

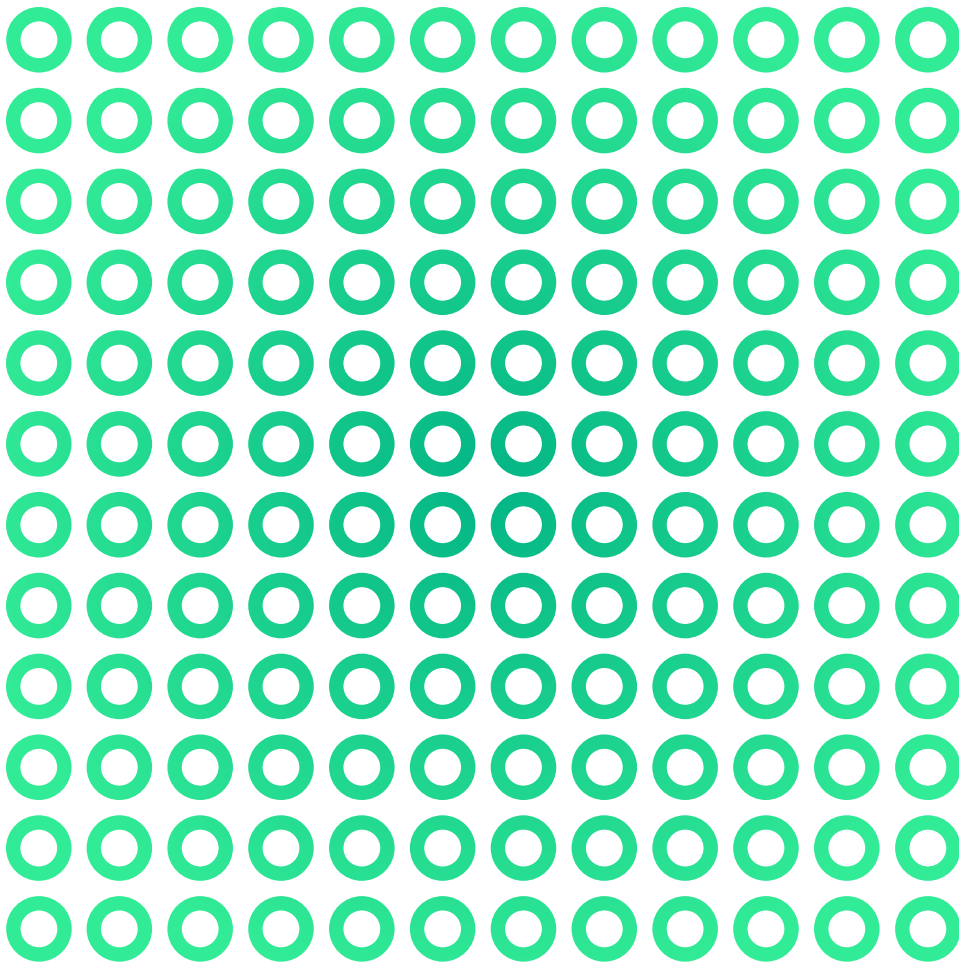


NI is now part of Emerson.



应用指南

使用矢量信号收发仪进行 谐波测量





目录

03 引言

03 使用VST进行谐波测量的优势

频率覆盖范围和带宽

紧密模块同步

外形小巧且具有成本效益

05 VST与传统VSA的性能比较

平均噪声密度

分析仪输入杂散发射和谐波

08 使用VST测量DUT谐波

测试设备设置

测量设置

测量结果

11 结论

引言

谐波信号由非线性设备产生，在信号基频的整数倍处生成。在RF测试和验证领域，谐波信号会在工作频率之外造成干扰，因而不受欢迎。因此，准确测量谐波信号是设备验证的关键。

传统上，使用高性能矢量信号分析仪(VSA)或专用谐波测量单元(HMU)进行谐波测量。由于矢量信号收发仪(VST)的频率范围、分析仪噪声性能以及某些情况下的瞬时带宽有限，因此在谐波测量中一直没有考虑使用VST。最新一代VST克服了这些限制，在谐波测试方面具有更多优势。

使用VST进行谐波测量的优势

矢量信号收发仪(VST)将RF和基带矢量信号分析仪(VSA)与信号发生器集成在单个设备中。本应用指南中讨论的测量所使用的VST是PXIe-5842。该VST由PXIe-5842模块和高性能双本地振荡器(LO)合成器PXIe-5655组成，相位噪声性能出色。它基于PXI平台构建，测量能力显著增强，尤其适用于执行谐波测量。



使用矢量信号收发仪进行谐波测量

频率覆盖范围和带宽

PXIe-5842 VST的连续频率覆盖范围为30 MHz至26.5 GHz。与上一代VST相比，这一宽广的频率范围可用于测量高阶谐波频率，并可测量较低频率的基波信号。

PXIe-5842 VST的瞬时带宽为2 GHz。对于调制信号的谐波测量，所需的测量带宽会以基波信号带宽的整数倍增加：

$$n\text{次谐波BW} = n \times \text{基波BW}$$

本应用指南中的示例待测设备(DUT)针对100 MHz带宽的基波信号指定了二阶至五阶谐波测量。这需要分析仪提供超过500 MHz的瞬时测量带宽来进行五次谐波测量。随着新标准和新兴通信技术的涌现，对高阶谐波频率进行更高带宽测量的需求将继续增加。

紧密模块同步

PXIe-5842是NI PXI平台的一个组件，可在单个PXI机箱中集成多个测量模块。这些模块之间可以实现无缝通信和同步。信号发生器、信号分析仪和其他仪器之间的共享频率基准和触发总线便于同步这些设备。这种同步对于测量具有突发波形的调制信号的谐波特别有用。信号发生器可向分析仪触发突发波形，分析仪仅在出现谐波信号时才进行测量。

外形小巧且具有成本效益

使用VST进行谐波测量时不需要专用的VSA或HMU，从而节省了测试台空间和额外成本。

[详细了解PXIe-5842和其他NI PXI VST。](#)

VST与传统VSA的性能比较

选择测量谐波的仪器时，关键性能指标包括平均噪声密度以及分析仪生成的谐波和杂散。在本节中，我们将比较PXIe-5842 VST和NI传统高性能VSA PXIe-5668及其可选PXIe-5698前置放大器在这些指标方面的性能。

平均噪声密度

谐波信号的功率通常很低，需要借助高灵敏度的信号分析仪来进行精确测量。平均噪声密度指定分析仪的噪声量，以dBm/Hz为单位。图1显示了PXIe-5842 VST和PXIe-5668 VSA平均噪声密度的比较。PXIe-5668 VSA与可选的PXIe-5698前置放大器搭配使用，可进一步提高灵敏度。

PXIe-5842和搭配PXIe-5698前置放大器的PXIe-5668的平均噪声密度

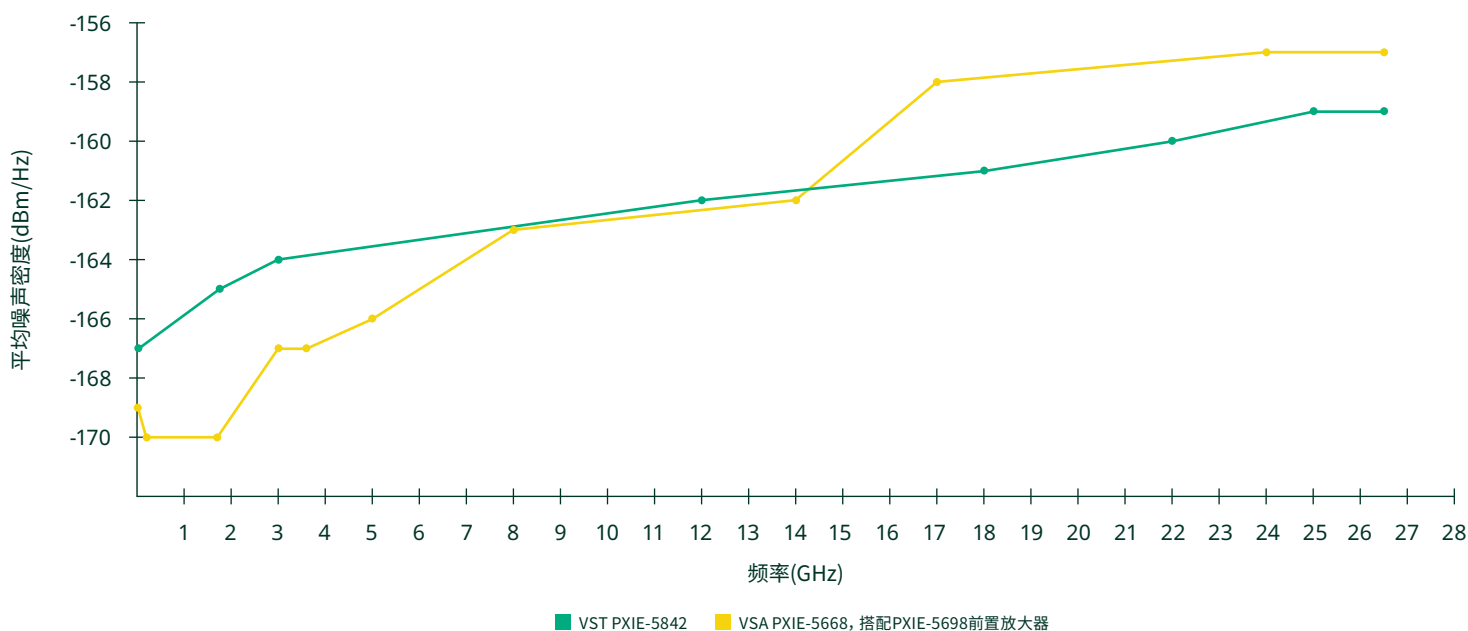


图1

PXIe-5842 VST与PXIe-5668 VSA的平均噪声密度比较

信号分析仪的规格通常以显示平均噪声电平(DANL)的形式提供。要将平均噪声密度换算成DANL, 需要减去2.51 dB。DANL较低, 因为它使用测量采样对数的平均值计算, 而不是测量采样平均值的对数。

结果表明, PXIe-5842 VST和PXIe-5668 VSA的平均噪声密度相近。在频率低于8 GHz时, VSA的平均噪声密度更高, 而在频率高于14 GHz时, VST的平均噪声密度更高。

分析仪输入杂散发射和谐波

由于信号分析仪包含放大器和其他非线性元件, 因此自身也会产生谐波失真和其他杂散信号。需要对这些失真进行特性分析, 以确定它们是否会影响特定DUT的谐波失真测量。

PXIe-5842 VST和PXIe-5668 VSA在数据表中指定的失真不同, 测试条件也不同。因此很难对谐波测量性能进行直接比较。为了进行直接比较, 我们给VST和VSA提供了相同的输入测试信号, 并同时测量了分析仪的失真。

在典型的谐波测量中, 基波信号会被滤波器或双工器去除, 从而使分析仪降低基准电平以更接近低功率谐波信号, 并提高动态范围。双工器抑制的常用值为50 dB, 因此使用-50 dBm 的连续波(CW)信号来仿真分析仪输入端的基波泄漏。

为了避免来自信号发生器的非线性影响, 使用了双工器来滤除信号发生器产生的谐波。图2所示的测试装置显示了如何将VST发生器用作信号发生器, 以及如何在VST分析仪和VSA之间交换信号发生器。

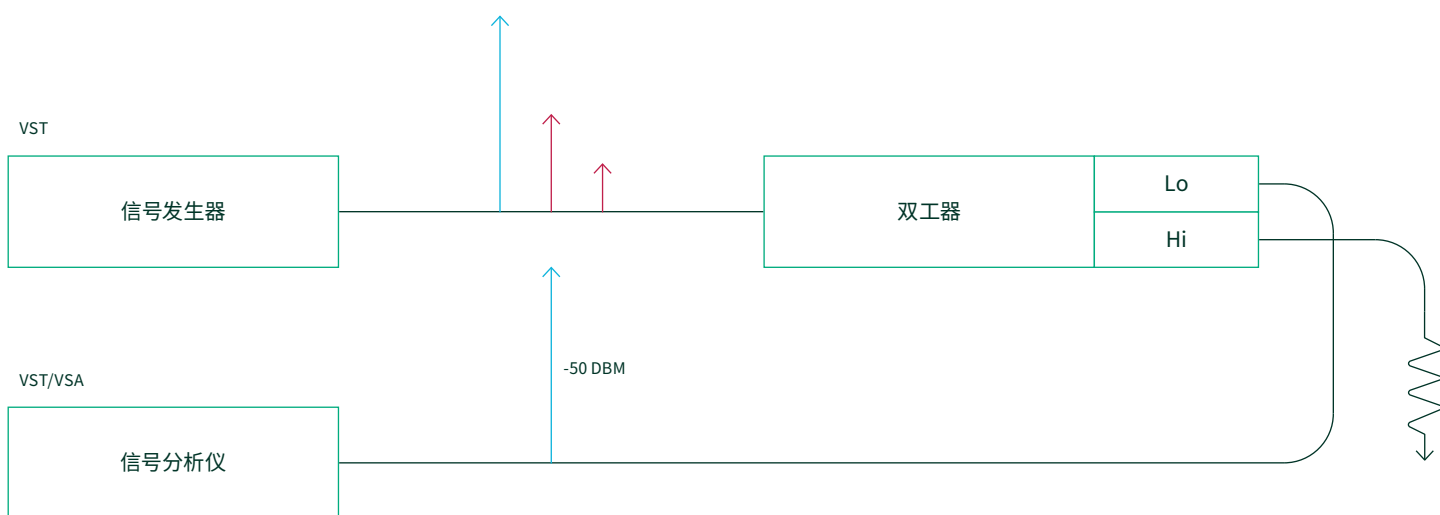


图2
分析仪输入杂散发射和谐波测试的测试设置

测得的CW频率范围为800 MHz至5.8 GHz。图3显示了3.5 GHz CW频率下的结果对比。双工器的交叉频率为6.5 GHz, 因此低于6.5 GHz的杂散信号可归因于信号发生器。总体而言, VST和VSA的杂散发射相似, VSA在10 GHz附近有持续杂散。在7 GHz处可观察到二次谐波, 而VSA二次谐波比VST谐波低约10 dB。VST和VSA的三次谐波及更高次谐波均低于本底噪声。该结果与其他测试的CW频率一致。

分析仪输入杂散发射和谐波

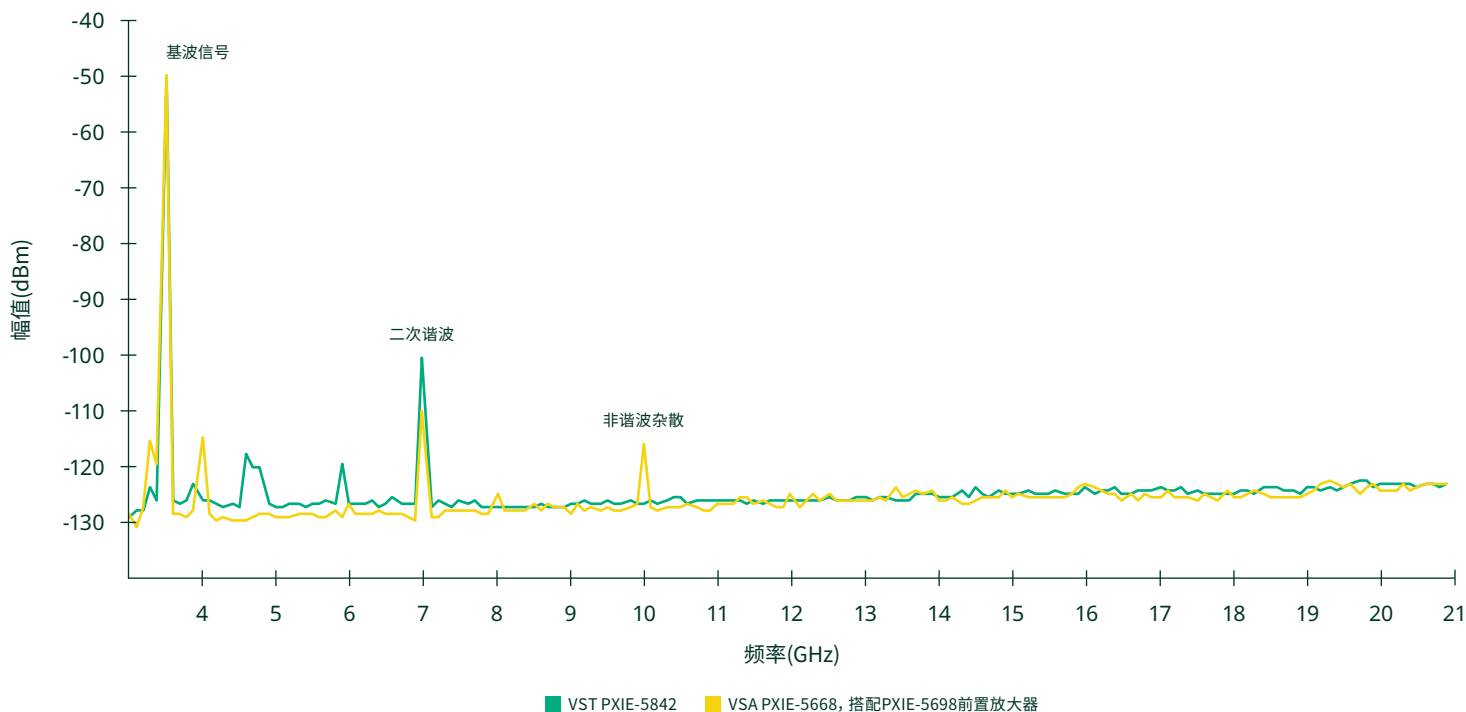


图3 分析仪输入杂散发射和谐波结果比较(3.5 GHz CW)。测试条件: 分辨率带宽(RBW) = 1 kHz, 跨度 = 1 MHz, 基准电平 = -50 dBm。

分析仪基准电平设置将影响二次谐波的幅值。提高分析仪基准电平可降低二次谐波的幅值, 但同时也会增加本底噪声。图4显示了基准电平从-50 dBm增加到-30 dBm时, PXIe-5842的二次谐波幅值和本底噪声之间的差异。二次谐波幅值降低8 dB, 本底噪声没有明显增加。应将分析仪输入谐波失真水平与预期的DUT失真水平进行比较, 以确定分析仪是否会影响DUT测量。

基准电平对谐波和本底噪声的影响

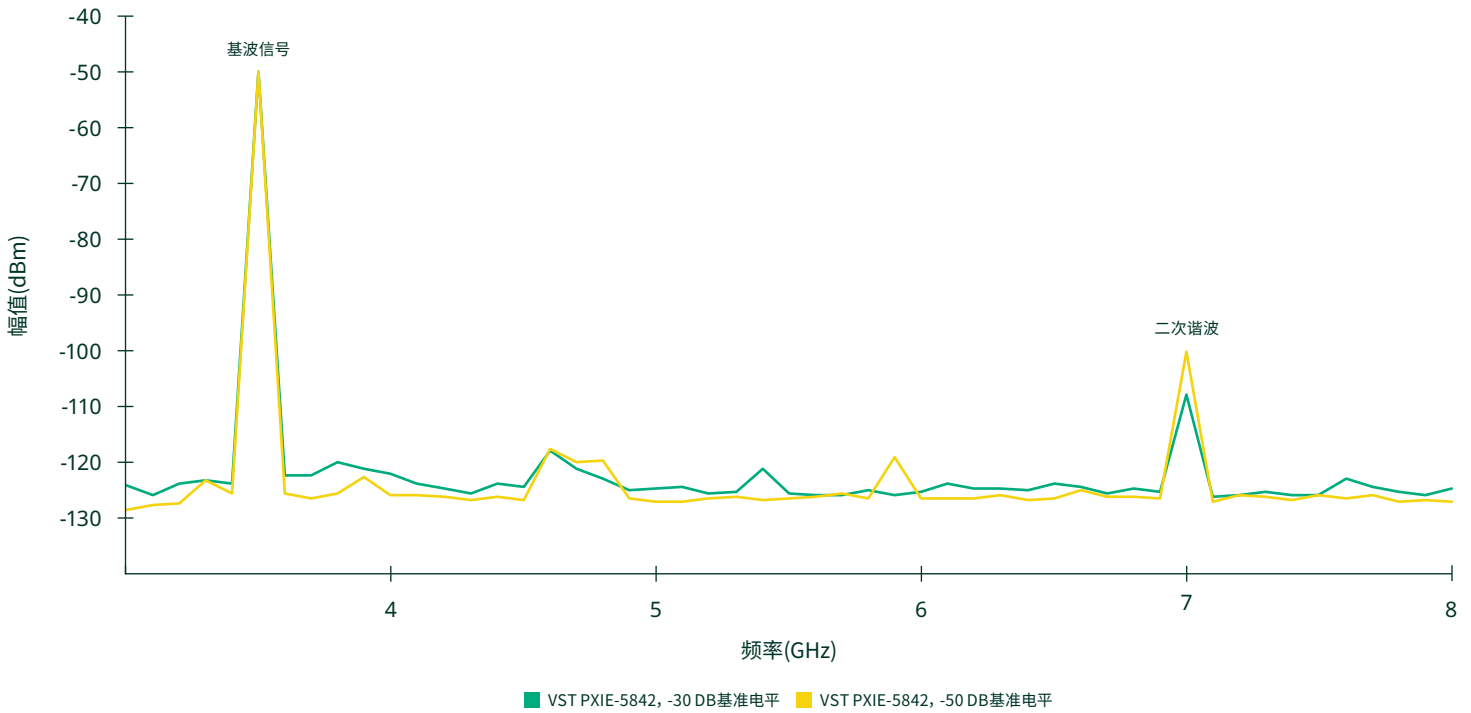


图4 基准电平设置为-50和-30 dBm时的VST二次谐波和本底噪声电平

使用VST测量DUT谐波

本节应用指南概述了使用PXIE-5842 VST对放大器DUT进行谐波测量的过程。本次测量中使用的DUT是工作频率接近3.7 GHz的5G新空口(NR)功率放大器(PA)。DUT数据表说明了其谐波性能，它使用的是5G调制测试波形，带宽为100 MHz，DUT输出功率为+27 dBm。DUT谐波性能通过五次谐波来确定。

测试设备设置

VST包含非线性设备，因此本身会产生谐波。理想情况下，仅测量DUT谐波。为了获得理想效果，需要使用外部滤波器来消除VST产生的谐波。在这种情况下，双工器可用作低通或高通滤波器。传统滤波器的滚降比双工器陡峭，但双工器通常在通带外具有更高的抑制能力，有利于谐波测量。更重要的是，双工器为信号发生器提供了宽带匹配的负载，减少了返回信号发生器的反射，这与阻带内回波损耗较差的典型滤波器不同。

图5显示了谐波测量的测试设置。信号发生器后的双工器用于滤除信号发生器的谐波并传递基波信号。DUT之后的另一个双工器用于滤波基波信号，仅将谐波传递至分析仪。这种配置使信号分析仪可以在更低的基准电平下工作，以测量低功率谐波信号。它还能减少分析仪产生的失真。双工器交叉频率必须在基频和DUT的二次谐波之间。DUT的工作频率为3.7 GHz，因此二次谐波将出现在7.4 GHz。有鉴于此，该测量使用了交叉频率为6.5 GHz的双工器。

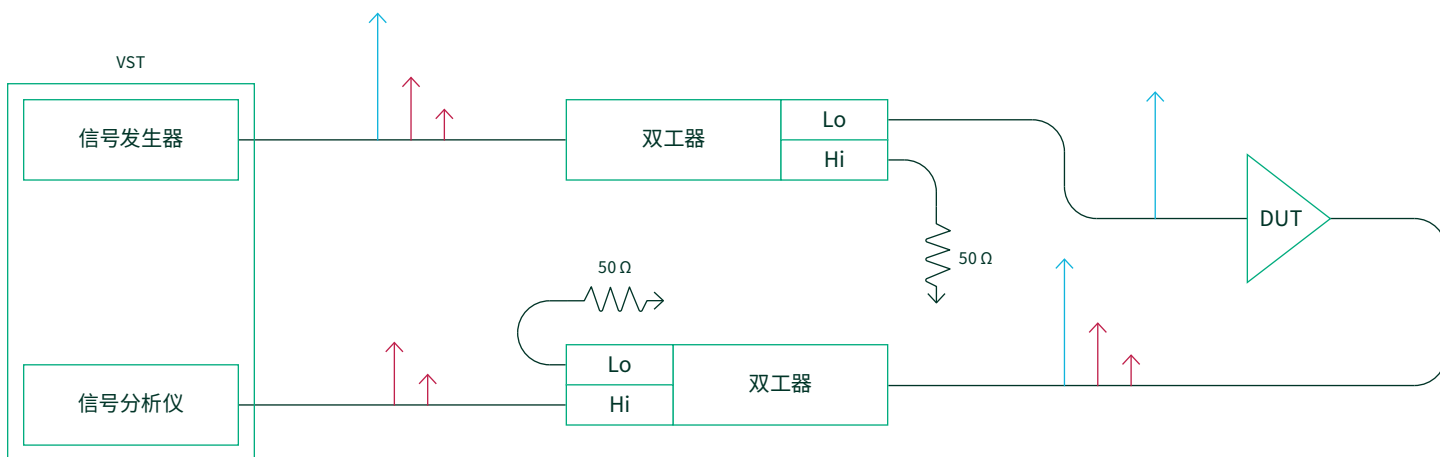


图5
DUT谐波测量的测试设置

测量设置

谐波测量的步骤如下。通过使用RFmx (NI的一套互操作软件应用程序) 和InstrumentStudio™ (NI的前面板软件, 可与PXIe-5842 VST和许多其他仪器配合使用), 这一看似艰巨的任务变得轻而易举。

使用矢量网络分析仪扫描测试线缆、连接器和双工器, 将其去嵌入。在测量中应用合适的去嵌入文件 (通常为.S2P)。

配置分析仪, 在每个谐波频率上进行时域、零跨度发射功率(TxP)测量。时域测量明显快于通道功率(ChP)测量, 因为无需将信号转换为频域。由于是调制信号, 因此使用下列公式:

$$\begin{aligned}
 n\text{次谐波频率} &= n \times \text{基频} \\
 n\text{次谐波RBW} &= n \times \text{基波RBW} \\
 n\text{次谐波测量间隔} &= \frac{\text{基波测量间隔}}{n}
 \end{aligned}$$

使用矢量信号收发仪进行谐波测量

基本中心频率为3.75 GHz，测量将包括直到第五次的各次谐波(3.75 GHz x 5 = 18.75 GHz)。

基波信号的带宽为100 MHz，因此每一次后续谐波的带宽都会增加100 MHz，最高可达500 MHz (100 MHz x 5)。

测试波形有持续时间为6毫秒的重复突发。VST从信号发生器向分析仪发送触发，以便在每次突发开始时进行测量。测量间隔设为6毫秒，以确保在无空闲时间（即信号关闭时）的情况下测量突发。

降低分析仪的基准电平，直到接近基波信号的峰值功率，但不要使分析仪的模数转换器过载。这将使模数转换器能够使用其大部分动态范围。如需验证信号分析仪是否导致失真，可更改RF输入衰减器设置。如测得的失真幅值未随RF衰减变化而变化，则失真完全由DUT引起。但是，如果失真幅值发生变化，则信号分析仪也会导致失真。在这种情况下，请尝试提高基准电平，直至分析仪不再导致失真。

谐波测量的设置见表1。

谐波次数	5				
测量方法	时域				
RBW滤波器类型	平坦				
基准电平(dBm)	-10				
	基波	二次谐波	三次谐波	四次谐波	五次谐波
频率(GHz)	3.75	7.5	11.25	15	18.75
RBW (MHz)	100	200	300	400	500
测量间隔 (毫秒)	6	3	2	1.5	1.2

表1.谐波测量的测量设置

[进一步了解RFmx。](#)

[详细了解InstrumentStudio。](#)

测量结果

谐波测量结果如图6所示。总谐波失真和平均相对功率值由基波信号得出。但是，由于基波信号被双工器滤波，这些数值应忽略不计。

关键值为谐波频率、每个谐波的RBW、测量间隔（如迹图所示）和每个谐波的平均绝对功率。

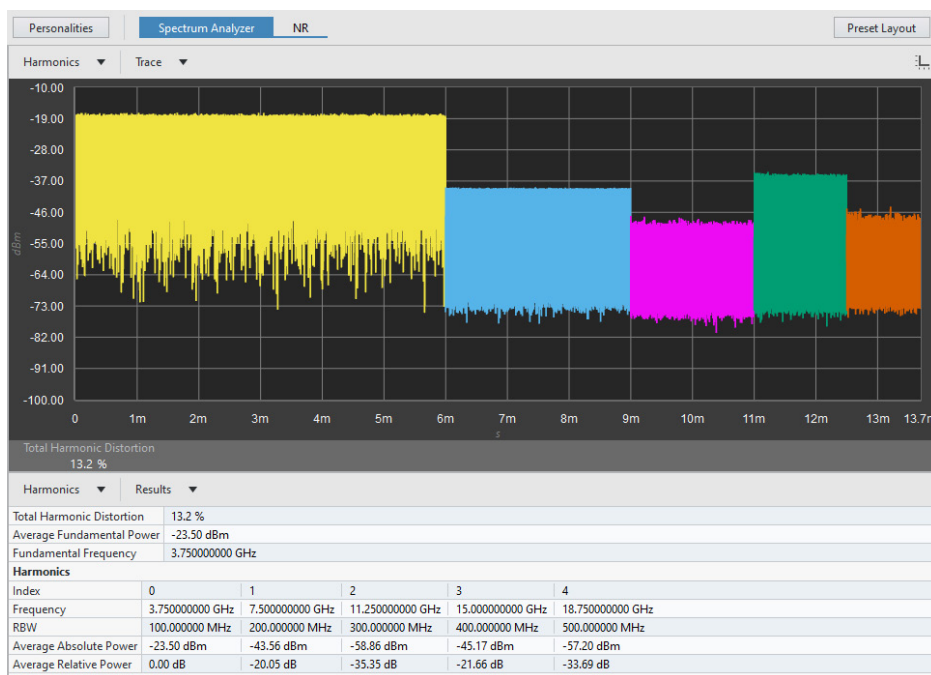


图6
谐波测量结果

DUT以绝对功率(dBm)为单位指定第二至第五次谐波的限值。表2列出了与测量值相对应的规定限值，所有限值均有余量通过。

谐波	指定DUT (典型值)	已测	
二次谐波	-40	-43.56	dBm
三次谐波	-50	-58.86	
四次谐波	-35	-45.17	
五次谐波	-50	-57.2	

表2.谐波测量指定值与测量值对比

结论

新一代VST克服了之前的局限性，在谐波测量方面可与传统的高性能VSA和HMU相媲美。使用VST进行谐波测量可降低其他专用仪器的成本，减少所需的测试台空间。

Emerson、Emerson Automation Solutions或其任何关联实体均不对任何产品的选择、使用或维护承担任何责任。正确选择、使用和维护任何产品的责任完全由购买者和最终用户承担。

National Instruments公司徽标、NI、National Instruments和ni.com是Emerson Electric Co.测试和测量业务部门旗下一家公司的商标。Emerson和Emerson徽标是Emerson Electric Co.的商标和服务商标。

本出版物的内容仅供参考，尽管已尽力确保其准确性，但不应将其解释为对本出版物所述产品或服务或其使用或适用性的明示或暗示的担保或保证。所有销售均受我们的条款和条件约束，可应要求提供。我们保留随时修改或改进此类产品的设计或规格的权利，恕不另行通知。

NI
11500 N Mopac Expwy
Austin, TX 78759-3504

