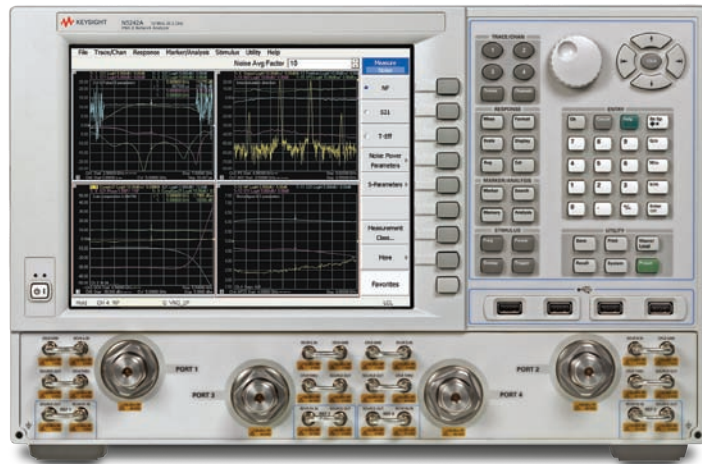


是德科技
PNA-X 系列
微波网络分析仪



业内最先进的射频测试解决方案

实现卓越性能



PNA-X 的所有强大测量功能都可以用于晶圆测量环境。

选择网络分析领域真正的领导者

PNA-X 系列微波网络分析仪是是德科技在射频 (RF) 网络分析领域内长达 40 多年的技术领先地位和产品创新精神的巅峰之作。PNA-X 不仅仅是一款矢量网络分析仪，在测量放大器、混频器和频率转换器等有源器件方面，它们还是世界上综合能力最强并且应用最灵活的微波测试引擎。

Keysight PNA-X 组合了两个内置的信号源、信号合路器、S 参数和噪声接收机、脉冲调制器和脉冲源、一整套便于用户灵活使用的开关以及射频接入点，这些强大的核心硬件为全面测量各种器件的线性和非线性特性奠定了坚实的基础，并且只需把被测器件 (DUT) 与 PNA-X 进行一次连接，即可完成所有测量。

当您表征有源器件时，兼具速度和性能的 PNA-X 能够使您占据优势。。在研发阶段，PNA 系列能够提供出色的测量完整性，帮助您更深入地分析被测器件的性能，从而得到更完美的设计。在生产线上，我们的 VNA 能够提供适合需要的吞吐量和可重复性，将完美设计转化成具有竞争力的产品。每一台 Keysight VNA 都能充分体现是德科技在线性和非线性器件表征方面的专业水平。选择 PNA，即可获得最出色的测量和设计成果。

全球最广泛的测量应用软件

在常见的射频测量领域内，无论是在对同轴器件直接进行测量，还是需要使用测量夹具进行测量，甚至是在对晶圆上的器件进行测量的环境中，PNA-X 无一例外地能够做到把最快的测量速度、最高的测量精度以及最容易使用的测量操作界面完美地结合在一起。应用范围包括：

- S 参数 (连续波和脉冲)
- 变频增益 / 损耗
- 噪声系数
- 真正的差分激励
- 增益压缩
- 非线性波形和 X 参数 * 表征
- 互调和谐波失真
- 天线测试

PNA-X 网络分析技术一直可以应用到纳米测量领域

PNA-X 还可以与是德科技下面的测量解决方案兼容使用：

- 物理层测试系统 (PLTS) 软件，能够校准、测量和分析线性无源互连，例如电缆、连接器、背板和印刷电路板。
- 材料测试设备和附件，能够通过测量和计算材料的介电常数和导磁率来帮助您确定所用材料与电磁场互相产生影响的方式。
- 荣获行业大奖的扫描微波显微镜系统，能够在纳米级上非常有效而独到地把经过校准的电容和掺杂密度拓扑测量结合起来。

不同测量频率范围的 PNA-X 为您提供最佳的选择

N5249A	10 MHz 至 8.5 GHz
N5241A	10 MHz 至 13.5 GHz
N5242A	10 MHz 至 26.5 GHz
N5244A	10 MHz 至 43.5 GHz
N5245A	10 MHz 至 50 GHz
N5247A	10 MHz 至 67 GHz
配有毫米波模块的PNA-X	10 MHz 至 1.05 THz

您可以从不同测量频率范围的 PNA-X 中选择最能满足您测量特定器件所需要的产品型号，不必为超出您需要的部分额外花费宝贵的科研经费。

单台仪表即可完成多项测量

使用 PNA-X 可替代安装在整个机柜的仪器

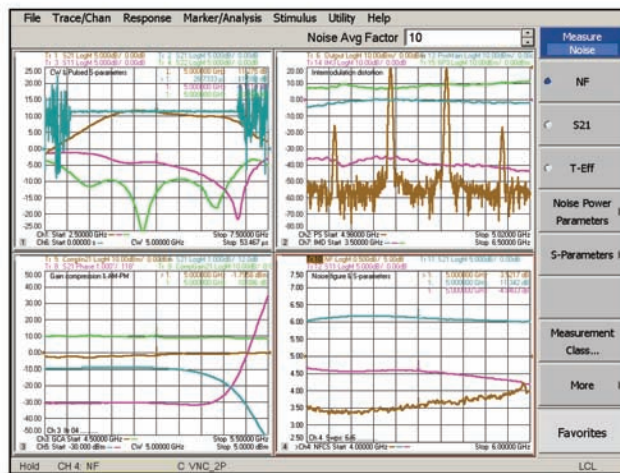
凭借超高的集成度和灵活的硬件结构、以及多条可根据需要重新进行配置的测量路径，单台 PNA-X 完全可以替代那些需要装在机架的成套测量仪表，并且完成同样的测量任务。一台 PNA-X 可以替代以下测试仪表：

- 网络分析仪
- 频谱分析仪
- 两个信号源
- 噪声系数测试仪 / 分析仪
- 功率计
- 开关矩阵
- 数字电压表

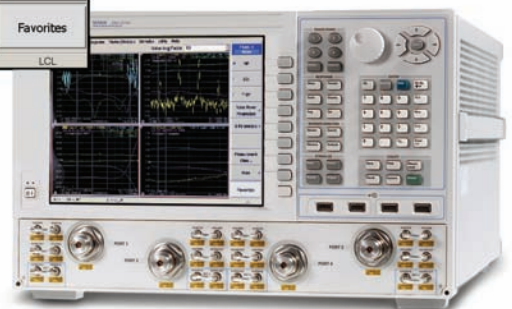


使用基于 PNA-X 构建的测量解决方案的好处

- 更加简洁的测量系统，可以让用户花费较低的硬件和软件成本以更快的速度完成测量开发任务，迅速把研发产品推向生产线遭受更少的测量系统停机时间，从而降低系统的维护成本大大减小测量设备所占用的空间和系统的耗电量
- 更快的测量速度
显著提高测试吞吐量
- 更高的测量精度 ...
提高生产良率，获得技术指标更出色的产品
- 非常灵活的硬件结构 ...
可以更加灵活地适应未来的测试需求



只需把被测放大器或频率转换器件与 PNA-X 进行一次连接，您就可以用它测量连续波激励和脉冲信号激励条件下的 S 参数、互调失真、增益和相位压缩随频率变化的关系、噪声系数以及其他更多的参数。



投资收益结果 PNA-X 应用实例

“我们选择使用是德科技的 PNA-X 是因为它彻底免除了那些完全没有必要的、在不同测量任务之间频繁更换测量连接的操作，相比其他的网络分析仪，它能更加高效地完成测量任务。在过去，我们经常为了测量 S 参数、矢量信号和噪声系数等参数而需要使用各种独立的测量设备。现在，有了 PNA-X，我们用一台设备就可以完成所有有源器件参数的测量任务。”

测试工程部经理

应用实例之一：

航空航天 / 国防电子设备的器件供应商将测量时间减少了 95%

过去的挑战

该客户生产的射频器件超过 4600 种，在任意规定时间内制造的器件多达 1000 种，包括滤波器、倍频器、放大器和各种开关，工作频率从 10 MHz 到 60 GHz。在对一个特殊的多端口器件进行测量时，需要简化测试系统，于是他们着手开发一种不依赖于操作人员的自动测试系统（ATS）。所面临的挑战是：

- 复杂且昂贵的测试系统，需要使用多个机架才能装下所有测试设备，各种测试电缆长达数英里
- 需要操作人员频繁更换测量电缆并对测量系统进行重新校准，同时往往还要求关闭测量系统
- 对器件进行大量不必要的重复测试，系统总的停机时间很长

现在的结果

与市场上任何其他测试设备相比较，PNA-X 能够把更多的有源器件测量功能集成在一台仪表中，使用户能够：

- 加快测试速度：与之前所用的自动测试系统相比，在每个测量温度下的测试时间从 4 小时缩短为 24 分钟，将测试时间减少 95%
- 减少了使用设备的数量：用 3 台 12 端口的 PNA-X 网络分析仪替代了原来总共有 9 个机柜装载的测试系统
- 大大提高了操作人员的工作效率：每位操作人员可以同时监视 4 个测试工位，无需在每个测试工位上安置一位操作人员
- 减少了重新测试和频繁更换测试电缆的次数

应用实例之二：

卫星设计与制造公司将测试时间从 3 个小时缩短到 3 分钟

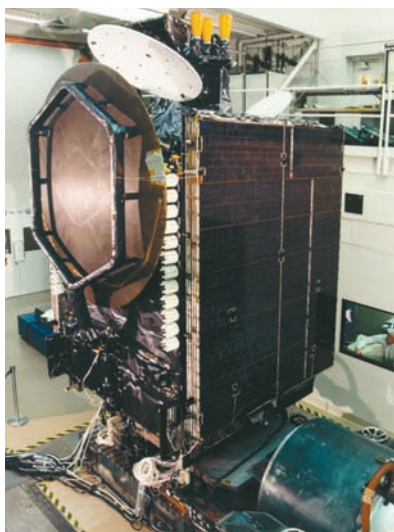
过去的挑战

这家航空航天公司过去一直进行一种特定的面板级测试，该公司希望其测试系统更加现代化，提高测试效率和吞吐量。他们常用的卫星载荷测试系统需要使用大量的装在机架和机柜中的测试系统，测试费用很高，该公司需要投入大量的时间和精力对测试系统进行编程和日常维护。

现在的结果

起初，这家公司购买了 4 套 PNA-X（26.5 GHz 和 50 GHz），由此带来了吞吐量和测试效率上的极大提高，给他们留下了极为深刻的印象，因此他们又多买了 8 套 PNA-X。在一个测试应用中，测试水平的改善远远超过了他们的预想——原来需要 20 分钟才能完成的增益传输测试结果不用 1 分钟就可完成。利用 PNA-X 替代原有的测试系统不仅使得测试系统更加简化而且现代化程度大大提高，使用户能够：

- 加快测试速度：完成整个测量过程所需要的时间从 3 个小时缩短到 3 分钟
- 减少了使用设备的数量：用 1 台 4 端口的 PNA-X 替代了原来用 2 个机架装载的载荷测试系统
- 更小的测试系统：由于使用的测试设备数量减少了，测试系统占用的空间和耗电量也显著减小



应用实例之三：

无线网络系统生产商完成整个测量的时间从 30 分钟减至 10 分钟

过去的挑战

这个生产厂家在开发一种新型的宽带无线网络系统，需要使用更快的测试系统。当时他们使用的测试系统是由 2 台信号源、1 台频谱仪和几个功率计组成的，使用这个测试系统完成新产品测试需要 30 分钟的时间，但是他们的目标是在 15 分钟内完成测试。除了需要测试解决方案更快之外，该公司还要求更出色的噪声系数和失真测量，同时还希望对上、下变频器件都能够做到一次连接就完成全部相关的测试。

现在的结果

利用一台 4 端口 50 GHz 的 PNA-X 替代了由多台仪表组成的测试系统，使该公司很快得以：

- 加快测试速度：完成整个测量由原来的 30 分钟压缩至不到 10 分钟
- 减少系统停机时间并降低维护成本：由于减少了所需测试设备的数量，从而减少了系统的设置时间，同时减少了因使用多个设备而产生的故障风险，降低了每年在各种仪表校准上的花费
- 节省设备成本：购买 4 端口 PNA-X 的费用要明显地少于购买传统上由多台仪表组成的测试系统的费用

“我们选择使用 PNA-X 是因为看上了它独特的单次连接和多种测试能力。同时，我们也注意到使用 NVNA 应用软件，可使 PNA-X 的测试功能得到很大的扩展，它是目前能实际精确测量非线性参数的唯一解决方案，甚至能够在极大的信号功率下将器件的非线性特性快速且精确地表征出来，这为我们节省了大量的设计时间。”

测试工程部经理

应用实例之四：

安全防御系统跨国公司提高了测量速度与精度

过去的挑战

这家公司需要将其已经老化了的测试系统（由大量的开关矩阵和网络分析仪组成）进行升级。在使用旧的测试系统时，为了完成大量不同的测试任务，其技术人员需要不停地将被测器件与各种测试仪表反复地连接和断开连接。这种老式的测试方式速度慢、成本高、容易产生测量误差，同时还需要大量的人工干预，使用很多辅助硬件。该公司一直在寻找一种满足以下要求的测量系统：容易设置和使用，能够缩短测试时间并降低成本，把测量的误差降到最低的程度，同时也能减少测试系统所占用的空间。

现在的结果

这家公司最终决定购买 PNA-X，而不是简单地将旧仪器升级至代码兼容的新型仪表（从传统设备供应商那里购买）。虽然购买 PNA-X 意味着需要重新编写大量的测试代码去替代旧式系统的测试软件，但是最终结果表明该解决方案明显节省了测试时间，并且能够：

- 轻松设置和使用新系统：测试人员无需额外的辅助测试硬件，将被测器件与测试系统进行一次连接即可轻松测出各种不同的参数
- 更快更精确地得到测试结果：只需使用一台测试仪表，测试人员能够用比以往短得多的时间完成所需要的测试，而且测试精度有明显提高
- 使用更小的测试系统：购买一台 4 端口 PNA-X 可降低公司的初始投资、减少所使用测试仪表的数量、减少仪表占用的空间和耗电量，所有这些都助于降低总体的测试成本

界面直观、可以提高测试速度的功能特性

The image shows a Keysight N5242A microwave network analyzer. The main display is divided into four quadrants showing different measurement plots: a magnitude plot (top-left), a phase plot (top-right), a time-domain plot (bottom-left), and a phase plot (bottom-right). A central menu is visible on the right side of the screen. The physical interface includes a keypad on the right with sections for Trace/Chan, Response, Marker/Analysis, Stimulus, and Utility. Below the screen are four ports labeled PORT 1, PORT 3, PORT 2, and PORT 4, each with multiple connectors. Red lines connect callout boxes to specific features on the device.

灵活的用户界面：硬键、功能键、下拉菜单、右击快捷方式和触摸屏

每条测试轨迹上最多可以放置 10 个游标

最先进的校准功能

200 个测量通道，可显示无限多的轨迹

在线帮助系统

所有的型号都配有这种可灵活配置的测试仪，扩展测量功能

线性扫描、对数扫描、功率扫描、连续波测量、相位扫描和分段扫描

公式编辑器和时域分析

USB 接口可方便地连接电子校准件和其他 USB 器件

专为获得极为灵活的应用而设计的硬件

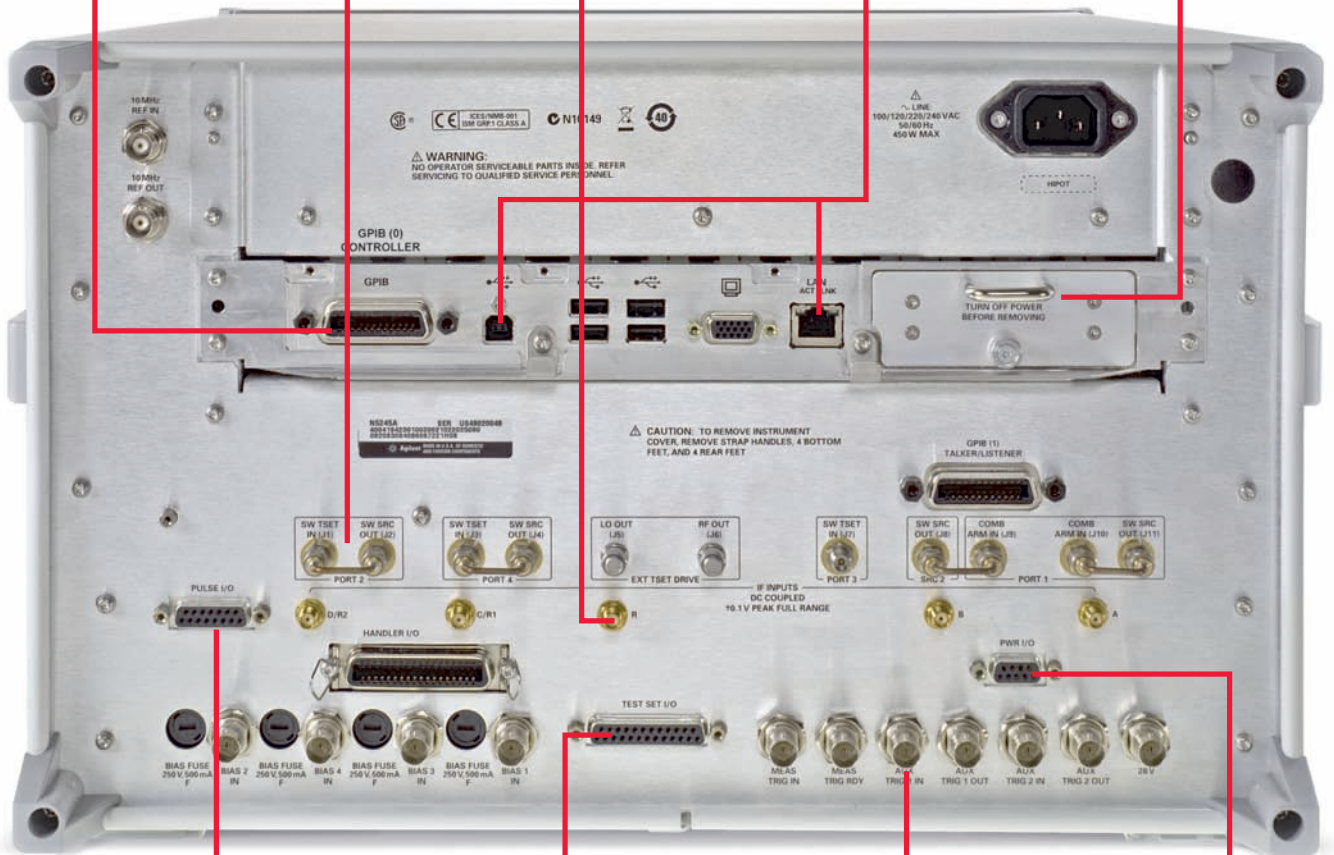
可以用第二个 GPIB 接口控制信号源、功率计或其他仪表

射频跳线接口可以用来从外部增加用于调整信号状态的硬件或其他测试仪表

中频直接接口可以在天线测量中应用外混频技术

LAN 接口以及设备端 USB 口可以替代 GPIB 支持远程编程功能

可以拆卸的硬盘防止机密的测试数据被窃用



脉冲 I/O 接口可以用来控制外接的调制器或同步内置的脉冲发生器

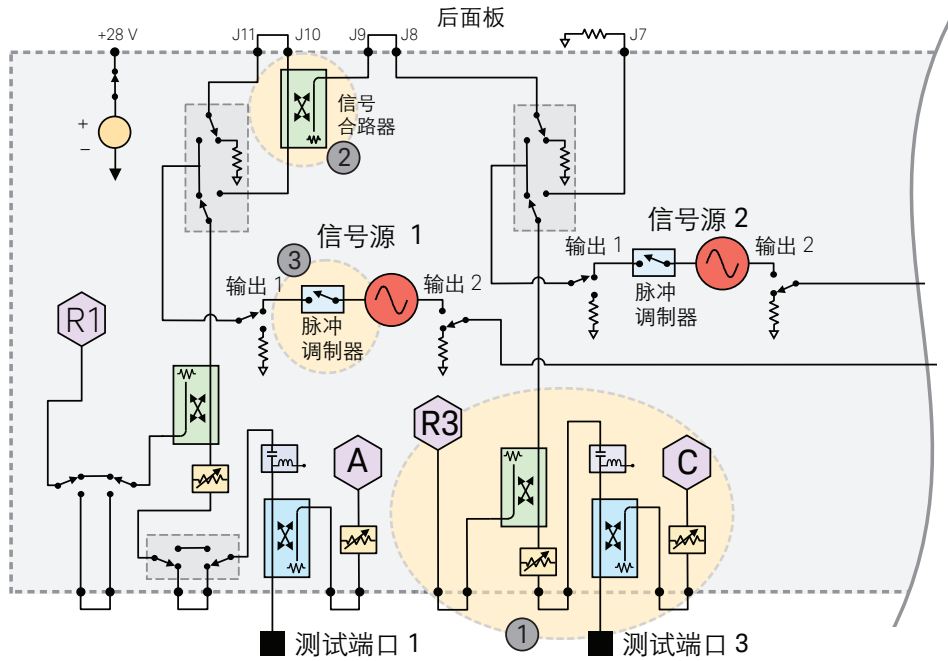
测试仪 I/O 接口可以控制外接的多端口扩展底座和毫米波测试底座

各种灵活的触发接口可以控制测量过程或使 PNA-X 与外部信号源或其他仪表同步起来

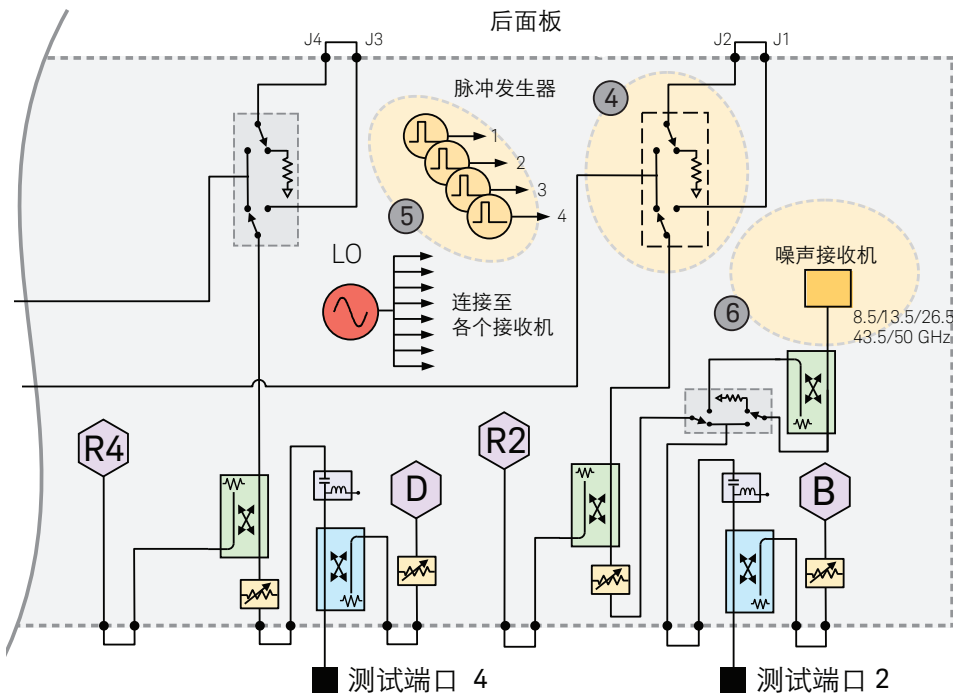
功率测量 I/O 接口为功率效率 (PAE) 和其他测量提供模拟信号的输入和输出

灵活的体系结构

1. 每一个测试端口都包括测试信号通路和基准信号通路的耦合器、测试信号接收机和基准信号接收机、信号源衰减器和测量接收机衰减器，以及一个直流偏置部件，把测量的灵活性和精确度提高到了前所未有的高度。
2. 内置的信号合路器极大地简化了互调失真测试和 X 参数测试中对仪表进行设置的复杂度。
3. 内置的脉冲信号调制器使得仪表在其整个测量频率范围内都能完成综合的射频脉冲测量任务，省去了笨重而价格昂贵的外部调制器。



4. 后面板上的跳线接口应用起来非常灵活，您完全不需要移动和被测器件连接的电缆就可以通过后面的跳线接口为测试环境增加用于调整测试信号状态的硬件，或把其它测试设备接入到测试被测器件的路径中去。
5. 使用内置的脉冲发生器可以很容易地设置脉冲调制器和内部中频选通的脉冲时间参数。
6. 使用内置低噪声测量接收机和非常先进的校准和测量算法，PNA-X 对噪声系数的测量精度达到了业内前所未有的高度。



创新的应用

简单、快速、精确的脉冲射频参数测量

(选件 008、021、022、025)



截止到 1990 年代, HP 8510 系统已经成为脉冲射频矢量网络分析仪的业内标准。

PNA 系列矢量网络分析仪用台式解决方案替代了 8510 脉冲射频系统。

脉冲射频测量的挑战

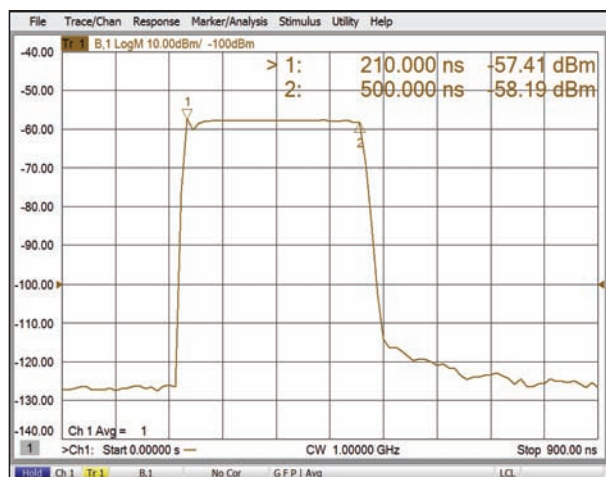
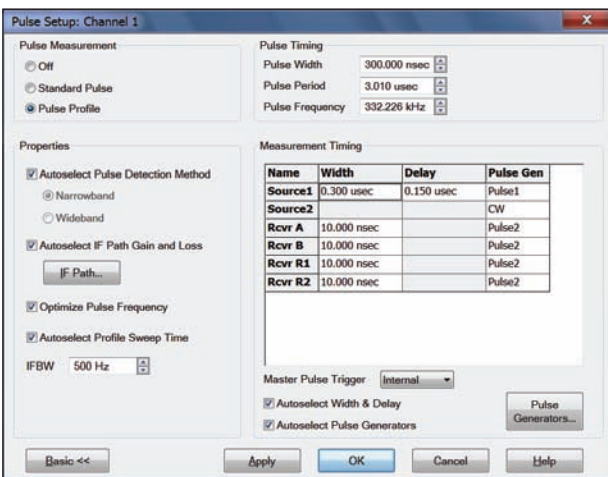
- 进行脉冲射频测试所需要的脉冲发生器和脉冲调制器会大大增加测试设置过程的复杂程度
- 对于窄脉冲测试来说:
 - 在宽带测试模式下, 即便是使用网络分析仪最宽的中频带宽也还是太窄, 满足不了测试要求
 - 用窄带测试模式, 测试速度会很慢, 而且在占空比很窄的脉冲测试中, 测量结果的噪声会较大

PNA-X 脉冲射频的测量方法有以下优势:

- 用一个简单的操作界面就可以完全控制内置的两个脉冲调制器 (选件 021 和 022) 和 4 个内置的独立脉冲发生器 (选件 025)
- 脉冲内取点测试可以测试的最小脉冲宽度达到 20 纳秒, 脉冲包络测试的最小分辨率可以达到 10 纳秒 (需要配置选件 008)
- 在窄带测量模式中通过使用硬件滤波技术、频谱零点专利技术和软件中频选通技术, 极大地提高了测量速度和测量精度
- 使用宽带测量模式可以测量的最小脉冲宽度为 100 纳秒
- 在仪表的后面板上有一个脉冲输入输出接口, 使仪表可以很方便地与其它外部设备和被测器件同步起来
- 使用各种专门设计的独特的测量应用软件 - 例如测量增益压缩、扫频 / 扫功率状态下的互调失真、噪声系数等, 精确地对有源器件的特性进行表征



PNA-X 系列矢量网络分析仪是业内第一款脉冲射频综测系统, 在简单易用、快速测量以及测试精度方面它已经成为新的行业标准。



PNA-X 内置的脉冲射频测量应用软件根据具体的脉冲测量要求, 在内部自动地把所需要的硬件做最优化的设置, 极大地简化了测量的设置过程。另外, 对于极为独特的测量要求, 用户也可以手动设置测量硬件。

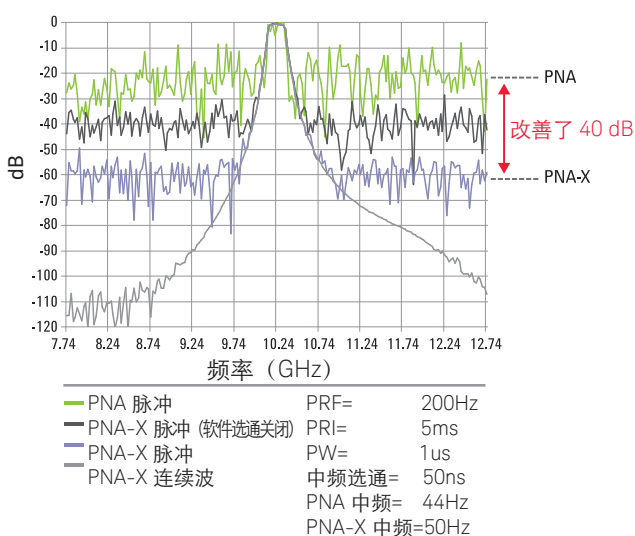
在采用窄带检测技术完成的脉冲包络测量中, 在 300 纳秒的脉冲持续时间内可以测量 30 个数据点, 时间分辨率可达 10 纳秒。

专家提示

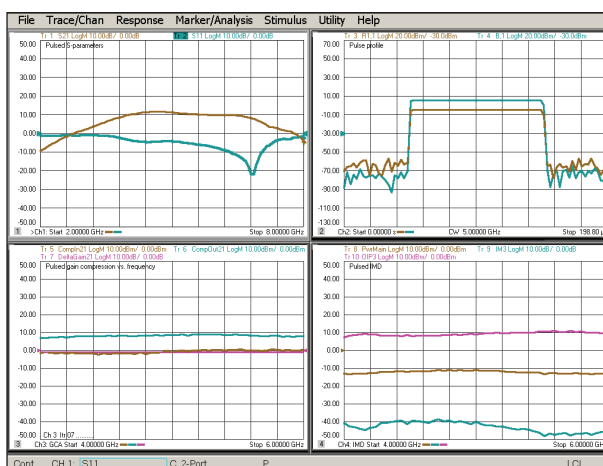
- 在用宽带模式进行测量时，如果需要对多次测量进行平均来降低测量结果中的噪声并提高测量的精度的话，采用“点”平均方法的测量速度比采用常规扫描平均方法更快。
- 在对 PNA-X 的信号源进行功率校准的过程中，功率传感器读取的是平均功率，而 PNA-X 所设定的是脉冲激励的峰值功率，为了补偿这种峰值功率和平均功率的差，可以使用功率偏置特性，把补偿值设为 $10\log(\text{占空比})$ 。
- 使用宽带模式测量脉冲参数时，最小脉冲宽度是由测量接收机的采样点数决定的（接收机的采样点数由中频带宽 - -

IFBW 决定)。例如，如果中频带宽选择为 15 MHz，最小脉冲宽度可以测到 100 纳秒；5 MHz 中频带宽下可测的最小脉冲宽度为 300 纳秒；1 MHz 中频带宽下可测的最小脉冲宽度为 1.44 微秒。在测量某一中频带宽下的最小脉冲宽度时，精确地设置测量时延(时间分辨率为 10 纳秒)——保证脉冲调制和数据采集周期对应起来，是非常重要的。

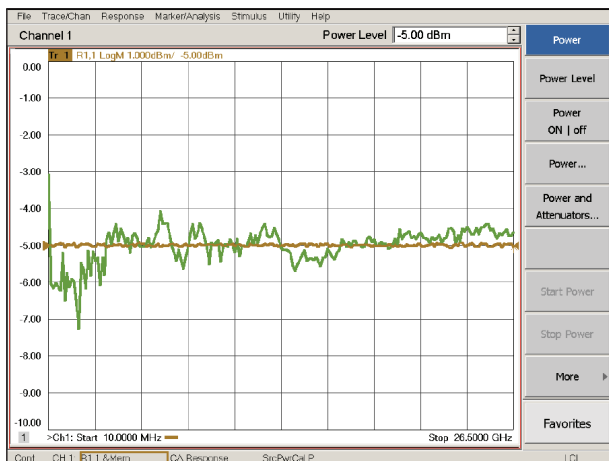
- 在脉冲测量模式下，使用接收机功率校准来控制信号功率精度，对于有些特别依赖于功率的测量来说非常重要，例如输出功率、压缩、互调失真等。



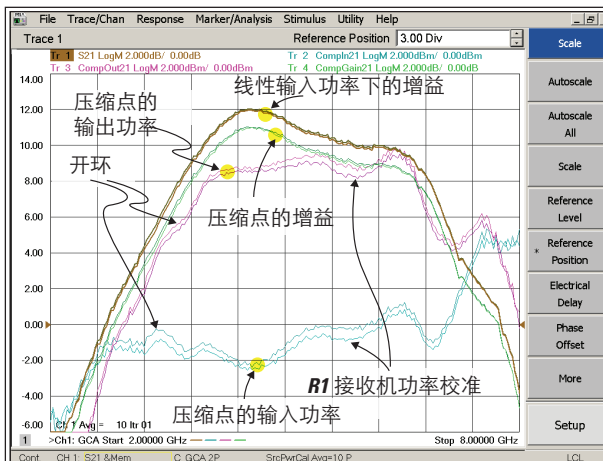
与基于 PNA 的脉冲射频测试系统相比，在用占空比很小的激励信号进行脉冲参数测量的时候，PNA-X 测量窄脉冲（脉冲宽度小于 267 纳秒）所用的窄带测量方法使用了特别的硬件和获得专利保护的软件选通技术，把测量系统的动态范围提高了 40 dB。



只需要把被测器件和 PNA-X 连接一次，您就可以在脉冲工作条件下精确地对有源器件的特性进行表征，上面这个测量结果显示了您可以同时测量脉冲 S 参数，脉冲包络（在时域内测量输入和输出功率），增益压缩随测量频率变化的曲线，扫频状态下的 IMD 参数。



使用接收机功率校准 (Receiver Leveling) 技术可以把脉冲射频信号的功率精度从 +/- 1 dB 提高到小于 0.05 dB。



上图比较了使用与不使用接收机功率校准技术得到的几个增益压缩的测量结果。从所得到的当产生压缩时信号的输入和输出功率随频率变化的曲线上，我们可以看到在功率相关参数的测量中，不精确的激励功率会导致结果出现较大的误差。

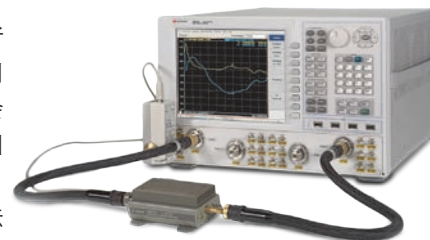
创新的应用

快速和精确的噪声系数测量

(选项 028、029)

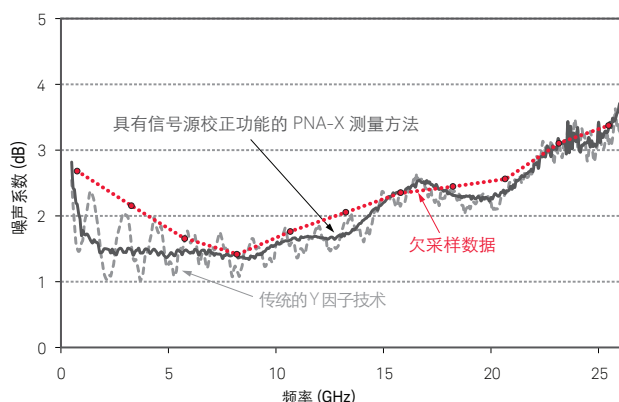
使用传统的 Y 因子法测量噪声系数时存在的困难

- 如果要对被测器件的特性进行充分的表征，需要使用多台仪器，而且要多次连接和断开被测器件
- 如果在测量的环境中使用测量夹具，或者是对晶圆上的元器件进行测量，或者是用自动测试系统进行测试——这些情况都会导致噪声源无法与被测器件直接连接，因此会降低噪声系数的测量精度。
- 测量速度太慢。用户经常采用折中的办法来解决测量速度的问题——测量比较少的数据点，这会使测量结果因为采样率不够而出现误导性的结果。

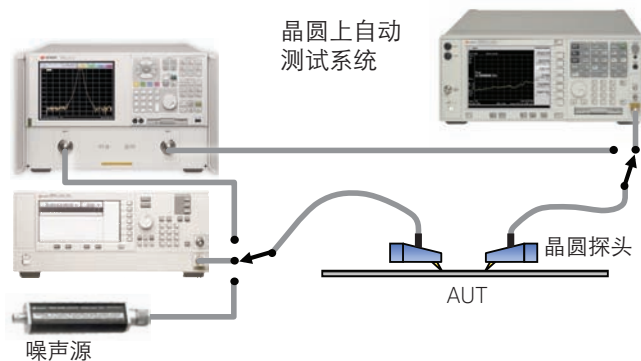


用 PNA-X 测量噪声系数的明显优势:

- 使用最先进的误差校正技术，无论是测量放大器的噪声系数还是频率转换器的噪声系数，测量结果的精度都是业内最高的。
- 快速测量：相比是德科技的 NFA 系列噪声系数分析仪，测量速度通常要快 4 到 10 倍。
- 如果使用 Maury Microwave 公司的自动阻抗调谐器，在测量噪声参数时可以极快得到测量结果，比传统的方法快 200 到 300 倍。



以这个未匹配晶体管在 401 个频点上进行噪声系数测量的结果为例，与 Y 因子法相比，PNA-X 测量结果的纹波要小得多。NFA 在默认状态下只测量 11 个数据点，给出的测量轨迹明显采样率不足，因而这个放大器的噪声系数的测量结果是一个误导性的结果。



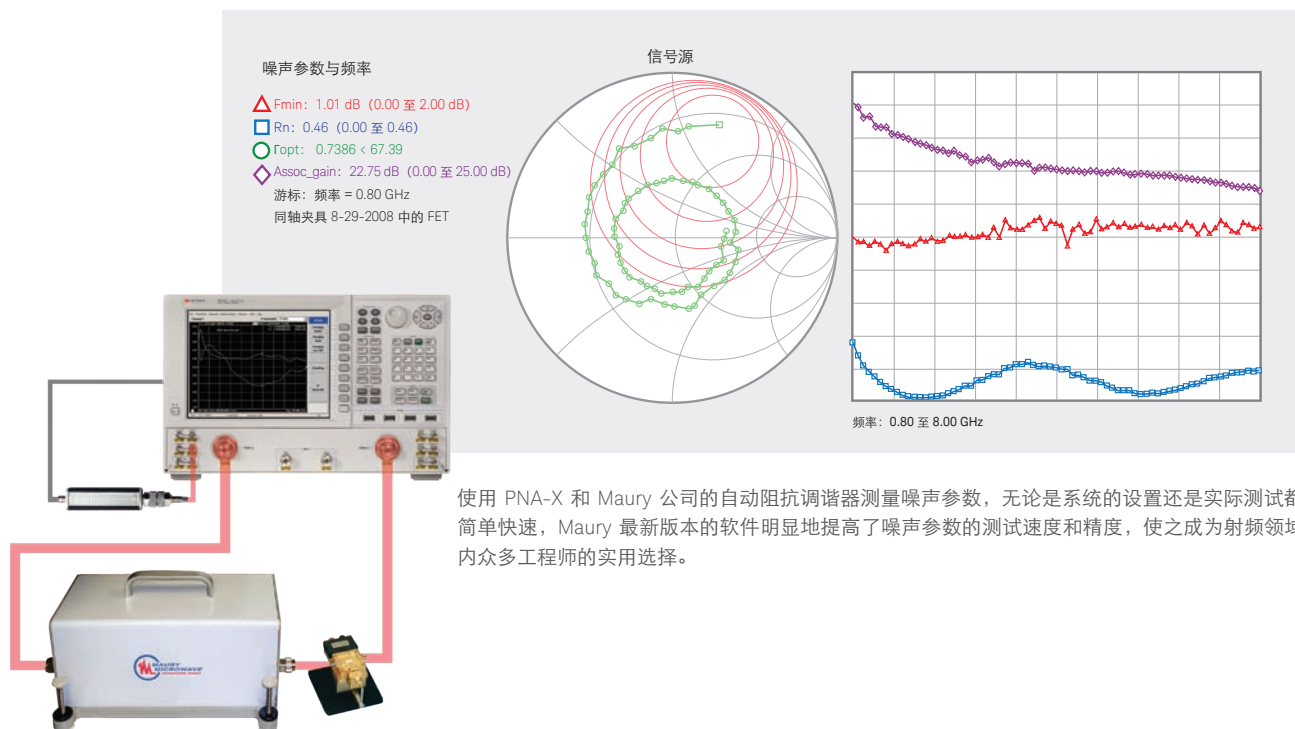
在用 Y 因子方法进行测量时，任何居于被测器件和噪声源之间的电路网络，例如测量电缆、开关矩阵、晶圆探头等，都会导致测量结果的精度大幅度地降低。

“在我的仪表室里有好几种仪表都可以测量噪声系数，例如 8970、噪声系数分析仪和频谱分析仪。我所面临的最大问题是，这些测量结果之间缺乏相关性——用不同的测量仪表得到的测量结果不一样。现在，不管我使用哪一台 PNA-X 结果都一样，PNA-X 极高的测量精度能够保证我每次得到的测量结果都是一样正确的。”

测试工程部经理

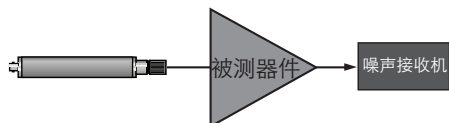


噪声参数的测量只需几分钟不是几天即可完成

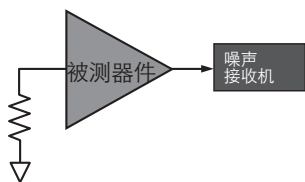


使用 PNA-X 和 Maury 公司的自动阻抗调谐器测量噪声参数，无论是系统的设置还是实际测试都简单快速，Maury 最新版本的软件明显地提高了噪声参数的测试速度和精度，使之成为射频领域内众多工程师的实用选择。

噪声系数测量方法



Y 因子：测量噪声系数最流行的方法是 Y 因子法，它使用一个与被测器件 (DUT) 的输入端口连接在一起的噪声源，当噪声源关闭时，它表现为室温 (冷) 源负载端子；当噪声源打开时，它就产生了一个等效为热源负载端子的超级噪声。在这两个条件下，在被测器件的输出端测量噪声功率，计算出放大器的标量增益和噪声系数。Keysight NFA 系列噪声系数分析仪，以及装有前置放大器和噪声系数专用测量程序选件的频谱分析仪都使用 Y 因子法测量噪声系数。



冷源法：测量噪声系数的另一种方法是冷源法，或称之为直接噪声测量技术。使用这种方法，只需要在被测器件输出端进行一种噪声功率测量，放大器的输入端端接的是一个室温的信号源阻抗器件。冷源法需要对放大器的增益进行一次独立的测量。这种技术非常适用于矢量网络分析仪 (VNA)，这是因为 VNA 通过使用矢量误差校正技术可以极为精确地测量增益 (S21)，使用冷源法进行测量的另外优势在于只需要对被测器件做一次连接，就可以同时完成噪声系数和 S 参数的测量。

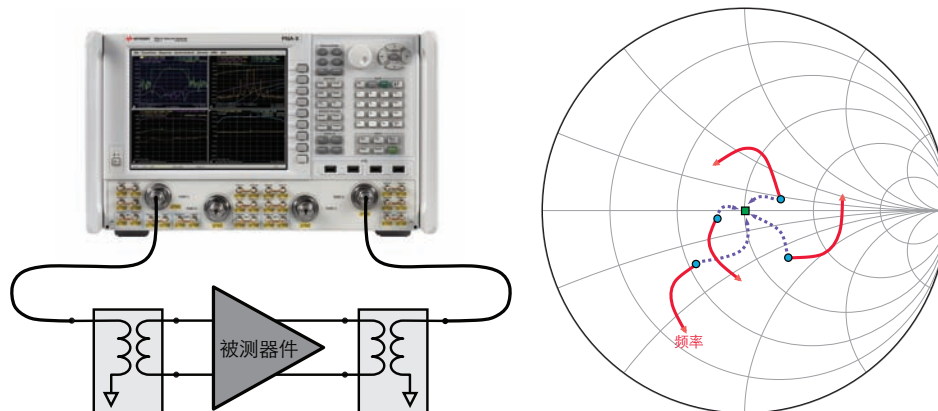
创新的应用

快速和精确的噪声系数测量

(选件 028、029) (续)

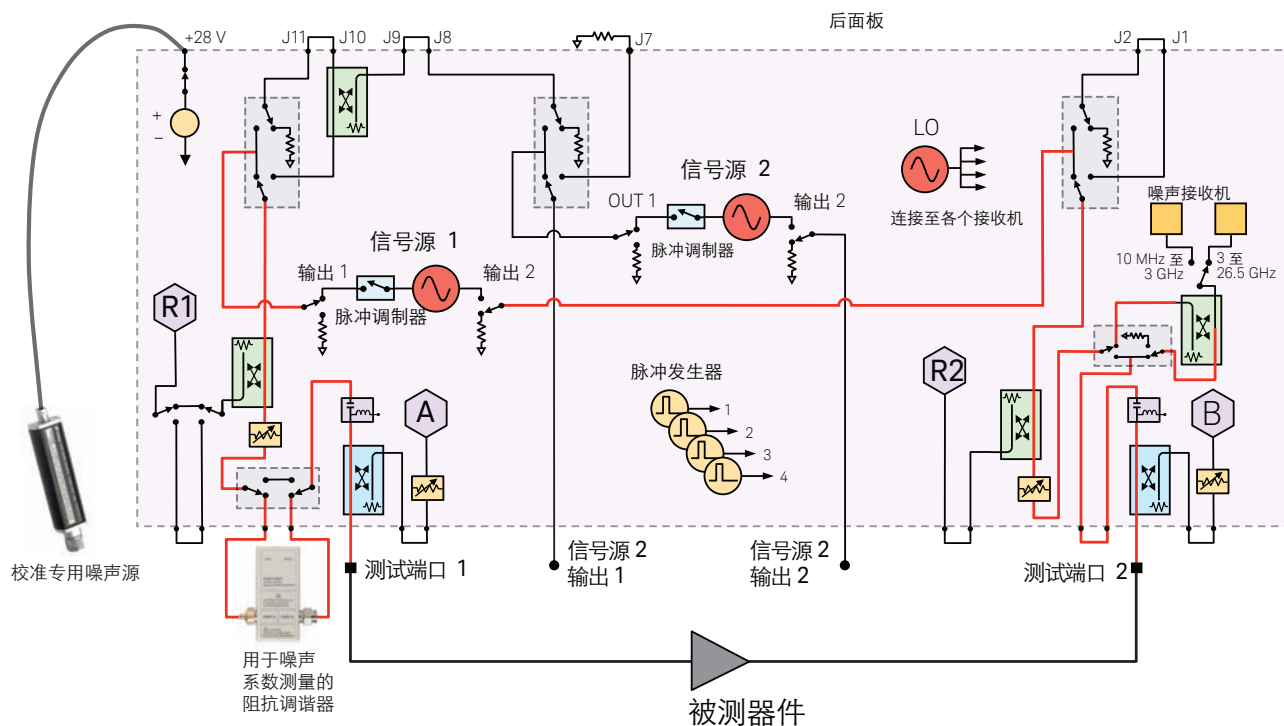
PNA-X 独特的信号源校正噪声系统解决方案

- 使用改良的冷源测量方法，在测量被测器件的噪声系数时不需要把噪声源与之相连。
- 通过使用矢量误差校正去除失配误差，再使用电子校准件作为阻抗调谐器对非理想的系统信号源的失配进行校正，去除由噪声参数引入的误差。
- 即便是在需要使用测试夹具、对晶圆上的元器件进行测量或是在自动测试的应用环境中也能保持非常高的测量精度。
- 使用平衡 - 不平衡转换器或混合电路的矢量去嵌入技术精确地测量差分器件。



对平衡 - 不平衡转换器或混合电路进行去嵌入，以测量差分器件。

在每一个测量的频点上，都会使用已知的非 50 Ω 信号源阻抗进行 4 次或更多次的噪声测量，从这些测量结果中，可以精确地计算出 50 Ω 阻抗的噪声系数。

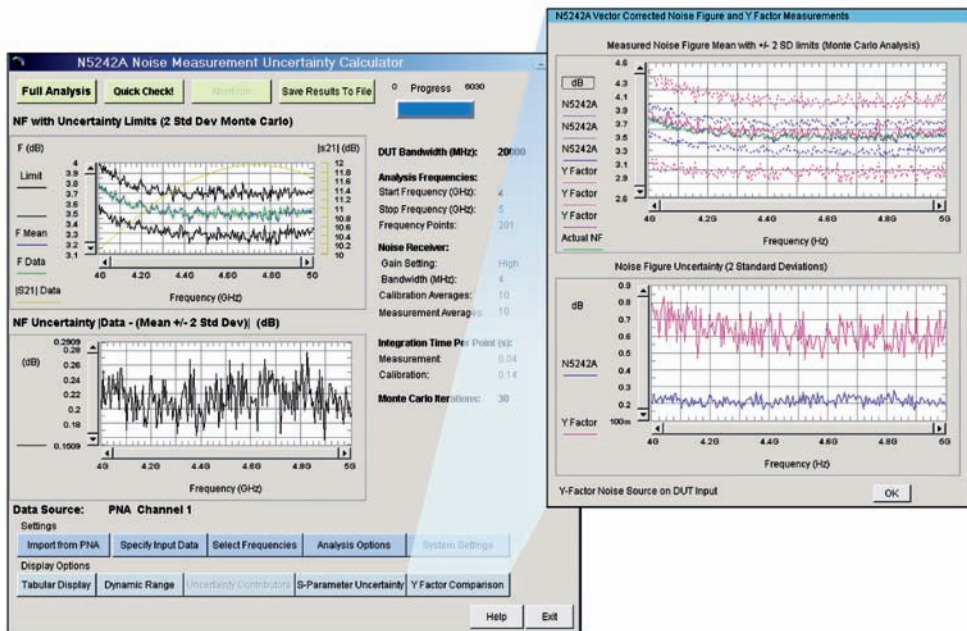


配置了选件 200、219、224 和噪声系数测量选件 029 的 2 端口 N5242A PNA-X 的结构图，在这里使用了一个标准的电子校准件作为阻抗调谐器，有助于去除由非理想的系统信号源匹配给测量结果带来的影响。N5244/45/47A 型号包括内置的阻抗调谐器。

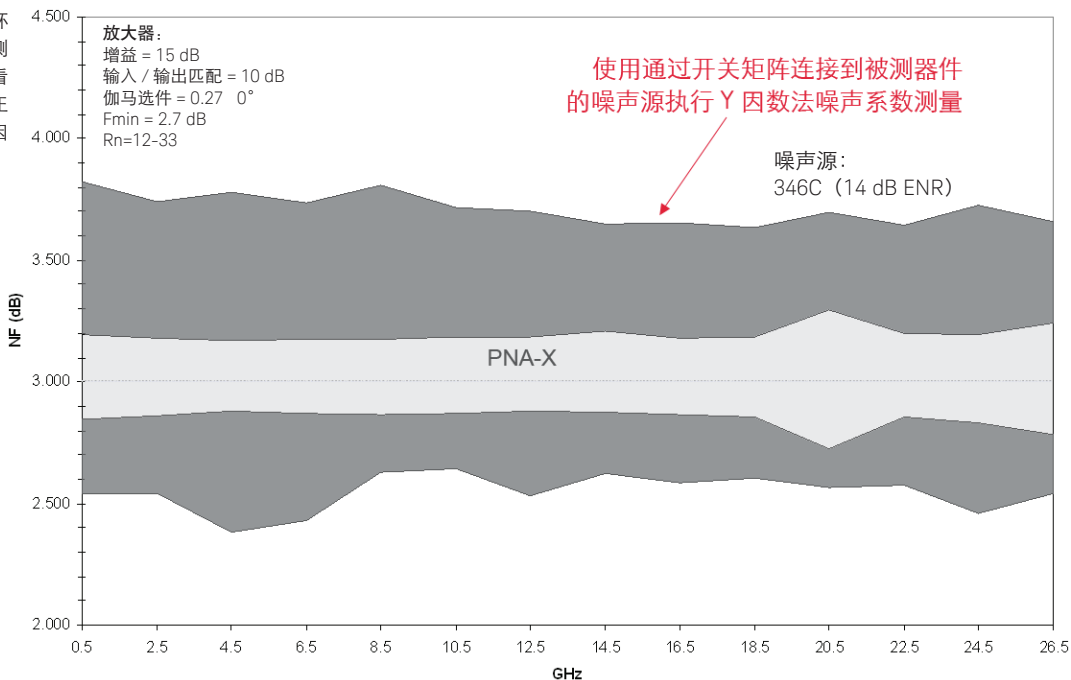
专家提示

- 在一间屏蔽室里测量噪声系数的效果最好，这样可以防止手机、无线局域网、便携式收发信机等带来的杂散干扰
- 有时需要使用电池而不是用市电给放大器供电，这样可以防止传导干扰对非常敏感的低噪放（LNA）测量的影响
- 您可以使用是德科技蒙特卡罗噪声系数测量结果的不确定度计算器来估计测量结果的总体精度

Keysight PNA-X 噪声系数测量结果不确定度计算器 (www.keysight.com/find/nfcalc) 把失配影响和由噪声参数引入的误差因素（因为非理想的系统信号源匹配而导致）都考虑在内。



这里举例显示了自动测试环境（ATE）中的噪声系数测量结果的不确定度，可以看到用 PNA-X 的信号源校正技术测量噪声系数比起 Y 因子法要精确得多。



创新的应用

快速而精确地测量放大器 和频率转换器的增益压缩 随频率的变化

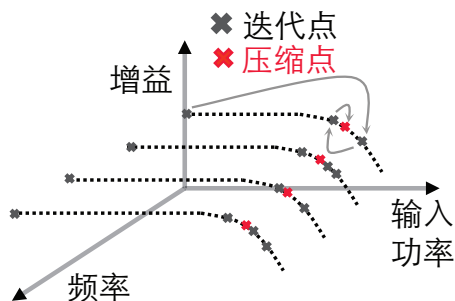
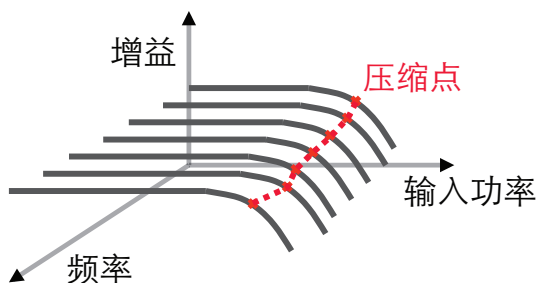
(选项 086)

增益压缩测量面临的挑战

- 在放大器或频率转换器的整个工作频率范围内表征其压缩特性需要在很多的测量频点和功率值上做大量的测试，对测量系统进行设置和校准以及对测量结果进行处理都会花费大量的时间和精力
- 各种误差都会降低测量的精度，例如在进行绝对功率测量时测量端口和功率传感器及被测器件之间的失配、把线性的 S 参数误差校正结果应用到非线性的压缩测量当中等都会降低测量精度

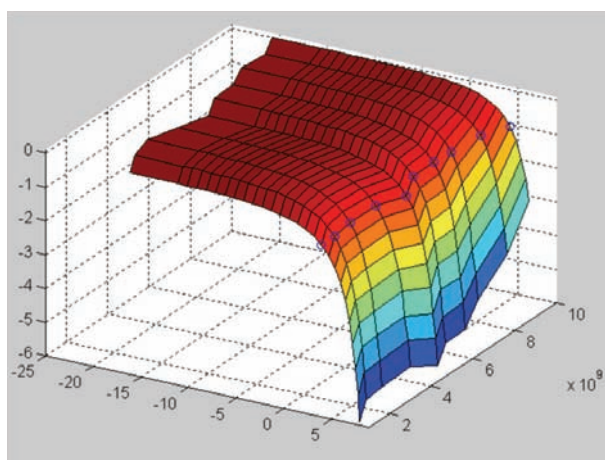
PNA-X 增益压缩测量应用软件 (GCA) 提供:

- 智能扫描功能可方便、快速地完成测量任务
- 在软件引导下实施功率和失配误差校正操作，获得高精度的测量结果
- 二维扫描功能——用户可以选择在每个频点上扫功率或在每个功率值上扫频率，全面表征器件特性
- 各种灵活表征器件压缩特性的方法——偏离线性增益的压缩点、最大增益、X/Y 压缩、偏离功率回退的压缩点、偏离饱和区的压缩点等



通过在多个连续波测量频点上进行功率扫描，网络分析仪可常用于测量增益压缩特性。PNA-X 的 GCA 应用软件使得在被测器件整个工作频率范围内对其压缩特性进行表征的测量变得极为容易，不但测试的设置很简单，而且测量速度极快，测量的精度也非常高。

GCA 的智能扫描功能不是对很多测量点进行线性功率扫描，而是采用一种自适应的算法，只需要进行少数几次功率的测量就可以找到有效的压缩点，因此而显著地减少了测量所需要的时间。

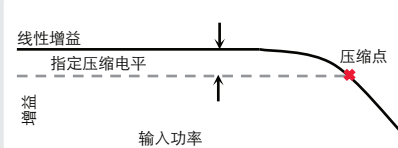


用户可以提取出这个完整的二维扫描器件响应特性——增益随着信号的频率和功率变化的特性——并把它用在器件的建模中。

PNA-X 上可以使用的增益压缩测量方法

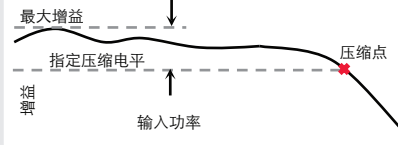
相对线性增益的压缩点

在一个给定的线性（输入信号的）功率值上测得线性增益，用线性增益减去所定义的压缩电平得到所要的增益压缩点。



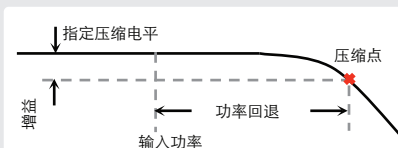
相对最大增益的压缩点

在每个测量频率上测量到的增益的最大值作为器件的最大增益，用最大增益减去所定义的压缩电平得到所要的增益压缩点。



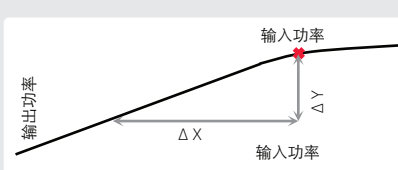
功率回退 (Backoff) 压缩点

横坐标代表输入功率、纵坐标代表增益，增益压缩曲线上会有若干成对出现的两个点，这两个点增益的差值为所定义的增益压缩，这两个点输入功率的差值就是所定义的功率回退值 (Backoff)，从满足条件的这些点中找出线性输入功率最大的点。



X/Y 压缩点

横坐标代表输入功率、纵坐标代表输出功率，增益压缩曲线上会有若干成对出现的两个点，这两个点的输入和输出功率的差值根据测量要求分别设为 ΔX 和 ΔY ，从满足条件的这些点中找出线性输入功率最大的点，即增益压缩点。



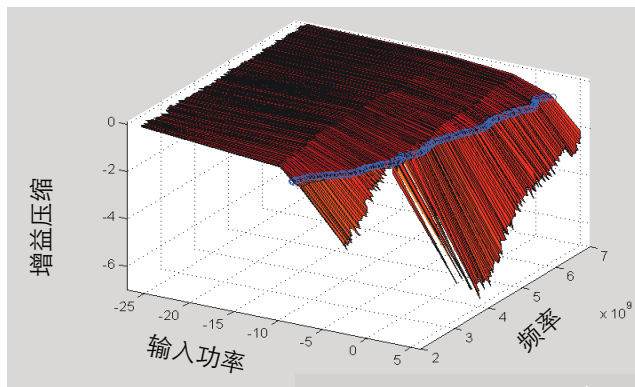
相对饱和点的压缩点

在横坐标代表输入功率、纵坐标代表输出功率的增益压缩曲线上，用被测器件的最大输出功率减去所规定的偏离最大输出功率的值，得到增益压缩点。

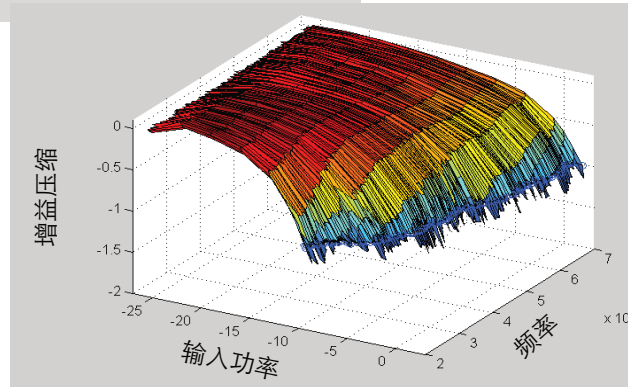


专家提示

- 在 SMART Sweep 测量中用安全模式来提高给被测器件的输入功率，先粗略提高输入功率，然后再细微增加输入功率，这样可以避免对被测器件过量驱动
- 当怀疑被测器件出现滞后效应或热效应的时候，建议您在每个功率点上进行频率扫描而不是在每个频率点上进行功率扫描，或者在测量中增加一些驻留时间以缓解上一次测量中的滞后效应
- 压缩分析能够提取出被测器件在任意压缩轨迹的指定频点上在特定功率范围内的响应特性
- 使用 PNA-X 内置的电压表 CompAl1 和 CompAl2 的测量结果——它们与增益压缩点的测量结果是同步的——来计算放大器在任意测量频率下发生压缩时的功率附加效率 (PAE)



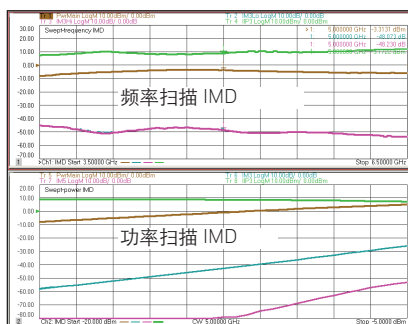
这里显示了用 SMART Sweep 测量放大器在关闭安全模式（上图）和打开安全模式（下图）时的增益压缩的数据，当打开安全模式时，在靠近 1 dB 压缩点的地方对数据进行了更为细密的迭代，这样会避免给放大器输入过高的信号的功率，保护其不被损坏。



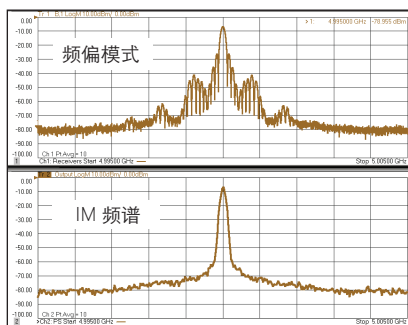
创新的应用

快速而又设置简单的双音频互调失真 (IMD) 测量

(选项 087)



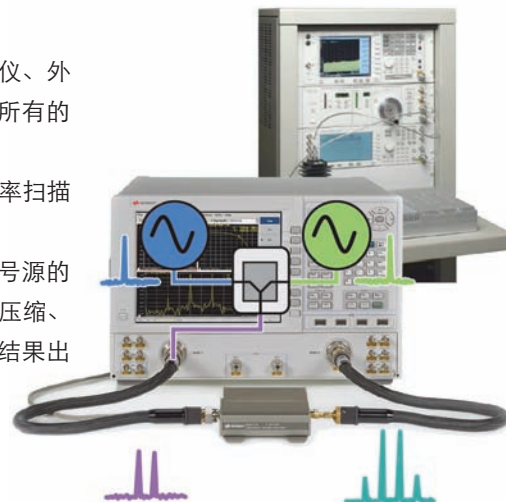
与使用信号源和频谱分析仪的测量方法相比，用 IMD 应用软件在 201 个频率点或功率点上测量三阶 IMD 和 IP3，只需要几秒钟的时间，前者则需要几分钟的时间。



在 VNA 中通常都会有频偏测量模式，不过常用的 IF 滤波器的响应特性会表现出比较大的边带波瓣。PNA-X 的 IM 频谱测量模式应用了性能经过优化的数字中频滤波器，其测量结果和使用真正的频谱分析仪的测量结果是一样的。

IMD 测量面临的挑战

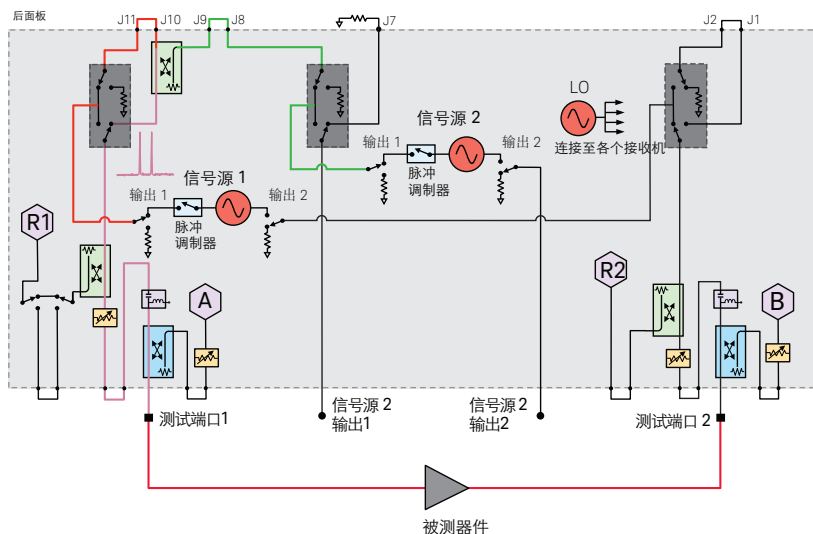
- 通常都需要两个信号源、一台频谱仪、外接的信号合路器，还需要手动设置所有的仪表和测量附件
- 当 IMD 测试需要进行频率扫描或功率扫描时，测量速度非常慢
- 在这些仪表和测量装置中，由于信号源的谐波、交调、相位噪声、测量接收机压缩、本底噪声等因素的存在，会使测量结果出现很大的误差



配有 IMD 应用软件的 PNA-X 的优点：

- 使用内置的两个信号源和信号合路器，快速完成对放大器和频率转换器的扫描 IMD 测量
- 设置简便的测量硬件和直观的操作界面保证测量非常快速和轻松
- 操作界面向导简化校准流程，保证测量的精度非常高
- 使用频谱分析仪测量模式可以进行问题排查或杂散信号的测试，无需再使用单独的频谱分析仪进行测量
- 内置的两个信号源极为纯净，测量接收机的动态范围极大，将其它测量仪做同样测量的误差降至最小的程度

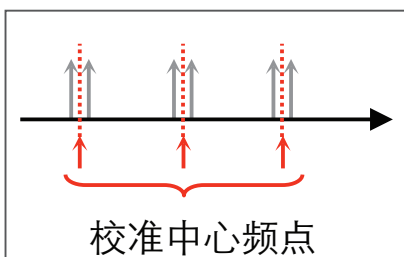
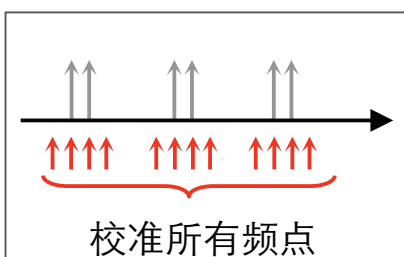
使用 PNA-X 和 IMD 测量应用软件可以替代以往装在测试系统机架上的两个信号源和一个频谱分析仪，从而简化系统的配置，也提高了测试吞吐量。



PNA-X 内置的两个信号源都有很大的功率输出、ALC 的范围很大，谐波指标达到了 -60 dBc，再加上内置的高隔离度合路器，使它能够为驱动被测器件进行双音频 IMD 测量的理想仪表。PNA-X 的测量接收机动态范围宽、产生压缩的输入电平高，这保证了存在大功率主音激励信号的情况下，能够精确地测量出小功率 IMD 信号。

不同的 IMD 扫描类型

	扫描 f_c	扫描频率间隔	功率扫描	连续波	本振功率扫描	分段存储
中心频率	扫描	固定	固定	固定	固定	扫描 (按照分段扫描表中的定义)
音频间隔	固定	扫描	固定	固定	固定	固定
音频功率	固定	固定	扫描 (耦合或非耦合)	固定	固定	固定
示意图						

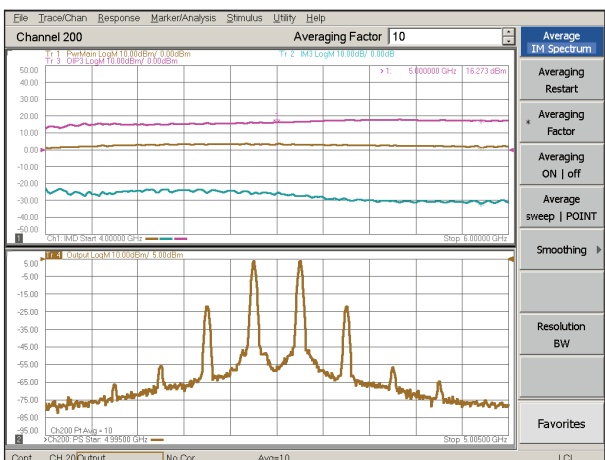


专家提示

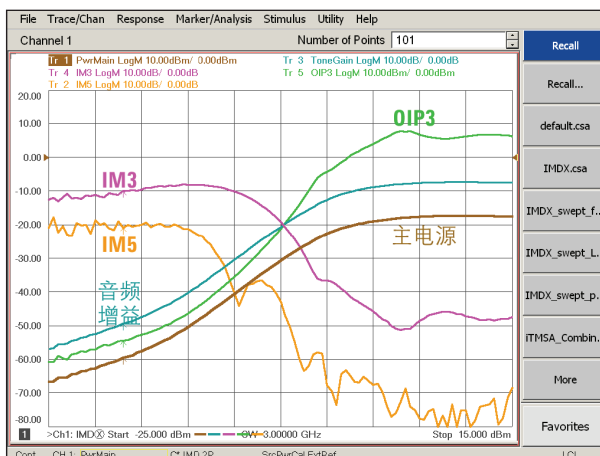
不同的 IMD 扫描类型

- 根据您对测量速度和测量精度的权衡取舍，您可以选择对所有的频点进行校准或只对各个中心频点进行校准。
- 如果您用 PNA-X 对外接的信号源进行控制，可以大大简化对混频器或频率转换器进行扫描 IMD 的测试
- 可以使用 IM 频谱游标 (Marker to IM Spectrum) 功能显示扫描 IMD 测量轨迹上某个点的频谱
- 在 IM 频谱测量中要使用点平均功能，尤其是分辨率带宽设得很宽的情况下，在给测量速度带来的影响最小的情况下，来降低本底噪声的噪声偏差

当音频间隔很宽时，推荐校准所有频率。虽然校准所有频率花费的时间较长，但测量速度不受影响。



屏幕下半部分所显示的 IM 频谱对应于上半部分所示轨迹中点的扫描 IMD 游标。在 IM 频谱测量中使用了点平均的功能来降低噪声偏差。



从 IMD 和 IP3 随本振信号功率变化关系可以得出当本振信号的功率最小时 IP3 的最大值。这个结果可以帮助您知道怎样对混频器进行设置才能在消耗的功率为最小时得到最大的混频效率。

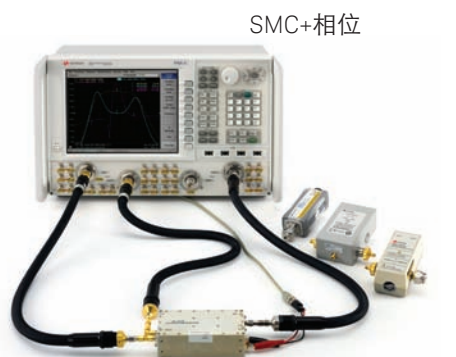
创新的应用

精确地表征混频器和频率转换器的特性

(选件 082、083、084)

混频器和频率转换器测量所面临的挑战

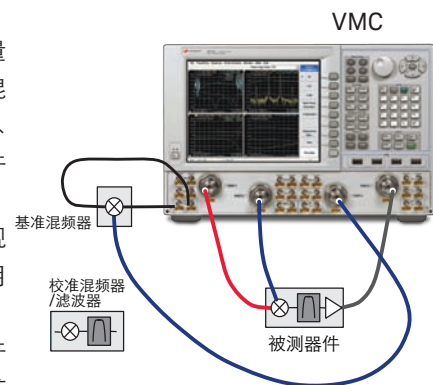
- 最传统的使用频谱分析仪和外接信号源的测量方法很麻烦，测量速度慢，而且无法得到相位或群时延的信息。
- 使用一般的矢量网络分析仪进行测试，需要使用外接的信号源，这会显著降低扫描测量的速度
- 使用一般的矢量网络分析测量所得到的相位或群时延的结果是相对于“标准”器件的结果
- 为了处理由输入和输出失配引起的纹波现象，经常需要在测试结构中使用衰减器，这会降低测量系统的动态范围，校准的稳定性也会受到影响



SMC+相位
选件 083 的标量混频器 / 频率转换器加相位 (SMC+Phase) 测量方法因为不需要基准混频器和校准混频器，使得混频器和频率转换器测量的设置变得非常简单。使用三种宽带标准件，可以容易地实施校准：功率计用作幅度标准件，梳状发生器用作相位标准件，S 参数校准套件 (机械标准件或电子标准件)

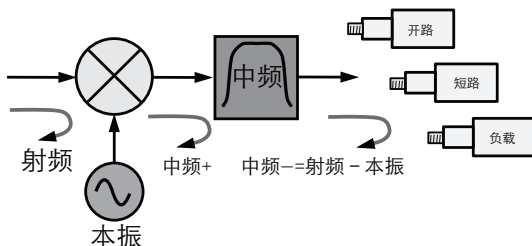
PNA-X 频率转换器应用软件的优点：

- PNA-X 内置的第二个信号源可以用作本振 (LO) 信号，简化测量的设置
- 比起使用基于频谱分析仪的测量方法来，测量速度至少提高 100 倍
- 使用是德科技的两种专利方法精确地对被测器件进行测试：
- 标量混频器 / 频率转换器 (SMC) 测量法——通过同时采用 2 端口校准和功率计校准 (选件 082)，得到极为精确的匹配和变频损耗 / 增益测量结果。如果配置了选件 083，那么不需要基准混频器或校准混频器也能精确地得到经过校准的绝对群时延测量结果
- 矢量混频器 / 频率转换器 (VMC) 测量法——通过使用经过矢量校准的直通混频器 (选件 083)，可以精确地测量匹配、变频损耗 / 增益、时延、多个路径或器件之间的相位差，以及器件中的相位偏移
- 输入和输出的失配校正可以减小纹波现象，并且在测试配置结构中省去了使用衰减器的麻烦
- 嵌入式本振的测量功能 (需要配置选件 084) 可将 SMC 和 VMC 的测量方法扩展到嵌入式本振频率转换器的测试上 (无需接入内部时基信号)

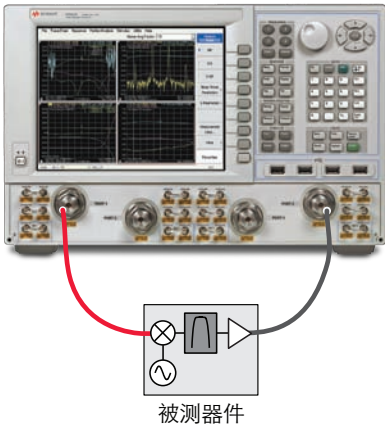


VMC
矢量混频器 / 频率转换器测量技术可以测量匹配、变频损耗 / 增益、时延、多个路径或器件之间的相位差，以及器件中的相位偏移。

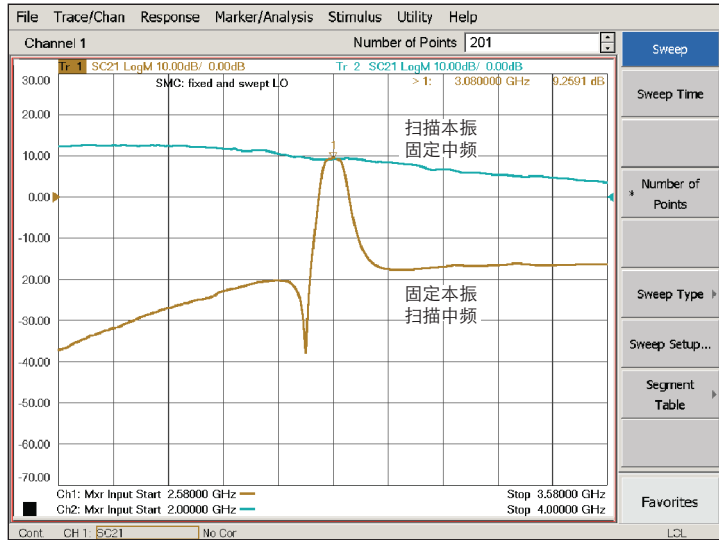
校准混频器/滤波器



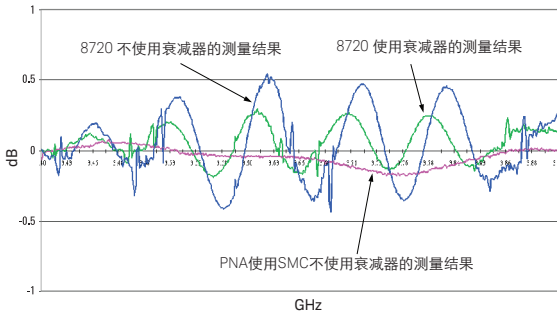
矢量混频器 / 频率转换器校准方法是是德科技的专利技术，使用开路、短路和负载校准件来构成一个经过特性表征的混频器并作为直通校准件。



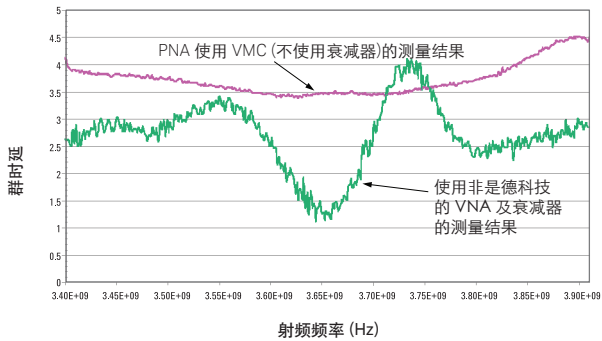
SMC 和 VMC 两种方法都可以用来测量嵌入式本振的频率转换器件，而无需接入被测器件内置的时基信号



PNA-X 利用两个内置的信号源，可以快速测量固定中频响应和扫描中频响应。



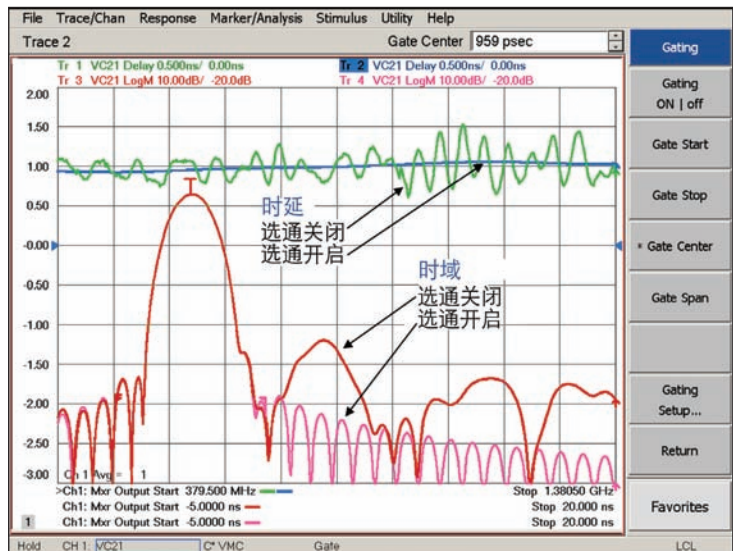
SMC 的匹配误差校正技术可以显著地减小变频损耗 / 增益测量结果中的失配误差，无需在测量电缆的末端连接衰减器。



VMC 的匹配误差校正技术可以显著地减小群时延测量结果中的失配误差，无需在测量电缆的末端连接衰减器。

专家提示

- 在测量中将中频带宽设置为较窄，有助于去除测量轨迹上的毛刺信号，这些很窄的毛刺是因为本振信号的馈通和 DUT 的其它杂散信号生成的
- 在测量有较大杂散输出的器件（例如没有滤波功能的混频器）时，为避免信号源功率不稳定造成的误差，增加源端的衰减量通常会有所帮助，这会使 PNA-X 和 DUT 之间的隔离度更好
- 当使用 VMC 方法测量多级频率转换器件时，最好建立一个单一的“总本振”信号来驱动基准混频器和校准混频器
- 当测量未经滤波的混频器时，时域选通功能是去除纹波现象的有效工具，它可以把杂散信号引起的不需要的信号和时延响应去除掉

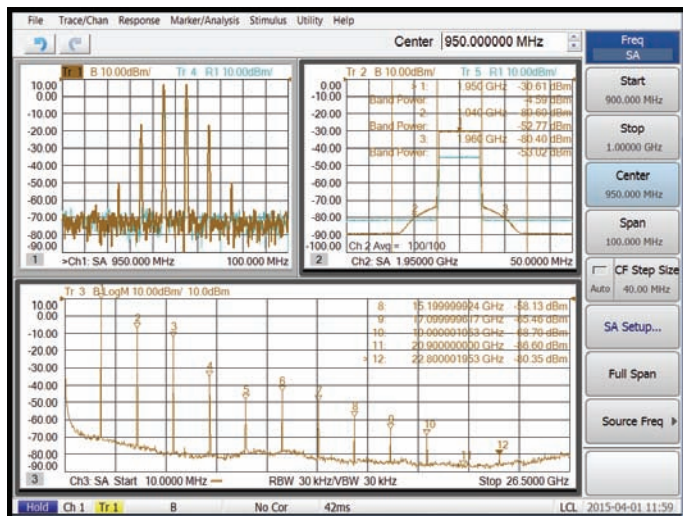
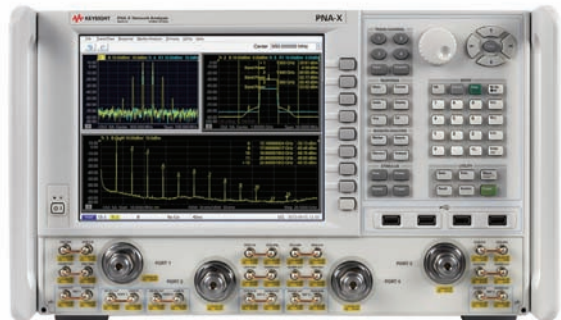


时域选通处理可以去除由杂散信号引起的多余的时延响应，从而去除测量轨迹中的纹波。

创新的应用

用于元器件表征的快速多通道频谱分析仪

(选件 090)



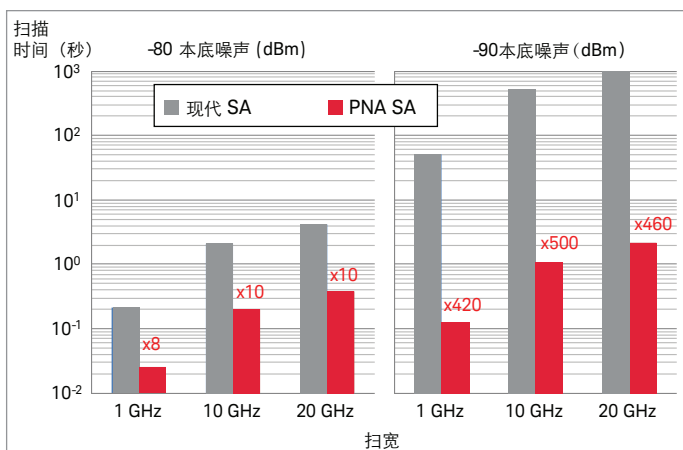
频谱分析仪选件为 PNA-X 增添了快速杂散搜索功能，可以替代独立的频谱分析仪和开关矩阵在元器件表征测试系统中使用。

元器件测试在频谱分析方面遇到的挑战

- 测量杂散性能通常需要花费大量时间，尤其是在很宽的频率范围内搜索小功率杂散信号的时候
- 测试时间太长意味着无法全面地执行其他测试
- 在被测器件的工作频率范围内表征杂散信号非常麻烦，而且需要很长时间，或要求使用外接的控制软件

PNA-X 频谱分析仪 (SA) 选件提供:

- 在宽广的频率范围内快速搜索杂散信号
- 多通道 SA 配备内置的扫描信号源，可以对混频器和频率转换器实施高效率的杂散分析
- 使用 VNA 校准和去嵌入技术，通过虚拟夹具方法执行频谱测量
- 快速的频段功率测量和噪声功率测量
- 为 PNA-X 的 单次连接、多次测量测试套件添加 SA 功能



在本底噪声分别为 -80 dBm 和 -90 dBm 且中心频率为 12 GHz 的条件下，扫描时间随扫宽的变化。设置接收机衰减器在 +10 dBm 信号上不会产生压缩

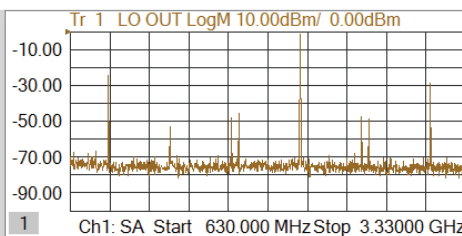


上图显示了在 +10 dBm 信号下测得的 -84 dBm 杂散信号的结果，(在 RBW 上的) 信噪比从上到下大约为 80 dB (300 kHz)、90 dB (30 kHz)、100 dB (3 kHz) 和 110 dB (300 Hz)

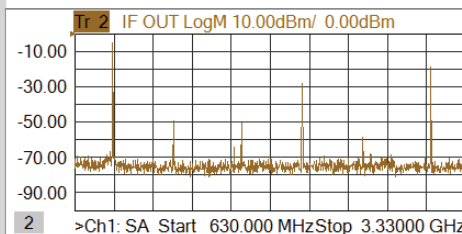
提供多通道频谱分析



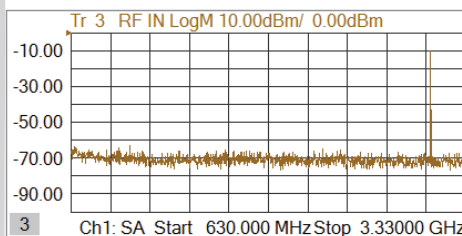
使用频谱分析仪连接混频器或频率转换器的所有端口并进行测试，可以让您极其深入地分析器件的性能。通过一组连接，便可非常容易地检测器件在使用固定激励或扫描激励工作时从所有端口输出的杂散内容。测量得到的杂散可能包括本振、射频和中频馈通、谐波、互调产物，以及其他高阶混频产物。在对应的 SMC 通道（底部）上可以容易地看到变频损耗和匹配随频率的变化。



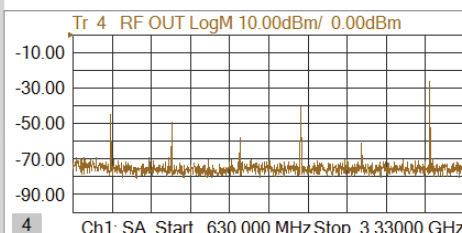
本振端口的输出频谱



中频端口的输出频谱

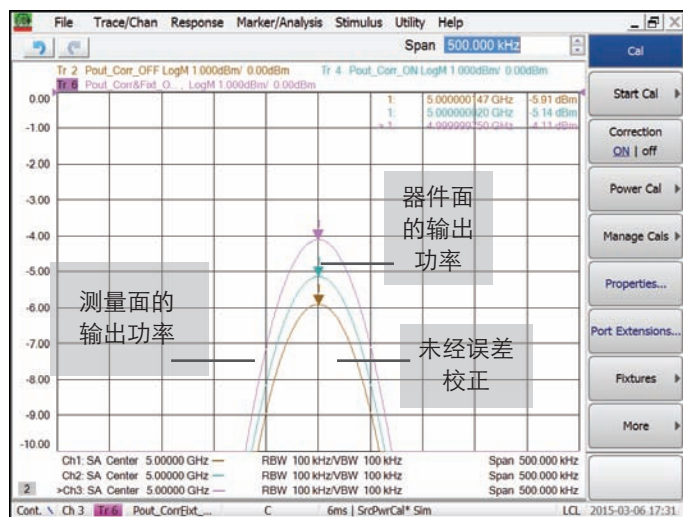
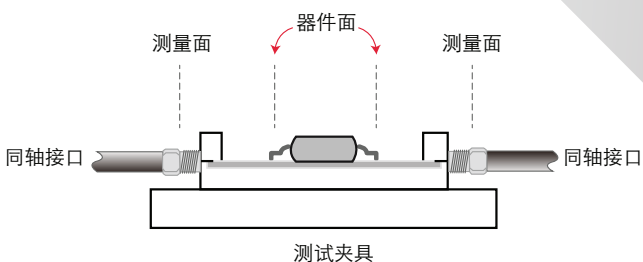


射频端口的输入频谱



射频端口的输出频谱

利用 VNA 校准探测器件的真实性能



VNA 校准和夹具去嵌入可以去除电缆和夹具对测量结果的影响，并校正接收机响应误差，为您提供经过校准的虚拟夹具频谱分析。

专家提示

- 选择不同水平的软件镜像抑制比，可以根据测量的频谱密度在测量速度与测量全面性之间进行权衡
- 对于谐波测量，为每个谐波添加一个单独的 SA 通道，其较窄的频率扫宽和 RBW 可以优化测量速度和灵敏度，同时足够的接收机衰减又能避免内部生成谐波
- 为帮助识别可能干扰测量的杂散信号，可以使用 SA 游标 (Marker-to-SA) 功能轻松生成频谱显示结果，在 SMC、扫描 IMD 或标准通道中的游标位置上激励条件是相同的
- 当用去嵌入功能来测量带夹具的器件或晶圆上的器件时，使用功率补偿功能可以去除夹具或探头损耗对测量结果的影响，从而为被测器件提供已知的激励功率

创新的应用 续

用于元器件表征的快速多通道频谱分析仪

(选项 090)

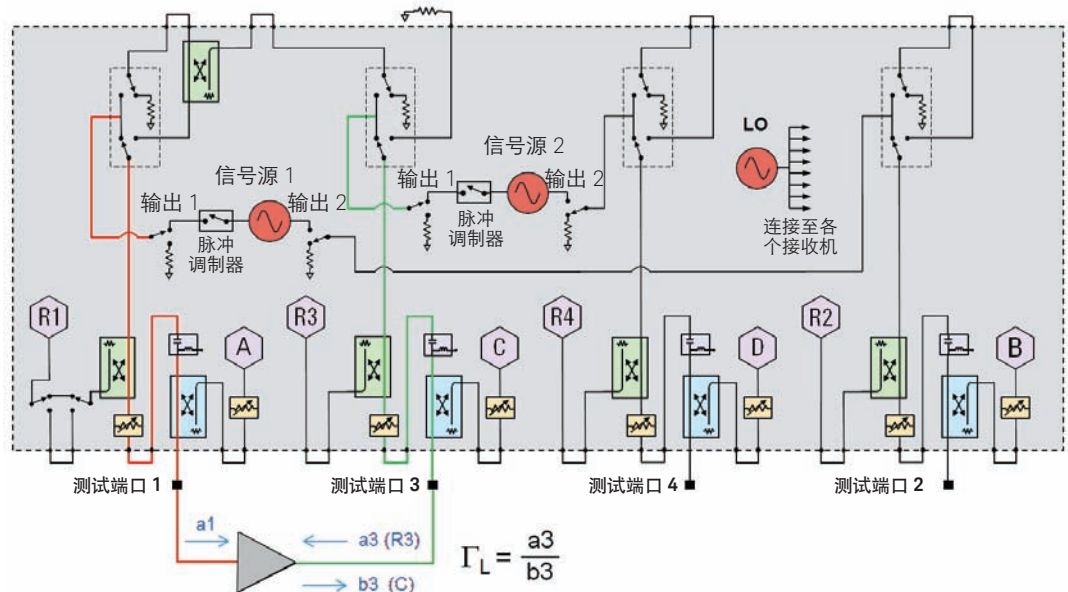
元器件测试在频谱分析方面遇到的挑战

- 测量杂散性能通常需要花费大量时间，尤其是在很宽的频率范围内搜索小功率杂散信号的时候
- 测试时间太长意味着无法全面地执行其他测试
- 在被测器件的工作频率范围内表征杂散信号非常麻烦，而且需要很长时间，或要求使用外接的控制软件

PNA-X 频谱分析仪 (SA) 选项提供:

- 在宽广的频率范围内快速搜索杂散信号
- 多通道 SA 配备内置的扫描信号源，可以对混频器和频率转换器实施高效率的杂散分析
- 使用 VNA 校准和去嵌入技术，通过虚拟夹具方法执行频谱测量
- 快速的频段功率测量和噪声功率测量
- 为 PNA-X 的单次连接、多次测量测试套件添加 SA 功能

频谱分析仪选项为 PNA-X 增添了快速杂散搜索功能，可以替代独立的频谱分析仪和开关矩阵在元器件表征测试系统中使用。



$$\Gamma_L = \frac{a_3}{b_3}$$

创新的应用 续

控制两个信号源之间的相对幅度和相位以实现有源输出负载控制

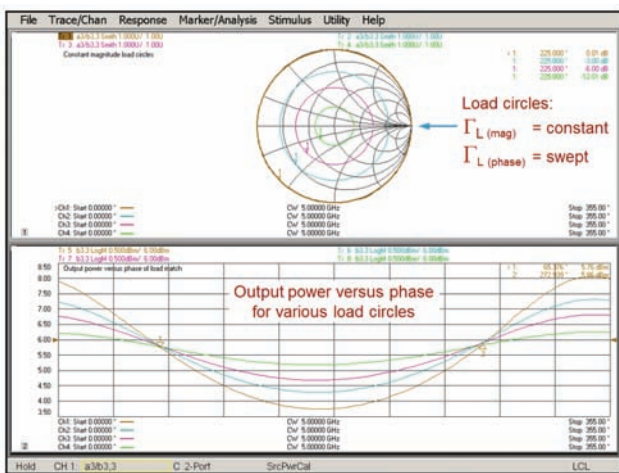
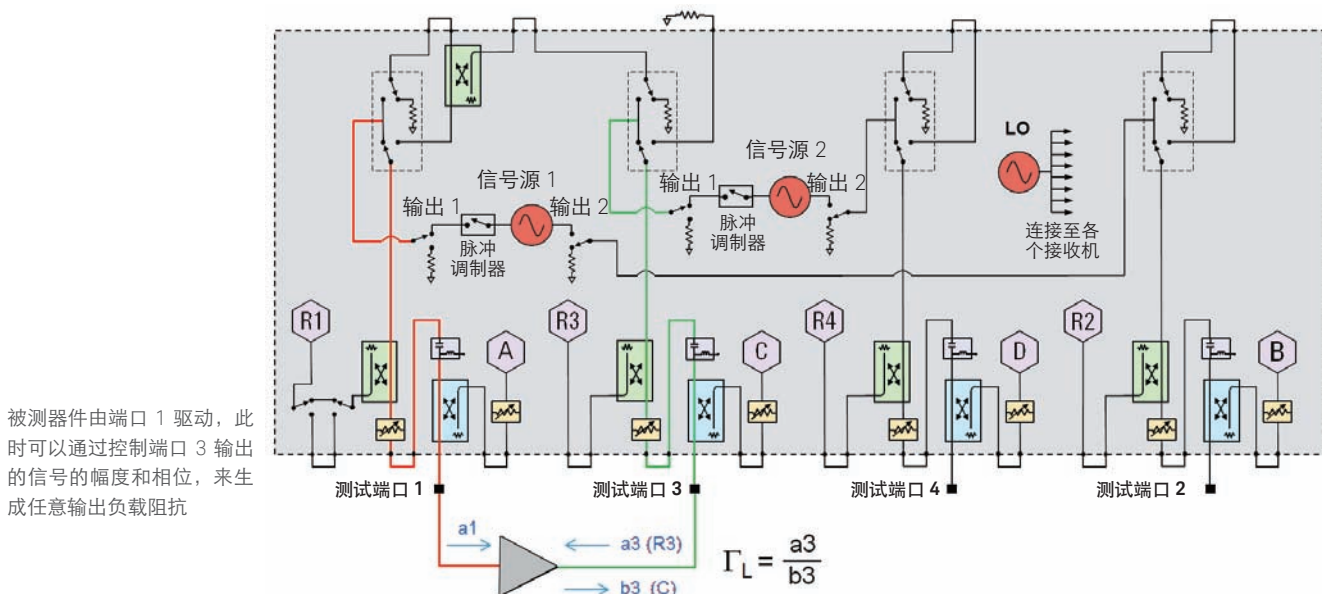
(选件 088)

放大器负载牵引测量所面临的挑战

- 为确定最佳的大信号匹配，通常需要在不同输出负载条件下测量放大器增益、输出功率和功率效率
- 一般的方法是使用能够处理大功率的机械调谐器，但是它的速度很慢，不能提供高反射负载

具有信号源相位控制功能的 PNA-X 可以提供

- 对第二个信号源的控制功能，以通过电子器件调谐放大器输出端的反射系数
- 极快的调谐速度和全反射
- 匹配校正，实现精确的幅度和相位控制
- 在不同的负载条件下测量放大器的输出功率、匹配、增益和 PAE



实例：通过在扫描相位时保持 Γ_L 的幅度不变来生成负载周期

专家提示

- 测量设置可以使用接收机 (R3, C...) 或波形 (a3, b3...) 术语
- 使用等式编辑器计算施加到负载的功率 (前向功率 - 反向功率): $\sqrt{\text{pow}(\text{mag}(b3_3), 2) - \text{pow}(\text{mag}(a3_3), 2)}$
- 对混合负载牵引系统使用机械调谐器和外部软件 (可以处理大输出功率并实现全反射)
- 当使用外接信号源时，将仪器连接到公共的 10 MHz 频率基准

创新的应用

简化 I/Q 转换器、调制器和差分混频器的测试

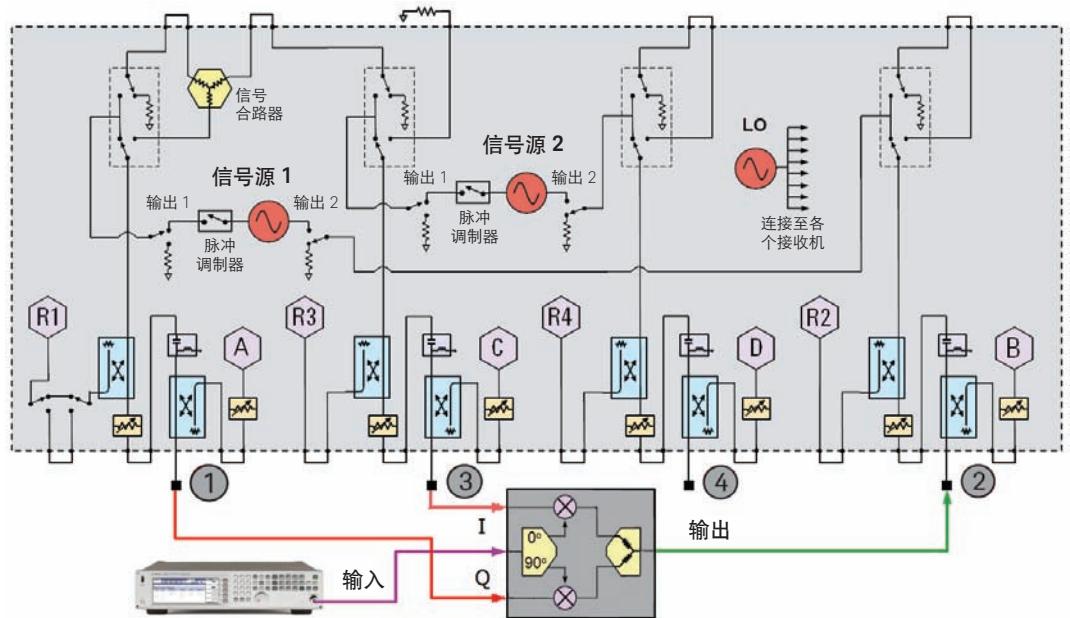
(选项 089)

测量 I/Q 和差分转换器所面临的挑战

- 需要有 90° 或 180° 相位差的信号
- 传统测量方法使用混合耦合器和 / 或平衡 - 不平衡转换器会有以下缺点:
- 固有的带宽限制, 当测量的频率范围很宽时, 就需要使用多个元器件
- 限制在固定相位偏置, 无法进行相位扫描以获得最佳调整
- 损耗过大且不够精确 (通常是 ± 3° 至 12°)
- 很难与晶圆级测试装置配合使用

PNA-X 差分 and I/Q 器件应用

- 精确控制内部和外部激励源, 无需使用混合耦合器和平衡 - 不平衡转换器
- 调谐接收机的频率到所有用户指定的输出频率上, 以便全面地表征被测器件
- 启动频率扫描, 以测量工作带宽; 或扫描固定频率上的相位和功率, 以测量正交或差分失衡
- 包括匹配修正功率测量, 以实现最高的精度



此调制器的 I/Q 输入可以直接用 PNA-X 的内置信号源驱动, 无需使用 90° 混合耦合器

专家提示

- 可以使用两个额外的外接信号源来生成差分 I/Q 激励信号。外接信号源必须通过 PNA-X 测试仪连接至测量接收机, 以实现指定的相位偏移。
- 对于 I/Q 调制器, 直流电源或信号源测量单元 (SMU) 可以通过直流偏置接头连接到被测器件的 I/Q 输入端。随后可以执行电压扫描, 以帮助找到最佳的 I/Q 电压偏置, 实现最大程度的本振抑制。
- 通过建立真实差分激励以及把 PNA-X 接收机调谐到所有指定的谐波, 可以测量差分放大器的谐波和总体谐波失真 (THD)
- 使用功率扫描测量差分混频器的增益压缩

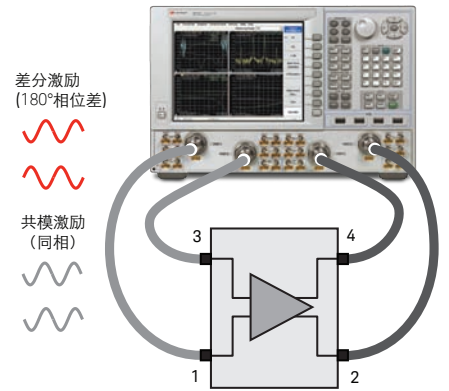
创新的应用

在真正的差分激励条件下测量差分放大器

(选项 460)

测量差分放大器所面临的挑战

- 传统上的两端口矢量网络分析仪使用平衡 - 不平衡转换器测量差分器件，不能够给出器件的共模响应、差模到共模的响应和共模到差模的响应特性
- 平衡 - 不平衡转换器本身是带宽有限的器件，如果测量所涉及的频率范围很宽，需要通过多次使用不同的平衡 - 不平衡转换器才能完成测试
- 平衡 - 不平衡转换器的相位误差会导致差分响应测量结果不准确
- 现代化的四端口矢量网络分析仪在单端激励的条件下也能给出混合模式的 S 参数，不过差分放大器在实际压缩工作条件下的真实差分响应特性会与传统模式的混合 S 参数不同



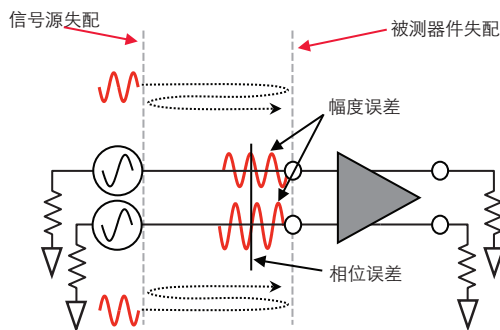
使用 PNA-X 内置的两个信号源，iTMSA 功能给差分放大器提供真实的差分激励，在任何工作条件下都能给出精确的混合模式 S 参数

PNA-X 集成的真实模式激励应用软件 (iTMSA) 的优点:

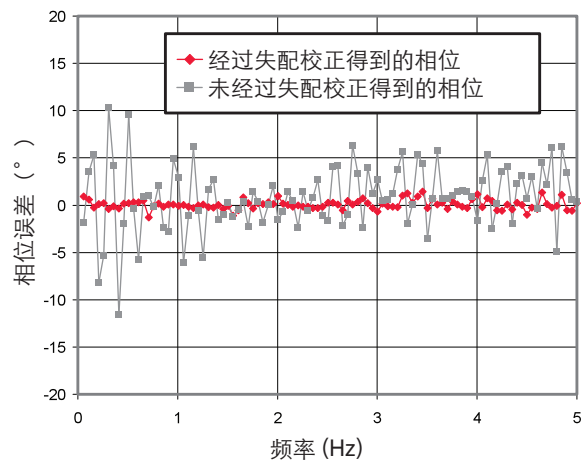
- 用真正的差分 and 共模激励信号测量差分放大器的混合模式 S 参数
- 在被测器件的输入端口进行失配误差校正，可以把两路信号源之间的相位误差降低到最小的程度
- 只在输入端口提供激励的模式，可以防止在放大器的输出端口进行激励而对放大器造成的损坏
- 通过 PNA-X 内部的虚拟夹具对两路激励信号的相位进行偏移设置和相位偏置扫描，以优化放大器输入端口的匹配网络，找到放大器的最大增益点

$$\begin{bmatrix} S_{DD11} & S_{DD12} & S_{DC11} & S_{DC12} \\ S_{DD21} & S_{DD22} & S_{DC21} & S_{DC22} \\ S_{CD11} & S_{CD12} & S_{CC11} & S_{CC12} \\ S_{CD21} & S_{CD22} & S_{CC21} & S_{CC22} \end{bmatrix}$$

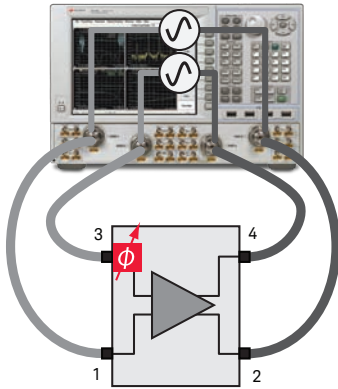
混合模式 S 参数。



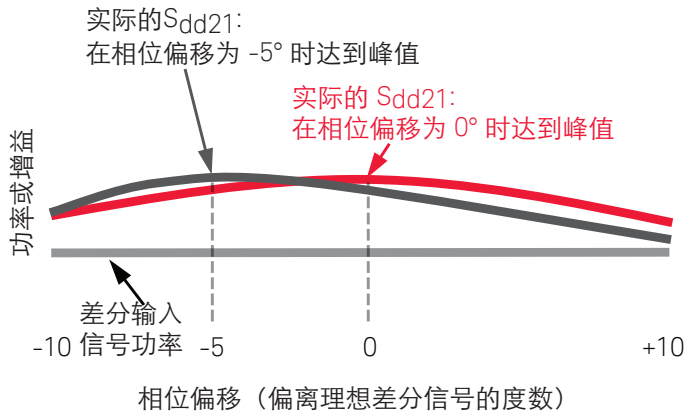
如果不进行失配校正的话，从被测器件的输入端反射回来的信号回到信号源之后再被反射回来，被反射的信号叠加在原来的信号上，导致信号相位和幅度的不平衡，这样就无法给被测器件提供真正的差分激励信号。这种失配的影响可以通过失配误差校正来解决。



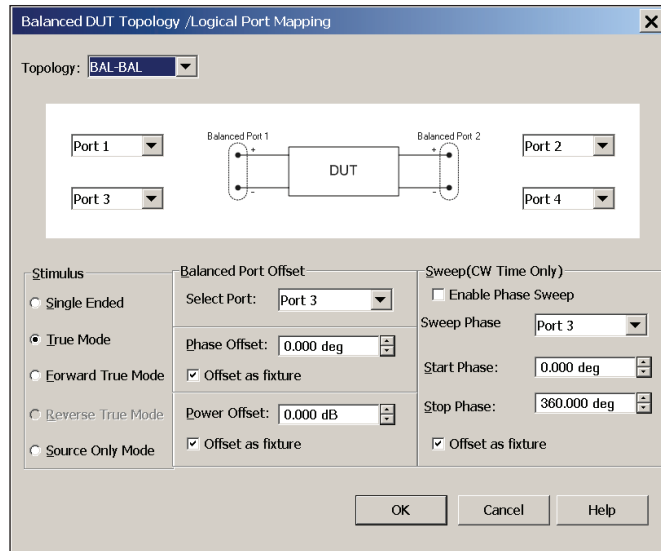
iTMSA 通过测量矢量网络分析仪和被测器件的匹配来补偿失配误差，在测量的基准面上准确地对两个信号的相位和幅度进行调整，生成非常理想的真正差分模式的激励信号。



相位偏移扫描功能可以改变相位偏移的值，就好像是由测量夹具引入了相位偏移一样，这个功能让工程师能够对输入匹配电路进行验证。



通过虚拟夹具实现相位偏移扫描，找出能够使放大器的增益达到最大的最优化的相位偏移点。对于设计输入匹配电路来说，这是最基本的工作。



平衡被测器件拓扑结构 (Balanced DUT Topology) 对话框提供各种激励和扫描设置，您可以进行正确的设置，以便更好地表征器件特性。

专家提示

- 只在输入端提供真正激励模式的前提是假设被测器件输出端口与 VNA 测试端口之间完美匹配，尤其在被测器件的反向隔离较高时，非常适合采取这样的假设。当反向隔离较低时，在输出端口添加衰减器可以提高系统的匹配程度并减少失配误差。
- 在使用相同差分功率条件下，通过比较单端和真实激励条件下的测试结果可知，设置真正差分激励模式的端口功率必须比单端激励模式的端口功率低 6 dB。

单端激励

0 dBm 端口功率 = -3 dBm 差分功率 + -3 dBm 共模功率

真实差分激励

-3 dBm 端口功率 = -6 dBm 端口 1 上的单端口激励功率 + -6 dBm 端口 3 上的单端口激励功率

创新的应用

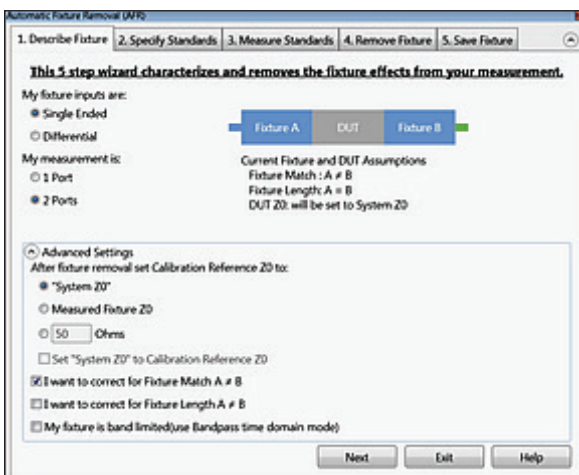
功能强大、快速和精确的自动夹具移除 (AFR)

(选项 007)

功能强大的 AFR 功能可以满足许多测量的需求

- 单端和差分器件
- 夹具左右两侧可以是非对称的
- 直通长度可以指定，或根据开路或短路测量结果确定
- 带通时域模式适用于测试带宽有限的器件
- 可利用外推法匹配被测器件的频率范围
- 功率校正功能可补偿随频率变化的夹具损耗
- 去嵌入文件可保存为多种格式，以便日后在 PNA、ADS 和 PLTS 中使用

AFR 是从测量结果中去除夹具影响的最快捷方法



测量挑战

如今，许多器件没有同轴连接器，因此同轴环境中测量需要使用夹具固定。保证被测器件 (DUT) 的测量精度需要精确移除夹具效应。

向导程序分五步引导您完成表征夹具特性并从测量结果中去除其影响的过程。

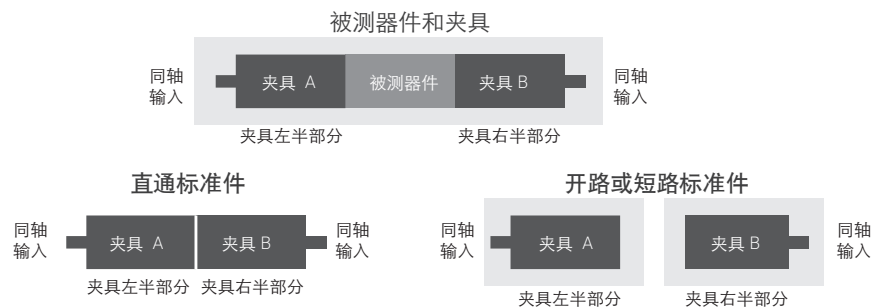
不使用 AFR 的传统方法

要表征夹具特性并从测量结果中去除其影响，需要在电磁仿真软件中进行复杂的建模，或在电路板上加入多个校准标准件。

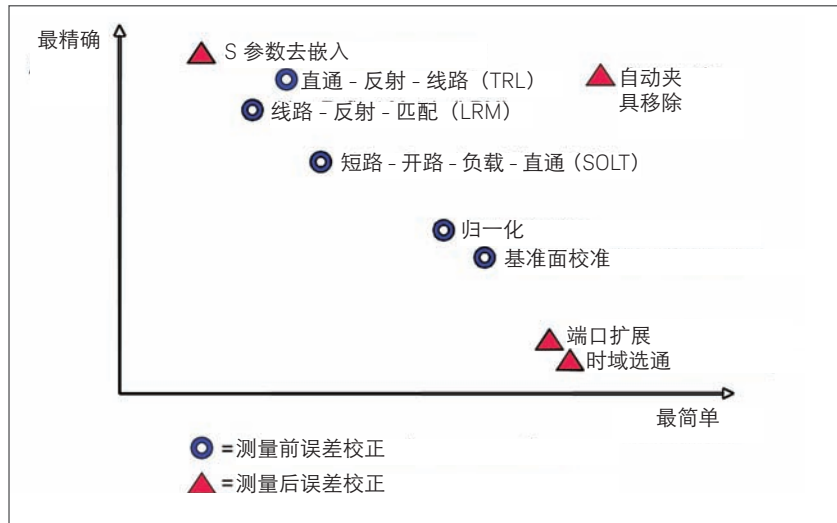
使用 AFR 的新方法

首先在夹具输入端的基准面上对同轴器件进行校准。然后测量一个或多个设计作为夹具 2 端口直通件的标准件，或测量使用开路或短路半端接的夹具。

或者可以采用更快的方法：在安装被测器件之前，将实际夹具作为开路标准件单独进行测量。AFR 会自动表征夹具并从测量结果中去除夹具的影响。

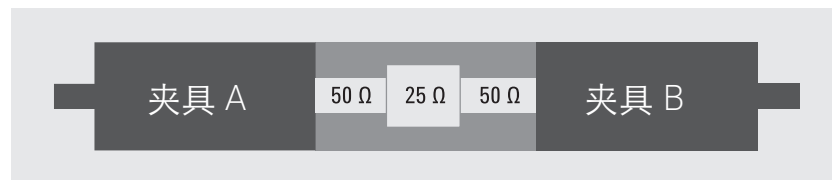


AFR 的测量精度可以与板上 TRL 校准方法相提并论，但更容易实施。



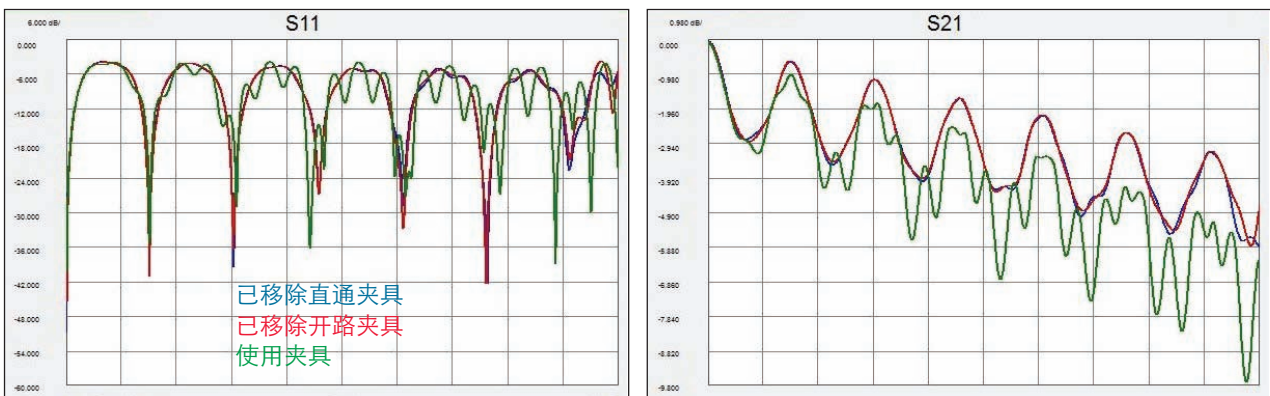
各种夹具测量误差校正方法的对比

测量示例



Beatty 标准被测器件

在下图中，绿色轨迹是在移除 AFR 夹具之前测量 Beatty 标准被测器件的结果。红色轨迹是移除 AFR 开路标准件夹具之后测量被测器件的结果。蓝色轨迹是移除 AFR 直通标准件夹具之后测量被测器件的结果。被测器件测量结果中已去除了夹具失配和长度的影响。AFR 开路和直通标准件夹具的特性表征结果显示出了良好的关联性。



频域 S11 和 S21 测量结果

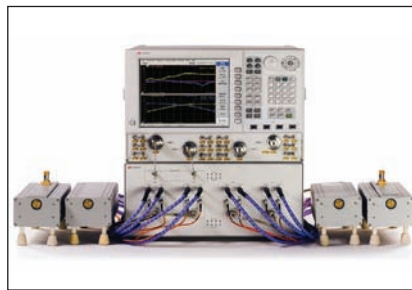
创新的应用

把 PNA-X 的应用扩展到毫米波频率范围

PNA-X 独特的硬件体系结构具有多种优点：

- 即可以有 2 端口的配置，也可以有 4 端口的配置，测量各种单端结构或平衡结构的毫米波器件
- 内置的两个信号源在毫米波频段也能在真实差分激励模式下工作
- 内置的脉冲源、脉冲调制器和接收机选通测量能力构成了综合的毫米波脉冲参数测量解决方案
- 使用先进的信号源功率校准方法保证在毫米波频段信号源功率的精度也很高
- 可以直接与 50 GHz PNA-X 驱动的大赫兹模块相连接
- 凭借 67 GHz PNA-X 和毫米波扩展模块，可以实现 10 MHz 至 110 GHz 单次扫描的网络分析，并可提供全面的功率控制功能

2 端口和 4 端口配置



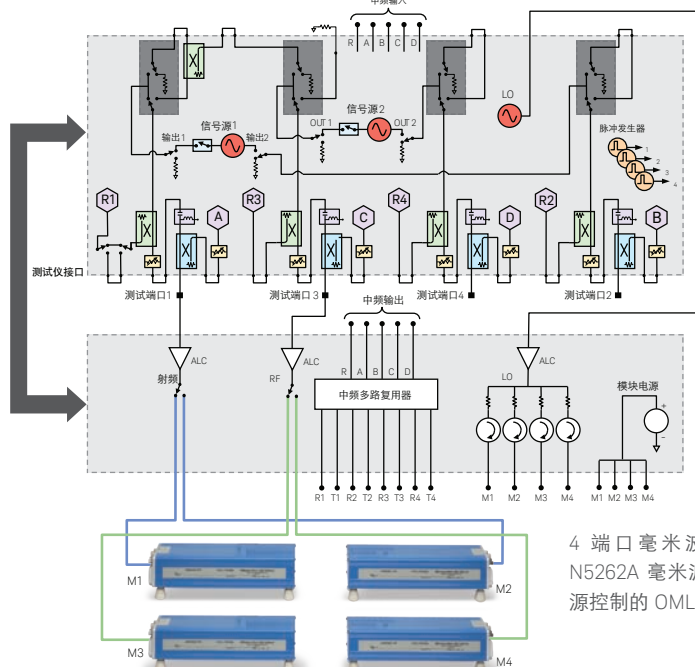
N5262A 毫米波测试仪控制器把四个毫米波测量模块与 PNA-X 连接起来。如果要配置成 2 端口的情况，可以使用 N5261A 毫米波测试仪控制器。

从 10 MHz 到 110 GHz 的 4 端口单次扫描



基于 PNA-X 的 110 GHz 系统具有 2 端口和 4 端口两个版本，提供功率控制、真实的差分激励，并可以使用 SMC 测量频率转换器。这些台式仪器是 8510XF 系统的替代产品，具有优越的系统性能。

4 端口测量系统体系结构



4 端口毫米波测量系统的框图，使用 N5262A 毫米波测试仪控制器和基于相干源控制的 OML 模块。

太赫兹测量方案

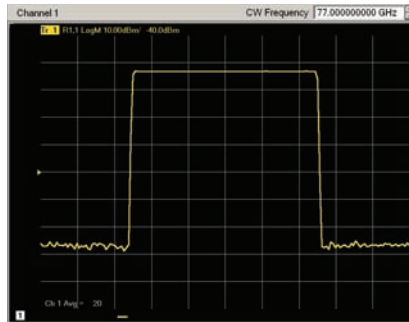


把 VDI 公司的模块直接与 50 GHz PNA-X 连接起来，使 S 参数的测量频率可以达到 1.05 THz。

PNA-X 在毫米波测量领域的应用

综合的脉冲参数测量

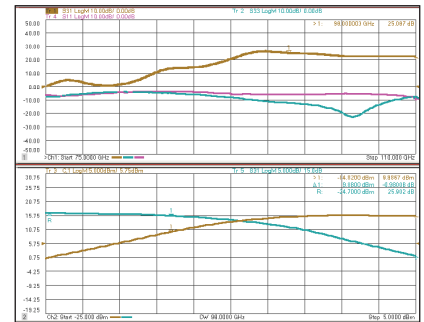
PNA-X 内置的脉冲调制器可以为毫米波测量模块提供脉冲射频信号，以便在毫米波频段上轻松完成脉冲参数的设置和测量。



使用 PNA-X 内置的脉冲信号源和中频选通功能测量得到的 77 GHz 的脉冲包络。

增益压缩

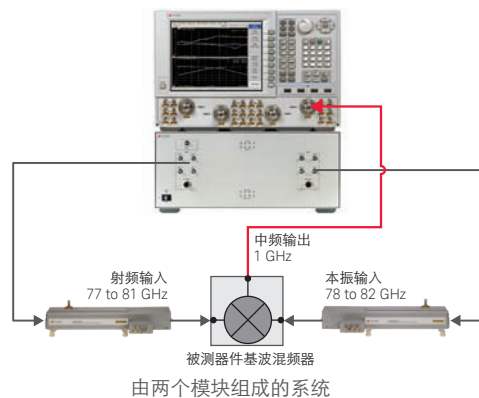
应用经过校准的信号源功率扫描测量方法，PNA-X 可提供业内最精确的毫米波器件增益压缩测量结果。



对已经封装好的 PHEMT 75 GHz 至 110 GHz 晶体管放大器进行增益压缩测量得到的结果。

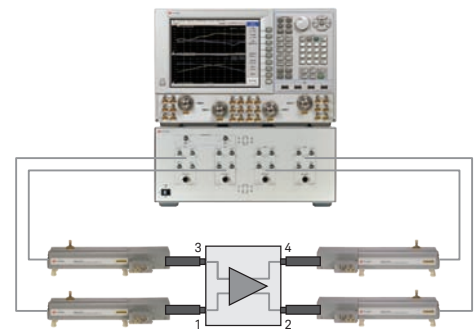
标量混频器测量

由两个模块组成的测量系统可以给毫米波混频器提供基本的射频和本振信号，以测量变频损耗。



在毫米波频率范围内进行真实差分激励模式的测量

- 使用最先进的误差校正方法，测量精度在业内最高
- 综合的相位扫描和功率控制



使用 PNA-X、N5262A 毫米波测试仪控制器和 4 个毫米波测试模块对平衡 LNA 进行真实差分激励的测量。

专家提示

- 使用一个 4 端口的 N5262A 测试仪控制器来配置两个不同的 2 端口波导波段的设置。
- 如果您没有毫米波频段的功率传感器，您仍可以用 PNA-X 内置的基准接收机建立一个功率校准表，这样可以保证毫米波测量模块信号源功率变化的相对精度。
- 对于不需要使用测试仪控制器的应用情况，用户可以下载是德科技编写的宏指令程序，这样可以很容易地对直接连接的毫米波测试仪进行配置。

创新的应用

非线性波形和 X 参数表征

(选项 510、514、518 和 520)

大功率器件设计所面临的挑战

- 有源器件经常非线性区域工作，这样设计是为了提高功率效率、器件对信息的处理容量和输出功率
- 在大信号激励的工作条件下，有源器件的时域波形会发生失真，产生谐波信号、互调失真和频谱的再生
- 当前使用的电路仿真软件依靠 S 参数和有限的非线性特性模型，不能完全对器件和系统的非线性特性进行分析和预测
- 为了满足尽快把产品推向市场的迫切要求，没有太多的时间可以让设计人员做更多的产品迭代设计



非线性范畴中的 S 参数

在过去，当设计大功率放大器（HPA）系统的时候，设计人员会先用矢量网络分析仪测量放大器的 S 参数，把测量结果应用到射频仿真软件中，再添加上测量得到的或通过建模得到的电路元件的信息，最后进行仿真来预测系统的性能，例如系统在不同负载条件下的增益和功率效率等。

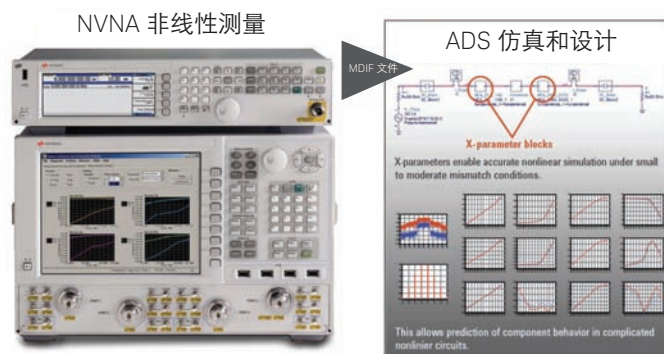
因为 S 参数假定系统中的所有元件都是线性的，当放大器处于压缩或饱和模式时，该解决方案无法像实际的 HPA 一样很好地仿真放大器的性能。在对具有非线性特性的两个级联器件的总体性能进行仿真时，这种误差更为明显。虽然设计工程师们可以忍受这种不精确性，但这同样也会造成在设计过程中大量使用昂贵的基于经验的迭代实验，给产品设计和验证过程增加了大量的时间和成本。

精确表征非线性特性的突破性技术

在今天，测量大功率器件要求使用另外一种解决方案——能在大信号条件下快速而精确地测量并显示器件的非线性特性，并提供一种非常准确的特性模型用于线性和非线性电路仿真中。是德科技非线性矢量网络分析仪（NVNA）和 X 参数技术就提供这种解决方案。

是德科技屡获殊荣的 NVNA 超越 S 参数的范畴，可以做到：

- 在实际的工作环境中高效、精确地分析和设计有源器件与系统，最多可以把设计周期缩短 50%
- 通过对器件执行完整的非线性特性表征，可以深入了解器件的重要特性（选件 510）
 - 显示同轴结构、带测试夹具的或晶圆上的被测器件端口上经过校准的输入信号、反射信号和传输信号的时域波形
 - 显示所有谐波和失真频谱产物的幅度和相位信息，以设计出最优化的匹配电路
 - 创建用户定义的显示界面，例如动态负载线
 - 测量结果完全可以追溯到美国国家标准与技术研究所（NIST）的标准
- 使用功能强大的 X 参数（需要配置选件 514）快速测量被测器件的非线性特性
 - 将线性的 S 参数扩展到非线性工作区域，使用测量得到的数据精确地预测级联非线性器件的特性
 - 很容易将非线性矢量网络分析仪测得的 X 参数导入是德科技的先进设计系统（ADS），快速而精确地仿真和设计非线性元器件、模块和系统
- 测量自热和信号相关偏置变化等记忆效应（需要配置选件 518）
- 使用 X 参数和外部阻抗调谐器（选件 520）捕获器件所有与负载相关的非线性特性



使用 Keysight NVNA 测量器件完整的线性和非线性特性，然后再用 Keysight ADS 精确地进行仿真和优化。



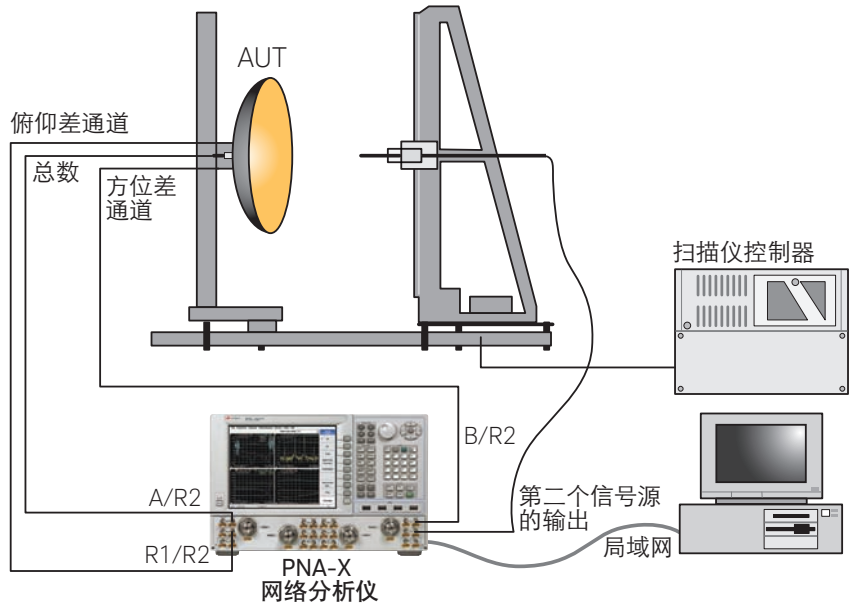
结合使用 Keysight NVNA 软件选件和附件，4 端口 Keysight PNA-X 网络分析仪便可成为一台高性能的非线性矢量网络分析仪。

创新的应用

快速而精确的天线测量 射频子系统

天线测量和雷达横截面 (RCS) 测量面临的挑战

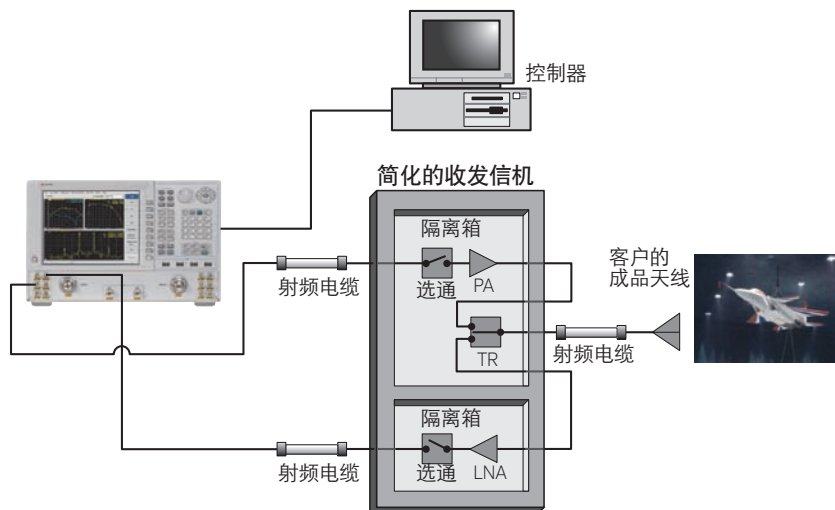
- 必须要采集大量的数据点，因而测量需要的时间很长
- 在远场测量和 RCS 测量中，被测信号可能小到已经接近测试接收机的本底噪声，导致测量结果中有很大的噪声
- 许多天线测量系统的软件专为 8530A 天线接收机而编写，这一型号已经停产且过了提供技术支持的时间



PNA-X 在近场天线测量中的配置

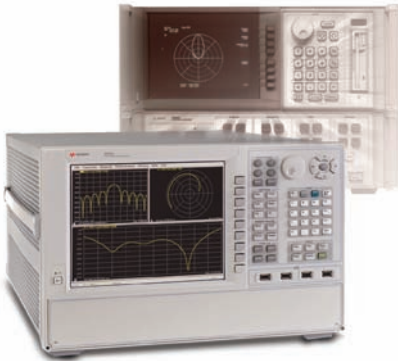
基于 PNA-X 的天线测量解决方案可以提供：

- 系统设计极为灵活：使用标配的 PNA-X 或以 PNA-X 硬件为基础的 N5264A 低成本专用测量接收机
- 极快的测量速度：5 个测量接收机同时采集数据，每个接收机每秒钟可测量 40 万个数据点，比 8530A 测量系统快 3 至 5 倍
- 大容量先进先出 (FIFO) 数据缓冲器可以容纳 5 亿点的数据，能够采集海量数据
- 通过使用可选择的中频带宽和点平均工作模式可以极大地提高测量灵敏度
- 内置 8530A 代码仿真工具可以实现新旧系统的顺利过渡



PNA-X 在雷达横截面测量中的配置

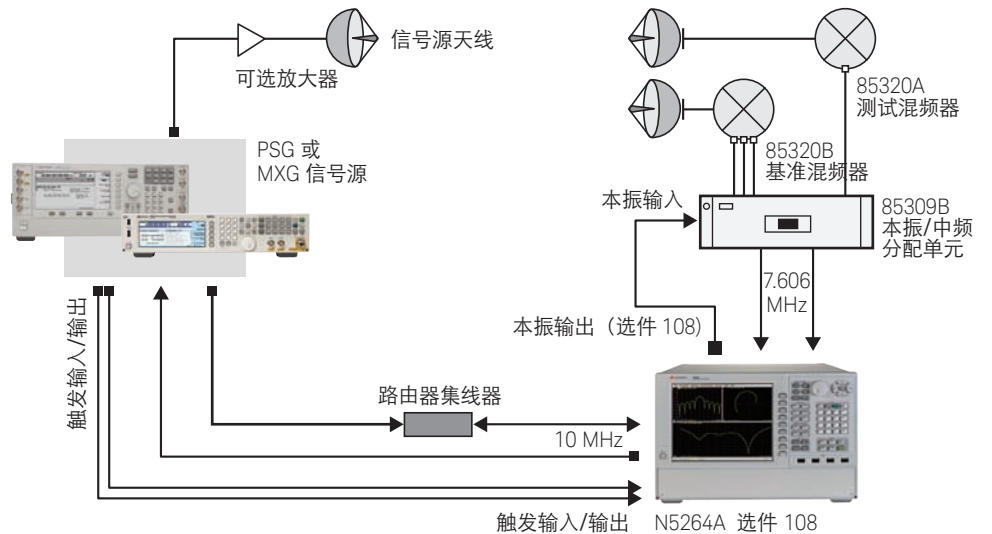
为什么需要把 8530A 天线测量系统升级到新的 PNA-X 测量接收机？



- 8530A 系统已经停产废型，对这些系统的维护越来越困难
- PNA-X 测量接收机具有以下优势：
 - 内置 8530A 代码仿真功能，用户可以充分利用现有的测量软件
 - 与现有的 8530A 系统的其他器件完全兼容
 - 数据采集速度提高了 80 倍
 - 包含一个可选的内置大功率信号源（选件 108），可用作远程混频器或频率转换器的本振信号

怎样选择最佳的 天线测量接收机？

应用	N5264A 测量接收机	N524xA PNA-X	注释
近场测试	不适用（需要外部信号源）	适用	使用内置信号源可获得更快的测量速度 可利用 VNA 测试通用器件
紧缩场测试	适用	适用	取决于天线测试场的范围
远场测试	适用	不适用（成本太高）	通过适当地部署各个系统部件的分布位置， 采用分布式方法可以提高测量灵敏度
射频脉冲测试	不适用	适用	PNA-X 内置有脉冲发生器和脉冲调制器， 可以使测量系统的配置相当简单

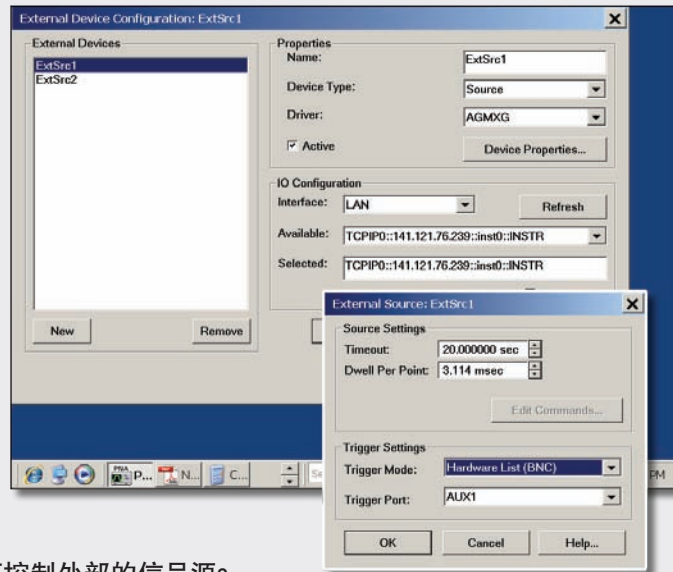


用于远场测量的 PNA-X 测量接收机配置（也可使用配有中频输入选件 020 的 PNA-X）。

创新的应用

快速而精确的天线测量 射频子系统（续）

专家提示

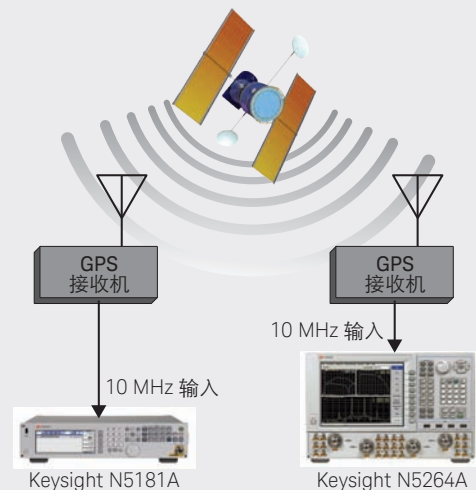


如何控制外部的信号源？

1. 通过 LAN 或 GPIB 把 PNA-X 与信号源连接起来
2. 使用 External Device Configuration（外部器件配置）功能
3. 在 Properties（属性）选项卡上执行以下操作：
 - 输入外部信号源的名字，将 Device Type（器件类型）设为 Source（信号源），然后选择恰当的驱动程序
 - 在 Device Properties（器件属性）设置栏中，在两种触发模式之间进行选择：Software CW（无需连接触发信号的电缆，但是速度较慢）或 Hardware List（速度很快，但是需要提供 TTL 触发信号）
 - 如果 PNA-X 和信号源之间的距离太远（超过 40 米）而不能使用 BNC 电缆提供触发信号时，使用 Keysight E5818A 触发盒和 LAN 集线器即可很好地完成触发功能

当 PNA-X 和信号源之间的距离太远而不能使用 BNC 电缆时，如何为 PNA-X 和信号源提供共同的 10 MHz 基准信号？

- 使用低成本的 GPS 卫星接收机以获得高精度的 10 MHz 基准信号
- 把一个 GPS 接收机放在发射源的附近，另外一个放在靠近 PNA-X 的地方
- 这种方法适用于任意距离的工作范围，从几百米到几公里都可以



出色的性能

技术指标和特性比较

	N5249A N5241A N5242A	N5244A N5245A	N5247A
频率范围	10 MHz 至 8.5 GHz 10 MHz 至 13.5 GHz 10 MHz 至 26.5 GHz	10 MHz 至 43.5 GHz 10 MHz 至 50 GHz	10 MHz 至 67 GHz
系统动态范围, 20 GHz	121 至 130 dB, 取决于配置 124 至 141 dB, 直接接入测量接收机 (典型值)	121 至 125 dB, 取决于配置 133 至 137 dB, 直接接入测量接收机 (典型值)	122 至 129 dB, 取决于配置 136 至 140 dB, 直接接入测量接收机 (典型值)
测试端口的最大输出功率 (20 GHz)	+13 dBm (选件 200、400) +10 dBm (选件 219、419) +15 dBm (选件 224) +10 dBm (选件 423)	+13 dBm (选件 200、400) +10 dBm (选件 219、419) +10 dBm (选件 224、423)	+11 dBm (选件 200、400) +8 dBm (选件 219、419) +7 dBm (选件 224、423)
最大功率扫描范围	38 dB		
经过校正后的技术指标 ¹	(2 端口校准, 3.5 毫米) Dir 44 至 48 dB SM 31 至 40 dB LM 44 至 48 dB Refl trk +/-0.003 至 0.006 dB Trans trk +/-0.015 至 0.104 dB	(2 端口校准, 2.4 毫米) Dir 36 至 42 dB SM 31 至 41 dB LM 35 至 42 dB Refl trk +/-0.001 至 0.027 dB Trans trk +/-0.020 至 0.182 dB	(2 端口校准, 1.85 毫米) Dir 34 至 41 dB SM 34 至 44 dB LM 33 至 41 dB Refl trk 0.01 至 0.33 dB Trans trk 0.061 至 0.17 dB
轨迹噪声	0.002 dB rms (1 kHz 宽带)		
谐波	10 MHz 至 2 GHz > 2 GHz -51 dBc 典型值 -60 dBc 典型值		

1. Dir = 方向性, SM = 源匹配, LM = 负载匹配, Refl trk = 反射跟踪, Trans trk = 传输跟踪

PNA-X 的配置信息

PNA-X 网络分析仪

可用选项

	描述	其他信息
测试仪		
选项 200	双端口, 单信号源	
选项 224	双端口, 添加第 2 个内置信号源、合路器和机械开关	需要选项 200, 219 或 H85 中的一个, 以及选项 080
选项 400	4 端口, 双信号源	推荐选项 080
选项 423	四端口, 添加内部合路器和机械开关	需要选项 400, 419 或 H85 中的一个, 以及选项 080
功率配置		
选项 219	2 端口, 扩展功率范围并配有偏置 T 型接头	
选项 419	4 端口, 扩展功率范围并配有偏置 T 型接头	
选项 H85 ¹	大功率可配置 (用于 2 或 4 端口)	
测量应用软件		
选项 007	自动夹具移除	需要 Windows 7 操作系统 (升级套件 N8983A) 和 N52xxAU-007
选项 010	时域测量	
选项 028 ²	使用标准接收机测量噪声系数	需要选项 082 或 083 以测量频率转换器
选项 029 ²	全面校正的噪声系数测量	需要选项 080, 对于 N5241/42A, 还需要选项 219、224、419、423 或 H85 中的一个选项。N5244/45/47A 需要选项 224 或 423。N5247A 上的噪声接收机只能在 50 GHz 的频率上工作。在测量频率转换器时, 需要选项 082 或 083。
选项 080	频偏	
选项 082 ³	标量校准转换器测量	需要选项 080
选项 083 ³	矢量和标量校准转换器测量	需要选项 080
选项 084	嵌入式本振测量	至少需要选项 028、029、082、083、086 或 087 中的一个
选项 086	增益压缩应用软件	推荐使用选项 219、419 或 H85, 测量频率转换器时需要使用选项 082 或 083
选项 087	互调失真应用软件	需要使用选项 224 或 423, 测量频率转换器时需要使用选项 082 或 083
选项 088	信号源相位控制	
选项 089	差分及 I/Q 器件	需要使用选项 080 和 400、401、410、417 或 419
选项 460	集成的真实模式激励应用软件	需要选项 400
选项 551 ⁴	N 端口功能	
非线性矢量网络分析		
选项 510	非线性元器件表征	需要选项 419 和 080 或 400、H85 和 080
选项 514	非线性 X 参数	需要选项 423 和 510
选项 518	非线性脉冲包络域	需要选项 021 和 025, 以及选项 510 或 514 中的一个
选项 520	任意负载阻抗 X 参数	需要选项 514
需要 NVNA 附件		

- U9391C 10 MHz 至 26.5 GHz 或 U9391F 10 MHz 至 50 GHz 或 U9391G 10 MHz 至 67 GHz 梳状发生器 (非线性测量需要配置 2 个)
- 是德科技功率计和传感器或 USB 功率传感器
- 是德科技校准套件, 机械校准件或电子校准件
- 是德科技信号发生器 MXG 或 PSG, 用于提取 X 参数 (内置 10 MHz 基准输出可用于 10 MHz 音频间隔应用)

1. 订购专用型号 N524xAAS 可取代 N524xA; 双端口可添加选项 N524xA-200 和 N524xAAS-H85 来扩展功率范围和实现大功率配置; 4 端口需要用选项 N524xA-400 和 N524Xas-H85 来扩展功率范围和实现大功率配置。其他标配选项可通过订购选项 N524xA-xxx 来获得。选项 H85 包括了选项 219 和 419 扩展的功率范围, 因此二者不能同时订购。
2. 对于信号源校正测量, 除了订购 N5241/42/49A 的选项 028 和 029 之外, 还需要订购一个电子校准件当作阻抗调谐器使用。N5244/45/47A 型号包括内置的阻抗调谐器。对于校准测量, 除了订购选项 029 之外还需要订购一个 346 系列噪声源 (推荐 Keysight 346C) 或功率计, 而如果订购选项 028, 则需要订购一个功率计。在测量混频器和转换器时, 所有选项都需要配合功率计使用。
3. 选项 083 已经包括了选项 082 的功能, 因此两者无需同时订购。
4. 当需要把 PNA-X 配置为多端口分析仪时, 需要配置选项 551 和多端口测试仪; 选项 224 或 423 所包含的内置合路器功能会临时失效。当 PNA-X 作为独立的分析仪使用时, 上述内置合路器的功能会恢复。当订购测试仪时, 需要选择适当的选项作为分析仪和测试仪之间的互连跨接电缆装置。

PNA-X 的配置信息

PNA-X 网络分析仪

可用选件 (续)

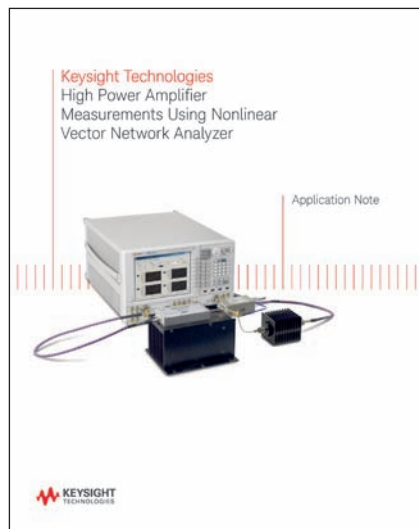
	描述	其他信息
脉冲、天线、毫米波		
选件 008	脉冲射频测量	需要选件 025
选件 020	针对天线和毫米波应用添加中频输入	
选件 021	将脉冲调制器添加到第一个内部信号源	
选件 022	将脉冲调制器添加到第二个内部信号源	需要选件 224 或 400
选件 025	添加四个内置的脉冲发生器	
选件 118	快速连续波扫描	
附件		
选件 1CM	不带提手的机架安装套件	
选件 1CP	带提手的机架安装套件	
校准软件		
选件 897 ¹	内置高性能测试软件的永久许可证, 适用于是德科技的全面校准	
选件 898 ¹	内置高性能测试软件的永久许可证, 适于标准一致性校准	
校准证书		
选件 1A7	ISO 17025 一致性校准	
选件 UK6	包含测试数据的商业校准证书	
选件 A6J	ANSI Z540 一致性校准	

1. 还需要其他硬件。请参阅分析仪的《服务指南》，查看维修所需要的测试设备。

其他信息

下载最新的 PNA-X 应用指南: 收藏本页并下载最新的 PNA-X 应用指南, 以便深入了解测量知识。

从网上得到是德科技工厂的专家对矢量网络分析仪应用问题的回答: 加入是德科技在线网络分析仪论坛, 可以和是德科技的专家们互动讨论有关校准、应用、产品和编程的问题, 您能够得到您在测量、设计中遇到的最困难问题的答案, 还可浏览以前讨论过的主题。



www.keysight.com/find/pnaxapps

www.keysight.com/find/na_forum

增强测试信心

无论测试的是有源器件还是无源器件，速度和性能的最佳组合都可使您占据优势。在研发过程中，我们的矢量网络分析仪可提供出色的测量完整性，帮助您更深入地分析被测器件性能，实现更完美的设计。在生产线上，我们经济高效的 VNA 能够提供适合需要的吞吐量和可重复性，将部件转化成具有竞争力的元器件。在现场测试应用中，无论您在哪里，我们的手持式分析仪都能够提供高品质的测量。每一台 Keysight VNA 都能充分体现是德科技在线性和非线性器件表征方面的专业水平。无论是在工作台上、机架中或是在现场进行测量，我们都能帮助您获得更强大的信心。

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.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。

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。

www.keysight.com/find/pna

www.keysight.com/find/pnaxapps

www.keysight.com/find/na_forum

*X 参数是是德科技公司在美国、欧盟、日本及其他国家或地区的注册商标。X 参数格式和基础方程是公开的并存档。如欲了解更多信息，请访问：

<http://www.keysight.com/find/eesof-x-parameters-info>

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

