

高频矢量网络分析仪校准的研究

王振超 孙吉胜 王尊峰 储艳飞

中电科思仪科技股份有限公司, 山东青岛, 266555;

摘要: 本文介绍了多短路器校准件的基本结构和优点。重点介绍了高频矢量网络分析仪两种不同校准件的校准结果差异性, 在其它条件基本相同的情况, 精密型多短路器的校准件明显优越于单一短路器的校准件。给出了最高频率为 67GHz 和 110GHz 实际测试结果, 针对高频矢量网络分析仪的校准需求, 选择合适的校准件和校准方式十分重要。

关键词: 偏移短路器; 高频; 校准

DOI: 10.69979/3041-0673.26.05.008

引言

随着通讯领域高速发展, 特别是国内相关芯片、航天等行业的发展, 对高频率测试设备需求急剧增加, 这将对高频测量设备精准度提出更高的要求, 像矢量网络分析仪、频谱仪、信号发生器等。特别是矢量网络分析仪, 经过几十年的发展, 各种测试功能较完备, 测试方法比较丰富。不仅可以测试基本的射频组件, 像衰减器、连接器、射频电缆、滤波器等, 还可以测试混频器、放大器噪声系数等复杂的射频组件或整机等。矢量网络分析仪测试之前, 需要先使用校准件校准, 方可精准测试相关参数。本文对高频矢量网络分析仪的校准做了相关研究, 并进行了对比测试。可为高频矢量网络分析仪用户提供一定帮助。

1 矢量网络分析仪的校准

矢量网络分析仪的测量误差可分为系统误差、随机误差、漂移误差。这些误差的存在导致测量的结果不够理想。为了测量的结果更准确, 需要用校准的方法来将这些误差使用已知的校准件归一化, 也就是说将这些误差尽可能的在测量被测件前消除。矢量网络分析仪校准就是消除系统误差对被测件的影响, 从而提高了精度的一种方法。即通过测量已知校准件, 利用测量结果来表征系统, 以消除设备的系统误差。

矢量网络分析仪校准过程, 就是将多个系统误差项纠正的过程, 任何测量结果都或多或少带有一定的测量不确定度, 即测量值与真实值之间的预期统计偏差。测量不确定度主要有两类: 随机误差和系统误差。现代矢量网络分析仪提供了多种相关误差校准技术, 像 7 项误差模型的 TRL、TOM、TRM、TNA、UOSM 技术, 12 项误差模型的 TOSM 或者说 SOLT 技术, 15 项误差模型的 TOM-X 技术等。标准校准件种类非常多, 像 N 型、3.5mm、2.4mm、1.85mm 和 1mm 的等。随着同轴尺寸越小, 对应使用的频段就越高。校准过程中, 先选好校准件的型号, 比如同轴测试 60GHz 频点附近参数, 要

选用 1.85mm 的校准件; 同轴测试 100GHz 参数, 需选用 1mm 的校准件。市面低频段校准件制造技术和工艺相对高频校准件都已比较成熟, 很多低频校准件的精度都能达到比较高的指标, 低频的矢量网络校准时, 校准选对对应型号校准, 测试结果的精度误差比较小。但是, 对高频矢量网络分析仪校准来说, 由于高频校准件制造加工难度和精度要求要更高, 要想获取高的测量精度, 校准不仅要选对正确的校准件型号, 还要选好校准方式方法。高频同轴矢量网络分析仪测试对校准件精度以及具体操作要求都非常高, 任何不当配置和操作均会导致结果偏差较大。例如, 端口连接匹配不好, 可能直接导致测试结果超出应有指标范围。

通常使用 SOLT 技术来校准消除相关误差项, 矢量网络分析仪 12 项误差系数流程图, 如图 1 所示, 即前向误差系数和反向误差系数。该流程图前向和反向均为 6 项误差, 方向性、隔离、反射跟踪、传输跟踪、源匹配、负载匹配。

目前同轴矢量网络分析频段覆盖较全, 从几 Hz 到上百 GHz, 像中电科思仪科技股份有限公司的 3674 系列产品, 从 500Hz-120GHz 全覆盖, 一台设备全频段均可测试, 使用起来非常方便。

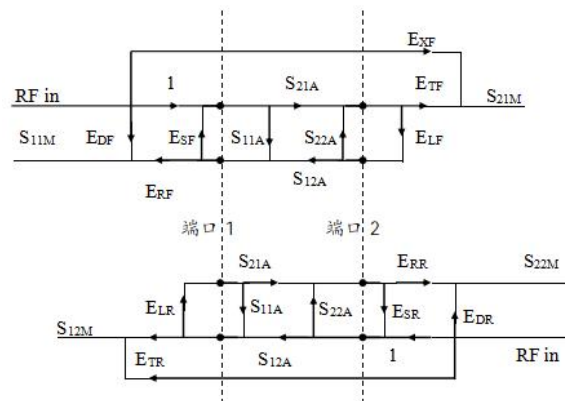
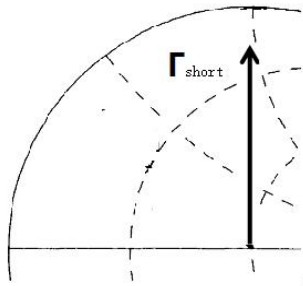


图 1 全二端口误差系数流程图

2 偏移短路器校准件的优点

为了尽量减少在矢量网络分析仪测量过程中出现的测量误差,获取更准确的校准测试结果,通常会使用高精度的校准件、测试电缆、合适的校准方法以及正确的人为操作。常用的校准件包括短路器、开路器、适配器或者负载等。低频(50GHz以下)同轴被测件,使用不同的校准方法和校准件测试的结果差别相对要小。然而,随着对微波集成电路等芯片级器件测量的增加,必须在微波微带等相关环境中进行测量。现使用的频率已高达到上百GHz,低频同轴开路器、短路器、负载校准件在这场景中不再适用,就需要更高频率和精度的校准件来满足需求。根据现有的校准件模型和加工工艺

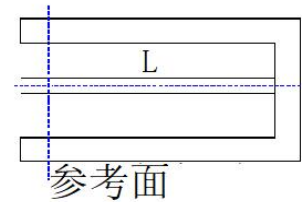
可知,开路器和负载均存在对校准测试结果有较大影响的寄生参数。到上百GHz高精度的微带匹配负载和精确的开路器,并不能像短路器那样容易实现,即使能够实现接近理想的水平,但加工成本也非常高,价格会很昂贵,是现有用户无法接收的。为了解决这一问题,克服校准件难以实现的现实,人们避开负载,而用带有不同传输线偏移的多短路器来代替负载和开路器实现。例如1mm的多偏移短路器85059B校准件的short1(1.3mm)、short2(2.45mm)、short3(3.326mm)、short4(4.039mm)(此数据来源于85059B校准件产品手册)。



图a short测试斯密斯圆图



图b 3674PA实物图



图c short

图2

由短路器的结构特点和性能可以了解到,其电长度 L 在斯密斯圆图上可测试到对应圆的半径 Γ_{short} ,如图2-a所示,基本上都在一个同心圆上,不同校准件的short稍微不同,实测数据和理论数据是一致的。经过相关理论和数学计算,不同 L 长度的短路器组合可覆盖不同频段,short结构模型如图2-c所示,不同的short对应不同的 L 长度。这样我们就可使用多个短路器来代替对应的难以实现的负载或适配器,特别是同轴超宽带负载。现有超宽带固定负载一般到50GHz或者67GHz,经数据补偿后的个别校准件能到120GHz,但是实际能够使用到的指标往往不如多偏移短路器校准件。多个短路器在校准求解时,方程数目也更多,算法更优化,精度也更高。

3 校准测试

3.1 1mm 校准件测试对比

选用中电科思仪科技股份有限公司的3674PA(10MHz-110GHz)分体式同轴矢量网络分析仪为测试设备,选用85059ASOLT校准件(宽带负载)和多短路器校准件85059B,二者均为1mm同轴校准件,除这两种型号外,国产3674P-049同轴校准件也是1mm同轴校准件的选型之一。被测件选用标准1mm双阳转接器85059-60044,测试电缆选用3674P-046双阴电缆一对,

校准方式为未知直通校准方式,测试对比,如图3-a所示。

为了测试对比方便,现使用1、2端口,分别建立通道1和通道2,除校准件选择外,其他设置和操作均完全相同。通道1和通道2均分别建轨迹Tr1-Tr6、Tr7-Tr12,依次为S11(回波损耗)、S12(插入损耗)、S21(插入损耗)、S22(回波损耗)、S11(驻波比)、S22(驻波比),如图3-a所示。

同样设置通道1和2,点数为1601点,中频带宽100Hz,功率为-5dBm。首先切换到通道1,打开校准件界面,用多短路器校准件校准,选择85059B校准件,每个端口依次使用short2、open、short1、load、short3、short4校准,然后,直通校准,校准后的结果如图Tr1-Tr6。切换到通道2的曲线,设置和通道1的除校准件外全部相同,选择单一短路器校准件校准,每个端口依次使用open、short、load,直通校准。校准结果为图3-a的轨迹Tr7-Tr12。

从测试结果可看出,回波损耗:通道1(S11深蓝色和S22粉色)整体优于通道2(S11暗黄色和S22浅黄色),例如55GHz频点附近,S22相差约6dB,S11相差约11dB。插入损耗:通道1的S12(红色)S21(绿色)和通道2的S12(黑色)S21(淡蓝色)对比,通

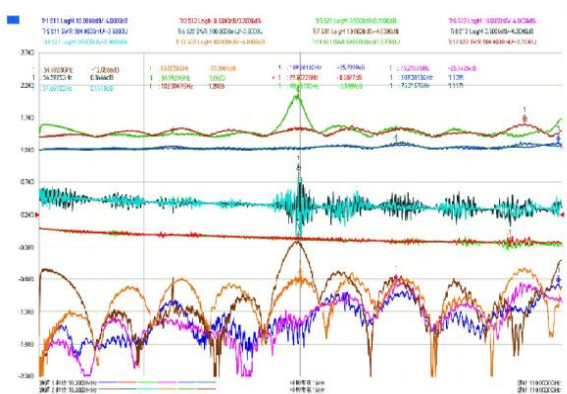
道1整体曲线非常平坦,较为光滑,通道2“毛刺”较多,整体平坦度较差,通道1整体指标优于通道2。驻波比:通道1的S11和S22校准后,不重复连接情况下,基本在1.1mU左右,但是通道2的就非常差,个别点就超过了1.66mU。从测试结果图片看,非常清楚的对比出来,两种校准件的差异。

3.2 1.85mm 校准件测试对比

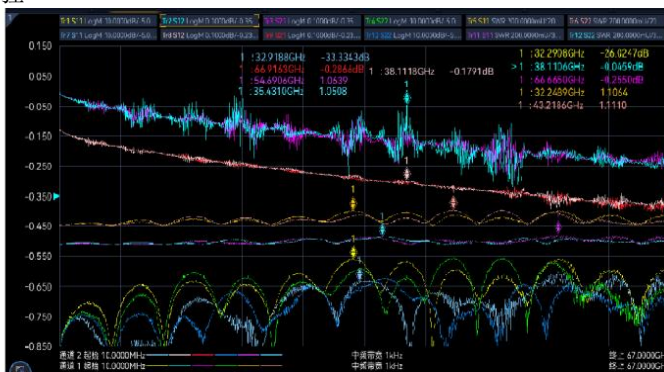
上文已经测试对比1mm校准件,下面测试1.85mm的校准件。选用85058B和85058E两套校准件,选用3674L矢量网络分析仪为测试设备测试。选用SOLT校准技术,选用未知直通校准方式,设置点数1601点,同样新建通道1和通道2,轨迹均为Tr1-Tr6、Tr7-Tr12,分别为S11(回波损耗)、S12(插入损耗)、S21(插入损耗)、S22(回波损耗)、S11(驻波比)、S22(驻

波比),通道2使用85058B,经过校准测试,对比较校准测试结果,结果如图3-b所示。

由图可看出,使用多短路器校准件校准,测量的结果明显优于单一短路器校准件校准测试结果,例如回波损耗(Tr1-Tr2、Tr7-Tr8)、驻波比(Tr5-Tr6、Tr11-Tr12)指标等。多短路器校准件测试结果中,回波损耗在全波段均优于由单一短路器校准件校准测试结果,个别频点相差高达10dB左右,例如32.3GHz附近相差10.2dB。再观察驻波比指标,从图中可看出,单一短路器校准件校准后测试的结果,整体曲线平坦度较差,指标相差较大,例如43.21GHz频点附近单一短路器校准后为1.11mU,多短路器校准后为1.04mU,相差0.07mU,对被测件来说这是非常大的误差,甚至超标,像标准的连接器测量等是无法接收的。



图a 110GHz测试对比数据



图b 67GHz测试数据

图3 不同类型校准件校准后测试结果

(图3当前活动轨迹S21和S12比例均为0.5dB,回波损耗比例为10dB)

对使用高频矢量网络分析仪的用户有所帮助。

3.3 结论

经过以上测试对比验证,可以看出,多短路器校准件校准后的测量结果明显优于单一短路器校准件校准测试的结果。在科研生产中,选择校准件时,可以优先考虑选用含有多短路器的校准件,其测试结果的精度更高,更能精准反应出被测件的相关性能指标。这也是现在1mm国产3674P-049同轴校准件,1.85mm国产20209LA同轴校准件等,在国内使用量越来越大的主要原因。

参考文献

- [1]中电科思仪科技股份有限公司,3674系列产品用户手册
- [2]keysight, 85059b-user-service-guide.pdf
- [3]keysight, User's and Service Guide Agilent Technologies 85058B/E 1.85 mm Calibration Kits.pdf
- [4]王尊峰,杨保国,马景芳 矢量网络分析仪未知直通校准技术及应用,国外电子测量技术,2017
- [5]郭永瑞,李树彪 矢量网络分析仪中非插入器件的校准方法,仪器仪表学报,2010
- [6]刘敬坤,王敏 矢量网络分析仪测量不确定度分析

4 结束语

本文重点介绍了高频矢量网络分析仪校准过程中,使用多短路器校准件校准的优点。用实际测试数据验证了多短路器校准整体测试精度高于单一短路器校准件校准测试精度。本文还介绍了短路器的结构特点,给出了选用多短路器来代替单一固定负载校准的原因。希望

作者简介:王振超,中电科思仪科技股份有限公司员工,工程师,长期从事高频矢量网络分析仪等微波毫米波技术的研究。