



TPR1000 和 TPR4000
有源电源轨探头
用户手册



077-1544-00



TPR1000 和 TPR4000
有源电源轨探头
用户手册

Copyright © Tektronix. 保留所有权利。许可软件产品由 Tektronix、其子公司或提供商所有，受国家版权法及国际条约规定的保护。

Tektronix 产品受美国和外国专利权（包括已取得的和正在申请的专利权）的保护。本文中的信息将取代所有以前出版的资料中的信息。保留更改技术规格和价格的权利。

TEKTRONIX 和 TEK 是 Tektronix, Inc. 的注册商标。

TekVPI 是 Tektronix, Inc. 的商标。

Tektronix 联系信息

Tektronix, Inc.
14150 SW Karl Braun Drive
P.O. Box 500
Beaverton, OR 97077
USA

有关产品信息、销售、服务和技术支持：

- 在北美地区，请拨打 1-800-833-9200。
- 其他地区用户请访问 www.tektronix.com，以查找当地的联系信息。

保修

Tektronix 保证本产品自发货之日起一年内，不会出现材料和工艺方面的缺陷。如果在保修期内证实任何此类产品有缺陷，Tektronix 将自主决定，是修复有缺陷的产品（但不收取部件和人工费用）还是提供替换件以换回有缺陷的产品。Tektronix 在保修工作中使用的部件、模块和替代产品可能是新的，也可能是具同等性能的翻新件。所有更换的部件、模块和产品均归 Tektronix 所有。

为得到本保修声明承诺的服务，客户必须在保修期到期前向 Tektronix 通报缺陷，并做出适当安排以便实施维修。客户应负责将有缺陷的产品打包并运送到 Tektronix 指定的维修中心，同时预付运费。如果产品返回地是 Tektronix 维修中心所在国家/地区的某地，Tektronix 将支付向客户送返产品的费用。如果产品返回地是任何其他地点，客户将负责承担所有运费、关税、税金和其他任何费用。

本保修声明不适用于任何由于使用不当或维护保养不足所造成的缺陷、故障或损坏。Tektronix 在本保修声明下没有义务提供以下服务：a) 修理由 Tektronix 代表以外人员对产品进行安装、修理或维护所导致的损坏；b) 修理由于使用不当或与不兼容的设备连接造成的损坏；c) 修理由于使用非 Tektronix 提供的电源而造成的任何损坏或故障；d) 维修已改动或者与其他产品集成的产品（如果这种改动或集成会增加维修产品的时间或难度）。

这项与本产品有关的保修声明由 TEKTRONIX 订立，用于替代任何其他明示或默示的保证。Tektronix 及其供应商不提供任何对适销性和适用某种特殊用途的默示保证。对于违反本保修声明的情况，Tektronix 负责为客户修理或更换有缺陷产品是提供给客户的唯一和独有的补救措施。对于任何间接的、特殊的、附带的或后果性的损坏，无论 Tektronix 及其供应商是否曾被预先告知可能有此类损坏，Tektronix 及其供应商均概不负责。

[W2 - 15AUG04]

目录

重要安全信息	iii
常规安全概要	iii
维修安全概要	iii
本手册中的术语	iv
产品上的符号和术语	iv
合规性信息	v
环境注意事项	v
前言	vi
文档	vi
本手册中使用的约定	vi
返还探头进行维修	vi
为什么使用电源轨探头？	vii
工作原理	vii
主要特点	viii
安装	1
操作注意事项	1
连接到主仪器	2
探头控制和指示器	2
功能检查	4
所需设备	4
基本操作	6
所需的示波器软件版本	6
探头输入	6
探头偏置	7
连接 MMCX 附件	7
连接焊接附件	7
使用焊接引脚安装工具	8
使用三脚架	9
使用选配点测探头	9
附件和选件	11
标配附件	11
可选附件	12
选件	14
探测原理	15
地线长度	15
地线电感	16
技术规格	17
保证特性	17
典型特性	18
额定特性	20
附件特性	21

性能验证	25
所需设备	25
设备设置	26
检查直流增益精度	28
检查直流输入动态范围	30
检查输入偏置范围和标度精度	31
检查模拟带宽	32
测试记录	33
维护	34
错误情况	34
替换部件	34
清洁	34
索引	

重要安全信息

本手册包含用户必须遵守的信息和警告，以确保安全操作并保证产品安全。

为保证安全地对本产品进行维修，还在本部分结尾的服务安全摘要中提供了其他信息。

常规安全概要

请务必按照规定使用产品。详细阅读下列安全性预防措施，以避免人身伤害，并防止损坏本产品或与本产品连接的任何产品。认真阅读所有说明。保留这些说明以备将来参考。

探头和测试导线

连接探头或测试导线之前，请将电源线从电源连接器连接到正确接地的电源插座。

检查探头和附件：在每次使用之前，请检查探头和附件是否损坏（探头本体、附件、电缆外壳等的割裂、破损、缺陷）。如有损坏，请勿使用。

高温探头



警告：为防止烧伤，在高温应用中使用焊接微型同轴电缆端部或柔性端部时，务必在处理端部前让端部冷却。

维修安全概要

维修安全概要部分包含对本产品安全执行维修所需的其他信息。只有合格人员才能执行维修程序。在执行任何维修程序之前，请阅读此维修安全概要和常规安全概要。

不要单独维修：除非现场有他人可以提供急救和复苏措施，否则请勿对本产品进行内部维修或调整。

本手册中的术语

本手册中可能出现以下术语：



警告：“警告”声明指出可能会造成人身伤害或危及生命安全的情况或操作。



注意：“注意”声明指出可能对本产品或其他财产造成损坏的情况或操作。

产品上的符号和术语



产品上标示此符号时，请确保查阅手册，以了解潜在危险的类别以及避免这些危险需采取的措施。（此符号还可能用于指引用户参阅手册中的额定值信息。）

产品上可能出现以下符号：



CAUTION
Refer to Manual

合规性信息

本产品仅供专业人员和受过培训的人员使用；不得在家中或供儿童使用。

如果对以下合规性信息存在疑问，可以联系以下地址：

Tektronix, Inc.
PO Box 500, MS 19-045
Beaverton, OR 97077, USA
www.tek.com

环境注意事项

本部分提供产品对环境影响的相关信息。

有害物质限制

符合 RoHS2 指令 2011/65/EU。

产品报废处理

回收仪器或器件时，请遵守下面的规程：

设备回收：生产本设备需要提取和使用自然资源。如果对本产品的报废处理不当，则该设备中包含的某些物质可能会对环境或人体健康有害。为避免将有害物质释放到环境中，并减少对自然资源的使用，建议采用适当的方法回收本产品，以确保大部分材料可以得到恰当的重复使用或回收。



此符号表示该产品符合欧盟有关废旧电子和电气设备 (WEEE) 以及电池的 2012/19/EU 和 2006/66/EC 号指令所规定的相关要求。有关回收选项的信息，请登录泰克网站 (www.tek.com/productrecycling) 查看。

前言

本手册介绍了 TPR1000 和 TPR4000 有源电源轨探头的安装和操作方法。其中包括基本的探头操作和概念。除非特别说明，本手册中所用插图均为 6 系列 MSO 示波器和 TPR4000 探头。您还可以访问 Tektronix 网站 (www.tek.com) 获取此文档和其他相关信息。

文档

需获取的信息

使用的文档

TPR1000 和 TPR4000 探头：首次操作、功能检查、操作基础知识、技术规格、性能验证 请阅读本使用手册。

本手册中使用的约定

本手册中使用以下图标表示步骤顺序。

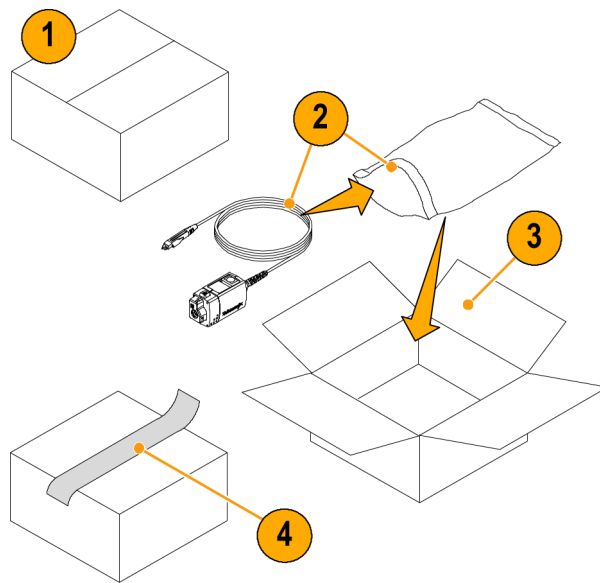


返还探头进行维修

如果探头需要维修，则必须将探头返回至 Tektronix。如果原包装不能使用或丢失，请按照下面的包装指南打包：

装运准备

1. 使用波纹纸板运输专用包装箱，其内部尺寸至少比探头尺寸大一英寸。包装箱的纸板测试承重至少应为 200 磅（90.72 公斤）。
2. 将探头置于防静电袋内或包裹起来，防止其受潮。
3. 将探头放入箱子，并用轻质包装材料进行固定。
4. 使用装运胶带密封包装箱。
5. 参阅本手册开头部分的 Tektronix 联系信息，获得发运地址。



为什么使用电源轨探头？

现代电子产品新增的功能、更高的密度、更快的开关速度，正推动着对更低的供电电压的需求。设计人员需要放大电源轨，查找高频干扰信号，测量纹波，在更紧张的容限下分析耦合效应。示波器通常没有足够的偏置，把 DC 轨上的噪声和纹波位移到屏幕中心，以便进行所需的测量。

TPR1000 和 TPR4000 探头提供了低噪声测量解决方案（示波器和探头），这一点非常关键，以区分示波器和探头的噪声与被测的 DC 电源的噪声和纹波。探头中较高的输入阻抗，可以最大限度地减少示波器负载对 DC 轨道的影响（50 kΩ @ DC）。探头提供的带宽越高，能够查看 DC 轨道上可能影响的数据信号、时钟等信号的内容（谐波、更快的纹波等）就越多。

TPR1000 和 TPR4000 为高速（μP）、低功耗（手机）和开关式电源市场中的功率完整性和验证工程师提供了同类最优秀的解决方案。探头设计提供了最低的噪声、高带宽及 60 V 偏置，拥有灵活的连接选项，可以解决客户挑战，同时有多个软件包，能够满足数字功率管理市场的需求。

工作原理

框图显示 TPR1000 和 TPR4000 探头中的主要电路块或模块。

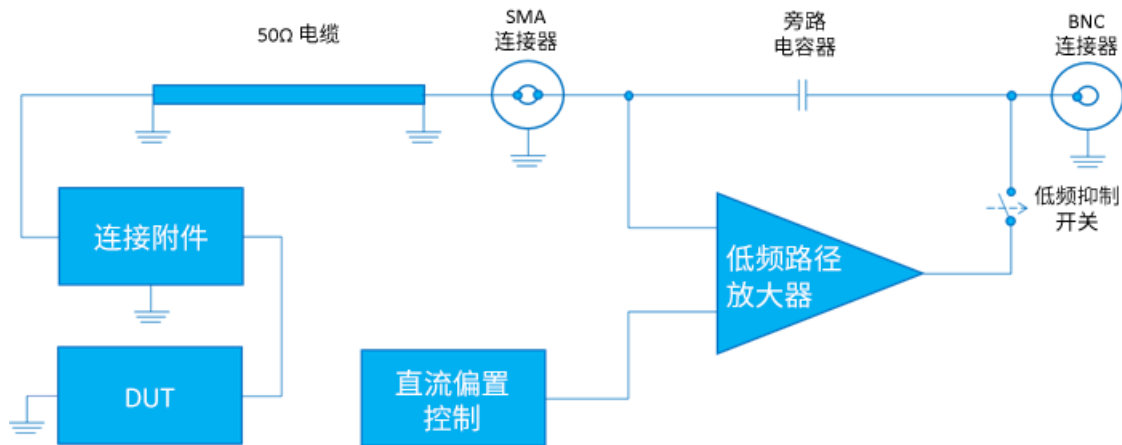


图 i: TPR1000 和 TPR4000 框图

通过扩展示波器偏置能力，同时在仪器中维持低噪声信号路径，实现 TPR1000 和 TPR4000 功能。可以使用低频放大器的直流偏置控制在偏置电压工作窗口移动中线性动态范围。当不需要直流偏置时，可通过在仪器垂直菜单中将耦合模式设置为直流抑制，来断开低频放大器的连接。旁路电容器充当高频分量的低阻抗路径，同时阻挡低频率分量。因为 TPR1000 和 TPR4000 用于测量配电平面的低源阻抗，所以不建议在源阻抗 $>1 \Omega$ 的情况下测量设备，因为这可能会导致波形失真。

主要特点

TPR1000 和 TPR4000 探头为测量 DC 电源轨上的纹波而提供了低噪声、大偏置范围解决方案，其 DC 电源轨范围为 $-60 \sim +60$ VDC。泰克电源轨探头提供了所需的行业主流的低噪声和大偏置范围，可以测量 4 GHz 以下 $200 \mu\text{Vp-p}$ 至 1Vp-p 的交流纹波。主要特点包括：



- 示波器兼容性
6 系列 MSO、5 系列 MSO、4 系统 MSO、3 系列 MDO、MD03000 ¹、MD04000C ¹、MSO/DPO5000B、DPO7000C 和 DPO70000C/DX/SX ²
- 带宽（直流耦合模式）^{3 4}
TPR1000：DC 至 1 GHz
TPR4000：DC 至 4 GHz
- 带宽（直流抑制模式）^{3 4}
TPR1000：10 kHz 至 1 GHz
TPR4000：10 kHz 至 4 GHz
- 线性动态范围
最高为 60 V DC， $\pm 1 \text{Vp-p}$ 至带宽 ⁵
- 衰减：1.25x ³
- 测量精度
DC 线性： $<0.1\%$
阶跃响应长期异常： $<\pm 1\%$
- 噪声
在 6 系列 MSO 上为 $<200 \mu\text{Vp-p}$ 噪声（20 MHz 带宽限制）
在 6 系列 MSO 上为 $<1 \text{mVp-p}$ 噪声（全带宽）
- 输入阻抗
50 k Ω DC 至 10 Hz
50 Ω AC $> 100 \text{kHz}$
- 尖端位置的温度范围 ⁶
-40 至 +85 °C（标配附件）
-40 至 +155 °C（高温电缆选件）
- 偏置
 $\pm 60 \text{V}$ 偏置范围
- 偏置设置错误
最大： \pm （设置值的 2% + 2.5 mV）
典型：SPC 和探头归零之后 $\pm (0.1\% + 2.5 \text{mV})$

¹ 由于 TPR1000 和 TPR4000 探头以及 MD03000 和 MD04000C 示波器之间的软件不兼容，当在小于 2 毫伏/格的垂直刻度设置中使用这些示波器时，探头测量精度会降低。对于所有其他垂直刻度设置，保持指定的探头精度。

² DPO70000 示波器需使用选配的 TCA-VPI50 适配器。

³ 已针对 $<1 \Omega$ 源阻抗优化频响。

⁴ 通过 SMA-SMA 电缆或焊接微型同轴电缆端部。

⁵ 最大 AC RMS 值达 1 V。

⁶ 补偿盒和示波器温度范围被限制为示波器工作条件。请参阅示波器技术规格。

安装

操作注意事项

TPR1000 和 TPR4000 电源轨探头操作注意事项。

表 1: 环境特征

特性	说明
温度（补偿盒）	工作：0 至 +50 ° C (+32 至 +122 ° F) 非工作：-20 至 +85 ° C (-4 至 +185 ° F)
温度（标配附件） ¹	工作：-40 至 +125 ° C (-40 至 +257 ° F)
文档（可选高温附件） ²	工作：-55 至 +155 ° C (-67 至 +311 ° F)
湿度（工作和非工作）	5-95% RH，在最高 +40°C (+104°F) 条件下测试 5-85% RH，在高于 +40 ° C (+104 ° F) 条件下测试
海拔高度	工作：最高 3,000 米 (9,843 英尺) 非工作：最高 12,000 米 (39,370 英尺)
动态（随机振动）	工作：5 至 500 Hz，2.66 gRMS 非工作：5 至 500 Hz，3.48 gRMS

¹ 使用标准附件包（TPR4KIT）时的工作温度。

² 使用可选高温附件包（TPR4KITHT）时的工作温度。

连接到主仪器

1. 将探头主体滑入 FlexChannel 或 VPI 插座。完全啮合时，探头会咔嗒一声卡入到位。

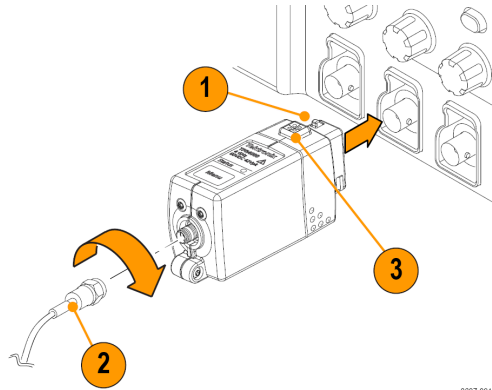
连接探头后，主机仪器将从探头读取信息并识别设备。

说明： 让探头预热至少 20 分钟以达到保证的规格。

2. 将以下探头电缆之一连接到探头主体上的 SMA 连接器。安装或拆卸时将 SMA 螺母扭矩限制为 8 in-lbs:

- SMA 至 SMA 标准电缆（标配附件）
- SMA 至 MMCX 标准电缆（标配附件）
- SMA 至 MMCX 高温电缆（选配附件）
- 1 GHz 点测探头电缆（选配附件）

3. 要断开连接，请先按下闭锁释放按钮，然后从仪器中拉出。



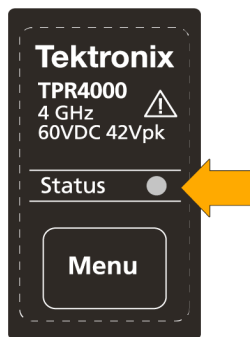
3637-001

探头控制和指示器

状态 LED

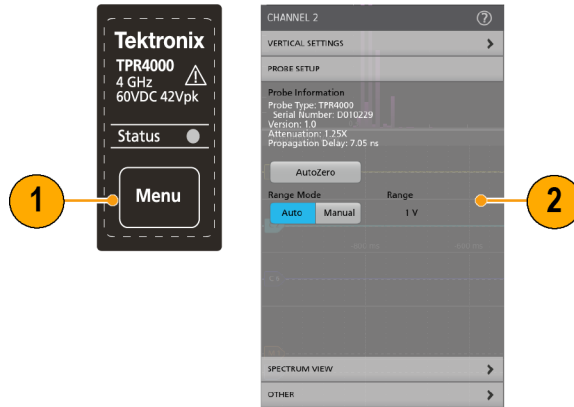
接通探头电源后，多色状态 LED 将：

- 常亮绿色 LED 表示探头已初始化且处于正常工作模式。
- 呈绿色闪烁的 LED 表示探头已连接，但还未初始化。
- 任何状态下的红色 LED 表示存在错误状况。（见第34页，*错误情况*）



菜单按钮

1. 按探头 **Menu (菜单)** 按钮，可在示波器上显示 Probe Control (探头控制) 屏幕。
2. 使用仪器上的触摸屏按钮设置探头参数。
3. 再次按探头的 **Menu (菜单)** 按钮，即可关闭 Probe Control (探头控制) 屏幕。



自动调零

建议您在下列情况下运行探头 AutoZero (自动调零) 例行程序：

- 20 分钟的暖机时间后
- 探头工作温度变化幅度为 $\pm 5^{\circ}\text{C}$ 时

1. 按探头 **Menu (菜单)** 按钮，可在示波器上显示 Probe Control (探头控制) 屏幕。
2. 将探头端部短接到接地端。
3. 按仪器上的 **AutoZero (自动调零)** 按钮以执行自动调零例行程序。



功能检查

使用以下步骤检查探头是否正常工作。要验证探头是否符合保证的技术规格，请参阅 Performance Verification（性能验证）步骤。（见第25页）

所需设备

说明和数量	性能要求	推荐示例
示波器	TekVPI 接口	Tektronix DP07000 系列 Tektronix 3 系列 MDO Tektronix 4 系列 MSO Tektronix 5 系列 MSO Tektronix 6 系列 MSO
SMA 电缆	1.3 m 电缆，SMA 公头至 SMA 公头，50 Ω	标准附件包 (TPR4KIT) 中包括电缆
正弦波发生器	频率：10 Mhz 幅度：1 V _{pp} ，偏置 1 V _{pp}	

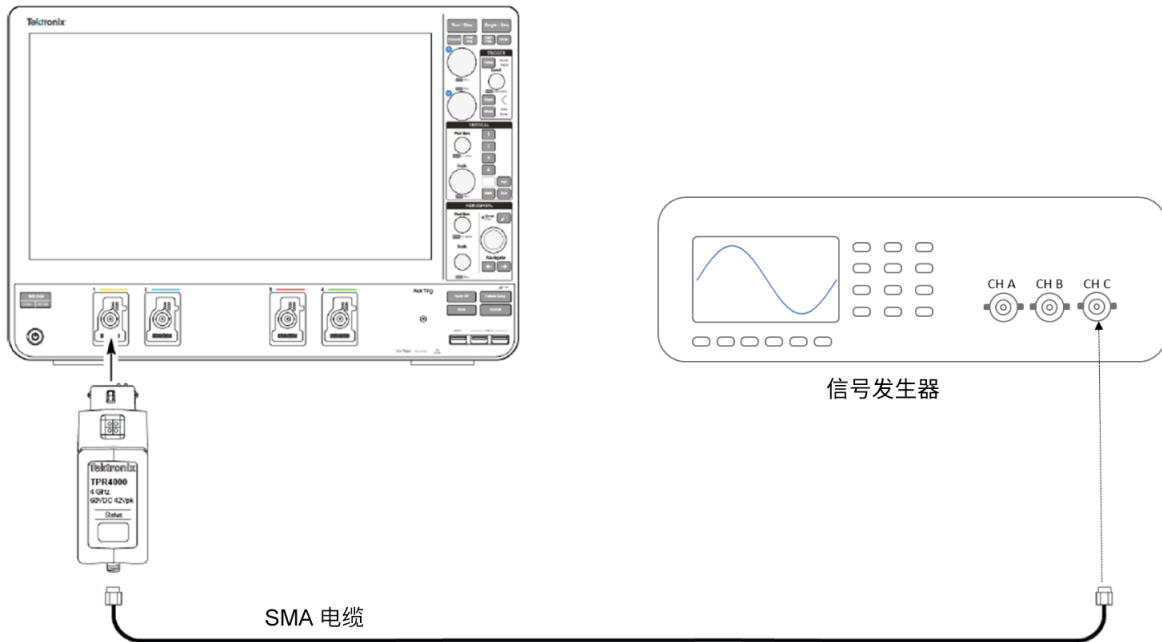


图 1: 功能检查连接图

1. 将探头连接到示波器和函数发生器，详见连接图。（见图1）
2. 如果函数发生器允许负载阻抗标度，请将负载阻抗设置为高阻抗。否则，请在 SMA 电缆和探头之间放置一个 $50\ \Omega$ 馈通终端器。
3. 将探头偏置设定为 $1\ \text{V}$ ，垂直标度设定为 $200\ \text{mV/div}$ 。
4. 将函数发生器设定为 $1\ \text{V}_{\text{pp}}$ 幅度 $1\ \text{V}$ 偏置，将函数设定为 $10\ \text{MHz}$ 正弦波。
5. 仪器应在屏幕上显示 $1\ \text{V}_{\text{pp}}$ 正弦波，以 $1\ \text{V}$ 为中心。
6. 打开垂直通道菜单并将耦合模式更改为直流抑制。
7. 将垂直偏置设为 $0\ \text{V}$ 。
8. 确认信号以 $0\ \text{V}$ 为中心。

基本操作

请遵守以下操作指南以获得最佳探头性能。

所需的示波器软件版本

示波器	所需软件版本 ¹
3 系列 MDO、4 系列 MSO、5 系列 MSO 和 6 系列 MSO	1.12.5
MDO3000	1.27462
MDO4000C	1.09354
MSO/DPO5000B	10.8.3.3
DPO7000C	10.8.3.3
DPO7000C/DX/SX	10.9.1

¹ 探头可以使用旧版本的示波器软件。但是，不保证低于以上所列版本的软件版本可以提供完整的探头功能。

探头输入

探头对静电电压具有电气保护。但是，施加高于其设计极限的电压可能会损坏探头端部放大器。（见图2第6页）

输入线性动态范围

探头使用的探头顶部放大器有线性工作范围限制。要将输入线性误差保持在规格范围内，则必须将信号输入电压限制为 $\pm 1V$ 。

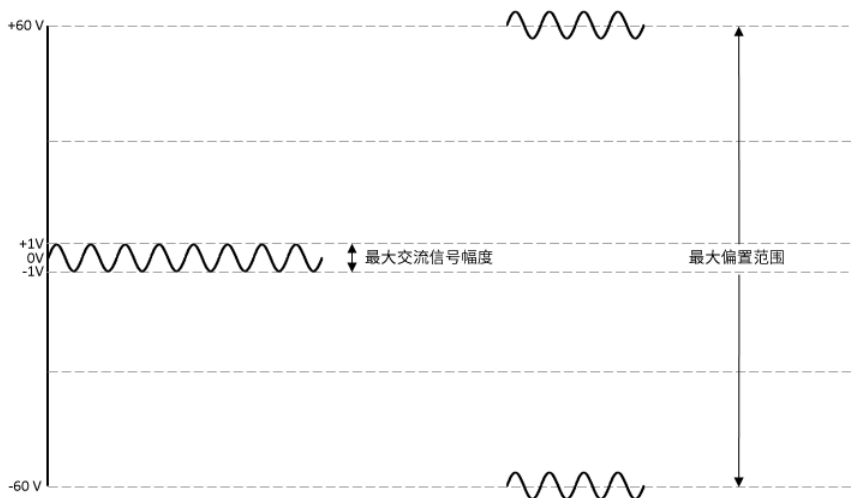


图 2: 动态限制和偏置限制

探头偏置

可调整探头偏置以便在探头线性范围内工作，同时提高探头在较高直流测量电压下的灵敏度。使用偏置替代直流信号分量可获得最佳探头性能。（见图2第6页）

说明： 有关使用偏置控制的具体说明，请参阅示波器手册。

要设置探头偏置，请执行以下步骤：

1. 将探头偏置设定为等于您要连接的来源的预期额定直流值。
2. 将垂直标度设置为 500 mV/div。
3. 将探头连接到电路。
4. 将“伏/格”设置更改为期望的范围，根据需要调节偏置以使信号保持在屏幕中央。

探头有 ± 60 V 的偏置范围。线性工作范围为 ± 1 V。（见图2第6页）如果调节探头偏置时没有信号施加到探头输入端，则输出范围是 ± 1 V（探头的线性工作范围），而不是探头的 ± 60 V 偏置范围。但是如果在探头输入端施加最高 ± 60 V 电压，则探头的偏置控制功能可以将偏置归零。

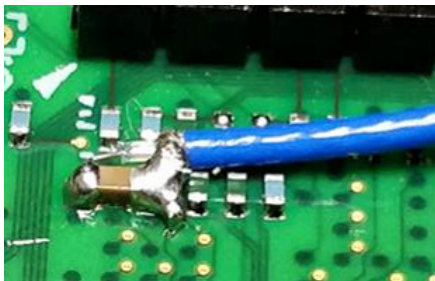
说明： 如果屏幕上的信号显示比预期值高或低 1 伏的偏置，请检查以确保 DUT 已连接且正常工作。这是由于在没有输入时低频放大器的输入被钳制在动态范围的一个极端。

连接 MMCX 附件

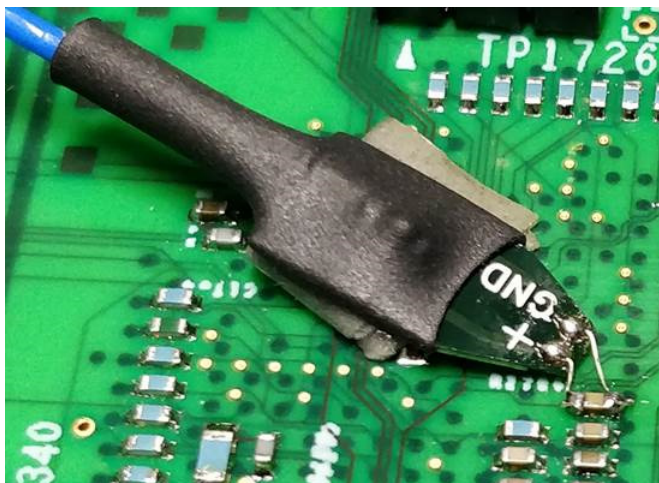
将电缆的 MMCX 端轻轻插入以下附件之一：微型同轴电缆端部、焊接式柔性端部、u. f1 适配器或 MMCX 至方针 Y 型导线适配器，直至感觉到连接器已啮合。要拆除附件，请将它从 MMCX 连接点处缓慢地拉出。注意不要仅抓握连接器的有凸边金属区域。

连接焊接附件

微型同轴电缆端部： 为方便第一次使用，焊接式微型同轴电缆端部已预先修整，可以焊接到测试点。您可以通过以下方式重复使用端部：从焊点上移除端部，然后修整导线绝缘层，以露出端部电缆上的中心引脚和接地屏蔽层。



柔性端部： 要连接焊接式柔性端部，请首先将涂漆的自熔铜线（标配附件）焊接到测试点上。将导线穿过柔性端部末端的通孔，然后在通孔上涂抹少量焊料，以便将导线连接到端部。

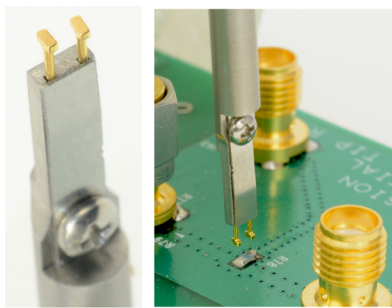


使用焊接引脚安装工具

应将随附的一组焊接引脚安装在 DUT 电路板上，并与随附的 MMCX-方针适配器一起使用。要安装焊接引脚，请使用随附的焊接辅助工具，如下所述

说明： 焊接引脚非常小，可能很难操作。在电路板上安装引脚时，建议使用镊子和放大工具。

1. 小心地将焊接引脚插入焊接辅助工具中，如下所示。



2. 使用焊接辅助件工具将焊接引脚置于适当的位置，并将引脚焊接到电路板上。
3. 如有必要，请使用少量粘合剂进一步增强与电路板的连接。但是，请保持最低的粘合剂高度，以便为适配器提供良好的电气接触。

使用三脚架

三脚架探头支架增加了方针安装测试点的稳定性。为了获得更高的稳定性，请使用胶水将三脚架支腿粘贴到 DUT 电路板上。



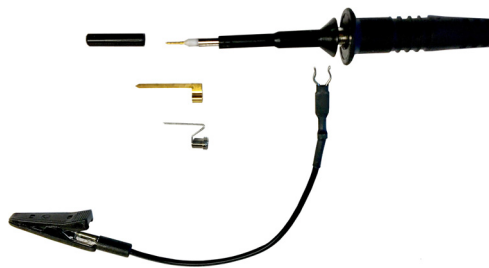
使用选配点测探头

选配的点测探头套件包含以下部件：最高 1 GHz 点测探头、方针 Y 型导线适配器、微型 SMD 夹、三根接地导线（鳄鱼夹、刀片、弹簧）和四个替换探头端部（两个为刚性端部，两个为弹簧端部）。



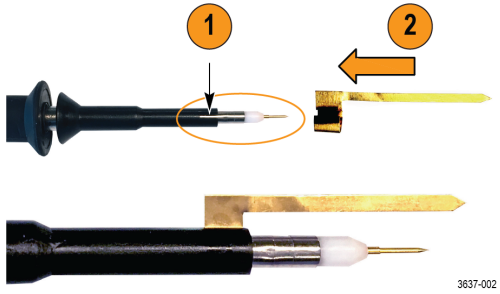
警告： 为防止操作员受伤或探头、示波器和被测设备受损，请勿使探头接地线接触到除示波器机箱接地电位之外的任何位置。必须将探头接地线连接到与示波器底盘接地相同的电位。

安装接地导线： 要获得准确的测量结果，请务必在测量之前将接地导线连接到探头端部。建议使用最适合您的电气应用的接地导线。下图显示了点测探头端部、端部盖以及随点测探头一起提供的三种接地导线。

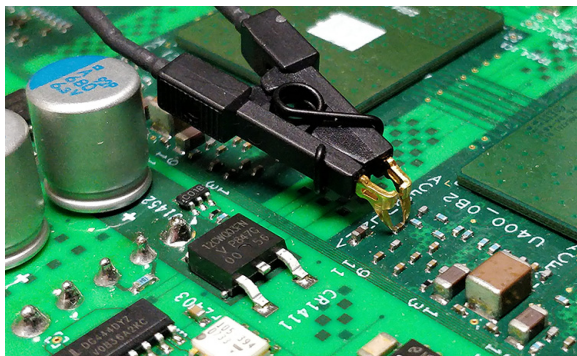
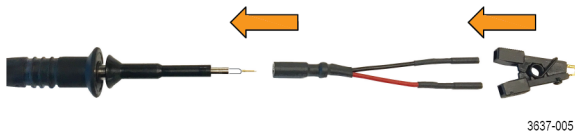


要安装接地导线，请执行以下操作：

- 弹簧：将接地导线滑过探头端部，直至其位于探头端部外壳的金属部分周围。
- 鳄鱼夹：将接地导线插头滑过塑料探头端部部分之间的裸露金属。
- 刀片：找到探头端部外壳中的插槽，如下图所示。将接地导线滑过探头端部，直到刀片滑入插槽。



连接 Y 型导线适配器和微型 SMD 夹：点测探头套件包括一个 Y 型导线适配器和一个微型 SMD 夹，如下图所示连接。此外，也可以将 Y 型导线适配器连接到方针。



更换点测探头端部插针：要卸下点测探头端部插针，请使用钳子抓住插针，并轻轻将其从端部外壳中拉出。要安装新的点测探头端部插针，请选择实心插针（银色）或弹簧插针（金色），然后使用钳子将插针轻轻插入点测探头端部外壳，直至感觉到插针压到外壳的底部。



附件和选件

本部分列出了标准附件，并介绍如何使用这些附件。而且适当提供了有关技术规格，方便您选择最适合需要的附件。在某些情况下，重新订购的套件数量与探头随附的实际附件数量有所不同。

标配附件

每个探头附带一个 TPR4KIT 附件包，其中包含以下项目：

项目

1.3 m 电缆，SMA 公头至 MMCX 公头，50 Ω



1.3 m 电缆，SMA 公头至 SMA 公头，50 Ω



Y 型导线适配器，MMCX 母头至 0.8 mm 插座



适配器电缆，MMCX 母头至 U.FL 母头，50 Ω



适配器，MMCX 母头至方针（0.062 中心）



DUT 接口焊接引脚，20 件一组



焊接辅助工具，SMT 上的 0.062 焊接引脚



附件和选件

项目

焊接式电缆适配器，MMCX 母头至焊接式微型同轴电缆端部，50 Ω ，3 件一组



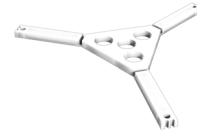
焊接式电缆适配器，MMCX 母头至焊接式柔性叶片端部，50 Ω ，3 件一组



线卡，可焊接的搪瓷自熔铜线（与焊接端部一起使用）



探头端部三脚架支架（带活动铰链）



标记箍，5 件一组（用于标识探头）



可选附件

本部分列出了可选附件，您可以购买它们以帮助完成探测任务。

选配的 TPR4KITHHT 高温附件包中包括以下项目：

项目

2 m 高温电缆，SMA 公头至 MMCX 公头，50 Ω



焊接式电缆适配器，MMCX 母头至焊接式微型同轴电缆端部，50 Ω ，3 件一组



焊接式电缆适配器，MMCX 母头至焊接式柔性叶片端部，50 Ω ，3 件一组



选配的 TPRBRWSR1G 点测探头附件包包括以下项目：

项目

点测探头



接地导线（刀片、0.5 mm 弹簧、15 cm 鳄鱼夹）



Y 型导线适配器，点测探头端至 0.8 mm 插座



微型 SMD 夹



更换 0.5 mm 点测探头端部（2 个实心端部，2 个弹簧端部）



选配的 TPR4SIACOAX 点测探头附件包中包括以下项目：

项目

焊接式电缆适配器，MMCX 母头至焊接式微型同轴电缆端部，50 Ω ，3 件一组



选配的 TPR4SIAFLEX 点测探头附件包包括以下项目：

项目

焊接式电缆适配器，MMCX 母头至焊接式柔性叶片端部，50 Ω ，3 件一组



选件

维修服务选项

- 选件 CA1。为单个校准事件提供保修
- 选件 C3。3 年校准服务
- 选件 C5。校准服务 5 年
- 选件 D1。校准数据报告
- 选件 D3。校准数据报告，3 年（含选件 C3）
- 选件 D5。校准数据报告，5 年（含选件 C5）
- 选件 R3。3 年维修服务
- 选件 R5。5 年维修服务

手册选项

- 选件 L0。英语使用手册
- 选件 L5。日语使用手册
- 选件 L7。简体中文使用手册

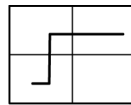
探测原理

遵照以下有用提示进行操作，可便于探测且不产生噪声。

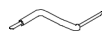
地线长度

探测电路时，在探头顶部和电路接地之间使用的地线应尽可能短。（有关导线长度对波形失真的影响，请参阅图解。）

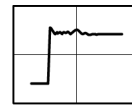
探头端部和地线增加的串联电感可以产生谐振电路；该电路可能导致在示波器带宽范围内出现寄生“振荡”。



低电感地线

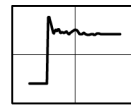


(~20_nH)



三英寸地线

(~60_nH)



六英寸地线

(~120_nH)

地线电感

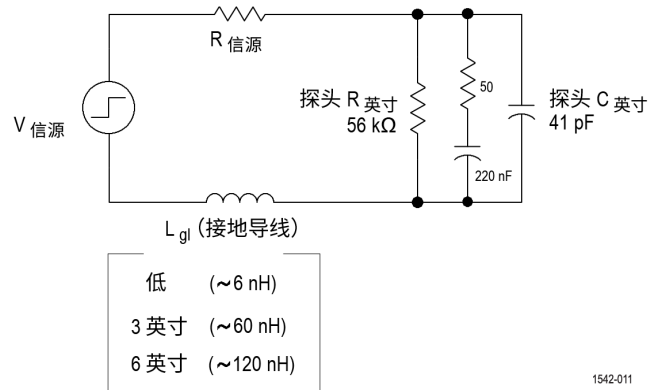
将探头端部接触电路元素时，即为此电路引入了新的电阻、电容和电感。

如果探头和地线的自感 (L) 与电容 (C) 已知，则可以判断地线的影响在应用中是否会产生问题。请使用以下公式计算该寄生电路谐振时的近似谐振频率 (f_0):

$$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_{gl} C_{in}}}$$

该公式表明，减少地线电感将会增加谐振频率。如果测量值受震荡影响，应降低接地路径电感，直至计算所得的谐振频率高于测量频率为止。

附件中介绍的低电感接地接点可有助于减少地线电感对测量值的影响。



1542-011

技术规格

技术规格在下列条件下适用：

- 探头已在 $23^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ 的环境温度下校准。
- 探头使用 $50\ \Omega$ 的输入电阻连接到主机仪器。
- 探头和示波器必须经过至少 20 分钟的暖机时间，且所处环境不能超出所述限制。（见表1）
- 在测试探头技术规格之前已经在示波器上运行了信号路径补偿（SPC）。

TPR1000 和 TPR4000 电源轨探头分为下列三类规格：保证特性、典型特性和额定特性。除非特别说明，否则保证特性、典型特性和机械特性都适用于 TPR1000 和 TPR4000 探头。可在操作注意事项部分中查看环境特性。（见表1）

保证特性

保证特性说明了在容限内或特定测试类型要求下保证达到的性能。在性能验证部分中带有勾号的保证特性都标有 ✓ 符号。

表 2: 保证电气特性

特性	说明
直流衰减	1.25x
✓ 直流衰减精确度	在直流动态范围的 80% 内 $< \pm 1\%$
✓ 模拟带宽（SMA 配置）	1 GHz（TPR1000） 4 GHz（TPR4000）
直流输入动态范围	$> \pm 1\ \text{V}$
✓ 偏置标度精度	\pm （最大为设置值的 $2\% + 2.5\ \text{mV}$ ） 典型值为 SPC 和探头归零之后 $\pm (0.1\% + 2.5\ \text{mV})$

典型特性

典型特性说明典型但非保证的性能。

表 3: 典型电气特性

特性	说明
直流输入电阻	50 k Ω
回波损耗	最大: 10 MHz 和 1 GHz (TPR1000) 之间为 -12 dB ¹ 最大: 10 MHz 和 4 GHz (TPR4000) 之间为 -12 dB ¹
直流至交流阻抗交叉频率	300 Hz
直流至交流增益匹配	$\pm 1\%$
上升时间 (小信号, 20% 至 80%)	282 pS (TPR1000) 88 pS (TPR4000)
上升时间 (小信号, 10% 至 90%)	408 pS (TPR1000) 128 pS (TPR4000)
阶跃响应长期异常	在 50 μ S 之后 < 终值的 1%
延迟时间 (仅补偿盒)	565 ps $\pm 20\%$ (TPR1000) 475 ps $\pm 20\%$ (TPR4000)
每个附件的延迟时间	6.19 ns $\pm 10\%$ (1.3 m MMCX 电缆) 9.47 ns $\pm 10\%$ (2 m MMCX 电缆) 494 pS $\pm 20\%$ (10 cm 蓝色同轴焊接) 500 pS $\pm 20\%$ (10 cm Flex Paddle 适配器) 484 pS $\pm 20\%$ (U.FL 至 MMCX 适配器) 5.2 nS $\pm 10\%$ (点测探头)
延迟时间 (默认配置)	7.12 nS
说明: 基础配置包含 1.3 m SMA 至 MMCX 电缆 + MMCX 微型同轴尖端 (TRPSIACOAX)	
噪声	典型: 在全带宽条件下添加到示波器 <25% 均方根
噪声 (仅探头, 直流至 20 MHz)	最大: 220 μ V p-p 典型: 165 μ V p-p, 6 系列 MSO
输入共模抑制	-20 dB 20 Hz 最高探头带宽

¹ 50 Ω 参考阻抗

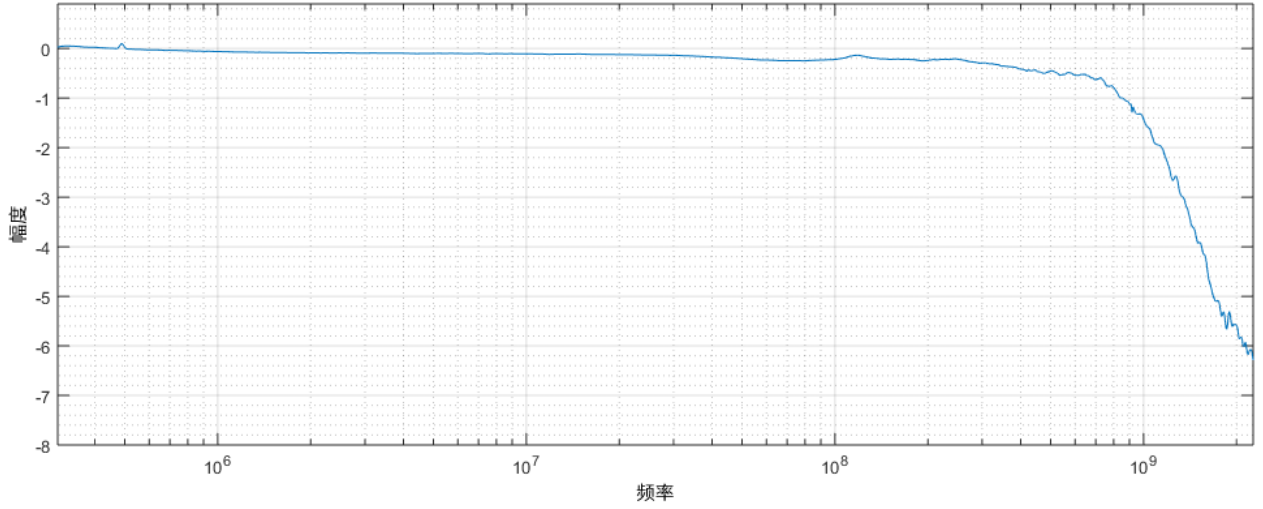


图 3: TPR1000 频率响应

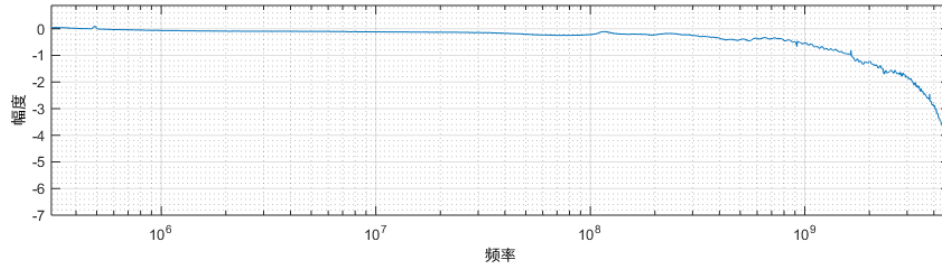


图 4: TPR4000 频率响应

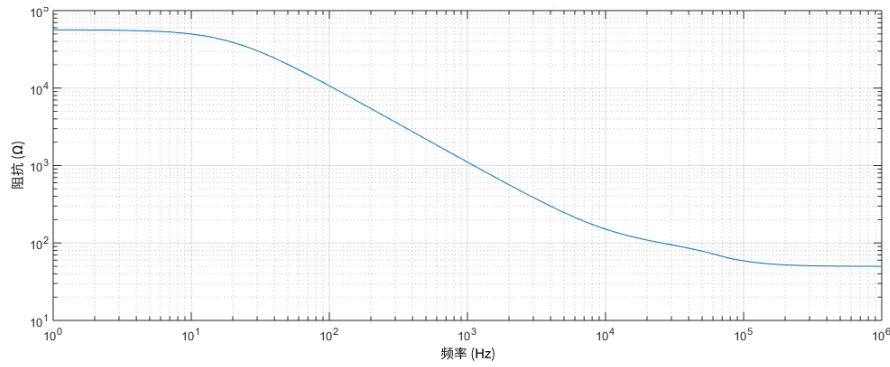
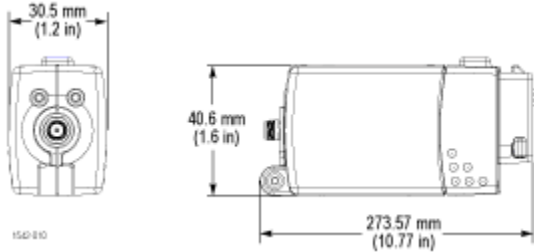


图 5: TPR1000 和 TPR4000 输入阻抗和相位与频率

表 4: 探头典型机械特性

特性	说明
尺寸, 补偿盒	85.1 毫米 × 40.6 毫米 × 30.5 毫米 (3.4 英寸 × 1.6 英寸 × 1.2 英寸)
包装重量	1.24 kg (2.7 lbs)



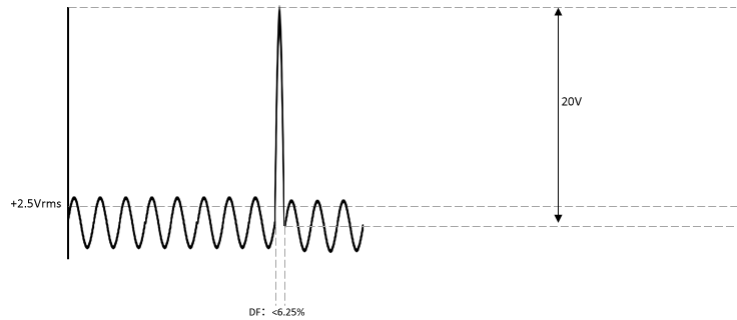
额定特性

额定特性说明保证特性，但这些特性没有容限限制。

表 5: 额定电气特性

特性	说明
兼容性	配置有 TekVPI 接口的示波器
仪器耦合	直流，低频抑制
输入偏置可请求范围	±60 V

非破坏性输入电压范围（高于 10 kHz 的交流频率） 2.5 VRMS，峰值 ≤ ±20 V (DF ≤ 6.25%)



补偿盒上的输入连接器	SMA 孔式插座
电缆上的输出连接器	SMA 针型插头
标准电缆上的 DUT 连接器	MMCX 针型插头
选配电缆上的 DUT 连接器	SMA 针型插头 SMP 孔式插座
绝缘电压额定值	±30 V RMS (AC) ±42 V 峰值 (pk-pk) ±60 V DC (DC)

附件特性

TPR1000 和 TPR4000 附件的规格分为两类：保证特性和典型特性。

表 6: 附件电气特性

特性	说明
TPR4SIAFLEX 和 TPRSIACOAX (典型)	1 GHz (TPR1000) >3.5 GHz (TPR4000)
SMA 至 SMA 电缆 (保证)	1 GHz (TPR1000) 4 GHz (TPR4000)
MMCX 至 U.FL 适配器 (典型)	1 GHz (TPR1000) >2 GHz (TPR4000)
MMCX 至方形引脚适配器 (典型)	1 GHz (TPR1000) 1 GHz (TPR4000)
2 M SMA 到 MMCX 高温电缆 (典型)	1 GHz (TPR1000) >2 GHz (TPR4000)
TPR4BRWSR1G (典型)	>350 MHz (在短接地时)
TPR4BRWSR1G (典型)	1 GHz 带针筒连接器

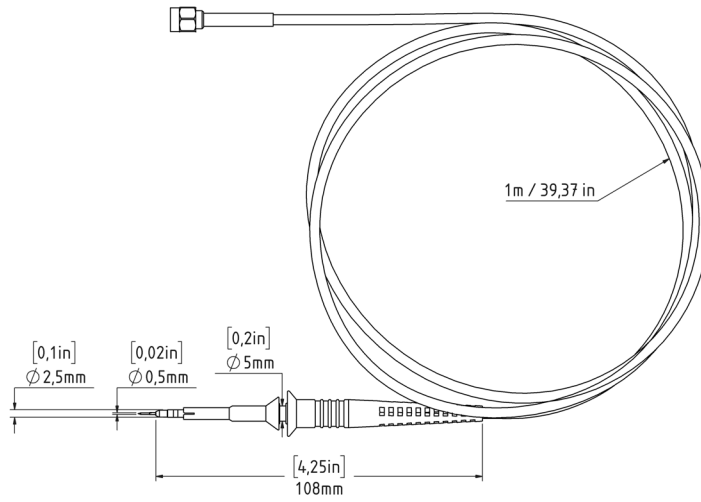
表 7: 附件典型机械特性

项目编号	尺寸
刚性点探测 头端部	
伸缩点探测 头端部	

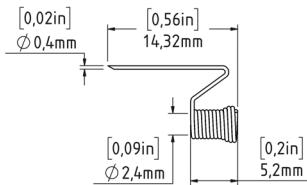
表 7: 附件典型机械特性 (续)

项目编号 尺寸

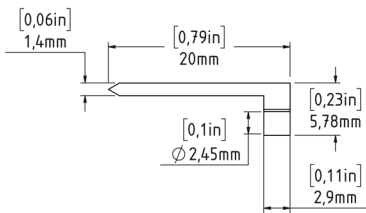
点测探头



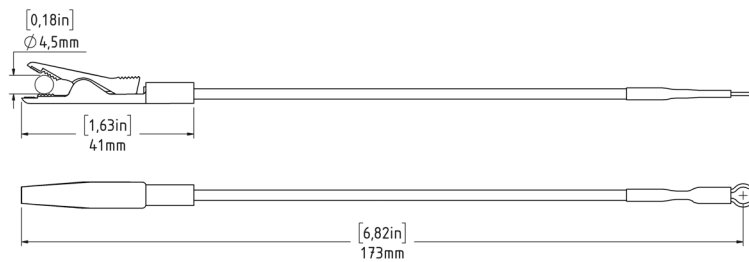
点测探头弹簧接地



点测探头刀片接地



点测探头鳄鱼夹接地



TPRSIACOAX

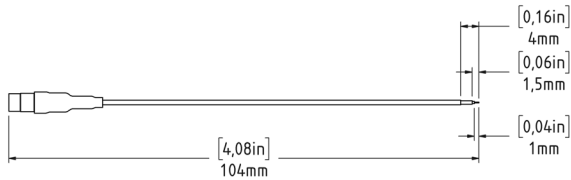
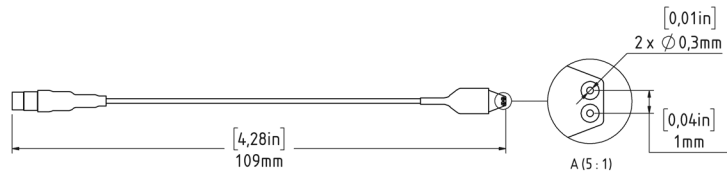


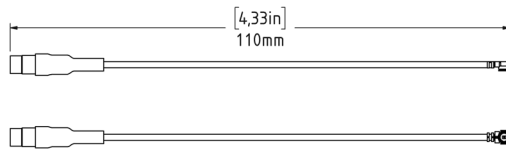
表 7: 附件典型机械特性 (续)

项目编号 尺寸

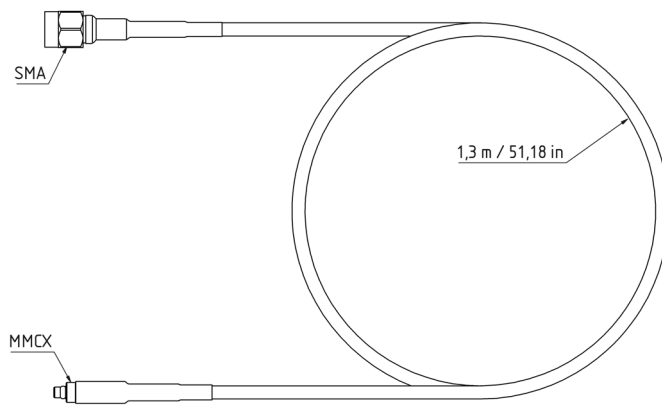
TPRSIAFLEX



MMCX 至
U. FL 适配器



1.3 m SMA
至 MMCX 电
缆



1.3 m SMA
至 SMA 电
缆

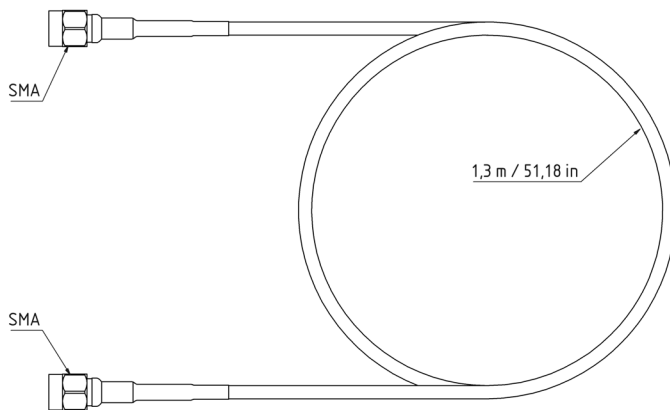
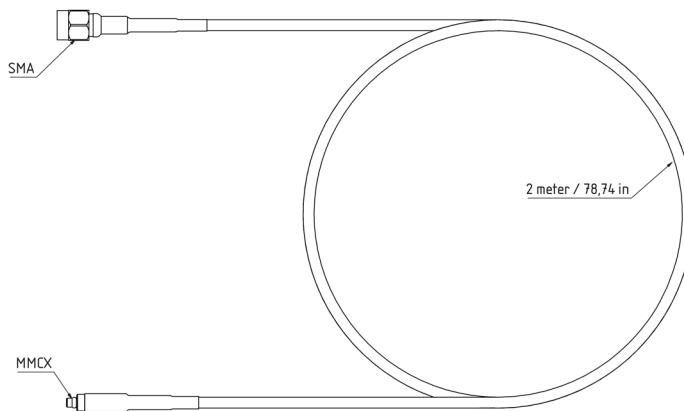


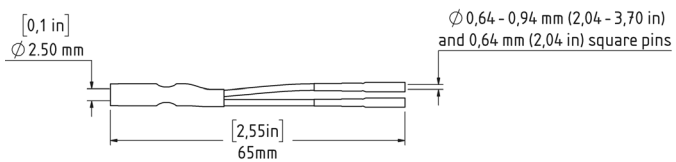
表 7: 附件典型机械特性 (续)

项目编号 尺寸

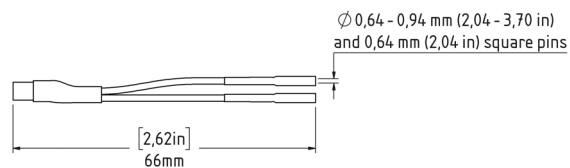
2 m SMA 至
MMCX 电缆



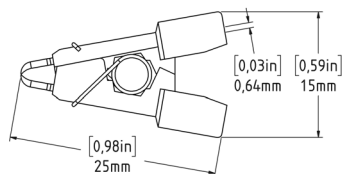
点测探头至
方形引脚适
配器



MMCX 至方形
引脚适配器



SMT 分量限
幅



性能验证

以下过程验证保证的探头技术规格。推荐校准间隔为一年。按列出的顺序执行验证过程。

所需设备

以下设备是性能验证过程所必需的。

表 8: 测试设备

说明和数量	性能要求	推荐示例 ¹
示波器	TekVPI 接口	Tektronix 6 系列 MSO 8 GHz 带宽选项
直流校准源		Keithley 2400 SMU
数字万用表 (DMM)	电阻, 0.1% 精度	Keithley 2700 DMM
网络分析仪		Tektronix 矢量网络分析仪 TTR506A 067-1701-XX 带校准套件 BN533828
TekVPI 校准/验证适配器	TekVPI 接口	
SMA 至 BNC 适配器	SMA 公头至 BNC 母头	015-0554-XX
SMA 至 BNC 适配器	SMA 插孔至 BNC 插头	015-0572-XX
SMA 至 SMA 适配器	SMA 母头至 SMA 公头	015-0551-XX
BNC 到双香蕉适配器 (2)		103-0090-XX
BNC 电缆 (2)	50 Ω , 0.76 米 (30 英寸) 长	012-0117-XX
馈通端接	50 Ω , 1 GHz, $\pm 0.5 \Omega$	011-0049-XX
网络分析仪的 SMA 电缆	N 至 SMA-M 5 英尺电缆	012-1774-XX
网络分析仪的 SMA 适配器	N 型插头到 SMA 型插孔	013-0406-XX
SMA 扭矩扳手	5/16-in, 7 in-lb.	
SMA 适配器扳手	7/32-in	

¹ 九位部件号 (xxx-xxxx-xx) 是 Tektronix 部件号。

设备设置

使用以下步骤设置设备并对设备暖机以测试探头。

直流设置连接图

使用直流设置图执行以下性能检查。

- 直流增益精度 (见第28页)
- 直流输入动态范围 (见第30页)
- 输入偏置范围和标度精度 (见第31页)

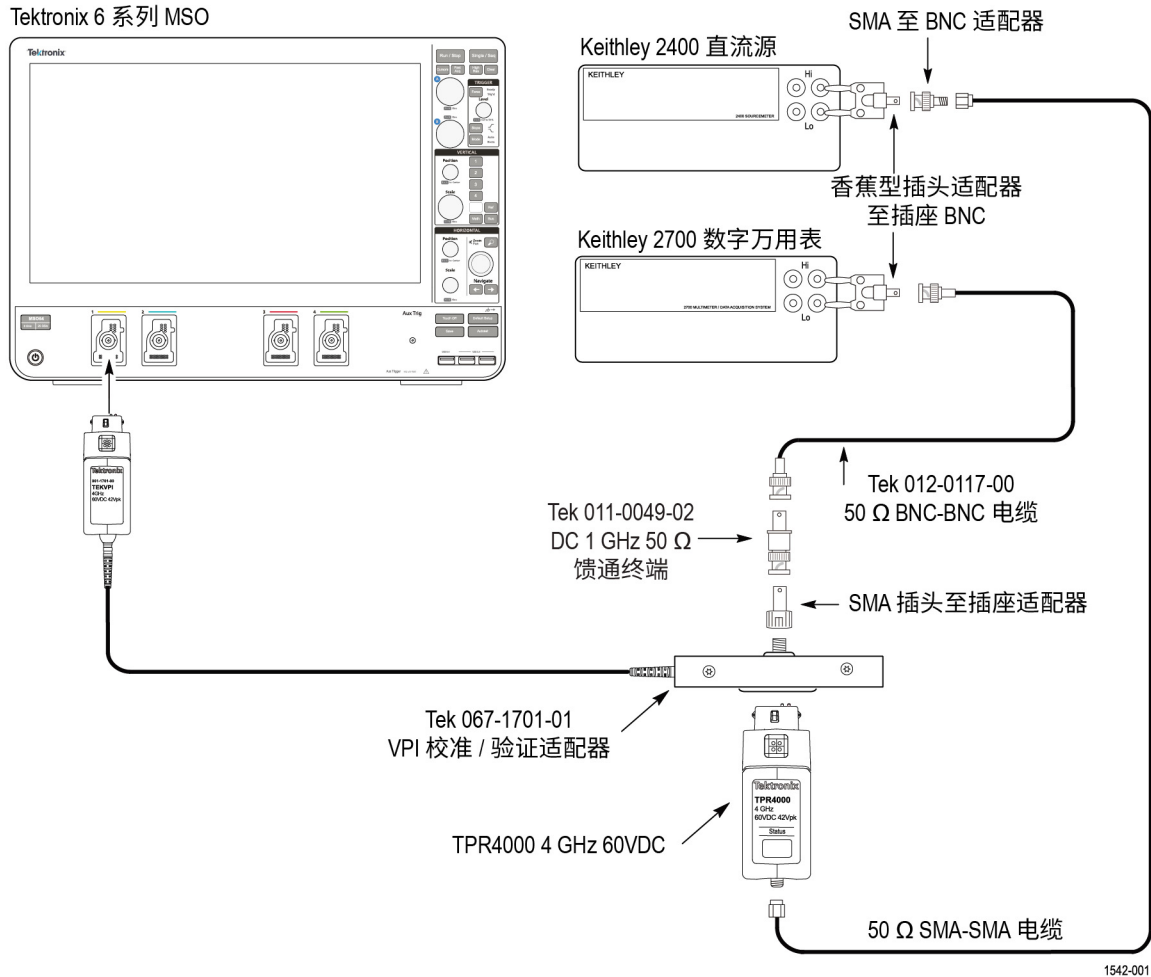
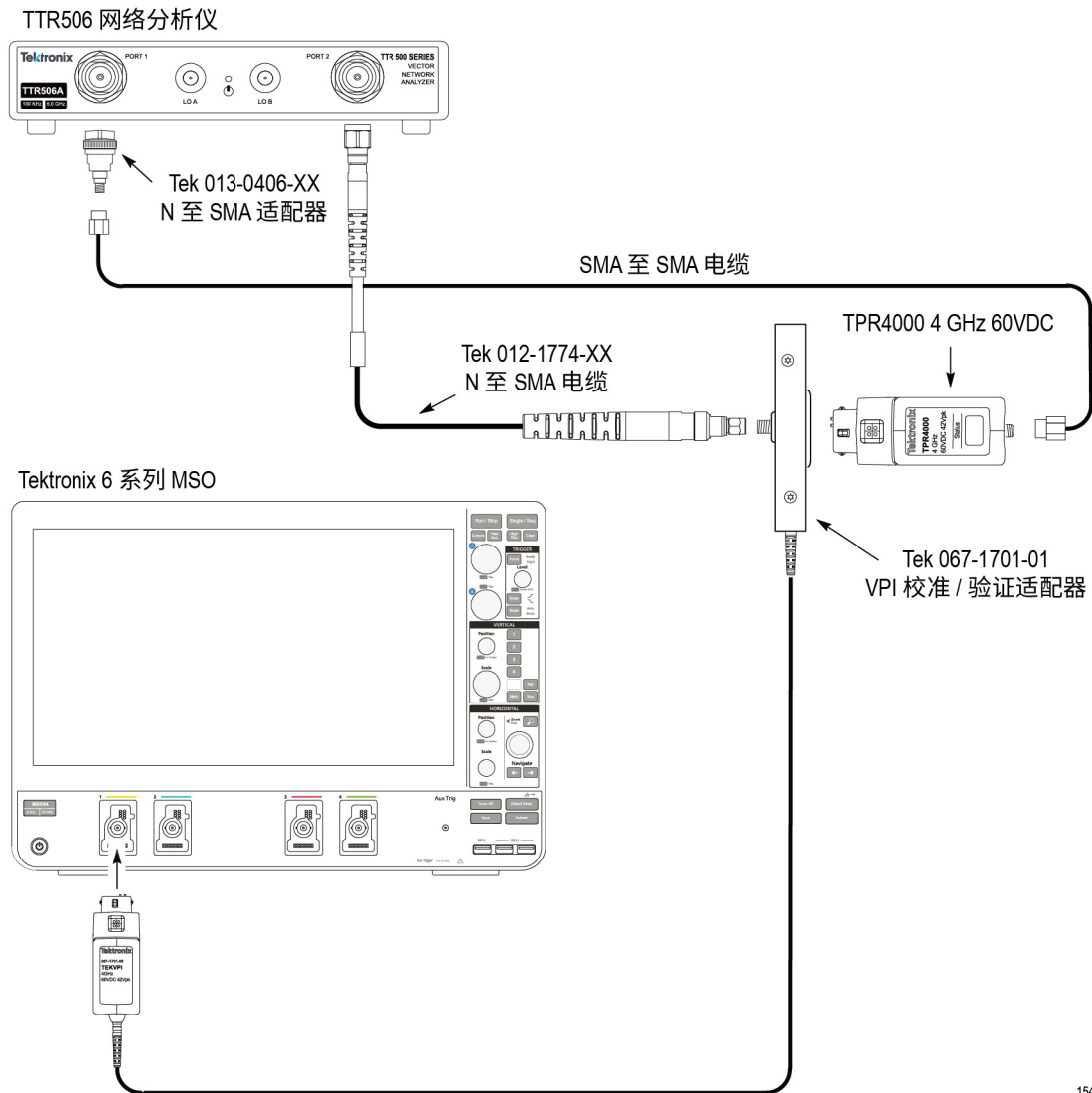


图 6: 直流设置连接图

分析仪设置连接图

使用分析仪设置图进行模拟带宽性能检查。（见第32页）



1542-004

图 7: 分析仪设置连接图

预热测试设备

1. 打开 TekVPI 示波器。
2. 将 TekVPI 校准/验证适配器连接到示波器。
3. 将探头连接到 TekVPI 校准验证适配器并确定探头上的状态 LED 变为绿色。
4. 打开剩余测试仪器。

5. 让设备预热 20 分钟。
6. 使用测试记录模板记录测试结果。(见第33页, *测试记录*)

检查直流增益精度

使用以下测试来检查探头的直流增益精度。

1. 连接测试设备, 如直流设置图中所示。(见图6)
2. 在将探头连接到 TekVPI 校准验证适配器之前, 使用 DMM 测量馈通端接的电阻。
3. 记录其值。如果值超出规格, 请在继续测试之前更换精度端接器。
4. 将探头连接到 TekVPI 校准/验证适配器。
5. 确保探头偏置设置为 0 V。
6. 将数字万用表 (DMM) 设为以下设置。
 - 直流电压自动量程
 - 滤波模式开启
 - 测量速率低
7. 将直流源电流限制设为 3 mA。
8. 将直流源设为下面所列的第一个电压级别。(见表9)

说明: 在 Keithley SMU 中使用 DMM 功能时, 请打开 **FILTER (滤波器)** 以减小瞬态输出值。

9. 在 DMM 上, 测量探头响应并将水平记录在下表中的 Vout (已测量) 列。

表 9: 直流源电压电平

索引	直流源电压	Vout (已测量)	Vout (线性拟合)
- 2	- 640 mV		- 512 mV
- 1	- 320 mV		- 256 mV
0	0 mV		0 mV
1	320 mV		256 mV
2	640 mV		512 mV

10. 为表中所列的每个电压电平重复步骤 8 和 9。(见第29页, *直流增益测量示例*)
11. 对前表中的已测量数据点执行线性拟合, 并在表格中记录线性拟合值。
12. 将已测量的线性拟合斜率除以直流源电压点的斜率。(见第29页, *直流增益测量示例*)
13. 在测试记录中记录已测量增益值。(见第33页)

直流增益测量示例

1. 下表列出了示例测量值。

表 10: 示例直流增益测量

索引	直流源电压	Vout (已测量)	Vout (线性拟合)
-2	-640 mV	-513 mV	-514 mV
-1	-320 mV	-256 mV	-257 mV
0	0 mV	0.0009 mV	0 mV
1	320 mV	258 mV	257 mV
2	640 mV	515 mV	514 mV

2. 下图显示了示例值绘图。

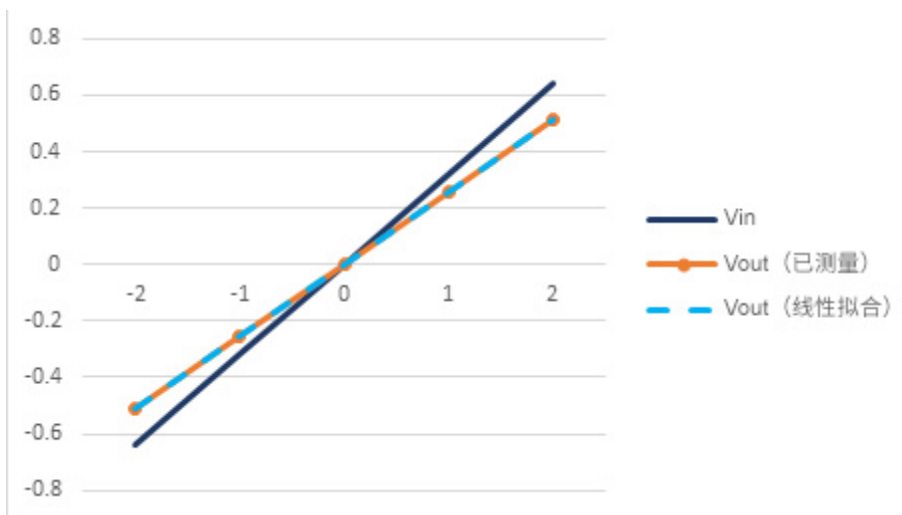


图 8: 示例测量值绘图

可以通过使用电子表格来计算点的线性回归，或用手绘图来获取增益斜率。如需以图形方式获取增益斜率，请在直角坐标系中仔细绘制每个测量点（X 轴是直流源电压，Y 轴是测量的直流输出值）。使用直尺在这些点之间画一条线，最大限度减少线和每个点之间的误差。增益斜率由绘制线的斜率来替代（Y 轴上升除以 X 轴行程），而零点误差在线穿过 Y 轴的点获取。可通过以下等式预测直流输出值： $Vout(n) = gainslope \times Vin(n) + zeropoint$

3. 下表显示测量增益，通过已绘制测量值的斜率来计算。

表 11: 测量增益的计算示例

Vout (线性拟合) 斜率	Vin 斜率	测量增益
0.257	0.320	0.803125

检查直流输入动态范围

使用以下测试来检查探头的直流输入动态范围。

1. 连接测试设备，如直流设置图中所示。（见图6）
2. 在将探头连接到 TekVPI 校准验证适配器之前，使用 DMM 测量馈通端接的电阻。
3. 记录其值。如果值超出规格，请在继续测试之前更换它。
4. 将探头连接到 TekVPI 校准/验证适配器。
5. 确保探头偏置设置为 0 V。
6. 将 DMM 设为直流电压自动量程。

说明：在 Keithley SMU 中使用 DMM 功能时，请打开 FILTER（滤波器）以减小瞬态输出值。

7. 将直流源电流限制设为 3 mA。
8. 将源测量单位（SMU）设为 +1 V，并记录 DMM 上的输出电压。
9. 将源将源测量单位（SMU）设为 -1 V，并记录 DMM 上的输出电压。
10. 使用在步骤 8 和 9 中获取的读数，应用以下等式来计算探头的增益： $Gain_{probe} = V_{source} \div V_{measured}$
11. 将输入除以额定预期增益并乘以 100，为每个输入验证增益是否至少为额定增益范围的 90%： $100 \times Gain_{measured} \div Gain_{nominal}$
12. 如果值 >90%，则已验证动态范围的限制。
13. 在测试记录中记录结果。
14. 将探头切换为**直流抑制**模式。
15. 在测量输出时，为探头的输入应用 +1 V 和 -1 V。
16. 在测试期间，确保输出不会漂移超过 0.01 V。结果报告为“通过”或“失败”。
17. 将探头恢复为**直流耦合**模式。
18. 在测试记录上记录结果。（见第33页）

检查输入偏置范围和标度精度

使用以下测试来检查探头的输入偏置范围和标度精度。

1. 连接测试设备，如直流设置图中所示。（见图6）
2. 在将探头连接到 TekVPI 校准验证适配器之前，使用 DMM 测量馈通端接的电阻。
3. 记录其值。如果值超出规格，请在继续测试之前更换它。
4. 将探头连接到 TekVPI 校准/验证适配器。
5. 将 DMM 设为直流电压自动量程。
6. 将直流源电流限制设为 3 mA。
7. 使用示波器上的 Probe Setup（探头设置）窗口，使直流源扫过下表中列出的离散点，并将探头偏置范围设置为相同的设定点。使用 DMM 在每个点测量探头响应。

直流源电压	探头垂直偏置设置
+12 V	+12 V
+1 V	+1 V
- 1 V	- 1 V
- 12 V	- 12 V

8. 在测试记录中记录每个设置的结果。（见第33页）

检查模拟带宽

使用以下测试来检查探头的模拟带宽。

1. 接测试设备，如分析仪设置图中所示。（见图7）
2. 将网络分析仪设置为按 dB 测量插入损耗（S21）。将网络分析仪设置为以下设置值：
 - 功率电平：-10 dBm
 - IF 带宽：1 kHz
 - 扫描类型：线性
 - 起始频率：300 kHz
 - 截止频率：6 GHz
 - 点数：201
 - 设置标度系数：1 dB

有关设置网络分析仪的更多信息，请使用以下链接：

- tek.com/how/making-basic-2-port-measurements-using-ttr500-vna
 - tek.com/how/how-calibrate-ttr500-vector-network-analyzer
3. 使用新的 2 端口 SOLT 校准程序来设置网络分析仪，分别为网络分析仪电缆的 SMA 侧参考平面（端口 2）和 SMA 至 N 适配器的 SMA 侧（端口 1）。
 4. 在 S21 谱线上的起始频率（300 kHz）处放置一个标记。
 5. 在 S21 谱线上的探头带宽（TPR1000 为 1 GHz，或 TPR4000 为 4 GHz）处放置一个标记。
 6. 验证幅度是否大于 -3.97 dB（从 3.97 dB 目标值中减去探头衰减范围的 0.97 dB，得出 3 dB 限值）。
 7. 在测试记录上记录结果。（见第33页）

测试记录

探头型号/序列号: _____ 证书编号: _____

温度: _____ 相对湿度: _____

校准日期: _____ 技术人员: _____

性能测试	最小值	已测量/已计算	最大值
直流增益精度	0.792		0.808
直流输入动态范围	-1 V		不适用
	不适用		+1 V
直流抑制功能	通过/失败		
输入偏置范围和标度精度			
+12 V 偏置	-194 mV		194 mV
+1 V 偏置	-18 mV		18 mV
-1 V 偏置	-194 mV		194 mV
-12 V 偏置	-18 mV		18 mV
模拟带宽			
TPR1000	-3 dB		不适用
TPR4000	-3 dB		不适用

维护

本部分介绍探头的维护信息。

错误情况

TPR1000 和 TPR4000 电源轨探头的设计目的是兼容所有 TekVPI 接口示波器和适配器。但有时可能会有一些探头功能不能正常工作。

在探头加电过程中或之后如果状态 LED 为红色亮起或闪烁，表明出现内部探头诊断故障。断开探头后重新连接，重新启动开机诊断过程。如果当示波器应用程序运行时，状态 LED 继续呈红色亮起或闪烁超过 30 秒，则探头存在缺陷，必须返回 Tektronix 进行维修。

替换部件

探头内没有可由用户替换的部件。请有关探头可替换附件的列表，请参阅附件。

清洁

请勿将探头暴露在恶劣气候条件下。探头不防水。



注意： 为防止损坏探头，请勿将其暴露在喷雾、液体或溶剂中。进行探头外部清洁时避免打湿内部。

请勿使用化学清洗剂，它们可能会损坏探头。避免使用含有汽油、苯、甲苯、二甲苯、丙酮或同类溶剂的化学品。

用干燥不脱绒的软布或软毛刷清洁探头外表面。如果仍有污垢，请用软布或棉签蘸 75% 的异丙基酒精溶液清洁。棉签可用于清洁探头的狭小空间，所用溶液只要能浸湿棉签或软布即可。请勿在探头的任何部分使用研磨剂。

索引

字母和数字

- 输入偏置范围和标度精度
 - 性能检查, 31
- 探头控制和指示器, 2
- 直流输入动态范围
 - 性能检查, 30
- 操作注意事项, 1
- 直流增益精度
 - 性能检查, 28
- 功能检查, 4
- 性能验证, 25
 - 所需设备, 25
 - 设备设置, 26
- 技术规格, 17
 - 保证, 17
 - 典型, 18
 - 附件, 21
 - 额定, 20

- 替换部件, 34
- 模拟带宽
 - 性能检查, 32
- 测试记录, 33
- 清洁探头, 34
- 相关文档, vi
- 自动调零, 3
- 菜单按钮, 3
- 连接探头, 2
- 错误情况, 34
- 指示器, 2
- 偏置, 7
- 地线
 - 选择长度, 15
 - 电感, 16
- 文档, vi
- 特点, viii
- 维护, 34
- 选件, 14

附件

- 使用焊接引脚安装工具, 8
- 连接焊接附件, 7
- 使用三脚架, 9
- 可选, 12
- 标准, 11
- 使用选配的 1 GHz 点测探头, 9
- 连接 MMCX 附件, 7
- 状态 LED, 2, 34

L

- LED
 - 状态, 2

T

- TekVPI, 2