

# 矢量网络分析仪校准项目探讨

## Discussion for Calibration Items of VNA

刘冬冬

(92493 部队 89 分队,辽宁 葫芦岛 125000)

**摘要:**矢量网络分析仪是一种公认的高性能智能化测量仪器,然而矢量网络分析仪的计量项目却较为繁杂。通过对矢量网络分析仪工作原理及实际应用的分析,探讨了针对不同客户的需求应对哪些项目进行校准,使客户在相应测试领域使用的网络分析仪得到更准确的测量值,为更有效率地开展矢量网络分析仪的计量工作提供了参考。

**关键词:**矢量网络分析仪;系统误差;准确度;校准项目

### 1 引言

作为电路、元器件测量和特性表征的主要工具,矢量网络分析仪(简称 VNA)在射频与微波领域得到了越来越广泛地应用。我们经常使用 VNA 来测量射频乃至 100GHz(亚毫米波)以上频率范围的多端口网络特性,如传输特性、反射特性、隔离度和非线性等。当然,任何一款精密测量仪器都有自身的局限性,矢网也不例外。有限的动态范围、隔离度、源/负载匹配不理想以及其他缺陷都会产生测量误差。为了降低这一系列误差,在矢网进行测量之前,必须对仪器内部及测试系统进行校准,从而提高测量精度。但是,由于矢量网络分析仪是一种综合性能很强的仪器,在对其计量校准时过程和操作较繁琐,并且送检客户对其使用的范围也不同,这就说明计量机构不必按照仪器说明书上的要求逐个校准,我们可以从组成原理和实际应用的角度去分析哪些是重点需要校准的项目。

### 2 VNA 工作原理及误差分析

矢量网络分析仪一般由射频激励源、信号分离单元、接收机、数字信号处理单元等部分构成。图 1 为矢量网络分析仪工作简化框图。

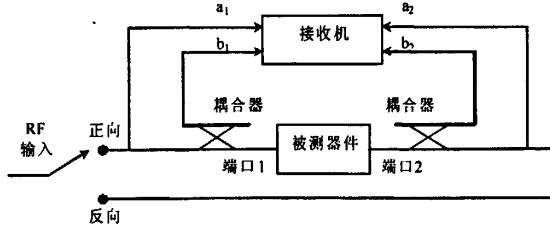


图 1 VNA 简化框图

如图所示,矢量网络分析仪包括一个射频开关,使得射频信号加到端口 1 或端口 2 上,从而实现全二端口测试而无需将被测件拆下。连接在输入输出端口的耦合器用于反射电压测量。当射频信号加载到正向端口(即端口 1)时,端口 1 上的入射( $a_1$ )和反射( $b_1$ )信号取样按规

定路线进入接收机,到达端口 2 的传输信号  $b_2$  也进入接收机。接收机将这些信号变频为低频信号,经过数字化处理后显示在显示器上。

上述矢量网络分析仪测试系统中,包含有系统误差、随机误差和漂移误差。通过 VNA 工作流程的描述,我们可以清楚地分析出系统误差来源:信号泄露引起的方向性误差和串扰误差;信号反射引起的源失配误差和负载失配误差;内部接收机的反射和传输跟踪引起的频率响应误差,共 6 项误差。对于二端口网络分析仪而言,其误差模型包括正向和反向的上述 6 项误差,共 12 项系统误差。系统误差是由测试设备和测试装置不完善所引起的,具有重复性且不随时间变化而变化,因此可通过自校准并通过算法处理予以消除。后两项误差影响是不可预见的,所以无法从测量误差中消除。它们是由诸多因素造成的,如:仪器系统噪声、连接器的重复性、温度变化及物理变化等。

### 3 VNA 的校准

#### 3.1 通用校准项目

一般来说,确定矢量网络分析仪的误差系数需要使用几个标准,而选用哪种标准并不是唯一的。传统上采用短路、开路、匹配负载和直通标准。该标准可按精密度的不同分为经济型、标准型、精密型三个级别。经济型为开路器、短路器和固定匹配负载;标准级主要为开路器、短路器和滑动匹配负载;精密级主要为开路器、短路器、低频固定负载和精密空气线。矢量网络分析仪通过对这些特性已知的校准件进行测量,并将测量结果存储到矢量网络分析仪的存储单元中,利用数据和校准件的数学模型来计算误差模型,为后续的测量消除系统误差的影响。这个过程也就是我们通常所说的网络分析仪自校准过程。

大部分客户用 VNA 测量复杂系统中使用元器件的传输和反射性能。这些性能最直观明了的表征方式是 S

参数,因此从实际角度出发,并考虑到传输和匹配等系统误差,S参数测量准确度在VNA的校准中是必不可少的一个项目。从误差分析原理中可看出,S参数测量的准确度与仪器自校准有直接关系。自校准过程中使用的校准件的性能对消除多项系统误差起到非常重要的作用,因此,VNA配套校准件是十分重要的校准项目。

### 3.2 根据需求确定的校准项目

#### (1)信号源校准

网络分析仪信号源是仪器内部的关键器件之一,其涉及到信号功率准确度、功率线性度、输出信号谐波及频率准确度等多项计量参数。下面我们从VNA工作原理和实际需求等方面逐个分析其计量的必要性。

①频率准确度。网络分析仪的自校准过程是通过在一系列频率点上进行逐点校准,才得以实现系统误差修正的,所以输出信号的频率准确与否关系到系统测量准确度。对于精度要求较高的客户可将该项目作为网络分析仪的一个校准项目。

②功率准确度和功率线性。从VNA工作原理来看,内部信号源输出功率幅度不稳会对S参数的测量引入误差,但由于VNA测量系统自身的功能使其可以通过比值测量消除这项引入误差。另外,某些公司的产品可以提供外接标准,以提高网络分析仪绝对功率准确度,所以在一般情况下,对VNA信号源功率准确度的计量显得不是很重要。只有当客户为了使用网络分析仪测试某些微波元器件,而需要确定功率幅度时,才需将此项列为校准项目。

③信号纯度。矢量网络分析仪之所以广泛应用也在于其测试带宽范围很大,但宽带测试系统也有自身的软肋。如果信号源输出信号不纯,受杂散信号和谐波信号影响,必然给测试结果引入误差。一般来说,信号源谐波含量优于40dB时,其影响可以忽略。目前市面上的网络分析仪中信号源的制造工艺一般都达到这一指标。如客户测试项目对谐波要求较高,可将其作为一个校准项目。

#### (2)接收机

为了降低产品硬件成本,市面上的VNA系列接收机单元基本上采用3个取样元件(混频器)而不是采样精度更高的4个取样元件。这种结构能够使内部RF开关引起的误差减小到一定范围,但无法通过校准彻底消除。需说明的是,该结构提供的测量精度已经满足了大部分元器件的测试要求。为了对随机误差做出一定控制,在对VNA的校准中应该给出内部噪声的相关指标。

某些客户对开关、宽动态范围滤波器等器件进行测量时,为了将测量的不确定度减至最小,需要测量系统的动态范围大于被测件的动态范围,也就是说客户需要使

用的VNA具有较宽的动态范围。网络分析仪的动态范围是指接收机最大输入电平与系统可测量的最小输入电平的差值,系统可测量的最小输入电平可通过接收机本底噪声进行控制。这类客户就需要我们将VNA的最大输入电平列入计量结果中。

### 4 校准中需要注意的问题

#### 4.1 器件的连接

校准时,测试电缆与仪器的连接松紧要适度,连接时尽量使用力矩扳手,以减少驻波对测试的影响。测试电缆的位置尽量不要扭曲变形,通常推荐的弯曲半径应不小于电缆直径的10倍,这样才能确保信号幅度和相位的稳定。使用校准件时,要转动外螺套,尽量不要转动内螺套,否则损坏校准件的同时也会给校准结果带来影响。

#### 4.2 器件的清洁

有时校准件或测试线缆连接端口内有污垢或灰尘会造成校准曲线的不理想,这些都是操作人员没有养成对仪器设备的保养习惯所引起的。为了确保仪器设备测量结果的稳定性,通常在测试结束后对仪器设备的测试端口加以保护,如使用面板封盖、橡皮胶套等。另外,还应定期清洁测试设备螺纹内部污垢,确保测量结果的稳定性。

#### 4.3 操作的人员

校准的好坏与操作人员也直接相关。相同的测试设备仪器,经验丰富的人员会得到更为理想的校准结果。另外,矢量网络分析仪的测试端口要特别注意防静电操作,因为放电过程轻则造成测试灵敏度下降,重则会造成仪器内部开关、混频器或定向耦合器的损坏,操作人员应额外注意这些细节问题,以免造成不必要的损失。

### 5 结语

矢量网络分析仪无论在军事领域,还是在民用领域都发挥着越来越强大的作用。为了确保测量结果的准确性,计量机构应综合考虑矢量网络分析仪校准中注重的项目,以达到既能满足客户测量精度要求又能提高计量效率的目的。

### 参考文献

- [1] Agilent Technologies Ins. 2 – Port PNA – L Microwave Network Analyzer Service Guide[S]. 2010.
- [2] 高力尔.射频与微波手册[M].孙龙祥等,译.北京:国防工业出版社,2006:334~338.
- [3] 王志田.无线电电子学计量[M].北京:原子能出版社,2002:188.
- [4] 朱辉.实用射频测试和测量[M].北京:电子工业出版社,2010:21,22.

作者简介:刘冬冬,男,助理工程师。工作单位:92493部队89分队。通讯地址:125000辽宁省葫芦岛市龙港区海滨南路1号92493部队89分队。收稿时间:2010-10-18

## 微波射频测试仪器使用操作培训

易迪拓培训([www.edatop.com](http://www.edatop.com))由数名来自于研发第一线的资深工程师发起成立, 致力并专注于微波、射频、天线设计研发人才的培养; 现已发展成为国内最大的微波射频和天线设计人才培养基地, 推出多套微波射频以及天线设计培训课程, 广受客户好评; 并先后与人民邮电出版社、电子工业出版社合作出版了多本专业图书, 帮助数万名工程师提升了专业技术能力。客户遍布中兴通讯、研通高频、埃威航电、国人通信等多家国内知名公司, 以及台湾工业技术研究院、永业科技、全一电子等多家台湾地区企业。

易迪拓培训课程列表: <http://www.edatop.com/peixun/rfe/129.html>

### 微波射频测量仪器操作培训课程合集



搞硬件、做射频, 不会仪器操作怎么行! 对于射频工程师和硬件工程师来说, 日常电路设计调试工作中, 经常需要使用各种测试仪器量测各种电信号来发现问题、解决问题。因此, 熟悉各种测量仪器原理, 正确地使用这些测试仪器, 是微波射频工程师和硬件工程师必须具备和掌握的工作技能, 该套射频仪器操作培训课程合集就可以帮助您快速熟悉掌握矢量网络分析仪、频谱仪、示波器等各种仪器的原理和使用操作…

课程网址: <http://www.edatop.com/peixun/rftest/vna/67.html>

### 矢量网络分析仪使用操作培训课程套装

矢量网络分析仪是最常用的测试仪器是射频工程师和天线设计工程师最常用的测试仪器; 该套培训课程套装是国内最专业、实用和全面的矢量网络分析仪培训教程套装, 包括安捷伦科技和罗德施瓦茨公司矢量网络分析仪的 5 套视频培训课程和一本矢网应用指南教材, 能够帮助微波、射频工程师快速地熟悉掌握矢量网络分析仪使用操作…

课程网址: <http://www.edatop.com/peixun/rftest/vna/34.html>



### 示波器使用操作培训课程套装

示波器是硬件和射频工程师几乎在每天的工作中都会用到仪器, 因此掌握示波器的原理并能够正确使用示波器是所有从事电子硬件电路设计和调试的工程师必须具备的最基本的技能。本站推出的示波器视频培训课程套装既有示波器的基本原理以及示波器性能参数对测量结果影响的讲解, 也有安捷伦和泰克多种常用示波器的实际操作讲解, 能够帮助您更加深入地理解手边常用的示波器从而更加正确地使用示波器…

课程网址: <http://www.edatop.com/peixun/rftest/osc/49.html>

