

# 矢量网络分析仪中时域测试功能的应用

白莉萍

(中国电子科技集团公司第41研究所 山东 青岛 266555)

**【摘要】**本文从测量原理和测试方法等方面对矢量网络分析仪的时域测量功能进行了简单的介绍。矢量网络分析仪的时域测量功能是一种有效的工具,并有着广泛的应用,包括故障定位、识别连接器中的阻抗变化、有选择地消除不希望的响应以及在生产测试中简化滤波器的调谐过程等等。

**【关键词】**矢量网络分析仪;时域功能

**【Abstract】**In this paper, the author described the time-domain measurement function of vector network analyzer briefly in measurement principle and test method etc. The time-domain test function of VNA is an effective tool and is widely used in fault detection/isolation, recognition of the variety in connector impedance, eliminating the useless response choicely and simplifying the tune process in producing test.

**【Key words】**Vector Network Analyzer; Time-domain function

## 0.引言

在测量一条传输线上各处的阻抗值以及在时间域或距离域中对被测器件(DUT-Device Under Test)中所存在的问题,例如器件特性的不连续性进行检查时,矢量网络分析仪的时域测试功能是非常有用的。时域测试结果的显示形式更为直观,直接就可以看到被测器件的特性;在测量传输线系统的宽带响应特性方面,与其它测试技术相比,矢量网络分析仪的时域测试技术通过把被测器件特性的不连续性显示为时间或距离的函数而能给出更富有含义的信息。本文简单分析了矢量网络分析仪时域测量的原理和时域测量的方法。

### 1.时域测量原理

时域反射测量技术(TDR)是在20世纪60年代初引入的,采用与雷达相同的工作原理—把一个冲击信号送入一条被测电缆(或其它可能不是良好导体的被测器件或设备),当该冲击信号到达电缆末端或电缆上的某个故障点时,一部分或全部冲击信号便会被反射回测试仪表。TDR测量方法就是把一个冲击或阶跃激励信号发送到被测设备,然后观察信号在时域内的响应。测试时,使用一台阶跃信号发生器和一台宽带示波器,把阶跃信号发生器产生的上升沿速度极快的激励信号送进被测传输线,然后用宽带示波器观察传输线上某处入射电压波形和反射电压波形,通过测量入射电压与反射电压之比,便能计算出传输线上这个阻抗不连续点处的阻抗值,而这个阻抗不连续点的位置则可以作为时间的函数根据信号沿着传输线传播的速度计算出来。阻抗不连续性的性质(电容性的或电感性的)可以根据其信号的响应特征加以识别。

现在,一台高性能的矢量网络分析仪可以具有极快的计算功能,使用在频域内误差经过修正的测试数据就可以计算出被测网络在时域内对阶跃或冲击激励信号的响应,并被显示为时间的函数。这样就给传统的时域测量方法提供了既能进行传输测试又能进行反射测试的功能,并增添了对带宽有限的网络的测量能力。矢量网络分析仪在时域的测试可以更为精密,因为它能找出被测网络中对测试结果的分析没有帮助、有时甚至会混淆测试结果的网络部件的位置(或事件发生的时间),从而把这些不需要的数据从被测数据去除掉。下图显示了同一根电缆的频域和时域反射测量结果,这根电缆有两个弯,每个弯曲点都会造成传输线失配或阻抗的变化。

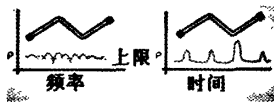


图1 频域和时域测量

在输入端口测量的S11的频域响应显示了由于多个电缆失配点相互作用引起的组合反射响应,但很难确定电缆失配发生的确切物理位置。时域响应显示了每个阻抗失配点的位置和大小,从响应中我们可以看出电缆的第二个弯曲处发了明显的失配。矢量网络分析仪的时域测量功能模拟传统的时域反射计(TDR)。时域反射计发射一个冲击或阶跃信号到被测件,然后观察反射信号的能量,通过分析反射信号的幅度、持续时间和波形,就可以确定被测件的阻抗变化情况。矢量网

络分析仪进行时域测量时并没有产生入射的冲击或阶跃信号,而是进行扫频测量,再通过傅立叶算法从频域测量结果计算时域信息,所以又被称为频域反射计。

在反射模式下,矢量网络分析仪把反射系数作为频率的函数进行测量。反射系数可以看作是入射电压与反射电压相联系的传递函数,逆变换将反射系数变换为时间的函数(冲击响应)。阶跃响应和冲击响应的结果可以通过把输入的阶跃信号或冲击信号与这个反射系数的冲击响应相卷积计算出来。

在传输模式下,矢量网络分析仪把二端口器件的传输函数作为频率的函数进行测量。逆变换将传输函数转换成二端口器件的冲击响应。阶跃响应和冲击响应的结果可以通过把输入的阶跃或冲击信号与冲击响应相卷积计算出来。所得到的测量结果是几乎实时显示的被测器件完全经过修正的时域反射或传输响应。这时,响应值(纵轴所表示的测试结果)分别可以相对于时间或距离的关系显示出来,这样就超越了简单的频率特性范围,对被测器件的行为特征作更深入的观察。

图2a和2b说明同一电缆的频域和时域响应,频域反射测量(图2a)是在整个被测频率范围内由电缆中存在的非连续性反射的所有信号的组合。估计那些失配的位置是困难的。然而,时域测量(图2b)示出作为时间(或距离)函数的每个不连续性的影响,且很容易确定失配的位置和大小。

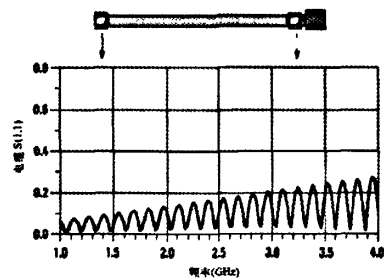


图2a 频域中电缆的反射响应

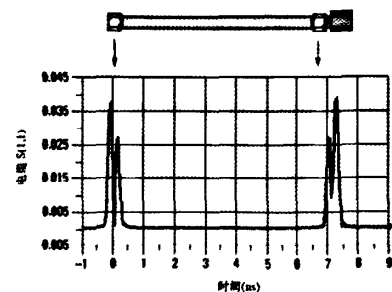


图2b 时域中同一电缆的反射响应

2.时域测量方法

通常情况下,大多数的矢量网络分析仪通过 S11 比值测量来进行时域变换测量。S11 反射测量不是简单的显示 A 或 B 接收机接收到的反射信号的大小,它显示测量接收机与参考接收机之间的比值测量结果。此外 S11 比值测量能通过校准去除系统误差,这对时域测量特别重要,因为通过校准建立了测量参考平面,校准点变成了 X 时间轴的零点,所有的时间和距离数据都以这个点为参考点,这样时间和幅度数据都因经过了校准而非常精确。矢量网络分析仪的时域测量通常包括如下几个步骤:

- a)采集原始接收机(A和R)数据。
- b)进行比值运算。
- c)进行误差修正。
- d)将频域数据变换到时域。
- e)显示测量结果。

为了保证能够观察到器件响应的全部可得到的时域数据,需要进行以下的调整,可提供最佳的分辨力和最大的量程。

2.1 响应分辨率

矢量网络分析仪的时域响应分辨率指分析仪区分两个邻近响应的能力,对于相等幅度的响应,等于以 50%(6dB)幅度点定义的冲激响应的脉宽,或以 10%-90%幅度点定义的阶跃响应的上升时间,如图 3 所示:

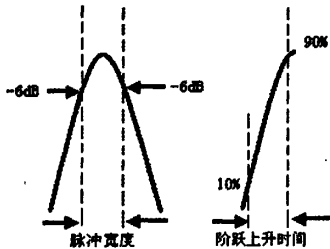


图3 时域响应分辨率

时域响应分辨率受以下几个因素的影响:

a)频率跨度

图 4 显示了频率跨度对响应分辨率的影响:

- (1)窄频率跨度下的时域测量响应表现为本应独立分开的冲激响应彼此重叠在一起。
- (2)在宽的频率跨度下进行时域测量时,分析仪能够区分不同的响应脉冲。
- (3)频率跨度和脉冲宽度成反比,频率跨度越宽,冲激响应脉冲越窄,阶跃响应上升沿时间越短,响应测量的分辨率越高。

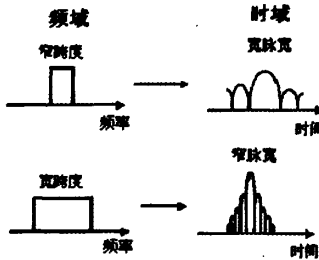


图4 频率跨度对响应分辨率的影响

b)窗函数

矢量网络分析仪在做频域时域变换时,其处理的数据长度是有限的,为减小数据截断带来的振铃等效应,分析仪通常会提供加窗的选项。加窗处理可减小振铃效应,降低旁瓣,但会导致主瓣宽度增加,降低分辨率。

在矢量网络分析仪中,通常提供 4 种窗函数,分别为矩形、正常边缘平滑、低边缘平滑和最小边缘平滑,4 种窗函数的主瓣宽度依次增大,旁瓣高度依次减小。可根据具体测试需要选择不同的窗。

2.2 测量范围

在时域测量中,测量范围定义为可设置的最大时间长度,在此时间长度内进行测量时不会发生重复响应。测量范围与响应分辨率成反比关系,提高一个,就会降低另一个。

时域波形是随时间重复的周期信号,因此会发生重复响应。重复响应(假响应)不是被测件的真实响应,它会在特定的时间间隔(1/扫描点频率间隔)出现,因此测量范围由扫描点的频率间隔  $\Delta F$  决定:进行时域测量时,最大可测量的终止时间为:  $1/\Delta F$ 。在反射测量中,由于信号要往返被测件一遍,因此最大测量距离为:

$$\text{距离} = 0.5 \times \frac{\text{扫描点数} - 1}{\text{扫宽}} \times \text{光速} \times \text{速率因子}$$

测量范围与扫描点数-1 成正比,与扫宽成反比,为了提高测量范围,可以修改下面两项设置:

- (1)增加扫描点数。
- (2)减小频率跨度。

3.结束语

本文从测量原理和测试方法等方面对矢量网络分析仪的时域测量功能进行了简单的介绍。矢量网络分析仪的时域测量功能是一种有效的工具,并有着广泛的应用,包括故障定位、识别连接器中的阻抗变化、有选择地消除不希望要的响应以及在生产测试中简化滤波器的调谐过程等等。

需要说明的是,采用矢量网络分析仪的时域测量功能测试被测件,可以发现对于引起 RF 通讯设备性能下降和故障的 RF 问题,也可以发现被测件性能的下降,这对于降低由于未及时修复而损坏导致的昂贵维修费用非常有帮助。

【参考文献】

[1]《数字通信测量仪器》编写组.数字通信测量仪器.北京:人民邮电出版社[M],2007.  
 [2]董树义.近代微波测量技术.电子工业出版社[M],1995.  
 [3]D. Rytting, "VNA error models and calibration methods," in Proc. ARFTG/NIST Short Course on RF Measurements for a Wireless World, San Diego, CA, Nov. 27, 2001.  
 [4]胡小兰.S 参数测量中的误差和修正.国外电子测量技术 [J].VOL.25, NO.6. 2006(6):pp7-10.  
 [5][美]罗伯特.A.威特.频谱和网络测量.北京:科学技术文献出版社[M],1997.

作者简介:白莉萍(1974—),女,工程师,主要研究方向是电磁兼容测试技术。目前在中国电子集团公司第 41 研究所从事电磁兼容检测工作。

【责任编辑:韩铭】

(上接第 110 页)

【参考文献】

[1]陈春明.防治肥胖刻不容缓[J].中华预防医学杂志,2001,35(5):291-292.  
 [2]中国肥胖工作组.中国学龄儿童青少年超重、肥胖筛查体重指数分类标准[J].中华流行病学杂志,2004,25(1):125-128.  
 [3]纪立农.加强肥胖研究,迎接新的挑战[J].中国糖尿病杂志,2006,14(2):81.  
 [4]卫生部妇幼司.中国城区 07 岁儿童单纯性肥胖症流行病学调查[C].1996.  
 [5]廖兵荣.出生体重与儿童单纯性肥胖关系[J].中国公共卫生,2007,23(6):

653-654.

[6]Maffei C, Grezzani A, Pietrobelli A. Does waist circumference Predict fat gain in children? [J]. Int J Obes Relat Metab Dis—ord, 2001, 25(7):978-983.

作者简介:方初玉(1966—),女,吉林延吉人,硕士,高级讲师,在延边大学护理学院从事儿科护理教学工作。

【责任编辑:韩铭】

## 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>