

高达 67 GHz 的 晶圆噪声系数测量优化

应用指南

噪声系数(NF)测量是在制造业研发和流程验证中进行器件表征的关键环节。进行精确的晶圆噪声系数测量可能并不简单，要想得到良好的测量结果，这取决于所采用的测量方法和测试配置。

噪声系数测量一般使用两种方法：Y因子方法和冷源法。Y因子(或热/冷源)测量法是两者中的主导方法，大多数情况下通过噪声系数分析仪和基于频谱分析仪的解决方案来实现。相比之下，冷源测量法一般通过矢量网络分析仪(VNA)实现，分析仪提供幅度和相位信息。因此，冷源技术能够获得更高的噪声系数测量精度。

本应用指南讲解了基于Agilent PNA-X微波网络分析仪的冷源测量解决方案。PNA-X装有信号源校正噪声系数测量选件(选件029)，提供一流的精度。新硬件支持高达50 GHz的测量。在50 GHz至67 GHz频率范围内进行测量时，需要使用额外的外部硬件。PNA-X还能够缩短测量时间：它通过与被测器件(DUT)进行单次连接来执行多种测量，例如噪声系数、S参数、增益压缩和互调失真(IMD)。



概述：噪声系数

噪声因子(线性表示)和噪声系数(对数表示)是非常有用且普及的品质因数，用于表征放大器或频率转换器对传输信号增添了多少噪声。两者的定义简单直接。网络的噪声因子(F)定义为输入信噪比(SNR)除以输出SNR的值：

$$F = (S_i/N_i)/(S_o/N_o)$$

噪声系数是以分贝数表示的噪声因子：

$$NF = 10 \times \log(F)$$

在理想的放大器中，输出噪声等于输入噪声乘以放大器增益。这样，放大器的输入和输出SNR就会相同。实际上，由于放大器本身带有噪声，因而输出噪声要大于输入噪声乘以放大器增益。输出SNR小于输入SNR，由此F大于1且NF大于0 dB。

噪声系数测量

噪声系数测量一般使用两种方法：Y因子方法和冷源法。Y因子(或热/冷源)测量法使用经过校准的噪声源，包括噪声经过优化、可以打开和关闭的雪崩二极管。在二极管后面放置衰减器，以确保良好的输出匹配。

当关闭二极管时(例如没有偏置电流)，噪声源会产生与室温端接状态相同的噪声。当二极管被施加偏压而“打开”时，所得到的雪崩击穿会产生明显多于室温端接状态的电子噪声。额外噪声由超噪比或ENR表示。典型ENR值是5 dB或15 dB。通过对冷/热输入端接的输出功率进行单独测量，可确定被测器件的增益和噪声系数。

冷源技术有时称为直接噪声方法，仅使用单个冷态输入端接(一般是室温)。使用VNA时，该方法能够缩短测量时间：只需与被测器件进行一次连接，即可执行多种测量，包括噪声系数和S参数测量。重复多次的探针测量可能损坏部件，因而这种技术非常适合晶圆上器件。

VNA 可对测试系统和被测器件提供矢量(幅度和相位)测量, 测量精度远胜于其它测量方法。这些优势适用于很多被测器件: 放大器、频率转换器等。

只要放大器是线性的, 其输出功率与输入噪声的关系图就会是一条直线(图 1)。低噪声放大器(LNA)用于放大那些远离放大器压缩区域的低电平信号, 因而线性度可作为放大器的假定条件。

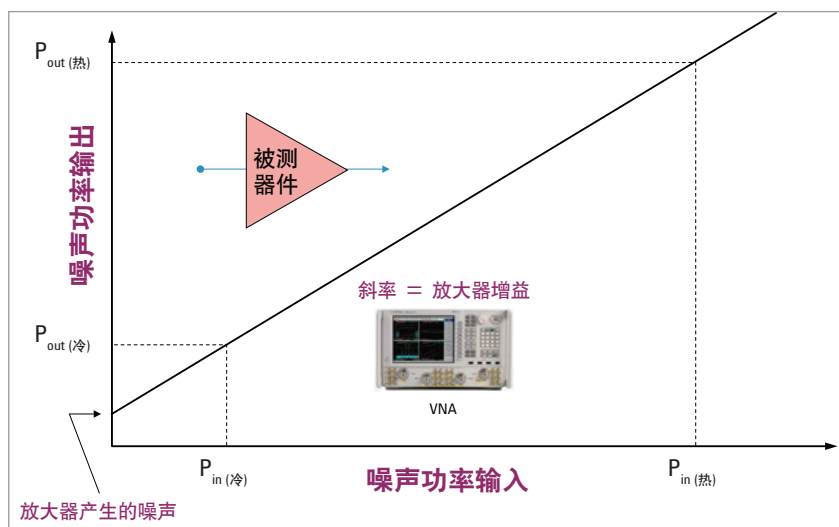


图 1. 放大器输出功率与输入噪声的关系图揭示了增益、线性度和内部噪声等信息。

即便没有输入噪声, 在器件有源电路的噪声生成过程中, 放大器仍然会产生一些噪声。我们通过 NF 测量对这种噪声进行表征。

从图中可以轻松地看到, 如何通过对输出噪声功率的两次测量(例如用 Y 因子法)同时求出放大器的增益(线路斜率)和噪声系数(从 y 截获点中导出)。如果通过其它方法确定增益(斜率)——例如 VNA 正弦激励和测量, 那么仅需一种噪声功率测量来计算 y 截获以及被测器件的噪声系数。¹

¹ 这是冷源测量方法的基础。

问题：测量精度的降低

Y 因子法有一个关键假设：噪声源的匹配恰好是 50Ω 。任何与 50Ω 的偏离都会严重降低测量精度。精度下降的程度与测量情景有关。如果噪声源直接连接至被测放大器的输入端，那么 NF 测量的精度就会相当好。特别是在使用低 ENR 源时，其匹配要优于高 ENR 源。

在晶圆上测量情景中(图2)，噪声源和被测器件之间会引进各种电子网络，由于受到源匹配降低的影响，测量精度也随之降低。即使我们对电缆/开关/晶圆探头的损耗进行补偿，也会出现这种结果。原因是：损耗补偿无法消除失配效应，也不能排除噪声参数引起的误差。这两种效应会给 NF 测量带来波动和不确定性。

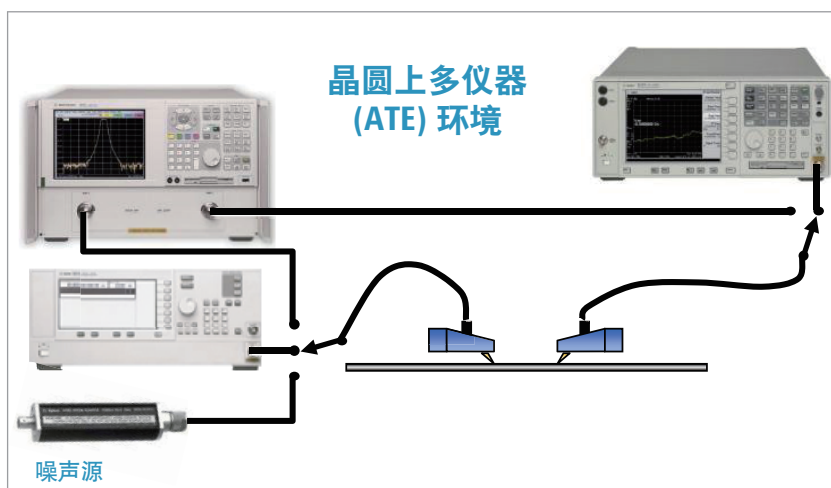


图2. 随着越来越多的设备加入到测试配置中，Y 因子测量精度可能受源匹配降级的影响而有所降低。

通解: 使用 PNA-X 进行测量

PNA-X微波网络分析仪只需与被测器件进行一次连接,即可执行S参数、压缩(增益和相位)、谐波和IMD等测量。通过在PNA-X中添加硬件和固化软件,选件029(信号源校正NF测量)可将噪声系数测量列入测量列表中。

在硬件方面,该选件添加了频率范围(高达50 GHz)与仪器相同的低噪声接收机。PNA-X的标准接收机可将NF测量扩展到67 GHz,还要添加一个外部前置放大器和滤波器,以消除带外噪声。该选件还为仪器固化软件增添了专用的测量和校准算法。

使用内置阻抗调谐器(提供43.5、50和67-GHz型号)或外部电子校准件(13.5或26.5-GHz)可以实现完整的矢量噪声校正。与标准的矢量误差校正增益和匹配测量结合在一起,阻抗调谐器能够消除非理想的系统源匹配带来的影响,从而极大地提高测量精度。

信号源校正技术是PNA-X独有的功能。图3史密斯圆图演示了该技术的实施。图中心的正方形表示对被测器件进行噪声系数测量的位置。这对应着理想的50 Ω源匹配;但是,测试系统不能在所有频率提供理想的匹配。

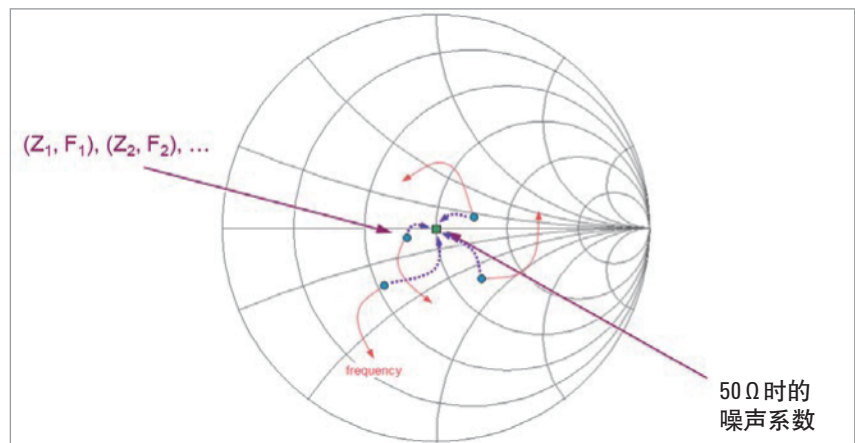


图3. PNA-X可在4个和7个阻抗状态之间使用(不同于50 Ω),以便精确计算被测器件的50 Ω噪声系数。

为解决这个缺陷，配有选件029的PNA-X可在4至7个精密阻抗之间使用(不同于 50Ω)²。图3中的4个圆圈表示这4种阻抗。PNA-X在每个阻抗值上测量被测器件的噪声功率。这4个圆圈的阻抗是在系统校准过程中测得，并使用被测器件测量噪声功率值。阻抗/噪声功率对可用于求解噪声参数公式，以便对 50Ω 噪声系数(正方形)进行极其精确的计算。

正如矢量误差校正能够显著改善VNA在S参数测量时的源匹配和负载匹配一样，源校准方法可使PNA-X的非理想源匹配在NF测量时变得非常出色。在实际被测器件测量中，要对每个阻抗状态进行频率扫描；这样要比改变每个频率点上的阻抗效率更高。除了上述4/5/6/7噪声功率扫描之外，传统的S参数扫描——正向和反向——通过标准接收机进行。通过两次扫描，可得到精确的放大器增益测量结果；四次扫描可用于测量频率转换器的增益。

图4是Y因子法和PNA-X法的示例对比。两个示例都是对封装的低噪声晶体管进行401点宽带测量。Y因子法使用Agilent 346C噪声源(14-dB ENR)。

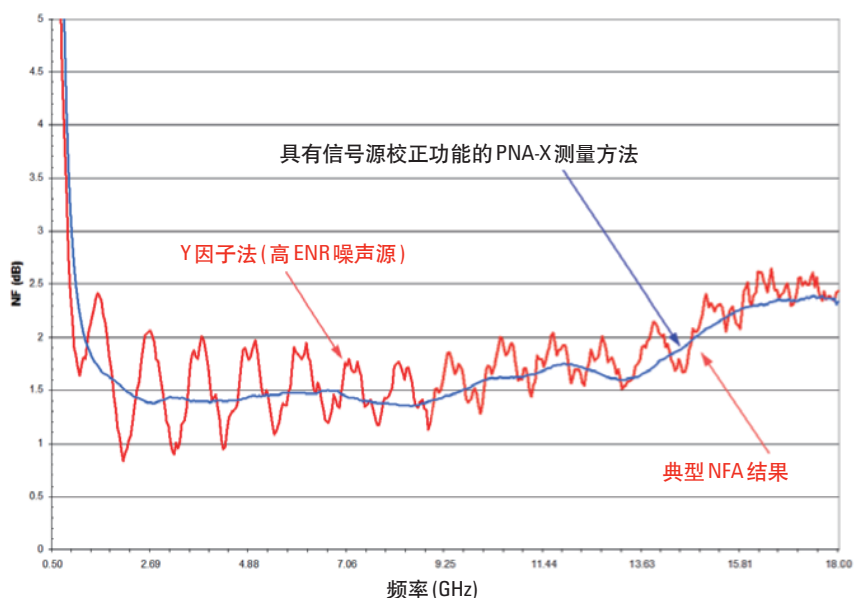


图4. 借助源校正法，与Y因子和NFA方法相比，PNA-X能够更精确地表示被测器件的噪声系数。

² 用户选择所要用的阻抗值数目。

PNA-X结果相对平滑，并位于Y因子测量轨迹波纹的中间。基于两个原因，Y因子法的波纹很少被人看到。首先，许多器件都是窄带器件，这意味着测量扫宽较为狭窄，无法显示波纹。在中心频率低于15 GHz的窄带应用中，Y因子法可能使LNA性能比真实情况更好或更差。

第二个原因是：即便是宽带测量，Y因子测量技术的缓慢速度通常意味着测量点更少。由此，以欠采样或混叠的形式来表示器件的实际性能，如图4的虚线所示。在以上测量中，仅使用11个测量点，这是专用NFA通常使用的数值。

正如401点测量一样，PNA-X测量结果的纹波更少、测量精度更高。它能够真实地反映被测器件的噪声系数。

通解：噪声接收机的表征

晶圆上测量能够对任意被测器件的噪声系数进行校正测量，要求对仪器内置噪声接收机的噪声成分进行表征，并从原始(未校正)测量中去除。测量到的噪声功率会受到接收机增益、带宽和噪声系数的影响。例如，更高的增益意味着功率电平更高。接收机的噪声功率还依赖于测量带宽。因此，总体噪声成分与接收机的增益带宽成正比(图5)。

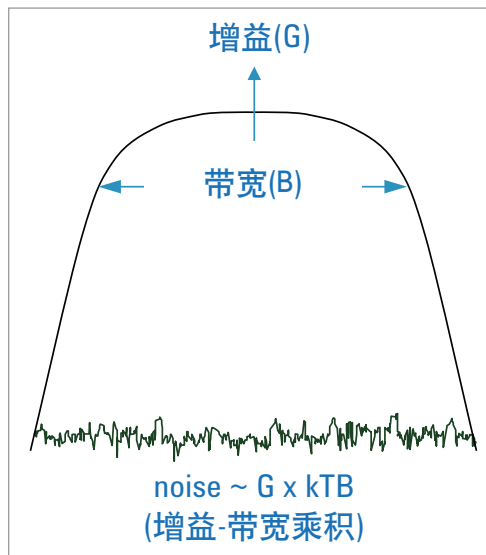


图5. 通过对噪声接收机的增益带宽进行表征，能够确定内部噪声成分，可作为校准测量中的校正因数使用。

增益和带宽可单独测量，也可作为整体测量。借助Y因子法(需用到噪声源)，通过施加已知的过量噪声可直接测得增益带宽，从而对噪声接收机进行表征。

PNA-X提供另一种使用功率计和功率传感器作为校准标准件的方法(替代了噪声源)。这种方法要求对增益和带宽进行单独测量。这种方法非常实用：50-GHz功率传感器比50-GHz噪声源更加常见。

这个方法分为三步。首先，使用功率计和功率传感器校准PNA-X在指定频率范围内的射频源。随后使用已校准源对噪声接收机的增益进行校准。其次，扫描噪声带宽滤波器，以测量接收机在每个频率点上的中频(IF)响应。集成这个中频响应，以计算噪声接收机的等效噪声带宽。增益和噪声带宽值逐点计算乘积，以表征接收机的增益带宽。

功率计法还有其它优势：由于没有噪声源上的典型ENR滚降，它在45 GHz以上的频率范围不会出现测量抖动降低。由此，功率计法的测量不确定性要比使用现成的噪声源好一些。

特定的解决方案和结果：提高探针的测量精度

使用PNA-X进行晶圆上NF测量时，两类校准可确保良好的结果：您可以使用引导式校准向导或Cal All向导(包括晶圆上双端口校准)，也可使用同轴标准件，并利用S参数数据去嵌入晶圆探头。尽管两种方法均可提供一流的测量精度，但测试设置中的电缆质量经常被忽视。让我们仔细看一下这些因素。

使用校准向导

校准向导或Cal All向导融合了同轴和晶圆上校准步骤。下面示例显示了使用校准向导执行晶圆上校准。

图6展示了这三个步骤。在本例中，将噪声源连接到(用于连接晶圆探头和分析仪的)电缆的一端(而不是直接连到PNA-X的端口2)(第一步)。尽管直接将噪声源连接至端口2效果会更好，但如果分析仪安装在位于晶圆探针台后面的测试机架中，那么噪声源连接至电缆会更加便利。如果无法建立直接连接，那么端口2的电缆损耗应尽可能低。从噪声源的ENR中减去损耗，将会导致抖动增加。如果端口2的电缆损耗过高，且在45 GHz以上的频率缺少过量噪声，那么就可能妨碍噪声源的使用。在这种情况下，必须采用基于功率计的校准。

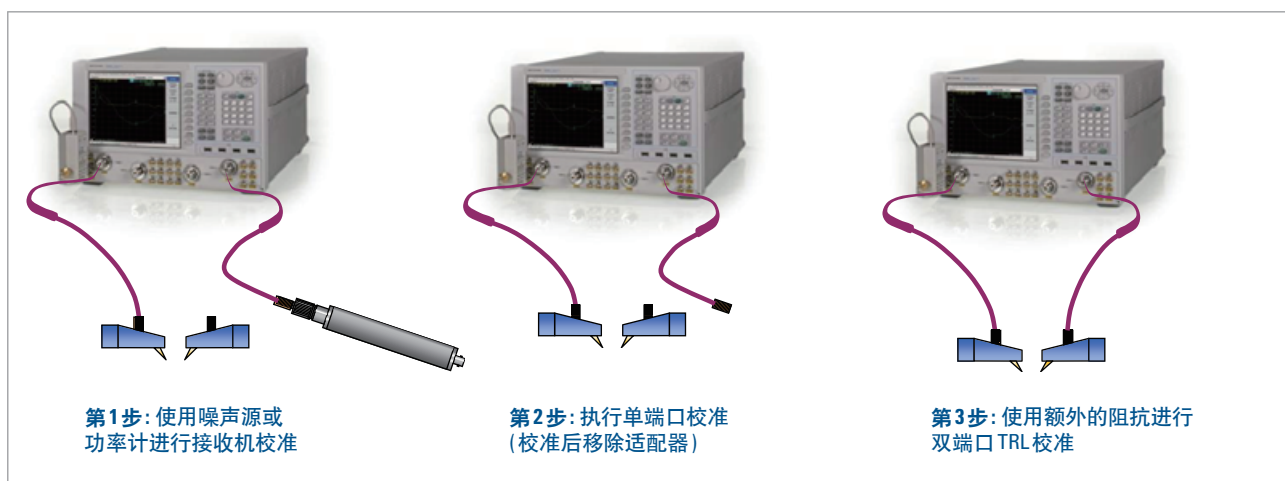


图6. 噪声系数校准向导会自动嵌入噪声表征数据中的探头损耗，将噪声校准参考面移动至双端口校准参考面。

使用阴头 - 阴头适配器连接噪声源和测试系统。在噪声表征之后，使用适配器，执行单端口校准以建立噪声校准参考面(第二步)。完成单端口校准之后，必须移除适配器，并重新连接到晶圆探头。

最后一步是执行晶圆上双端口 TRL 校准。如果在第一步使用了功率计或在第二步没有使用电子校准件，对噪声接收机进行恰当的源负载测量需要两个额外的阻抗(第三步)。两个额外的标准件通常是一个短路/开路传输线和一个非端接传输线，都不属于TRL校准。在完成上述三个步骤之后，噪声校准固化软件利用嵌入函数(embedding math)将噪声校准参考面延伸至双端口校准参考面(即便已经移除了阴头 - 阴头适配器)。

对于PNA-X，噪声系数校准的关键步骤是对低噪声接收机的噪声参数进行表征。这样可以确保从全部被测器件测量中适量消除了由接收机引起的噪声，从而仅测量被测器件的噪声。

接收机引起的噪声数量依赖于被测器件的输出匹配(S22)，VNA能够轻松测得这个参数。接收机将其视为源匹配。根据噪声参数理论，放大器或接收机的噪声系数是(已连接至输入端的)源匹配的函数。接收机的噪声参数采取与被测器件相同的测量方式：向接收机(端口2)提供一组已知阻抗，测量每个阻抗状态的噪声功率。

最快速、最简单的方式是使用噪声源和电子校准件。源负载(或噪声负载)是上述第二步的一个环节，单端口参数是在噪声标准校准面上进行测量。

噪声源作为校准标准使用时，一般与端口2连接在一起。但在使用功率传感器时，需要与端口1连接，这样就不必使用电子校准件牵引端口2上的噪声接收机。在这种情况下，使用额外的TRL标准完成接收机的噪声参数表征。

使用去嵌入技术

在本例中，噪声系数校准完全是借助同轴标准进行，利用PNA-X的夹具功能，可以在后续测量中去嵌入掉晶圆探头的效应。图7的三步骤操作展示了噪声源的应用；但可以使用功率传感器替换噪声源。

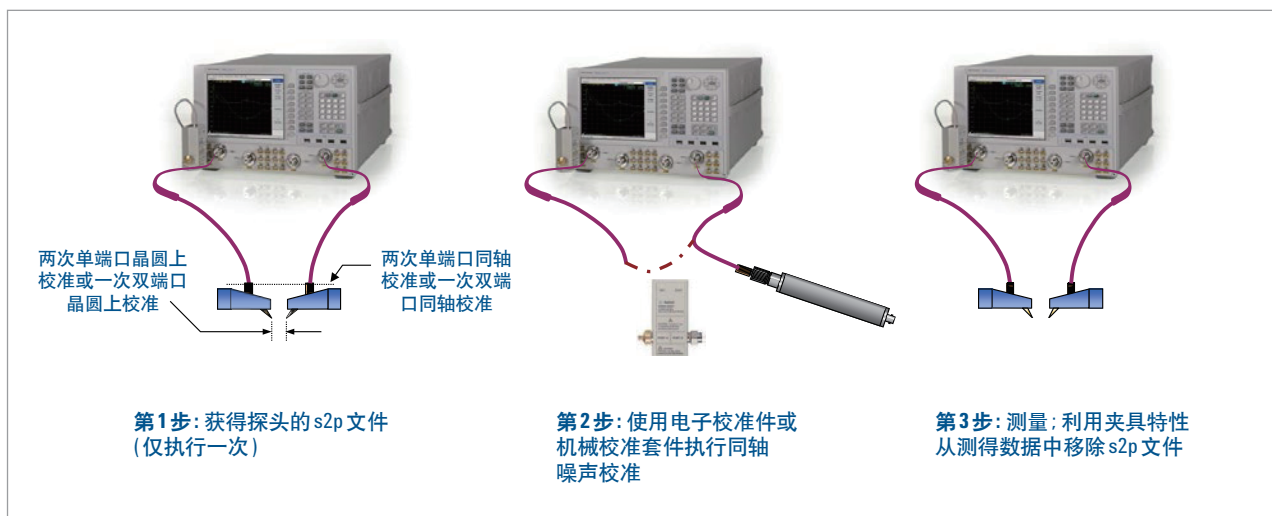


图7. 去嵌入晶圆上探头是获得已校准测量结果的另一种途径。

第一步是获得晶圆探头的S参数。首先在同轴电缆的一端进行校准，添加探头，并执行晶圆上校准。使用两个校准设置，可提取探头的S参数。针对每个探头仅执行一次操作。

接下来，执行完整的同轴噪声校准。校准步骤的数目取决于所选的校准套件和连接器类型。对于被测器件测量，夹具功能可对每个测试端口执行去嵌入操作。您需要指定与每个端口上晶圆探头对应的s2p文件。

实际结果与校准向导的对比

本文将列举两个示例，向您展示这些技术如何改善晶圆上测量的精度。第一个示例：使用 50-GHz N5245A PNA-X 和自动晶圆探测系统来测量单个未匹配的FET。图 8a 和 8b 显示了两组图：上部轨迹代表标量噪声校准，下面的轨迹代表矢量噪声校准和内部调谐器。标量法显示了系统源不完全匹配引起噪声系数出现一定的纹波。矢量法能够改善 45 GHz 以下的纹波，但在 45 和 50 GHz 范围内仍有问题。测试配置包含低廉的电缆在内，电缆成为最有可能导致噪声系数 (蓝色轨迹) 和 S11 (红色轨迹) 测量出现问题的原因。

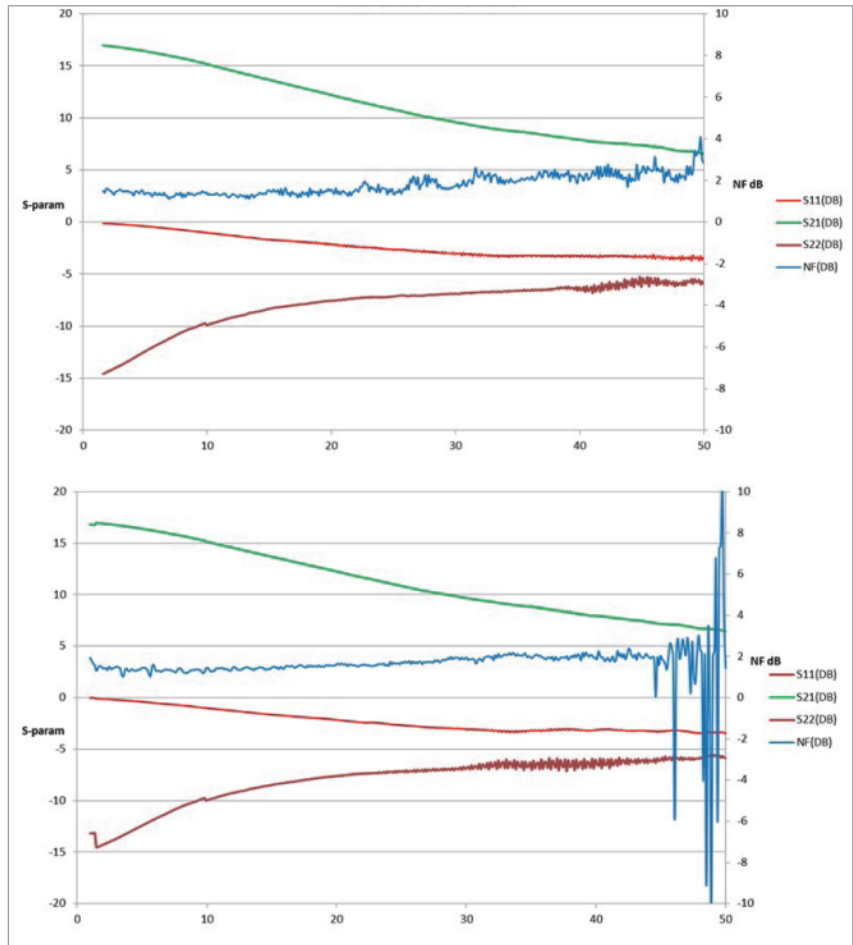


图 8a 和 8b. 与标量噪声校准(上部)相比，矢量噪声校准减少了噪声系数测量中的纹波(蓝色轨迹)。

在配有 67 GHz N5247A PNA-X 的测试站中执行相同的测量，N5247A 在 50 GHz 上的噪声系数要比 N5245A 低 2 dB。在 PNA-X 和晶圆探头之间使用长度更短、质量更高的电缆。如图 9 右侧所示，使用矢量噪声校正和内部调谐器，可以提供更好的噪声系数、更低的损耗和更高的稳定性，从而生成出色的结果。正如上一个示例，左侧轨迹使用的是标量噪声校准，包括噪声系数图中的纹波；右侧轨迹使用的是矢量噪声校准，纹波已消除。

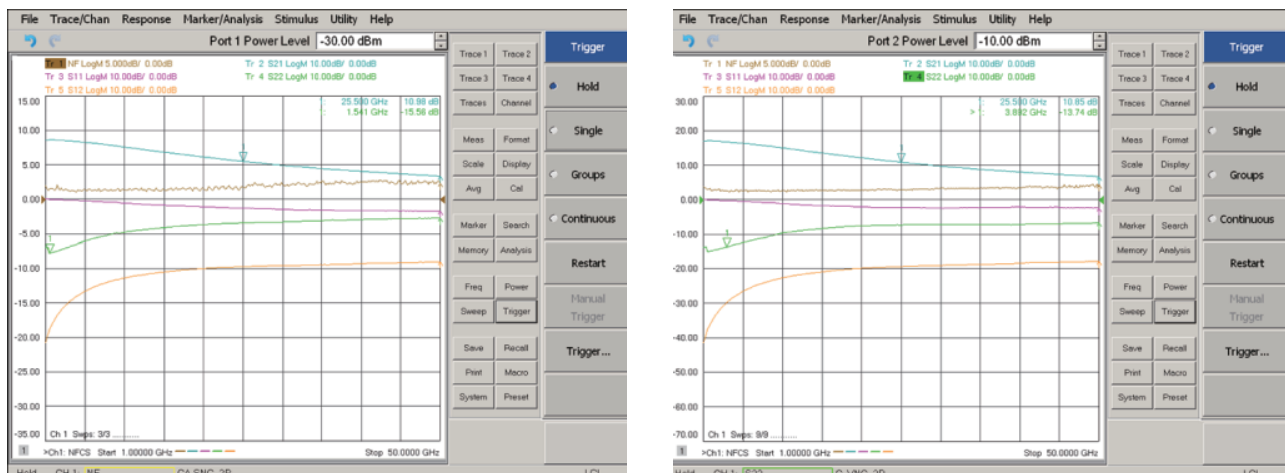


图 9. 使用质量更高的电缆和噪声系数更好的 VNA，借助矢量噪声校准，可生成精确的、无纹波的测量结果 (右侧轨迹)。

充分发挥外部调谐器的作用

通常是在对源匹配非常敏感的不完全匹配器件上执行晶圆上测量。尽管矢量噪声校准能够克服这个问题，端口 1 上电缆和探头引起的额外损耗会破坏被测器件输入端的阻抗调谐范围。当矢量噪声校准算法无法找到适合 50 Ω 噪声系数的解时，就会产生尖峰。通过在测试端口上使用质量更高的电缆来改善。假设优质电缆已经包含在配置内，可采用更复杂的设置来消除尖峰。

在下面的设置示例中，使用外部调谐器替代了网络分析仪的内部调谐器。图 10 中，该配置采用外部偏置 T 型接头，并使用位于被测器件附近的外部电子校准件替代内部阻抗调谐器，以便克服电缆损耗。由于这种设置使得被测器件具有更好的阻抗调谐范围，它可以启用更加有效的矢量噪声校正；但是，电子校准件的损耗牺牲了端口 1 进行 S 参数测量时的初始方向性 (raw directivity)，进而降低了校准稳定性。

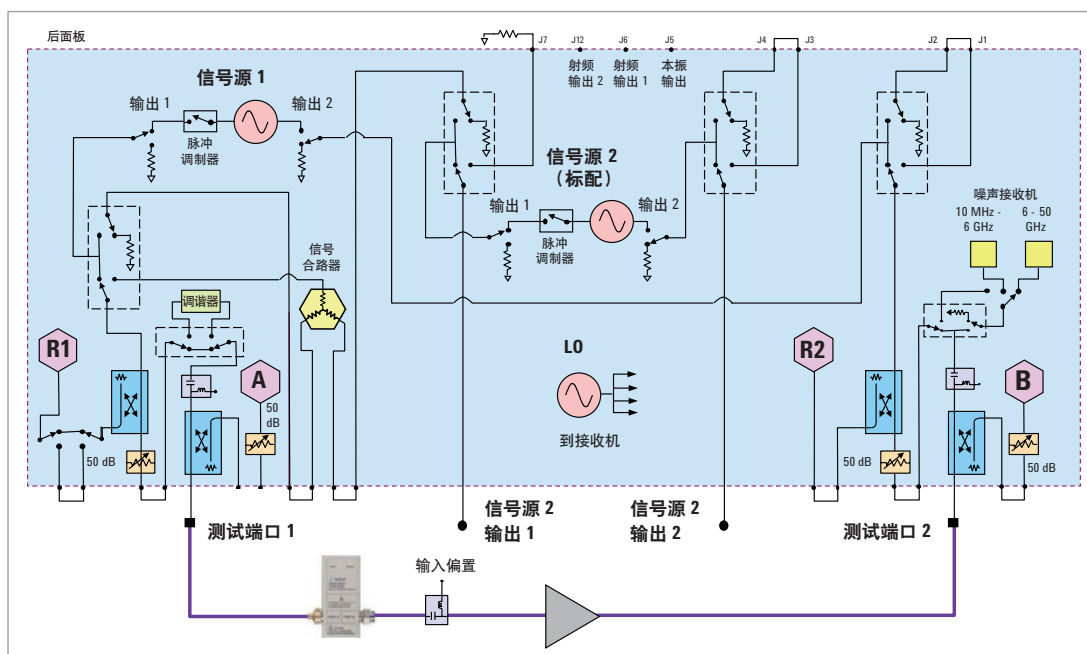


图 10. 包含外部调谐器和偏置 T 型接头的配置能够克服电缆损耗，支持更有效的矢量噪声校正。

图 11 展示了替代方案。除了外部 ECal 调谐器和偏置 T 型接头以外，该设置还在被测器件附近放置了定向耦合器。这种配置能够克服电缆损耗，改善调谐器阻抗扩展，同时不会牺牲初始方向性。

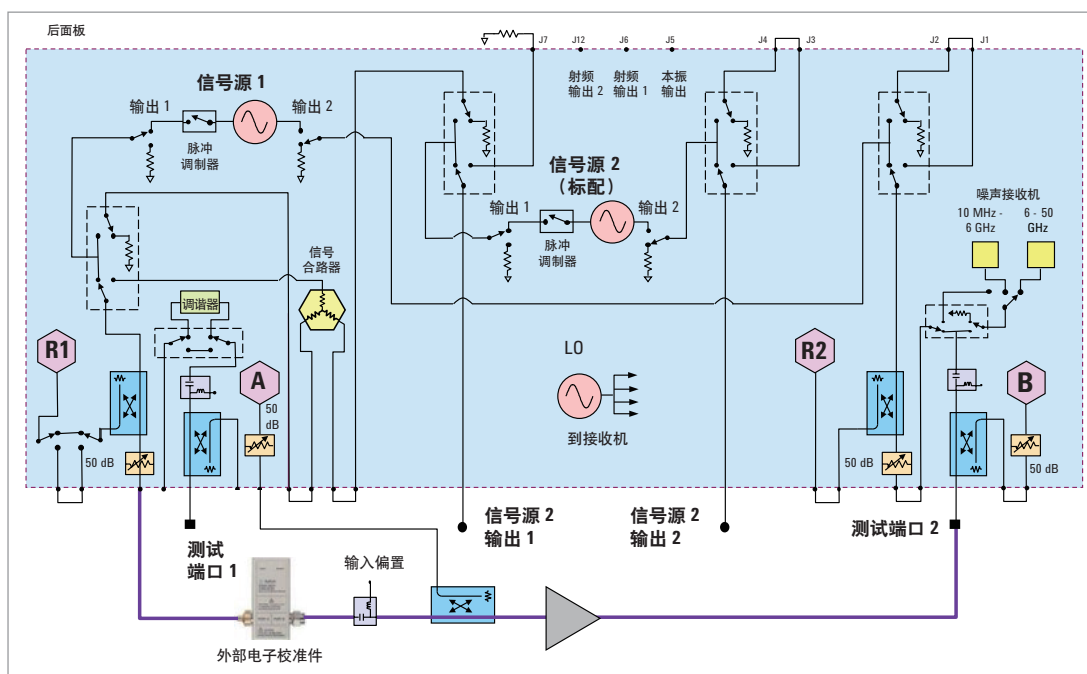


图 11. 在使用外部 ECal 实现源阻抗最佳调谐时，可在被测器件附近添加一个外部耦合器，以保持初始方向性。

使用外部调谐器对比实际结果

前文介绍的两项增强技术适用于晶圆上设置。对于第一个设置，添加外部器件有助于减少——但不会完全消除——图 8b 中的尖峰。

图 12 的两组轨迹来自于矢量噪声校准。上方轨迹来自于外部调谐器 / 偏置 T 型接头配置，如图 10 所示；下方轨迹来自于外部调谐器 / 偏置 T 型接头 / 耦合器设置，如图 11 所示。噪声平均值越多越好，但会延长测量时间。如前文所述，质量越高的电缆越能改善测量结果。

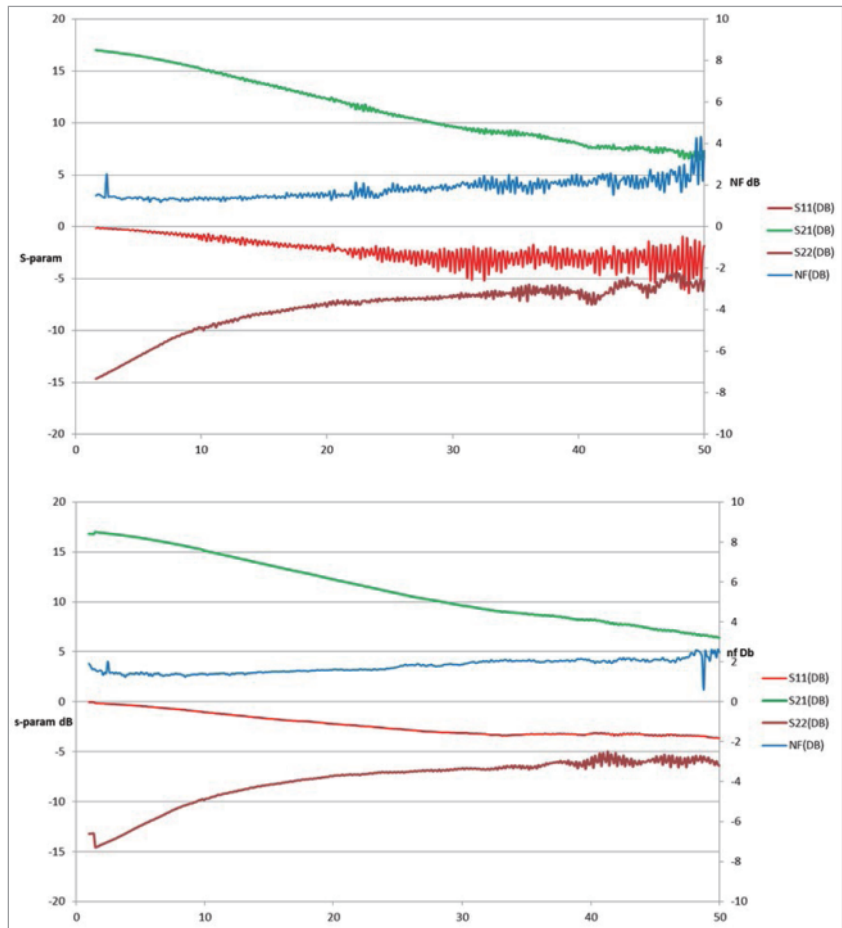


图 12a 和 12b。与图 8b 中的结果进行比较，晶圆设置 1 生成的轨迹体现了 S 参数测量和噪声系数测量的改进。

对于晶圆设置2，两种包含外部调谐器的配置也能改进噪声系数测量(图13);但由于初始测量非常良好，测量改进不如设置1那么明显。如图13所示，矢量噪声校正与任何一种外部配置相结合，所生成轨迹的纹波要小于使用内置调谐器和标量噪声校正(蓝色轨迹)或矢量噪声校正(红色轨迹)的组合。由外部耦合器(橙色轨迹)生成的结果在45至50 GHz具有最低的抖动和纹波。

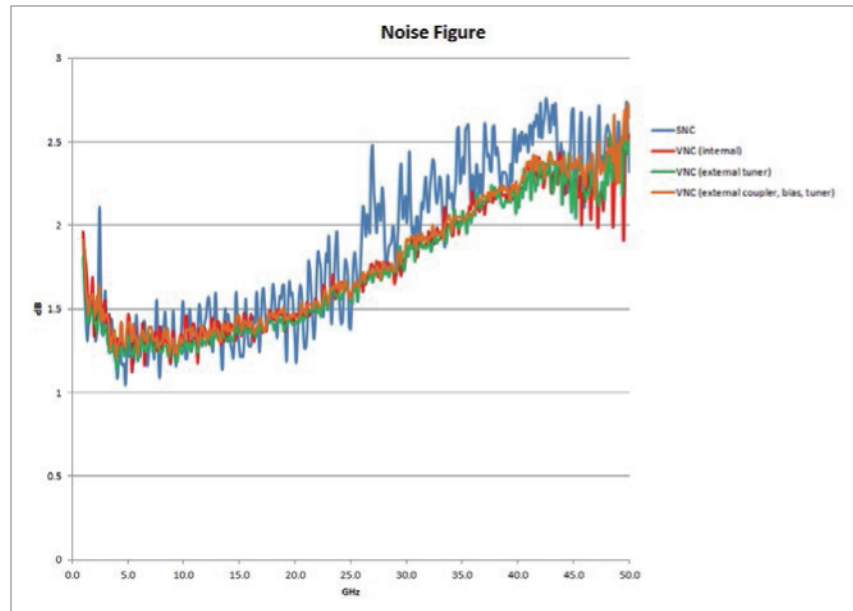


图13. 鉴于电缆质量良好且内置调谐器性能出众，设置2所引起的测量改进能够被观察到，但不太显著。

在50-67 GHz频段内工作

在PNA-X中，可选的低噪声接收机和阻抗调谐器能够在高达50 GHz的频率上工作。然而，用于S参数测量的标准接收机可在50和67 GHz范围内进行噪声系数测量。

我们通过低噪声接收机的结构图来说明两点注意事项(图14)。第一点，标准接收机并未在混频器之前放置低噪声放大器，因而噪声性能逊于专用的低噪声接收机。第二点，标准接收机并未在混频器之前放置滤波器组，因而NF测量会受到带外噪声的干扰。

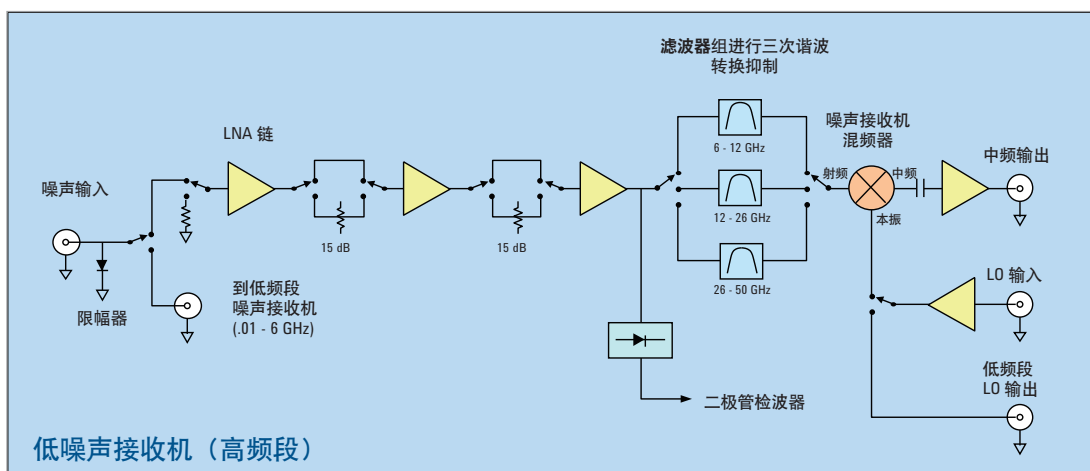


图 14. 在专用的低噪声接收机中，通往混频器的信号路径包含低噪声放大器和滤波器组。

使用标准接收机时，有必要翻转测试端口 2 耦合器的位置，切换主臂和耦合臂，使接收机得到更高的灵敏度。这样会降低反向 S 参数测量的端口功率，但对于 NF 测量是一个很有利的结果。

幸运的是，我们通过使用外部硬件就能克服这些限制因素：前置放大器和滤波器。如图 15 所示，前置放大器和滤波器直接把信号馈送至接收机，消除测试端口耦合器出现的损耗。

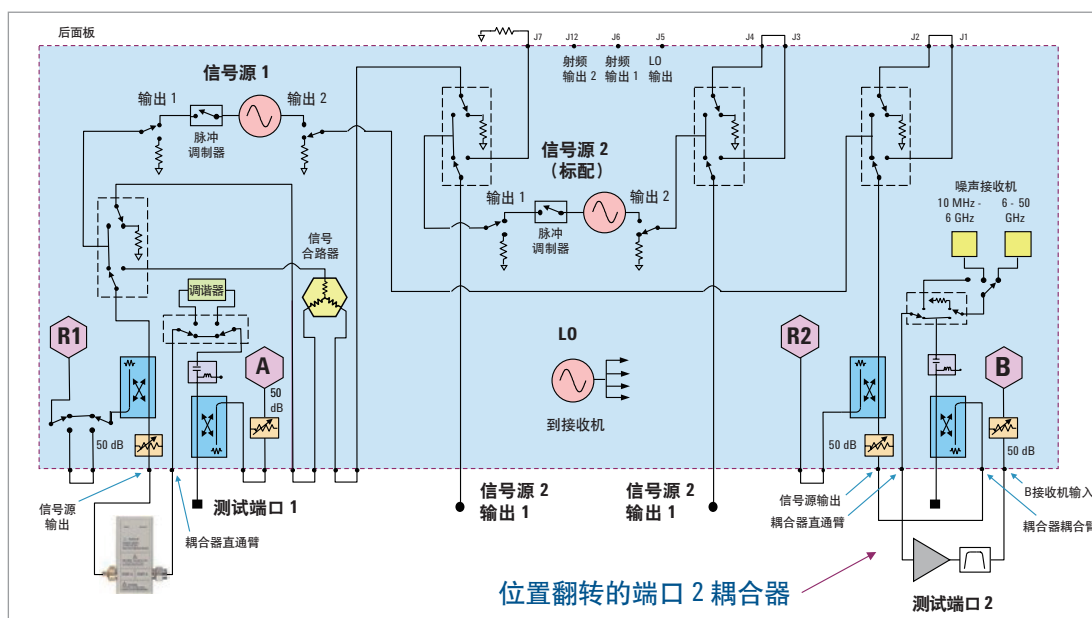


图 15. 添加外部前置放大器和滤波器，可对使用标准接收机 (50 至 67 GHz) 时的 NF 测量加以改进。

在该设置下，测试端口2的源功率经由耦合臂路由，因受到耦合器损耗的影响而有所降低。请注意：内置调谐器也设为旁路。在矢量噪声校准中，需要使用一个67 GHz、1.85 mm外部电子校准件(N4694A)。

还有一点值得注意：这种配置具有较高的增益，因而很难对多数典型被测器件进行校准与测量。鉴于测试设置中具有较高增益，有必要把端口功率设为最低，以避免前置放大器或PNA-X接收机在校准和后续测量中出现压缩。

外部滤波器是确保NF测量的关键器件。在PNA-X中，三次谐波混频适用于26.5 GHz以上的频率。噪声变频会在LO基波上出现，从而产生大量的带外噪声。

使用低噪声接收机进行噪声系数测量时，分析仪会过滤在基波或三次谐波附近的噪声，这取决于频段范围。内部滤波功能不适合采用标准接收机的NF测量。因此在50至67 GHz之间测量时，LO基本频率附近的带外噪声来源于被测器件在指定三次谐波频率上的噪声功率——这会导致噪声系数出现预料之外的增加。

在低于26.5 GHz的频率上使用标准接收机时，要求使用外部低通或带通滤波器抑制三次谐波附近产生的噪声。在26.5 GHz以上的频率进行测量时，要求使用高通或带通滤波器抑制LO基本频率附近产生的噪声。在50至67 GHz频段范围内，两个Agilent V281A (WR-15)波导同轴适配器串联在一起构成一个高通滤波器，能够抑制低于44 GHz的信号。

结论

执行精确的晶圆噪声系数测量可能并不简单，要想得到良好的测量结果，这取决于所采用的测量方法和测试配置。如上所述，矢量网络分析仪提供测试系统与被测器件的幅度和相位信息。使用冷源法对放大器、频率转换器等器件执行NF测量时，矢量网络分析仪可以获得出色的精度。

PNA-X微波网络分析仪装有信号源校正噪声系数测量选件(选件029)，提供一流的精度。PNA-X微波网络分析仪的校准能力是关键因素。这些高级测量方法可使您提高探针的精度。

在分析仪的外部，使用优质电缆将会进一步增强噪声系数测量。在某些情况下，正如实际测量结果所显示的，外部调谐器、偏置T型接头和测试耦合器的应用能够显著减少噪声系数测量中的抖动和纹波(频率高达50 GHz)。

在50至67 GHz频率范围内测量，应当使用标准接收机。通过整合外部前置放大器和外部滤波器，PNA-X在全测量范围内可获得精确的测量结果。

相关信息

- 手册: Agilent PNA-X系列微波网络分析仪, 5990-4592EN
- 应用指南 1408-20: 使用 PNA-X 系列网络分析仪执行高精度噪声系数测量, 5990-5800EN
- 选型指南: 噪声系数选型指南: 最大限度地降低不确定度, 5989-8056EN
- 配置指南: Agilent PNA 系列微波网络分析仪, 5990-7745EN



myAgilent

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



www.axistandard.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和半导体测试领域。安捷伦是 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。安捷伦是 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。

安捷伦渠道合作伙伴

www.agilent.com/find/channelpartners
黄金搭档: 安捷伦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。



3 年保修

www.agilent.com/find/ThreeYearWarranty
安捷伦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。



安捷伦优势服务

www.agilent.com/find/AdvantageServices
确保在仪器生命周期内进行精确测量。



www.agilent.com/quality

www.agilent.com
www.agilent.com/find/ad

如欲获得安捷伦科技的产品、应用和服务信息, 请与安捷伦公司联系。如欲获得完整的产品列表, 请访问:
www.agilent.com/find/contactus

请通过 Internet、电话、传真得到测试和测量帮助。

热线电话: 800-810-0189、400-810-0189
热线传真: 800-820-2816、400-820-3863

安捷伦科技(中国)有限公司
地址: 北京市朝阳区望京北路3号
电话: (010) 64397888
传真: (010) 64390278
邮编: 100102

上海分公司
地址: 上海市虹口区四川北路1350号
中信泰富申虹广场5楼、16-19楼
电话: (021) 36127688
传真: (021) 36127188
邮编: 200080

广州分公司
地址: 广州市天河北路233号
中信广场66层07-08室
电话: (020) 38113988
传真: (020) 86695074
邮编: 510613

成都分公司
地址: 成都高新区南部园区
天府四街116号
电话: (028) 83108888
传真: (028) 85330830
邮编: 610041

深圳分公司
地址: 深圳市福田区
福华一路六号免税商务大厦3楼
电话: (0755) 83079588
传真: (0755) 82763181
邮编: 518048

西安分公司
地址: 西安市碑林区南关正街88号
长安国际大厦D座5/F
电话: (029) 88867770
传真: (029) 88861330
邮编: 710068

安捷伦科技香港有限公司
地址: 香港北角电气道169号25楼
电话: (852) 31977777
传真: (852) 25069292

香港热线: 800-938-693
香港传真: (852) 25069233

E-mail: tm_asia@agilent.com

本文中的产品指标和说明可不经通知而更改
©Agilent Technologies, Inc. 2013
出版号: 5991-2524CHCN
2013年12月 印于北京



Agilent Technologies