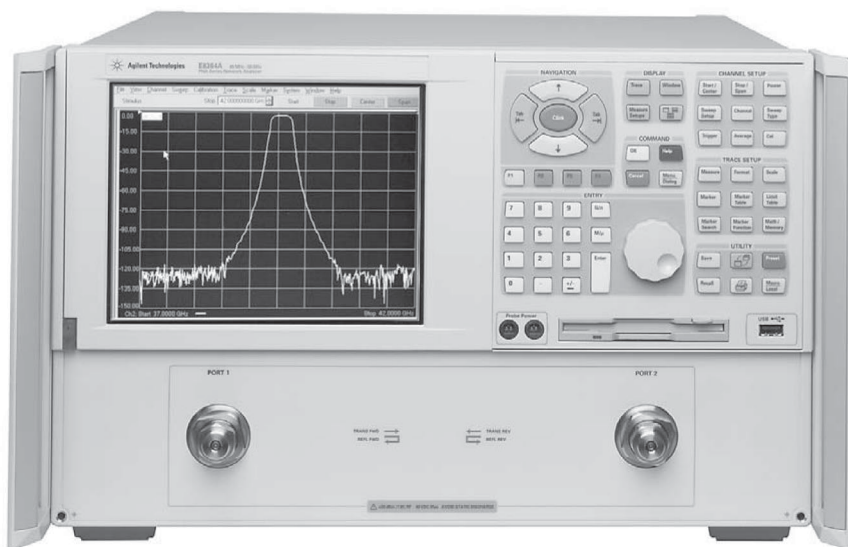


Agilent 微波 PNA 系列网络分析仪

应用指南 1408-7

放大器的线性和增益压缩测量



目录

引言	2
几个定义	3
传输测量	4
反射测量	9
增益压缩	10
精度分析	15

引言

这份应用指南涉及利用Agilent公司的微波(MW)PNA系列矢量网络分析仪对放大器的线性S参数和增益压缩进行测试。MW PNA系列还可用于测试放大器的非线性参数，如谐波和互调失真。Agilent 应用指南1408-8和1408-9分别涉及谐波和互调失真测试的内容。

放大器乃是微波系统的一个基本组成部件，确定放大器的性能是设计过程中的关键因素。按惯例，网络分析仪用于线性放大器测量，而频谱分析仪则用于非线性测量，如谐波和互调失真。然而，包括Agilent MW PNA系列在内的许多现代网络分析仪通过启动频偏功能，也能用于非线性测量。

几个定义

在这份应用指南中，被测件(DUT)是具有下列指标的放大器。

频率范围	0.10 ~ 1000MHz
最小的信号增益	20dB
输入驻波比(SWR)	1.5:1
输出驻波比	2.0:1
输出1dB压缩	+ 3dBm

注

MW PNA(面板键)用括弧表示,而功能键则用黑体显示。“菜单项”指 Windows® 下拉菜单。

增益

放大器的小信号增益定义为向 Z_0 负载馈送的放大器输出功率与由 Z_0 源馈送的输入功率之比,这里 Z_0 是放大器所使用的特性阻抗(50 Ω)。用对数表示时,增益是在特定频率处输出功率电平与输入功率电平之差(dB)。

反向隔离度

反向隔离度是从输出端向输入端传输的测度。对隔离度的测量与测量小信号增益相似,只是激励加在放大器的输出端。

线性相位偏离

在理想情况下,经过一个放大器的相移是所加频率的线性函数。不同于这个理论相移的变化量称之为线性相位偏离或相位线性度。

群延时

群延时是在特定频率上经过放大器的渡越时间的测度。它定义为相位响应对频率的导数。与线性相位偏离相似,群延时是放大器失真的测试。

回波损耗/驻波比

回波损耗是相对于系统阻抗,放大器的输入端和输出端匹配性能的测度。反射系数既包括反射信号的幅度信息,又包括反射信号的相位信息。回波损耗和驻波比则是考察反射系数的幅度部分。

增益压缩

放大器有一个线性增益区,在此区域内,增益与功率电平无关。这个增益通常称为小信号增益。随着输入功率增大到引起放大器趋近饱和的电平,增益将降低,从而导致大信号响应。在这份应用指南中,1dB增益压缩定义为相对于小信号增益,放大器增益下降1dB处的输入功率电平。

传输测量

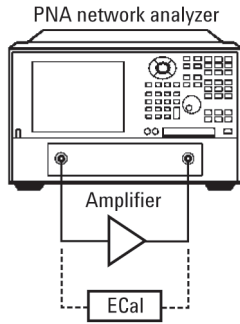


图1. 用于测试传输参数和反射参数的装置

注

预置时, MW PNA系列网络分析仪的源功率电平被设定到-17dBm, 端口1上的内部源衰减器被设定到0dB。若被测放大器可能被这个功率电平损坏或会工作在它的非线性区, 则在设定到合乎要求的功率电平之前, 不要连接放大器。

步骤 1: 调整

传输测量的第一步是调整频率范围、功率电平、点数和中频带宽的激励设置。

[Preset]

[Start/Center]>Start 0.1[G/n]>Stop 1[G/n]

[Power]>Level-20[Enter]

除损毁电平外, 考虑网络分析仪的压缩电平也是适当的。在0.1 ~ 1GHz频率范围内, MW PNA接收机在+5dBm测试端口输入功率下具有0.6dB的压缩。

已知放大器的增益约为20dB而输入功率电平为-20dBm, 则结果是一个功率约为0dBm的信号入射到测试端口上。因此, 在本例中, 我们无需启动接收机衰减器。若需要, 接收机衰减器可以通过菜单项 **Channel, Power...**加以启动。

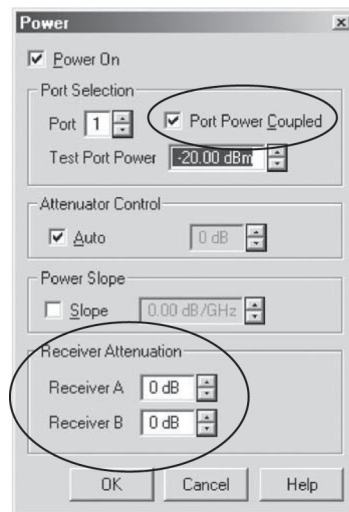


图2. MW PNA 内部接收机衰减器通过减少对外部衰减器的需要而使放大器测量更简便。

[Sweep Setup]>Points>401[Enter]

MW PNA系列允许用户测量多达16001个点。如果您有一个频率间隔很宽的放大器, 则测量更多的点能获得更好的频率分辨率。另一个办法是, 在宽频率范围内对许多点进行校准。然后, 对频率范围的一小段进行缩放, 仍然有优良的分辨率和许多已校点。

[Sweep Setup]>Bandwidth

验证网络分析仪的中频带宽是否设定到缺省值35kHz。35kHz也许是放大器增益测量的适当带宽, 因为增益测量并不要求最大动态范围而您又希望测量速度最快。如果您有一个作为被测件一部分的与放大器相连的大动态范围滤波器或者希望您降低系统噪声, 便可以减小带宽。MW PNA系列能提供1Hz ~ 40kHz的中频带宽范围。

高增益放大器考虑

在对高增益放大器进行测量时，有可能损坏测试端口耦合器、接收机衰减器或源/分路器组件。对于MW PNA而言，损毁电平如下：对测试端口为+20dBm（受源/分路器组件的限制），对耦合器和偏置-T形接头为+30dBm（如果源/分路器组件受源衰减保护），对接收机为+15dBm，而对接收机衰减器为+30dBm。MW PNA源衰减器（选件UNL）以10dB分档覆盖60dB范围。接收机衰减器（选件016）以5dB分档覆盖35dB范围。

如果放大器输出端与测试端口输入端相连，则对测试端口输入端不能加高于+20dBm的功率电平，因为高于+20dBm的功率电平将损坏源/分路器组件。如果您有源衰减器选件，则可以应用10dB或更大的源衰减，然后将+20dBm加到耦合器输入端。您还须通过接收机衰减器对接收机进行保护，尽管由于存在耦合器在测试端口与接收机之间至少有14dB的损耗。

如果放大器输出通过面板搭接线直接与接收机输入端相连，则信号未入射到源/分路器组件上，而是直接入射到接收机或接收机衰减器上。在这种情况下，若未使用接收机衰减器，损毁电平为+15dBm；而若接入接收机衰减器，损毁电平为+30dBm。如果您使用接收机衰减器，则可以将+30dBm送入搭接线输入端，应用15dB衰减并进行有效测量。

请注意，步骤1中提到的所有功率电平均为损毁电平。我们建议您将接收机的入射功率降低到远低于损毁电平，甚至低于压缩电平，以获得最精确的测量。

在对高增益放大器进行测量时，建议您采用“端口功率耦合”特性，以使端口1和端口2的功率去耦合。用低功率电平激励输入端或端口1，防止损坏输出接收机。用高功率电平激励输出端或端口2，以使隔离度测量或 S_{12} 测量不致接近网络分析仪的本底噪声。精确的 S_{12} 测量是精确2端口校准的基础。

步骤 2: 校准

二端口校准对放大器线性和增益压缩测量提供最高精度。Agilent公司的电子校准 (ECal) 模块使校准工作更加简便且不太容易发生用户差错。您可以访问下列网址对 ECal 做更详细的了解:

www.agilent.com/find/ecal.

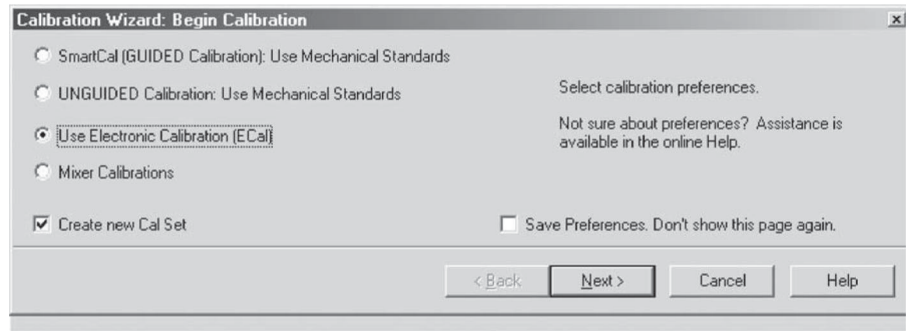


图3. MW PNA校准驱动程序简化了各种校准步骤

仿效 Calibration Wizard (校准驱动程序) 中推荐的步骤。利用指向校准装置的菜单选项将仪器状态作为文件 “amplifier.cst” 加以储存。

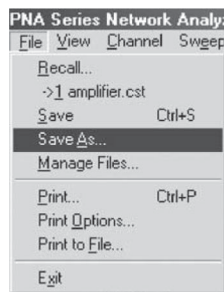


图4. 利用 MW PNA 的 Windows 2000 操作系统, 文件操纵像在您的个人计算机上那样容易

完成校准之后, 要验证校准是否有效。通过选择菜单选项 **View** 中

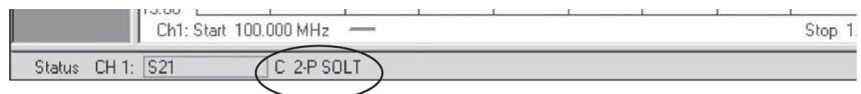


图5. MW PNA 状态条为您提供有价值的信息, 包括校准类型和状态。

步骤 3: 测量

下一步是将放大器接在端口 1 与端口 2 之间并进行测量。务必要加上任何一种偏置。

增益或 S_{21}

小信号增益是放大器在其线性工作区内的增益。通常，这是在扫频范围内、在恒定输入功率下测出的。

[Measure]>S₂₁

群延时

同线性相位偏离一样,群延时是放大器相位失真的测试。MW PNA 根据相位和频率信息来计算群延时并实时显示结果。这类测量可能需要特殊的群延时孔径。最小孔径等于频率间隔除以点数再减 1。增大孔径将降低群延时的分辨率, 但会降低迹线噪声。

线性相位偏离

线性相位偏离测量利用了 MW PNA 对放大器增加电延迟以去除相移线性部分的电延迟功率。

为了观察不同形式的增益, 通过利用预配置调整, 我们很容易利用 MW PNA 的多参数显示能力。为相位测量配置窗口 2, 为群延时配置窗口 3 以及为线性相位偏离配置窗口 4。

[Measure Setups]>Setup B

选择窗口 2. **[Measure]>S₂₁>[Format]>Phase**

选择窗口 3. **[Measure]>S₂₁>[Format]>Delay**

选择窗口 4. **[Measure]>S₂₁>[Format]>Phase**

[Marker]>[Marker function]>>Delay

将标记放在放大器频率间隔的中心, 然后启动电延迟功能。通过使相位响应变得平直, 便有效地消除经过被测放大器的线性相移, 而保留下与这个线性相移的偏离。

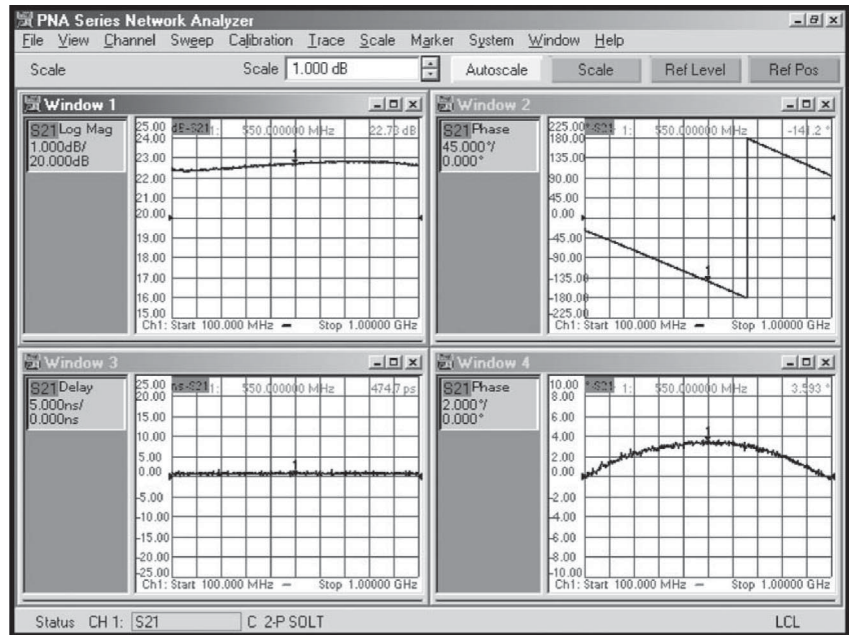


图 6. 利用 MW PNA 的 4 参数显示功能，在一个屏幕上观察多个放大器参数。

反向隔离度或 S_{12}

对于隔离度测量，激励加到端口 2 或放大器的输出端，同时测量端口 1 或输入端的信号电平。对于隔离度很大的放大器，MW PNA 系列的本底噪声可以通过减小中频带宽来降低。

这时，您可能想调用原始仪器状态，以从纯净迹线开始，或者可以去除上面步骤中增加的延迟。

[Recall]>ampl...cst

[Measure]>S12

反射测量

注

若被测放大器工作在它的非线性区，则应利用负载牵引技术来测量大信号 S_{22} 。传统的S参数测量与放大器在其线性区的工作情况有关。

步骤 1: 调整

反射测量可以采用与传输测量相同的调整来完成。

步骤 2: 校准

反射测量可以采用与传输测量相同的 2 端口校准来完成。

步骤 3: 测量

输入和输出回波损耗 - S_{11} 和 S_{22}

回波损耗和驻波比(SWR)通常是针对放大器的输入端口和输出端口规定的。利用 MW PNA 系列，您可以观察用回波损耗或驻波比形式给出的S参数。

首先建立 S_{11} 迹线，然后将 S_{22} 迹线增加到当前显示上。

菜单项 **Trace>[Measure]>S11>[Format]>[Format]>SWR**

菜单项 **Trace>New**

选择第二条迹线**[Measure]>S22**

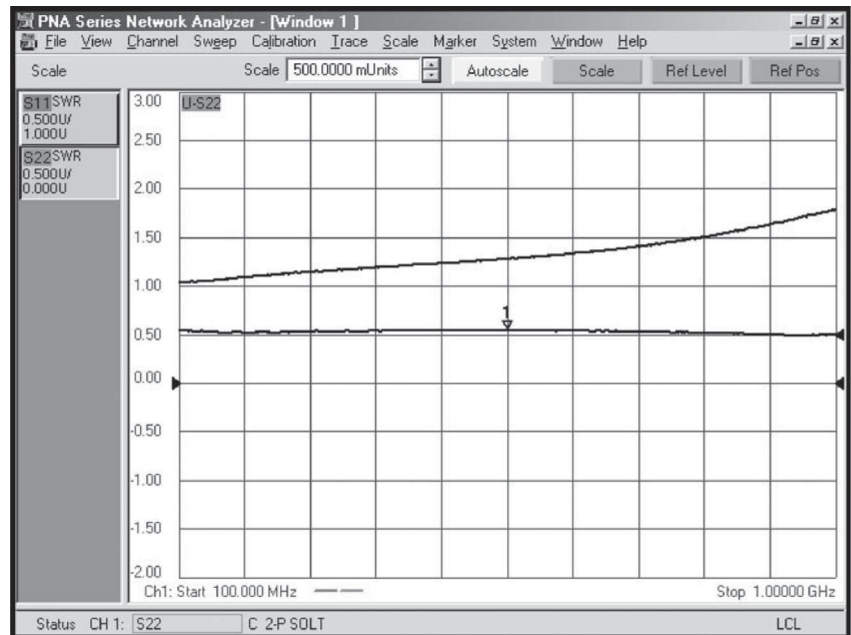


图7. 利用MW PNA测量放大器的输入和输出匹配

增益压缩

测量放大器的增益压缩有两种方法,即扫频增益压缩和扫描功率增益压缩。

扫频增益压缩

这种测量能使用户很容易确定第一次出现 1dB 增益压缩处的频率。这是通过对小信号增益进行归一化并观察随输入功率增大时的增益降低来实现的。

扫描功率增益压缩

将固定频率的功率扫描加到放大器的输入端,观察当增益从小信号值下降 1dB 时的增益压缩。所选择的固定频率通常是在扫频增益压缩第一次出现 1dB 压缩处的频率。

增益压缩可以用输入功率和输出功率来规定。由于增益压缩是在绝对功率电平上规定的,故要求绝对功率精确。利用 MW PNA 系列时,源功率校准(与功率计校准相同)提供输入功率精度,而接收机校准则提供输出功率精度。

步骤 1: 调整

在这个步骤中,我们将利用 MW PNA 系列的多通道和多迹线特点。对 MW PNA 进行如下配置:

	通道	扫描类型	迹线	频率	源功率	校准
扫频增益压缩	通道 1	频率扫描	1 条迹线, S_{21}	0.1~1GHz	-20dBm	2 端口校准
扫描功率增益压缩	通道 2	功率扫描	2 条迹线, S_{21} 和 B	0.1GHz	-25 ~ 0dBm	2 端口校准 Src Pwr Cal,Rcvr Cal

调用“amplifier.cst”仪器状态作为通道 1 的起始点。

[Recall]>ampl...cst

[Measure]>S21

利用菜单项 Trace, 配置有两条迹线即 S_{21} 迹线和 B 迹线的通道 2。务必选择通道 2, 因为网络分析仪的缺省通道为通道 1。“B”接收机测量允许观察放大器的绝对输出功率。利用菜单项 **Trace**, 然后利用 **More Types...**。不选择 **Ratioed Type**。

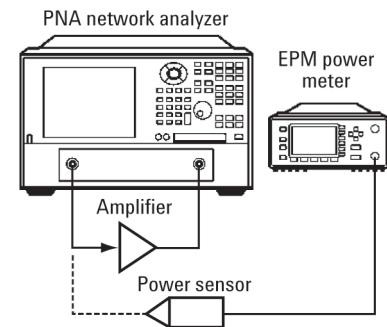


图 8. 增益压缩和扫描谱响应测量的测试装置

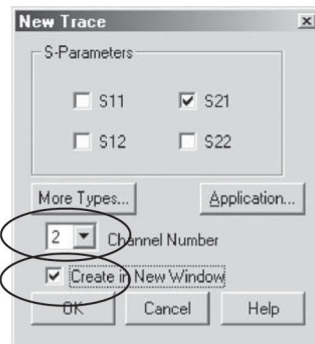


图 9. 用 S_{21} 迹线测量增益

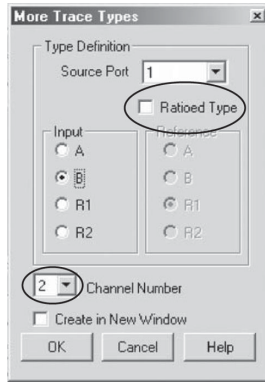


图 10. 图 B 迹线测量绝对输出功率

然后, 针对功率扫描(-25dBm ~ 0dBm)配置通道2。

[Sweep Type]>Power Sweep

[Power]>Start Power>-25[Enter]

Stop Power>0[Enter]

[Start/Center]>CW Freq>100[100/μ]

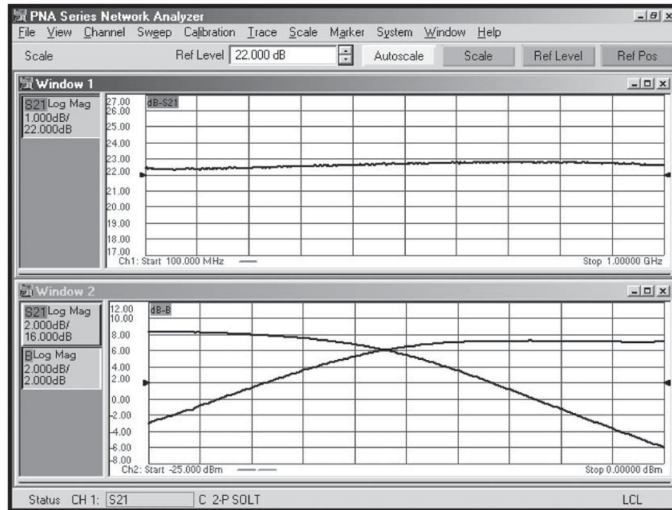


图 11. 将 S_{21} 迹线作为扫频增益压缩(上图迹线)和扫描功率增益压缩(下图迹线)的起始步骤进行配置。

在对测试装置进行校准之前, 应对测量作快速检查。通道1的 S_{21} 迹线将显示放大器的近似增益, 而通道2上的 S_{21} 和B迹线将显示典型增益压缩曲线。

步骤 2: 校准

完成调整之后, 在两个通道上进行校准。在通道1上, 您可以根据第一个步骤进行校准——2端口校准是适宜的。

在通道2上进行3次校准: (1) 对 S_{21} 迹线的2端口校准, (2) 对 S_{21} 迹线的源功率校准以及 (3) 对B迹线的接收机校准。利用 ECal 模块进行2端口校准。

源功率校准功能位于菜单项 **Calibration** 选项中。

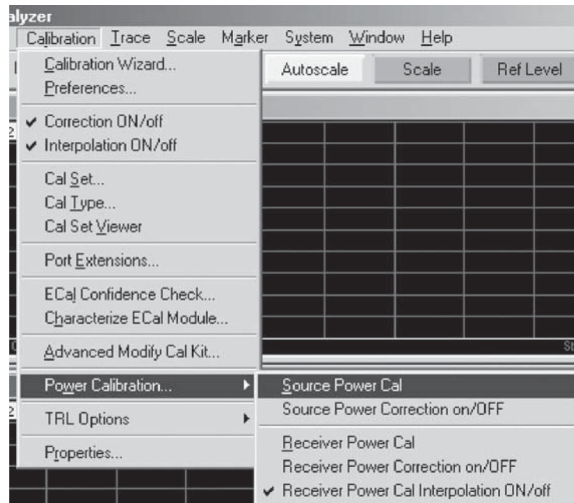


图 12. 源功率校准将功率计测量的精度传递至 MW PNA 源

将适当的功率传感器与测试端口 1 相连，然后进行校准。在 Source Power Cal（源功率校准）对话框中，应确保选择通道 2，因为通道 1 是缺省通道。

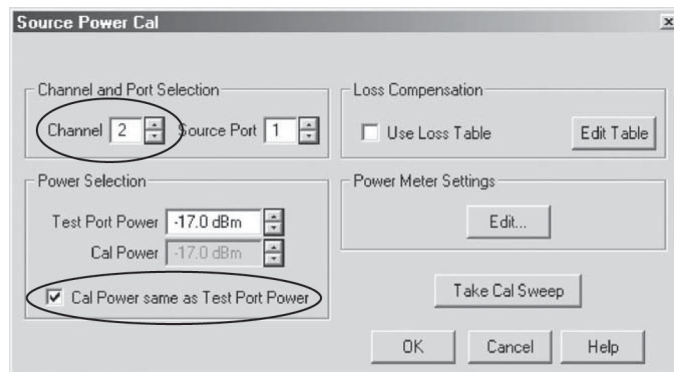


图 13. 源功率校准针对绝对功率精度调节网络分析仪的输出功率

然后进行接收机校准。与响应校准相似，接收机校准实质上是迹线归一化。接收机校准与响应校准之间的差别在于，接收机校准是在 B 接收机上进行并提供绝对精度，而响应校准则是进行 S_{21} 测量并提供相对精度。精确的接收机校准是从作为参考的源功率校准开始的。

在端口 1 与端口 2 之间进行直通连接并进行校准。

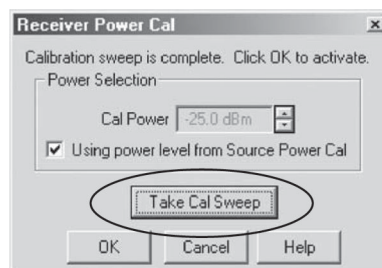


图 14. 接收机校准提供输出功率精度

步骤 3: 测量

完成两类校准之后, 连接上放大器并观察显示迹线。注意图15和16中的状态条。在图15中, 选择了 S_{21} , 状态条显示“2-P SOLT”和“Src Pwr Cal”。在图16中, 选择了B, 状态条显示“Rcvr Cal”和“Src Pwr Cal”。

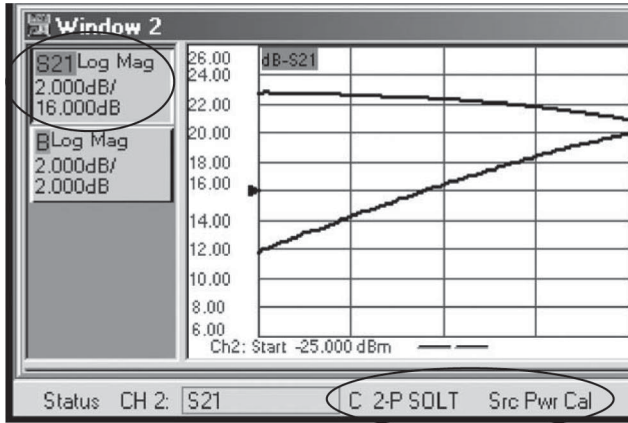


图 15. 2 端口校准应用于 S_{21} 迹线。

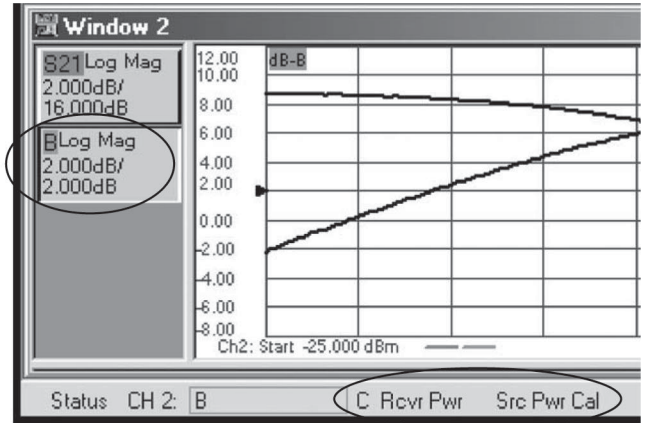


图 16. Rcvr 校准应用于 B 迹线

既然完成了校准, 便可开始进行增益压缩测量。

通道 1: 扫频增益压缩

选择通道 1 上的 S_{21} 迹线。利用 MW PNA 的数据存储功能对迹线进行归一化。

[Math/Memory]>Data>>Memory>Data/Mem

经修改的 S_{21} 数据迹线应显示 0dB。然后, 利用旋转旋钮提高源功率电平, 直到在某个频率点上迹线降低 1dB。

[Power]>Level>Increase Power (利用旋钮完成)

然后, 可以利用频标跟踪第一次出现 1dB 的精确频率。观察显示器上的功率电平。该电平为 1dB 压缩的近似输入功率电平。

通道 2: 扫描功率增益压缩

选择通道 2 上的 S_{21} 迹线。将标记放在迹线上。移动标记到迹线的平直部分。如果没有平直部分, 放大器在整个扫描期间都处于压缩状态而必须降低起始功率电平。

[Marker]>Marker 1 >利用旋钮移动标记

利用增量标记功能找出出现增益下降 1dB 的功率电平。利用相联系的标记功能将标记放在 B 迹线上, 并显示发生压缩处的绝对输入功率和输出功率。

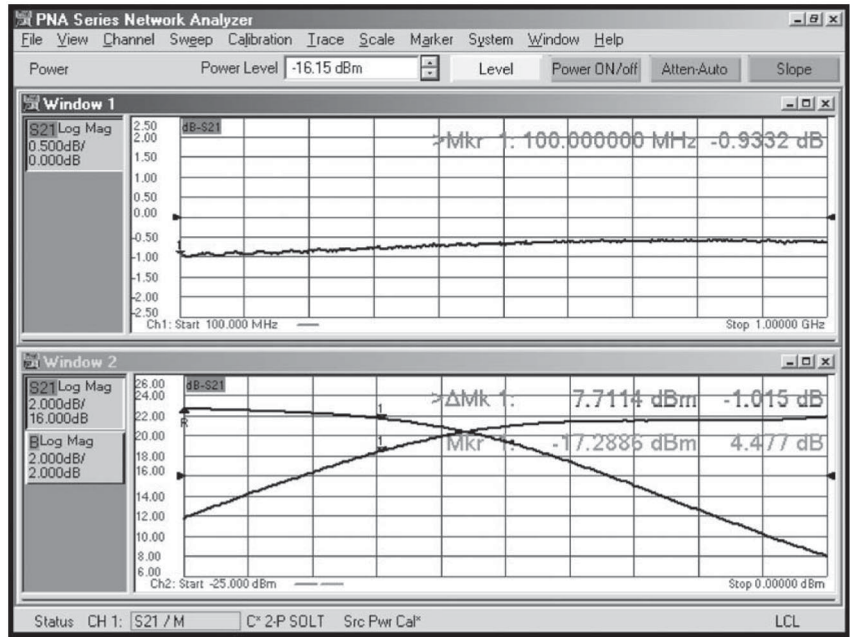


图 18. 利用 MW PNA 网络分析仪来精确测量 1dB 压缩

B 迹线标记的 x 轴值（激励）是输入功率电平，y 轴值（响应）是放大器第一次压缩的输出功率电平。若需要，这项测量可以在多个频率上重复进行。

精度分析

增益

利用网络分析仪进行增益测量的主要误差源是测试装置的频率响应、测量期间的源和负载失配以及系统的动态精度。测试装置的频率响应是传输测量中起主要作用的误差。简单的响应校准能显著降低这个误差。为了获得更高的精度，可以采用全二端口校准。失配不确定性随有效源和负载失配而变。全二端口校准不仅能降低频率响应的影响，而且还能改善有效源和负载匹配。

动态精度是随入射功率电平而变的一个接收机性能的测度，它也影响增益测量的不确定性。这是因为接收机通常将接受校准与测量之间的不同功率电平。

反向隔离度

隔离度有同增益一样的误差考虑。此外，若被测放大器的隔离度很大，则传输信号电平可能接近本底噪声和（或）串扰电平。为了降低本底噪声，可以采用取平均或减小中频带宽。为了减小串扰，应进行隔离度校准。

反射

反射测量的不确定性受方向性、源匹配、负载匹配和测试系统反射跟踪的影响。利用全二端口校准时，这些误差因素的影响将被降低到最小。如果放大器的输出端被良好端接或者放大器的反向隔离度远大于它的增益，则单端口也能给出相同精度。由于失配不确定性的幅度取决于放大器的输入和输出匹配，所以放大器的匹配越好，测量的不确定性将越小。

增益压缩

扫频增益压缩测量采用了响应校准来减小不确定性。然而，应当意识到，为了确定扫频增益压缩，必须改变源功率电平。因此，当改变扫频测量的源功率时，也会降低响应校准的有效性。扫描功率增益压缩测量采用了源和接收机校准来减小不确定性。源功率校准通过使源功率对源或测试装置中的任何非线性进行补偿，精确设定入射到放大器上的功率电平。

网上资源

有关 Agilent PNA 系列的其它技术资料 and 产品信息，请访问网址：
www.agilent.com/find/pna

有关 Agilent 电子校准 (ECal) 模块的其它信息，请访问网址：
www.agilent.com/find/ecal

5988-8644CHA
2003 年 9 月
伟斌/兰秀校