

多端口器件散射参数测试方法研究

肖 琴

(中国电子技术标准化研究院 北京 100176)

摘 要:通过对我国现行多端口器件散射参数的测试方法标准进行梳理,发现这些测试方法不能代表最新测试技术水平,有的测试方法仅仅是由参数定义得到的简单原理框图,可操作性也不强,标准中测试方法脱离了现代射频仪器的发展进程。根据现代射频仪器的发展趋势,再结合多端口器件的混合模 S 参数的定义,提出了采用多端口矢量网络分析仪进行多端口散射参数测试的方法,使测试程序化繁为简,且能采用数据采集技术,一次性测试多个参数,测试效率大大提高。

关键词:混合模 S 参数;多端口矢量网络分析仪;数据采集

中图分类号: TN2 **文献标识码:** A **国家标准学科分类代码:** 520.604

Study on test methods of multi-port device scattering parameters

Xiao Qin

(China Electronics Standardization Institute, Beijing 100176, China)

Abstract: Based on the existing test methods of multi-port device scattering parameters, finds that these standards do not represent the latest testing technology. Some test methods are defined by parameters just to get a simple block diagram, so the operability is not strong. These test methods are leaving the development process of modern radio-frequency instrument. According to the development trend of modern radio-frequency instrument, and combined with mixed-mode S-parameters of multi-port device definition, poses that using multi-port vector network analyzer test multi-port scattering parameters, and can be used by data acquisition technique, More than one parameters can be test, it will greatly improve the test efficiency.

Keywords: mix-mode S-parameters; multi-port vector network analyzer; data acquisition

0 引 言

多端口射频元器件是指输入输出端口数量之和大于 2 的这类射频元器件。常见的多端口射频元器件有变压器、功率分配/合成器、定向耦合器、隔离器、环形器等。作为射频元器件的一个重要组成部分,多端口器件是构建射频电路系统必不可少的元器件,如变压器广泛应用于阻抗变换、信号耦合、直流隔离等电路中。其电性能指标在射频电路系统设计时也需要予以考虑。如何快捷、准确的测试多端口射频元器件的射频电性能指标是测试工程师需要解决的问题。

1 测试标准现状

S 参数作为射频元器件的基本表征参数,可用于表达任意端口器件的射频小信号传输特性、反射特性。多端口

射频元器件的 S 参数与传统的双端口射频元器件的 S 参数的定义虽然相同,但是在测试 S 参数时要比双端口器件复杂许多。以变压器为例,我国现行标准中有关 GJB1661-1993 中频、射频和鉴频变压器总规范^[1],该标准仅给出了变压器插入损耗的定义以及测试原理(如图 1 所示)和计算公式,没有给出因为变压器的特殊性能而在测试需要规定的内容,如变压器与测试仪器的阻抗匹配、测试仪器的校准等细节,因此执行困难。而且该标准没有端口平衡参数(输出端口的幅度平衡度和相位平衡度)的相关规定,这使得变压器的考核指标不全面。

GJB1065A-2004 射频隔离器和环形器通用规范^[2]第 4.6.3 条、第 4.6.4 条、4.6.5 条分别规定的环形器反向损耗、正向损耗、电压驻波比的测试方法。其中第 4.6.3 条规定,环形器:把被测环形器的输入端口 1 接到输入电路,输出端口 2 接输出电路,把输出端口 3 接匹配负载,在频

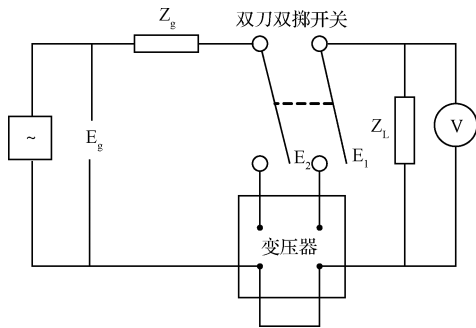


图1 GJB1661-1993中变压器插入损耗测试原理

率范围内扫描,并在常温和正、负极限工作温度下测量反向损耗,该程序应对所有环形器端口反复进行。如图2所示。

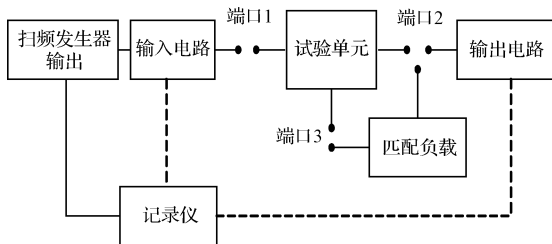


图2 GJB1065A-2004中环形器电性能测试原理

除了上述两个标准,涉及多端口无源器件测试的标准还有 GJB1426A-2011 功率分配器、功率合成器和功率分配/合成器通用规范^[3],GJB1509A-2011 定向耦合器通用规范^[4]。这些标准中对射频性能指标的测试方法都没有提及采用多端口仪器测试。由于采用双端口测试仪器测试多端口器件时无法测试器件全部的传输和反射参数,因此如何全面、准确的测试多端口器件的 S 参数,变得十分有意义。

2 多端口矢量网络分析仪测试 S 参数

多端口器件按照不同的特性,又可分为可采用双端口 S 参数描述的标准阻抗器件和不能用双端口 S 参数描述的平衡器件。对于标准阻抗器件,如功率分配/合成器、环形器、隔离器、定向耦合器,它们的 S 参数与双端口 S 参数定义一致,因此它们的 S 参数测试方法可以参考双端口器件,在需要端接匹配负载的端口,采用仪器自身经过校准的端口,该端口既能作为测试的激励或接收端口,也能作为阻抗匹配端口。这样就避免了测试某两个端口的 S 参数时,其他非测试端口再外接匹配负载,一次完成多个端口参数的测试,能大大提高测试效率。因为不使用任何外接的匹配负载(匹配负载因为生产厂家不同,质量参差不齐),整个测试系统的稳定性和测试精度得到保证^[5-7]。例如,采用 GJB1509A-2011 规定的定向耦合器的射频参数测试方法,对于有 4 个端口的双向耦合器来说,要将耦合

度、方向性、插入损耗、电压驻波比(主线和副线)这些射频小信号性能指标全部测试完成,需要更换 4 次测试线,而采用四端口仪器进行测试时,只需要一次就能完成全部参数的测试,效率是双端口测试仪器的 4 倍。

从 20 世纪 90 年代初混合模 S 参数的概念提出以后,国外在平衡器件性能描述和测量领域进行了大量的研究,平衡器件特性的测试已成为国外最新推出的矢量网络分析仪的必备功能^[8-10]。例如,四端口网络分析仪的混合模 S 参数的表示方法中定义了单端-平衡器件、平衡-平衡器件的混合 S 参数和不平衡参数,如图 3 所示。

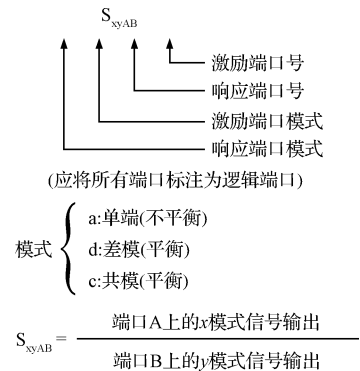


图3 四端口吊钩络分析仪的混合模 S 参数表示方法

下面的两个矩阵显示了测量每个平衡器件时的混合模 S 参数。

测量单端-平衡器件时的混合模 S 参数,如图 4 所示。

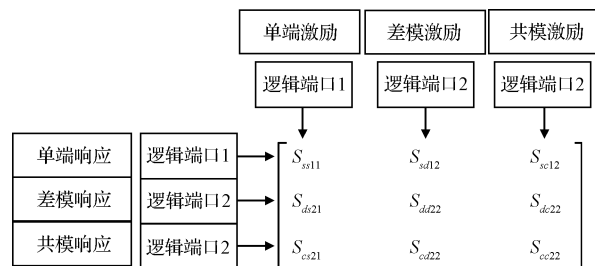


图4 测量单端-平衡器件时的混合模 S 参数

测量平衡-平衡器件时的混合模 S 参数,如图 5 所示。

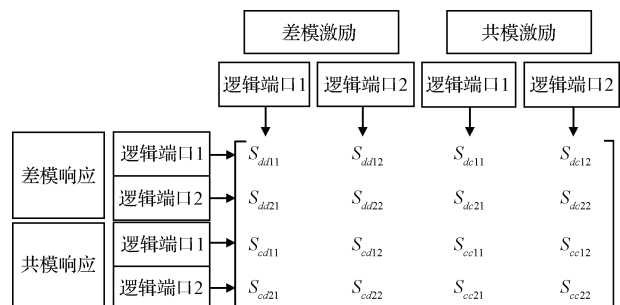


图5 测量平衡-平衡器件时的混合模 S 参数

测量单端-平衡器件时的不平衡参数,如图 6 所示。

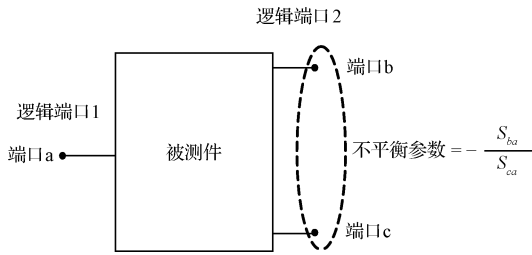


图6 测量单端-平衡器件时的不平衡参数

测量平衡-平衡器件时的不平衡参数(不平衡参数1和不平衡参数2),如图7所示。

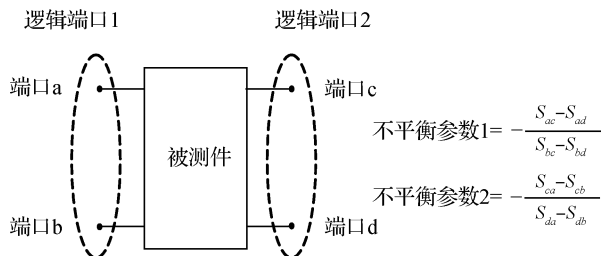


图7 测量平衡-平衡器件时的不平衡参数

熟悉了四端口矢量网络分析仪的端口混合模 S 参数定义,就可以通过仪器的相关设置进行多端口器件对应的混合 S 参数测试。

3 多端口矢量网络分析仪测试结果分析

通过 USB-GPIB 接口转换器与程控计算机连接,在计算机上安装相关的仪器驱动程序,很容易实现计算机与网络分析仪的通信^[11]。将网络分析仪进行多端口的校准^[12-14]并保存校准状态后,采用程控计算机调用校准状态,然后对样品进行测试,输出数据由程控计算机完成采集。如图8所示为某定向耦合器所有端口的传输特性 S 参数,通过仪器设置可直接测试得到被测定向耦合器的输入回波损耗 S11 幅度(曲线1)、主线输出回波损耗 S33 幅度(曲线2)、副线输出回波损耗 S44 幅度(曲线3)、主线插入损耗 S31 幅度(曲线4)、副线插入损耗 S41 幅度(曲线5)、主线相位 S31 相位(曲线6)、副线相位 S41 相位(曲线7)。幅度平衡度 $\Delta P = S_{31}$ 幅度 - S41 幅度、相位平衡度 $\Delta\phi = S_{31}$ 相位 - S41 相位 - 90° , 插入损耗 $IL = -10\log_{10} (|10^{(\Delta P)}| + |10^{(\Delta\phi)}|)$ 计算得到。如图9所示为某四端口变压器的混合模 S 参数测试曲线,其中输入回波损耗 SDD11 幅度(曲线1)、输出回波损耗 SDD22 幅度(曲线3)、插入损耗 SDD21 幅度(曲线2)、差模信号对共模信号的抑制比 SDD21/SCC21 幅度(曲线4)。如图10、图11所示为某三端口变压器的插入损耗和端口相位不平衡度测试曲线,将测试曲线设置为幅度,则可得到幅度不平衡度。其中图9显示被测器件为四端口平衡-平衡拓扑结构,图10显示被测器件为三端口单端-平衡拓扑结构。

图11为图10中被测器件的端口相位不平衡度测试曲线。因为所选择的测试仪器不同,测试选择的拓扑结构在图9、图10中右下角有显示,而在图11中没有显示。

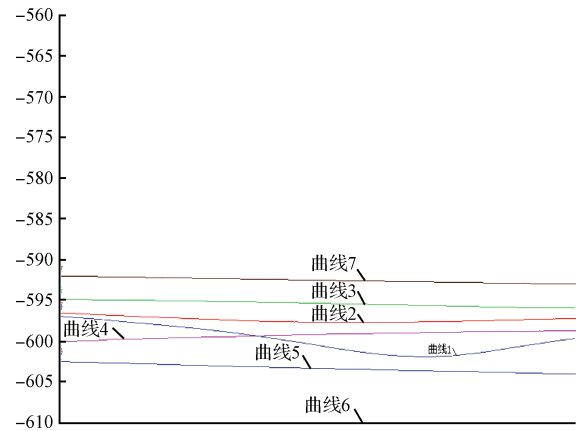


图8 某定向耦合器 S 参数测试曲线

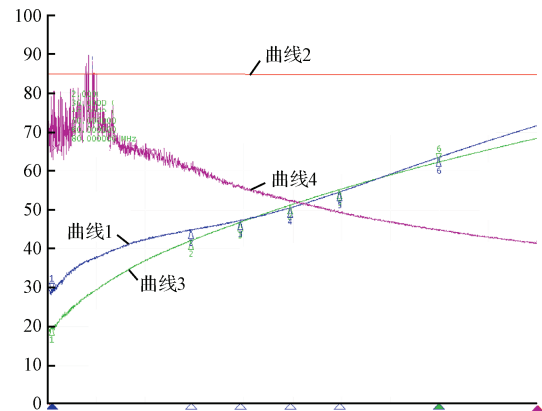


图9 某四端口变压器混合 S 参数测试曲线

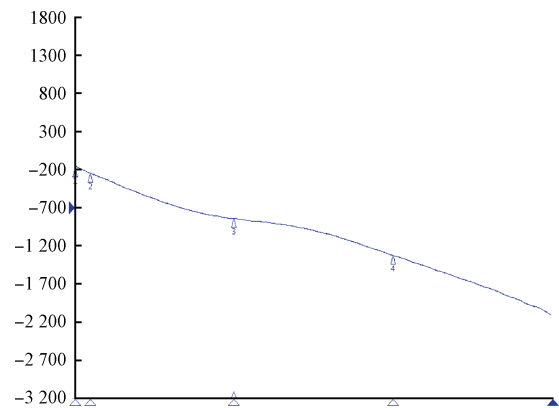


图10 某三端口变压器混合 S 参数测试曲线

使用数据采集软件,可以得到图9~11中每条曲线上各 marker 点的值,保存到相应的数字表格,再通过公式计算等数据处理,可得到测试者需要的参数信息。这样操作可以减少样品的插拔次数,简化测试步骤,提高测试效率。

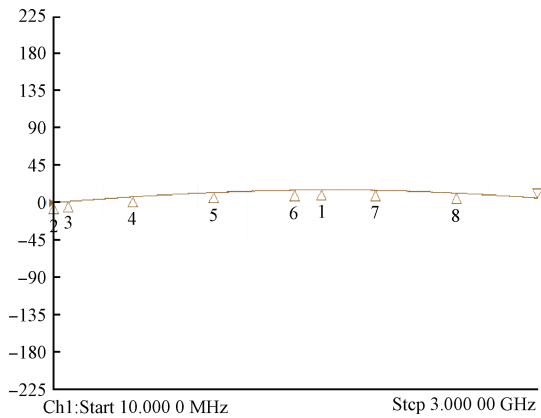


图 11 某三端口变压器的端口相位不平衡度测试曲线

4 结 论

采用多端口矢量网络分析仪不仅实现了对多端口射频器件的端口传输和反射参数的测试,提高了测试效率,还能进行端口平衡参数的测试,这在使用双端口仪器进行多端口器件测试时不能解决的问题得以解决。测试效率的提高,对生产单位节约劳动成本具有重要意义。重要测试参数数量上的扩展,使得我们对器件的整体性能评价更准确,这使得用户单位在整机设计对多端口部件的性能有更全面的把握,有利于提高设计中的一次性成功率。

参 考 文 献

- [1] 国防科学技术工业委员会 GJB 1661-1993 中频、射频和鉴频变压器总规范[S]. 北京:国防科工委军标出版发行部,1993.
- [2] 中国人民解放军总装备部 GJB 1065A-2004 射频隔离器和环形器通用规范[S]. 北京:总装备部军标出版发行部,2004.
- [3] 中国人民解放军总装备部 GJB 1426A-2011 功率分配

器、功率合成器和功率分配/合成器通用规范[S]. 北京:总装备部军标出版发行部,2012.

- [4] 中国人民解放军总装备部 GJB 1509A-2011 定向耦合器通用规范[S]. 北京:总装备部军标出版发行部,2012.
- [5] RUTTAN T G, GROSSMAN B, FERRERO A, et al. Multiport vna measurement[J]. Microwave Magazine, IEEE, 2008, 9(3): 56-69.
- [6] DUNSMORE J, ANDERSON K, BLACKHAM D. Complete pure-mode balanced measurement system[C]. 2007-06-15, S. l. : s. n. , 2007: 1485-1488.
- [7] ROLFES I, SCHIEK B. Multiport method for the measurement of the scattering parameters of n-ports[J]. IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques, 2005, 5(6): 1990-1996.
- [8] 佚名. R&S 推出 20GHz 多端口矢量网络分析仪 ZN-BT20[J]. 国外电子测量技术, 2016, 35(8): 109-110.
- [9] 温小雨, 赵永久. 测量平衡器件混合模 S 参数的数学巴伦法[J]. 电子科技, 2008(1): 37-41.
- [11] 张朋祥. 多端口射频网络自动测试系统[D]. 苏州: 苏州大学, 2013.
- [12] 温小雨. 四端口矢量网络分析仪误差校准及修正[D]. 西安: 西安电子科技大学, 2008.
- [13] 赵伟. 多端口矢量网络分析仪校准技术研究[D]. 南京: 南京航空航天大学, 2011.
- [14] 刘军. 一种多端口矢量网络分析仪误差校准简化方法[J]. 国外电子测量技术, 2016, 35(9): 29-33.

作 者 简 介

肖琴, 1981 年出生, 理学硕士, 工程师, 主要研究方向为电子元器件检测与测试方法标准研究与制定等。
E-mail: xiaoqin@cesi.cn