



LibreVNA 用户手册和编程 指导

LibreVNA

User manual and Programming guide

V2.0

泰瑞合劲（天津）科技有限公司

2026-09-20



目录

LibreVNA用户手册和编程指导	1
1 概述	7
1.1 USB.....	8
1.2 外观尺寸与重量.....	8
1.3 外部电源.....	8
1.4 射频端口.....	8
1.5 LEDs.....	9
1.6 参考输出.....	9
1.7 参考输入.....	9
2 开始使用	9
2.1 GUI元素类型.....	10
2.2 常见的GUI元素.....	10
2.2.0.1 输入值.....	10
2.2.1 参考工具栏.....	11
2.2.2 设备日志Docker.....	11
2.2.3 文件菜单.....	11
2.2.4 设备菜单.....	12
2.2.5 窗口菜单.....	12
3 矢量网络分析仪	13
3.1 信号处理体系架构.....	13
3.2 扫描工具栏.....	14
3.3 采集工具栏.....	14
3.4 迹线.....	14
3.4.1 迹线数据源.....	15
3.4.2 数学操作.....	17
3.5 校准.....	22
3.5.1 介绍.....	22
3.5.2 类型.....	23
3.5.3 校准工具参数设定.....	23
3.5.4 测量.....	28



3.5.5 启用校准.....	31
3.5.6 Saving/Loading.....	31
3.5.7 为一个设备分配一个默认的校准.....	31
3.5.8 查看误差项/校准测量值.....	31
3.5.9 电子校准.....	31
3.6 去嵌入修正.....	33
3.6.1 端口扩展.....	34
3.6.2 Two Thru.....	36
3.6.3 匹配网络.....	37
3.6.4 阻抗重归一化.....	38
4 信号发生器	38
5 频谱分析仪	38
5.1 采集工具栏.....	39
5.2 跟踪信号源工具栏.....	40
6 视图	40
6.1 视图通用设置.....	40
6.2 创建和定位视图:	41
6.3 添加和删除迹线.....	42
6.4 SmithChart (史密斯圆图).....	42
6.5 XY直角坐标系视图.....	44
6.5.1 Limit lines规则线.....	46
6.6 Waterfall瀑布图.....	47
6.7 Polar Chart极坐标图.....	49
6.8 Eye Diagram眼图.....	50
7 Markers标记	50
7.1 创建和删除标记.....	52
7.2 标记类型.....	52
7.2.1 手册.....	53
7.2.2 最大值.....	53
7.2.3 最小值.....	53
7.2.4 三角洲.....	53



7.2.5 峰值表.....	54
7.2.6 低通.....	55
7.2.7 高通.....	56
7.2.8 带通.....	56
7.2.9 T01/IP3.....	58
7.2.10 相噪声.....	59
7.2.11 P1dB.....	59
7.3 标记数据.....	60
7.4 链接标记.....	62
7.4.1 创建一个新的链接组.....	62
7.4.2 向现有的链接组添加一个标记.....	62
7.4.3 从一个链接的组中删除一个标记.....	62
8 复合装置	62
8.1 创建复合设备.....	62
8.2 连接到复合设备.....	64
8.3 限制.....	64
9 振幅校准	65
9.1 源校准.....	65
9.2 接收机校准.....	67
10 故障排除	67



注意事项:

本产品内部不包含锂电池，但因为精密仪器，所以需要在保存和运输过程中采用防压包装。
因为本产品被少数不法商家仿制，这些不法商家炒作信誉同时根本不进行射频性能优化，所以非本公司通过淘宝或者公对公销售的产品，本公司一律不负责维护和培训服务。

法律内容:

LibreVNA 的名称以及 LibreVNA 徽标是我们拥有的注册商标。未经书面许可，不允许其他人使用 LibreVNA 这个名字用于任何矢量网络分析仪产品。

版本信息:

版本信息	撰写人	更新内容	更新日期
V1.0	Terry Kong	初始版本	2024-06-12
V1.1	Terry Kong	修改了产品范围	2024-09-22
V1.2	Terry Kong	修改了部分内容	2025-02-19
V1.3	Terry Kong	增加了 LibreVNA 的外观尺寸和重量信息，修改了迹线的说明	2025-06-27
V1.4	Terry Kong	修改优化了迹线和校准方面的说明	2025-07-02
V1.5	Terry Kong	修改优化了视图方面的说明	2025-07-12
V1.6	Terry Kong	修改优化了极坐标眼图方面的说明	2025-07-26
V1.7	Terry Kong	增加了 LibreVNA 的实物展示图	2025-11-27
V1.8	Terry Kong	增加了去嵌入功能的使用方法	2026-03-31
V1.9	Terry Kong	增加了 LibreVNA 的性能参数	2026-08-28
V2.0	Terry Kong	增加了 LibreVNA 的复合设备说明	2026-09-20

手册编号: TR-240102

手册出品方:

泰瑞合劲（天津）科技有限公司，
营业地址：天津市南开区科研东路西侧天津科技广场 6-2-1108（天开园）
电话号码：13920616671
Email: 14025259@qq.com
公司主页: <https://www.tinyrfequip.com/>

公司主营:

提供定制化的微型，高效的射频微波测试设备，射频模块以及测试用 Firmware 和 Software 软件。这些射频产品主要用来满足工厂、科研单位、无线电爱好者基本的测试需求，以及学生学习的需求。本公司秉持



自由开放的合作原则，互利互惠，互相学习，互相进步，希望可以和客户进行更专业，更快捷地交流，解决射频领域的实际问题，本公司力争为客户获得最大的经济投入产出比。

同时本工作室提供维修，在线培训咨询，更多信息请直接联系淘宝或者 email。

目前硬件产品主要有：

TinySA, TinySA Ultra, NanoVNA-F V2, NanoVNA-F V3, LiteVNA, LibreVNA, Near Field RF Probe, RF Detector V2, TinyRFSG

目前的软件产品主要有：

LibreVNA 上位机 App 定制化开发。TinySA and Ultra 上位机 App 定制化开发。

视频教学：

可以在 B 站也就是哔哩哔哩网站搜索 TinyRFEquip 账号找到介绍 LibreVNA 以及其他 TinyRFEquip 仪器的主要功能介绍视频。例如：

【网络分析仪 LibreVNA GUI1.5.0 上位机软件使用方法讲解】

https://www.bilibili.com/video/BV12J4m1x7nA/?share_source=copy_web&vd_source=d519ee7a9be5476572ff4f4f0ad27c58

中文手册：

可以在下面的百度网盘链接中找到并下载所有相关的中文用户手册和编程指导

链接：<https://pan.baidu.com/s/1Pw8IUImyIvtcwsUkTD7zTg?pwd=nhyi>

提取码：nhyi



1 概述

LibreVNA Preliminary Specifications

VNA

Parameter	Conditions	Min	Typ	Max	Unit
Frequency range	native	100 kHz		6 GHz	
Stimulus power	with harmonic mixing up to		8 GHz		
Dynamic range	stimulus 0 dBm, 10 Hz IF BW	-40		0 ¹	dBm
	<1 MHz		60		dB
	1-5 MHz		80		dB
	5-2940 MHz, S ₁₂	75	85		dB
	5-2940 MHz, S ₂₁	85	105		dB
	>2940 MHz, S ₁₂	40	55		dB
	>2940 MHz, S ₂₁	50	60		dB
IF Bandwidth		10		50k	Hz
Acquisition speed	50 kHz IF BW		10k		points/s

¹ Maximum power drops with increasing frequency

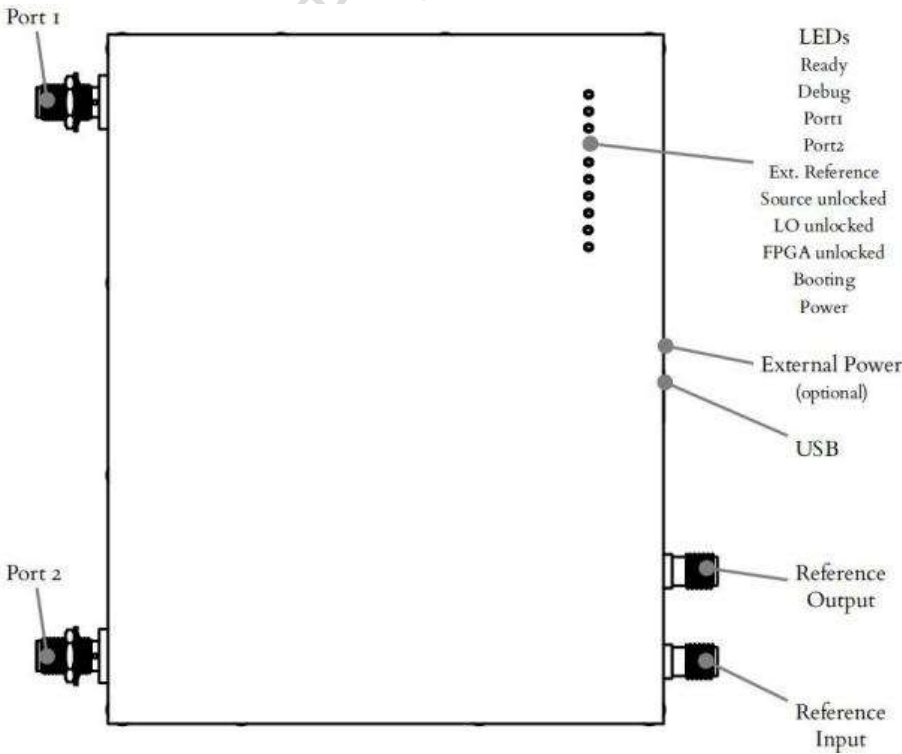
Signal Generator

Parameter	Conditions	Min	Typ	Max	Unit
Frequency range		100 kHz		6 GHz	
Output power		-40		0 ¹	dBm

¹ Maximum power drops with increasing frequency

Spectrum Analyzer

Parameter	Conditions	Min	Typ	Max	Unit
Frequency range		100 kHz		6 GHz	
Input power				-5	dBm
Resolution bandwidth		13		112k	Hz
Phase noise	1 GHz, 10 kHz offset		-103		dBc/Hz





LibreVNA 2025 Plus



LibreVNA 2025 Normal

1.1 USB

LibreVNA使用一个USB-C连接器作为电源和数据传输。该硬件支持USB电源传输标准，需要5V，并吸收高达1.2 A的电流。

所实现的USB设备仅限于USB 2.0全长，数据传输将使用任何USB 2.0或3.0端口（不需要USB-C）。但是，当前的消耗超过了USB 2.0和3.0端口的规格，当没有应用外部电源辅助时，LibreVNA可能无法完全启动。强烈建议在使用LibreVNA的时候，同时连接USB和外接电源。

1.2 外观尺寸与重量

LibreVNA 2025 Normal 单机尺寸120*100*15mm，保护盒尺寸180*140*50mm，单机重量370.5g，保护盒+配件重量572.5g。

LibreVNA 2025 Plus 单机尺寸120*100*20mm，保护盒尺寸180*140*50mm，单机重量415g，保护盒+配件重量612g。

1.3 外部电源

外部直流电源输入插孔(5 V，1.5A，正中心引脚)。如果连接了电源，则会从USB端口抽取少量电流。

1.4 射频端口

两个SMA母头的射频连接器，用以连接DUT。这两个端口是相同的，设备支持完整的S参数测量(S11, S21, S12 和 S22)。



RF端口没有输入保护，请勿施加大于等于+10dBm的信号



1.5 LEDs

10个LED从上到下表示以下状态：

- 1.准备就绪（绿色）表示完全启动的LibreVNA，准备进行测量
- 2.调试（绿色）目前未使用
- 3.端口1（绿色）端口1上的主动输出信号
- 4.端口2（绿色）端口2上的主动输出信号
- 5.Ext.参考（绿色）使用中的外部参考
- 6.源解锁（红色）源PLL锁定失败（可能在扫描期间短暂打开，这不是问题）
- 7.LO解锁（红色）的LO PLL锁定失败（它可能会在扫描期间短暂打开，这不是问题）
- 8.FPGA解锁（红色）FPGA时钟PLL锁定失败
- 9.启动（红色）表示引导过程，也用于错误代码
- 10.电源（绿色）USB电源有效

1.6 参考输出

可选的参考输出端口（用户可选择的10 MHz或100 MHz）。输出功率约为+3 dBm。

1.7 参考输入

高阻抗参考输入端口。当一个10 MHz的输入信号时，它可以覆盖内部TCXO。

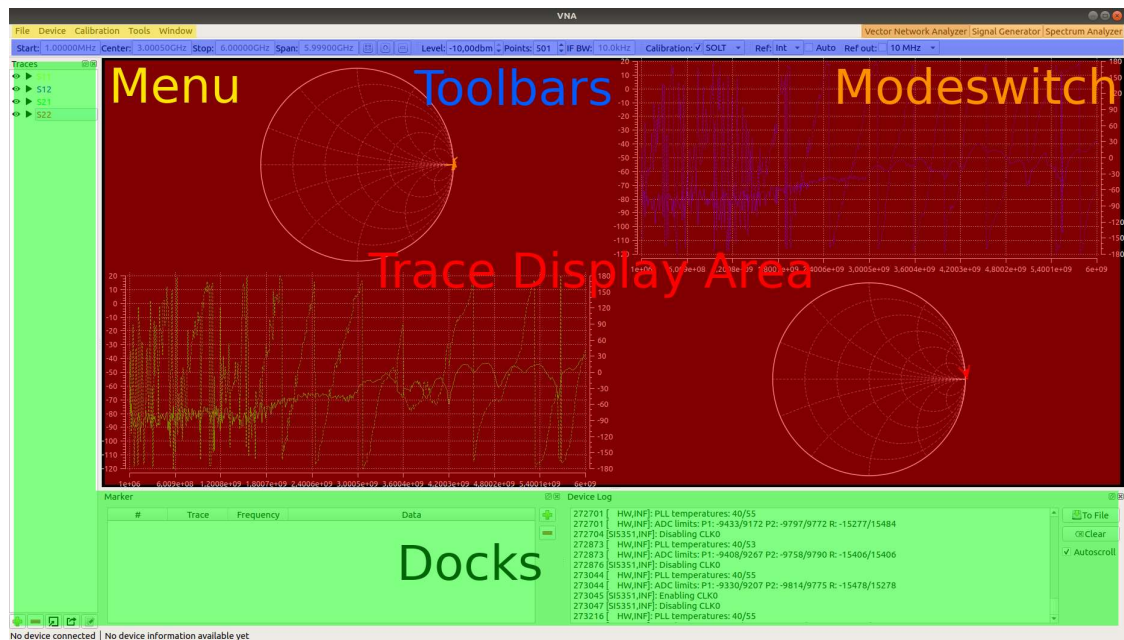


由于高阻抗输入，外部输入在接收外部辐射时可以检测到有效的信号。如果出现此问题，请终止参考输入连接器或禁用自动参考切换。

2 开始使用

使用TypeC转USB线将LibreVNA连接到计算机上，务必同时连接上电源线。几秒钟后，“电源”和“准备就绪”的LED应该保持不变。如果“准备就绪”指示灯未打开，或“启动”指示灯显示错误代码，则出现问题且设备无法正常工作。有关可能的解决方案，请参见第10节。

1. 启动PC应用程序以连接到LibreVNA。窗口看起来应该如下图所示，后续可能会因为上位机GUI的升级导致改变：



2.1 GUI元素类型

- LibreVNA应用程序由六个包含不同类型控制的区域组成。
- Trace Display Area: 在各种视图中显示测量数据。
- 工具栏提供了对常用设备设置的访问。
- 左上角的Menu菜单处理不太常见的设置或更复杂的操作（通常带有额外的弹出窗口）。
- Docks主要提供对显示相关设置的访问，如迹线和标记。它们能重新排列或禁用（参见第2.2.5节）。
- 底部的状态栏显示了有关所连接设备的一些基本信息。如果错误条件(例如: ADC 过载)是否存在，已经产品的温度。
- 右上角的Table允许改变LibreVNA的操作模式。虽然它主要是设计为一个矢量网络分析仪，但硬件架构允许它作为频谱仪或者信号源使用。

2.2常见的GUI元素

无论所选择的模式如何，某些控制元件始终是可用的。它们控制不特定于任何操作模式的 LibreVNA 的设置。

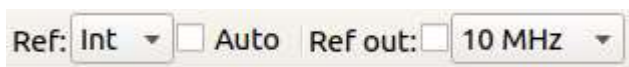
2.2.0.1输入值

大多数输入字段都支持SI前缀。要设置一个新的值，请输入数字后面的一个SI前缀(例如。设置 3.2GHz 按下 **3**, **.**, **2**, **↑**, **G**)。可接受的前缀因输入的不同而不同。（例如：pico是一个有效的电容前缀，而它将被接受为一个频率)。



2.2.1 参考工具栏

参考工具栏控制外部参考输出和输入。



参考可以设置为“Int”（内部TCXO）、“Ext”（外部10 MHz信号）或自动模式。在自动模式下，当检测到信号时，参考信号将切换到外部输入信号，否则，它将使用内部的TCXO。

外部参考输出可以被禁用或设置为10MHz或100MHz。

2.2.2 设备日志Docker

这个Docker显示了LibreVNA的调试输出（与内部UART端口上的消息相同）。它可能有助于识别问题，它不需要进行操作。



2.2.3 文件菜单

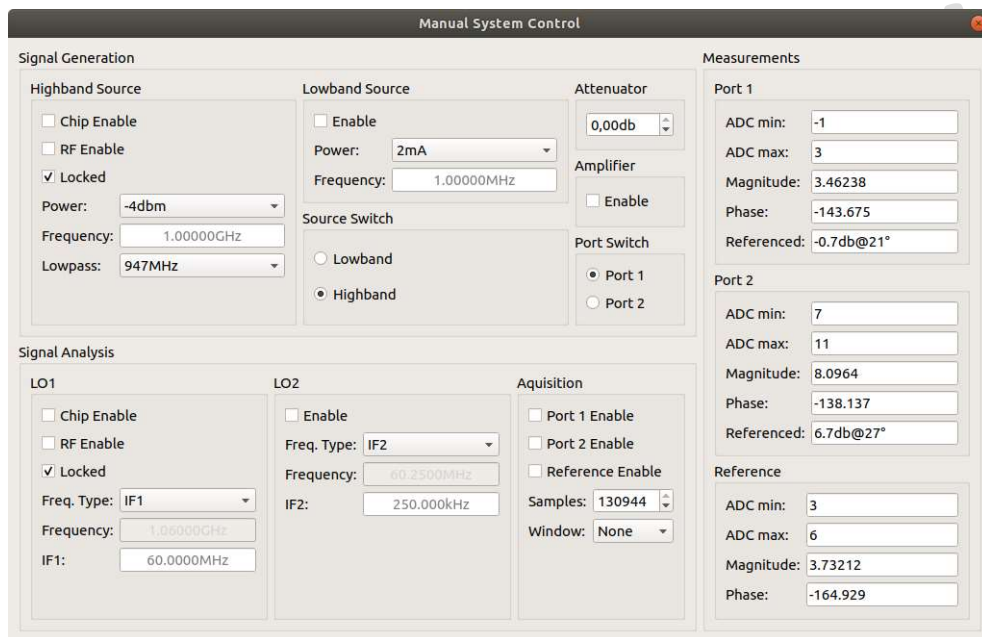
更改应用程序的默认设置可能需要大量的配置，特别是当使用了一些更复杂的数学选项或去嵌入选项时。为了简化这个过程，可以保存和打开设置文件，并自动执行这些步骤。一个设置文件包含这些元素的所有设置和配置：

- 扫描和采样设置（启动/停止频率、中频带宽等）
- 当前有效模式(VNA、信号发生器或频谱仪)
- 迹线属性（名称、颜色、参数、...）
- 应用于迹线的数学操作
- 标记点Marker
- 去嵌入选项
- 图形设置和已启用的迹线

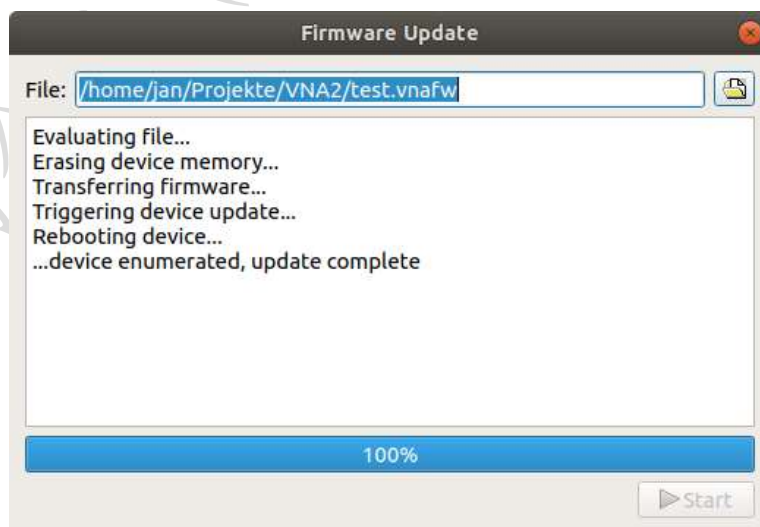


2.2.4 设备菜单

- 设备菜单控制连接状态，允许低级别的硬件访问，并执行固件更新：
- 更新设备列表：扫描已连接设备的USB端口。单击此操作只需更新设备列表，不建立连接。
- 连接到：选择要连接到的LibreVNA。不同的设备通过其序列号进行识别。
- 断开连接：从LibreVNA中断开连接。
- 手动控制：启动手动控制对话框，其中所有硬件设置都可访问（主要用于测试目的）：



- 固件更新：烧录一个新固件到LibreVNA的FPGA芯片中。在更新固件时，不要断开电源连接！



2.2.5 窗口菜单

窗口菜单允许隐藏不需要的工具栏和码头。它还包含一些应用程序首选项。

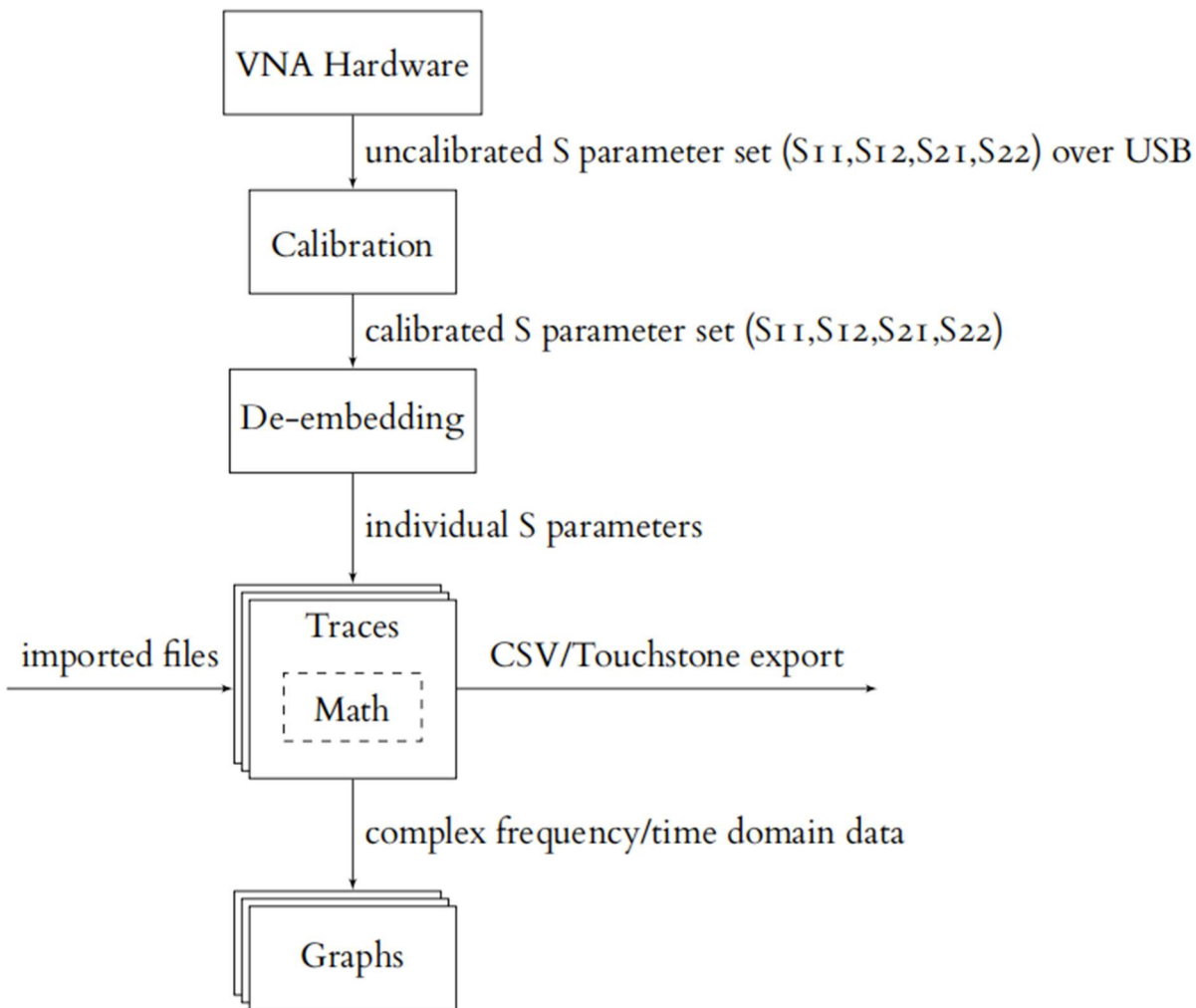


3 矢量网络分析仪

在这种操作模式下，LibreVNA进行S参数测量。产生源信号并交替地施加到射频端口。在两个射频端口的输入信号被测量，结果在四个S参数 S_{11} 和 S_{21} 以及 S_{12} 和 S_{22} 中。

3.1信号处理体系架构

本节包含了LibreVNA应用程序内部的信号流的一些细节。操作LibreVNA并不需要了解信号流的知识，但可能有助于理解某些特性和限制。



信号流的中心要素是轨迹的概念。迹线是由单个S参数跨频率创建的（由LibreVNA测量或从外部文件导入）。一旦数据在一个迹线中被捕获，可选的数学操作可以被应用于它(例如。执行TDR将数据转换为时域)，这些操作的结果将传递到图中。

当从LibreVNA捕获数据时，在将数据输入到迹线之前，会执行其他操作。首先，LibreVNA测量其两个端口之间的四个S参数。原始测量值通过USB传输。第一个处理块是校准（另请参见第3.5节），然后是可选的去嵌入程序。去嵌入后，将四个S参数分割为单独的S参数，并更新相关的轨迹。

当使用LibreVNA时，这个概念有几个后果，其中一些是：



- 您可以随时进行校准测量。不管是如何解答或数学的设置轨迹中的操作，它们将永远不会影响校准例程

- 在使用去除选项之前，需要进行有效的校准（否则，大多数拆卸选项无法正常工作）
- 不可能将校准或去除到从文件中导入的痕迹
- 数据到达轨迹后，S参数不再关联（例如，没有S11和S21之间的连接。可以“暂停”迹线捕获S11时，S21继续更新）

3.2扫描工具栏

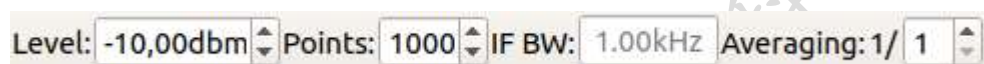
此工具栏可设置扫频的频率范围。



起始频率、中心频率、结束频率以及频率宽度都可以直接设置。

此外，扫描工具栏包含用于围绕中心频率放大的按钮，以及将扫描设置为全频率范围的预设。

3.3采集工具栏



水平：用于产生刺激物的电量。当使用较小的值时，动态范围会减小。建议在测量无源网络时使用最高的可用设置。当测量有源设备时。放大器），降低刺激功率，使任何端口的输入功率不会上升到-10dBm以上，以保持LibreVNA的线性范围内。

点：一次扫描中测量点的数量。更多的点提供更精细的频率分辨率，但也会增加了扫描时间。

中频BW：最终中频测量的带宽。低带宽增加了扫描时间，但提高了噪声流率。在较高的频率（大约高于3 GHz），动态范围受到端口之间隔离的限制，降低中频带宽不再改善噪声。

平均值：在多次扫描中的移动平均值。

3.4 迹线

添加/配置迹线由迹线窗口处理（默认情况下在左侧）：





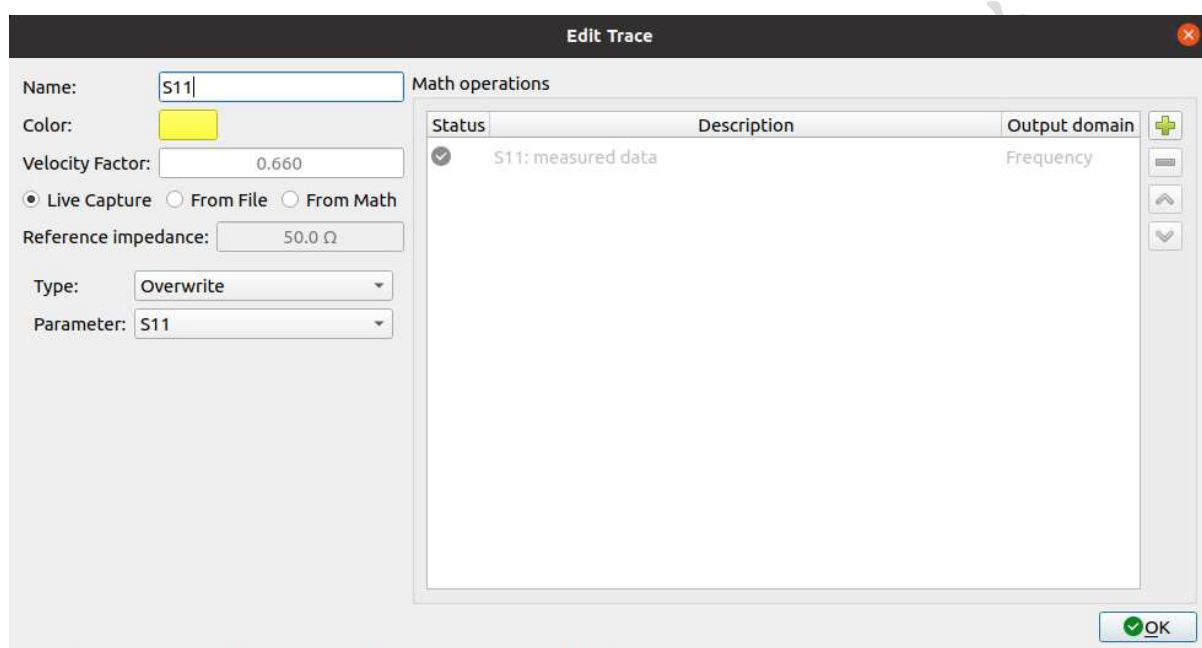
该列表显示了所有可用的迹线，默认情况下是四个S参数S11、S12、S21和S22。迹线名称前面的不同图标

表示迹线的状态。单击其中一个图标将切换以下状态：

：启用/关闭可见性：显示/隐藏启用的所有图形。

：Play/pause.仅在实时采集数据时可用，而从touchstone文件导入创建时不可用。暂停迹线会冻结当前数据，来自LibreVNA的新测量值将不会更新迹线。

：启用/禁用数学计算。仅在至少存在一个数学计算时可用。创建新的迹线或双击现有的迹线将打开“编辑迹线”窗口：



在窗口左侧，可以更改迹线参数，而窗口的右侧则处理将应用于迹线数据的数学操作。可用的迹线参数包括：

- 名称
- 颜色
- 速度因子（仅在转换为时域时相关）
- 数据源（实时捕获、文件和数学计算）

3.4.1 迹线数据源

每个迹线都可以从三个源中的一个接收其数据：

- 实时捕获：从LibreVNA的采样数据实时添加到迹线中。
- 来自文件：从外部touchstone或CSV文件导入静态数据。
- 来自数学计算：将来自其他迹线的数据与数学运算结合起来，以创建一个新的迹线。



3.4.1.1 实时捕获

☒ Live Capture ☐ From File ☐ From Math

Reference impedance: 50.0 Ω

Type: Overwrite

Parameter: S11

迹线通过从LibreVNA接收到的数据不断更新。可用的实时捕获参数包括：

- 类型：实时捕获有三种不同类型：
 - 覆盖：每次扫描都会覆盖原有的迹线数据
 - 最大保持：保存信号幅度最高的迹线数据
 - 最小保持：保存信号幅度最低的迹线数据
- 参数：希望显示的 S 参数

3.4.1.2 来自文件

系统将从指定的文件中提取迹线数据。如果该文件包含多个迹线的数据，则还必须指定正确的参 数。

☐ Live Capture ☒ From File ☐ From Math

Reference impedance: 50.0 Ω

Application/LibreVNA-GUI/uncal.s2p ...

Points: 1000

Lower Frequency: 6.000MHz

Upper Frequency: 6.000GHz

Parameter: S11



3.4.1.3 来自数学计算

☐ Live Capture ☐ From File ☒ From Math

Reference impedance:

Trace Name	Variable Name
☐ S11	
☐ S12	
☒ S21	Forward
☒ S22	Reverse
☐ Trace #1	

Formula:

该迹线将由其他迹线和用户定义的数学操作来创建。要从数学中创建迹线，请执行以下步骤：

1. 选择“从数学中选择”作为迹线源。
2. 检查迹线应依赖的所有迹线。并非所有迹线都可以使用，但有以下限制：
 - 所有已使用的迹线都必须具有相同的输出域。
 - 在“从数学开始”迹线之间不可能存在循环依赖关系
3. （可选）更改所选轨迹的变量名称
4. 使用所选的变量输入公式

3.4.2 数学操作

右边的“数学运算”部分包含了在显示迹线数据之前对迹线数据执行的附加计算。最初，它只包含一行（表示已测量的数据）。可以使用右侧的按钮创建新的操作。每个数学运算都向列表中添加一行新行，由三列组成：

- 状态：可视化指示计算是否成功。对于警告或错误，鼠标上方的文本会给出有关问题的提示。
- 描述：对已配置的数学操作的简短描述。双击将打开一个（与操作相关的）编辑对话框，提供更多的细节。



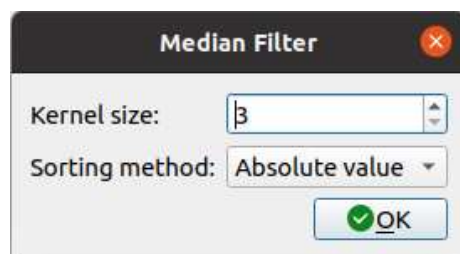
- 输出域：此数学运算后的数据的域（时间或频率）。某些数学运算只能应用于时域数据，其他的则只能应用于频域数据。最后一行的输出域决定在图形中显示迹线在哪个域中。填充了一些数学运算，窗口可以是这样的：

Math operations		
Status	Description	Output domain
✓	S11: measured data	Frequency
✓	Median filter, size 3, sorting: Absolute	Frequency
✓	TDR (lowpass), with step response, window: Hamming	Time
✓	Custom expression: $d < 1 ? x : 0$	Time
✓	DFT (automatic DC), window: Hamming	Frequency

在本例中，执行了时域门控：

- 对数据应用中值滤波器，对轨迹进行一点平滑（实际上对时域门控不是必需的）
- 接下来，TDR转换将创建度量的时域响应。
- 脉冲响应在自定义表达式的1m以上被截断
- 最后，用DFT将时域响应转换回频域

3.4.2.1 中值过滤器



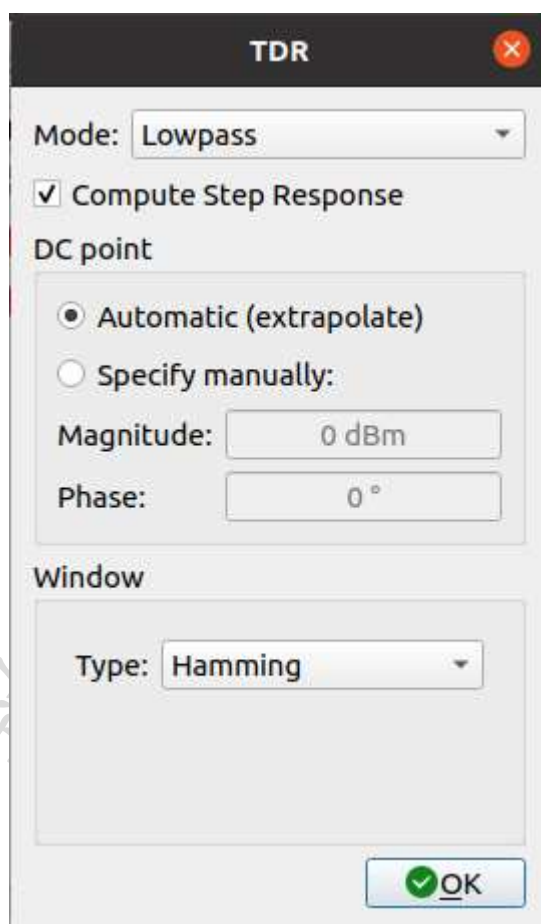
中值滤波器过滤不同频率（或功率或时间，取决于采集设置和以前的数学运算）。对于迹线中的每个点，它都取该点和周围的几个点，对它们进行排序，并使用已排序列表的中点作为过滤后的值。去除迹线上固定的毛刺峰值是一个很好的方法，一般这种毛刺是由于LO不正常的反馈额不需要的外部信号干扰导致的。相比之下，工具栏中的平均函数将随着时间的推移平滑捕获的轨迹，但不能删除静态毛刺峰值。



可调设置：

- 内核大小：用于排序列表的采样样本点的数量
- 排序方法：由于大多数输入值都是复数，所以有不同的选项来对值进行排序：
 - 绝对值
 - 相位
 - 实部
 - 虚部

3.4.2.2 TDR



TDR获取频域数据，并将其转换为时域数据。输出样本的数量和时间跨度由输入样本的数量和选择的频率跨度决定。

可调设置：

- 模式：TDR可以以两种不同的模式执行：
 - 低通：输入采样点应该从直流电附近开始。起始频率相较于频率跨度要小。因为直流点可以推断出来，所以阶跃响应可以计算得到。



➤ 带通：输入采样点可以使用任何频率和频率跨度。当直流点未知时，只能计算出一个脉冲响应。

- 计算阶跃响应：使能阶跃响应的计算（仅在低通模式下可用）
- 直流点：在从频率数据推断直流点或手动指定直流点（仅在低通模式下提供）
- 窗口：在执行转换之前为数据加窗。可用窗口包括：
 - Rectangular
 - Gaussion
 - Hann
 - Hamming
 - Blackman

3.4.2.3 DFT

DFT

DC frequency (center)

☒ Automatic

☐ Specify manually:

Frequency: 1.00000GHz

Window

Type: Hamming

OK

DFT是对TDR的逆操作，用于将时域数据转换回频域。

可调设置：

- 直流频率：根据输入的原始时域数据，可以选择不从直流开始计算。将时域数据 转换回频域将产生直流和直流周围的频率数据。此设置允许将转换后的频率数据移动到正确的频率。



➤ 自动：直流频率是通过查看产生时域数据的最后一个TDR操作，并从中提取正确的频率来自
动确定的。通常这就会产生正确的频率。

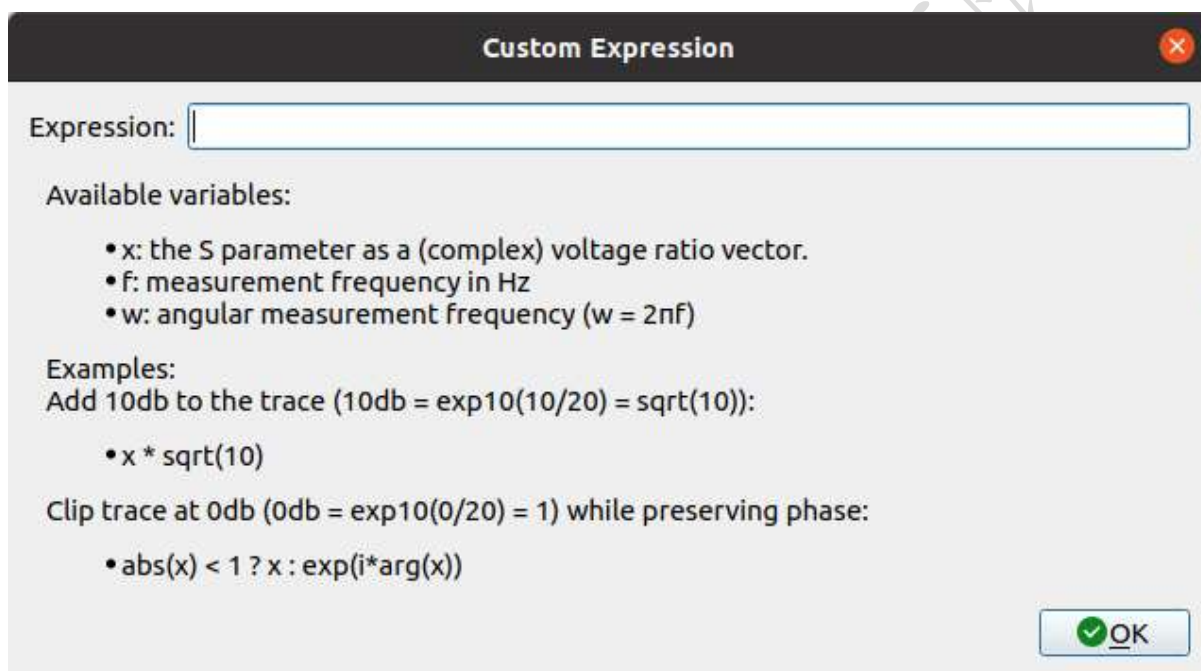
➤ 手动指定：如果由于某种原因必须使用不同的频率范围，则可以手动指定直流的实际频率

。

● 窗口：在执行转换之前为数据加窗。可用窗口包括：

- Rectangular
- Gaussian
- Hann
- Hamming
- Blackman

3.4.2.4自定义表达式

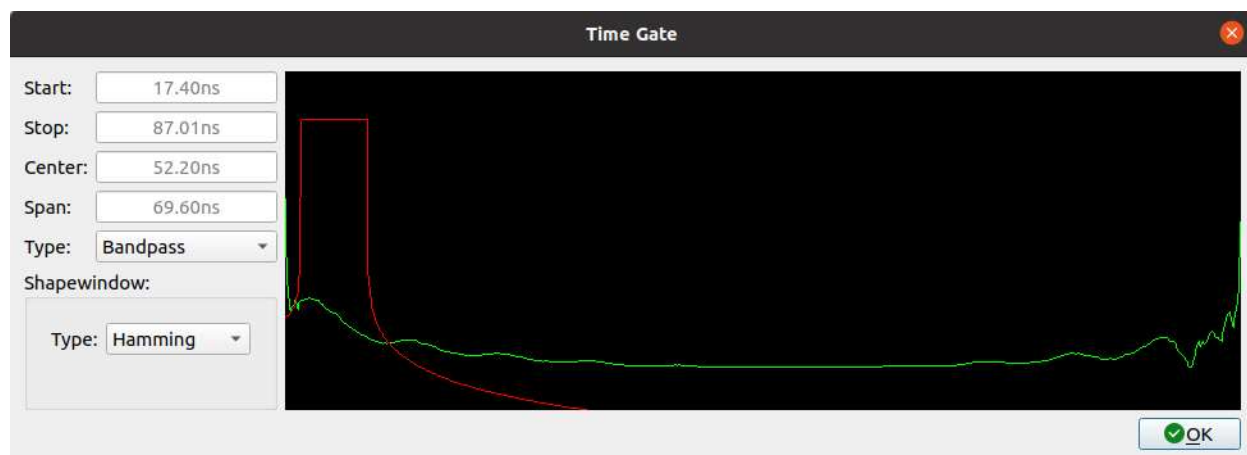


自定义表达式允许对迹线数据进行用户特定的计算。它只能使用单个数据点作为输入值。访问其他数据点(例如：在一个较低/较高的频率或从一个早期的扫描)是不可能的。自定义表达式可以处理任何域的输入数据，并得到同一域的输出数据。根据输入数据域的不同，有不同的变量可用，并显示在对话框中。

如果表达式包含语法错误，请在迹线编辑对话框的状态列中检查文本。



3.4.2.5 时间门



时间门允许过滤时域中的数据。它既可以用作带通（仅在指定窗口内传递时域数据），也可以用作带阻（在指定窗口中阻塞时域数据）。所显示的视图允许进行更容易的调整。绿色的轨迹是时域输入数据，并被实时更新。红线是当前选择的时间门滤波器。

可以通过手动指定开始/停止或中心/跨度时间来调整。作为另一种选择，过滤器的边也可以用鼠标在图上移动。

可调设置：

- 窗口：窗口功能影响滤波器通带和阻带。通过首先计算频域滤波器中的理想滤波器系数来构造滤波器。然后，对这些系数进行加窗处理，以限制频谱泄漏，并最终转换为时域（如图所示）。

- Rectangular
- Gaussian
- Hann
- Hamming
- Blackman

3.5 校准

本节是描述用于消除接头和电缆的影响的VNA校准方法（以及来自LibreVNA本身的误差）。有关信号源和频谱仪功能的校准，请参见第9节。

假设客户已经了解相关的校准常识，本手册只解释了如何在LibreVNA中使用它们。

3.5.1 介绍

本节包含了校准的一些实现细节。这些细节可以被跳过，但理解这些在使用校准时会很有帮助。

第3.5节使用了以下定义：



- 校准标准：一个单一的校准标准（例如：开路标准）。大多数标准都可以用系数或测量文件来定义。
- 校准工具参数设定：包含校准标准的定义。当校准误差被计算出来了，这些定义也被考虑在内了。
- 测量：未修正过的按照校准标准的原始测量。根据不同的校准类型，需要进行不同的测量。
- 校准类型：校准类型决定哪些误差会通过校准得到修正，测量中为何会产生误差项。

校准类型是由校准方法+端口号来命名的。例如，当在端口1和端口2上应用SOLT校准时，校准类型将显示为“SOLT_12”。

为了获得最准确的结果，校准应采用与计划测量相同的设置（频率范围、点数、幅值水平……）进行校准。虽然可以在校准后更改这些设置，但是当使用不同的频率范围时，缺失的校准点将进行插值补齐。

3.5.2 类型

有几种不同的校准类型：

类型	应用修正	所需校准
SOLT	SOLT校准，消除对所有端口的影响，并校正传输测量	在每个端口进行open和short校准 在每个端口进行负载或滑动负载校准 在所有端口之间进行通路校准 隔离校准（可选）
Through-Normalization	只通过通路校准来修正线损和相位偏移。虽然这不如SOLT准确，但它是有用的。当只测量一个滤波器的频率响应时，它只需要很少的校准步骤。	在所有端口之间进行通路校准
TRL	全双端口校准，但相比SOLT具有不同的标准（准确度偏低）。	每个端口的反射校准 所有端口之间的通路校准 所有端口之间的线路校准

3.5.3 校准工具参数设定

校准工具参数设定包含在校准中。



它可以是通过菜单编辑：

同样的对话框也可以通过访问校准测量对话框

： **Calibration** > **Calibration Measurements** > **Edit Calibration Kit** 校准工具参数设定可以包含任意数量的校准标准。

这三个文本字段（制造商、序列号和说明）旨在便于识别正确的校准工具参数设定。相关内容不会和GUI绑定，用户可以自由输入任何文本。

校准标准列表右侧的按钮添加、删除、排序。双击一个标准以编辑其定义。

3.5.3.1 开路标准



开路标准可以由其系数或一个touchstone测量文件来定义。如果由touchstone文件定义，该文件将限制可使用该标准的校准频率跨度。

系数：

- Z_0 ：从参考平面到开路终端的传输线路阻抗。
- 延迟偏移：输电线路的单向长度
- 偏移损失：输电线路的损耗/衰减
- C0-C3：开放式终端的寄生电容

3.5.3.2 短路标准

Dialog box titled "Edit Short Standard".

Name: Default standard

☒ Coefficients ☐ Measurement file

Z_0 : 50 Ω

Offset delay [ps]: 0.1670

Offset loss [G Ω /s]: 0

L_0 [10^{-12} H]: 0

L_1 [10^{-24} H/Hz]: -2033

L_2 [10^{-33} H/Hz²]: 673.0

L_3 [10^{-42} H/Hz³]: 0

Buttons: Cancel, OK

短标准可以由其系数或一个touchstone测量文件来定义。如果由touchstone文件定义，该文件将限制可使用该标准的校准频率跨度。

系数：

- Z_0 ：传输线从参考平面到短路端子的阻抗。
- 延迟偏移：输电线路的单向长度。
- 偏移损失：输电线路的损耗/衰减。
- 短路终端的寄生电感



3.5.3.3 负载标准

Edit Load Standard

Name:

☒ Coefficients ☐ Measurement file

Resistance:

Z0:

Offset delay [ps]:

Offset loss [GΩ/s]:

Parallel C:

Series L:

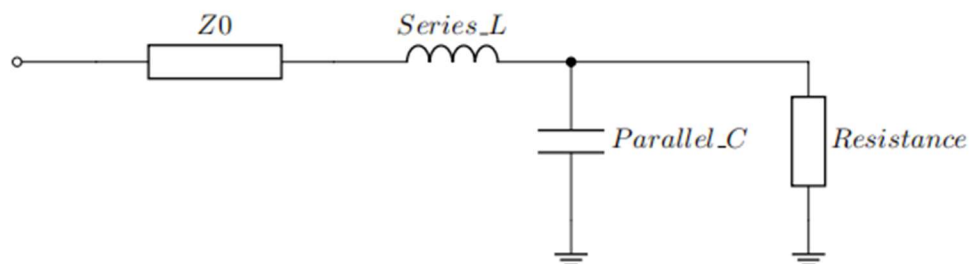
Load Parameter Model

☐ Series L first ☒ Shunt C first

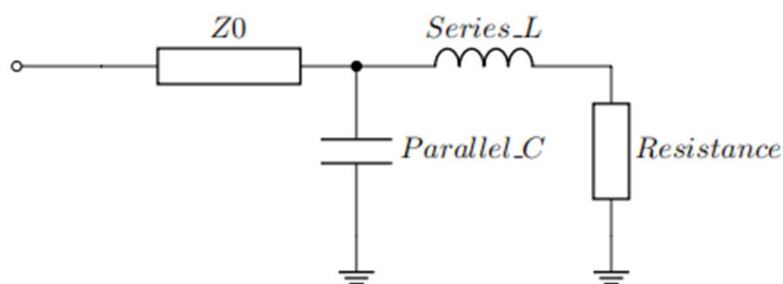
负载标准可以由其系数或一个touchstone测量文件来定义。如果由touchstone文件定义，该文件将限制可使用该标准的校准频率跨度。

系数：

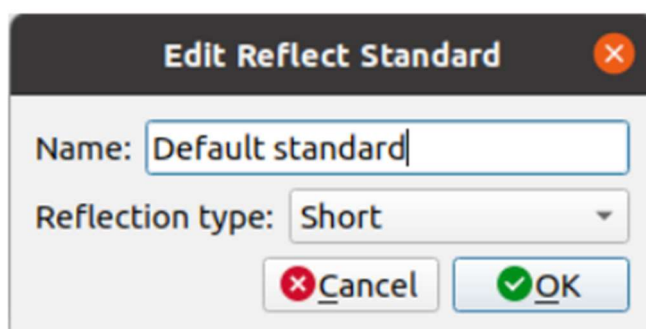
- 电阻：终端连接的电阻器的阻值
- Z0：传输线从参考平面到终端电阻的阻抗。
- 延迟偏移：输电线路的单向长度
- 偏移损失：输电线路的损耗/衰减
- 并联C：与终端电阻并联的寄生电容
- L系列：与终端电阻串联的寄生电感
- 负载参数模型：两种不同的负载模型，其区别在于寄生电感电容的排列顺序。
 - 串联L在前模型：



- 并联电容C在前：

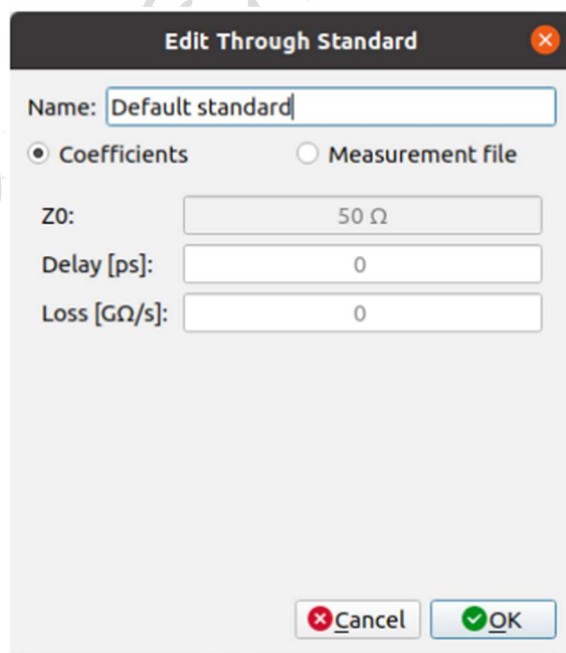


3.5.3.4 反射标准



反射标准没有任何系数，因为它是一个未知的标准。唯一可用的选择是假定它是短路的还是开路。

3.5.3.5 通路标准



通路标准可以由其系数或由一个touchstone测量文件来定义。如果由touchstone文件定义，该文件将限制使用该标准的校准频率跨度。



系数：

- Z0：通过标准的特性阻抗（固定为50）。
- 延时：输电线路的单向长度。
- 损耗：输电线路的损耗/衰减

3.5.3.6 线的标准

The screenshot shows a dialog box titled "Edit Line Standard". It has a close button (X) in the top right corner. The fields are as follows:

Field	Value
Name:	Default Standard
Z0:	50 Ω
Delay:	0 s
Minimum usable frequency:	NaN
Maximum usable frequency:	NaN

At the bottom, there are two buttons: "Cancel" (with a red X icon) and "OK" (with a green checkmark icon).

线标准是一个未知的标准，不能由系数准确地定义。在TLR校准中使用该标准时，唯一可用的参数是延迟参数，该参数决定了其可用的频率跨度。延迟也不能以高精度地指定。

3.5.4 测量

校准测量可以在 **Calibration** > **Calibration Measurements**

找到。最初，该列表为空。可以通过列表右侧的按钮来添加和删除测量值。为方便起见，还可以自动创建所需的校准测量值（从顶部的下拉列表中选择所需的校准类型）。



Calibration Measurements

Measurements

Create default measurements for:

Type	Calkit Standard	Settings	Statistics	Timestamp
1 Short	Short, Default standard	Port: 1	501 points from 1.00000MHz to 6.00000GHz	Fr. Okt. 14 ...
2 Open	Open, Default standard	Port: 1	501 points from 1.00000MHz to 6.00000GHz	Fr. Okt. 14 ...
3 Load	Load, Default standard	Port: 1	501 points from 1.00000MHz to 6.00000GHz	Fr. Okt. 14 ...
4 Short	Short, Default standard	Port: 2	501 points from 1.00000MHz to 6.00000GHz	Fr. Okt. 14 ...
5 Open	Open, Default standard	Port: 2	501 points from 1.00000MHz to 6.00000GHz	Fr. Okt. 14 ...
6 Load	Load, Default standard	Port: 2	501 points from 1.00000MHz to 6.00000GHz	Fr. Okt. 14 ...
7 Through	Through, Default standard	From 1 to 2 ☐ Reversed	501 points from 1.00000MHz to 6.00000GHz	Fr. Okt. 14 ...

Buttons: Add, Delete, Measure, Clear, Electronic Calibration, Edit Calibration Kit

Calibration

Available calibrations:

- ✓ SOLT, Port: 1
- ✓ SOLT, Port: 2
- ✓ SOLT, Ports: [1,2]
- ✓ Through Normalization, Ports: [1,2]
- ✗ TRL, Ports: [1,2]

Active calibration: None

Minimum frequency: 0 Hz

Maximum frequency: 0 Hz

Points: 0

Buttons: Deactivate, Activate

根据测量类型，每个测量都会有一些设置：

3.5.4.1 开路测量

Open Open, Default standard Port: 1 501 points from 1.00000MHz to 6.00000GHz Fr. Okt. 14 11:33:07 2022 GMT

- 选择与此测量一起使用的校准标准
- 选择端口号

3.5.4.2 短路测量

Short Short, Default standard Port: 1 501 points from 1.00000MHz to 6.00000GHz Fr. Okt. 14 11:33:05 2022 GMT

- 选择与此测量一起使用的校准标准
- 选择端口号

3.5.4.3 负载测量

Load Load, Default standard Port: 1 501 points from 1.00000MHz to 6.00000GHz Fr. Okt. 14 11:33:10 2022 GMT

- 选择与此测量一起使用的校准标准
- 选择端口号

3.5.4.4 滑动负载测量

SlidingLoad Connect sliding load Port: 1 501 points from 1.00000MHz to 6.00000GHz Fr. Okt. 14 11:38:17 2022 GMT

- 不需要有任何校准标准



- 选择端口号
- 每个端口必须至少使用三次滑动负载测量，每次测量时需要对滑动负载进行不同的设置不同。更多的测量可能会产生更准确的结果，而且对测量次数没有上限。

3.5.4.5 反射测量

Reflect Open, Default standard Port: 1 501 points from 1.00000MHz to 6.00000GHz Fr. Okt. 14 11:38:20 2022 GMT

- 可以选择任何开路的、短路的或反射的标准
- 选择端口号

3.5.4.6 通路测量

Through Through, Default standard From 1 to 2 ☐ Reversed 501 points from 1.00000MHz to 6.00000GHz Fr. Okt. 14 11:33:19 2022 GMT

- 选择校准标准
- 选择端口号
- 当通过标准由一个touchstone文件定义，且该文件中的端口顺序与实际测量中的端口顺序不匹配时，请选中“reverse”复选框。通过由系数定义的标准，系数总是对称的，复选框没有效果。

3.5.4.7 线路测量

Line Line, Default Standard From 1 to 2 ☐ Reversed 501 points from 1.00000MHz to 6.00000GHz Fr. Okt. 14 11:38:22 2022 GMT

- 选择校准标准
- 选择端口号
- 由于线路标准总是对称的，因此复选框没有效果。

3.5.4.8 隔离测量

Isolation Terminate all ports No settings available 501 points from 1.00000MHz to 6.00000GHz Fr. Okt. 14 11:49:35 2022 GMT

- 无需任何设置

3.5.4.9 进行测量

要进行测量，请选择相应的测量值并按 **Measure**：它们使用不同的端口，则可以同时进行多个测量。



校准类型所定义的起始和停止频率以及点数，应该和实际测量完全相同。不要更改测量的频率跨度。



3.5.5 启用校准

在进行了所有需要的测量后，就可以启用校准了。这里有两种不同的选择：

- 在校准工具栏中选择校准类型，并选择对应的复选框。如果已经进行了所有需要的测量，则会立即启动校准。如果缺少一些测量值或使用了不同的频率跨度设置，则无法应用校准。在这种情况下，校准测量对话框将会被（参见第 3.5.4 节）。

- 在校准测量对话框中选择校准类型，然后点击“激活”。只能激活所有所需测量值完备的校准类型。

3.5.6 Saving/Loading

一旦一个校准被激活，它可以通过选择来保存 **Calibration > Save**。所有原始测量值与校准类型和校准工具参数设定将一起保存。

同样，可以通过选择打开已保存的校准 **Calibration > Load**。加载后立即使用。

3.5.7 为一个设备分配一个默认的校准

保存校准后，可以选择它为特定设备的默认校准。为此，请首先连接到该设备，然后选择

Device > Default Calibration > Assign...，一旦分配了默认校准，每次应用程序连接到特定设备时，它将自动打开并应用。

3.5.8 查看误差项/校准测量值

从校准测量中计算出的误差项和原始测量值都可以通过选择

Calibration > Import error terms as traces 或者 **Calibration > Import measurements as traces** 导出。此特性主要用于调试校准问题，并且通常不是必需的。

3.5.9 电子校准

执行校准，特别是在使用多个端口时，可能需要执行许多手动步骤。LibreVNA支持自动电子校准，它可以自己进行SOLT校准所需的所有测量值。要使用电子校准，请使用LibreCAL设备是必需的。若要启动电子校准，请选择或

Calibration > Electronic Calibration
Calibration > Calibration Measurements > Electronic Calibration，不需要首先创建一个校准工具参数设定，因为校准系数已经早就存储在LibreCAL中了。



电子校准将删除和替换任何当前有效的校准，以及校准工具参数设定。在开始电子校准之前，请保存任何未保存的校准数据。



Electronic Calibration Dialog

Device Selection

Device: 5mFkB+MnmiMA

Heating up, please wait with calibration

Coefficients: Coeff2

Coefficients loaded.

100%

Port Assignments

LibreVNA	LibreCAL
Port 1: Port 1	
Port 2: Port 2	

Calibration

Start

Ready to start

0%

执行电子校准所需的步骤：

1. 通过USB将LibreCAL连接到运行LibreVNA-GUI的同一台电脑机器上。
2. 将准备校准的LibreVNA的每个端口连接到LibreCAL上的对应端口。
3. 启动电子校准对话框
4. 选择正确的LibreCAL设备和系数：
 - 设备：LibreCAL的序列号。通常电脑主机都是只连接一个，打开对话框时自动选择序列号。
 - 系数：选择要使用的校准系数集。LibreCAL可以存储多组校准系数。请学习LibreCal手册关于系数集的详细信息。
5. 检查并调整端口分配。在LibreVNA和LibreCAL之间的端口可以以任何顺序连接。将对话框中的端口与物理设置相匹配。
6. 按“开始”按钮。这将执行以下步骤：
 - 根据从LibreCAL中提取的系数填充校准工具系数设定。
 - 对LibreVNA的每个端口进行开路、短路和负载测量。
 - 对任何端口组合之间进行直通测量

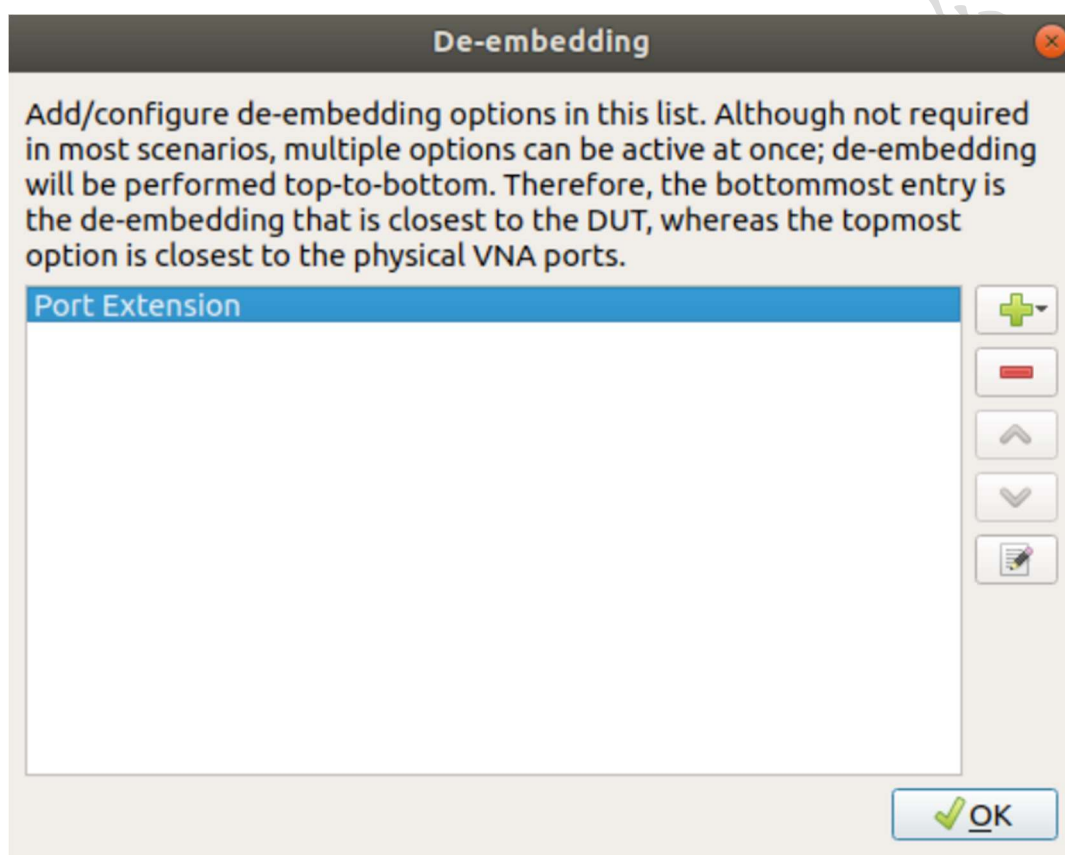


- 应用SOLT校准。对于出厂校准系数集，参考平面将位于在LibreCAL的端口。

3.6 去嵌入修正

网分去嵌入主要用于消除测试夹具或其他寄生元件对被测器件性能的影响。通过去嵌入，可以从测量数据中提取出被测器件的真实特性，而不受夹具或连接器的干扰，由于夹具的存在，测量结果包含了夹具的寄生效应。去嵌入技术通过建立夹具的数学模型，利用矩阵运算从总测量中去除夹具的影响。

去嵌入选项可通过 **Tools > De-embedding** 选择。GUI的工作原理类似于迹线的数学操作（参见第3.4.2节），但是去嵌入是在数据到达迹线之前执行的（与第3.1节进行比较）。



与数学运算一样，一个列表显示了去嵌入选项。一旦添加了新选项（或双击），将打开一个窗口，允许配置该选项。根据去嵌入选项，可能会有一些用户可调节的参数(例如。端口扩展的长度和衰减)或选项需要从LibreVNA进行测量来计算去嵌入参数(例如：进行测量以自动测量端口扩展长度)。如果需要在任何点进行测量，将打开一个新窗口，有两个选择来提供测量数据：

第一种可能是点击测量按钮开始一个新的测量。在测量之前LibreVNA连接必须已经正确设置(例如：在端口扩展的情况下，扩展电缆已经被连接，并且终端为开路或短路。具体的设置取决于去嵌入选项)。另一种可能



的方法是通过使用迹线来提供测量方法。如果已经进行了相同的测量，但物理设置从那时起发生了变化，那么这是很有用的。为所有必需的S参数选择正确的迹线，然后点击“确定”按钮。

3.6.1 端口扩展

The screenshot shows a 'Port Extension' dialog box with the following fields and options:

- Port:** 1
- Delay:**
 - Distance:** 40.93mm
 - Time:** 206.9ps
 - Velocity Factor:** 0.6600
- Loss:**
 - At DC:** -0.1888 db
 - 4.431 db at 5.000GHz**
- Determine automatically:**
 - ☒ Assume ideal open/short
 - ☐ Use definition from calibration kit
- Buttons:** Measure short, Measure open, Cancel, OK

端口扩展相当于移动了正常校准使用的参考平面。

端口扩展可以由两个特性来定义：

- 距离/时间：参考平面将被移动的单向距离或时间。设置任何一个参数都将通过速度因子自动计算另一个参数。
- 损失：端口扩展所用部件导致参考平面移动后的所来的附加损失。它被进一步分为两个参数：
 - 直流：0Hz时的单向损耗。
 - 在特定频率下：在选定频率下的单向损耗，通常高于直流损耗。

所有这些参数也可以通过用开路连接或短路连接从而代替DUT，测量后，自动计算得到。

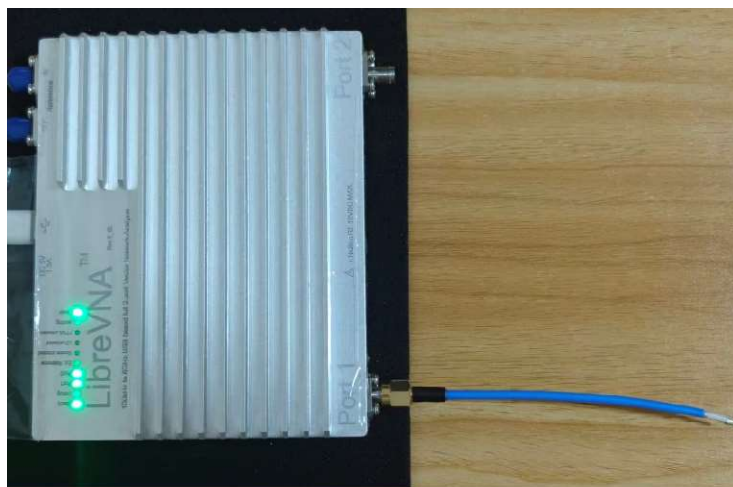
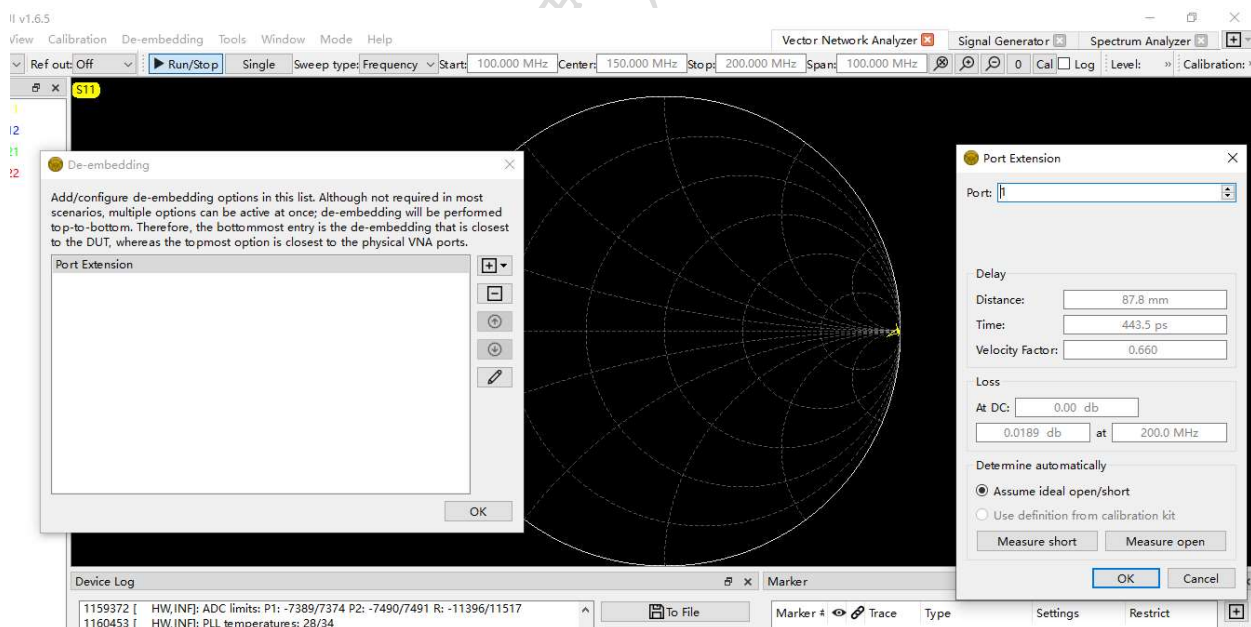
如果在多个端口上需要都需要端口扩展，请为每个端口添加此选项一次。

使用方法：

1. 网分做好校准，在网分自身端口或者公对公的延长线端面，注意此时需要尽量缩小校准的频率范围，因为如果校准从1MHz-6GHz这样很大的范围，设备自动或者人为添加去嵌入参数将永远无法达到对应的效果。校准生效后，连接上对应的pigtail，此时我们会发现在Smith圆图上开路点不在位于横轴之上，因为pigtail改变了相位和阻抗。



2. 点击De-embedding的Set up进入去嵌入界面。
3. 点击右侧的添加选择Port Extension，进入端口延伸界面。
4. 点击Measure open，通过上位机GUI会自动计算补偿误差，但是很可能在Smith圆图的点并不是位于开路点。这时候，需要我们手动调节Delay中的Time参数，调整后Smith圆图上的点位会发生变化，尽量将点位调整到开路点，记住此时的参数。
5. 如果下次重新测量，如果此时pigtail已经焊接到板子上面，请将上次记住的参数填到port extension里面去，这样将会完美的去嵌入。





De-embedding Measurement

Either take a new measurement with the currently active frequency/span settings...

0% Measure

... or select already existing traces for the measurement:

S11: None

S12: None

S21: None

S22: None OK

3.6.2 Two Thru

2xThru

What is this?

- 2xthru de-embedding attempts to remove the effect of the fixtures contacting the DUT.
- Although not as accurate as a SOLT calibration, it can help in situations where SOLT standards are not usable with the fixtures.
- To create the de-embedding parameters, a 2xThru measurement is required: Connect the fixtures of both ports directly to each other and measure their S parameters.
- If other impedances than 50 Ohm are used, a Fixture-DUT-Fixture measurement is also necessary, attempting to compensate the impedance. Connect the DUT between the fixtures and measure the S parameters.
- For more details of the 2xthru de-embedding see e.g. [this](#) article.
- For more details and examples on how to use 2xthru de-embedding in this application, see the user manual.

Configuration

2xthru is between ports 1 and 2

Measurements

2xThru (mandatory):	Not available	Clear	Measure
Fixture-DUT-Fixture (optional):	Not available	Clear	Measure

Calculated de-embedding parameters

No values calculated, not de-embedding Calculate

当参考平面和DUT之间有额外的夹具装置时，无法通过SOLT校准或端口扩展校准。使用此选项的一些先决条件：

- LibreVNA必须在不包括夹具装置的参考位置进行校准。
- 夹具装置（参考平面和DUT之间的所有装置）必须有两个端口。
- 必须能够将夹具装置两端口直连，就像DUT一样。

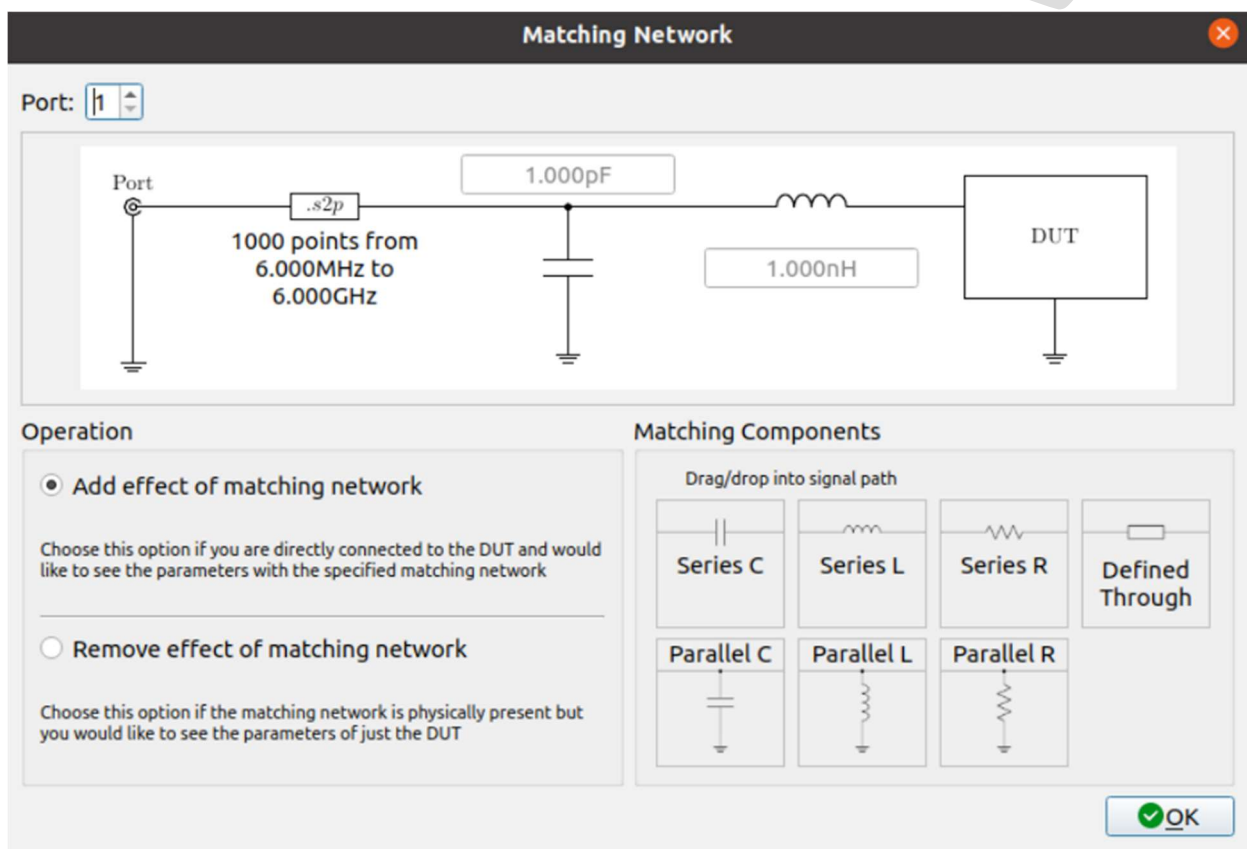
要创建双通路去嵌入，请执行以下步骤：

1. 在对话框的配置部分中选择将去嵌入的两个端口。



2. 将两个固定装置直接相互连接（无DUT）。
3. 必须进行2xThru测量。
4. 如果夹具装置的特性阻抗不是50Ω：
 - 在夹具装置之间插入DUT。
 - 进行可选的夹具-DUT-夹具的测量。
5. 通过点击对话框中的“计算”按钮来补偿夹具装置。

3.6.3 匹配网络



匹配网络允许用户嵌入或者去嵌入任意集总器件和传输线在DUT和测量端口之间。

可用器件包括：

- 串联R/L/C：端口和DUT之间的串联的集总器件。
- 并联R/L/C：从信号线路到GND的并联集总器件。
- 可定义的通路：由touchstone文件定义的任何双端口网络。

这些器件的任何组合都可以被拖动到LibreVNA端口和DUT之间的信号路径中。

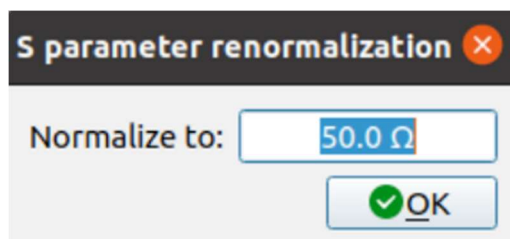
进一步设置：



- 操作：嵌入和去嵌入
- 端口号：生效于的LibreVNA的端口号

如果在多个端口上都需要匹配网络，请为每个端口添加此选项一次。

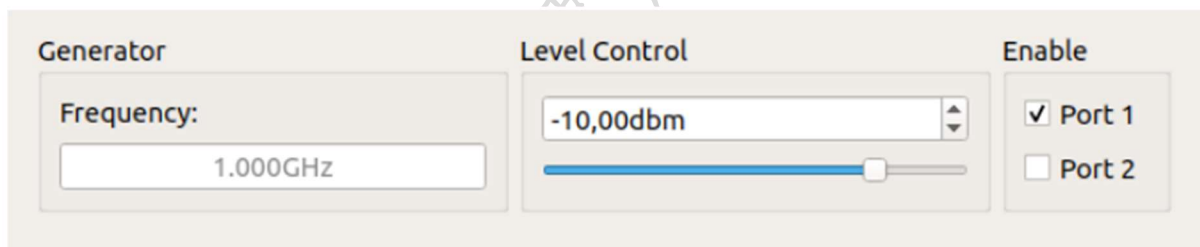
3.6.4 阻抗重归一化



LibreVNA是一个50ohm系统。S参数测量报告是基于50ohm参考阻抗。通过阻抗重归一化，所采集的数据可以转换为不同的参考阻抗(例如：75Ω)。此转换会影响由LibreVNA捕获的所有轨迹。

4 信号发生器

在信号发生器模式下，测量将被停止，而LibreVNA只输出一个连续波信号。



硬件没有为信号产生进行优化，这意味着输出电平不是很精确，特别是在更高的频率下（也见第9节）。此外，信号将包含比通常预期的更高水平的谐波。

5 频谱分析仪

虽然LibreVNA硬件没有被设计用作频谱分析仪，但频谱分析仪的一般硬件结构与VNA足够相似，以实现基本的双通道频谱测量。这与专用频谱分析仪的性能水平存在很大差距，但对于简单的测量，如果没有其他设备可用，它可能就足够了。与一个专用频谱分析仪的主要区别是：



- 没有输入衰减器或前置放大器：这意味着测量范围基本上固定在大约-110dBm到-10dBm。无振幅校准：显示的信号电平不是很准确，特别是在较高的频率下（也见第9节）。
- 没有镜像滤波器：这可能是最严重的限制，因为这意味着对于每一个真实的信号，几个其他的信号将出现在频谱中，实际上并没有真正输入。大多数镜像可以通过信号识别被过滤掉，但有些镜像频率（在较低的振幅下）将保留在最终的数据中。
- 最高带宽分辨率相当低：扫描速度太慢，无法在可接受的时间内覆盖1MHz到6GHz的完整频率范围。
- 大多数可控制参数（频率、跨度、迹线、标记……）只在矢量网络分析器模式中定义输入。

5.1 采集工具栏

RBW: 10.0kHz Window: Kaiser Detector: +Peak ☐ Signal ID

RBW：分辨率带宽。较低的值允许区分更近的频率信号。较低的值也会减少噪声流，但显著增加扫描时间。对于低RBWs，有一种更快的DFT采集方法。通过执行最终IF的DFT，可以一次测量几个点，而不是通过调整LOs来单独查看每个频率点。由于硬件和可用处理能力的限制，DFT被限制在96点，一次只能覆盖30 kHz。是否使用DFT（以及应用在哪个RBW中）可以在中选择。

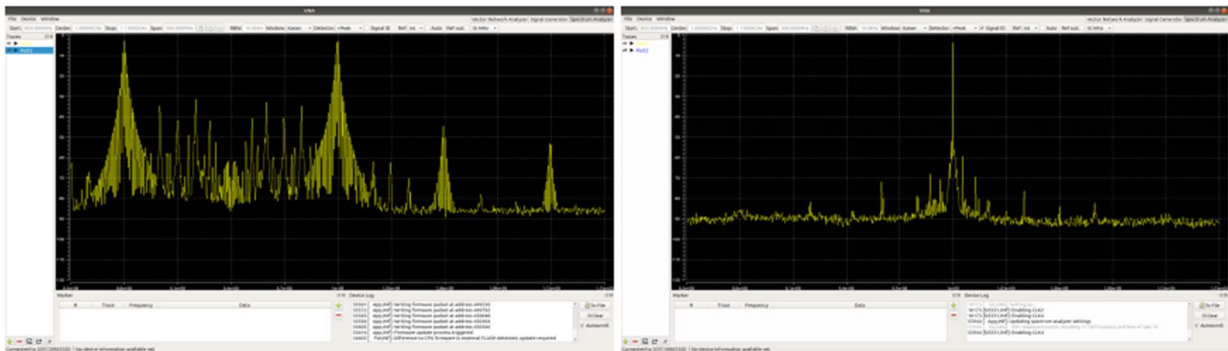
Window > Preferences

- Window：在最终IF的DFT中使用的窗口类型。如果有疑问，请使用电脑查阅。
- Detector：对于每个显示点，将进行多次测量。Detector将决定显示其中哪一种测量值：

Detector	显示的数据
+Peak	最高振幅
-Peak	最低振幅
Sample	仅使用测量值的中间数
Normal	奇数点的显示最高振幅，偶数点显示最低振幅
Average	平均每个点的所有测量值

- Signal ID：信号标识。这可以帮助确定所显示的信号是实际存在的，还是来自内部镜像的结果。

当启用后，LibreVNA会改变每个测量点的LO频率，并观察最终的中频信号是如何受到它的影响。这消除了几乎所有的镜像，但以增加扫描时间为代价。下面的例子显示了Signal ID的效果。这两种测量的输入都只有1GHz的信号并且电平为-10dBm。在左边，Signal ID没有打开，导致了额外很多的频谱出现。在右边，打开Signal ID后，已经删除了大部分镜像频谱：



5.2 跟踪信号源工具栏



在频谱仪功能中的每个端口上都有一个跟踪信号源。如果在一个端口上激活跟踪信号源，虽然该端口的测量仍然可用，但毫无意义。跟踪信号源还包括一个可选的频率偏移量。为了获得准确的结果，在使用跟踪信号源之前，应执行信号源/频谱仪校准（第9节中介绍了）。

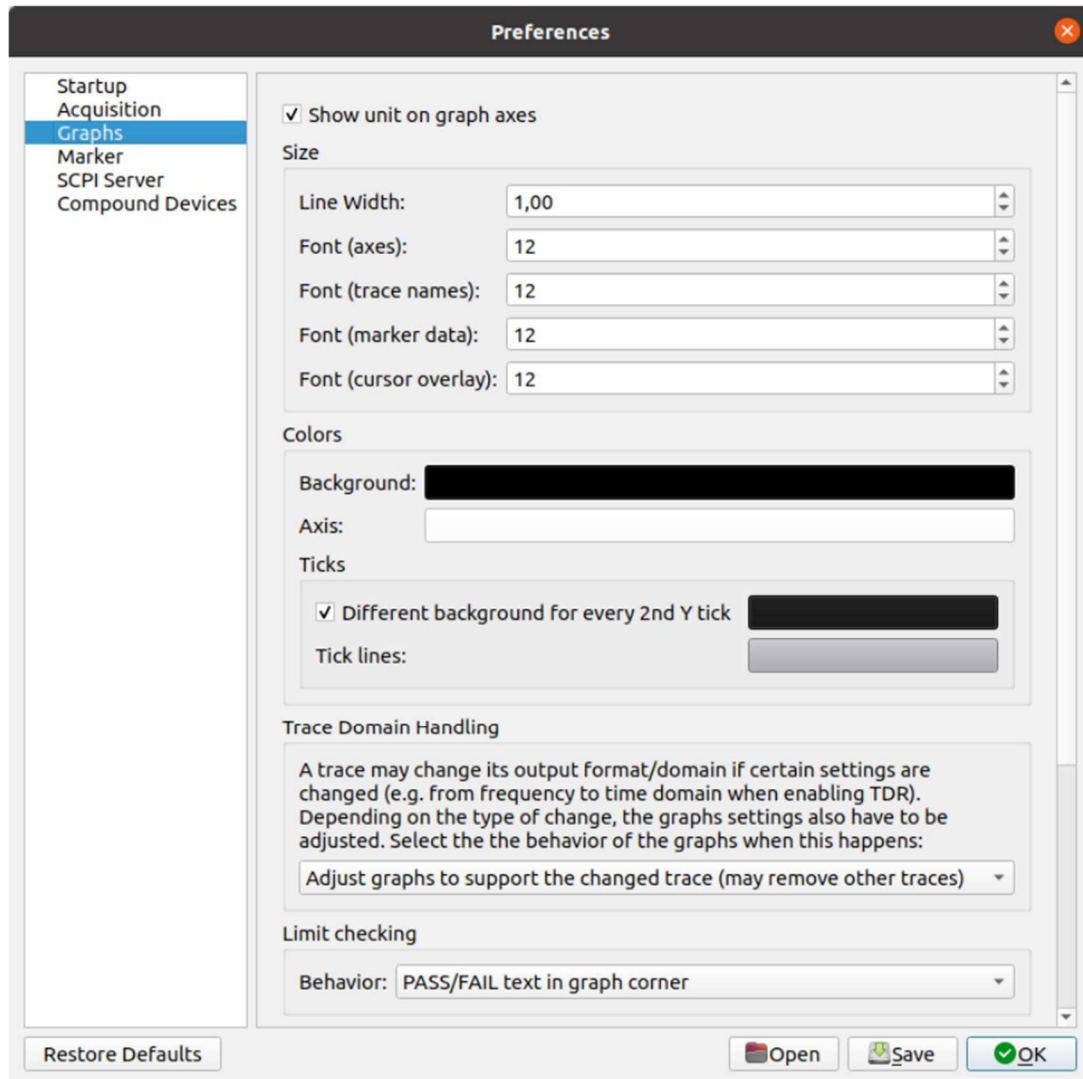
当跟踪信号源被激活后，DFT采集将不可用。此外，由于硬件的限制，跟踪信号源不能精确地达到每个频点。对于窄带设置，因为跟踪信号源的信号在RBW滤波器通带之外，这可能导致频谱出现深坑。频率分辨率与频率有关。如果所选的频率跨度和停止频率可能导致出现问题，则会出现一个警告消息。

6 视图

在VNA和频谱分析仪模式下，迹线数据会显示在视图上。有几种不同的视图类型可用，而且大多数也可以定制。

6.1 视图通用设置

所有视图的行为和外观的常见设置可以在 **Window > Preferences > Graphs** 中找到



大多数设置都与视图的颜色和大小有关，允许根据不同个人偏好和显示器分辨率进行调整。

每个视图类型也有一些特定的设置。用户可以通过右键单击一个现有的视图，通过选择 **Setup...** 或 **Axis Setup...** 来访问它们。

6.2 创建和定位视图：

视图使用了一个多区域平铺系统。每个区域都可以：

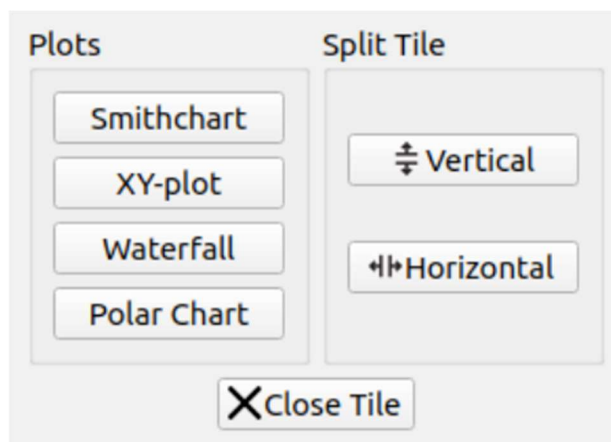
- 空白
- 只有一个视图
- 水平分割成两个新的区域
- 垂直分割成两个新的区域

对于分割区域，可以使用光标手动调整分割区域的位置。



要创建新的视图，必须有一个空区域可用。如果所有的区域都已经显示了视图（启动GUI时的默认都显示），则必须首先创建一个空的区域。这可以通过右键单击一个现有视图，选择来 close 关闭现有视图或选择并同 Add tile... 时选择添加新区域的方向。

从空区域中创建时，所有视图类型都可用：



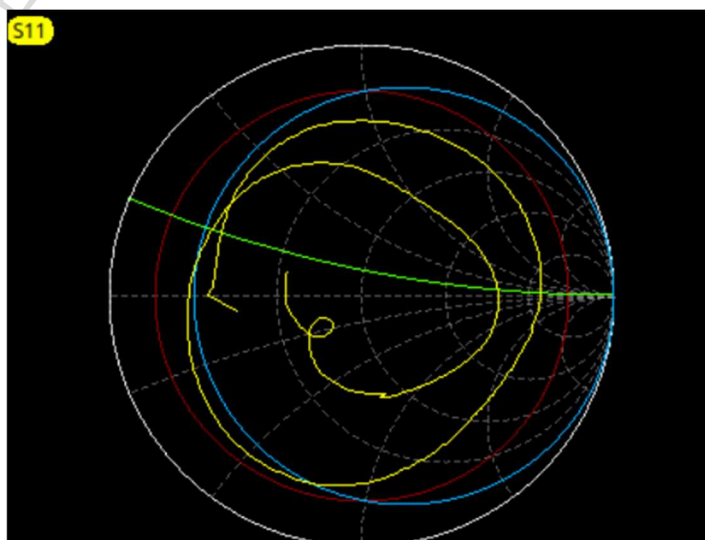
如果想的快速放大视图，请双击它。该图将占用整个瓷砖区域。另一个双击将图返回到其原

6.3 添加和删除迹线

创建新视图时，默认情况下该视图显示为空，必须添加迹线才能显示。有两种方法可以添加迹线：

- 将迹线从迹线列表拖放到视图上
- 右键单击视图，并选择要添加的迹线。也可以移除迹线，请在右击菜单中反向选择它们即可。

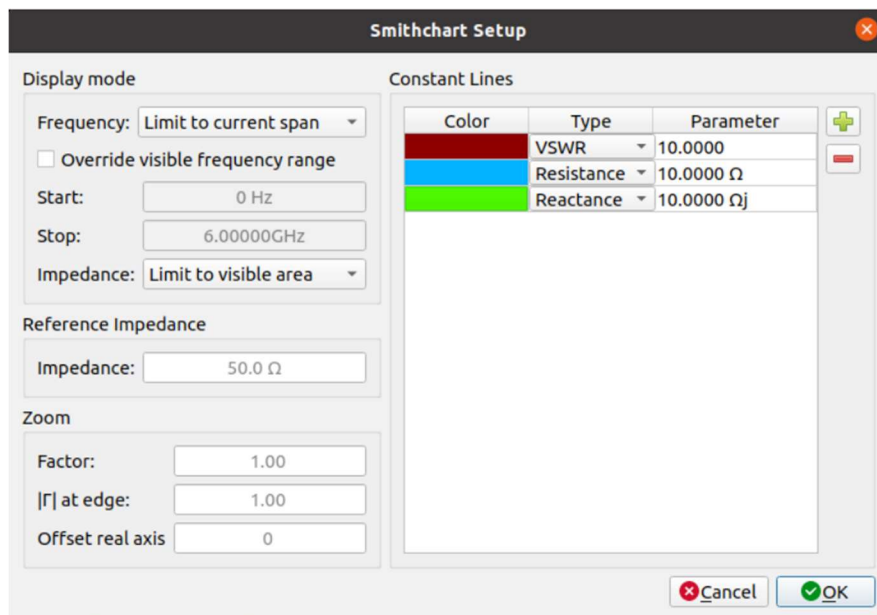
6.4 SmithChart (史密斯圆图)





SmithChart是S11和S22这种反射测量的默认图。S21和S12是不能通过测量值添加的。

针对于SmithChart，在设置对话框中有一些特定的设置：



该对话框的左侧包含了关于数据显示方式的设置：

- 显示模式（频率）：关于在频率范围内可见的迹线效果，有三个选项：
 - 限制到当前频率范围：仅显示当前选定频率范围内的所有迹线图像，即使该迹线包含频率范围之外的数据，也不会显示。
 - 显示完整的迹线：始终显示完整的迹线，无论所选择的频率范围
 - 手动选择频率范围：允许手动选择任意要显示的频率范围
- 显示模式（阻抗）：关于迹线阻抗的可见效果有两个选项：
 - 限制在SmithChart内部：在SmithChart圆图的边缘之外去除迹线数据
 - 显示完整的迹线：始终显示完整的迹线，即使迹线数据在SmithChart圆图之外
- 缩放：允许更改SmithChart圆图的中心位置和缩放系数。在视图上也可以使用鼠标滚轮进行缩放控制

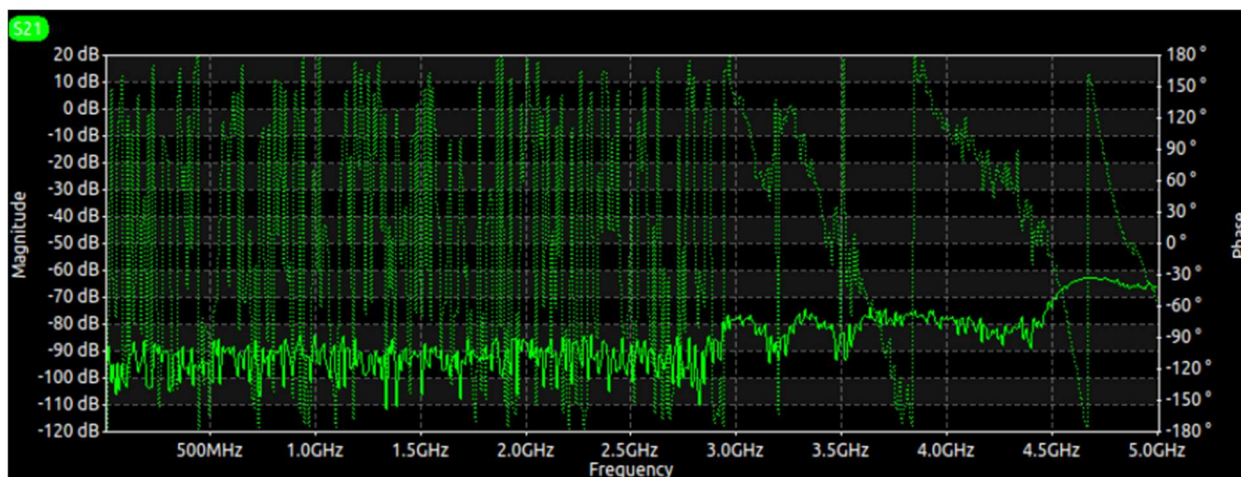
对话框的右侧允许用户向SmithChart圆图中添加常量值，以便将迹线数据与这些值所代表的曲线进行快速的可视化比较。有四种类型的线路可供选择：

- 恒定VSWR
- 恒定电阻（实部）
- 恒定电抗（虚部）
- 恒定Q



对于每一种常量，必须手动选择颜色和常量值。

6.5 XY直角坐标系视图



XY视图是最常用的视图。如果配置正确，它可以显示每种迹线类型。XY图由三个坐标轴组成：

- X轴：始终存在
- 主Y轴可选：在图的左侧
- 辅助Y轴可选：在图的右侧

x轴可以使用不同的类型，所选类型必须与所有显示的迹线的输出域相匹配。可选择类型包括：

X轴类型	支持的迹线域	描述
Frequency（频率）	频域	基于频域的S参数数据绘制的迹线
Power（功率）	能量域	基于激励功率的S参数数据绘制的迹线
时间（Zerospan 零跨度）	时域（Zerospan 零跨度）	基于时域的在某一个特定频点的S参数数据绘制的迹线
Time（时间）	时域	时域数据（傅里叶变换后的S参数数据）
Distance（距离）	时域	时域数据（傅里叶变换后的S参数数据），根据速度因子转换为距离

对于Y轴也有不同的类型。Y轴类型决定了如何在视图上绘制迹线数据。底层迹线数据不受Y轴类型的影响，图形本身会执行所需的计算，以显示正确的数据。可用类型包括：

Y轴类型	描述
Disable（不显示）	未显示Y轴
Magnitude（幅值）	以dB为单位的幅值显示（或频谱分析仪模式下的dBm）
Magnitude(dBuV)（幅值）	以dBuV为单位的幅值显示
Magnitude(linear)幅值（线性）	复数形式的S参数的幅值大小
Phase（相位）	以度数显示的相位，限制在 ± 180 度。



Unwrapped phase (相位展开)	以度为单位的相位展开
VSWR	驻波比
Real	S参数的实部
Imaginary	S参数的虚部
SeriesResistance (串联电阻)	来自反射测量的阻抗的实部分
Reactance (电抗)	来自反射测量的阻抗的虚数部分
Capacitance (电容)	从反射测量中提取的电容值
Inductance (电感)	从反射测量中提取的电感值
QualityFactor (品质因数)	来自反射测量的阻抗的品质因数
GroupDelay (群延迟)	传输测量的群延时
ImpulseResponse(real) (脉冲响应实部)	来自TDR的脉冲响应的实部
ImpulseResponse(magnitude) (脉冲响应幅值)	来自TDR的脉冲响应的幅值
StepResponse (阶跃响应)	来自TDR的阶跃响应
Impedance (阻抗)	根据TDR的阶跃响应计算出的阻抗

并不是每一种Y轴类型都可以与每种x轴类型组合起来。可能的组合包括：

在VNA模式下：

X轴	Y轴
	Magnitude (幅值)
	Magnitude(linear) (线性幅值)
	Phase (相位)
	UnwrappedPhase (相位展开)
Frequency (频率)	VSWR (驻波比)
Power (功率)	Real (实部)
Time(Zerospan) 时间 (Zerospan)	Imaginary (虚部)
	Series Resistance (串联电阻)
	Reactance (电抗)
	Capacitance (电容)
	Inductance (电感)
	Quality Factor (品质因数)
	GroupDelay (群延迟)
Time (时间)	Magnitude (幅值)
Distance (距离)	ImpulseResponse(real) 脉冲响应 (实部)
	ImpulseResponse(Magnitude) 脉冲响应 (幅值)
	StepResponse 阶跃响应
	Impedance 阻抗



频谱分析仪模式：

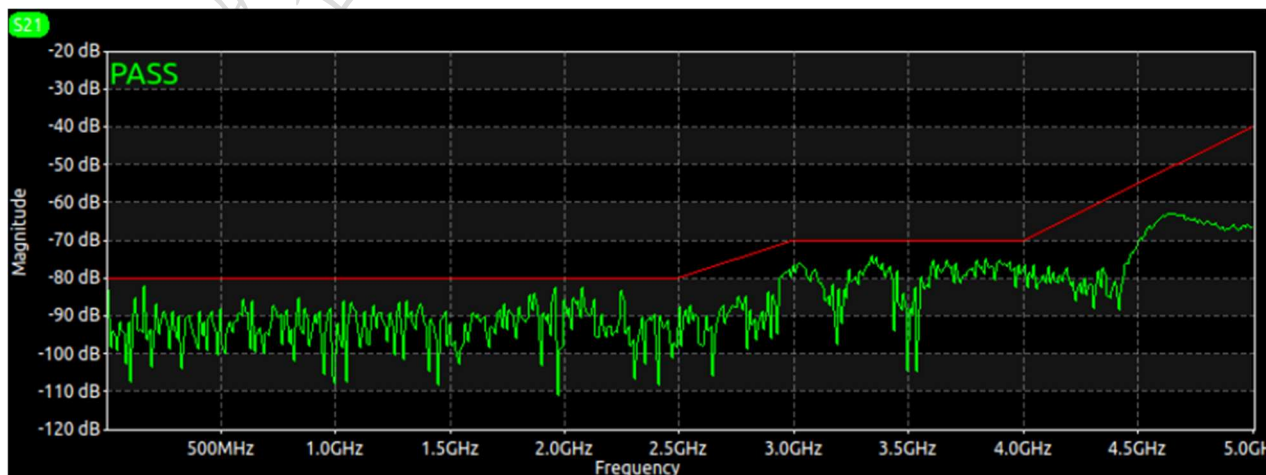
X轴	Y轴
Frequency 频率	Magnitude (幅值)
	Magnitude(dBuV) 幅值 (dBuV 为单位)
	)

可以在XY绘图的设置对话框中选择轴类型：

对于每个坐标轴，显示的范围可以自动设定或手动设定。此外，x轴可以以线性模式或对数模式显示。目前还不支持y轴的对数模式。

6.5.1 Limit lines规则线

XY绘图还支持自定义规则线：





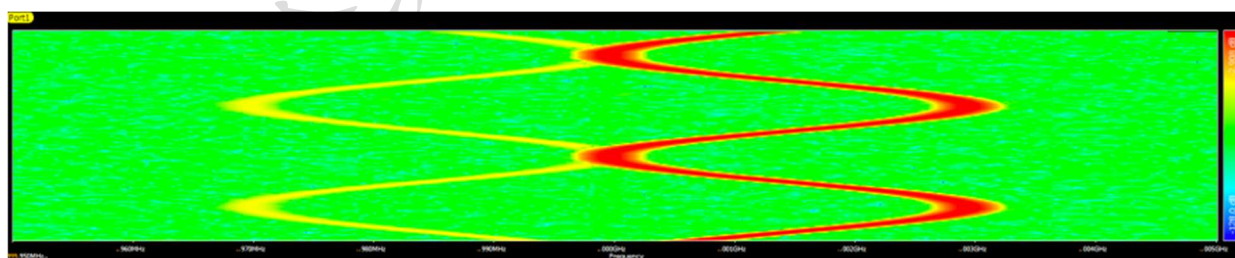
可以在“轴设置”对话框的底部窗口中添加，删除，导入，导出规则线。通过点击+号按钮来创建一个新的规则线，双击一个规则线可以对该规则线进行编辑。

	1	2	3
1		0 Hz	-80.0000 dB
2		2.50000GHz	-80.0000 dB
3		3.00000GHz	-70.0000 dB
4		4.00000GHz	-70.0000 dB
5		6.00000GHz	-10.0000 dB

在设定界面左侧是规则线参数。在右侧，需要通过添加点来绘制规则线。

- Name: 规则线的名称
- Color: 规则线在图表上显示的颜色
- Axis: 要应用规则的 Y 轴: 主轴 (Primary) 还是第二轴
- Pass/Fail: 失效规则
 - DontCare: 只是看看
 - HighLimit: 当迹线高于规则线时失败
 - LowLimit: 当迹线低于规则线时失败

6.6 Waterfall瀑布图



瀑布图可以显示单个迹线在多次扫描后的幅值趋势。它的特定设置大多是XY图的一个子集，Y轴配置几乎是相同的。



其他设置包括：

- Direction方向：确定瀑布图是从顶部还是底部填充。
- Pixels per line每行像素：提供一个简单的垂直缩放功能
- Mode模式：确定是否保留或删除不再适合图形的扫描数据（调整图形的大小将显示保留的数据）
- Number of sweeps扫描次数：当模式设置为“保留屏幕外数据”时，保留的最大扫描次数
- Alignment对齐：瀑布图可以对齐到一个大小相同的XY地块，两个地块的轨迹数据中的峰值将对

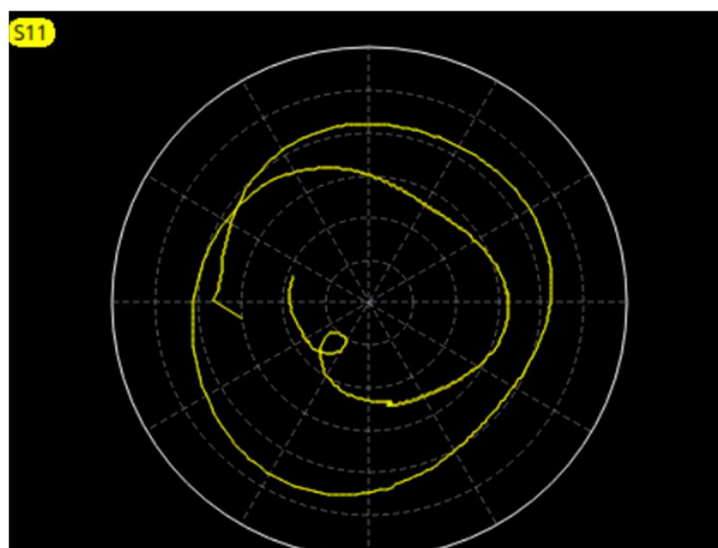
齐。



这两个plot仍然完全相互独立。为了协调工作，他们必须有相同的宽度，其中一个必须完全放在另一个的下面。



6.7 Polar Chart极坐标图



极坐标图看起来类似于Smith图，但没有执行从S参数到阻抗的转换。此外，通过测量也可以显示出来。可用的设置与Smith图相同，但极坐标图不支持添加自定义的常量线：

Polar Chart Setup

Display mode

Frequency: Limit to current span

☐ Override visible frequency range

Start: 0 Hz

Stop: 6.00000GHz

Γ : Limit to visible area

Zoom

Factor: 1.00

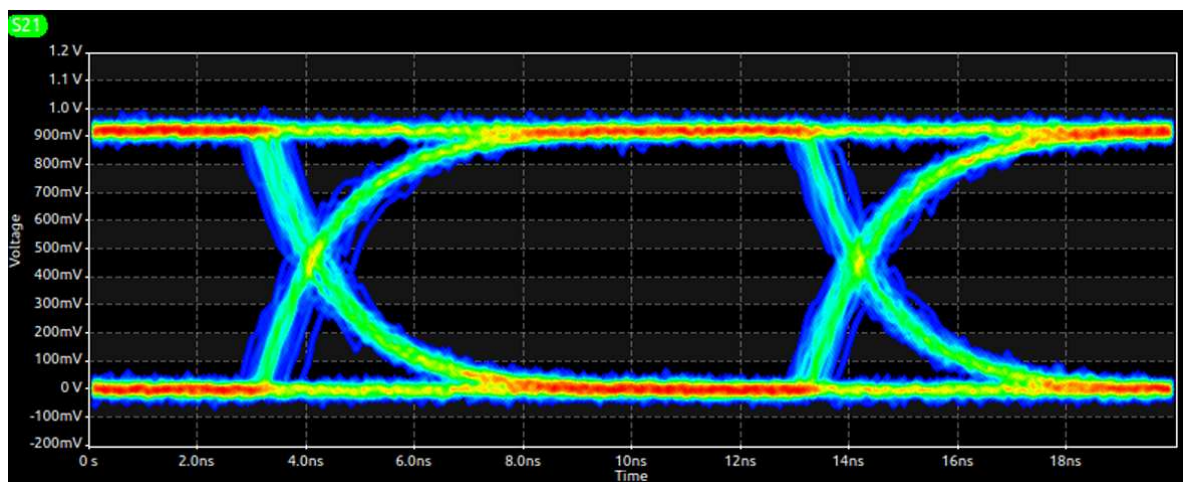
$|\Gamma|$ at edge: 1.000

Offset real axis: 0

Cancel OK



6.8 Eye Diagram 眼图



眼图显示了通过传输线后数字仿真信号的样子。传输线是通过直通测量（例如 S21）创建的。这个仿真信号是具有额外噪声、抖动和有限上升和下降时间的PRBS序列。所有的参数可以在设置对话框中编辑：

Eye Diagram Settings

X Axis

Range: ☒ Auto

Maximum:

Minimum:

Divisions: ☐ Auto

Y Axis

Range: ☐ Auto

Maximum:

Minimum:

Divisions: ☐ Auto

Input Datastream Configuration

Data rate:

Rise time:

Fall time:

Rise/Fall type:

High level:

Low level:

Signal levels:

Noise (RMS):

Jitter (RMS):

Pattern length:

Eye Calculation

Displayed cycles:

Points per cycle:

Trace blurring:

☒ Apply

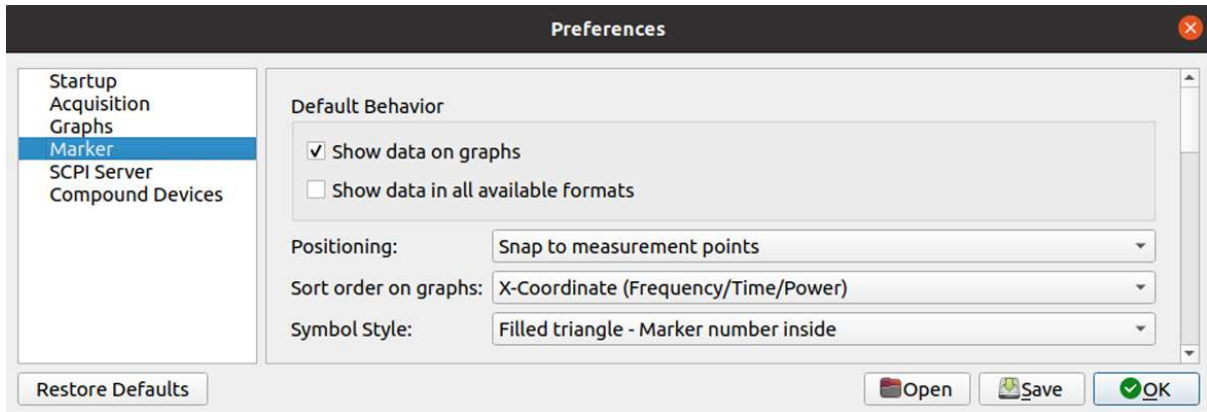
☒ Cancel

☒ OK

7 Markers 标记

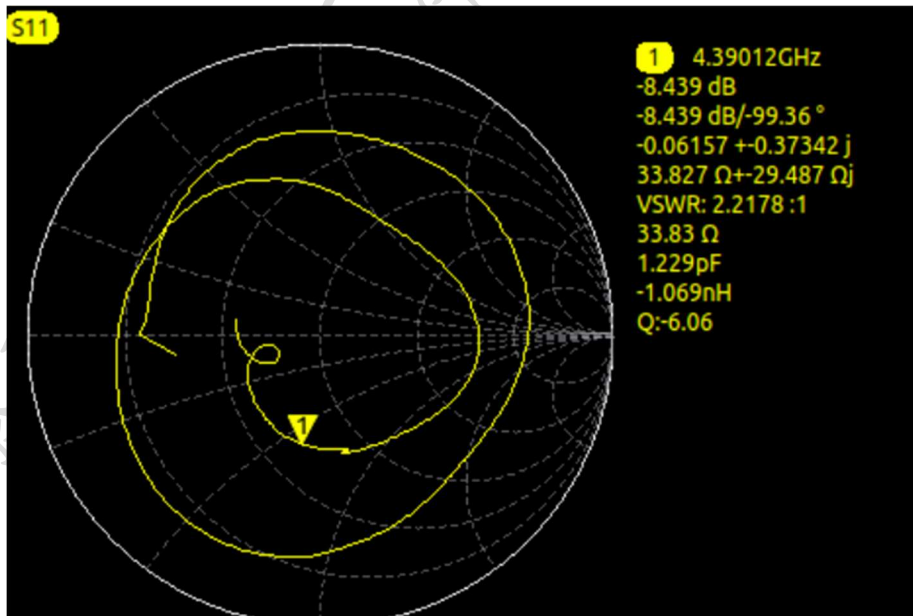
标记提供了在特定点上的迹线数据的简单读取。每个标记都被分配给了一个迹线，并将显示位于不同视图的所有相同迹线上。在以下preferences选项中提供了一些常规标记设置：

5



- Show data on graphs在图形上显示数据：默认情况下，标记数据（X坐标，迹线值）将显示在视图区域的右侧
- Show data in all available formats以所有可用格式显示数据：默认情况下，将显示标记数据的所有可用格式
- Positioning定位：当手动移动标记时，可以定位到单个轨迹点，也可以沿着绘制的轨迹进行插值补点
- Sort order on graphs视图上的排序顺序：定义视图右侧的标记数据的排序顺序
- Symbol style符号样式：可提供的不同符号样式的标记种类

如图为具有所有数据格式的标记示例：



标记Dock提供了所有标记的快速总览：



Marker										
Marker #	Trace	Type	Settings	Restrict				Data		
1	2	S11	Manual	2.15057GHz	☐	from	0 Hz	to	0 Hz	-2.612 dB/-153.1 °
2		S12	Maximum	4.88002GHz	☐	from	0 Hz	to	0 Hz	-63.59 dB/12.89 °
3		S21	Lowpass	-3.00 db	☐	from	0 Hz	to	0 Hz	Cutoff:4.930GHz
4		S22	Delta to 1	2.15000GHz	☐	from	0 Hz	to	0 Hz	Δ:1.648 dB/-0.7312 °
5	2	S12	Manual	2.15057GHz	☐	from	0 Hz	to	0 Hz	-96.80 dB/153.3 °

- Marker #: 视图上的的标记编号
- : 显示/隐藏标记在所有视图
- : 表示已链接在一起的标记。具有相同链接数字的标记，当一个标记改变位置时，其他的编辑都会同时移动

- Trace迹线: 该标记的定位的迹线名称
- Type类型: 各种标记类型，见第7.2节
- Settings设置: 取决于标记类型，允许配置标记
- Restrict限制: 强制标记到特定频率范围（如果迹线使用其他域，则限制标记到功率/时间范围）
- Data数据: 标记位置上的迹线数据。可以用不同的格式显示

可以通过右击标记，或右击标记Dock中的标记符号，可以调出标记符号快捷菜单，进行其他的Marker设置。

7.1 创建和删除标记

有三种方法可以创建标记：

右键单击图形上的轨迹，并选择“在这里添加标记”：

- 使用标记底座中的“添加标记”按钮。
- 使用标记码头中的“向所有迹线添加标记”按钮
- 为每个迹线创建一个标记。默认情况下，创建的标记被链接（参见第7.4节）

可以通过以下方式删除标记：

- 在关联菜单中选择“删除”
- 在标记底座中选择标记，然后按下 **DEL** 或使用“删除标记”按钮

7.2 标记类型

每个标记都是一个特定的类型。该类型决定了如何计算标记位置，并影响可用的标记数据格式。一些标记

类型还包括用于显示其他迹线点的辅助器标记。标记类型可以在标记码头或上下文菜单中进行更改。



7.2.1 手册

1 S11 Manual 2.15057GHz ☐ from 0 Hz to 0 Hz -2.715 dB/-153.6°

这是默认的标记类型。它可以被用户定位在任何位置，并且永远不会自己移动。

7.2.2 最大值

1 S21 Maximum 4.72006GHz ☐ from 0 Hz to 0 Hz -64.68 dB/130.0°

标记会捕捉到指定轨迹的最大振幅（在“限制”列的范围内）。

7.2.3 最小值

1 S21 Minimum 1.13077GHz ☐ from 0 Hz to 0 Hz -121.0 dB/-102.0°

标记捕捉到指定轨迹的最小振幅（在“限制”列的范围内）。

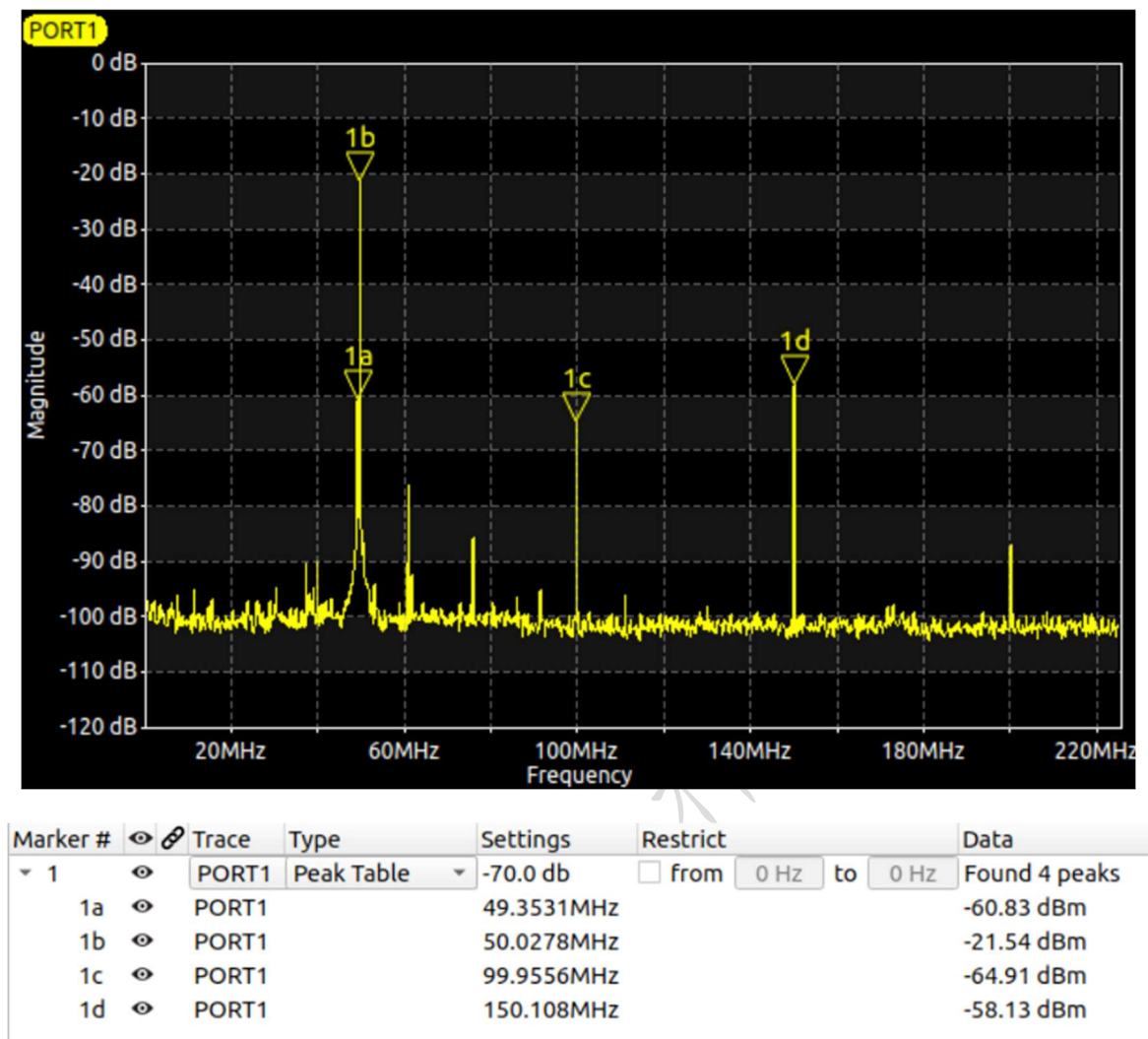
7.2.4 三角洲

2 S11 Delta to 1 2.15057GHz ☐ from 0 Hz to 0 Hz Δ :107.1 dB/-247.7°

增量标记可以由用户进行定位。它将显示相对于其指定的引用标记的迹线数据。引用标记由其在“type”列中的标记号来选择。



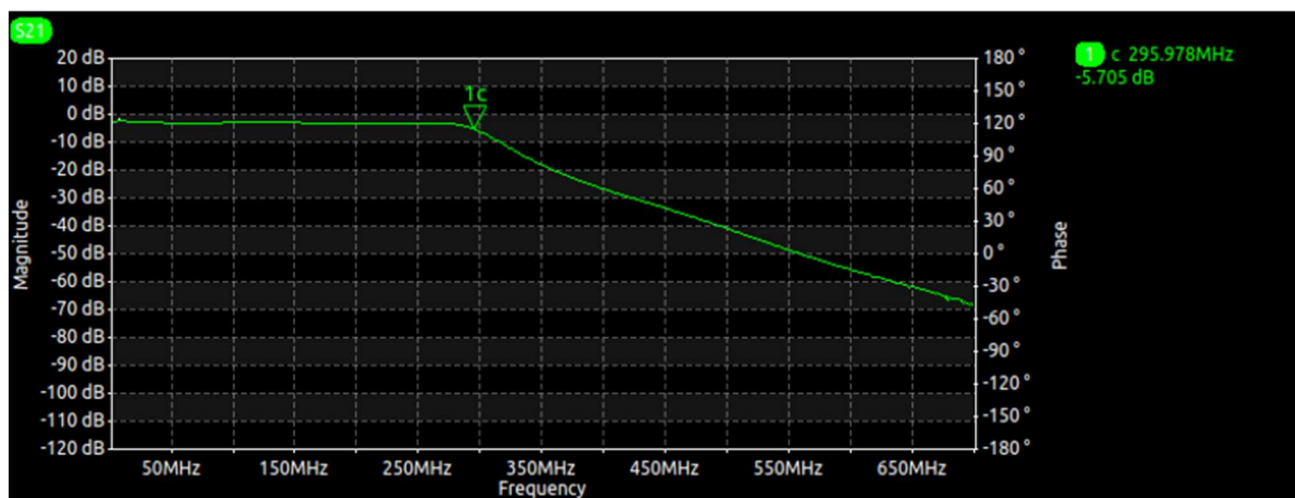
7.2.5 峰值表



峰值表列出了在指定的信号电平以上的信号中的所有峰值。它将为每个峰值创建一个辅助器标记。峰值阈值级别可以在“设置”列中进行调整。



7.2.6 低通



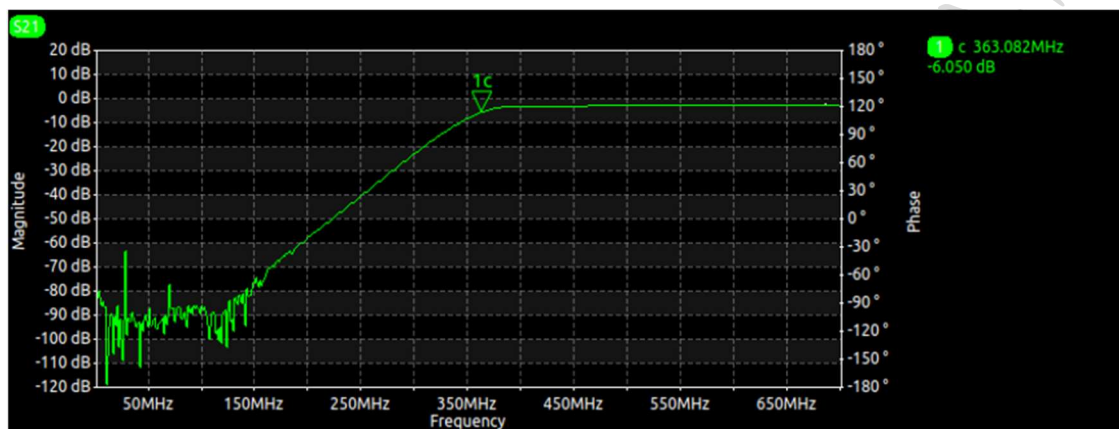


Marker #	Trace	Type	Settings	Restrict	Data
1	S21	Lowpass	-3.00 db	from 0 Hz to 0 Hz	Cutoff:296.0MHz
1c	S21	cutoff	295.978MHz		-5.701 dB/145.0°

低通标记决定了低通滤波器的截止频率。首先，通过求出最大的信号振幅来计算滤波器的衰减。然后，通过查找信号电平下降了一个指定量的频率来确定截止频率。阈值对于这个信号电平的下降，可以在“设置”列中进行调整。

此标记类型仅可用于通过测量。

7.2.7 高通

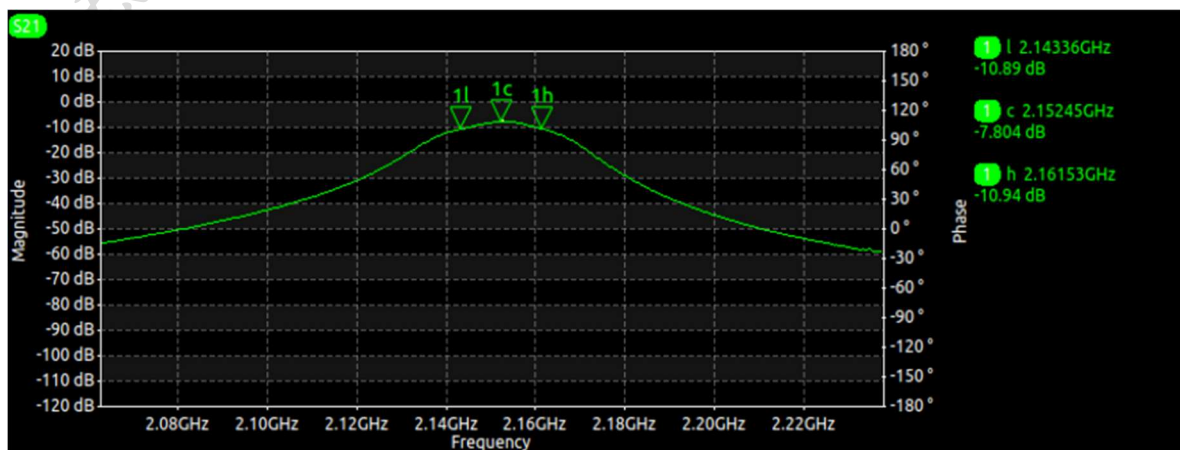


Marker #	Trace	Type	Settings	Restrict	Data
1	S21	Highpass	-3.00 db	from 0 Hz to 0 Hz	Cutoff:363.1MHz
1c	S21	cutoff	363.082MHz		-6.052 dB/49.09°

高通标记决定了高通滤波器的截止频率。首先，通过求出最大的信号振幅来计算滤波器的衰减。然后，通过查找信号电平下降了一个指定量的频率来确定截止频率。阈值对于这个信号电平的下降，可以在“设置”列中进行调整。

此标记类型仅可用于通过测量。

7.2.8 带通





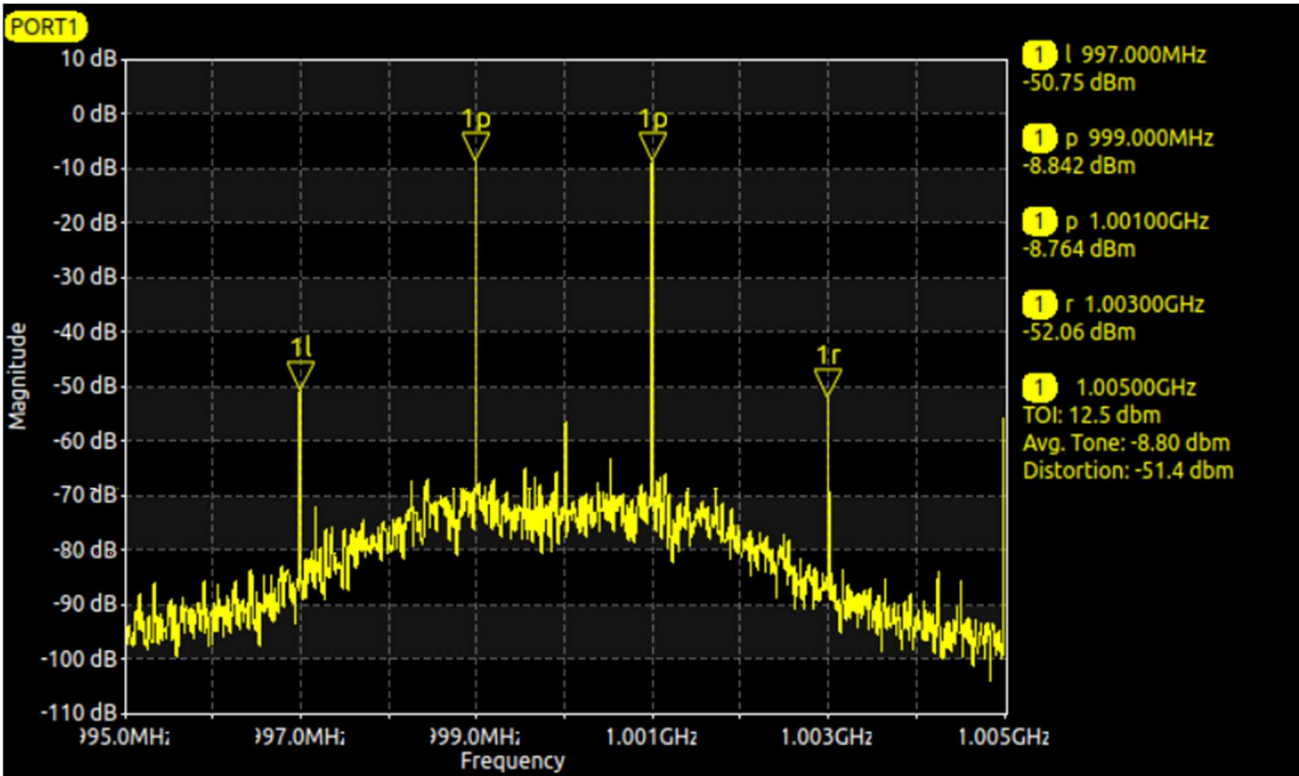
Marker #	Trace	Type	Settings	Restrict	Data
1	S21	Bandpass	-3.00 db	☐ from 0 Hz to 0 Hz	fc: 2.1524GHz, BW: 18.17MHz, Ins.Loss: >=7.787db
1l	S21	lower cutoff	2.14336GHz		-10.88 dB/-160.9°
1h	S21	higher cutoff	2.16153GHz		-10.94 dB/-12.26°
1c	S21	center	2.15245GHz		-7.793 dB/96.74°

带通标记决定了高通滤波器的中心频率和带宽。首先，通过求出最大的信号振幅来计算滤波器的衰减。然后，通过查找信号电平下降了一个指定的量的频率来确定每个方向上的截止频率。这个信号电平下降的阈值可以在“设置”列中进行调整。最后，将中心频率设置为高截止频率和低截止频率的中间。

此标记类型仅可用于通过测量。



7.2.9 TOI/IP3

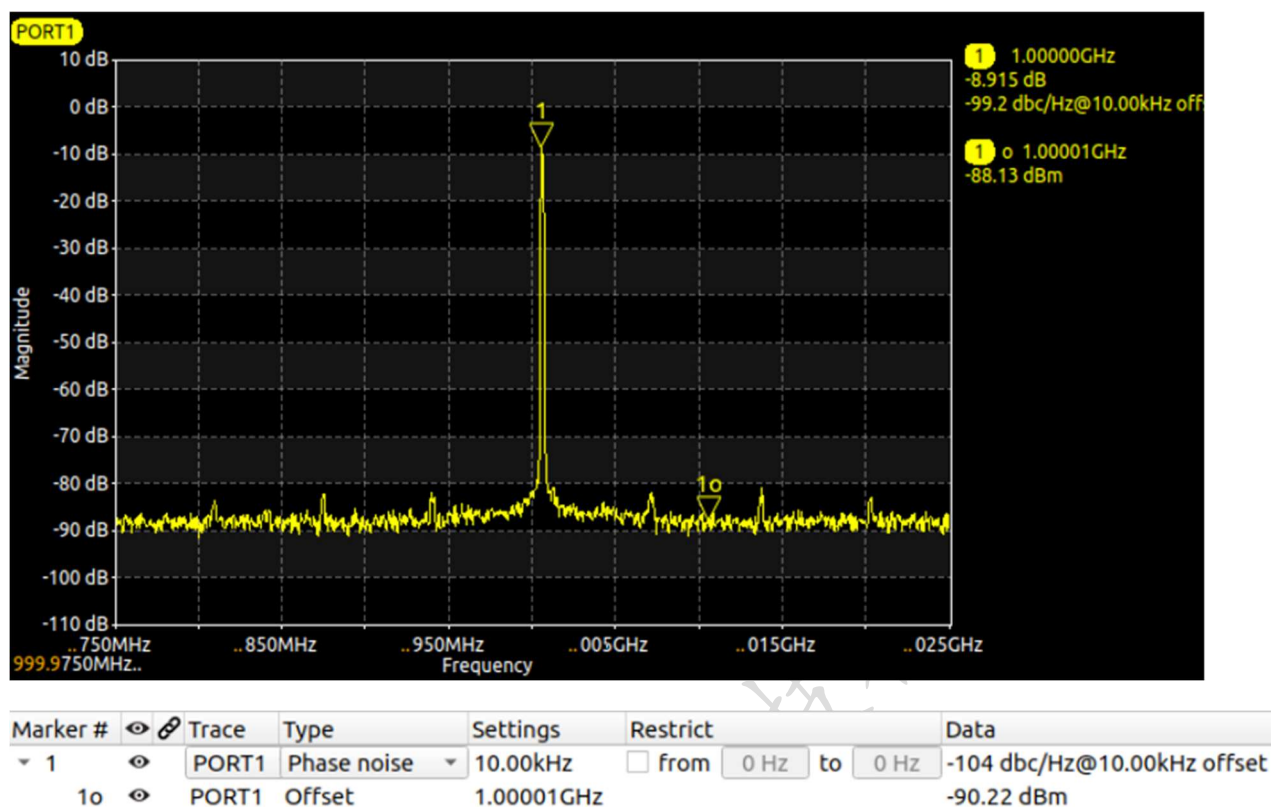


Marker #		Trace	Type	Settings	Restrict	Data
1		PORT1	TOI/IP3	none	☐ from 0 Hz to 0 Hz	TOI: 12.6 dbm
1p		PORT1	first peak	999.000MHz		-8.827 dBm
1p		PORT1	second peak	1.00100GHz		-8.754 dBm
1l		PORT1	left intermod...	997.000MHz		-50.83 dBm
1r		PORT1	right intermo...	1.00300GHz		-52.17 dBm

此标记类型计算了三阶截距点。它仅在频谱分析仪模式下可用。首先，将执行一个峰值搜索，以找到两个最高的峰值。互调产物的频率是由这些峰值频率和放置在每个这些频率上的辅助标记来计算出来的。最后，计算了三阶截距点以及音调 and 失真信号的振幅。

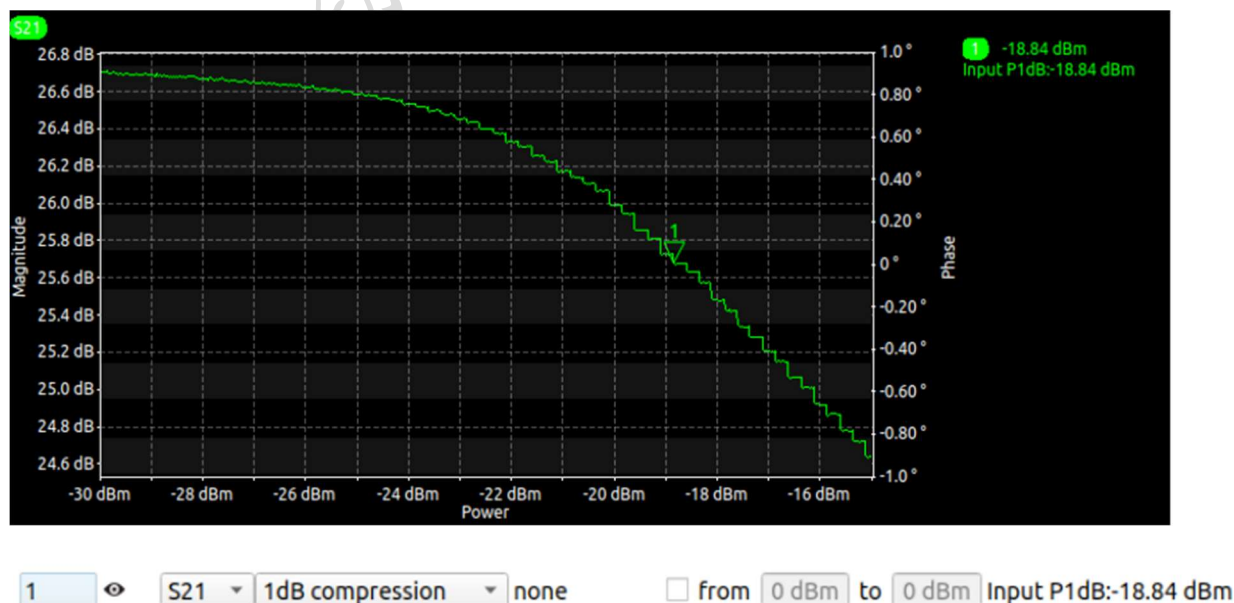


7.2.10 相噪声



这种标记类型计算信号的相位噪声。是仅在频谱分析仪模式下可用。首先执行峰值搜索以确定信号频率。然后，将辅助器标记放置在指定的偏移量处。该偏移量可以在“设置”列中进行配置。利用峰值和偏移标记处的信号振幅，计算出相位噪声。

7.2.11 P1dB





这种标记类型仅用于通过功率扫描的测量。它计算了放大器的1 dB压缩点。

7.3 标记数据

标记位置上的迹线数据可以以各种格式显示在标记码头和图形上。可用的格式取决于标记类型以及迹线数据的域。每次只能在标记码头中显示其中一种可用的格式。在图形上，可以同时显示任意数量的格式。可以在标记的上下文菜单中选择所显示的格式。

泰瑞合劲(天津)科技有限公司



Trace domain	Marker type	Available data formats
Time	Manual Delta	dB
		Real/Imaginary
		Impedance (if step response available)
Time (zero span) in SA mode	Manual Delta Maximum Minimum Peak Table	dBm
		dBuV
		Noise
Time (zero span) in VNA mode	Manual Delta Maximum Minimum Peak Table	dB
		dB + angle
		Real/Imaginary
		Impedance
		VSWR
		Series Resistance
		Capacitance
Frequency in SA mode	Manual Delta Maximum Minimum Peak Table	dBm
		dBuV
		Noise
	Phase Noise	Phase Noise
		dB
	TOI/IP ₃	third-order intercept
		Average tone level
		Average modulation product level
Frequency in VNA mode	Manual Delta Maximum Minimum Peak Table	dB
		dB + angle
		Real/Imaginary
		Impedance
		VSWR
		Series Resistance
		Capacitance
		Inductance
		Quality factor
Power	Manual Delta Maximum Minimum P _{1dB}	1 dB compression point (only for P _{1dB} type)
		dB
		dB + angle
		Real/Imaginary
		Impedance
		VSWR
		Series Resistance
		Capacitance
		Inductance
		Quality factor



7.4 链接标记

通常，标记可以单独移动，并且只能连接到一个迹线。这会在从同一位置的多个迹线中读取迹线数据时产生问题。如果位置，则需要手动将所有标记移动到新位置。链接标记提供了这个问题的解决方案：链接组中的所有标记总是使用相同的位置。如果一个标记被移动，其他标记也会移动。每个标记的链接组在标记码头中表示(如果该标记不属于任何链接组，则为空)。

只有可移动的标记可以添加到已链接的组中。如果一个标记类型执行该标记的自动定位(e. g. 最大标记类型)，不能添加它。

7.4.1 创建一个新的链接组

在标记码头中选择多个标记，右键单击并选择“链接选择”。

7.4.2 向现有的链接组添加一个标记

打开标记上下文菜单，选择“添加到链接组”，并选择该标记应该添加到的链接组。

7.4.3 从一个链接的组中删除一个标记

- 打开标记上下文菜单，选择“从链接组中删除”
- 在标记基座中选择多个链接标记，右键单击并选择“断开链接”，以从其链接组中删除所有选定的标记。

8 复合装置

LibreVNA支持将多个硬件单元组合到一个“复合设备”中。当使用时，所配置的物理LibreVNA将被组合到一个具有更多端口的虚拟设备中。当连接到这样的设备时，有额外的测量参数(例如，在VNA模式下测量S23或在规格模式下测量端口3)。

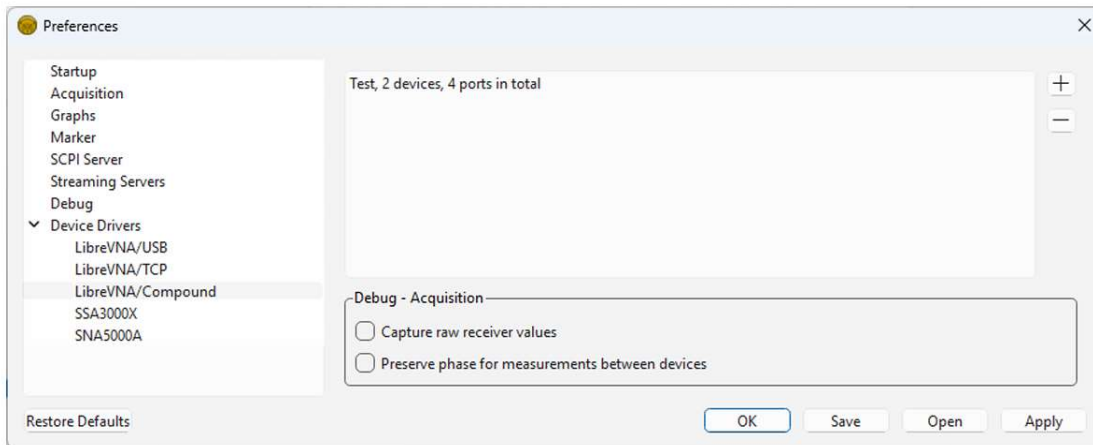


当连接到复合设备并处于VNA模式时，不同LibreVNA设备之间的直通测量没有相位信息。这是硬件限制，软件中会将相位设置为零。同一LibreVNA设备内部的直通测量以及所有有反射测量均保留相位信息其相位信息。

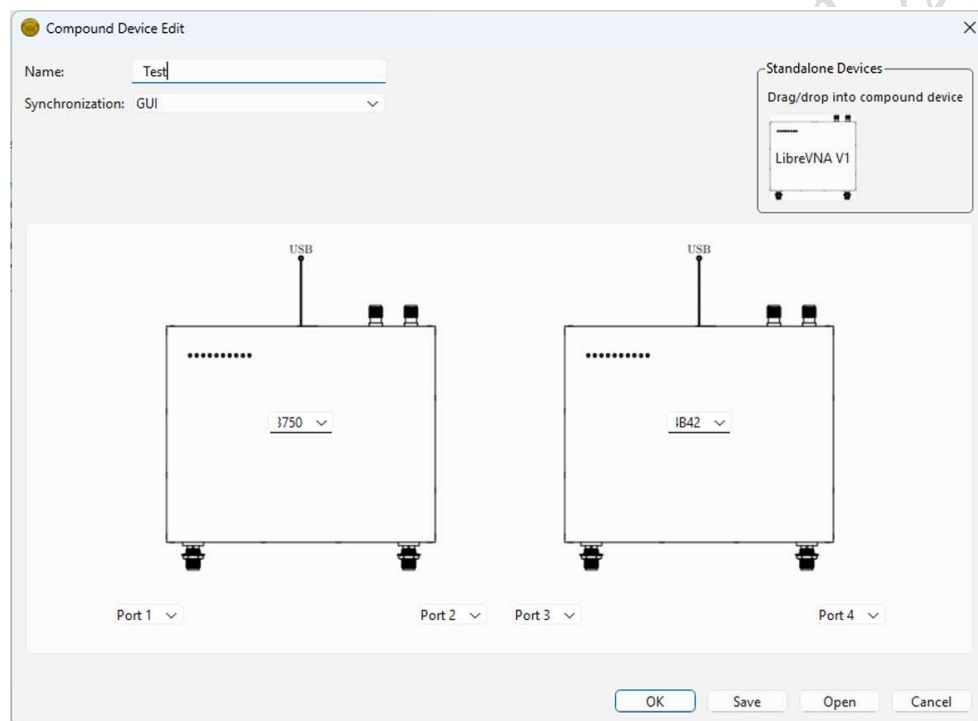
8.1 创建复合设备

复合设备必须在以下首选项中配置：





使用右侧的按钮创建和移除复合设备。双击现有复合设备即可对其进行编辑：



创建复合设备时的必需步骤：

1. 为新复合设备分配一个名称
2. 选择设备之间的同步方式。目前仅支持GUI同步，但未来的硬件版本可能会支持通过专用触发端口进行更快的同步
3. 为复合设备中的每个物理设备，将LibreVNA符号拖放到配置区域中
 - 必须使用至少两个物理设备
 - 最多可组合四个物理设备，最多可具有八个虚拟端口



4. 为每个物理设备分配序列号。所有当前已连接设备的序列号均可从下拉列表中选择，但也可以手动输入不同的序列号

5. 分配复合设备的虚拟端口：

- 每个端口号只能出现一次
- 端口号必须从端口1开始
- 端口号必须连续，例如端口1、2和4是不允许的，因为缺少端口3
- 物理端口可以留作未使用

8.2 连接到复合设备

当连接了所有必需的物理设备时，已配置的复合设备将以其名称出现在设备列表中。一旦连接好，就可以根据复合设备中配置的端口数量提供新的测量值或端口。



通过物理设备之间的测量，依赖于刺激频率的精确匹配。根据内部频率源的精度和所选的中频带宽，来自产生装置的刺激信号可能落在接收装置的中频带宽之外，从而导致报告的低于实际存在的振幅。在使用复合装置时，可与频率校准精确或（推荐）切换到使用外部参考输入。

8.3 限制

当连接到复合设备时，某些功能不可用。要使用它们，请断开与复合设备的连接，并直接连接到各个物理设备：

- 固件更新
- 手动控制
- 源标定
- 接收机校准
- 频率校准



9 振幅校准

本节是关于校准源输出水平和频谱分析仪水平。它根本不影响VNA的测量值。VNA的校准方法见第 3.5节。

在发生器或频谱分析仪模式中使用的内部信号源和接收机路径都没有确保准确振幅的方法（由于VNA校准消除了缺陷，硬件没有对绝对振幅精度进行优化）。为了提高发电机和频谱分析仪的精度（特别是启用迹线发生器的精度），有频率相关的振幅校准。它们被永久地存储在设备中，并且只需要执行一次。源校正纠正（迹线）发电机的输出，而接收器校正纠正频谱分析仪的测量。

对于这两种校准，都需要其他测试设备，理想情况下覆盖1 MHz到6 GHz的整个范围（仅校准部分频率范围，但在校准范围之外的信号/测量将不准确）。源校准需要一种方法来测量LibreVNA的输出（例如：一个频谱分析仪或功率计），接收器校准需要一个信号源（例如：信号发生器）。一旦任何一个校准完成，LibreVNA也可以以合理的准确性推断出另一个校准。

9.1 源校准

选择  。此时将打开一个显示当前源校准的窗口：



Source Calibration Dialog

Frequency	Correction Factors	Amplitude Port 1	Amplitude Port 2
1.00000GHz	0, 0	-20.00 dbm	-20.00 dbm
1.50000GHz	0, 0	-20.00 dbm	-20.00 dbm
2.00000GHz	0, 0	-20.00 dbm	-20.00 dbm
2.50000GHz	0, 0	-20.00 dbm	-20.00 dbm

Buttons: +Add Point(s), -Delete Point, Load from Device, Save to Device

Calibration Mode

☒ Both Ports
Best accuracy

☐ Only Port 1
Use same correction for port 2

☐ Only Port 2
Use same correction for port 1

Automatic measurement

以下是必要的步骤：

1. 设置校准频率：根据您的需要添加或删除各个点。理想情况下，它们应该在整个范围内均匀间隔以进行校准，可能会稍微强调更高的频率（信号电平通常在较高的频率下变化更大）。此外，建议将一个点设置在25 MHz和一个略低于此值的点（在25 MHz时，一个波段被切换，从而导致振幅不连续）。最多可使用64个点。
2. 选择校准模式：要么分别校准两个端口（最佳精度，但工作更多），要么假设它们相同，并在一个端口进行测量。
3. 执行校准：对于每个频率和端口，请在表中选择相应的单元格。LibreVNA将在选定的频率和端口（它认为是）-20dBm。使用外部设备确定实际输出电平，并将测量值输入选定的单元格。

。



4. 保存校准：一旦完成所有测量，“保存到设备”按钮将可用。没有办法保存中间的结果，

你必须校准你在步骤1中选择的所有频率。

Automatic measurement

如果接收器校准已经完成，那么也可以从中推断出源校准。点击 并将

LibreVNA的两个端口直接相互连接。这种连接应尽可能理想（短、低损耗电缆），因为每个缺陷都会直接转化为校准误差。在自动校准期间，LibreVNA使用来自接收器校准的已经建立的频率点，并测量输出振幅。

用其本身来确定源极校准的系数。

9.2 接收机校准

选择 **Device** **Receiver Calibration**。接收器校准与源校准几乎相同。唯一的区别是在步骤3中：

2. 执行校准：对于每个频率和端口，在表中选择对应的单元格，并在选定的频率和端口上应用一个已知电平的信号。信号电平应在-40dBm至-10dBm之间。较高的信号电平可能已经压缩了接收机，而较低的信号电平由于噪声而不必要地增加了校准误差。LibreVNA将其接收器调整到选定的频率，并测量振幅。应用信号至少2秒，并在信号仍然激活时将其实际振幅输入选定的单元。

10 故障排除

如果在引导过程中出现错误，“引导”指示灯会反复闪烁错误代码：

错误代码	意义	可能的解决方案
1	检测到闪存失败	硬件故障，检查焊接情况
2	无效的闪存内容	执行固件更新
3	配置FPGA失败	检查FPGA位流发生器的设置
4	硬件初始化失败	验证FPGA位流和uC固件是否从同一版本中创建