

[文章编号] 1671-802X(2009)02-0054-02

校准负载不理想对矢量网络分析仪剩余误差影响分析

张德文, 曾奇云

(海军91917部队, 北京 102401)

[摘要] 本文介绍了矢量网络分析仪单端口误差模型, 给出了基于开路器、短路器及匹配负载进行单端口的校准方法, 分析了由于校准负载不理想, 对校准后剩余方向性、源匹配和反射跟踪等关键技术指标的影响。

[关键词] 矢量网络分析仪; 误差模型; 负载; 剩余误差

[中图分类号] TN927.2

[文献标识码] B

1. 引言

矢量网络分析仪是目前进行网络S参数测量精度最高的测量仪器之一。提高矢量网络分析仪测量频带宽度和测量不确定度一直是矢量网络分析仪技术发展的两个重要内容。受材料、工艺等条件的限制, 宽频带器件在频率覆盖范围和性能指标上无法兼顾, 因此以宽频带器件为核心的宽带或超宽带矢量网络分析仪的初始特性都是有限的, 有较大的系统误差, 难以实现高精度的测量。为了满足宽频带高精度测量, 必须进行系统误差修正, 即通过系统误差校准技术大幅度提高自身性能, 实现高精度的S参数测量和分析。常见的矢量误差修正方法有OSL(开路器、短路器、负载)法, OSLT(开路器、短路器、负载、通过)法, TRL(通过、反射、线)法, TRM(通过、反射、匹配)法等。本文主要介绍OSL法, 并分析了用OSL法进行误差修正时由于负载的不完善带来的影响。

2. 单端口网络误差模型和校准方法

OSL法主要用于单端口网络测量。在进行单端口测量时, 矢量网络分析仪主要包含三个系统误差项, 分别是方向性误差 E_{DF} 、源匹配误差 E_{SF} 和反射跟踪误差 E_{RF} 。它的误差模型如图1所示。

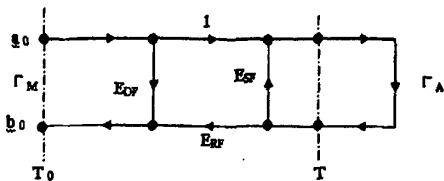


图1 单端口网络误差模型

根据单端口误差模型, 如果被测件的真实反射系数为 Γ_A , 则该被测件的测量值 Γ_M 为:

$$\Gamma_M = a_0/b_0 = E_{DF} + (E_{RF} \times \Gamma_A) / (1 - E_{SF} \times \Gamma_A) \quad (1)$$

三项误差使测量值 Γ_M 偏离了真实值 Γ_A , 从而导致测试误差的产生。如果我们能够知道这三个误差项的确切

值, 那么我们就能够得到被测件的真实参数 Γ_A 。矢量网络分析仪采用矢量误差修正技术获取三个系统误差项。矢量误差修正技术通过测量三个已知特性的器件(校准件), 根据公式(1)建立三个方程式, 然后求解方程组得到三个系统误差项。为了简化方程, 同时便于制造, 在工程中一般选用开路器(反射系数为1)、短路器(反射系数为-1)和负载(反射系数为0)作为校准件。采用开路器、短路器、负载作为校准件的校准方法被称为OSL校准法。

在校准过程中, 分别测量这三个器件, 可得到三个测量值 Γ_{M1} 、 Γ_{M2} 、 Γ_{M3} 。

$$\Gamma_{M1} = E_{DF} + (E_{RF}) / (1 - E_{SF}) \quad (2)$$

$$\Gamma_{M2} = E_{DF} + (-E_{RF}) / (1 + E_{SF}) \quad (3)$$

$$\Gamma_{M3} = E_{DF} \quad (4)$$

公式(2)(3)(4)联立可得到误差系数:

$$E_{DF} = \Gamma_{M3} \quad (5)$$

$$E_{SF} = (2 \Gamma_{M3} - \Gamma_{M2} - \Gamma_{M1}) / (\Gamma_{M2} - \Gamma_{M1}) \quad (6)$$

$$E_{RF} = 2(\Gamma_{M3} - \Gamma_{M1})(\Gamma_{M3} - \Gamma_{M2}) / (\Gamma_{M2} - \Gamma_{M1}) \quad (7)$$

通过公式(1)还可得到误差修正公式:

$$\Gamma_A = (\Gamma_M - E_{DF}) / (E_{SF}(\Gamma_M - E_{DF}) + E_{RF}) \quad (8)$$

将公式(5)(6)(7)代入公式(8), 可得:

$$\Gamma_A = (\Gamma_M - \Gamma_{M3})(\Gamma_{M2} - \Gamma_{M1}) / ((2 \Gamma_{M3} - \Gamma_{M2} - \Gamma_{M1})(\Gamma_M - \Gamma_{M3}) + 2(\Gamma_{M3} - \Gamma_{M1})(\Gamma_{M3} - \Gamma_{M2})) \quad (9)$$

可见, 校准可以得到系统误差系数。在实际测量中, 将误差系数代入误差修正公式, 这一过程称之为误差修正, 可将带有误差的测量值 Γ_M 修正得到被测件的真实值 Γ_A , 从而实现精确的测量。

3. 负载不完善导致的剩余误差分析

3.1 剩余误差分析

由于制作工艺的限制, 校准件的特性不可能达到它的理想特性。校准件的实际特性和它的标称特性的差异, 会导致校准后的测量数据仍存在误差, 我们称之为剩余

*[收稿日期] 2008-12-20

[作者简介] 张德文(1965.11-), 男, 山东济南人, 汉族, 海军91917部队, 工程师, 主要研究方向: 卫星通信及其信号处理。

误差。其中又以负载制作最为困难,对校准后的特性影响最大,本文讨论负载的不完善性对剩余误差的影响。

实际上开路器、短路器和负载均无法达到上述的理想状态,为简单起见,我们假设所用校准件中开路器和短路器是理想开路器和理想短路器,而负载的复反射系数为 Γ_L 。

由于负载的复反射系数为 Γ_L ,则校准时测量负载的测量值 Γ_{M3} 为:

$$\Gamma_{M3} = E_{DF} + (E_{RF} \times \Gamma_L) / (1 - E_{SF} \times \Gamma_L) \quad (10)$$

由于在校准时我们认为校准负载是理想负载,则由公式(2)(3)(4)变形为:

$$\Gamma_{DF} = E_{M3} = E_{DF} + (E_{RF} + \Gamma_L) / (1 - E_{SF} \times \Gamma_L) \quad (11)$$

$$\Gamma_{M1} = E_{DF} + (E_{RF}) / (1 - E_{SF}) = E_{DF} + (E_{RF}) / (1 - E_{SF}) \quad (12)$$

$$\Gamma_{M2} = E_{DF} + (-E_{RF}) / (1 + E_{SF}) = E_{DF} + (-E_{RF}) / (1 + E_{SF}) \quad (13)$$

由公式(11)(12)(13)解出的误差系数为:

$$\Gamma_{DF} = E_{DF} + (E_{RF} \times \Gamma_L) / (1 - E_{SF} \times \Gamma_L) \quad (14)$$

$$\Gamma_{SF} = (E_{SF} - \Gamma_L) / (1 - E_{SF} \times \Gamma_L) \quad (15)$$

$$\Gamma_{RF} = E_{RF} + ((E_{RF} - \Gamma_L^2) / (1 - E_{SF} \times \Gamma_L)^2) \quad (16)$$

将误差系数 E_{DF} 、 E_{SF} 和 E_{RF} 代入误差修正公式(8)中,得到新的误差修正公式:

$$\Gamma_A = (\Gamma_M - E_{DF}) / (E_{SF} \times (\Gamma_M - E_{DF}) + E_{RF}) \quad (17)$$

下面,我们分析校准后的剩余误差。剩余误差模型和图1的误差模型类似,只是对真实值为 Γ_A 的被测件,其测量值由初始的 Γ_M ,变成了 Γ_M' , Γ_M' 则是由 Γ_M 通过公式误差修正公式(17)得到的。仍假设校准件为理想开路器、短路器和负载,校准时得到的测量值通过公式(14)(15)(16)得到,并代入公式(2)(3)(4)中,可以解出其剩余方向性误差 $E_{DF,R}$ 、剩余源匹配误差 $E_{SF,R}$ 和剩余反射跟踪误差 $E_{RF,R}$:

$$E_{DF,R} = -\Gamma_L \quad (18)$$

$$E_{SF,R} = \Gamma_L \quad (19)$$

$$E_{RF,R} = 1 - \Gamma_L^2 \quad (20)$$

从公式(18)(19)(20)可以看出,由于校准件中负载的不完善,使校准后仍存在剩余误差,剩余误差的大小仅与校准用负载的特性有关,而与仪器的初始指标无关。

3.2 举例

表1是根据公式(18)(19)(20),在校准负载回波损耗不同时,产生的校准后剩余误差。

表1 校准负载不完善导致的剩余误差

负载的回波损耗(dB)	剩余方向性误差(dB)	剩余源匹配误差(dB)	剩余反射跟踪误差(dB)
10	10	10	0.915
15	15	15	0.279
20	20	20	0.087
25	25	25	0.027
30	30	30	0.0087
35	35	35	0.0027
40	40	40	0.00087
45	45	45	0.00027
50	50	50	0.00009

4. 结论

本文分析了单端口校准时由于校准负载的不完善对校准后矢量网络分析仪剩余误差的影响。从分析结果可以看出,剩余误差仅跟校准负载的质量有关,而与分析仪的初始特性无关。负载质量直接影响到剩余方向性误差和剩余源匹配误差,当校准负载的回波损耗低于20dB时对反射跟踪误差有一定影响,当校准负载的回波损耗优于25dB时,其对反射跟踪误差影响很小。

需要注意的是,本文的分析结果建立在仅考虑系统误差的基础,如果考虑分析仪的稳定性、噪声、连接重复性等因素,剩余误差还会受到矢量网络分析仪的初始特性的影响,其最终指标还应低于上述分析。

[参考文献]

董树义. 近代微波测量技术 [M]. 电子工业出版社, 1995.

Residual Errors Analysis of Vector Network Analyzer Resulting from Faultiness of Load of Calibration Kit Zhang De-wen, Zeng Qi-yun

Abstract: This paper presents the one-port error model of vector network analyzer and one-port calibration technique based on Open, Short and Matched Load, and analyzes the influence of the key technical specifications such as directivity, source match, reflection tracking and so on, which results from the faultiness of the load in the one-port calibration.

Key words: vector network analyzer; error model; load; residual errors

微波射频测试仪器使用操作培训

易迪拓培训(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测量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练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练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>