

doi: 10.11823/j.issn.1674-5795.2017.06.13

提高矢量网测试大动态范围器件性能的方法

王成, 朱月华, 李凯峰
(中国人民解放军 61236 部队, 北京 100094)

摘要: 精确快速获得大动态范围微波器件的性能指标在微波通信中尤为重要, 本文介绍了利用矢量网络分析仪测试大动态范围微波器件的几种方法, 并给出了操作步骤和注意事项。

关键词: 矢量网络分析仪; 微波器件; 大动态范围

中图分类号: TB9

文献标识码: C

文章编号: 1674-5795(2017)06-0048-04

Method for Improving Performance of Large Dynamic Range Devices by Vector Network Analyzer Test

WANG Cheng, ZHU Yuehua, LI Kaifeng

(No. 61236 Unit, PLA, Beijing 100094, China)

Abstract: Quickly and accurately obtaining the performance indexes of large dynamic range microwave devices is particularly important in microwave communication. In this paper, several methods for testing large dynamic range microwave devices using vector network analyzer are introduced. The operation procedures and precautions are also given.

Key words: vector network analyzer; microwave device; large dynamic range

0 引言

随着射频微波通信技术中射频微波器件的测量精度要求越来越高, 对测量仪器性能指标的要求越来越精确, 对测试工程师的能力技巧也提出了较高要求, 矢量网络分析仪是开展微波器件传输/反射特性最典型最具有代表性的仪器, 在微波 S 参数测试方面具有很大的优势。

利用矢量网络分析仪对微波器件进行测试时, 矢量网络分析仪的测试动态范围将影响被测微波器件 (DUT) 的测量范围、测量精度和测量速度。只有矢量网络分析仪的测试动态范围大于被测微波器件的动态范围时, 才能获得准确测试结果, 进而在测试精度不受影响的前提下通过设置较宽的中频带宽从而提高测试速度。

1 矢量网络分析仪工作原理

了解矢量网络分析仪的工作原理和动态范围的定义, 对开展大动态范围器件的测试很有必要。矢量网络分析仪, 是同时具备激励信号源和接收机 (包括参考接收机和测量接收机) 功能的高精度测量仪器, 矢量网

络分析仪工作原理图如图 1 所示^[1-3]。

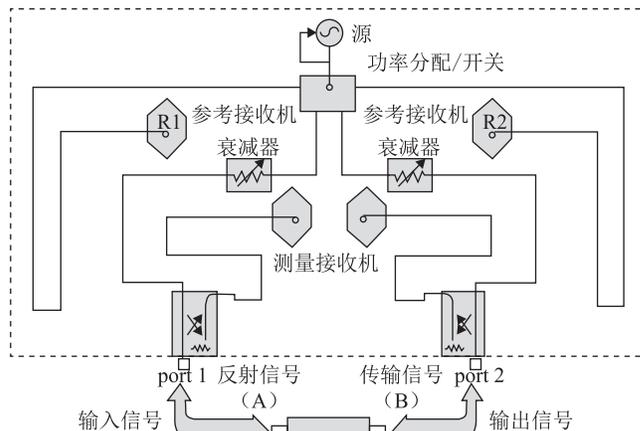


图 1 矢量网络分析仪工作原理图

矢量网络分析仪的测量动态范围, 是指矢量网络分析仪接收机能测量到输入的最大功率和最小可测功率 (本底噪声) 之间的差值。要使测量正确有效, 输入信号必须在这个范围内。图 2 为矢量网络分析仪的测量动态范围示意图。

由此可知, 影响矢量网络分析仪测量动态范围的因素主要有接收机最大输入功率和接收机的本底噪声, 可以通过增大接收机输入功率和减小接收机本底噪声来增加矢量网络分析仪的动态范围^[4-5], 矢量网络分析

收稿日期: 2017-09-16

作者简介: 王成 (1984-), 男, 工程师, 硕士, 主要从事微波计量工作。

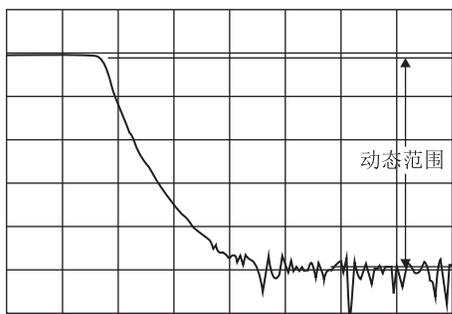


图2 矢量网络分析仪的测量动态范围

仪的测量动态范围由以下参量决定。

1) 测量动态范围的上限在系统工作电平较大时会受到系统非线性压缩的影响。

2) 动态范围的下限在小信号状态下会受到系统噪声门限的影响。

为了减小测量的不确定度，矢量网络分析仪的动态范围要比被测微波器件的动态范围大，例如，当被测信号至少比本底噪声高 10 dB 时，才能有效提高精度。

2 利用矢量网络分析仪测试大动态范围器件的几种方法

2.1 提高被测微波器件的输入功率

提高被测微波器件的输入功率能使矢量网络分析仪更精确地检测被测微波器件的输出功率，但要注意如果矢量网络分析仪接收机输入功率过高，可能引起压缩失真，高到一定程度甚至会损坏接收机^[6]，有些矢量网络分析仪的 0.1 dB 压缩点只有 +5 dBm 甚至更低，输入电平在 +15 dBm 时就可能损毁接收机，在采用设置增大矢量网络分析仪输出功率时要特别注意。

测试时还需要注意，如果被测微波器件增益很高，如测试放大器，则不能使用最大的源输出功率，因为，此时接入矢量网络分析仪接收机端口的功率非常大，可能会烧毁矢量网络分析仪的接收机。

在测试大动态范围器件时，建议采用功率计，对矢量网络分析仪激励信号源输出电平值进行测试，以减小激励信号源电平不准确引入的测量不确定度。这是因为，矢量网络分析仪在进行 S 参数测试时，是根据激励信号源和接收机相对功率电平得出测量结果，通常情况下，矢量网络分析仪激励信号源输出电平不准确，依然可以准确测量 S 参数，但在测试大动态范围器件时，尤其是矢量网络分析仪激励信号源输出电平比标称值小时，测试将受到很大影响。

矢量网络分析仪测试功率通常在【Stimulus 激励】菜单中【Power 功率】菜单下进行设置。

2.2 减小中频带宽

降低矢量网络分析仪接收机的本底噪声可以增大测量动态范围，而降低本底噪声与中频带滤波器的带宽(中频带宽)设置有关。矢量网络分析仪测量时，将接收到的响应信号变频到频率较低的中频信号进行处理，减小中频带宽可以降低随机噪声对测量结果的影响，中频带宽每减小 10 倍就可以使矢量网络分析仪本底噪声降低 10 dB，从而使测量动态范围提高 10 dB，矢量网络分析仪在不同中频带宽设置时测试动态范围如图 3，通道 1 中频带宽为 100 Hz，通道 2 中频带宽为 600 kHz。

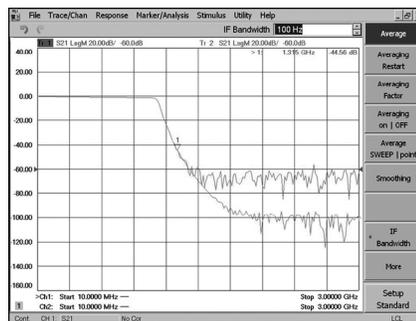


图3 不同中频带宽下测试动态范围

矢量网络分析仪的中频带宽设置可以从 1Hz 到 5MHz，甚至更小或更大，但设置较小的中频带宽会使扫描时间变长，测试速度较慢。矢量网络分析仪支持对每一个通道或段扫描设置中频带宽，中频带宽通常在【Response 响应】菜单下【Avg 平均】子菜单中【IF Bandwidth 中频带宽】进行设置。

在测试滤波器类微波器件时，建议采用分段扫描工作方式，将滤波器通带和阻带分为不同的分段，设置不同的中频带宽：在通带内，较大的中频带宽就能得到准确测量结果，同时，获得较快的测试速度；在阻带内，测量结果受矢量网络分析仪本底噪声影响较大，需要设置较小的中频带宽，提高测试精度，如图 4 所示。

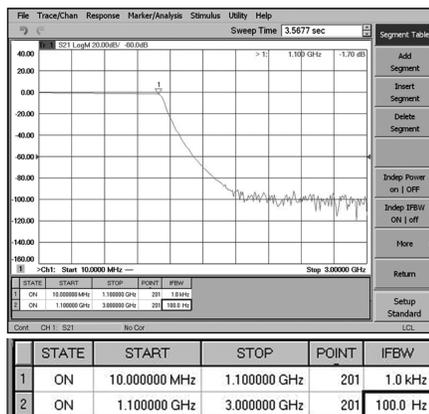


图4 采用分段扫描测试滤波器

2.3 设置扫描平均

增加矢量网络分析仪扫描平均,可降低随机噪声对测量的影响,从而增大测量动态范围。矢量网络分析仪通过几次连续扫描,对同一个测量点取平均来计算每一个测量值,平均次数越多,越能够有效降低噪声对测量的影响。图5中,通道1未开启扫描平均,通道2开启扫描平均,平均因子为32。

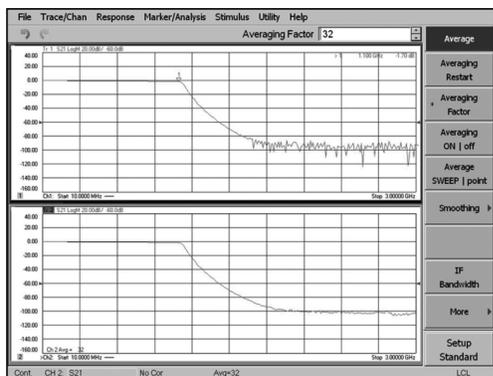


图5 设置扫描平均降低噪声影响

设置扫描平均通常在【Response 响应】菜单下【Avg 平均】子菜单中进行设置,需要同时设置【Average ON | off 平均打开 | 关闭】和【Average Factor 平均因子】参数。

增加扫描平均次数,会使扫描时间变长,通常情况下采用增加扫描平均降低噪声提高动态范围,要比减小中频带宽所需时间要长,尤其是平均次数较多时。

2.4 减少矢量网络分析仪接收机串扰

当测量接近于本底噪声的信号时,通过减少矢量网络分析仪接收机的串扰,可以增大动态范围。串扰是指矢量网络分析仪信号路径之间的能量泄漏,理想情况下,只有通过被测件的传输信号到达接收机,实际中会有少量的信号通过矢量网络分析仪中其它路径到达接收机,形成串扰信号。可以通过选择交替扫描方式和进行隔离校准减小串扰的影响。

1) 设置交替扫描

在交替扫描方式中,矢量网络分析仪每次扫描时,只对一个接收机进行测量,断开其它接收机,降低接收机的串扰。

设置交替扫描方式通常在【Sweep 扫描】菜单下【Sweep Setup 扫描设置】子菜单中,对【Alternate Sweeps 交替扫描】进行设置。可以独立对矢量网络分析仪每个测量通道设定交替扫描工作方式。

矢量网络分析仪同时开展反射测量和传输测量,采用交替扫描方式时,扫描时间变长。只开展传输测

量或反射测量,采用交替扫描方式时,扫描时间影响不大。

2) 进行隔离校准

测试工程师在测试常规微波器件时,通常会省略隔离校准,这对测量结果影响不太明显,在测量大动态范围器件时进行隔离校准尤为必要,隔离校准过程能够修正端口间的串扰误差,提高校准精度,从而提高测量结果精度。

隔离校准适用于全双端口 SOLT 校准和 TRL 校准,可以在【Cal 校准】菜单下【Calibration Wizard 校准向导】中,选择【Isolation 隔离】进行设置。

在进行隔离校准时,需要在矢量网络分析仪两个测量端口同时连接负载,此时,测量接收机接收到的信号就是矢量网络分析仪内部泄漏的串扰信号,在测量时通过误差修正去除串扰误差。开展隔离校准时,要使用小的中频带宽,同时,打开扫描平均,提高校准精度。

2.5 利用矢量网络分析仪面板跳线

部分矢量网络分析仪安装有面板跳线,比如 Keysight 公司(原 Agilent 公司)高性能 PNA 系列矢量网络分析仪,利用这些跳线可以实现较多扩展测试功能,在测试大动态范围器件时就可以使用。

为扩大矢量网络分析仪测量动态范围,可以绕过测试端口耦合器而直接将信号馈入接收机。如图6所示,信号不接测试端口,将信号直接与 RCVR A IN 跳线连接。

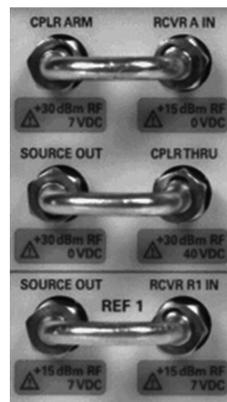


图6 PNA 系列矢量网络分析仪面板跳线

3 结束语

利用矢量网络分析仪,可以方便地测试大动态范围微波器件,只有选择合理的测试参数设置和校准测试方法,才能得到较精确的测试结果,文章介绍了几种利用矢量网络分析仪测试大动态范围器件的方法,

这些方法操作简单，在实际日常测试中已得到很好的应用，希望对其他微波测试工程师有所帮助。

参考文献

[1] Agilent Technologies. PNA Series Network Analyzer Help [Z]. America: Agilent Technologies, 2009.
 [2] 罗德与施瓦茨公司. ZVA Series Network Analyzer Help [M].

德国: Rohde & Schwarz Technologies, 2011.

[3] 中国电子科技集团公司第四十一研究所. 矢量网络分析使用说明书[M]. 山东青岛: 中国电子科技集团公司, 2010.
 [4] 段雪阳. 矢量网络分析原理[M]. 德国: 罗德与施瓦茨公司, 2007.
 [5] Agilent Technologies. S-Parameter Techniques [M]. America: Agilent Technologies, 2009.

(上接第 41 页)

线性化模块，而且内置了常见的基本公式，每个公式都是用相对应的英文简称表示，比如 MIN, MAX 及 SUM 等，不需要查阅说明书就可以明白公式的功能。对于比较复杂并且不常见的公式，则在记录仪中提供了自定义公式的功能，常见的就是真空通道的运算。图 2 所示为真空通道的输入量通过运算转换为真空度的设置流程。

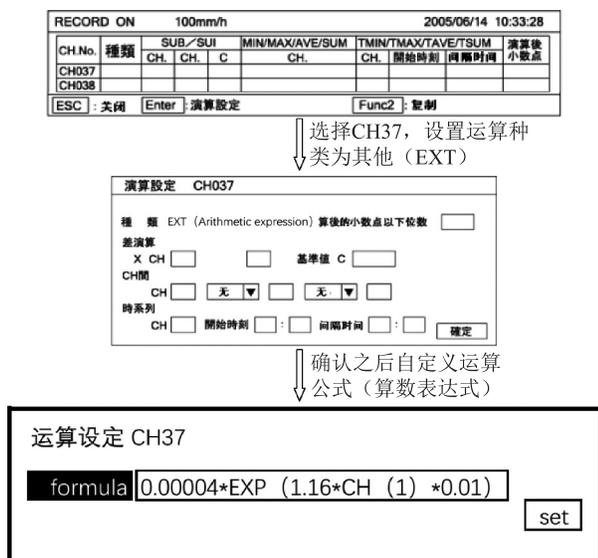


图 2 真空通道的输入量通过运算转换为真空度的设置流程

CH1 用来接收真空计传输的电压信号，CH37 作为模拟通道用于将 CH1 的电压信号通过运算公式转换为直观的压力值。由于自定义公式是用算数表达式进行表示的，极大地方便后期的查看和更改。

4 标尺打印

混合式记录仪的标尺打印功能用来对记录曲线所处的范围进行标记。当采用分段记录的方式时，虽然

各段曲线记录的起点和终点相同，但其对应的物理量量值并不相同，因此标尺打印功能对于识别曲线当前位置对应的物理量量值具有重要作用。

在使用 LE5000 演算型系列记录仪的标尺打印功能时应注意：当需要对模拟记录进行分段时，例如：遇到温度范围大、升温速率快以及加热炉等级高的情况时，LE5000 演算型系列记录仪只能按照默认的时间间隔打印标尺，无法调整或手动打印，因此可能出现某一分段不会有标尺的存在，使用人员在查看模拟记录时，无法准确判定曲线对应的实际温度值。

5 结束语

混合式记录仪发展至今已经相对成熟，近些年来数字化、无纸化办公发展迅速，混合式记录仪的模拟记录功能逐渐被电子记录取代。相较于发达国家，我们的企业在相关管理模式上稍有落后，对于电子记录的使用和管理仍处在探索的阶段，根据航标及国标等相关文件的要求，目前依然以混合式记录仪的使用为主。LE5000 系列在功能上能够满足真空炉用记录仪的基本要求，使用方便直观，但在一些细节方面依然有着一定的问题存在，需要用户在使用中加以关注。同时也希望生产厂家能够针对文中提出的不足进行调整完善，力求满足相关文件和使用的要求。

参考文献

[1] AMS2750 E 高温测量[S].
 [2] LE5000 系列 混合式记录仪说明书[Z].
 [3] 贾军伟, 张书锋, 王欢, 等. 基于 PLC 和虚拟仪器技术的真空计电参数检定系统的软件设计[J]. 真空电子技术. 2013 (3): 50-53.