是德科技
电源轨测量的4个技巧

应用指南

KEYSIGHT
TECHNOLOGIES

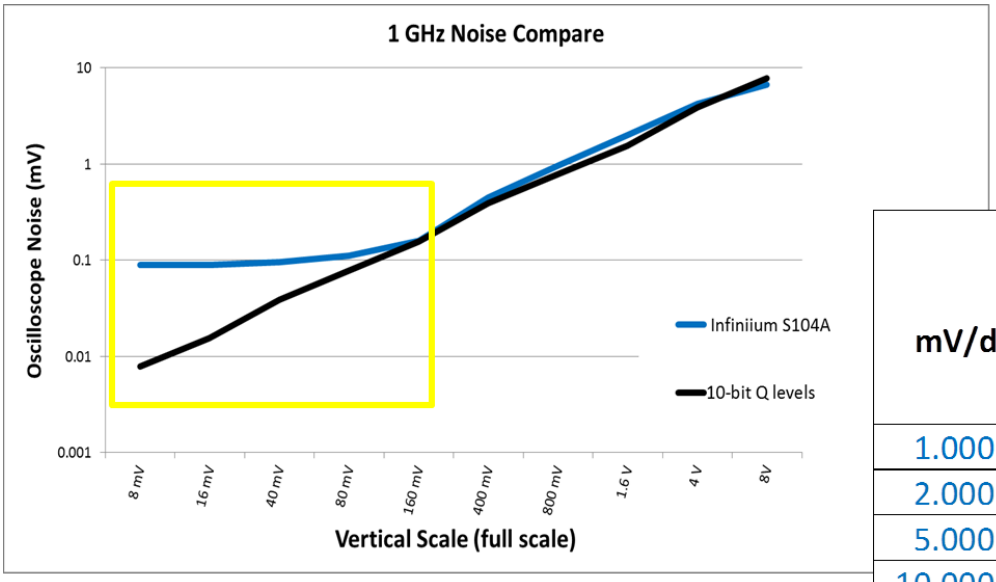
在当前的电子设计领域，供电网络 (PDN) 已经成为一个技术重点。由于 PDN 连接到所有用电器件，所以电源轨上的噪声或瞬态特征也会传播到整个系统中。因此，电源轨上的噪声和耦合成为造成系统抖动的首要原因。为了提高测量的准确性，功率完整性测量 (例如测量纹波和噪声，以及查找瞬态干扰和周期干扰的来源) 的要求变得更加苛刻。原因何在？当量程缩放到较小的垂直灵敏度时，示波器的偏置往往无法满足需要。电源轨越低，其容限也就越苛刻，但这往往被示波器和探头的噪声所掩盖。使用探头或同轴电缆的连接方式可能会改变电源轨的特性，或是掩盖信号的细节。

下面是使用示波器精确测试供电网络的四个重要技巧。

1. 首先应选择噪声最小的示波器和探头。

当您测量仅有几毫伏的信号时，如果噪声也差不多大小，那么肯定不会得到满意的测量结果。示波器和探头的噪声可能会掩盖掉周期性干扰和随机性干扰。所有示波器都带有前端，它会产生一定的噪声并添加到信号中。示波器显示的测量结果实际上包含被测信号和示波器噪声两部分。在示波器中，50 Ω 路径的噪声比 1 M Ω 路径小得多，因此 50 Ω 路径更适合电源轨测量。

在 1 GHz 带宽下，噪声最高的示波器与噪声最低的示波器相比，噪声电平的差距能够达到 3 倍左右。确定您的示波器有多大噪声很容易。断开所有输入，然后测量每种垂直标度设置下的 $V_{AC\ rms}$。工程师在测试电源轨时通常更关注噪声峰峰值 (V_{pp}) 测量结果，因为电源轨上的纹波和噪声一般是用峰峰值来测量的。在您将要使用的每个垂直灵敏度下重复执行噪声测量。测量结果会生成一个类似图 1 所示的图形。对于电源轨测量，使用 50 mV/ 格或更小的垂直标度设置。新示波器的此类信息通常在制造商提供的技术资料中给出。如果您有两种不同的示波器候选，可以根据测量结果来决定使用哪种示波器。如果您只能使用特定的示波器，那么可以利用测量获得的噪声值来确定最适合的示波器通道。在每个垂直标度设置下，各通道的噪声都略有差异。如果您更青睐 ADC 分辨率超过 8 位的示波器，您就会发现当垂直灵敏度为 20 mV 或更小时，示波器噪声的影响要远远大于示波器的 ADC 分辨率。影响测量结果显示的最大因素不是分辨率，而是噪声。



mV/div	Full scale value (Volts)	Infiniium S104A noise (mV)
1.000E-03	8 mV	0.09
2.000E-03	16 mV	0.09
5.000E-03	40 mV	0.095
10.000E-03	80 mV	0.111
20.000E-03	160 mV	0.16
50.000E-03	400 mV	0.45

图 1. 花几分钟测试示波器的噪声。图中显示了 Keysight Infiniium S 系列示波器在 1 GHz 带宽下的噪声特性。在最灵敏的垂直标度设置下，噪声最小。因此，最好将垂直标度设置为让电源轨占据示波器屏幕上绝大部分区域。

除了示波器所引发的噪声外，连接的探头或电缆也会增加噪声。与衰减比较高 (例如 10:1) 的探头相比，衰减比较低 (例如 1:1) 的探头其噪声也较低，因此在电源轨测量中更常用。图 2 的例子中有 2 个探头，分别连接到同一台示波器。一个探头在示波器噪声上只增加了非常小的噪声；而另一个探头对总体噪声的影响是前者的 10 倍。为了测试探头噪声，可以将探头连接至将要使用的示波器通道。然后将探针接地，并测量 $V_{ac\ rms}$ 或 V_{pp}。这就是示波器和探头的噪声。示波器厂商通常不公布探头噪声指标 (仅公布 Vrms AC)，因此您需要咨询租赁商并运行这种快速检查。

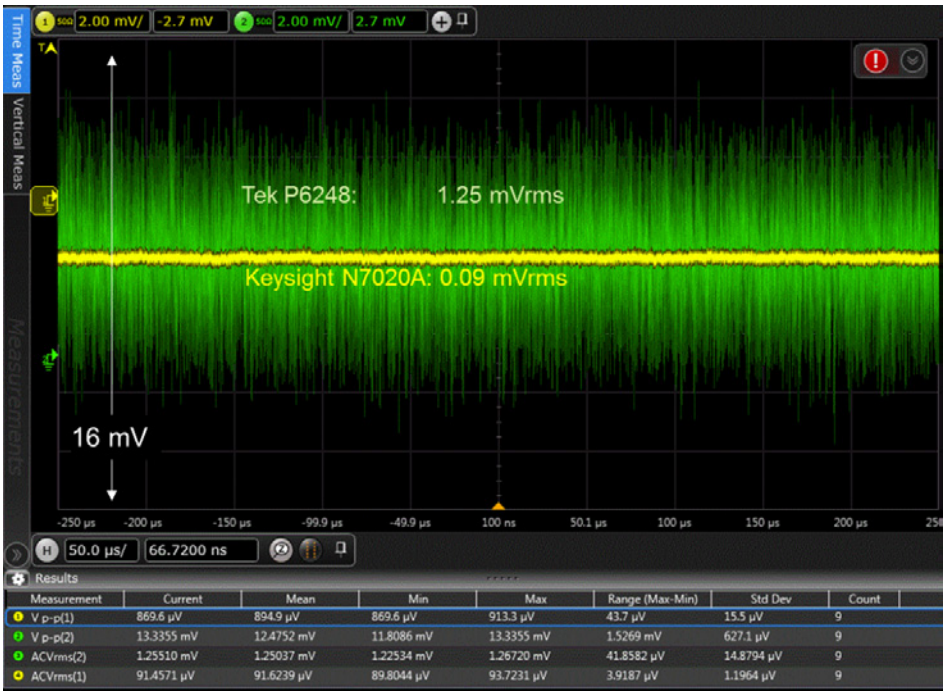


图 2. 探头噪声添加到示波器噪声上。屏幕上显示的是电源轨测量可能使用的两个不同探头的噪声。Tektronix P6248 探头的噪声是 Keysight N7020A 电源轨探头的 10 倍。

选择低噪声的探头甚至比选择低噪声的示波器更重要。探头的噪声通常比示波器更大。例如，Keysight N7020A 电源轨探头添加的噪声就非常小，与 Infiniium 示波器连接时，它只增加了 10% 的噪声。

2. 使用降噪技术。

在特定示波器中，最大的噪声部分是宽带噪声。断开示波器的所有输入，即可对频域中的噪声结果实施 FFT 运算。图 3 的实例显示了对 4 GHz 带宽 Infiniium S 系列示波器执行 FFT 运算的结果，可见在示波器的整个带宽范围内噪声密度都是一致的。对 FFT 下的区域进行积分运算，您将得到与时域结果相同的噪声值。

打开带宽滤波器可以降低宽带噪声，得到更准确的测量结果。如果您的测量不需要使用示波器的全部带宽，那么尽量限制所使用的带宽大小。不过，带宽限制滤波器的缺点有哪些？当您需要查看较高频率的信号时，必须保证没有对带宽做太多限制。请看图 3 中的例子，如果您使用 35 MHz 带宽的探头，那么就看不到信号源输出的干扰或串扰中超过 35 MHz 的频率分量。虽然纹波的频率通常是 kHz 级的，但来自耦合信号源和快速信号边沿的周期性失真可能包含超过 1 GHz 的音频。

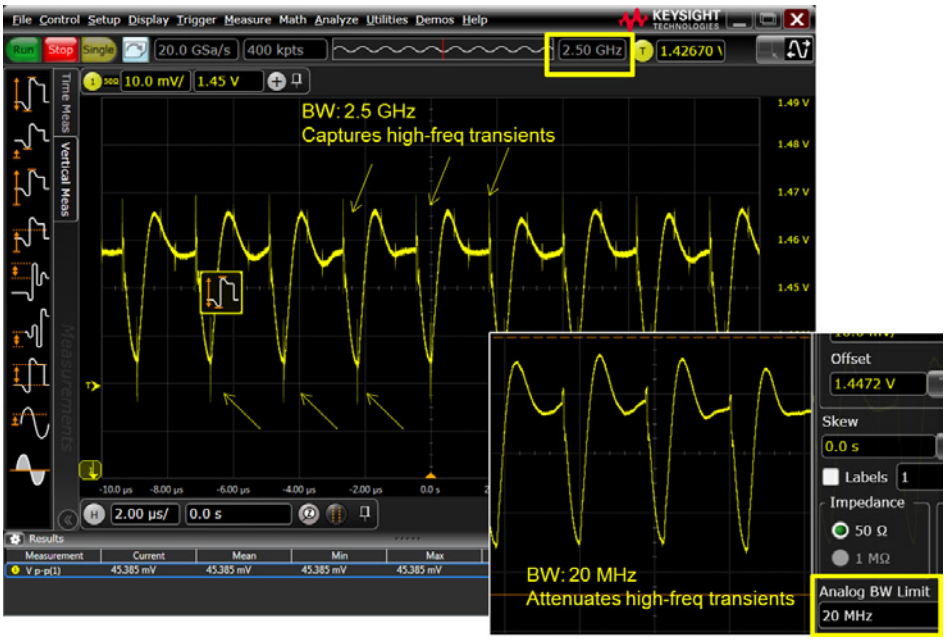


图 3. 2.5 GHz 带宽的电源轨测量结果，右下图为带宽限制在 20 MHz 的电源轨测量结果。在高带宽下，您可以清晰地看到高频干扰，但是在打开 20 MHz 带宽限制后就看不到了。

另一种降低噪声的方法不是很引人注目，但是一样重要。前面提到过，示波器的带宽和垂直灵敏度都对噪声有影响。垂直灵敏度越低，噪声就越小。以 1 GHz 带宽的 Keysight Infiniium S 系列示波器为例，示波器的噪声在 50 mV/ 格标度下为 450 uV，在 20 mV/ 格下只有 160 uV，在 2 mV/ 格下更是降低到 90 uV。因此关键是要使用能够实现最高信噪比的灵敏度。这意味着您应把电源轨测量的标度设定为占据示波器垂直量程的绝大部分。如果您需要同时查看两个电源轨，可以把它们上下分屏显示，每一个电源轨占示波器屏幕网格的一半，但是这样将导致噪声增加。想要进行噪声更低、更准确的测量，应把各自的网格垂直标度设置为更小值。

3. 使用符合偏置要求且具有最高直流输入阻抗的探头。

电源轨测量要求用户在示波器屏幕中心位置显示轨电压，并放大显示以测量纹波和观察瞬态特性。示波器通常会产生随着垂直标度变化的偏置。当在小垂直增益下放大显示时，内置偏置经常会不够用。例如在 Infiniium S 系列上，当放大到 10 mV/ 格标度下进行显示时，可用偏置仅有 24 mV。这使它不可能放大到显示 3.3 V、1.6 V 或其他电压的功率轨测量结果。您将发现大多数示波器都是这种情况。解决这一问题有两种办法。

许多工程师选择使用隔直流电容器来消除直流值。这种方法的好处在于用户能够只查看信号的交流分量，但主要缺点是无法查看直流漂移和电压下降情况。直流值可能会随着器件的开启和关闭而发生变化，用户除了要知道交流特性外，了解直流值也非常重要。因此通常不建议使用隔直流电容器。

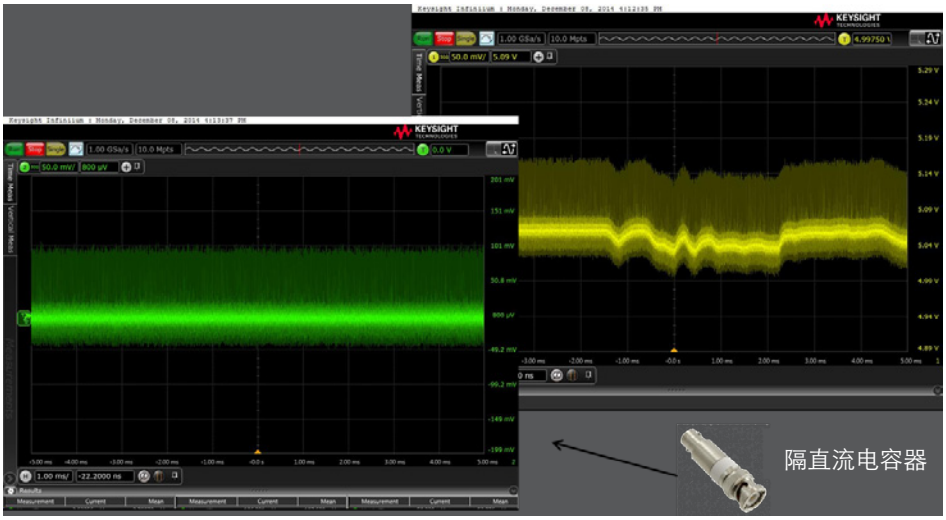


图 4. 左图是使用隔直流电容器的电源轨的测量结果。受隔直流电容器的影响，您无法看到直流漂移。右图显示的是使用 N7020A 电源轨探头测量同一个电源轨的结果。N7020A 使用户可以同时查看电源轨信号的交流值和直流值。

实现偏置要求的更好办法是使用偏置探头。探头制造商通常在探头设计中加入偏置功能。这种偏置可以很好地补充示波器偏置的不足。例如，在前面提到的例子中，示波器只能提供 +/- 24 mV 的偏置，加上 N7020A 电源轨探头，用户可以获得 +/- 24V 的偏置。这个偏置范围覆盖了绝大多数电源轨直流值，使用户能够以最小 1 mV/ 格的标度放大信号，不会给偏置增加任何限制。

4. 使用输入阻抗较大的探头。

前面说过，要想最大限度降低噪声，最好使用示波器的 50 Ω 输入端。您是直接将同轴电缆连接到 50 Ω 输入端，还是使用探头连接？哪种选择更好？ 这需要根据连接方法的输入阻抗而定。电源轨的阻抗通常小于 1 Ω。当用户用 50 Ω 同轴电缆连接示波器和电源轨时，会发生两种情况。首先，50 Ω 连接会构成电阻分压网络。部分电流将会通过同轴电缆流向示波器。因此部分电流将会被吸离目标系统。其次，示波器现在测量的直流值实际上要小于增加 50 Ω 输入阻抗之前的原始直流值。这种方法的问题在于用户不能获得精确的直流测量结果同样因为这个原因，即使您的示波器本身可以提供足够的偏置，但最好还是使用具有偏置的高阻抗探头。

目前，市面上已经出现专门为电源轨测量而设计的探头。电源轨探头专为功率完整性测量而设计，通过在其他目标特性方面的折中而获得了最精确的电源轨测量能力。这些特性包括低噪声 (和相关的 1:1 衰减比)、高偏置范围、高直流输入阻抗以及用于查看瞬态特性的足够带宽。例如，Keysight N7020A 电源轨就是一种电源轨探头。该探头拥有 50 KΩ 的直流输入阻抗。与前面使用 50Ω 同轴电缆直接连接 50Ω 示波器输入端的例子相比，它对负载的影响小 1000 倍。

随着电源电压的不断降低以及供电网络的日趋复杂，用户对更精确测量电源轨的需求将继续增长。能够出色地完成功率完整性测量的示波器和探头组合并不多，选择和使用正确的工具以及其他相关技术将有助于用户实现最精确的电源轨测量。

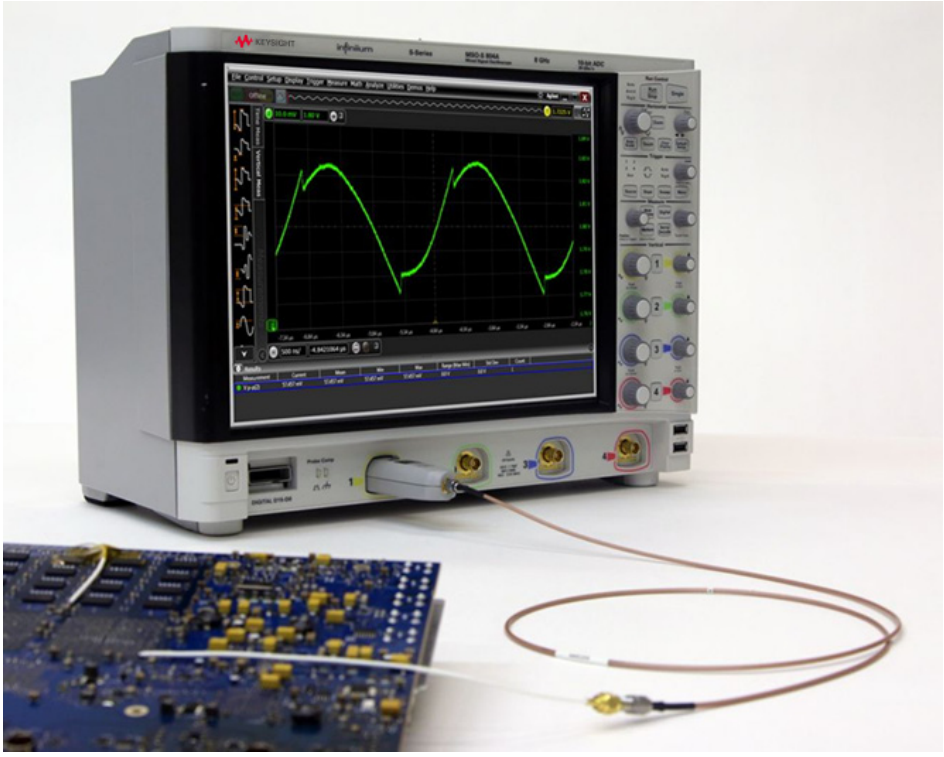


图 5. 10 位 Infiniium S 系列示波器与电源轨探头是完美的测量组合。关键的功率完整性技术指标包括低噪声、宽带限制滤波器以及支持最小 16 mV 信号的 10 位分辨率。

特性和技术指标 : N7020A 电源轨探头	
探头带宽 (-3 dB)	2 GHz
衰减比	1:1
偏置范围	± 24 V
* 直流输入阻抗	50 kΩ +/-2%
有源信号范围	偏置电压 ± 850 mV
平坦度 (电源阻抗 <0.1 Ω)	±1%，1 MHz(仅硬件) ± 2%，1 GHz(DSP)
探头噪声	在所连示波器的噪声上增加 10%
探头类型	单端
随附配件	N7021A　同轴探头前端 (3 个)
	N7022A　主电缆 (240 美元)
最大无损输入电压	+/-30 V(直流 + 交流峰值)
输出阻抗	50 Ω
电缆长度	N7021A 主电缆 : 48 英寸 N7022A 同轴探头前端 : 8 英寸
环境工作温度	探头适配夹 : 0 – 40° C， N7021A 主电缆，N7022A 同轴探头前端 : 0 – 85° C

Keysight N7020A 电源轨探头专为功率完整性测量而设计。大偏置范围、低噪声、高直流输入阻抗和带宽等先进特性使它非常适合测量供电网络的周期性干扰和随机干扰。

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

Keysight Technologies, Inc.
DEKRA Certified ISO 9001:2008
Quality Management System

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。

www.keysight.com/find/n7020A

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

KEYSIGHT TECHNOLOGIES

本文中的产品指标和说明可不经通知而更改
© Keysight Technologies, 2015
Published in USA, January 23, 2015
出版号：5992-0316CHCN
www.keysight.com