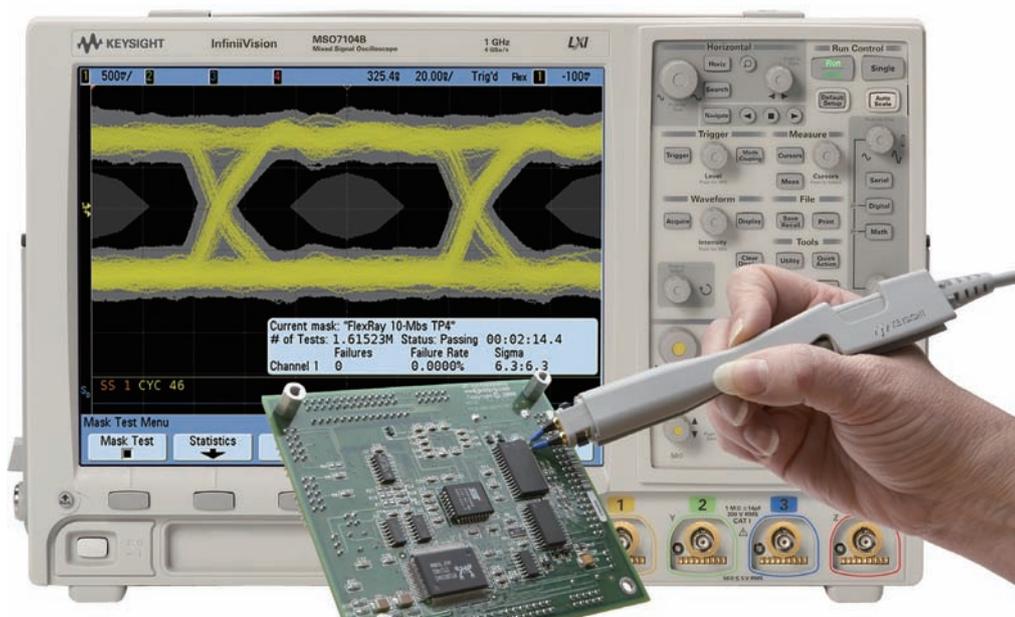


是德科技

8 大技巧帮助您更好地 进行示波器探测

应用指南



8 大技巧帮助您更好地进行示波器探测

探测技术对于高质量的示波器测量至关重要，而探头通常是示波器测量链中的第一环。如果探头的性能不足，就会在示波器上看到失真信号或误导信号。为您的应用选择恰当的探头是进行可靠测量的第一步。如何使用探头也会影响您进行精确测量的能力，以至于影响您获得有用的测量结果。本应用指南介绍 8 个重要技巧，帮助您为自己的应用选择适当探头，提高示波器探测能力。以下探测技巧将帮助您避免最常见的探测陷阱。

技巧 1：选择无源探头还是有源探头？

技巧 2：使用双探头检查探头负载

技巧 3：使用前的探头补偿

技巧 4：高灵敏度、宽动态范围电流测量

技巧 5：使用差分探头进行安全浮置测量

技巧 6：检查共模抑制

技巧 7：检查探头耦合

技巧 8：阻尼谐振

技巧 1

选择无源探头还是有源探头？

对于中低频（小于 600-MHz）测量来说，无源高阻抗探头是很好的选择。这些探头坚固耐用且价格经济，具有宽动态范围（大于 300 V）和高输入阻抗，从而和示波器的输入阻抗相匹配。不过，和低阻抗（ z_0 ）无源探头或有源探头相比，无源探头具有更高的电容负载，而且带宽较低。总之，对于绝大多数模拟或数字电路的通用调式和故障诊断来说，高阻抗无源探头都是一个极好的选择。

对于在宽频范围上（大于 600 MHz）需要进行精确测量的高频应用来说，最好选用有源探头。有源探头比无源探头价格较高，并且其输入电压有限，但是由于它们的电容负载显著降低，因而能使您更精确地观察快速信号。

在图 1-1 中，我们看到的是采用 600 MHz 示波器（Keysight DSO 9064A）测量具有 500 ps 上升时间信号的屏幕快照。左图是使用 Keysight N2873A 500 MHz 无源探头测量此信号的图像。右图是使用 Keysight N2796A 2 GHz 单端有源探头测量同一信号的图像。两个图中的黄色迹线均是信号在探测之前的曲线。绿色迹线是探测后的信号曲线，它与探头的输入相同。紫色迹线显示的是测得信号，也可以称为探头输出。

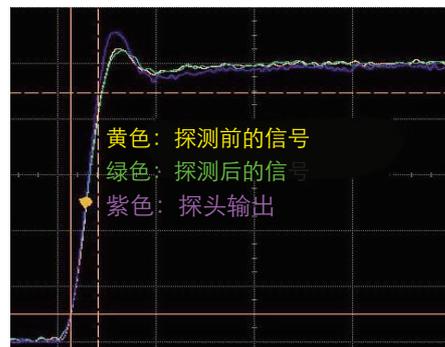
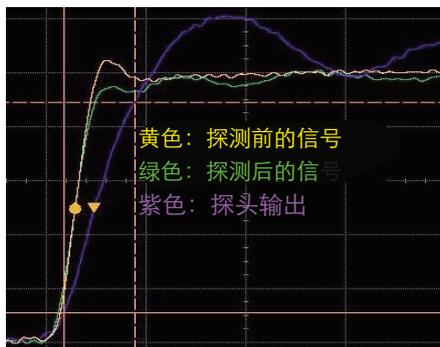


图 1-1. 用无源探头和有源探头测量具有 600 ps 上升时间的信号。

Keysight N2873A 500-MHz 无源探头，采用 15-cm 鳄鱼夹接地线：

- 加载信号后，现在具有 740 ps 上升沿
- 探头输出包含谐振，上升沿测量为 1.4 ns

无源探头在加载信号时会混入自身的电阻、电感和电容（绿色迹线）。或许您希望示波器探头不要影响被测件（DUT）的信号。不过，在本例中，无源探头对被测件确实有影响。被探测的信号其上升时间由原来预期的 600 ps 变为 4 ns，部分原因是由于探头的输入阻抗，另外还因为在测量 583-MHz 信号（ $0.35/600 \text{ ps} = 583 \text{ MHz}$ ）时，探头的带宽只有 500-MHz。

无源探头的电感和电容效应还会造成探头输出的过冲和波动。一些设计人员对这个数量的测量误差并不在意，但对某些设计人员来说，这个数量的测量误差是无法接受的。

Keysight N2796A 2-GHz 有源探头，采用 1.8-cm 接地线：

- 信号未受探头影响，仍有 630 ps 边沿
- 探头输出和信号相匹配，并测得边沿为 555 ps

我们看到，在将有源探头（例如 Keysight N2796A 2 GHz 有源探头）连接到被测件时，该信号几乎未受影响。信号特征在探测后（绿色迹线）和探测前（N2796A 2 GHz 迹线）几乎完全相同。此外，信号的上升时间也未受探头的影响，始终保持在 555 ps。另外，有源探头的输出（绿色迹线）也和探测得的信号（紫色迹线）相匹配，测得上升时间为预期的 600 ps。N2796A 有源探头的 2 GHz 带宽、优异的信号保真度及其低探头负载使这一切成为可能。

技巧 2

使用双探头检查探头负载

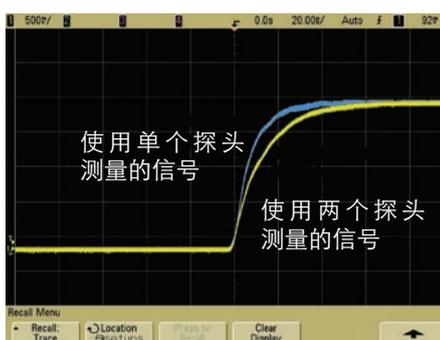


图 2-1: 使用双探头检查探头负载

无源探头和有源探头的主要区别如表 1-2 所示。

	高阻抗无源探头	有源探头
电源要求	无	是
负载	高电容负载和低电阻负载	电阻和电容负载的最佳组合
带宽	高达 700 MHz	高达 30 GHz
应用	通用中低频测量	高频应用
耐用性	非常耐用	耐用性较差
最大输入电压	~ 300V	~ 40V
典型价格	\$100-\$500	>\$1k

图 1-2. 高阻抗无源探头和有源探头比较

探测电路之前，先将一个探针连接到电路上的某一点，然后再将第二个探头连接到同一点。在理想状况下，您应看到信号无任何变化。如果信号产生变化，这个变化是由探头负载引起的。

在理想状况下，示波器采用无扰线（具有无限的输入电阻、零电容和零电感）连接到被测电路，它能对被测信号进行精确复制。但在现实世界中，探头是测量的一部分，它会向电路加载负载。

如欲检查探头的负载效应，首先要将探头连接到被测电路或一个已知的步进信号，

另一端连接到示波器的输入端。在示波器显示屏上观察此迹线，然后保存，再在显示屏上调用以使迹线保留在显示屏上进行比较。稍后，将相同类型的另一个探头连接到同一探测点，观察在使用两个探头进行探测时原始迹线有何变化。

为了更好地进行探测，您可能需要对探测进行调整，或者使用较低负载的探头。例如本例中，缩短接地引线就能起到好的效果。在图 2-2 中，电路接地采用 18 cm（7 英寸）长的接地引线。

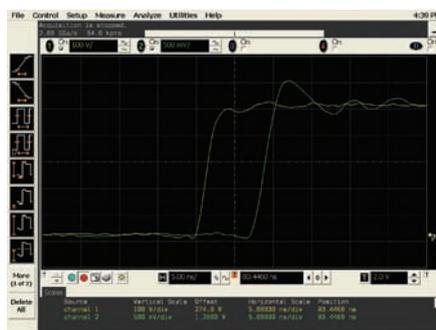


图 2-2. 由长接地引线引起的探头负载

技巧 3

使用前的探头补偿

大多数探头在设计时都和特定示波器型号的输入相匹配。不过，各个示波器之间也是略有差别，甚至在同一示波器的不同输入通道之间也有差别。所以在将探头连接到示波器的输入端之前，一定要确保首先检查探头补偿，因为此探头先前可能已经过调整以便和不同的输入相匹配。为了解决这个问题，大多数无源探头都采用内置补偿 RC 分压器网络。探头补偿是调整 RC 分压器的过程，以使探头维持在额定带宽上的衰减率。

如果示波器能够自动补偿探头性能，使用该功能将会非常有用。否则，可使用手动补偿来调整探头的可变电容。大多数示波器在前面板上都可提供方波参考信号以对探头提供补偿。您可将探针连接到探头补偿端接，再将探头连接到示波器的输入端。观察方波参考信号，使用小螺丝刀对探头进行恰当调整，以使示波器屏幕上的方波看上去像方波。

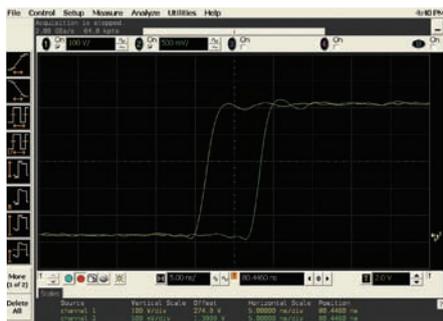


图 2-3. 使用短接地引线降低探头负载

在图 2-3 中，同一信号接地采用弹簧接地引线。在使用较短的接地引线后，探测信号（紫色迹线）的振铃就消失了。



图 3-1. 使用小螺丝刀调整探头的可变电容。

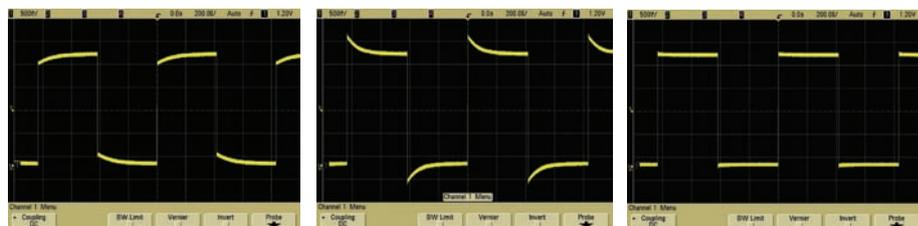
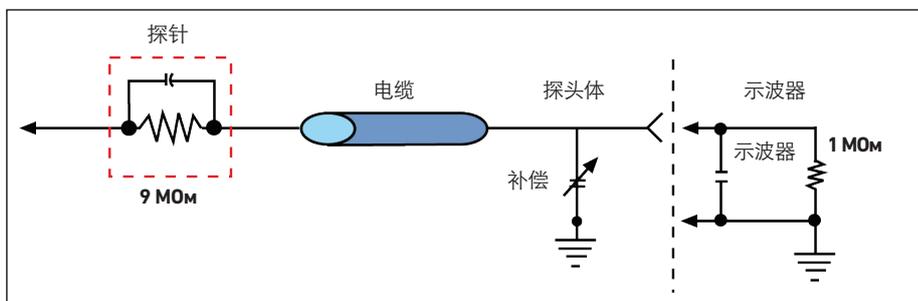


图 3-2. 和平坦方波相应的补偿调整

图 3-2 中的上图所示的是如何恰当调整探头端接盒中的补偿电容器。在图中您可以看到，如果低频调整不恰当，方波中可能就会有过冲或者下冲。这将造成高频测量

的不准确性。因此，确保对补偿电容器进行正确调整非常重要。

技巧 4

低电流测量技巧

随着当前电池供电设备和集成电路变得越来越注重环保和高能效，工程师迫切需要高灵敏度的低电平电流测量能力，以确保电流消耗处于可接受的范围之内。需要精确测量功耗的主要应用是无线移动设备和消费类电子产品等使用电池供电的应用。为了尽量延长电池的使用时间，工程师需要最大限度降低产品在整个使用寿命中的功耗。功率定义为 $P = V \times I$ 。降低设备功耗的主要方法是在电源电压固定不变的情况下，减少设备的平均电流消耗。

测量由电池供电的移动设备（例如手机或平板电脑）的电流消耗，最主要的挑战是电流信号的动态范围非常宽。移动设备通常需要在活动状态（峰值电流非常高而且消耗得非常快）与空闲或待机电流模式（只消耗极少直流和交流电流）之间来回切换。

图 4-1 显示了在用 GSM 手机打电话时测得的电流消耗。活动状态下的电源峰值高达 2 A 左右，而空闲模式中的电流消耗极小。

利用示波器测量电流，最简单的办法是用 Keysight 1147B 或 N2893A 等钳形电流探头直接监测输入被测器件的电流。

可是，这种方法并不适合测量从不到 1 毫安快速变到几安培的小电流，因为钳形电流探头的动态范围和灵敏度都非常有限，仅有几毫安。以测量手机电流消耗为例，空闲状态下的电流由于受到探头噪声的掩盖而很难测量。

而且，为获得更精确的测量，工程师必须不定期地对探头进行消磁处理，以消除探头核心的残余磁性，并补偿钳形电流探头

的直流偏置。额外的校准流程会使钳形电流探头更加难以使用。

最新的 Keysight N2820A 系列高灵敏度电流探头可以同时满足宽动态范围和高灵敏度电流测量需求。由于当前的应用环境要求测试装置的外形必须极小，所以这些探头还具有另一个优势——只需极小的空间便能与被测器件（DUT）建立物理连接。最新的 N2820A/21A 交流 / 直流电流探头具有示波器电流探头中业界最高的灵敏度，可覆盖最低 50 μ A、最高 5 A 的电流范围。

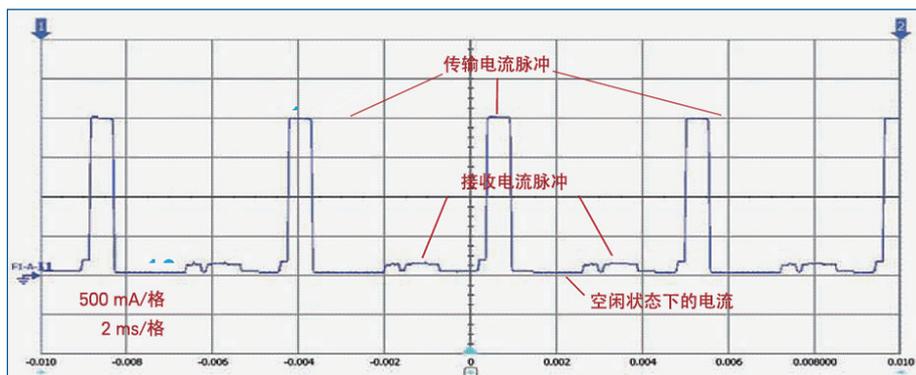


图 4-1. 用 GSM 手机打电话时测得的电流消耗。



图 4-2. 使用示波器测量电流的最简单方法是使用钳形电流探头，例如 Keysight 1147B 或 N2893A。

Keysight N2820A 2 通道高灵敏度电流探头内置两个并联的差分放大器并对它们应用了不同的增益设置，低增益端使您可以查看波形的全貌（或“缩小”视图），而高增益放大器则提供“放大”视图，使您可以查看极其微小的电流波动，例如手机的待机电流。N2820A/21A 电流探头经过优化，可以测量被测器件中的电流流动以表征子电路，从而使用户除了能够查看大信号之外，还能查看快速和大幅变化的电流波形的详细细节。

该探头可以通过创新的方式连接到被测器件。它附带的先通后断（MBB）连接器使您无需焊接或拆焊引线，即可快速地探测被测器件上的多个位置。MBB 探头可以安装到目标电路板上，或用电线连接到被测器件。它能够插入到适用于 0.025 英寸方针的 0.1 英寸标准间距的通孔中。用户可相应地设计其 PCB 版图。要想在不中断被测电路的条件下，轻松连接目标电路板上的多个位置或断开与这些位置的连接，MBB 是最好的选择。

探头技术的创新不仅仅是这些。在捕获到电流波形之后，您现在想要计算系统在一段时间内的平均电流消耗。Keysight Infiniium 和 InfiniiVision 示波器在曲线测量结果下提供了一个区域（Charge），您可以通过积分运算轻松计算随时间变化的电流消耗，结果用安时（Ah，即安培 x 小时）表示。Ah 是衡量电池储电容量的单位。1 安时等于 1 安培电流流动 1 小时的结果。

现在利用 N2820A/21A 电流探头，工程师在测试由电池供电的产品时能够同时查看动态电流波形的详细细节和整体概况，获得此前使用传统钳形探头无法得到的测量结果。



图 4-3. 最新 N2820A/21A 交流 / 直流电流探头提供了示波器电流探头中业界最高的灵敏度。



图 4-4. 它附带的先通后断（MBB）连接器使您无需焊接或拆焊引线，即可快速地探测被测器件上的多个位置。

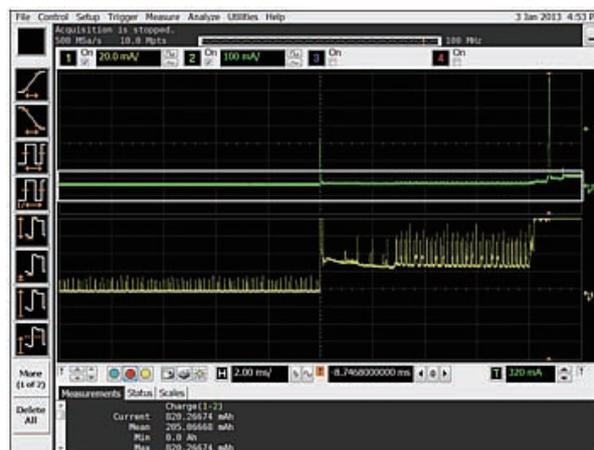


图 4-5. Keysight Infiniium 和 InfiniiVision 示波器在曲线测量结果下提供了一个区域（Charge），您可以通过积分运算轻松计算随时间变化的电流消耗，结果用安时（Ah，即安培 x 小时）表示。

技巧 5

使用差分探头进行安全浮置测量

示波器用户经常需要进行浮置测量。在这种测量中，任何测量点都不能潜在接地。例如，假设您要测量线性电源系列调节器 U1 的输入和输出的压降。那么调节器的电压输入引脚和输出引脚都不能接地。

在进行标准示波器测量时，探头连接到信号点，探针接地引线连接到电路接地，此时，示波器实际测量的是测试点和接地之间的信号差。大多数示波器都将其信号接地终端（或 BNC 接口的外壳）连接至防护接地系统。此举可使示波器上的所有信号均有一个共同的连接点。基本上所有示波器测量都是相对于“接地”来说的。从本质上来讲，将接地连接器连接到任何一个浮置点都可使探测点接地，这常常造成尖峰或电路故障。您应如何应对这种浮置测量问题呢？

目前进行浮置测量有一个很流行但却不太可取的解决方案，那就是“A-B”技术，它使用两个单端探头和示波器的运算函数来进行浮置测量。

大多数数字示波器都有减法模式，采用此模式时，两个输入通道进行电子相减可给出差分信号之差。为了得到良好的结果，每个探头在使用前都应该进行匹配和补偿。采用这种方法，共模抑制比通常可限制到 -20dB ($10:1$) 以下。如果每个探头的共模信号都非常大，而差分信号却小得多，那么两边的增益差别将会极大地改变他们的“差分”或“A-B”结果。此时最好对同一信号重新探测一次，看看“A-B”结果将如何显示。

对任何一种示波器而言，要进行安全、精确地浮置测量，使用高压差分探头，例如 Keysight N2790A，都是一个更佳解决方案。N2790A 通过在探头上安装一个真实的差分放大器，获得高达 $1400\text{ VDC} + \text{AC}$ 峰值的额定差分电压测量范围以及在 10 MHz 处有 -70 dB 的共模抑制比 (CMRR)。使用差分探头及可满足应用的充足的动态范围和带宽可进行安全、精确的浮置测量。

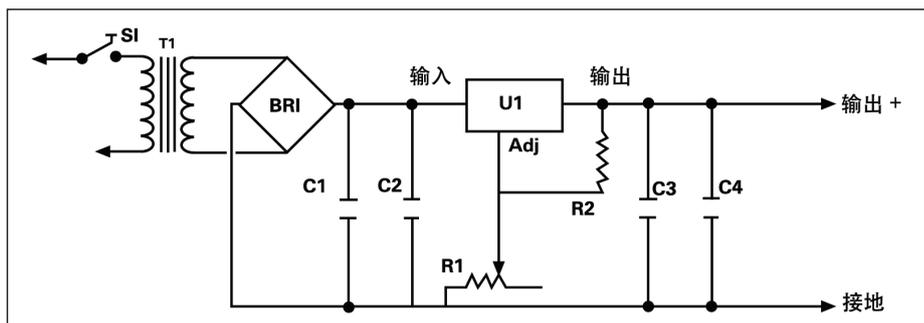


图 5-1. 当测量未采用接地参考时，必须采用差分测量解决方案。



图 5-2. 明智的检查办法是对同一信号进行双重探测，再观察“A-B”结果如何显示。

技巧 6

检查共模抑制

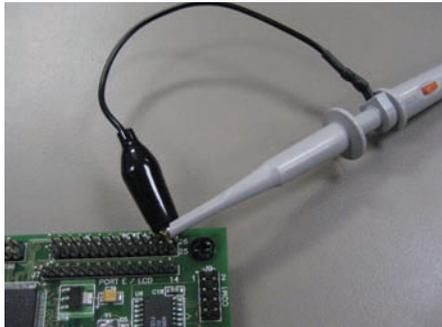


图 6-1. 将两个探针均连接到接地，并观察屏幕上是否有任何信号显示。

探测时最易产生误解的问题之一是共模抑制可能会影响测量质量。无论是单端探头还是差分探头，将两个探针均连接到被测件的接地，然后观察屏幕上是否有任何信号显示都是值得的。

如有信号显示，该信号显示的就是由于缺少共模抑制而引起的信号受影响程度。测量的由源而非信号造成的共模噪声电流可从被测件的接地流经探头接地，直至探头

电缆屏蔽。共模噪声源可能在被测件内部，也可能在其外部，例如电源线噪声、EMI 或 ESD 电流。

单端探头的长接地引线可能会使该问题变得非常明显。单端探头常常会遭到缺少共模抑制的影响。差分有源探头则可提供高得多的共模抑制比，通常可高达 80 dB (10,000:1)。

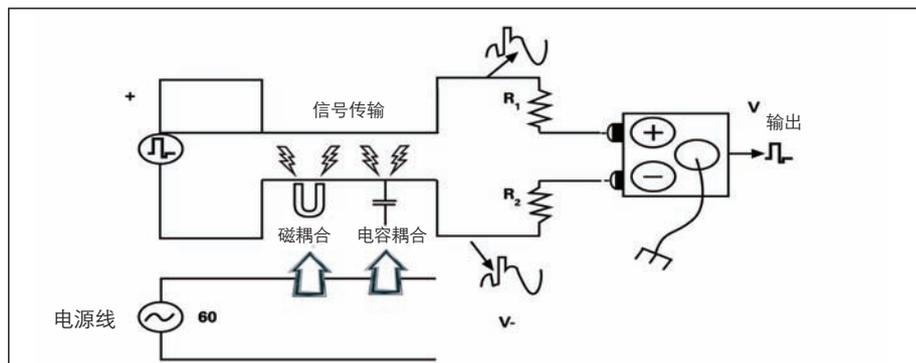


图 6-2. 差分有源探头可提供高得多的共模抑制比，有效消除共模噪声电流。

技巧 7

检查探头耦合

在将探头连接至信号时，用手抓住探头电缆并绕圈移动。如果屏幕上的波形发生严重改变，那就说明能量就已耦合到探头屏蔽，产生了这个改变。通过使用探头电缆上的磁芯来降低电缆屏蔽的共模噪声电流可能有助于提高探测精度。探头电缆上的磁芯会生成一系列的阻抗与导体中的电阻并联。增加探头电缆的磁芯对信号几乎没什么影响，因为信号通过中心导体的核心并沿着屏蔽的核心返回，致使没有净信号电流经过核心。

因此，电缆磁芯的位置非常重要。为方便起见，您可尝试着将磁芯安装在示波器一端。这将使探头变得更轻、更易于操作。不过，在将磁芯安装到电缆的探头接口端时，磁芯的有效性将会大大降低。

减少单端探头接地引线的长度将会有一定的帮助作用，转而采用差分探头是最有效的措施。很多用户都不能理解探头电缆环境的改变会造成测量结果的变化，尤其是在进行高频测量时，它会造成测量可重复性和测量质量的下降。



图 7-1. 使用探头电缆的磁芯将有助于提高探测精度

技巧 8

探头性能受到探头连接的高度影响。由于设计中信号速度的提升，您在连接示波器探头时可能会发现更多过冲、振荡和其他扰动。探头会在与器件的连接位置形成一个谐振电路。如果谐振位于示波器探头带宽内，确定测量扰动源于电路或是探头将

变得十分困难。如果您必须在探针上添加电线以便在狭窄的环境中进行测量，可在探针上放置一个电阻器以阻尼添加电线的谐振。

对于单端探头来说，应将电阻放在信号引线上，并尽量保持接地引线短路。对于差分探头来说，可将电阻器放置在引线尖上，并保持引线长度相同。电阻器的值可通过

先探测一个已知步进信号通过夹具电路板（如 Keysight E2655B）进入示波器通道的信号值来确定。然后再探测线尖上装有电阻器的电线信号。当电阻器的值恰当时，除非信号经过了低通滤波，否则您应看到和测试步进相似的步进形状。如果您看到过量振铃，请增加电阻器值。

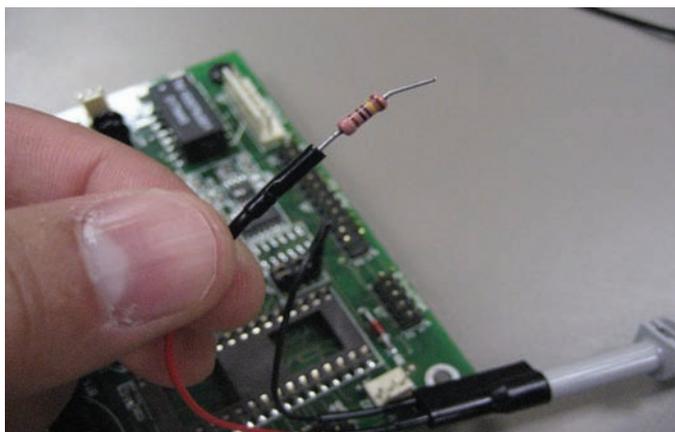


图 8-1. 在探针上放置一个电阻器来阻尼添加电线的谐振。

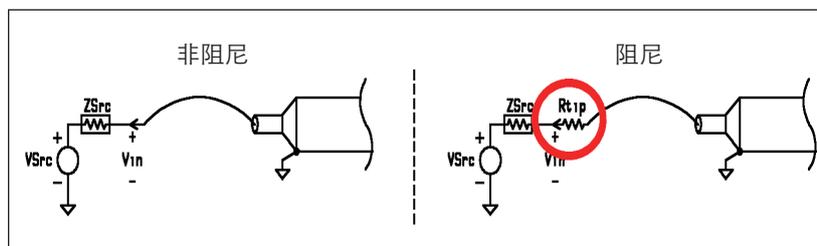


图 8-2. 通过对探头输入进行恰当阻尼，负载 / 输入阻抗将永远不会低于阻尼电阻器的值。

250 MHz 时钟，100 ps 上升时间

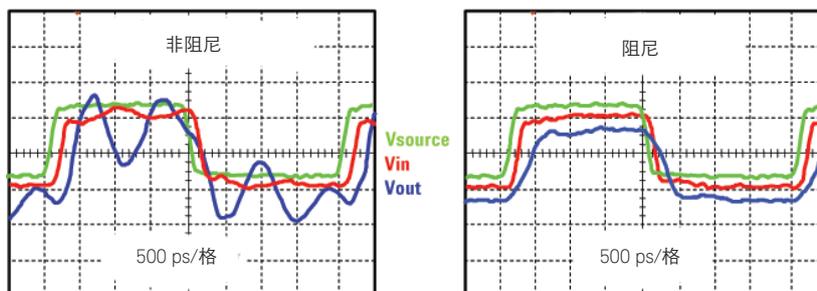


图 8-3. 随着设计速度的增加，您可能会看到更多的过冲、振铃和其他扰动问题。通过在探针上添加阻尼电阻器可以克服由探头连接形成的谐振。

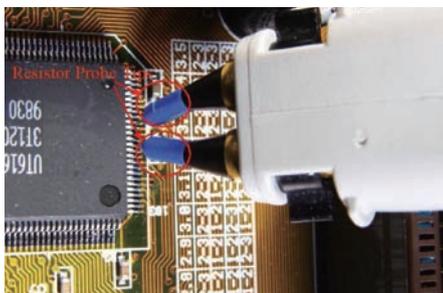


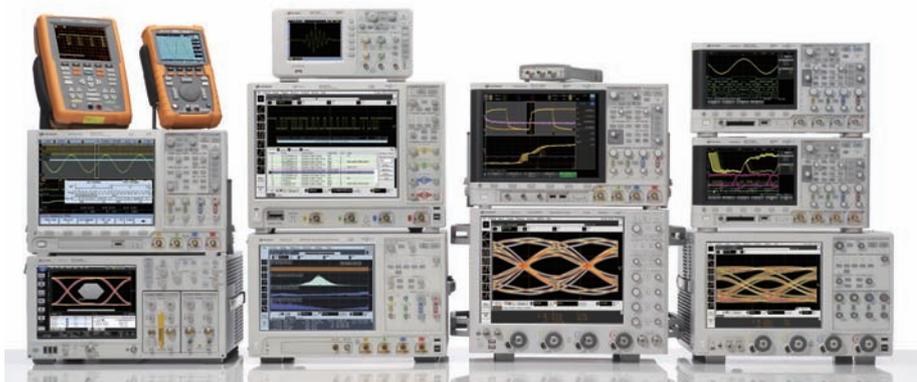
图 8-4. InfiniiMode N2750A 系列、1156A-58A 系列和 InfiniiMax 系列探头均使用这种阻尼附件技术来达到最佳且灵活的性

探头的阻尼附件提供了一种灵活的使用模型，在其规定带宽内可以维持低输入电容和电感以及平坦的频率响应。InfiniiMode N2750A 系列、1156A-58A 系列和 InfiniiMax 系列探头均使用这种阻尼附件技术来达到最佳且灵活的性能。

可靠测量，从探头开始！相关是德科技资料

出版物标题	出版物类型	出版物编号
是德科技示波器探头和附件	选型指南	5989-6162CHCN
Infiniium 示波器探头和附件	技术资料	5968-7141CHCN
InfiniiVision 示波器探头和附件	技术资料	5968-8153CHCN

要实现示波器的最高使用效能，您必须根据特定的应用需要选用适宜的探头和附件。请与是德科技的测量专家联系或访问 www.keysight.com/find/scope_probes 查找示波器探头和附件综合系列的信息。



是德科技示波器

从 20 MHz 至 > 90 GHz 的多种型号 | 业界领先的技术指标 | 功能强大的应用软件

myKeysight

myKeysight
www.keysight.com/find/mykeysight
个性化视图为您提供最适合自己的信息！



www.axiestandard.org
AdvancedTCA® Extensions for Instrumentation and Test (AXIe) 是基于 AdvancedTCA 标准的一种开放标准，将 AdvancedTCA 标准扩展到通用测试半导体测试领域。是德科技是 AXIe 联盟的创始成员。



www.lxistandard.org
局域网扩展仪器 (LXI) 将以太网和 Web 网络的强大优势引入测试系统中。是德科技是 LXI 联盟的创始成员。



www.pxisa.org
PCI 扩展仪器 (PXI) 模块化仪器提供坚固耐用、基于 PC 的高性能测量与自动化系统。



3 年保修
www.keysight.com/find/ThreeYearWarranty
是德科技卓越的产品可靠性和广泛的 3 年保修服务完美结合，从另一途径帮助您实现业务目标：增强测量信心、降低拥有成本、增强操作方便性。



是德科技保证方案
www.keysight.com/find/AssurancePlans
5 年的周密保护以及持续的巨大预算投入，可确保您的仪器符合规范要求，精确的测量让您可以继续高枕无忧。



www.keysight.com/go/quality
是德科技公司
DEKRA 认证 ISO 9001:2008
质量管理体系

是德科技渠道合作伙伴
www.keysight.com/find/channelpartners
黄金搭档：是德科技的专业测量技术和丰富产品与渠道合作伙伴的便捷 供货渠道完美结合。

如欲获得是德科技的产品、应用和服务信息，请与是德科技联系。如欲获得完整的产品列表，请访问：www.keysight.com/find/contactus

是德科技客户服务热线
热线电话: 800-810-0189、400-810-0189
热线传真: 800-820-2816、400-820-3863
电子邮件: tm_asia@keysight.com

是德科技 (中国) 有限公司
北京市朝阳区望京北路 3 号是德科技大厦
电话: 86 010 64396888
传真: 86 010 64390156
邮编: 100102

是德科技 (成都) 有限公司
成都市高新区南部园区天府四街 116 号
电话: 86 28 83108888
传真: 86 28 85330931
邮编: 610041

是德科技香港有限公司
香港北角电器道 169 号康宏汇 25 楼
电话: 852 31977777
传真: 852 25069233

上海分公司
上海市虹口区四川北路 1350 号
利通广场 19 楼
电话: 86 21 26102888
传真: 86 21 26102688
邮编: 200080

深圳分公司
深圳市福田区福华一路 6 号
免税商务大厦裙楼东 3 层 3B-8 单元
电话: 86 755 83079588
传真: 86 755 82763181
邮编: 518048

广州分公司
广州市天河区黄埔大道西 76 号
富力盈隆广场 1307 室
电话: 86 20 38390680
传真: 86 20 38390712
邮编: 510623

西安办事处
西安市碑林区南关正街 88 号
长安国际大厦 D 座 501
电话: 86 29 88861357
传真: 86 29 88861355
邮编: 710068

南京办事处
南京市鼓楼区汉中路 2 号
金陵饭店亚太商务楼 8 层
电话: 86 25 66102588
传真: 86 25 66102641
邮编: 210005

苏州办事处
苏州市工业园区苏华路一号
世纪金融大厦 1611 室
电话: 86 512 62532023
传真: 86 512 62887307
邮编: 215021

武汉办事处
武汉市武昌区中南路 99 号
武汉保利广场 18 楼 A 座
电话: 86 27 87119188
传真: 86 27 87119177
邮编: 430071

上海MSD办事处
上海市虹口区欧阳路 196 号
26 号楼一楼 J+H 单元
电话: 86 21 26102888
传真: 86 21 26102688
邮编: 200083

