

doi: 10.11823/j.issn.1674-5795.2017.04.09

固态微波功率器件测量夹具及其校准技术研究

王文娟, 张继平, 阚劲松, 王酣, 王晓童, 殷玉喆

(中国电子技术标准化研究院计量与检测中心, 北京 100176)

摘要: 固态微波功率器件由于其封装形式的特殊性, 测量过程中必须引入测量夹具作为桥梁, 才能完成接口形式的转换, 进而开展测试工作。针对固态微波功率器件微波电参数在测试中, 测量夹具给测量结果带来影响的问题, 对固态微波功率器件测量夹具及其校准技术进行了研究。文章介绍了采用TRL校准方法, 并利用矢量网络分析仪的误差修正功能来去除测量夹具误差, 从而得到被测器件的真实性能参数。通过具体试验数据表明, 对测量夹具的校准和误差的去除是可行有效的, 从而可以在测量结果中去除测量夹具的影响而得到被测器件的“净”参数。

关键词: 固态微波功率器件; 测试夹具; 误差修正

中图分类号: TB9; TN307

文献标识码: A

文章编号: 1674-5795(2017)04-0036-04

Study on Measuring Fixture and Calibration Technology of Solid State Microwave Power Devices

WANG Wenjuan, ZHANG Jiping, KAN Jinsong, WANG Han, WANG Xiaotong, YIN Yuzhe

(Metrology and Testing center of China Electronics Standardization Institute, Beijing 100076, China)

Abstract: The packaging of solid state microwave power devices is special, so it is necessary to use measuring fixture as the bridge in the measurement process and the conversion of the interfaces for convenience of the testing. In microwave electric parameters test of solid state microwave power devices, the measurement errors caused by measuring fixture cannot be ignored, and this paper studies the measuring fixture and calibration technology of a solid state microwave power device. In this paper, the TRL calibration method is adopted, the error correction function of the vector network analyzer is used to remove the error of measuring fixture, and thus the real performance parameters of the device are obtained. The test data show that it is feasible and effective to calibrate the measurement fixture and remove the error, so that the pure parameters can be obtained by removing the effects of the measuring fixture.

Key words: solid state microwave power device; measuring fixture; error correction

0 引言

近年来, 固态微波功率器件的研制水平突飞猛进, 广泛的应用于雷达、基站等现代化装备和通信系统中, 作为重要的电子元器件起着不可替代的作用。那么, 为了保证器件性能的优良, 在研制和生产过程中, 对器件的典型性能参数进行监测是必不可少的。然而, 由于固态微波功率器件封装形式的特殊性, 必须要引入一个桥梁——测量夹具, 才能进行常规的测试, 测量夹具对测量结果产生的影响是不可忽略的, 是需要特别关注并研究的问题。

1 夹具的研制

固态微波功率器件由于其封装形式的特殊性(如图1、图2所示), 无法与标准的测量设备直接连接, 因而, 测量其性能参数时, 必须引入测量夹具, 以完成输入、输出信号接口的转换。然而, 引入测量夹具必然引入测量误差(测量夹具的形式、测量夹具的特性、测量夹具的机械加工精度等)都会对器件的测量结果带来影响。那么, 我们进一步研究的重点在于这个引入误差的大小是否可以有效的消除此误差。

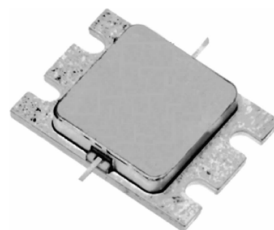


图1 某款 GaAs 器件

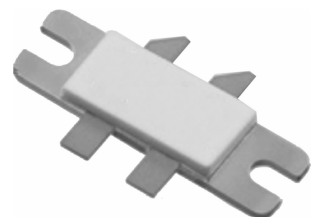


图2 某款 GaN 器件

收稿日期: 2017-03-22; 修回日期: 2017-06-05

作者简介: 王文娟(1982-), 女, 高级工程师, 硕士研究生, 研究方向为固态微波功率器件测试、校准技术研究、无线电计量技术研究。

1.1 测量夹具的结构

首先，测量夹具的形式，要根据器件的封装形式和尺寸来进行设计。通常测量夹具除了承载被测器件外，还有信号传输和接口转换的作用，如图 3 所示，这是一个典型的测量夹具的结构图，测量夹具的同轴输入、输出端与网络分析仪相连，被测器件置于测量夹具上，通过微带传输线与同轴接口相连，进行信号的传输。在信号传输的过程中，部件的转换、材料的变化、传输路径的改变等等都会造成阻抗的不连续，而阻抗的不连续也必然导致信号的反射。

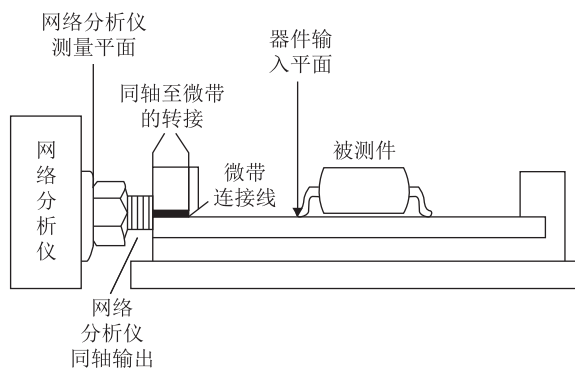


图 3 典型测量夹具结构图

1.2 测量夹具的等效模型

理想的测量夹具除具有一定的插入损耗和相位延时外，整个测量夹具的阻抗应该是连续的，然而，实际上微带线特性阻抗必然与系统的特性阻抗存在偏差，且同轴到微带线的转换部分，由于传输模式或者说传输路径发生了变化，也必然会导致信号的反射。那么，在固态功率器件电性能参数测试过程中，测量夹具导致的信号反射是影响测量结果的重要因素，因此，建立测量夹具的模型，不仅要明确夹具各个部分的插入损耗和相位延迟，还要分析各部分相接处的反射特性。

测量夹具中的阻抗不连续通常存在于同轴输入端到微带线的过渡部分以及微带线与器件输入端的连接处。因此，提取测量夹具的等效模型，通常分三个部分进行处理，即同轴输入端、同轴至微带线的转接部分以及微带连接线三部分组成，如图 4 所示。

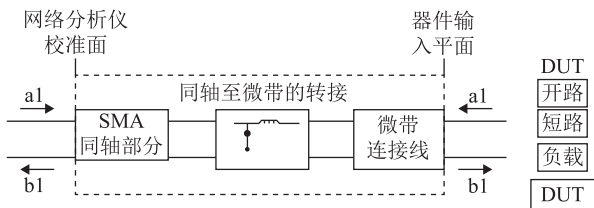


图 4 测量夹具等效模型示意图

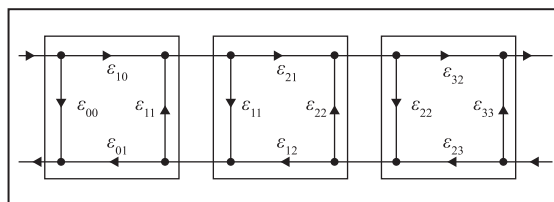
2 夹具引入误差的校准

测量夹具引入的误差，可以通过上好的材料、性能优良的设计及高精度的加工来减小其给测量结果带来的误差，但即便再精良的设计，再高精度的加工，测量夹具引入的误差，显然是无法忽略的。只有准确获得将测量夹具的特性 S 参数，才能得到被测器件的准确性能参数。因此，对测量夹具引入误差的校准，是必不可少的。

2.1 校准方法

对测量夹具的校准有多种方式，其中，TRL 校准方法是目前比较常用的校准方法。

TRL 校准，即 Thru - Reflect - Line，也称为直通 - 反射 - 传输线技术，就是运用传输线的直通 (Thru)、反射 (Reflect) 和传输 (Line) 三种模式来进行的校准方法^[1]。利用矢量网络分析仪完成 TRL 校准，它可以采用 8 项误差模型来完成校准^[2]，误差模型如图 5 所示^[4]。8 项误差模型的优点是：实际使用中，端口连接源或连接负载时，其负载匹配会随之改变，而此时 8 项误差模型依然保持不变，因为每个端口入射波发生变化时，负载阻抗的变化都会被捕获^[2]。



$$\epsilon_{10}\epsilon_{01} = E_{RF} \quad \epsilon_{23}\epsilon_{33} = E_{RR}$$

$$\epsilon_{00} = E_{DF} \quad \epsilon_{33} = E_{DR}$$

$$\epsilon_{11} = E_{SP}, \quad E_{LR} \quad \epsilon_{22} = E_{SR}, \quad E_{LF}$$

$$\epsilon_{10}\epsilon_{32} = E_{TF} \quad \epsilon_{01}\epsilon_{23} = E_{TR}$$

图 5 TRL 校准的 8 项误差项模型

2.2 夹具引入误差的去嵌入

为了尽可能地将所有误差项都涵盖到误差模型参数里，校准面最好就选在直接与待测件相联接的交界面上^[3]。直接在矢量网络分析仪上去除测试夹具的目的是对误差系数进行修正，以便将测试夹具引入的误差包括进去^[5]。

矢量网络分析仪经过校准后，测量端面在矢量网络分析仪的同轴端面，这时所做的测量，测量结果将包含被测器件以及测量夹具的特性，在测量结果中引入了不必要的误差，如图 6 所示，想要得到被测器件

的真实性能参数，需要将测量夹具的特性从测量结果中去除掉。那么，采用TRL校准件对测量夹具进行校准，校准件示意图如图7所示，通过校准可以得到部分或全部夹具的效应，从而确定测量夹具的S参数，再通过修改校准参数，来完成夹具的去嵌入^[2]，并将矢量网络分析仪的测量端面，从同轴端迁移到被测器件的输入、输出端，如图8所示，这样，通过校准去掉了网络分析仪的失配、方向性等误差，通过误差修正又去除了夹具的效应，从而得到被测器件的“净参数”。

2.3 矢量网络分析仪的误差分析

矢量网络分析仪是常用的固态微波功率器件测量和校准的电子设备，它利用误差修正技术，对幅度响应和相位响应均可进行修正，可以包含幅度和相位的信息，为固态微波功率器件的测试及其测量夹具的误差校准提供了便利。

矢量网络分析仪的测量误差主要有三大种类：漂移误差、随机误差、系统误差^[3]。其中，漂移误差跟温度密切相关，可以通过稳定的控制环境温度来减小；随机误差可以通过多次测量取平均值来降低其对测量结果的影响；而系统误差是仪器本身所带来的误差，因此，受仪器的限制，无法完全消除。那么，推广整个测量系统，也是存在这样的问题，整个测量系统在测量过程中，不仅需多台仪器相互配合，并且要有若干

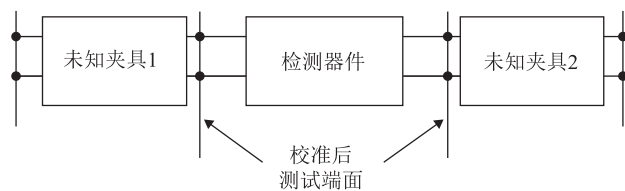


图8 夹具去嵌入后

的连接器、线缆乃至夹具相连，那么，在漂移误差、随机误差得到控制的情况下，系统误差无法在控制的情况下得到减小或消除，因为，测量夹具以及连接件引入的误差是实实在在存在的。因而，固态微波功率器件的测量，不仅要对各台设备进行测量前的校准，还要对整个测量系统和测量夹具进行测量前的校准。矢量网络分析仪利用它误差修正技术，可以将包括频率平坦性或耦合器方向性等在内的硬件实际性能表征出来，并将其影响及连接器、线缆、夹具等去除，从而得到被测器件本身的测量结果^[2]。

3 试验结果及分析

基于上述研究基础，为了得到被测器件的真实性能参数，需要针对器件的尺寸及特性，制作测量夹具并进行校准，去掉夹具引入的误差。本文测量的某款GaAs微波功率器件，其工作频率为7.7~8.5 GHz，1 dB压缩点功率增益最小值为7.5 dB，1 dB压缩点输出功率最小值为40.5 dBm。采用微带线传输技术、罗杰斯板材及黄铜镀金底座，加工制作测量夹具，进行器件的微波电参数测试，测试系统如图9所示，中间白线框中部分即为承载被测器件的测量夹具。

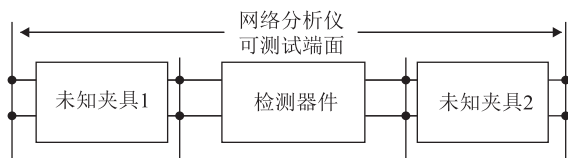


图6 夹具去嵌入前

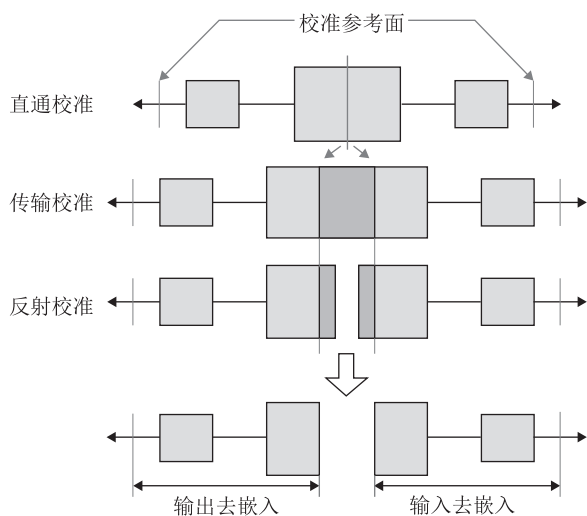


图7 典型TRL校准件示意图

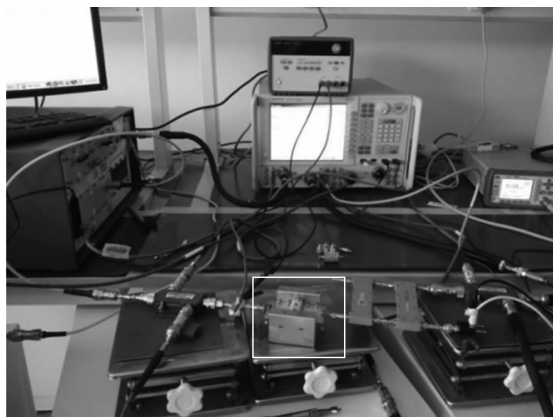


图9 测试系统图

测试过程中，需对测量夹具校准前后分别进行测试，比较测试数据的差异，校准前后电脑输出数据如图10~13所示。

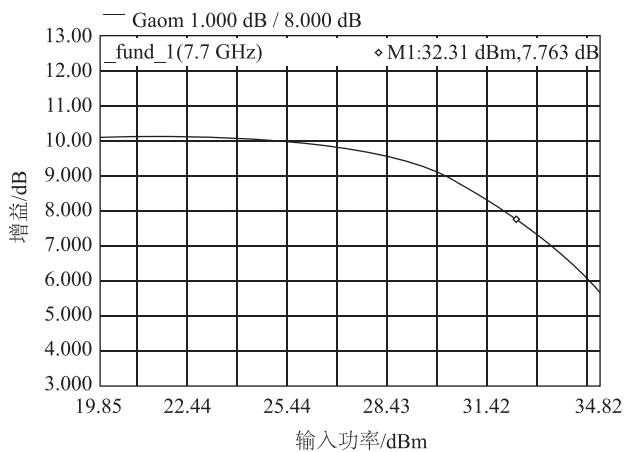


图 10 未修正前 G_{1dB}

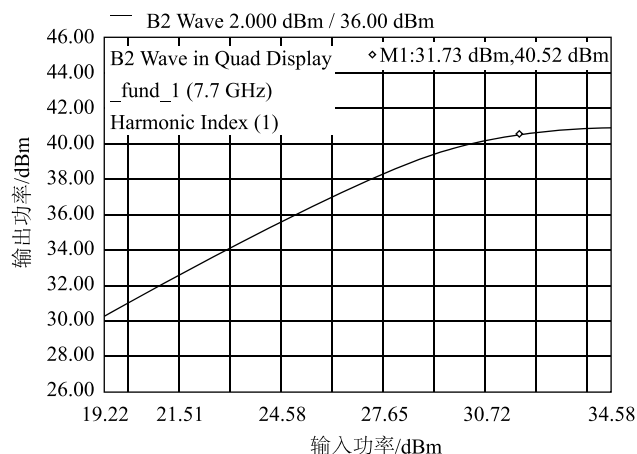


图 13 修正后 P_{1dB}

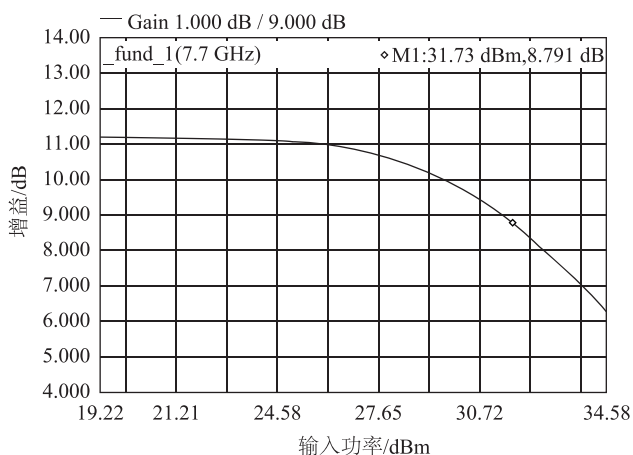


图 11 修正后 G_{1dB}

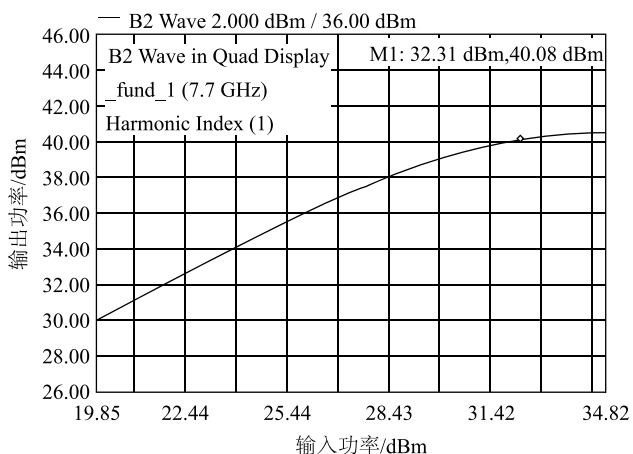


图 12 未修正前 P_{1dB}

可见，在基本的测试条件下，不对测量夹具引入的误差进行校准修正，器件的 1 dB 压缩点功率增益及输出功率都较小，分别为 7.763 dB，40.08 dBm，且输出功率未达到器件使用手册的指标，而去掉夹具误差

后，两个参数的测量值才满足了器件使用手册描述的性能指标，分别为 8.791 dB，40.52 dBm。本测量夹具经过精心的设计，性能参数优良。如果只是粗略加工而成的测量夹具，或设计经验不足，那么，测量夹具对测量结果的影响很可能会更大。因此，在固态微波功率器件的测试过程中，对测量夹具的校准非常必要，通过去除测量夹具引入的误差，可以进一步排除外界引入误差的影响，减少对器件性能的误判，更好的了解器件本身的性能特点。

4 结束语

通过试验验证，基于矢量网络分析仪为固态微波功率器件测量夹具做校准，校准后可以有效的消除测量夹具给测量结果带来的影响，有利于得到被测器件的真实性能参数，解决了固态微波功率器件测量结果中因测量夹具的效应而不准确的问题。不同频带、不同功率载荷量的测量夹具的校准技术将在此基础上进一步深入研究，测量结果的不确定度评定工作也正在开展中。

参考文献

- [1] 王静祎. 微波电路测试时嵌入和去嵌入技术研究[D]. 西安: 西安电子科技大学, 2013.
- [2] Joel P D. 微波器件测量手册[M]. 陈新, 程宁, 胡雨辰, 等译. 北京: 电子工业出版社, 2015: 98-121, 454-465.
- [3] 刘倩. 回旋行波管冷测校准系统中的去嵌入研究[D]. 成都: 电子科技大学, 2015: 7-19.
- [4] 顾宏亮. 网络分析仪校准的基础知识[EB/OL]. [2017-03-22]. <http://www.doc88.com/p-304514646370.html>.
- [5] Michael Knox. 利用矢量网络分析仪去除和嵌入 S 参数网络[J]. 国外电子测量技术, 2000(5): 6-12.