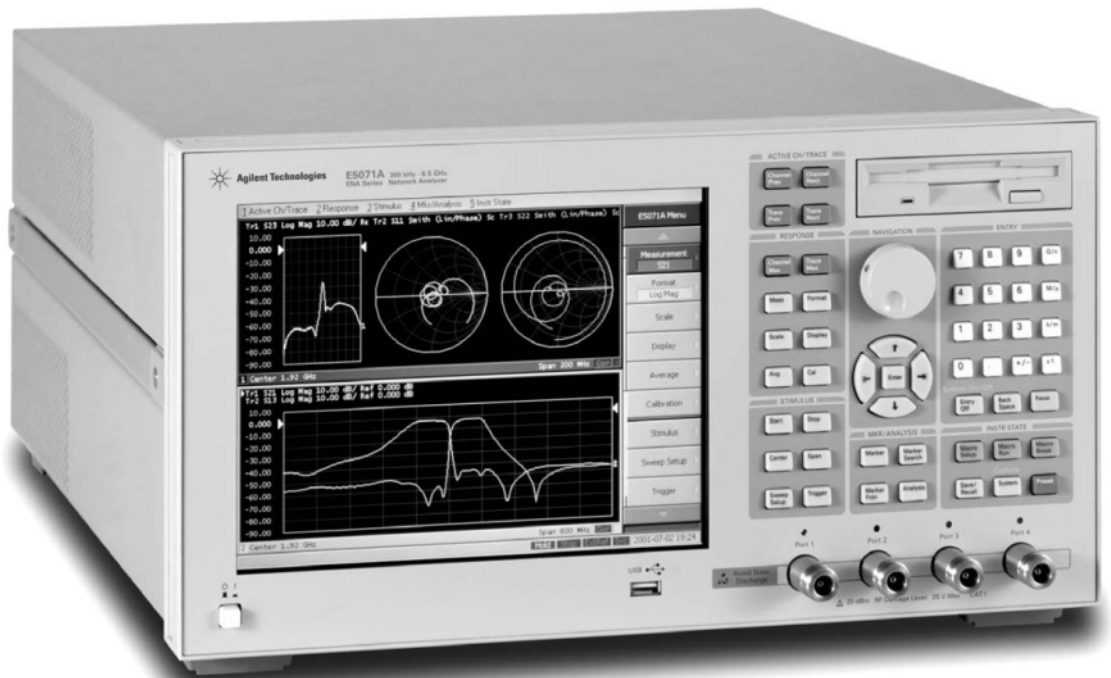


Agilent ENA 系列 RF 网络分析仪夹具仿真器 功能介绍:网络去嵌入/ 嵌入和平衡器件的测量

产品说明 E5070/71-1



Agilent Technologies

引言

在对现代 RF 电路进行评估时，由于各种原因，RF 工程师通常需要对测量到的 S 参数进行处理，这主要是因为 RF 网络分析仪只能在严格定义的 50 Ω 单端同轴接口上测量，而现在的 RF 元器件为适应对更小尺寸、更小功耗、更低价格等越来越高的要求而采用各种有别于同轴接口的不同的结构形式。测量数据的后处理是费时的任务，它包括使用外部计算机进行计算以及计算机与分析仪间的数据传输。夹具仿真器是 ENA 系列网络分析仪的内置功能，它能显著简化和加快对测量数据的后处理工作。夹具仿真器适应如下四种重要应用领域：

- 在测试结果中去除不需要的、由测试夹具引入的误差
- 对端口阻抗不是 50 Ω 的元器件进行测量
- 平衡元器件的测量
- 当被测元器件接有外部电路时，对总体网络的特性进行评估

下面简要解释这四类应用。第一是随着表面安装器件(SMD)越来越广泛地采用，它已取代了传统的同轴接口器件，因此 RF 元器件的测量普遍使用了测试夹具。对 RF SMD 更高性能的需求使 RF 工程师必须把元器件测量中不需要的由夹具引起的误差减到最小。一种可能的解决方案是建立夹具模型，然后用数学方法从所测数据中去除夹具误差。第二，为了优化电路性能，有些 RF 元器件的端口阻抗不是 50 Ω 的，而网络分析仪的端口阻抗一般为 50 Ω ，因此，有时可能在进行了常规的 50 Ω 测量之后再使用数学方法变换端口阻抗。第三是在 RF 通信设备中平衡电路的使用，因为平衡电路有良好的抵抗噪声和 EMI 辐射的性能，但目前的情况是市场上没有具有平衡端口结构的网络分析仪。从不平衡特性至平衡特性的数学变换是对平衡器件进行测量的实用解决方案。第四是对某些元器件的性能评估需要在接有外部电路，例如匹配网络的条件下进行，如果可以把理想的外围电路用数学的方法加到所测的数据上，而不是用真实的电路来实现，夹具仿真就非常有用。

本应用说明下面的部分是这些应用中如何使用夹具仿真器的概要描述。以后各节将详细讨论每一类应用。

夹具仿真器综述

如它的名称所包含的意义，ENA 系列夹具仿真器处理从非理想夹具(真实夹具)中得到的 S 参数，就好像是在理想夹具中测量 DUT。夹具仿真器能容易地使用 ENA 系列的图形用户界面，从而显著减轻测量数据后处理的负担。

图 1 示出夹具仿真器的功能，并用物理电路表示的方法说明了每一部分功能是如何被应用到网络测量中的。图的上半部分描述的是单端测量的情况，下半部分描述的是平衡测量的情况(在这两类测量中都会经常用到端口延伸和夹具去嵌入特性)。应根据应用情况，可以单独或组合使用仿真器的各种功能。例如，如果您需要评估一个单端 $100\ \Omega$ 元件的特性，并且由夹具引入的误差可以忽略的话，那么您只需要用到夹具仿真的阻抗变换这一功能。如果您还需要评估该元件与其匹配电路的总的特性，您就需要把夹具仿真的阻抗变换和匹配电路嵌入功能共同使用。

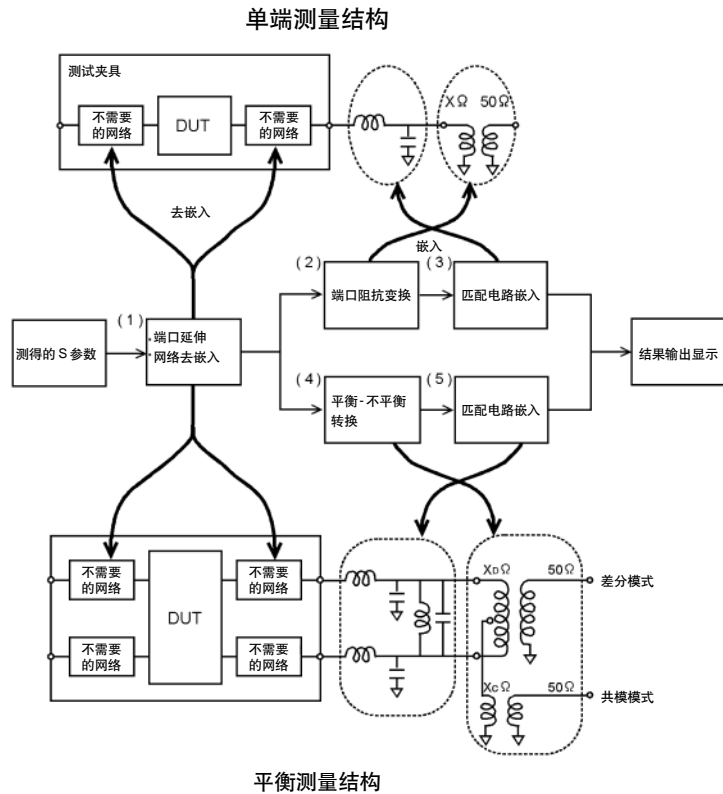


图 1. 夹具仿真器概况

夹具仿真器综述

下面是对图 1 中各部分的简要说明

1. 端口延伸和夹具去嵌入功能可以用来把在实际测量中由测试夹具所带来的误差减至最小。
2. 阻抗变换功能对非 50 Ω 器件的测量数据进行转换,使得非 50 Ω 的器件仿佛是用具有特定端口阻抗的网络分析仪测量的,它等效于嵌入一个具有适当匝数比的理想变换器。
3. 匹配电路嵌入功能对被测器件测量数据进行转换,使得在测试过程中被测器件仿佛与某种特有的匹配电路连接在一起。
4. 平衡 - 不平衡变换功能把单端 S 参数变换成混合模式(差模和共模)S 参数,这相当于在测试路径中嵌入了一个理想的混合巴伦(平衡 - 不平衡)变换器。在该变换中,混合模式的端口阻抗可以被用户设定为某个特别的值。
5. 差分匹配嵌入功能对测量数据进行转化,就好像在差分端口上接有专门的匹配电路一样。

去除不需要的夹具所造成的误差: 端口延伸和网络去嵌入

在测量非同轴接口的元器件, 例如各种SMD器件时, 必须通过夹具才能把被测元器件与只有同轴接口的网络分析仪进行连接, 如图2所示。因为网络分析仪的校准只是校准到同轴接口上(我们把图中这两个已经校准的同轴接口定义为测量平面), 所以在测量结果中就包括了在测量平面与器件平面之间由测试夹具所造成的误差。为了得到精确的测量结果, 必须要精心地对夹具进行设计, 以便把由夹具对测量结果的影响降低到最小。但是, 即便是夹具设计得再精良, 它还是不可避免地存在物理长度, 并且夹具的同轴至非同轴接口的转换经常会在测量结果中引入不需要的有害的误差。因此, 精确表征没有同轴连接器的元器件需要从测量结果中扣除夹具的有害误差。

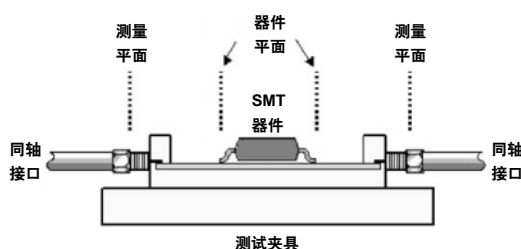


图2. 测试夹具的结构

去除夹具误差的简单方法是先在同轴测试电缆的终端处进行校准, 然后使用端口延伸功能把测试平面推向器件平面, 这是基于假设测试夹具电路是具有 $50\ \Omega$ 特征阻抗的理想传输线。如果不能接受这一假定, 那么夹具去嵌入是更为适宜的选择。根据用户对各测量端口规定的夹具的S参数模型, 夹具仿真器执行网络去嵌入计算, 从而在实时测量中减小夹具的影响。夹具模型作为 2×2 S参数 Touchstone 文件(.s2p)传送到ENA系列网络分析仪中。图3示出SAW滤波器传输测量(S_{21})中的夹具去嵌入结果: 下面的迹线是测量结果中包括有测试夹具引入的误差, 上面的迹线则显示已经通过去嵌入去除了这一误差。在这个例子中, 夹具的模型是用串联电感器和旁路电容器做成的无损耗传输线。

对S参数网络去嵌入, 包括如何对夹具进行建模的更详细介绍, 见参考文献1, Agilent 应用说明 1364-1。

www.agilent.com/find/ena

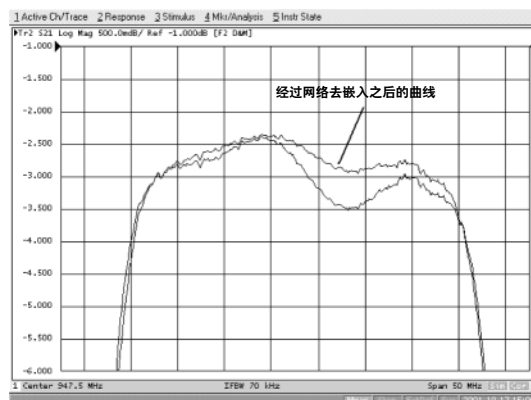


图3. SAW滤波器测量中使用夹具去嵌入的结果

测量非 50 Ω 元器件: 端口阻抗变换

在对特性阻抗不等于网络分析仪端口的特性阻抗 (50 Ω) 的元器件进行测试时,就需要变换网络分析仪的端口特性阻抗。理论上,可使用适当的变换器把网络分析仪的端口阻抗变换成实际上存在的任意阻抗。但这种方法在现实使用中有一些问题:首先是变换器的非理想特性会引入测量误差,这种误差没有办法从测试结果中去除掉,因为没有非 50 Ω 的可溯源的校准标准件。其次是 RF 变换器只有相对窄的频带。夹具仿真器采用的更现实方法是根据用户规定的端口阻抗,用数学计算法变换端口阻抗,这等效于在测量电路中嵌入了一个理想变换器(注意在夹具仿真器中规定的端口阻抗是正实数)。

测量平衡元器件: 平衡 - 不平衡变换

平衡元器件有两种工作模式:差模模式和共模模式。为全面表征平衡元器件,需要在这两种工作模式下进行测试。在图 4 中,我们可看到,用一个混合巴伦变换器(平衡-不平衡变换器)就可以用传统的(单端)网络分析仪对平衡元器件的差模和共模特性进行测试。但是,实际上这种硬件方法实现的平衡-不平衡转换会因为实际所使用的混合巴伦变换器的非理想特性而引入测量误差,这种测量误差也是无法从测试结果中去除掉的,因为对平衡电路来说,既没有标准的校准件,也没有标准的误差校正方法。在现实中,更经常使用的是只做差模信号变换的简单的平衡-不平衡变换器,这种方法显然不能给出元器件的共模特性。平衡-不平衡变换器的非理想特性引入测量误差,共模信号在平衡-不平衡变换器处的反射会带来更大的测量误差。

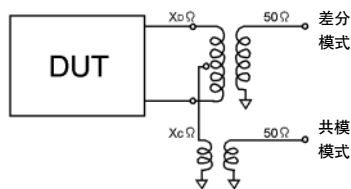


图 4. 用于平衡端口测试的混合巴伦变换器

通过把单端测量参数以数学方式变换为平衡参数, 夹具仿真器提供更精确的测量, 可以把它说成是在测试路径中嵌入了一个理想的混合变换器。这种变换所采用的算法是与实际上已经成为市场标准的 Agilent N444X 平衡测量系统所采用的算法是一样的。与硬件方法相比, 软件方法不但使得测量结果更为精确, 而且应用也更灵活, 因为用户可以任意设置差模和共模状态下的特性阻抗(注意在夹具仿真器中可把特性阻抗规定为一个正实数)。

采用与 Agilent N444X 系统相同的方法, 为了描述平衡器件的特性, 夹具仿真器也使用混合模式 S 参数。混合模式 S 参数也是被定义为器件的响应与所输入的归一化功率之比, 因此在这方面它与单端 S 参数是一样的。唯一的差别是混合模式中 S 参数的信号有特定的模式, 即差模和共模。图 5 显示如何以矩阵形式表示两端口平衡器件的混合模式 S 参数。当平衡端口与单端端口共存时, 也能以同样方式使用混合模式 S 参数。图 6 给出具有单端端口和平衡端口的元器件的最简单例子。

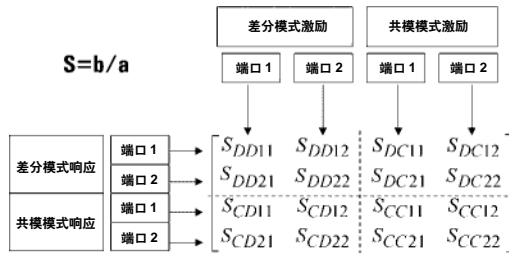


图 5. 两端口平衡器件的混合模式 S 参数

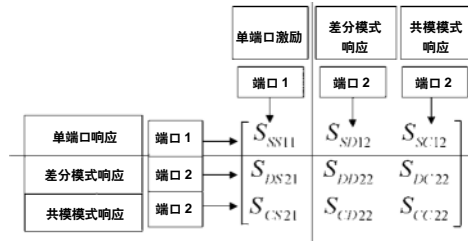


图 6. 具有平衡端口和单端端口的元器件的混合模式 S 参数

图7和图8分别显示了使用ENA系列网络分析仪测量单端-平衡结构的SAW滤波器时的单端S参数和混合模式S参数的实际测量结果。混合模式S参数可以非常有用地帮您充分了解SAW滤波器工作在平衡电路中时所表现出来的特性，而单端参数则很难与滤波器的平衡工作状态相关联。在混合模式S参数中，分别用 S_{SS11} 和 S_{DD22} 给出单端口和差分端口的端口匹配。 S_{DS21} 表示的是正向传输性能(单端输入至差分输出)， S_{CS21} 表示的是正向传输中产生的不需要的共模信号，它可能是EMI辐射源。请注意，单端口工作状态的传输特性测量结果(S_{21} 和 S_{31})显示这个滤波器的阻带抑制为40 dB，它明显低于差分工作模式下这个滤波器大约为60 dB的阻带抑制(S_{DS21})。

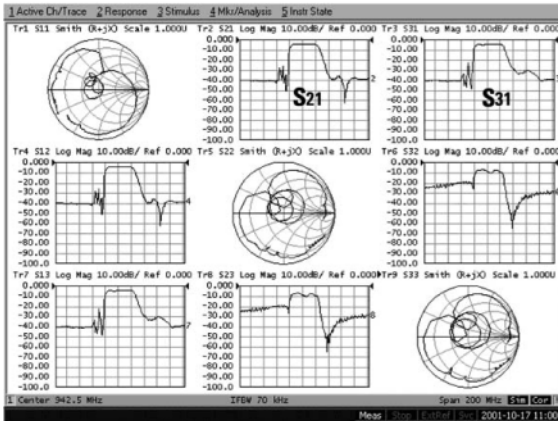


图7. 使用单端口S参数的SAW滤波器测量结果

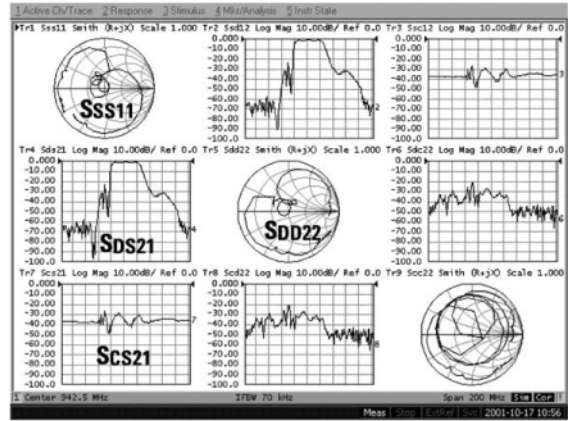


图8. 使用混合模式S参数的SAW滤波器测量结果

除夹具仿真器外,ENA系列还有两个值得注意的特性在对平衡器件的测试中起着重要的作用。它们分别是在每一个测量端口有两个测试接收机的体系结构,以及最多可以为4个端口进行的全N端口校准的能力。这种体系结构对于测量本身就是多端口、并且要求进行全部N端口测量(N^2 个S参数)的平衡元器件是非常有效的。如果所有器件的端子都被算作是单端口,那么平衡器件至少会有三个端口(三个端子的单端-平衡SAW滤波器就是很好的例子)。因为ENA系列网络分析仪的每个测量端口都配置了两个接收机,所以它能同时对所有的测量端口进行测试,与传统上网络分析仪只能同时测量两个端口相比,它大大地减少了扫描的次数。在进行全四端口测量的情况下,ENA系列网络分析仪只需要4次扫描,而常规网络分析仪则需要12次扫描。在用多端口网络分析仪测量元器件时,全N端口校准保证了足够的平衡器件测量的精度。因此,ENA系列网络分析仪对平衡元器件进行精确测量速度是前所未有的。

参考文献 3) Agilent应用说明 1373-2 讨论如何解释混合模式S参数。对于混合模式S参数的严格处理,见参考文献 4) Bockelman 等人的著作

www.agilent.com/find/ena

用虚拟的外部电路评估 元器件的特性: 匹配电路 嵌入

RF 元器件通常都用在较大规模的电路中, RF 工程师有时需要评估元器件在与一些外部电路, 例如阻抗匹配电路相连接时所表现出来的总体特性。夹具仿真器可以变换所测得的 S 参数(这个 S 参数是被测器件在没有与任何外部电路连接时的 S 参数), 得到的结果就好像元器件已经与用户定义的嵌入电路相连接了一样, 这种作法与真正为被测器件设计一个外部电路并与之相连之后再进行测试的方法相比, 大大地降低了测试的工作量。夹具仿真器中已经有了一些典型的匹配电路拓扑结构可以方便地对电路进行定义, 在单端测量和平衡测量时, 可采用如下所述的网络嵌入:

在单端测量中, 用户可使用图 9 所列的预定义匹配电路拓扑规定各测量端口的嵌入电路, 并可任意设置集总电路元件值。对于更复杂电路嵌入, 夹具仿真器可接受以 2×2 S 参数 Touchstone 格式(.s2p)描述的任何网络。

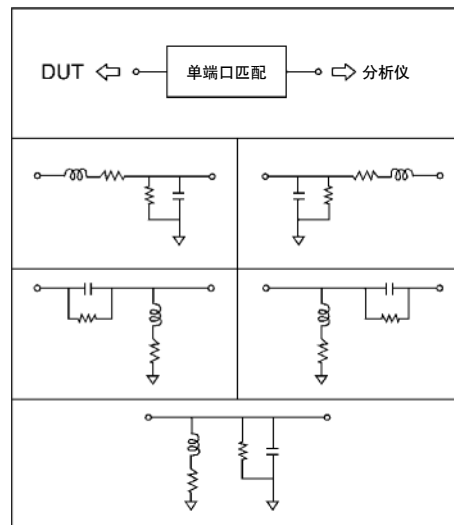


图 9. 单端匹配电路拓扑

在平衡测量中, 除上面描述的单端电路外, 也可使用如图 10 所示的旁路 L-旁路 C 拓扑, 在各差分端口中嵌入差分匹配电路。也可用类似单端电路嵌入用的 Touchstone 文件定义差分嵌入电路。

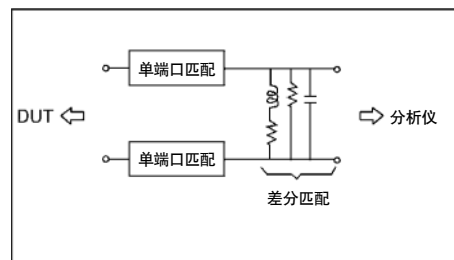


图 10. 差分网络嵌入

图 11 显示在单端 - 平衡 SAW 滤波器测量中匹配电路嵌入的影响。该滤波器被设计用来和 56nH 的差分匹配电感配合使用，从图中可看到当匹配电路(以数学方式)嵌入至测量电路时差分端口的匹配得到了改善。

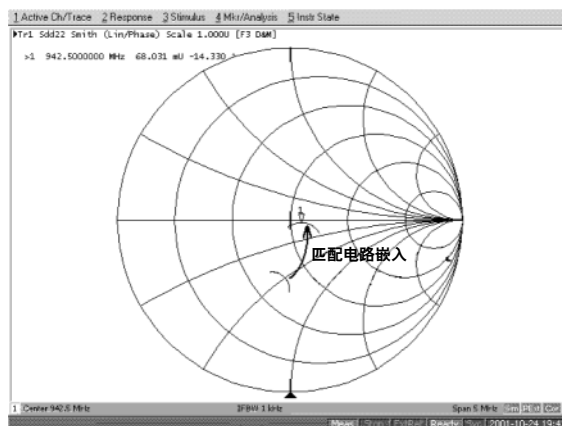


图 11. 在单端 - 平衡 SAW 滤波器测量中匹配电路嵌入的影响

结论

Agilent ENA 系列网络分析仪是对所测得的 S 参数进行数据处理的强大和易用的工具。夹具仿真器为各种 RF 应用执行那些必要和复杂的数据处理工作，以往这都需要借用外部计算机进行计算。与传统的解决方案相比，它有两项主要优点：第一是处理速度更快，因为全部处理都通过分析仪的固件功能完成，第二是操作大大地简化了，因为这个功能是作为网络分析仪的一部分来实现的。

在生产测试中，夹具仿真器连同 ENA 系列的快扫描速度可实现更全面的测量，而常规解决方案因速度限制而不能达到这一要求。例如，混合模式 S 参数的分析在过去一直被认为测试速度太慢而无法应用在生产过程当中。现在，更全面的测试将会提高制造产出率，并同时降低分摊到每一个器件上的测试成本。便于使用的夹具仿真器也提高了工作效率，因为 RF 工程师现在再进行各种复杂的仿真时，他们的工作就像进行常规 S 参数测量一样容易了。

参考文献

1. De-embedding and Embedding S-Parameter Network Using a Vector Network Analyzer, Agilent Application Note 1364-1
2. Multiport and Balanced Device Measurement Application Note Series - An Introduction to Multiport and Balanced Device Measurements, Agilent Application Note 1373-1
3. Multiport and Balanced Device Measurement Application Note Series - Concepts in Balanced Device Measurements, Agilent Application Note 1373-2
4. Bockelman, D.R., Eissenstadt, W.R., *Combined Differential and Common-Mode Scattering Parameters: Theory and Simulation* IEEE Transactions On Microwave Theory and Techniques, Vol. 43, No. 7, July 1995

www.agilent.com

安捷伦测试和测量技术支持、服务和协助

Agilent 公司的宗旨是使您获得最大效益，而同时将您的风险和问题减少到最低限度。我们将努力确保您获得的测试和测量能力物有所值，并得到所需要的支持。我们广泛的支持和服务能帮助您选择正确的 Agilent 产品，并在应用中获得成功。我们所销售的每一类仪器和系统都提供全球保修服务。对于停产的产品，在 5 年内均可享受技术服务。“我们的承诺”和“用户至上”这两个理念高度概括了 Agilent 公司的整个技术支持策略。

我们的承诺

我们的承诺意味着 Agilent 测试和测量设备将符合其广告宣传的性能和功能。在您选择新设备时，我们将向您提供产品信息，包括切合实际的性能指标和经验丰富的测试工程师的实用建议。在您使用 Agilent 设备时，我们可以验证设备的正常工作，帮助产品投入生产，以及按要求对一些特别的功能免费提供基本的测量协助。此外，还提供一些自助软件。

用户至上

用户至上意味着 Agilent 公司将提供大量附加的专门测试和测量服务。您可以根据自己的独特技术和商务需要来获得这些服务。通过与我们联系取得有关校准、有偿升级、超过保修期的维修、现场讲解和培训、设计和系统组建、工程计划管理和其它专业服务，使用户能有效地解决问题并取得竞争优势。经验丰富的 Agilent 工程技术人员能帮助您最大限度地提高生产率，使您在 Agilent 仪器和系统上的投资有最佳回报，并在产品寿命期内得到可靠的测量精度。

Agilent Open

Agilent Open 简化连接和编程测试系统的过程，以帮助工程师设计、验证和制造电子产品。Agilent 的众多系统就绪仪器，开放工业软件，PC 标准 I/O 和全球支持，将加速测试系统的开发。要了解更详细的情况，请访问：www.agilent.com/find/openconnect。

欢迎订阅免费的



安捷伦电子期刊

www.agilent.com/find/emailupdates

得到您所选择的产品和应用的最新信息。



Agilent Direct

www.agilent.com/find/agilentdirect

高置信地快速选择和使用您的测试设备解决方案

有关安捷伦开放实验室暨测量方案中心和安捷伦测试与测量技术认证，请访问：www.agilent.com.cn/find/openlab

请通过 Internet、电话、传真得到测试和测量帮助。

在线帮助：www.agilent.com/find/assist

热线电话：800-810-0189

热线传真：800-820-2816

安捷伦科技有限公司总部

地址：北京市朝阳区建国路乙 118 号
招商局中心 4 号楼京汇大厦 16 层

电话：800-810-0189

(010) 65647888

传真：(010) 65647666

邮编：100022

上海分公司

地址：上海市西藏中路 268 号
来福士广场办公楼 7 层

电话：(021) 23017688

传真：(021) 63403229

邮编：200001

广州分公司

地址：广州市天河区北路 233 号
中信广场 66 层 07-08 室

电话：(020) 86685500

传真：(020) 86695074

邮编：510613

成都分公司

地址：成都市下南大街 2 号
天府绿洲大厦 0908-0912 室

电话：(028) 86165500

传真：(028) 86165501

邮编：610012

深圳分公司

地址：深圳市高新区南区
黎明网络大厦 3 楼东区

电话：(0755) 82465500

传真：(0755) 82460880

邮编：518057

西安办事处

地址：西安市高新区科技路 33 号
高新国际商务中心
数码大厦 23 层 01-02 号

电话：(029) 88337030

传真：(029) 88337039

邮编：710075

安捷伦科技香港有限公司

地址：香港太古城英皇道 1111 号
太古城中心 1 座 24 楼

电话：(852) 31977777

传真：(852) 25069256

香港热线：800-938-693

香港传真：(852) 25069233

Email: 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. 2006

出版号：5988-4923CHCN

2006 年 5 月 印于北京



Agilent Technologies