率上的寄生分量（称为 2ω 分量）可通过常规低通滤波来有效去除。通过选择带宽小、滚降更快的滤波器，可轻松将 2ω 分量衰减至少 100 dB。问题出现在较低的解调频率上，因为这迫使用户选择较长的积分时间（例如，当解调频率为 20 Hz 时，积分时间 > 60 ms），才能实现同水平的 2ω 衰减。

在实践中，锁相放大器将利用解调频率来调制信号输入的 DC 偏移量和非线性，产生解调频率的信号（称为 ω 分量）。该分量也可在高于 1 kHz 的频率下通过常规低通滤波器有效去除。

在较低的解调频率下，特别是在解调频率接近滤波器带宽的应用中，ω 和 2ω 分量均会影响测量结果。梳状滤波能够实现 ω 和 2ω 分量的强衰减。从技术上讲，梳状滤波器可用来滤去解调频率的整数倍分量（ω、2ω、3ω 等），能以约 80 dB 的抑制因子去除 ω 分量。2ω 分量可以全部去除（例如 80 dB），也可以少量去除（例如 5 dB），具体取决于输入信号。这种变化与梳状滤波器的性能无关，而是取决于输入信号的带宽。

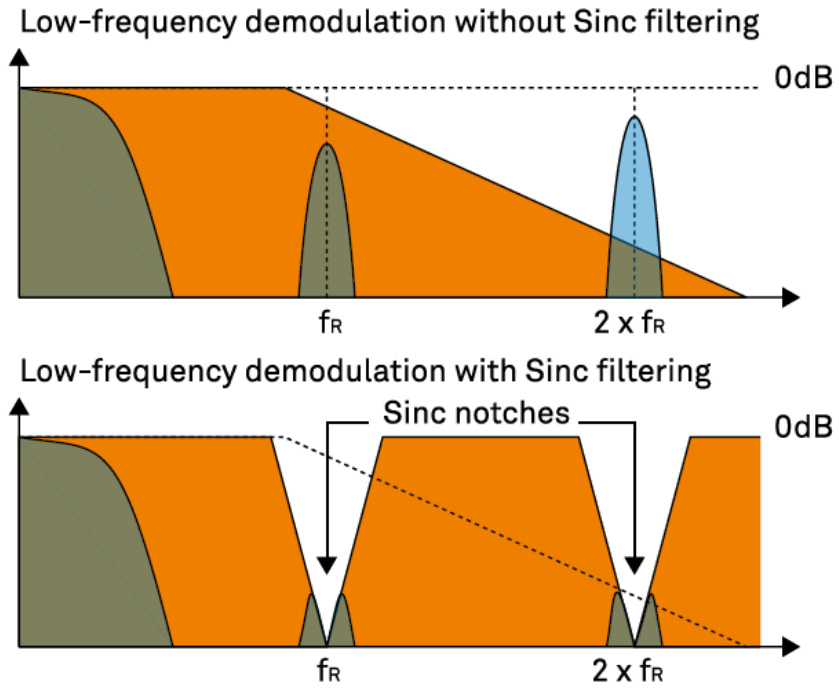


图 9.7. 正弦滤波的效果

表 9.3. 解调信号的产物

输入信号	低通滤波器处理前的解调结果	结果
具有 ω 分量的信号	DC 分量	幅值和相位信息（期望信号）
	2ω 分量	不需要的分量（可通过正弦滤波器额外进行衰减）

输入信号	低通滤波器处理前的解调结果	结果
DC 偏移	ω 分量	不需要的分量（可通过正弦滤波器额外进行衰减）

我们可以使用 HF2LI 系列锁相放大器的 Spectrum Analyzer 工具来观察梳状滤波器的效果。例如，假设有一个幅值为 0.1 V 的 30 Hz 信号，该信号使用 100 Hz 的滤波器带宽和 8 阶滤波器进行解调。信号中还增加了 0.1 V 的偏移量，这样就得到一个很明显的 ω 分量。

图 9.8 所示为已禁用梳状滤波器的频谱，图 9.9 所示为已启用梳状滤波器的频谱。对比两图，可清楚地看到正弦滤波器选件如何将 ω 和 2ω 分量衰减大约 100 dB。

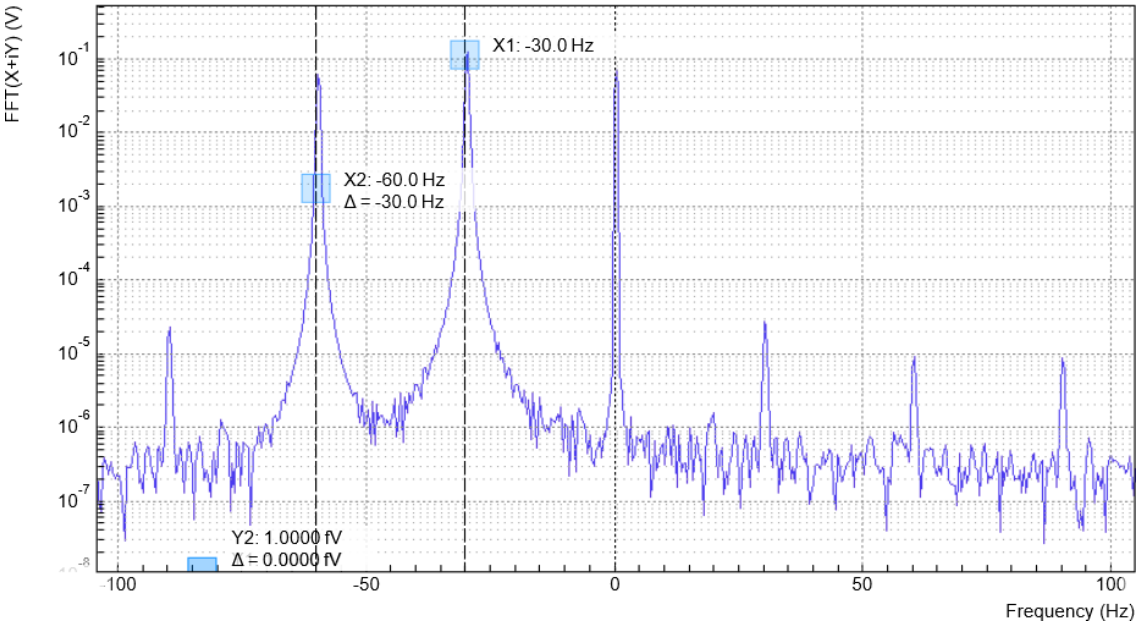


图 9.8. 已解调 30 Hz 信号的频谱（未启用梳状滤波器）

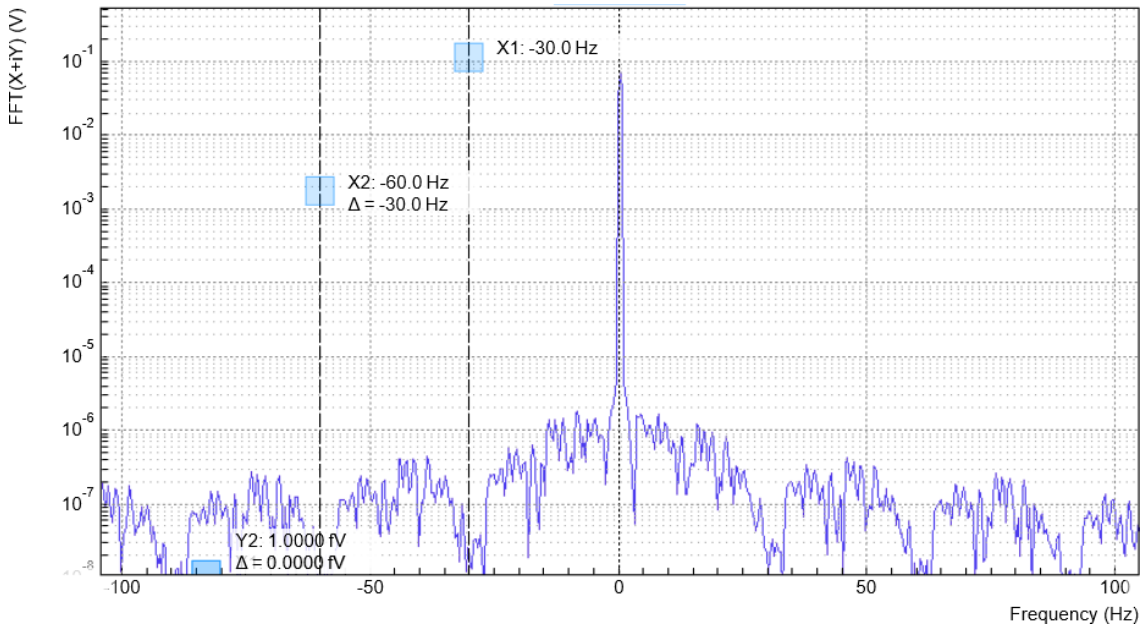


图 9.9. 已解调 30 Hz 信号的频谱（已启用梳状滤波器）

注释

为将数字滤波器的带阻位置设为 ω 和 2ω，滤波器采样率必须根据信号频率精确调整。由于这在技术上并不可行，因此只对所产生的信号频率进行微小的调整。

9.6. 选带傅里叶变换

选带傅里叶变换这一概念允许用户通过放大频谱的窄频带部分来分析特定频率附近的输入信号频谱。具体方法是对解调的同相和正交（X 和 Y）分量进行傅里叶变换，更准确地说，是对复量 X+iY 进行傅里叶变换，其中 i 是虚数单位。在 LabOne 用户界面中，这一功能位于“Spectrum”选项卡。

在一般的快速傅里叶变换中，采样率决定频率范围，总采集时间决定频率分辨率。如果要同时具有大范围和高分辨率，则需要在高采样率下进行长时间采集。这意味着需要采集、存储和处理大量数据，只为保留一小部分频谱，其余大部分都将被丢弃。在选带傅里叶变换中，使用锁相解调来降低信号频率偏移，使用户能够以更低的采样率和采样数量来实现同样的频率分辨率。通常，为在 1 MHz 的频率下实现 1 Hz 的频率分辨率，傅里叶变换需要收集和处理大约 10^6 个点，而选带傅里叶变换只需要处理 10^3 个点。（当然，高速率采样是在解调阶段通过锁相来完成的，因此选带傅里叶变换仍隐式依赖于快速 ADC）。

为说明其原因以及这一测量工具能给用户带来的优势，这里必须提醒用户，在输入信号 $V_s(t) = A_s cod(\omega_s t + \tau)$ $V_s(t) = A_s cos(\omega_s t + \theta)$

解调结束时，输出信号为 $X + iY = F(\omega_s - \omega_r)(A_s/\sqrt{2})e^{i[(\omega_s - \omega_r)t1\tau]} X + iY = F(\omega_s - \omega_r)\left(A_s/\sqrt{2}\right)e^{i[(\omega_s-\omega_r)t+\theta]}$，其中 F(ω) 是滤波器的频率响应。

由于解调信号在频率 ω_s–ω_r 上只有一个分量，因此其功率频谱（傅里叶变换模平方）在 ω_s–ω_r 达到峰值 $(|A_s|^2/2) \cdot |F(\omega_r^{\cdot} - \omega_s)|$：指示在滤波器 F(ω) 设定的解调带宽内输入信号在频率接近 ω_r 时的频谱功率分布。

注意：

- 区分正负频率的功能只有在对 X+iY 进行傅里叶变换时才起作用。如果以 X 为例，其功率频谱的正负频率将相等。实函数 g(t) 的傅里叶变换 G(ω) 存在对称关系 G(–ω)=G*(ω)，并且两个峰值相同，均出现在 $\pm|\omega_s - \omega_r|$。
- 可以将功率频谱除以 $|F(\omega)|^2$ 来提取输入信号的幅值，但这种运算受数值精度的限制。该运算在 LabOne 中实施，由“Filter Compensation”按钮激活：启用“Filter Compensation”后，背景噪声显示为白色；如果不启用该功能，则滤波器滚降的影响会变得明显。

输入信号包含单个频率分量的情况可泛化到多个频率的情况。在这种情况下，功率频谱将显示滤波器传递函数加权的所有频率分量，如果启用“Filter Compensation”后，功率频谱将进行归一化处理。

对于离散时间信号处理，当高于采样率 ω 的信号频率未得到充分抑制时，应小心出现混叠。需要牢记的是，ω 是用户可设置的读取速率，而不是 HF2LI 系列输入的 210 MSa/s 采样率。由于离散时间傅里叶变换的延伸范围是 –ω/2 到 +ω/2，用户必须确保在 ±ω/2 时滤波器提供所需的衰减：可通过提高采样率或解算以测量更小的频谱（即更小的滤波器带宽）来实现。

与此类似的是连续的情况，其采集时间决定了最大频率分辨率（如果 T 是采集时间，则为 $2\pi/T$

），可通过增加记录的数据点的数量来提高选带傅里叶变换的分辨率。如果以采样率 ω 收集了 N 个数据点，则离散傅里叶变换的频率分辨率为 ω/N。

第 10 章HF2CA 电流放大器数据表

本章提供了 HF2CA 电流放大器的数据表，其为专用于 HF2LI 系列仪器的前置放大器。此数据表仅作为 HF2LI 用户手册的一部分发布，因此不会单独提供。

本章首先列出前置放大器的主要特点，然后分节介绍包括规格、详细功能图解、几种可能的应用等内容，最后对第 3 方电缆和连接端口进行扩展推荐。

10.1. 主要特点

- 用于高电容负载的电流放大器 - 基于分流电阻
- 具有可选增益 1 或 10 的电压放大器
- 输入阻抗可在 10 V/A 和 1 MV/A 之间切换
- DC 带宽高达 100 MHz
- 2 个可切换 AC/DC 耦合的差分放大通道
- 1 或 10 的可调输出增益
- 极低噪声和少量输入泄漏
- 电源和控制的单连接端口

HF2CA 电流放大器将差分输入电流转换为宽频率范围的差分输出电压。该设备用作有源探头，便于在测量装置附近放置。它支持具有高电容负载的应用，例如介电阻抗谱。当未选择分流电阻时，电流放大器便作为电压放大器工作。HF2CA 的精心设计确保了其在整个频率范围内的稳定运行。

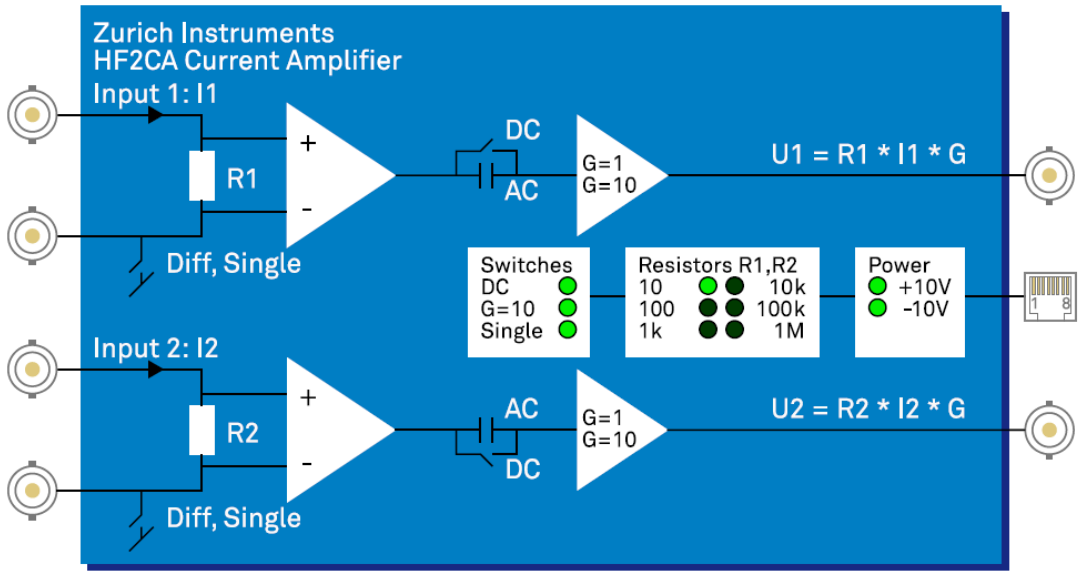


图 10.1. HF2CA 功能概览

10.2. 规格

除非另有说明，否则所有规格均仅适用于预热 30 分钟后的设备。

表 10.1. 一般规格

参数	说明
尺寸	100 x 60 x 25 mm
重量	0.4 kg
储存温度	-20 °C 至 65 °C
工作温度	5 °C 至 40 °C
标准工作温度	25 °C
标准工作电压	12 V
连接端口	4 个 SMB 输入、2 个 SMB 输出、1 个 RJ45 端口（无以太网）

表 10.2. 规格

参数	最小值	典型值	最大值
正电源电压 VDD+	12 V	15 V	20 V
负电源电压 VDD-	-20 V	-15 V	-12 V
电源电流	60 mA	80 mA	120 mA
频率响应			
频率范围	DC	-	100 MHz
频率范围（AC 耦合）	100 Hz	-	100 MHz
小信号带宽 / 3dB 截止频率（0.1 V_{PP} 输入、50 pF 输出负载、增益为 1）	100 MHz	-	-
小信号带宽 / 3dB 截止频率（0.1 V_{PP} 输入、50 pF 输出负载、增益为 10）	25 MHz	-	-
大信号带宽 / 3dB 截止频率（1 V_{PP}、50 pF）	40 MHz	-	-
输入			
输入电压噪声 (10 kHz)	-	7 nV/√Hz	-
输入电压噪声 (10 MHz)	-	6 nV/√Hz	-
输入偏置电流	-	2 pA	10 pA
跨阻抗增益（相当于输入阻抗）	10 V/A	-	1 MV/A

参数	最小值	典型值	最大值
跨阻抗增益精度 (G=1)	-	±0.1 %	-
跨阻抗增益精度 (G=10)	-	±1 %	-
输入偏移电压	-	-	1 mV
共模偏移范围	-10 V	-	7.5 V
输出			
输出电压增益	1	-	10
控制接口			
输入高电平	2.0 V	-	5 V
输入低电平	0 V	-	0.8 V
SDI、SDO、SCK、SLC 上的所有信号转换	-	-	1 µs
SCK 时钟周期	10 µs	-	-
SDI 数据到时钟设置 t_{DS}	2 µs	-	-
从时钟 t_{DH} 的 SDI 数据保持	1 µs	-	-
SLC 时钟到锁存设置 t_{LS}	1 µs	-	-
SLC 锁存保持 t_{LH}	10 µs	-	20 µs
SCK 时钟空闲时间 t_{CF}	20 µs	-	-

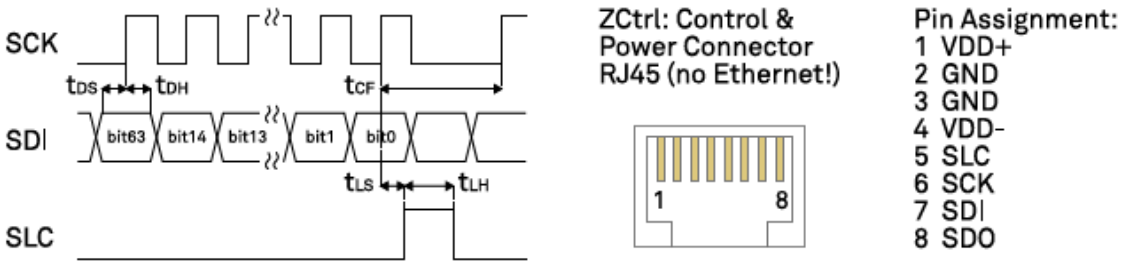


图 10.2. 数字控制时序

一些参数取决于跨阻抗增益设置。下表提供了相关概览。表中所列值均为典型值，取决于源电容、输入信号摆动以及放大器输出的电容负载。

表 10.3.增益依赖参数

输入阻抗设置	带宽 / 3dB 截止频率	最大输入电流范围	最大输入电流噪声
10 V/A	100 MHz	±160 mA	400 pA/√Hz
100 V/A	50 MHz	±16 mA	42 pA/√Hz
1 kV/A	5 MHz	±1.6 mA	5.6 pA/√Hz

输入阻抗设置	带宽 / 3dB 截止频率	最大输入电流范围	最大输入电流噪声
10 kV/A	500 kHz	±160 µA	1.3 pA/√Hz
100 kV/A	50 kHz	±16 µA	400 fA/√Hz
1 MV/A	5 kHz	±1.6 µA	128 fA/√Hz

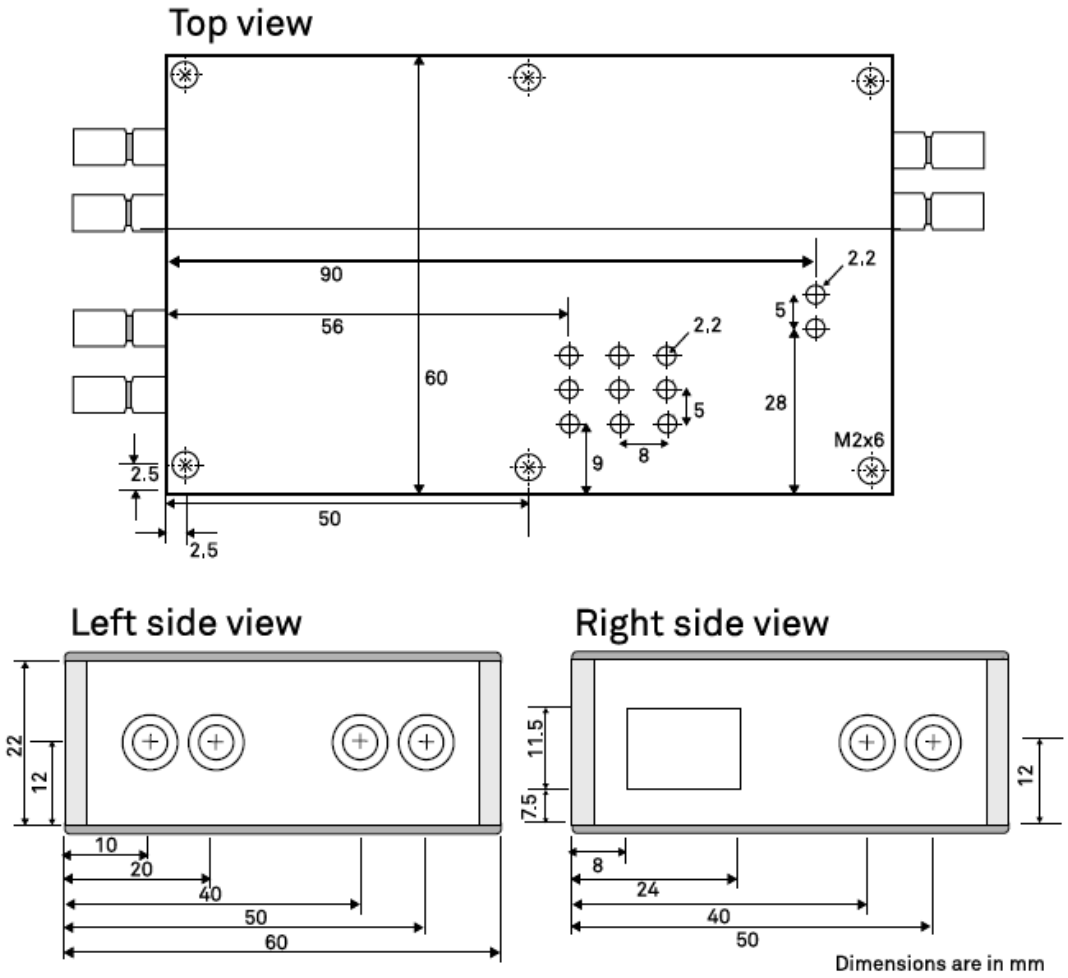


图 10.3. HF2CA 的外壳尺寸

10.3. 功能图解

HF2CA 外部放大器可以放置在靠近信号源的位置，而 HF2LI 仪器可以放置在几米之外。由于寄生效应较少和干扰较小，这种设置显著提高了测量质量。

HF2CA 的两个信号通道可用作单独的放大通道，或者在差分模式下连接到 HF2LI 仪器的差分输入端。

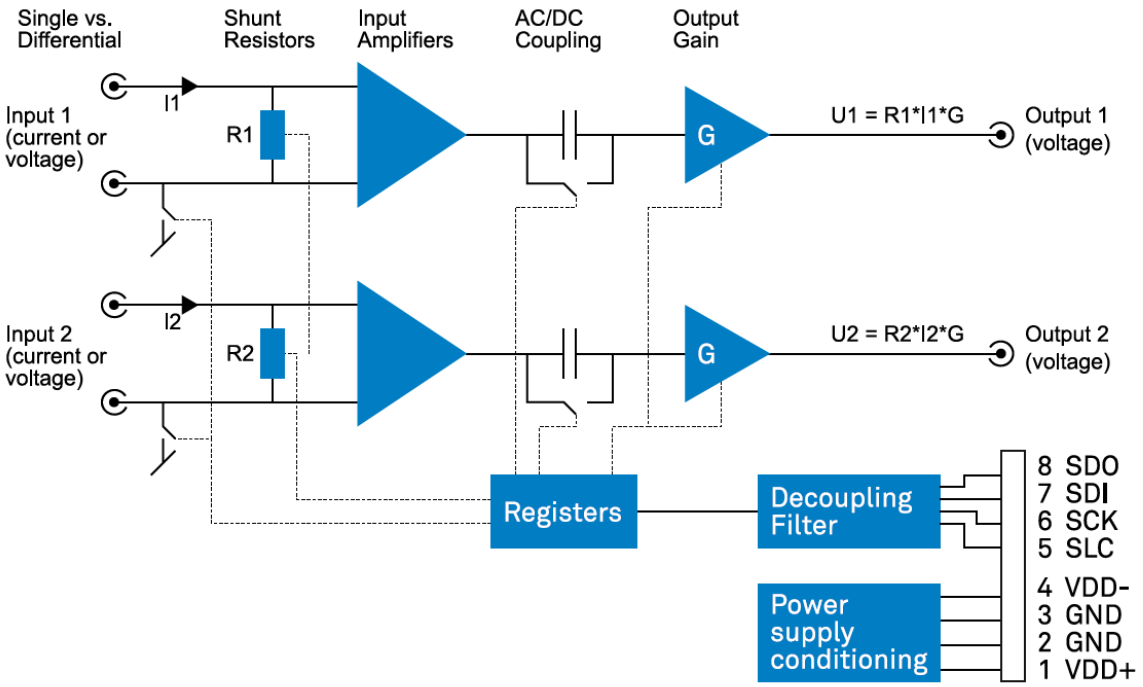


图 10.4. 详细框图

10.3.1. 输入和输出

分流电阻：HF2CA 通过测量在输入端之间分流的电阻上的压降，从而测量正负输入端之间的电流（参见图 10.4），所支持的电阻值在表 10.3 中列示。此外，它还可以移除所有内部电阻并支持任何外部连接的自定义电阻（参见第 10.4.4 节）。移除所有电阻（无限阻抗）后，HF2CA 变为一台可选增益为 1 和 10 的电压放大器。

JFET 输入放大器：HF2CA 基于 JFET 输入放大器，可在宽频范围内提供极低噪声。此外，2 pA 的超低输入偏置电流允许在小信号幅值下进行精确的电流测量。对于每个输入，JFET 输入放大器的输入电压范围为 -10 V 至 7.5 V，这也是共模偏移范围。

单端和差分模式：放大器接地的可选开关允许用户将每个输入的负端子接地，并在单端模式下运行，而无需外部电路。或者，当接地开关处于开启状态时，可以使用差分输入信号或将负端子从外部连接到本地接地。

AC 和 DC 模式：输入放大器之后的可选开关允许用户测量 DC 或接近 DC 信号，或者在不需要时，选择截止频率为 100 Hz 的 AC 耦合，并从测量信号中消除潜在的 50/60 Hz 噪声。

10.3.2. 电源和远程控制

HF2CA 设计用于 HF2LI 系列，其差分信号可提高信噪比，可使用单根电缆提供电源和控制信号。电缆必须使用直通（而不是交叉）以太网电缆。电缆承载以下信号：

- **电源：**正负电源、接地
- **数字控制：**用于控制前置放大器设置的 SDI 数字输入信号、用于设备检测的 SDO 输出信号（未向用户透露功能细节）、SCK 时钟信号以及 SLC 锁存信号。SDI、SCK 和 SLC 用于对放大器上的位移寄存器进行编程，从而调整正确的设置。设置的位数在表 10.4 中列示。数字接口的时序图参见图 10.2。首先移入寄存器设置的 MSB。

表 10.4. HF2CA 寄存器设置

寄存器位数	名称	说明
15 至 10	-	未使用
9	gain	0：设置输出增益为 1
		1：设置输出增益为 10
8	dcswitch2	0：设置输入 2 的 AC 耦合
		1：设置输入 2 的 DC 耦合
7	dcswitch1	0：设置输入 1 的 AC 耦合
		1：设置输入 1 的 DC 耦合
6	singleswitch	0：设置差分运算
		1：设置单端运算
5	res1m	1：设置电阻 1 MV/A
4	res100k	1：设置电阻 100 kV/A
3	res10k	1：设置电阻 10 kV/A
2	res1k	1：设置电阻 1 kV/A
1	res100	1：设置电阻 100 V/A
0	res10	1：设置电阻 10 V/A

10.4. 应用领域

- 阻抗谱
- 大电容负载
- 惠斯通电桥配置
- 适用于 HF2IS 阻抗谱仪和 HF2LI 锁相放大器的前置放大器

10.4.1. 具有共模偏移的差分电流测量

如图所示，放大器输入端的电阻可以插入电流路径中。通过这种方式，可在 -10 V 到 7.5 V 范围的大共模电压下测量快速电流瞬态。例如，此方式用于高能物理学领域来记录光电二极管中的辐射诱导电流。

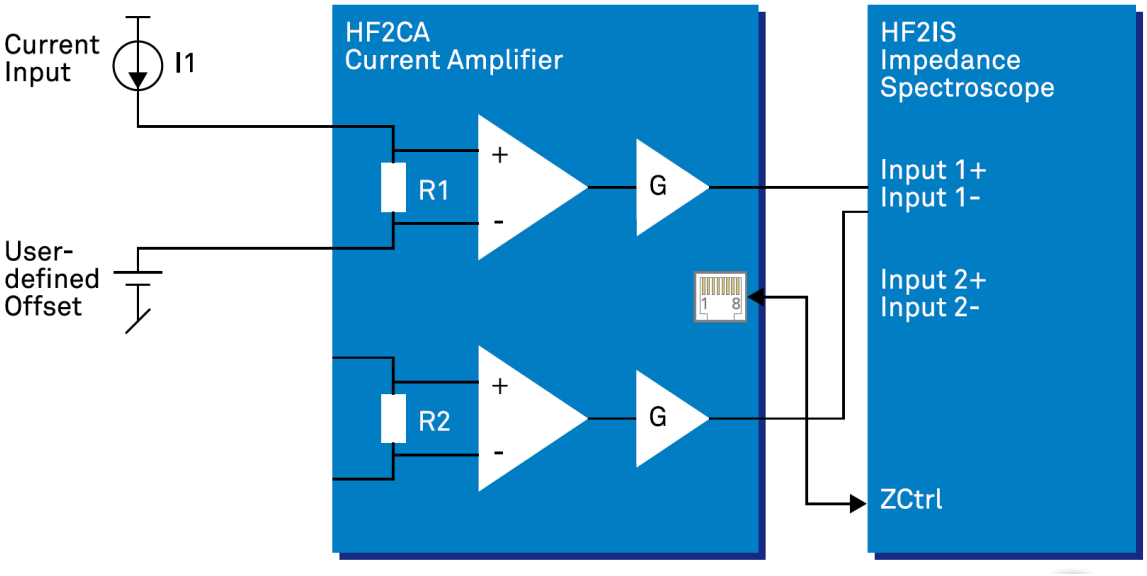


图 10.5. HF2CA 差分电流测量

10.4.2. 多频阻抗谱

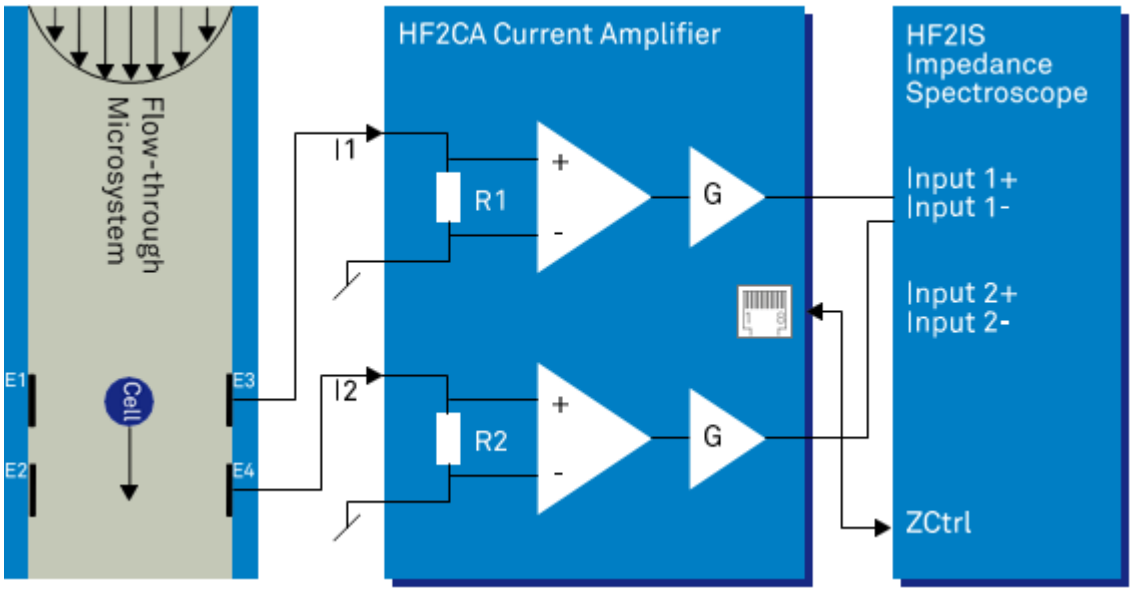


图 10.6. HF2CA 阻抗谱

HF2CA 与 HF2IS 阻抗谱仪结合使用，可用于测量流通式微系统等系统中的阻抗。这个解决方案面临的挑战是在高频 (>10 MHz) 下测量通道阻抗。在电极电解质界面处产生的大电容会导致跨阻抗放大器的稳定性问题。对此，一种解决方案是使用带有分流电阻的惠斯通电桥配置的电极。HF2CA 为此提供了解决方案。

如图所示，电极放置在微流通道的通道壁上（宽度在 20 至 50 µm 之间）。电极 E1 和 E2 受到正弦电压的激发，电极 E3 和 E4 连接到放大器的正输入端，从而通过电阻 R1 和 R2 分流到 GND。R1 和 R2 上产生的压降由通道阻抗决定。当粒子或活细胞通过电极区域时，该阻抗会发生变化。在多个频率上进行的同步分析（由 HF2IS 和 HF2CA 支持）允许同时分析细胞大小和介电特性。利用这些信息，生物学家便可对细胞进行分类并且检测细胞的活性或健康状况。

10.4.3. 阻抗测量

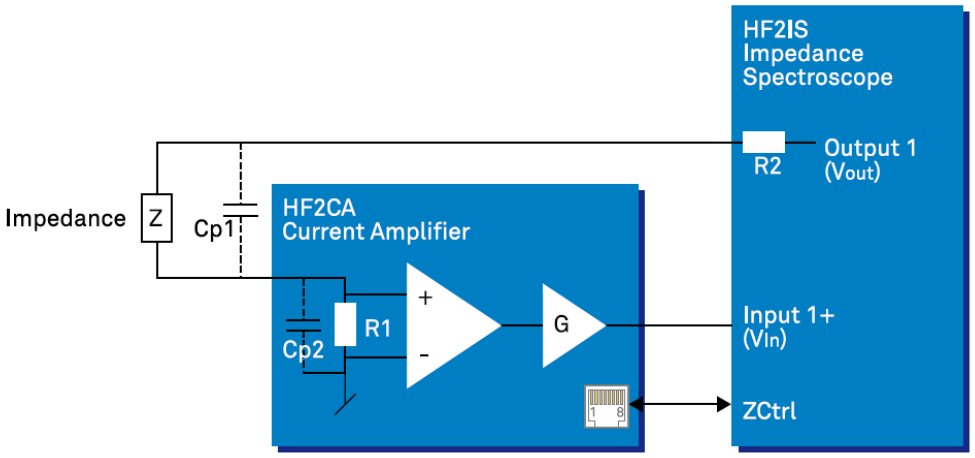


图 10.7. 使用 HF2CA 测量阻抗

HF2LI 与 HF2CA 配合使用，可用于测量各种频率的阻抗。两者的连接图如上图所示。目标阻抗 Z 连接到 HF2CA 前置放大器中的输入电阻。为了获得最优信噪比，输入电阻 R1 设置为接近阻抗 Z 的值。HF2LI 生成幅值为 V_{Out} 的输出信号，前置放大器的输出信号连接至 HF2LI 的正输入端 (Input +)，这里称为 V_{In}。根据此设置，可以使用以下等式计算阻抗 Z：

$$Z = R(V_{Out} - V_{In})/V_{In}$$

在此等式中，我们忽略了 HF2LI 设备的输出电阻 R2。只要 Z>>R1=50 Ω，该等式就成立。此外，在高频下，寄生电容 Cp1 和 Cp2 必须包含在计算中。甚至在更高频率下，Cp1 和 Cp2 将会占主导地位。

10.4.4. 自定义输入阻抗

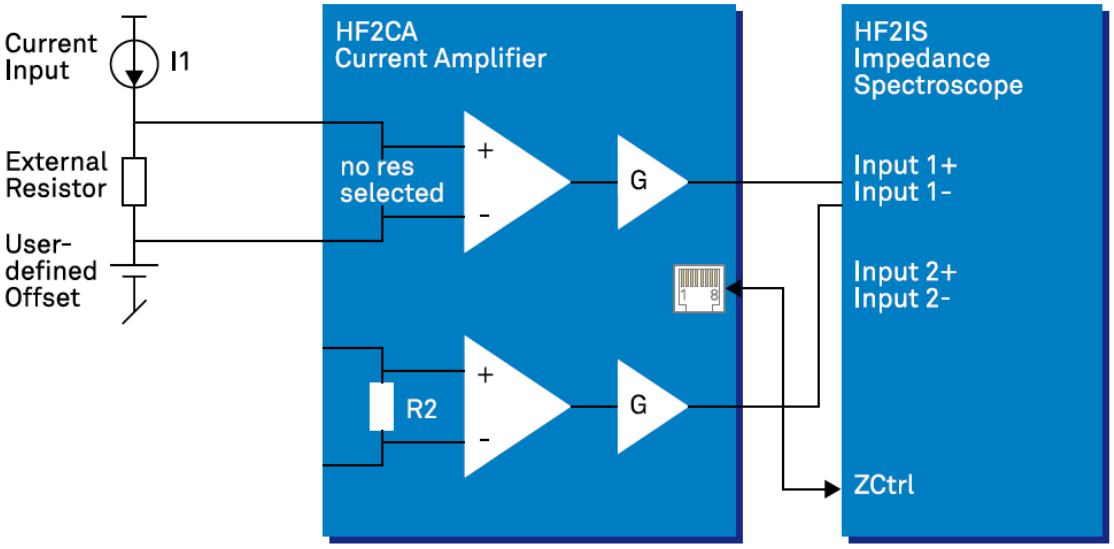


图 10.8. HF2CA 自定义输入阻抗

有时，选择一个特殊的电阻值具有优化信噪比的作用，例如阻抗匹配。在此应用中，可以使用外部电阻代替前置放大器内部的标准值。在此情况下，需要断开所有内部电阻，这可以使用标准前置放大器用户界面来实现。

10.5. 电缆推荐

表 10.5. HF2CA 电缆推荐

功能	连接端口/电缆类型	供应商/部件号
SMB 到 BNC 的连接		
SMB 到 BNC 的电缆	BNC 插孔到 SMB 插头	Farnell / Newark 1351896
SMB 到 BNC 的适配器	BNC 插孔到 SMB 插头	Digikey ACX1386-ND
	BNC 插孔到 SMB 插孔	Farnell / Newark 4195930
自定义接入或电缆组件		
电缆	电缆类型 RG-174	Digikey A307-100-ND
		Farnell / Newark 1387745
SMB 到电缆	SMB 插头到 RG-174 电缆	Tyco Electronics 413985-1
		Digikey A4026-ND
		Farnell / Newark 2141206
BNC 到电缆	BNC 插头到 RG-174 电缆	Tyco Electronics 1-5227079-6
		Digikey A32212-ND
		Farnell / Newark 1831701

第 11 章 HF2TA 电流放大器数据表

本章提供了 HF2TA 电流放大器的数据表，其为专用于 HF2LI 系列仪器的前置放大器。此数据表仅作为 HF2LI 用户手册的一部分发布，因此不会单独提供。

本章首先列出前置放大器的主要特点，然后分节介绍包括规格、详细功能图解、几种可能的应用、测试指定性能方法的信息等内容，最后对第 3 方电缆和连接端口进行扩展推荐。

11.1. 主要特点

- 50 MHz 运行范围
- 2 个可选择 AC/DC 耦合的独立放大通道
- 宽范围的电流增益设置（100 V/A 到 100 MV/A）
- 输入偏移电压调节
- 具有可选增益 1 或 10 的电压输出放大器
- 极低噪声和低输入泄漏
- 电源和控制的单连接端口

HF2TA 电流放大器将 2 个输入电流转换为频率范围高达 50 MHz 的输出电压。该设备为有源探头，便于在测量装置附近放置。它支持大多数必须将电流转换为电压的应用。 HF2TA 的先进设计确保了其在整个频率范围内稳定流畅地运行。 HF2TA 跨阻抗电流放大器搭配 HF2LI 系列信号分析仪，可实现非常高性能的测量，并且由于寄生效应减弱，对干扰的敏感性会降低。

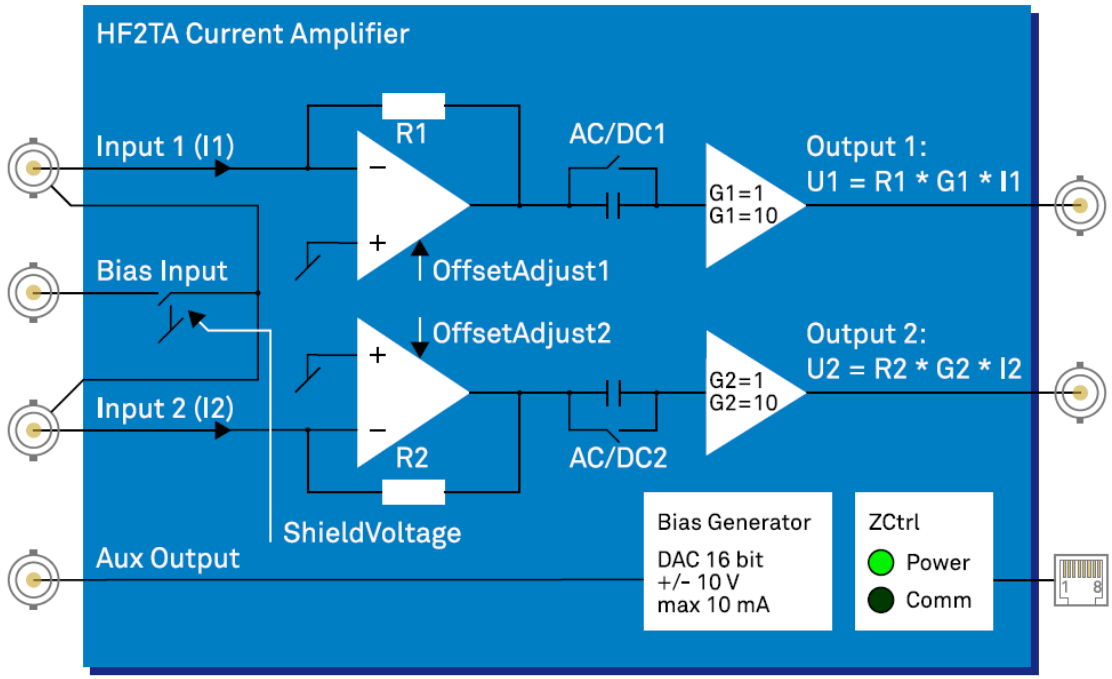


图 11.1. HF2TA 功能概览

11.2. 规格

除非另有说明，否则所有规格均仅适用于预热 30 分钟后的设备。

表 11.1. 一般规格

参数	说明
尺寸	101 x 78 x 23 mm
重量	0.4 kg
储存温度	-20 °C 至 65 °C
工作温度	5 °C 至 40 °C
规格温度	25 °C
连接端口	3 个 SMA 母输入、3 个 SMA 母输出、1 个 RJ45 端口（无以太网）

表 11.2. 规格

参数	最小值	典型值	最大值
正电源电压 VDD+	12 V	13 V	15 V
负电源电压 VDD-	-15 V	-13 V	-12 V
电源电流	50 mA	60 mA	100 mA
频率响应			
频率范围	DC	-	50 MHz
频率范围（AC 耦合）	10 Hz	-	50 MHz
小信号带宽 / 3dB 截止频率（0.1 V_{PP} 输入、50 pF 输出负载、增益为 1）	-	-	50 MHz
小信号带宽 / 3dB 截止频率（0.1 V_{PP} 输入、50 pF 输出负载、增益为 10）	-	-	50 MHz
大信号带宽 / 3dB 截止频率（1 V_{PP}、50 pF）	-	-	40 MHz
输入			
输入电流范围	取决于 R1、R2、G1、G2 设置		
输入电流噪声	取决于 R1、R2、G1、G2 设置		
输入电压噪声 (10 kHz)	-	7 nV/√Hz	-
输入电压噪声 (10 MHz)	-	5 nV/√Hz	-
输入泄漏电流	-	2 pA	20 pA
输入电压偏移补偿范围	-10 mV	-	10 mV
输入阻抗范围 (Z // 15 pF)	50 Ω	-	70 kΩ
输入偏置电压范围	-10 V	-	10 V

参数	最小值	典型值	最大值
输入信号电平（损坏阈值）	-5 V	-	5 V
输出			
输出电压增益（G1、G2）	1	-	10
跨阻抗增益（R1、R2）	100 V/A	-	100 MV/A
跨阻抗增益精度（R1、R2）	-	±1 %	-
数字控制接口时序			
输入高电平	2.2 V	-	5 V
输入低电平	0 V	-	0.8 V
SDI、SDO、SCK、SLC 上的所有信号转换	-	-	1 µs
SCK 时钟周期	10 µs	-	-
SDI 数据到时钟设置 t_{DS}	2 µs	-	-
从时钟 t_{DH} 的 SDI 数据保持	1 µs	-	-
SLC 时钟到锁存设置 t_{LS}	1 µs	-	-
SLC 锁存保持 t_{LH}	10 µs	-	20 µs
SCK 时钟空闲时间 t_{CF}	20 µs	-	-

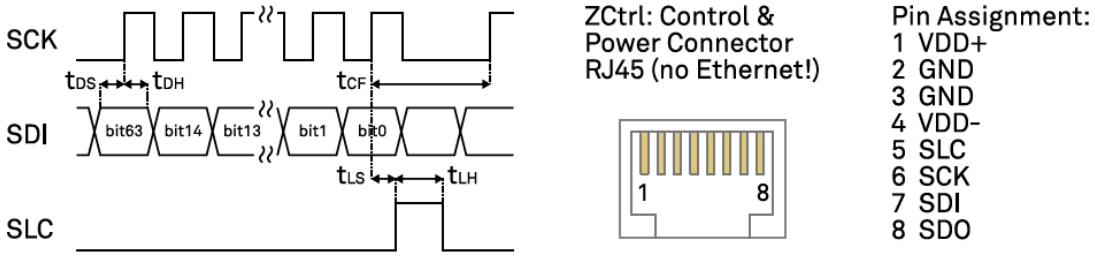


图 11.2. 数字控制接口时序

一些参数取决于跨阻抗增益设置。下表提供了相关概览。表中所列值均为典型值，取决于源电容、输入信号摆动以及放大器输出的电容负载。

表 11.3. 增益依赖参数 1

输入阻抗设置	带宽 / 3dB 截止频率	最大输入电流范围 (G=1)	最大输入电流范围 (G=10)
100 V/A	50 MHz	±10 mA	±1 mA
1 k V/A	50 MHz	±1 mA	±100 µA
10 kV/A	8 MHz	±100 µA	±10 µA
100 kV/A	1.5 MHz	±10 µA	±1 µA
1 MV/A	250 kHz	±1 µA	±100 µA
10 MV/A	25 kHz	±100 nA	±10 nA
100 MV/A	12 kHz	±10 nA	±1 nA

表 11.4. 增益依赖参数 2

输入阻抗设置	输入阻抗	最大输入电流噪声	测量条件
100 V/A	50 Ω	150 pA/√Hz	1 MHz
1 k V/A	50 Ω	15 pA/√Hz	1 MHz
10 kV/A	50 Ω	2 pA/√Hz	1 MHz
100 kV/A	100 Ω	500 fA/√Hz	100 kHz
1 MV/A	300 Ω	250 fA/√Hz	100 kHz
10 MV/A	1.6 kΩ	100 fA/√Hz	10 kHz
100 MV/A	70 kΩ	50 fA/√Hz	10 kHz

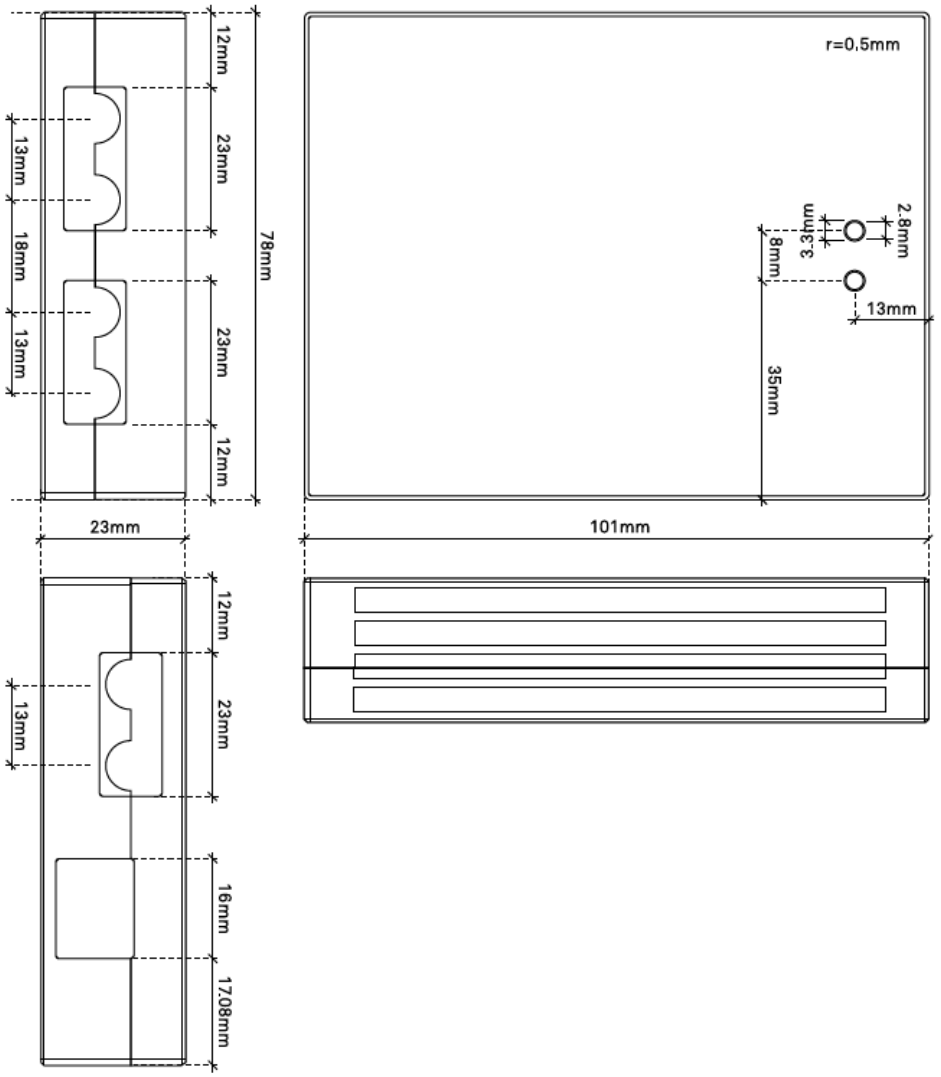


图 11.3. HF2TA 的外壳尺寸

11.3. 功能图解

HF2TA 是一款由瑞士苏黎世仪器公司推出的适用于 HF2LI 系列仪器的外部电流前置放大器。这款前置放大器可放置在靠近信号源的位置，由于寄生效应较少和干扰较小，能够显著提高测量质量。

HF2TA 的两个信号通道可用作单独的电流放大通道，或者在差分模式下连接到 HF2LI 仪器的差分输入端。通道设置可单独进行设定。

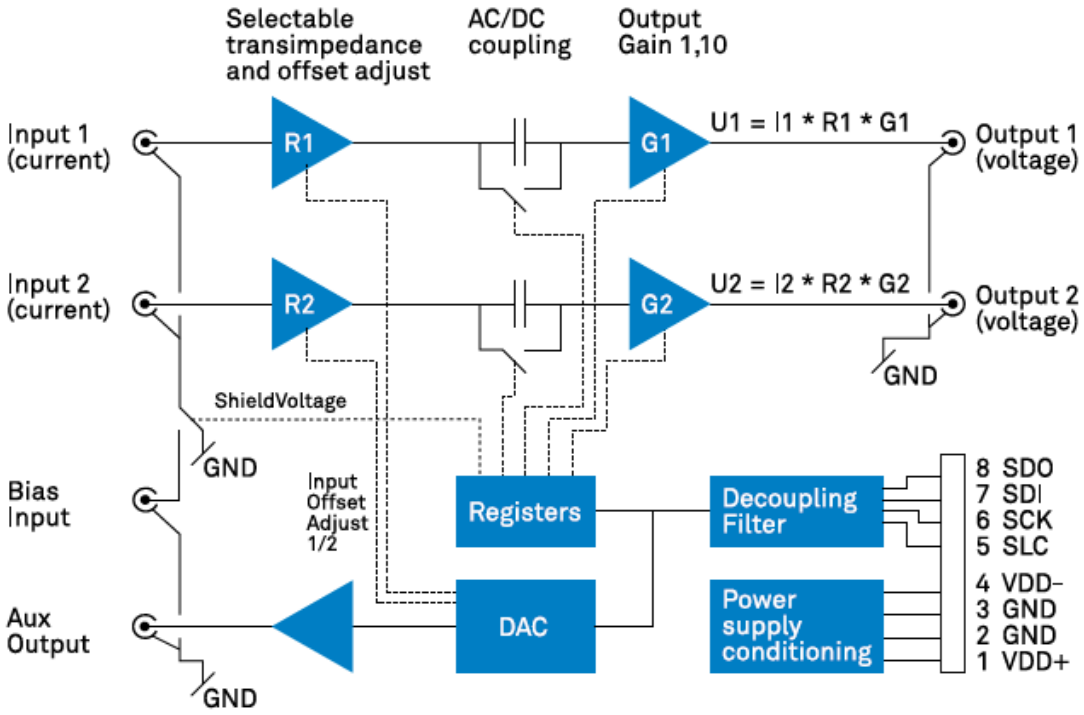


图 11.4. 详细框图

11.3.1. 输入和输出

跨阻抗级： HF2TA 测量两个输入端的电流。电流放大器使用标准跨阻抗级来将电流转换为电压输出。输入端匹配到 50 Ohms，以允许在高频下进行适当的阻抗匹配。分别在高电流增益或低输入电流下，输入端的作用类似于低阻抗虚拟接地。输入阻抗取决于上表所述的增益设置。

电压增益为 1 或 10： HF2TA 在跨阻抗放大器之后提供 1 或 10 的电压增益。这在小幅值和高带宽的条件下实现了信噪比的优化。为满足带宽需求，通常必须保持较小的跨阻抗增益。在此情况下，电压放大器有助于提高测量质量。

JFET 输入放大器： HF2TA 基于 JFET 输入放大器，可在宽频范围内提供极低噪声。此外，2 pA 的超低输入偏置电流允许在小信号幅值下进行精确的电流测量。对于每个输入，JFET 输入放大器的输入电压范围为 -5 V 至 2 V，这也是共模偏移范围。

偏移调整： 输入放大器的偏移量可以手动补偿。为此，可断开电流放大器输入端的任意信号，并测量输出电压。然后更改偏移电压，直至输出接近于零。此时，所有剩余的偏移量均应来自其他来源（例如被测设备的偏移电流或漏电）。

AC 和 DC 模式：输入放大器之后的可选开关允许用户测量 DC 信号，或者在不需要时，选择截止频率约为 10 Hz 的 AC 耦合，以消除 DC 偏移量。在 AC 模式下运行时，请确保第一个放大器未达到饱和状态。这可以通过切换至 DC 和增益 1 来检查。

辅助输出： HF2TA 配置有一个通用低噪声模拟输出端。该输出端可用作光电二极管等的电源。光电二极管连接到辅助输出和输入的虚拟接地，无需额外电源。

信号屏蔽电压：偏置输入连接端口可用于向信号屏蔽层施加偏置电压。例如，这可用于通过信号屏蔽为远程传感器供电，而无需引入额外的接地回路。如未使用该选件，则应使用控制设置“Shield Voltage”，以便将信号屏蔽接地。

11.3.2. 电源和远程控制

HF2TA 设计用于 HF2LI 系列设备。它必须使用单条同时提供电源和控制信号的以太网电缆连接到主机设备的 ZCtrl 1/2 连接端口。电缆必须使用标准的直通（而不是交叉）电缆。电缆承载以下信号：

- **电源**：正负电源、接地
- **数字控制**：用于控制前置放大器设置的 SDI 数字输入信号、用于设备检测的 SDO 输出信号（未向用户透露功能细节）、SCK 时钟信号以及 SLC 锁存信号。SDI、SCK 和 SLC 用于对放大器和 DAC 上的位移寄存器进行编程，从而调整正确的设置。

11.4. 应用领域

- 低噪声和高速电流放大
- 光电二极管前置放大器
- 阻抗测量
- 半导体测试
- 阻抗谱

11.4.1. 推荐的设置

为使 HF2TA 发挥最优性能，请遵循以下指导。

- 低输入和高输入电流测量

  在测量路径中，应正确选择 HF2TA 增益设置。用户可根据表 11.3 来设置增益设置。如表中所示，每组输入阻抗和 G 设置都指定有一个最大输入电流范围。根据每组推荐的输入阻抗和 G 设置，最大电流将在 HF2TA 的输出端产生 ±1 V 的最大电压幅值。在此水平下，HF2LI 输入通道的输入数字转换器将接近全动态范围运行，从而实现最优 SNR。

- 低带宽和高带宽测量

  HF2TA 的指定工作条件为最高 50 MHz 的 3dB 带宽。尽管如此，请务必谨慎选择输入阻抗增益设置。 也详细说明了每个增益设置的最高 3dB 信号带宽。例如，如果输入电流包含频率小于 12 kHz 的频率分量，可以选择 100 MV/A 的最大跨阻抗增益。频率为 50 MHz 时，仅可选择 100 V/A 的跨阻抗增益。如果在高输入信号频率下需要更多增益，也可以选择 G=10。

- 将串扰和寄生效应降至最低

  如果所测阻抗靠近 HF2TA 和 HF2LI 设备的输入端，四点测量设置有助于最大限度地减少寄生效应以及电缆噪声。此外，使用屏蔽电缆可以显著减少从周围环境中拾取的高频噪声。

- 避免 HF2TA 的不稳定性

  由于 HF2TA 是一款负反馈放大器，其反馈回路稳定性可能易受输入电容影响，尤其是在低 R 设置条件下。为了避免测量中可能出现的欠阻尼行为（即振荡），建议在测量电容电路时使用尽可能高的选定跨阻抗增益 R。连接 HF2TA 输入的短电缆也有助于减少 HF2TA 输入端的寄生电容。

11.4.2. HF2LI 的光电二极管放大器

HF2TA 电流放大器适用于从光电二极管读取电流。下图显示了使用该设备的三种可能方式。第一种方式是光电二极管的一侧接地，另一侧连接到电流放大器。所记录的信号被放大后发送至 HF2LI 仪器。

第二种方式为需要向光电二极管施加偏置电压的情况提供了一种解决方案。为此，可使用 HF2TA 的辅助输出。该连接端口可传输 +/-10V 范围内的电压和高达 10 mA 的电流。或者，可由另一个电压源提供偏置。

第三种方式支持通过信号电缆的屏蔽层来驱动光电二极管。通过将辅助输出端短接到偏置输入端，可以方便地由 HF2TA 驱动该屏蔽层。这种方式允许用户使用单根同轴电缆连接远程传感器，同时避免在系统中引入接地回路。

所有 HF2TA 设置均可在 HF2LI 仪器的图形用户界面中方便地进行编程。

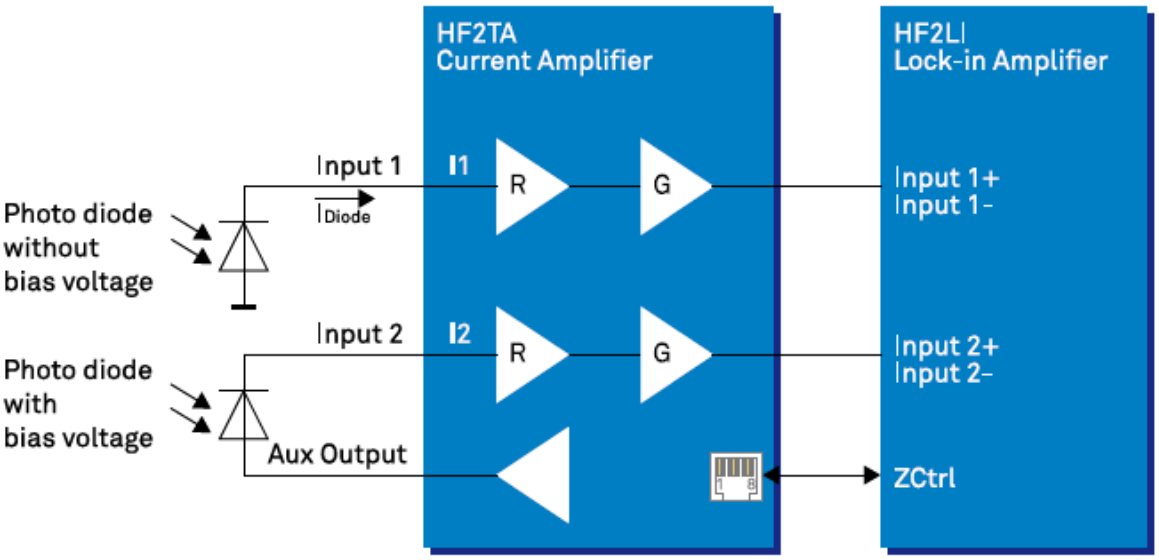


图 11.5. HF2TA 光电二极管放大器

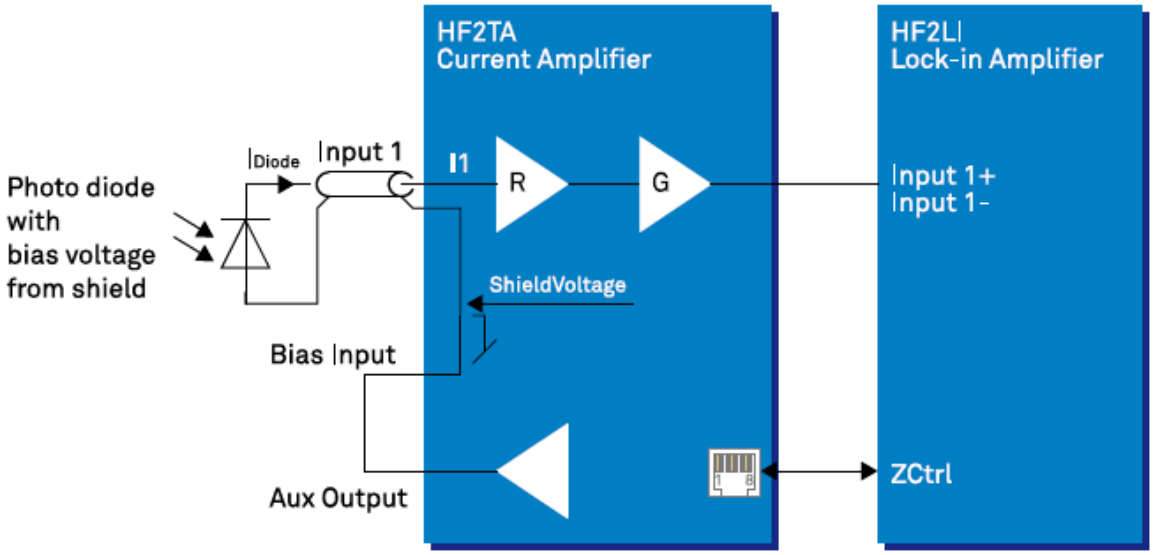


图 11.6. 使用单根同轴电缆连接的 HF2TA 光电二极管放大器

11.4.3. 使用 HF2IS 进行阻抗测量

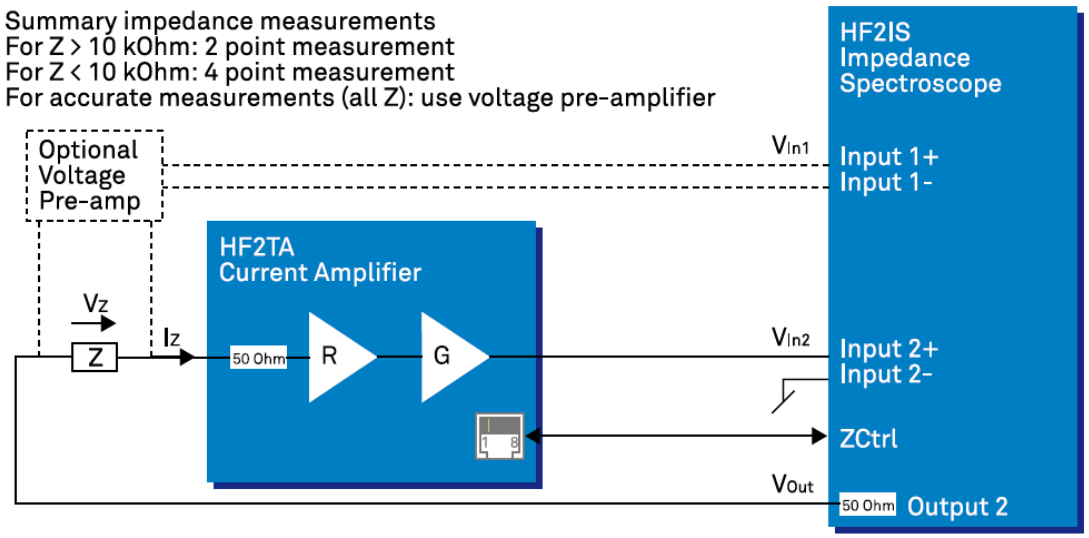


图 11.7. 使用 HF2TA 测量阻抗

HF2TA 电流放大器可与 HF2IS 仪器配合使用，在高达 50 MHz 的频率下测量极宽范围内的阻抗。上图中的连接图显示了目标阻抗 Z 到 HF2TA 输入端的连接。有关最优放大与带宽设置，可以参考规格部分中的表格。需要区分三种情况和应用。

— 测量 Z > 10 kΩ 的阻抗

对于大阻抗，可以忽略 HF2IS 仪器的输出电阻和前置放大器的输入电阻，因此简单的设置即可实现良好的精度。HF2IS 生成幅值为 V_{Out} 的输出信号，前置放大器的输出信号连接到 HF2LI 的正输入端 2+，称为 V_{In}。根据此设置，可以使用以下等式计算阻抗 Z：

$$Z = R * G * V_{Out}/V_{In2}$$

— 测量 Z < 10 kΩ 的阻抗

对于小阻抗和更高精度，需要采用四点测量设置。要达到 1% 范围内的精度，电压 V_Z 可以通过 HF2LI 的二阶差分输入 1+ 和输入 1- 直接测量。在这种情况下，选择高阻输入阻抗选件 (1 MT) 非常重要，否则会在测量仪器中消耗过多的电流。此外，HF2LI 应配置为差分测量。所产生的阻抗 Z 可以使用以下等式计算：

$$Z = R * G * V_Z/V_{In2} = R * G * V_{In1}/V_{In2}$$

– 高精度测量阻抗（所有 Z 值）

四点测量设置通过同时兼顾流经被测阻抗的电流和电流引起的压降来实现最准确的测量。为了实现优于 1% 的精度，建议使用具有高阻输入级的电压前置放大器来测量阻抗 $V_Z = V_{In1}$ 两端的电压。假设 Vin2、R 和 G 分别是 HF2TA 的输出、电阻设置和增益，则所得出的阻抗计算等式将与前例类似：

$$Z = R * G * V_Z/V_{In2} = R * G * V_{In1}/V_{In2}$$（假设电压前置放大器增益 = 1）

下图显示了如何设置四点测量。

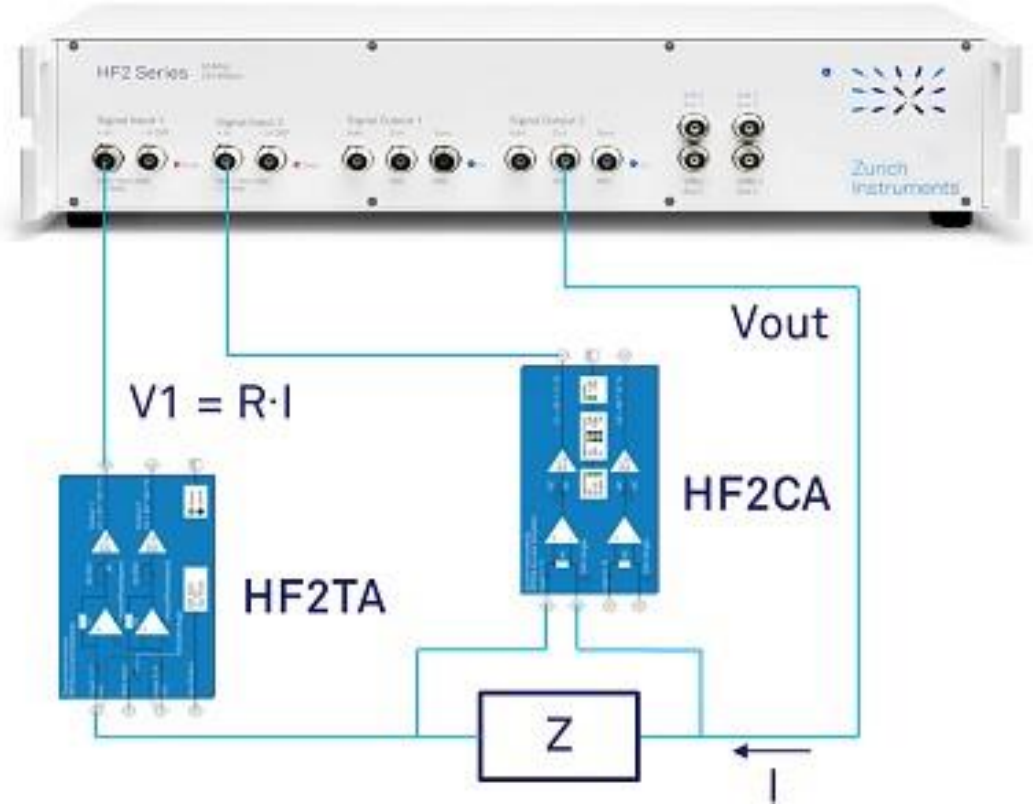


图 11.8. HF2IS 四点测量设置

请注意，电压测量通过 HF2CA 以差分方式进行，然后转换为 HF2IS 的单端输入，而电流测量在整个电流测量路径中保持单端。 HF2TA 和 HF2CA 都可使用 THE_LabOne UI 进行控制。当它们通过以太网电缆连接到 HF2IS 仪器的后面板时，LabOne 将自动添加一个“ HF2TA”或“HF2CA”选项卡，如下面的屏幕截图所示。

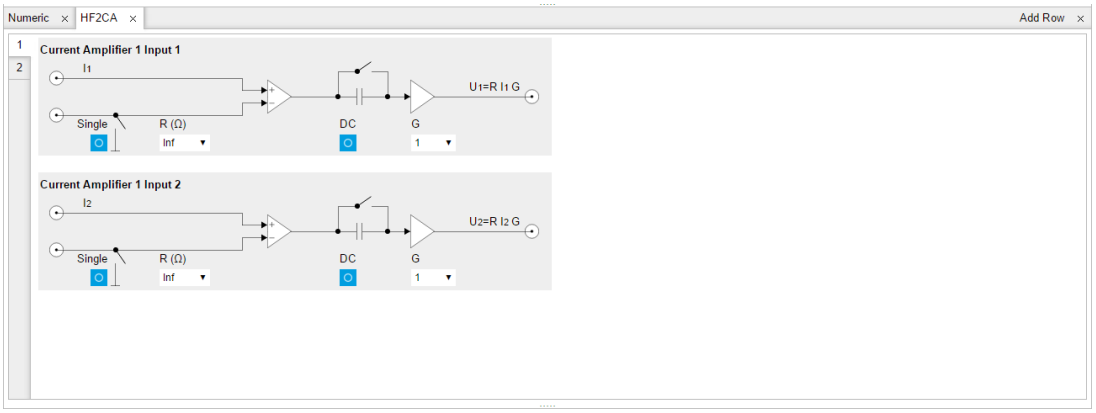


图 11.9.“HF2CA”选项卡

图 11.10.“ HF2TA”选项卡

HF2TA 和 HF2CA 均可在 AC 耦合或 DC 输入下工作。 HF2TA 的高通截止频率为 10 Hz，而 HF2CA 的高通截止频率为 100 Hz。建议不要为 HF2CA 选择 R1 和 R2 值以获得最大输入阻抗（即通过 HF2CA 输入端无信号电流损耗），从而实现最准确的电流测量。

11.5. 性能测试

本节介绍了两个测试，它们可用于测量 HF2TA 的 DC 泄漏和 AC 噪声。用户可执行这两项测试，对 HF2TA 测量的有效性进行正常性检查。

表 11.5. 必要设备

所需设备	规格	推荐设备
HF2LI 仪器	无需额外安装选件	HF2LI 或 HF2IS
HF2TA 电流放大器	HF2TA 规格	HF2TA
数字万用表	0.1 mV 分辨率，量程为 20 V	Agilent 34410A
SMA 到 BNC 的电缆	2 x 50Ω，公对公连接器	由瑞士苏黎世仪器提供
以太网电缆	Category 5 或 6	由瑞士苏黎世仪器提供

测试必须满足下列条件：

1. 测试设备必须连接到同一 AC 电源电路。如果您不确定 AC 电源电路的分布，请使用通用电源板并将所有测试设备连接至其中。将测试设备连接到单独的 AC 电源电路会导致设备之间出现偏移电压，从而使验证测试无效。
2. 为获得准确结果，请让测试设备预热至少 30 分钟。
3. HF2LI 仪器以及 HF2TA 跨阻抗放大器均由 LabOne 软件控制。请确保主机上安装了最新版本的 LabOne 软件包。有关软件安装说明，请参见第 1 章。

HF2TA 跨阻抗放大器配有 2 个模拟输入通道、2 个模拟输出通道、1 个外部偏置输入端以及 1 个辅助输出端。出于以下测试的目的，将不使用外部偏置输入。一个通道的测试设置同样适用于另一个通道。

11.5.1. 输入泄漏测试

定义

此测试旨在测量 HF2TA 的 DC 输入泄漏电流。

设置

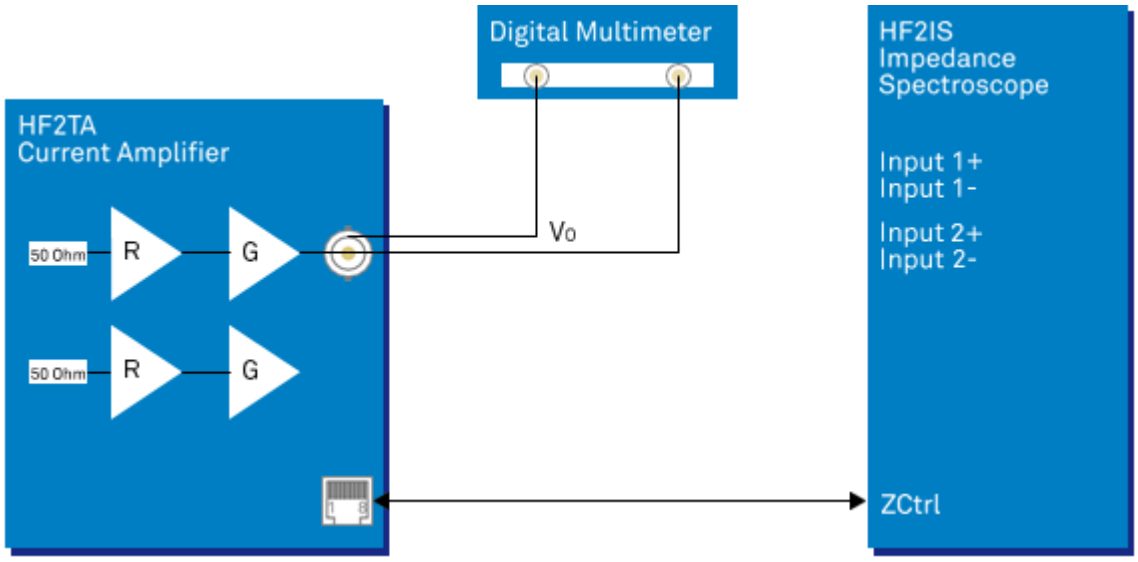


图 11.11. HF2TA DC 输入泄漏测量设置

HF2TA 通过用于配置 HF2TA 的以太网电缆连接到 HF2LI 仪器。HF2LI 仪器不用于测量。

表 11.6. HF2TA 设置

Ch1 Offset (V)	0.0 V
Ch1 R (V/A)	1 k 和 100 M
Ch1 AC	OFF
G	1
Input Shield	GND
Aux Output (V)	0.0 V

测量

DC 泄漏电流的估算方法是从内部偏移量和输入泄漏引起的总偏移量 V_{O2} 中减去放大器的固有 DC 偏移量 V_{O1}。在此测试中， HF2TA 的输入端保持开启状态。然后，采用数字万用表来测量输出，如图所示。通过将跨阻抗电阻 R 设置为 1 k，可估算出输入偏移量 V_{O1}. 通过将跨阻抗电阻 R 设置为 100 MΩ，可以估算出输入偏移量加上泄漏的总和 V_{O2}。然后，使用下列等式计算出大概的泄漏情况：

$$I_{leakage} = \frac{V_{O2} - V_{O1}}{100\ M\Omega}$$

11.5.2. 输入噪声测试

定义

HF2TA 跨阻抗放大器自身产生的噪声可表示为输入相关电流噪声。通过以下设置说明，用户能够通过测量验证其 HF2TA 设备是否确实具有表 11.4 中所指定的相同噪声水平。

设置

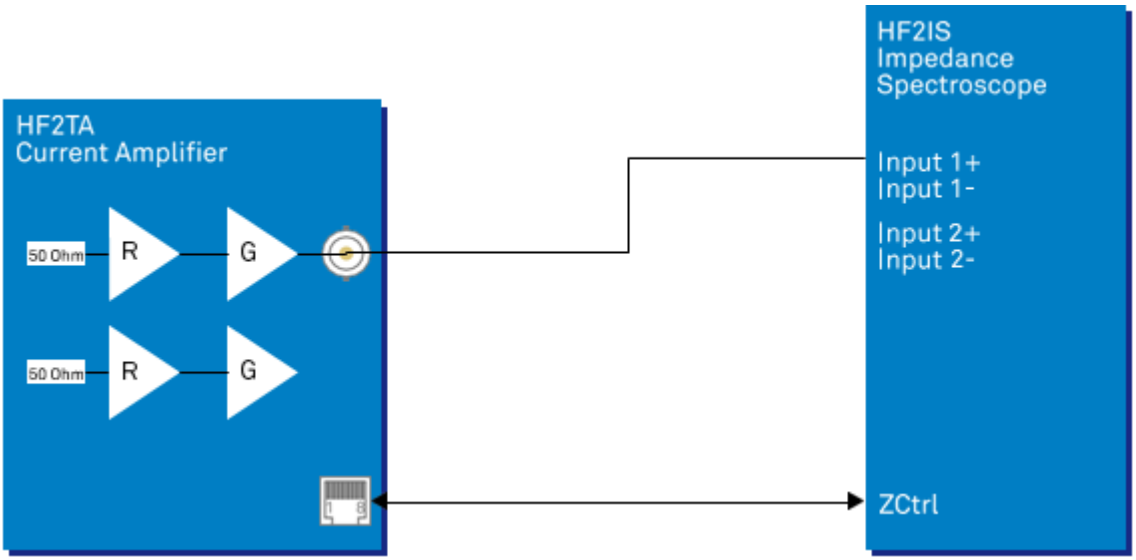


图 11.12. HF2TA 同等输入电流噪声

在此测试中， HF2TA 跨阻抗放大器输入端保持开启状态。测试目的是评估来自放大器本身的输出噪声对输入端的总体影响，而非来自其他外部电路的影响。 HF2TA 的输入端保持开启状态时，由于不需要驱动电压，所以仅需在 HF2LI 仪器中定义扫描范围。

用于测试的 HF2LI 仪器设置如下表所示。

表 11.7. HF2LI 仪器设置

Ch1 Signal Inputs Range	自动范围
Ch1 Signal Inputs AC/ Diff/ 50	ON
Ch1 Scale	1/R
Filter BW 设置类型	BW NEP（噪声同等电源 BW）
Filter BW	1 Hz

请注意，“Scale”已设置为“1/R”，其中 R 是 HF2TA 跨阻抗值。此设置是为获得反馈到输入端的相关噪声电流。

测量

Sweeper 用于测量，设置如下：

表 11.8. 扫频设置

Sweep Range Start	1 kHz
Sweep Range Stop	50 MHz
Sweep Range Points	50
Sweep Range Log Sweep	ON

要让 LabOne 选择合适的滤波、平均和显示设置，只需在“Settings”子选项卡中选择“Noise Amplitude Sweep”作为应用即可。将“Precision”设置为“High”，然后开始扫频以测量指定频率上的噪声。除以 HF2TA 跨阻抗增益后，可以将结果与输入相关噪声表中的值进行比较。

11.6. 电缆推荐

表 11.9. HF2TA 电缆推荐

功能	连接端口/电缆类型	供应商/部件号
SMA 到 BNC 的连接		
SMA 到 BNC 的电缆	BNC 插孔到 SMA 插头	Digikey J3606-ND
SMA 到 BNC 的适配器	BNC 插孔到 SMA 插头	Digikey J10098-ND
		Farnell / Newark 4195930
	BNC 插头到 SMB 插头	Farnell / Newark 1654647
		Digikey ACX1324-ND
自定义接入或电缆组件		
电缆	电缆类型 RG-174	Digikey A307-100-ND
		Farnell / Newark 1387745
SMA 到电缆	SMA 插头到 RG-174 电缆	Digikey A32326-ND
		Farnell / Newark 2112459
BNC 到电缆	BNC 插头到 RG-174 电缆	Tyco Electronics 1-5227079-6
		Digikey A32212-ND
		Farnell / Newark 1831701

术语表

本术语表针对众多测量仪器相关术语（包括本用户手册中使用的缩写）提供简单易懂的说明。

A

A/D	模拟到数字。 另请参见 ADC
AC	交流电流
ADC	模数转换器
AM	调幅
调幅 AFM (AM-AFM)	AFM 模式，以驱动信号和测量信号之间的幅值变化对形貌图或测量的 AFM 变量进行编码。 另请参见原子力显微镜。
API	应用程序编程接口
ASCII	美国信息交换标准代码
原子力显微镜 (AFM)	通过振荡式机械结构（例如悬臂、音叉）扫描表面的显微镜，其振荡尖头在静电、化学、磁力或其他力的作用下非常接近表面，从而进入相互作用状态。借助 AFM 就可能生成具有原子分辨率的图像。 另请参见调幅 AFM、调频 AFM、调相 AFM。
AVAR	阿伦方差

B

带宽 (BW)	信号带宽表示信号中期望的最高频率分量。滤波器的信号带宽就是截止点，此时系统的传递函数相对于 DC 显示 3 dB 的衰减。在这种情况下，带宽就是截止频率 $f_{cut\text{-}off}$ 或 3dB 频率 $f_{\text{-}3dB}$ 的同义词。带宽的概念用于信号的动态行为很重要的情况或需要分离不同信号的情况。 在开环或闭环系统中，带宽可用于指示系统的最快速度或系统可实现的最高信号更新变化速率。 有时，带宽这一术语会被错误地用作频率范围的同义词。 另请参见噪声等效功率带宽。
BNC	尼尔-康塞曼卡口连接端口

C

CF	时钟故障（内部处理器时钟丢失）
共模抑制比率 (CMRR)	差分放大器（或其他设备）的规格，用于指示放大器在抑制与信号无差异的分量（共模）的同时，获得两个输入之差的能力。在期望信号由叠加在（可能较大的）电压偏移上的较小电压波动表示时，或者当相关信息包含在两个

	信号之间的电压差值中时，必须具有较高的 CMRR。共模抑制比率最简单的数学定义是：CMRR = 20 * log（差分增益/共模增益）。
CSV	逗号分隔值

D

D/A	数字到模拟
DAC	数模转换器
DC	直流
DDS	直接数字合成
DHCP	动态主机配置协议
DIO	数字输入/输出
DNS	域名服务器
DSP	数字信号处理器
DUT	被测设备
动态储备 (DR)	锁相放大器在非参考频率下承受干扰信号和噪声，同时在信号带宽内保持指定测量精度的能力的度量。

E

XML	可扩展标记语言。 另请参见 XML。

F

FFT	快速傅里叶变换
FIFO	先进先出
FM	调频
频率准确度 (FA)	仪器对照可追踪标准如实指示正确频率的能力的度量。
调频 AFM (FM-AFM)	AFM 模式下，以驱动信号和测量信号之间的幅值变化对形貌图或测量的 AFM 变量进行编码。 另请参见原子力显微镜。
频率响应分析仪	能够刺激被测设备并以细粒度绘制可选频率范围内的频率响应的仪器。
扫频器	另请参见频率响应分析仪。

G

增益相位计	另请参见矢量网络分析仪。
GPIB	通用接口总线
GUI	图形用户界面

I

I/O	输入/输出
阻抗谱仪 (IS)	适合刺激被测设备并在可选频率下（通过电流测量）测量阻抗及其幅值和相位随时间变化的仪器。输出为与刺激信号相关的幅值和相位信息。
输入幅值精度 (IAA)	仪器对照可追踪标准如实指示输入通道中的信号幅值的能力的度量。
输入电压噪声	仪器产生的总噪声，所指为信号输入，因此表示为测量信号的额外噪声源。
IP	互联网协议

L

LAN	局域网
LED	发光二极管
锁相放大器（LI、LIA）	适用于采集噪声环境中的微弱信号或快速变化且具有良好信噪比的信号的仪器。锁相放大器通过以合适的参考频率进行解调来恢复已知信号频率的期望信号。解调得出信号与参考信号相比的幅值和相位：复平面 (X, Y)、(R, Θ) 中的值对。

M

媒体访问控制地址（MAC 地址）	指为进行物理网络通信而分配给网络适配器的唯一标识符。
多频 (MF)	指同时测量以任意频率调制的信号。多频的目的一是增加可从测量中得到的信息，这对一次性的非重复事件特别重要，二是提高测量的速度，因为无需逐一应用不同的频率。 另请参见多谐波。
多谐波 (MH)	指同时测量以不同谐波频率调制的信号。多频的目的一是增加可从测量中得到的信息，这对一次性的非重复事件特别重要，二是提高测量的速度，因为无需逐一应用不同的频率。 另请参见多频。

N

噪声等效功率带宽 (NEPBW)	考虑频谱中低通滤波器传递函数下方面积的有效带宽。NEPBW 用于某一带宽内的功率量很重要的情况，例如噪声测量。该单位对应的是在等效频率下具有无限陡度的完美滤波器。 另请参见带宽。
奈奎斯特频率 (NF)	对于采样的模拟信号，奈奎斯特频率相当于信号转换后正确表示的最高频率分量的两倍。

O

输出幅值精度 (OAA)	仪器对照可追踪标准在给定频率下如实输出设定电压的能力的度量。
OV	电压过载（信号输出饱和与信号削波）

P

PC	个人计算机
PD	鉴相器
锁相环 (PLL)	用于跟踪和控制指定频率的电子电路。为此生成外部信号的副本，其与原始信号同相，但通常具有更好的频谱特性。它可用于频率稳定、频率倍增或频率恢复。在模拟和数字实现中，它都由鉴相器、环路滤波器、控制器和振荡器组成。
调相 AFM (PM-AFM)	AFM 模式下，以驱动信号和测量信号之间的幅值变化对形貌图或测量的 AFM 变量进行编码。 另请参见原子力显微镜。
PID	比例-积分-微分
PL	数据包丢失（仪器和主机之间的数据包丢失）

R

RISC	精简指令集计算机
均方根 (RMS)	变化量的大小的统计量度。尤其适用于变量具有正负数值（例如正弦波、锯齿波、方波）的情况。对于正弦波，幅值和 RMS 值之间存在以下关系：$U_{RMS}=U_{PK}/\sqrt{2}=U_{PK}/1.41$。RMS 也称为均方值。
RT	实时

S

标量网络分析仪 (SNA)	对仅提供幅值（增益）信息的模拟输入信号电压进行测量的仪器。 另请参见频谱分析仪、矢量网络分析仪。
SL	样本丢失（仪器和主机之间的样本丢失）
频谱分析仪 (SA)	对仅提供指定频谱内的幅值（增益）信息的模拟输入信号电压进行测量的仪器。 另请参见标量网络分析仪。
SSH	安全外壳

T

TC	时间常数
TCP/IP	传输控制协议/互联网协议
线程	由处理器执行的独立指令序列。
总谐波失真 (THD)	信号通道（输入和输出）非线性的度量
TTL	晶体管-晶体管逻辑电平

U

UHF	超高频率
UHS	超高稳定性
USB	通用串行总线

V

VCO	压控振荡器
矢量网络分析仪 (VNA)	测量电网网络参数（通常表示为 S 参数）的仪器。为此，VCO 对同时提供幅值（增益）和相位信息的输入信号的电压进行测量。由于这一特性，该仪器曾被称为增益相位计。 另请参见增益相位计、标量网络分析仪。

X

XML	可扩展标记语言：定义一组规则以便以人类和机器均可读的格式对文档进行编码的标记语言。

Z

ZCtrl	瑞士苏黎世仪器控制总线
选带傅里叶变换	此技术用于对解调样本（例如在锁相放大器之后）执行 FFT。由于 FFT 的分辨率取决于采集的点数和时间跨度（而非采样率），因此可以获得非常高分辨率的频谱分析。
ZSync	瑞士苏黎世仪器同步总线

索引

A

衰减，54
自动保存，106，106
“Auxiliary”
  选项卡
    教程，57
“Auxiliary”选项卡，167

B

带宽，286，299
  解调器，275
  限制，53

C

CA，205
校准，9
  出厂，33
CMRR，273，303
命令行，17
主机的要求，31
“Config”选项卡，173
耦合
  AC，50，122，130
光标
  说明，97
截止频率，299

D

损坏阈值，271
“DAQ”选项卡，149
数据服务器
  节点，229
解调器
  框图，122，130
解调器稳定时间，161
“Device”选项卡，178
Diff，51
Differential 模式，51
DIO，274
“DIO”选项卡，171
动态储备，273

F

文件格式，107
“Files”选项卡，180
滤波器，301
  补偿，308
  Settings，63
  稳定时间，301，301
  正弦，160，275，305
滤波器斜率，61
频率
  范围，273，273，274
  分辨率，274
满量程灵敏度，273，303

H

谐波
  失真，283
  抑制，275
HF 输入噪声
  噪声
    HF 输入，281
HF 信号输入，273
HF 信号输出，275
HF2LI 后面板，42
HF2LI 前面板，40
HF2LI 功能图，36
历史记录，105，105

I

阻抗
  输入，50，122，130
输入
HF，273
输入范围
  AC 耦合，273
  DC 耦合，273
  settings，273
“Inputs/Outputs”选项卡，169
安装
  Linux，16
  Windows，13

L

LabOne UI

教程，50
LabVIEW
API，213
Linux
软件安装，15
锁相
原理，295
选项卡
教程，50
“Lock-in”选项卡，121
带多频 (MF) 选件，137
日志文件，33

M

“Math”子选项卡
说明，96
“MOD”选项卡，197
调制
幅值，68
教程，68
频率，73
教程，73
调制选件
框图，198
鼠标功能
说明，95
“Multi Device Sync”选项卡，201
多频，47
选项卡，50

N

NEPBW，54，299
节点
概念，63
叶子，215，219
清单节点，244
节点层次结构，215
属性，230
服务器节点，231
类型，230
噪声
1/f，297
HF 输入，281
相位噪声，276
教程，49
“Numeric”选项卡，137
数值
工具
教程，49
奎斯特采样定理，51

O

示波器
工具
教程，53
输出
ADD，60，276
HF，275
同步，39

P

性能图，281
相位
分辨率，274
锁相环
PLL
教程，76，79
PID
框图，183
PID Advisor
教程，81
“PID”选项卡，182
PLL
框图，193
“PLL”选项卡，192
“Plotter”选项卡，139
轮询数据
概念，216
前置放大器
CA，206
TA，208

Q

正交，297

R

“Real-time”选项卡，205
参考模式

自动，46
¥外部，45，274
教程，64，**错误!未定义书签。**
内部，44，273
参考信号，273，297
远程控制，95
RMS 值，298

S

保存数据，104
“Scope”选项卡，140
自校准，32
灵敏度
满量程灵敏度，303
软件安装
命令行，17
Linux，16
要求
Linux，16
支持的 Linux 版本，16
Windows，13
软件启动，21
光谱仪
工具
教程，53
“Spectrum Analyzer”选项卡，155
稳定性
输入幅值，273
状态栏
说明，95
Sweeper
工具
教程，54
“Sweeper”选项卡，159

T

TA，208
时间常数，275
工具箱
说明，93
传递函数，54
树状选择器
说明，100
趋势
说明，102
教程
LabOne UI，50

U

UHS，277
更新
LabOne，30
用户界面
说明，92

V

纵坐标组
说明，100

W

Windows
软件安装，13

Z

ZCtrl，38
ziServer，213，226
检查状态，215
在 Linux 上，220
在 Windows 上，218
ziService (Linux)，17
ziService，215
ziService 程序，16
ZoomFFT，55，308
工具
教程，55
ZSync，38