

基于TRL校准的夹具测试技术浅析*

王尊峰 杨保国 马景芳

(中国电子科技集团公司第四十一研究所 电子测试技术重点实验室 青岛 266555)

摘要:如何实现非同轴微波器件S参数的精确测量一直是业界的技术难题,制作、使用微波夹具是实现其网络参数直接测量的主要途径之一。文章介绍了传统夹具测试方法,重点论述了运用TRL校准技术进行夹具测量的解决方案,并给出夹具TRL校准件设计方法和注意事项。通过具体夹具校准件的设计和测量试验完成了设计验证,该技术方案能够很好地去除夹具误差、显著提高测试精度,并具有较强的可操作性。

关键词:矢量网络分析仪;夹具;TRL校准;校准件

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

Analysis of fixture testing technique based on TRL calibration

Wang Zunfeng Yang Baoguo Ma Jingfang

(Science and Technology on Electronic Test & Measurement Laboratory,
The 41st Research Institute of CETC, Qingdao 266555, China)

Abstract: How to realize the accurate measurement of S-parameters of microwave devices has been the difficult technical problem of the industry, with one of main methods being making and using fixtures. This article introduces traditional kinds of fixture techniques, and then discusses the solution of fixture with TRL calibration, giving the designing method and matters needing attention of TRL cal-kits. A series of TRL cal-kits are produced and an experimental is designed, to prove that the method can calibrate the measurement error and improve the testing accuracy effectively.

Keywords: vector network analyzer (VNA); fixture; TRL calibration; cal-kits

1 引言

对于一般用户熟悉的微波器件和部件而言,很多是以标准的同轴接头为主,比如3.5 mm同轴、2.4 mm同轴、1.85 mm同轴、到1 mm同轴连接器,覆盖频率范围从DC到110 GHz。随着通信、元器件等高新技术产业的发展,很多器件封装形式变得日趋多种多样,很难和通用测试仪表直接连接。如何获得非同轴元器件的准确S参数,成为微波研发生产人员迫切需要解决的问题^[1-3]。微波测试夹具可以实现同轴和非同轴方式的过渡。如果配以精确的校准手段,可使得微波仪表的测量能力直接延伸到器件的两端,为各类设计、仿真提供了真实准确的S参数数据。

2 传统测量方法

鉴于夹具种类繁多、结构各异,针对微波器件在夹具

方面的测试难题,先简要分析两种传统测试方法。

1) 基于端口延伸补偿的夹具测量法

首先在矢量网络分析仪的标准测量电缆端口进行校准(通常是SOLT校准:短路-开路-负载-直通),校准件使用通用的同轴校准件;校准完成后,在主机菜单中输入仪器校准面到夹具测量平面的损耗和时延数据,用以补偿夹具引入的测量误差,校准示意图如图1所示,这种方式支持自动端口延伸功能。该方法是一种简易的方法,优点是操作简单,实现比较容易;缺点是精度低,并且要求所用夹具要有平滑的频响,并且无法修正夹具引入的失配误差,主要应用于一些精度要求不高的场合。

2) 夹具去嵌测试法

利用矢量网络分析仪的同轴校准数据和夹具的S参数文件实现夹具去嵌功能,以修正测试数据。如图2所示,在网络分析仪校准后,引入夹具的S2P文件,通过去嵌

收稿日期:2017-04

* 基金项目:国家自然科学基金应急管理项目(61640601)资助

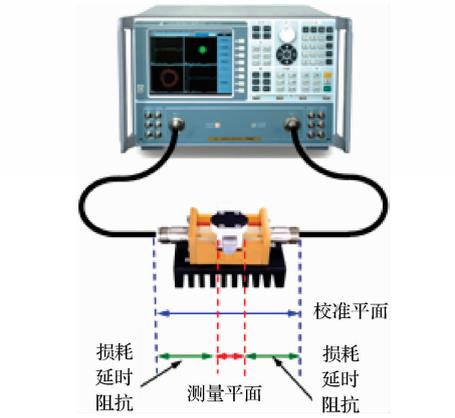


图1 端口延伸补偿的夹具测量法

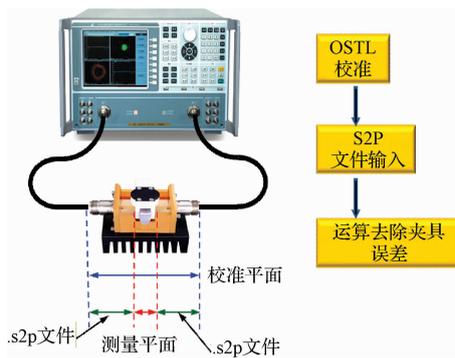


图2 使用去嵌功能的夹具测量法

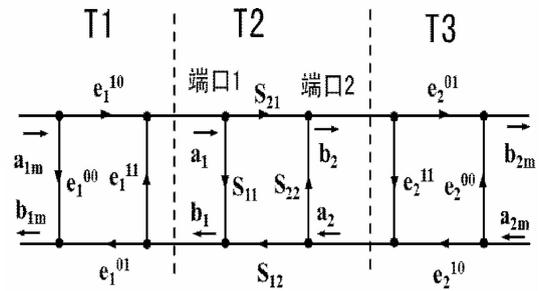
计算来获取 DUT 的 S 参数。优点是精度非常高,其局限性在于获取测试夹具精确的 S 参数文件是一个难点。

3 用 TRL 校准进行夹具测量的解决方案

3.1 校准模型和原理

TRL 校准在理论上相对 SOLT 校准(短路-开路-负载-直通)是精度更高的校准方式,是 8 项误差模型,尤其适合非同轴环境的夹具测量,而校准件的制作要求相对 SOLT 校准件要低一些^[4]。TRL 校准件不需要像 SOLT 校准件那样要求尺寸精确,TRL 校准件跟标准的质量、重复性只是部分相关,而不是完全相关。因此,一般 TRL 校准制作和特性描述更容易一些。由于校准模型原因,相对于其他校准模式,TRL 校准的定义也相对容易;TRL 校准件更容易实现设计制造。校准件的尺寸要求也相对要低,矢量网络分析仪能方便地支持 TRL 校准件的定义、校准以及导入功能^[5-6]。

TRL 校准 8 项误差模型如图 3 所示。校准需要完成每个端口的反射误差项的获取,包括方向性、源匹配和反射跟踪等误差。通过测量校准件中的反射标准可以获得两组方程、测量直通件和空气线各自获得 4 项方程,从而可以完成 8 项误差的求解。直通件特性必须是互易的,即 $S_{21}=S_{12}$,这样可以进一步把 8 项误差简化为 7 项误差。校准用直通件的电长度需在所测量的最高频率的 1/4 波长之内。



$$T = e_1^{10} e_2^{01} \begin{bmatrix} \Delta x & e_1^{00} \\ -e_1^{11} & 1 \end{bmatrix}^{-1} T_m \begin{bmatrix} \Delta y & e_2^{11} \\ -e_2^{00} & 1 \end{bmatrix}^{-1}$$

$$\Delta x = e_1^{01} e_1^{10} - e_1^{00} e_1^{11} \quad \Delta y = e_2^{01} e_2^{10} - e_2^{00} e_2^{11}$$

图3 TRL 的 8 项误差模型

3.2 基于夹具的 TRL 校准件设计要求

1) 夹具直通标准

直通标准的 S 参数已知条件是 4 个。直通标准通常定义为零延时、零损耗,特性阻抗必需做到和传输线标准相近。

2) 反射标准

可以是任意高反射器件,连接到各端口的反射标准必须一致性要好,可使用同一个标准件;不需知道幅度具体特性,相位特性必须在 1/4 波长内。

3) 传输线/匹配标准

传输线标准的电长度不能与直通标准相同;与直通标准的相位差在频率范围内应大于 20° 小于 160° ;在低频段传输线标准特别长时可用匹配标准代替。

4) 夹具校准件的设计注意事项

夹具的同轴到非同轴的转换过渡一致性越好,损耗越低,校准效果就越理想;参考测量面最好定在直通标准件的中间;如果是宽带测量,则多条延迟线的频率范围要设置有重叠,保证能够覆盖测量的整个频率范围。负载标准件可以通过 2 个 100Ω 的表贴阻抗来实现,但是频率不宜太高。

3.3 夹具校准件的设计和测量试验

射频夹具 TRL 校准件设计的尺寸分布如图 4 所示;被测件是射频 30 dB 片式衰减器(型号为 SGJ2241),测试频率为 100~600 MHz,被测件产品规格指标 $SWR < 1.35$,衰减频响 < 2 dB;测试仪器为矢量网络分析仪 AV3654,夹具设计尺寸和被测件相对应。为兼容更高带宽,拟设计一套起始频率 165 MHz,终止频率为 8 000 MHz 的夹具微带线校准件。

开、短路器和传输线的时延分别为相对于直通件的相对值;非零长度的直通件定义为延时为 0 时,测量参考平面位于直通件的中间;传输线 1 和 2 相对于直通件的长度分别为 68.86 以及 9.87 mm,符合直通标准的相位差

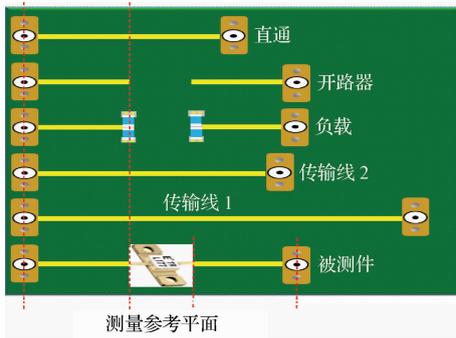


图4 校准件尺寸分布

20°~160°的要求,并且可以完成165~8 GHz频段覆盖。TRL夹具校准件如图5所示,设计定义如表1所示。

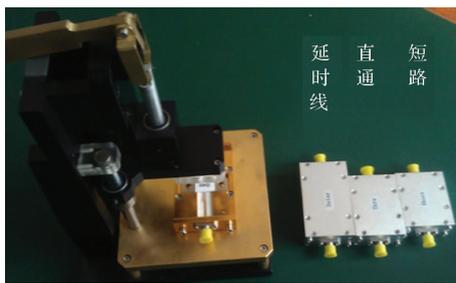


图5 实验制作的夹具和TRL夹具校准件

表1 射频TRL校准件的设计参数

校准件	起始频率/ MHz	终止频率/ MHz	物理长度/ mm	时延/ps
直通	0	8 000	80	0
开路器	0	8 000	40	0
短路器	0	8 000	40	0
负载	0	165	40	0
传输线1	165	1 150	148.86	378.78
传输线2	1 150	8 000	89.87	54.35

夹具主体结构:频率范围DC~8 GHz,保证DUT连接稳定可靠;夹具载片:实现待测件与同轴端口过渡,根据不同待测件可更换相应尺寸引脚;校准件:短路、直通、延时线、负载;为完成100~165 MHz的指标测试,165 GHz以上使用TRL校准,低端采用SOLT校准,直接实现了在夹具校准面测量被测件,去除了夹具影响。

夹具校准件完成设计和制作后,需要在矢量网络分析仪上创建校准套件菜单。短路器、开路器、负载需要输入接头类型和频率范围;直通件也需要输入接头类型和频率范围,时延参数需要定义为0;延时线需输入相对于直通件的相对时延值。菜单创建后就可以进行校准和测试了。

测试仪器和被测件照片如图6所示,被测件的测量结果如图所示7、8所示。



图6 测试仪器和被测件照片

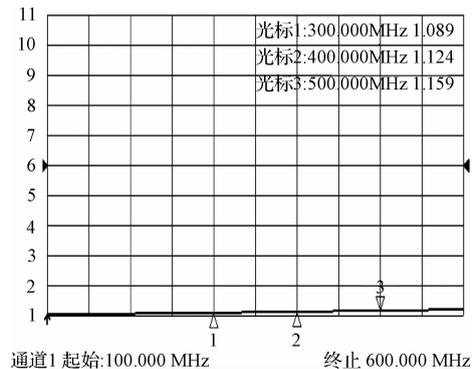


图7 被测件驻波测试结果

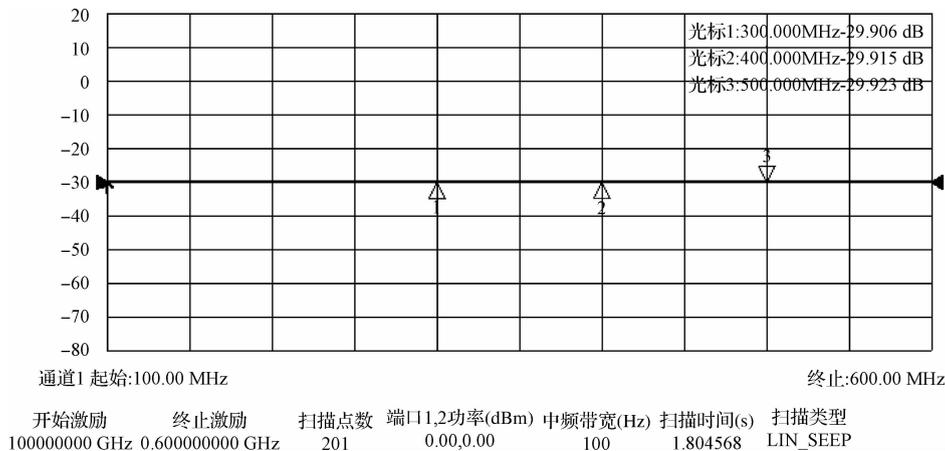


图8 被测件衰减频响测试结果

被测件的驻波比全频段小于 1.17, 满足小于 1.35 的指标, 衰减频响 S21 最差值为 -29.9 dB, 测试结果符合器件指标要求, 从而验证了测试方案的可行性。

4 结论

微波夹具可以起到从仪表同轴测试端口到非同轴被测件的桥梁作用。和传统的端口延伸法以及夹具去嵌入法相比, 基于 TRL 校准技术的夹具测试方案是一种非常直接的校准方法, 可以实现在校准面直接对被测件进行测量, 尤其适合矢量网络分析仪在非同轴类夹具测试领域的应用, 精度明显优于前两种方法。该方法的缺点是需要自行设计制作夹具校准件, 对使用者技术要求高。对于不同的被测器件, 校准件的定义也需要相应进行参数调整^[7-10]。

参考文献

- [1] 陈忠睿, 肖何. 基于探针测试台的微波模块自动测试系统设[J]. 电子测量技术, 2013, 36(5):103-104.
- [2] 傅世强, 李婵娟, 李小凤. 一种贴片电感电容测量新方法的研究[J]. 技术信息, 2014(6):22-24.
- [3] 贺同云, 江岩. 表面贴装器件 S 参数测量方法研究[J]. 电子测试, 2013(6):65-68.
- [4] 赵伟, 赵永久, 秦红波, 等. 利用引入开关补偿误差的 8 项误差模型校准二端口矢量网络分析仪[J]. 南京航空航天大学学报, 2010, 42(5):661-664.
- [5] 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):30-33.
- [6] 赵伟, 赵永久, 袁春花等. 一种基于 10 项误差模型的二端口矢量网络分析仪校准方法[J]. 电子学报, 2011, 39(10):2469-2472.
- [7] 尤嘉, 宣银良. 矢量网络分析仪校准和验证的常见误区[J]. 国外电子测量技术, 2016, 35(4):1-6.
- [8] 郝绍杰, 韩晓东. 矢量网络分析仪硬件性能对测量结果的分析[J]. 国外电子测量技术, 2016, 35(1):28-32.
- [9] 赵立军, 李树彪, 王尊峰. COM 组件技术在矢量网络分析仪上的应用[J]. 2014 (3):43-48.
- [10] 徐知, 郭海帆. 用于提高微波矢量网络分析仪测量性能的电路框架[J]. 国外电子测量技术, 2014, 33(8):10-14.

作者简介

王尊峰, 1971 年出生, 工学学士, 高级工程师, 主要研究方向为微波毫米波测试技术。

E-mail: alps2059@sina.com

杨保国, 工学博士, 高级工程师, 主要研究方向为微波毫米波测试技术。

E-mail: yangbaoguo521@163.com