

使用Agilent矢量网络分析仪解决射频和微波测量领域的难题

Solve the Hard nut in RF and Microwave Measurements by Using Agilent VNA

■ David Ballo 安捷伦科技公司

对高频元器件的线性和非线性性能进行精确表征,以及获得更高的子系统集成能力的需求,正在逐渐改变着射频和微波设备的测试方式。本文将详细阐述这个问题,并介绍如何通过添加备用的内置信号发生器,以及通过增加扩展测试端口的数量,更有效地使用矢量网络分析仪(VNA)。此外,本文还介绍了为使校准精度保持双端口S参数测量的水平,VNA校准方法的演进过程。

实现精确系统仿真关键

在现代无线和航空/国防系统中,对射频元器件进行精确的振幅和相位测量极为重要。在系统仿真的设计阶段,需要对基础元器件的数据进行精确表征,才能确保系统完全在设计规定的参数范围内工作。在制造阶段,精确测量能够保证每个元器件都能符合公布的技术指标。射频系统的基本构建模块,例如滤波器、放大器、混频器、天线、隔离器和传输线路等通常都需要进行测量。

对射频元器件应用最广的测量标准是散射参数,简称S参数。这些参数表征了射频设备正向和逆向的复杂反射(振幅和相位)和传输性能。S参数完整地描述了射频元器件的线性行为,此参数对整个系统仿真非常必要,但并不足够。相对于理想线性性能的偏置(表现形式为非平坦振幅与频率的比和非恒定斜面相位与频率响应的比)会导致严重的系统退化。

射频元器件的非线性性能也会对系统造成损坏。例如,如果放大器的功率电平超过线性范围,则放大器将出现增益压缩、幅度调制向相位调

制(AM至PM)的转换和互调失真(IMD)等现象。因此,测量这些特性同样重要。

最常见的用于表征射频元器件的设备是矢量网络分析仪(VNA)。“网络”是指电气网络,而不是电脑网络。以前,VNA包含一个用于激励的射频信号发生器和多个用于测量正向和逆向的事件、反射和传输信号的测量接收机。传统的VNA拥有两个测试端口,因为多数早期设备只有一个或两个端口。测量多于两个端口的设备,意味着需不断移动被测件周围的测试电缆和终端直到所有端口测量完毕。下文将为用户介绍更佳的方法。

VNA以固定的功率电平通过扫描频率测量S参数,以固定的频率通过扫描功率测量放大器的增益压缩。这样,就可以轻松地表征线性和非线性性能。新型VNA带有两个内置射频信号发生器,也可以进行IMD测量。而以前测量IMD需要两个独立的信号发生器和一个频谱分析仪。使用VNA的方法使设置更为简单、测量时间更短、测量精度更高。例如,带有选件146的新型Agilent 13.5 GHz N5230A PNA-L

网络分析仪就属于带有两个内部射频源的新一代 VNA。

多端口设备受到普遍应用

目前的现代化射频系统中通常包括拥有 3 个或 4 个端口的设备，拥有 8 个或更多端口的设备也越来越普及。设备端口数量增多的原因有两个。一是由于平衡元器件的广泛使用，二是子系统的集成水平更高，例如目前手机上使用的前端模块。

平衡电路具有许多优点，例如对电磁干扰的敏感性降低以及电磁干扰的减少。平衡元器件可能是拥有 3 个射频端口的平衡到单端设备，也可能是拥有 4 个射频端口的平衡到平衡设备。目前通常使用的 VNA 拥有 4 个端口，能够轻松测量高达 67 GHz 的平衡电路。这些 VNA 必须能够测量平衡设备的差分与共模响应以及混模参数。

不断提高的集成水平是多端口设备增多的主要因素。在移动电话行业，手机和基站的情况都可以印证这一点。多频手机(可工作于多个频段，并具有如 GPS 或 Wi-Fi 等非电话功能)通常将前端模块(包括一个或两个天线输入和多个开关、双工器、过滤器和放大器)集成到一个普通基片上。在基站端，通常将双工器和低噪声放大器集成到带有许多射频端口的合分路器上。

当测量这些设备时，由于业界对测量带外性能的需求，测试频率上限通常比要操作的频带高得多。例如，测试在 2 GHz 频率工作的手机元器件时通常会测试到 12.5 GHz 的频率，从而保证不会对其它频带造成干扰。

要同时满足高端口数量和高频率测试的需求，可以通过添加外部测试仪来扩展 VNA 的端口数量，该测试仪包含更多的端口连接

器和定向耦合器，以及与 VNA 本身进行无缝连接的必要开关。以这种方式，通过增加端口数量便可得到测量任意端口对组合之间的路径的测试解决方案，此方案还包含消除所有测试端口

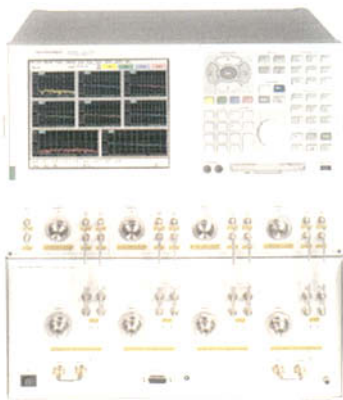


图1 Agilent N5230A PNA-L网络分析仪与Z5623A K44测试仪相结合

和路径中的系统误差的误差校正程序。带有选件 145 的 Agilent N5230A PNA-L 网络分析仪就符合这一标准，它与 Z5623A K44 测试仪结合，能提供拥有 8 个端口的 13.5 GHz 的测试系统(图 1)。安捷伦最近还推出了拥有 12 个端口的 20 GHz 解决方案，该解决方案采用带有选件 225 的 N5230A PNA-L 网络分析仪和 U3022AE10 测试仪。

使用两个集成的射频源能够简化放大器与混频器的测量

VNA 只需一个射频源就可以测量 S 参数、增益压缩和元器件谐波，使用备用的内部源不仅可以执行更加复杂的非线性测量，例如 IMD，还可以高效地测试混频器和频率转换器。

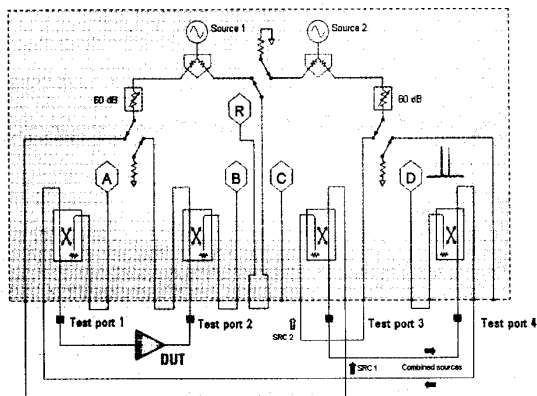


图2 使用VNA操作结构图

测量 IMD 时，在一台信号合成器(例如电阻功率分离器或定向耦合器)上将两个信号(在双音频互调中通常指“音频”)加以组合，然后发送到被测放大器(AUT)的输入端。图 2 显示了使用 4 端口 VNA 完成以上操作的步骤。由于被测放大器的非线性特性，在放大器的输出端除了两个放大的输入信号，还出现了互调现象。在通信系统中，这些多余的干扰将出现在所需的操作频带中，因此无法对其进行过滤并消除。理论上讲，如果出现大量的互调分量，则通常只测量三阶分量，因为它们是造成系统故障的主要原因。两个输入信号的频率差决定了三阶互调分量的位置。例如，如果两个输入信号分别为 1.881 GHz 和 1.882 GHz，则低 IMD 信号将位于 1.800 GHz 上，高 IMD 信号将位于 1.883 GHz 上。

图 3 显示了在 VNA 上进行的 IMD 测量。上图显示了使用频谱分析仪进行的扫描操作。该方法直观、易懂，但会使用不必要的的数据，从而耗费更多的测试时间。下图显示的方法更佳，其中的数据主要来自 IMD 和两个测试信号。

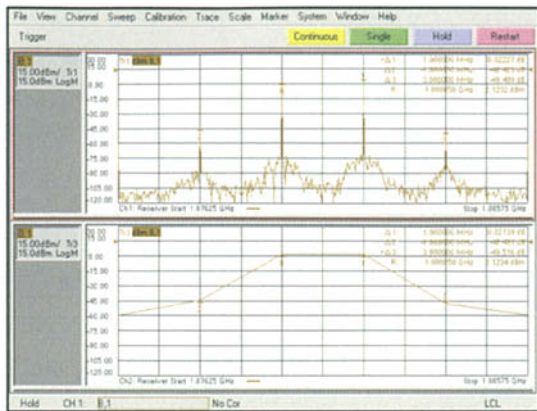


图3 在VNA上进行IMD测量

使用 VNA 进行的测量相对于其它方法具有两个突出优点。第一,用户使用一台测试仪器和一套连接组件即可获得全部测量数据:例如 S 参数、增益压缩、输出谐波和 IMD。第二,通过 VNA 基于功率计的校准,可获得比使用频谱分析仪更高的测量精度。

由于频率转换设备,例如混频器或转换器,需要额外的本地振荡器(LO)信号,故 VNA 的备用内部源非常适合测试这类设备。进行扫描 LO 测试时更是如此,因为可以对拥有固定偏移值的 LO 信号和射频输入信号进行同步扫描。这是测量宽带频率转换器前端元器件频率响应的常见测试方法。使用 VNA 的内部信号发生器发出的 LO 信号可以显著提高测量速度。例如,相对于使用外部 Agilent PSG 信号发生器,带有选件 246 的 N5230A 能够将扫描 LO 测量的扫描速度提高 35 倍。图 4 显示了对单阶频率转换器的测量。上图显示了对转换器 IF 滤波器的频率响应进行的固定 LO 测量。下图的扫描 LO 测量显示了转换器的前端平坦度。

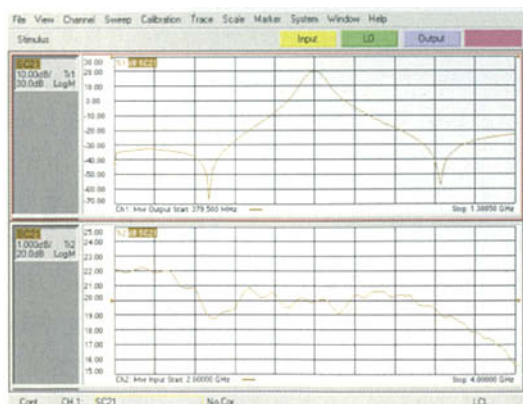


图4 对单阶频率转换器的测量

安捷伦还提供专为混频器和转换器测量设计的先进的误差校正程序。这些程序通过校正测试系统中被测件的输入匹配和源匹配之间的失配,将转换损耗或转换增益测量的失配波动降至最低。目前已经开发了一项类似的技术对混频器和转换器群延迟进行低波动绝对测量。

多端口测试系统提供更高测试速度和更高精度

多端口测试系统与多端口被测件之间只需进行一组连接即可完成多个测量,它的测试时间与传统的双端口 VNA 相比具有显著的降低。最初的多端口 VNA 测试系统只是一个位于 VNA 测试端口上的开关矩阵。该方法虽然操作简单,而且经济高效,但无法在高频率条件下提供现代化设备需要的高性能。使用基于耦合器的测试仪是一个更好的办法,该测试仪的每个测试端口上都带有定向耦合器。将信号发送回 VNA 所需的开关位于耦合器和 VNA 接收机之间。这些测试仪具有更佳的灵敏度和更高的稳定性,这对于微波频率上的测量尤其重要。

测试仪中的开关可以是电子开关也可以是机械开关。电子开关具有更高的开关速度和无限的使用寿命等优点,但损耗较大、功率处理能力有限,而且价格昂贵,在测试端口达到 12 个或更多时操作更加复杂。机械端口具有最佳的射频特性:损耗低、功率处理能力高,而且价格比电子开关低。其主要缺点在于开关触点的使用寿命有限。高可靠性开关通常能够使用 5 百万次或更多,在大批量生产的应用中开关的使用寿命会缩短至 1 年以内。安捷伦可以提供基于电子和机械开关的测试仪。开关的选择依频率范围、端口数量和应用需求而异。许多测试仪拥有额外的开关,能够对其它元器件,例如信号合成器或噪声系数分析仪类的测试设备,进行开关操作。这些额外的开关有助于提高整个测试系统的灵活性。

多端口测试系统的误差校正是整个解决方案的关键部分。基本的 VNA 校准程序校正被测路径中的所有系统误差。在多端口设备中,如果测试端口的负载匹配不在被测路径上,将导致严重的测量误差。测试端口越多,潜在的误差就越大。出现的误差总数与被测件各端口间的隔离程度有关。不管测量路径中使用哪些端口,现代 VNA 都能够校正所有由测试端口引起的性能下降。这种校正称作 N 端口误差校正,其中 N 是被测件和测试系统的端口数量。N 端口

误差校正能提供最佳的精度,代价是扫描次数较多,测试时间较长。对于端口间隔离程度较低的设备或端口间隔离程度较高但需测量验证的设备,需要进行 N 端口校正。例如功率分离器、混合器、开关和隔离器/多路复用器的组合。

新兴的进行 N 端口误差校正的应用是物理层结构或数字网络后面板中连接器串扰的测量,以及多芯网络互连电缆间串扰的测量。例如,一对差分传输线就是一个基本的 8 端口设备。测量远端串扰(FEXT)时,在差分线路的一端发出激励信号,在另一端测量激励的响应。如果在 FEXT 测量中没有执行 N 端口误差校正,则 FEXT 测试中没有用到的 4 个端口的负载匹配就会导致较大的误差。用户还可以对两个相邻的“进攻”差分线路之间的“受攻击”差分线路进行类似的串扰测量。这些测量需要 12 端口系统和 12 端口误差校正。最先进的物理层测试通常达 50 GHz,有时可达 67 GHz。

要缩短测量时间,多端口设备通常需要经过若干组 M 端口测量的测试,其中 $M < N$ 。例如,尽管移动电话的前端模块拥有 8 个或更多端口,测试时通常一次只测量 3 个或 4 个端口。这是因为一个频带内的元器件和另一个频带的元器件之间拥有充分的隔离。这时,只需执行 3 端口或 4 端口

误差校正即可。在多端口测试系统中需要足够的灵活性才能为被测件选择合适的误差校正水平。

总结

基于 VNA 的测试系统提供的核心测量引擎,可以测量现代无线通信和 A/D 系统,以及网络物理层中的射频和微波元器件。两个内置信号发生器在保持 VNA 高精度的同时,还能简化并提高放大器、混频器和转换器的测量速度。测试放大器时,该信号源可以测量 S 参数、增益压缩和谐波,也可以生成测量 IMD 所需的信号。测试混频器和转换器时,一个信号发生器用于生成混频器或转换器的输入信号,另一个信号发生器用于提供 LO 信号。只需一套连接组件即可同时完成固定 LO 和扫描 LO 测量。

目前普遍使用的是 4 端口 VNA,更高的集成水平提高了对拥有 8 个或更多测试端口的测试系统的需求。将 VNA 和由开关、耦合器和额外测试端口组成的外部测试仪进行组合就可以满足这种需求。采用 N 端口误差校正,能使多端口测试系统的精度提高到 VNA 用户所期望的双端口误差校正的精度水平。选择误差校正水平可以优化测试任意特定设备所需的总体测量精度和测试时间。**634**

Thermo与Fisher 合并 打造一站式实验室服务

11月27日,原热电科学仪器公司和飞世尔科学公司在北京联合召开新闻发布会,宣布双方的合并完成,新的实体 Thermo Fisher Scientific 正式宣告成立。同时也揭开了公司总裁兼首席执行官 Marijn E Dekkers 中国之行的序幕。

技术的发展向科学服务领域提出了更多的需求,大的制药厂需要提供非关键采购的外包业务,而研究、诊断工具的趋同使提供全面、迅速、准确的解决方案成为关键,此外,在环境应用、安全应用和流程控制等领域中需要提供在生产第一线的分析工作,这

不仅为分析行业提出了挑战,同时也创造了新的市场机会。伴随着此次合并,Thermo Fisher 成为在生命、实验室和卫生科学领域提供全面综合端到端解决方案的提供商,全面迎合整个市场的发展。据 Dekkers 先生介绍,Thermo Fisher 合并后的公司将 Thermo 原有分析仪器设备制造技术与 Fisher 公司的生物试剂、耗材相结合,形成新的两大品牌:Thermo Scientific 和 Fisher Scientific,为用户提供覆盖卫生保健、医疗、工业污染等研究领域的多种技术方案,为整个实验流程提供一站式服务。

新的公司 Thermo Fisher Scientific 将立足于中国市场,正如 Dekkers 先生介绍的,中国是新公司全球战略中非常重要的一个环节,目前公司在中国共设有四家工厂,六家销售机构和一家位于上海的 Demo 中心,可向中国市场推出全部的产品线,预计 2006 年中国市场的销售额将达到 2 亿美元。Dekkers 先生还补充到,在接下来的日子里,他将把中国作为第一站,用几个月的时间走访 Thermo Fisher 在全球的主要机构,帮助员工和客户理解此次合并的重要意义。**634**

微波射频测试仪器使用操作培训

易迪拓培训(www.edatop.com)由数名来自于研发第一线的资深工程师发起成立,致力并专注于微波、射频、天线设计研发人才的培养;现已发展成为国内最大的微波射频和天线设计人才培养基地,推出多套微波射频以及天线设计培训课程,广受客户好评;并先后与人民邮电出版社、电子工业出版社合作出版了多本专业图书,帮助数万名工程师提升了专业技术能力。客户遍布中兴通讯、研通高频、埃威航电、国人通信等多家国内知名公司,以及台湾工业技术研究院、永业科技、全一电子等多家台湾地区企业。

易迪拓培训课程列表: <http://www.edatop.com/peixun/rfe/129.html>



微波射频测量仪器操作培训课程合集

搞硬件、做射频,不会仪器操作怎么行!对于射频工程师和硬件工程师来说,日常电路设计调试工作中,经常需要使用各种测试仪器测量各种电信号来发现问题、解决问题。因此,熟悉各种测量仪器原理,正确地使用这些测试仪器,是微波射频工程师和硬件工程师必须具备和掌握的工作技能,该套射频仪器操作培训课程合集就可以帮助您快速熟练掌握矢量网络分析仪、频谱仪、示波器等各种仪器的原理和使用操作...

课程网址: <http://www.edatop.com/peixun/rftest/vna/67.html>

矢量网络分析仪使用操作培训课程套装

矢量网络分析仪是最常用的测试仪器是射频工程师和天线设计工程师最常用的测试仪器;该套培训课程套装是国内最专业、实用和全面的矢量网络分析仪培训教程套装,包括安捷伦科技和罗德施瓦茨公司矢量网络分析仪的 5 套视频培训课程和一本矢网应用指南教材,能够帮助微波、射频工程师快速地熟练掌握矢量网络分析仪使用操作...

课程网址: <http://www.edatop.com/peixun/rftest/vna/34.html>



示波器使用操作培训课程套装

示波器是硬件和射频工程师几乎在每天的工作中都会用到仪器,因此掌握示波器的原理并能够正确使用示波器是所有从事电子硬件电路设计和调试的工程师必须具备的最基本的技能。本站推出的示波器视频培训课程套装既有示波器的基本原理以及示波器性能参数对测量结果影响的讲解,也有安捷伦和泰克多种常用示波器的实际操作讲解,能够帮助您更加深入地理解手边常用的示波器从而更加正确地使用示波器...

课程网址: <http://www.edatop.com/peixun/rftest/osc/49.html>