

矢量网络分析仪时域测量功能的分析和应用

陆申奇

(中国电子科技集团公司第二十三研究所, 上海 200437)

摘要: 本文主要介绍了矢量网络分析仪的时域测量功能, 并介绍了该功能在射频微波电缆性能测试上的分析方法, 特别对用时域门测量功能进行分析及应用。举例用时域测量功能来测量矢量网络分析仪的方向性和测量端口匹配情况。

关键字: 矢量网络分析仪 频域测量 时域测量 时域门测量

Lu Shen qi

(The 23rd Research Institute, CETC, Shanghai 200437)

Abstract: This paper primarily introduces the vector network analyzers time domain fundamental and analysis method in the radio frequency microwave cable performance measurement, special with a gating function in time domain to processing analysis and application. for example use time domain to measurement of vector network analyzers directivity and port match.

Keywords: Vector network analyzer, frequency domain, time domain, time gate.

1 前言

矢量网络分析仪 (VNA) 是在射频微波工程上应用最广泛的测量仪器, 它的测量功能使用方便灵活, 是微波工程上最强有力的测试工具之一。矢量网络分析仪的基本功能是测量射频和

微波器件的 S 参数, 并且在频率域显示测量结果, 为微波器件或系统的工程设计和产品研究提供了有价值的性能测试数据。若在矢量网络分析仪的仪器内部加入其一时域测量功能的选件后, 则矢量网络分析仪就具有了时域测量功能, 它能够将在频率域测量得到的数据转换成时间域 (或距离域) 的测量结果, 从而在时间域 (或距离域) 上分析微波器件或系统的时域性能特性, 如图 1 所示的是一根长度为 6 米的射频电缆组件的频域响应和对应的时域响

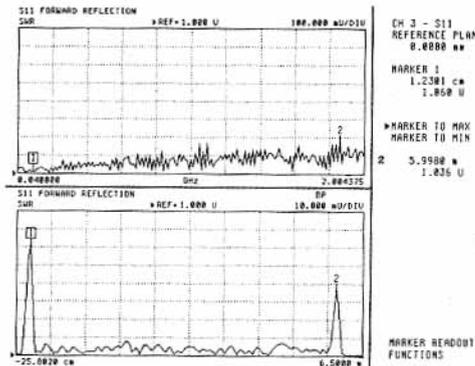


图 1 射频电缆组件的频域和时域响应。

2 时域测量的基本原理

1. 傅立叶变换的局限性

傅立叶变换已经被用在许多技术上, 在微波测量领域傅立叶变换是把频率域测量得到的数据转换成时间域 (或距离域) 的测量数据所提供的一种变换方法, 是矢量网络分析仪的基本测量功能。数字信号处理 (DSP) 可方便地实现快速傅立叶变换 (FFT), 这也是当今矢量网络分析仪被用来计算处理误差校准项方面的基本功能, 实际上我们已知快速傅立叶变换 (FFT) 是通过 Chirp Z 变换来实现的, 这就让我们能够对感兴趣的某一特定的时间 (距离) 范围的数据进行放大地显示出来, 提供给设计人员分析和研究。本文不涉及详细的变换和数字信号处理 (DSP) 技术, 只针对变换处理的性质和各种处理的选择项所得到的显示结果及在实际测量中

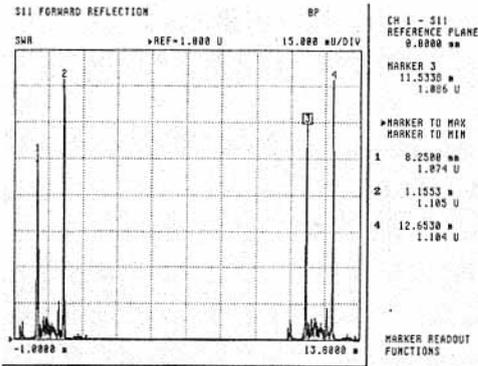


图 2 时域测量的周期重复现象

2. 分辨率和有效测量范围

在大多数用时域处理的微波测量应用中主要的特性是分辨率,即在最大的有效测量范围内区别两个相邻取样信号间隔大小的能力。实际上是某一基本限定值除以频域中相关数据的采样频率带宽,根据经验公式:分辨率等于 $150 \text{ (mm)} / \text{频带宽度 (GHz)}$,即如果一个 40 (GHz) 的频带宽度其分辨率约为 3.75 (mm) 。分辨率同时也会受到处理方法和窗口的选择上的影响,下面将会分析到。另一个重要因素是被处理信号的相对幅度,大信号将淹没较小的信号,显然系统中较长的时间(或距离)能更好地分辨出两个相邻的信号。时域变换处理的第二个特性是有效的测量范围,变换处理并能再现其固有的边界范围的间接函数是 $1 / \text{扫频间隔步长}$,尽管这通常不是电路测量的一个系数,但是它已成为选用时域测量功能来做故障定位时,一个非常重要的应用系数。例如测量范围为 20 (GHz) ,取样频率为 401 点的有效测量范围是: $1 / 50 \text{ (MHz)} = 20 \text{ (ns)}$,如果是在自由空间它将可以测量 6 米左右的长度范围,这对于大多数工作电路通常都落在这一显示范围内,但如果要对 100 米以上的长电缆做故障定位这个测量范围是不适用的,因此若要测量大长度的电缆就必须降低扫频间隔步长,即降低扫频宽度或增加取样频率点数,但这时分辨率将会降低。

3. 时域测量的处理方法

时域功能提供了几种处理方法可供我们选用,选择相应的特性处理方法对最终的测试结果具有重要的作用。相应的处理方法包括有:低通、带通或相位脉冲处理方法;选取窗口的方法;时域门的方法;带时域门的频率响应等。

低通处理方法:这是一种功能最强的处理技术,它要求一个特殊的频率设定方法:终止频率 = $n \times \text{起始频率}$,这里 n 为测量点数。其实它是相对利用设置频率的谐波来测试的,要求起始频率尽可能的低,利用直流响应成份来提供相位参考的推断,因而能真实地测出突变的间断点来。低通处理方法有二种方式:一个是阶跃响应,另一个是脉冲响应(阶跃响应是完整的脉冲响应),阶跃响应可直接显示阻抗对时间或距离的响应变化曲线,这类似于通常使用时域反射计的测量。它能够确定出突变间断点的性能状态类型:感抗、容抗或纯电阻抗等。在一般状态下显示的是实部阻抗参数值(在显示标尺上每格 20 毫单位时,约为每格 2 欧姆的阻抗值),用低通处理方法的时域显示时没有显示被测件的虚部阻抗参数值。如果被测器件,传输线等允许用低通处理方法时,一般应选用本方法测量,测试者可选择的显示格式有对数幅值或线性幅值刻度来读数,用低通处理方法在给定的带宽下能得到最高的分辨率。低通处理方法对测量频率范围要求严格,因此不如带通处理方法应用广泛。

带通处理方法:在许多情况下,象波导等为避免相对利用设置频率的谐波测试时受截止频

的应用进行分析讨论。

测量一段长度约为 1 米的射频电缆组件的反射特性,可以方便地从频率域测量得到的数据转换成时间域(或距离域)的测量数据,如图 2 所示,从图上我们看到的时域响应曲线是有周期重复的,而非理想的时域响应特性曲线,这就说明了快速傅立叶变换(FFT)具有的两个主要的特性(局限性):分辨率和有限的测量范围。事实表明快速傅立叶变换(FFT)在实际操作上,有设置数据的有限性而非理论上的无限性。

率的影响,需要用带通处理方法来测试,但在这种情况下没有相位参考,因此矢量信息将丢失,但幅值信息仍然可用,它能显示对数幅值或线性幅值格式。这种处理方式就是常见的用于测量传输线故障定位的技术方法。

相位脉冲处理方法:是从带通显示方式中推断出来的阻抗信息,对感兴趣的间断点必须放置在显示屏幕的中央,并且在显示的时域范围内约占 50%以上,然后再用相位脉冲处理方法来处理来显示测量结果,通常用实部,虚部或线性极坐标来显示想观察的阻抗信息。

选取窗口的方法:窗口通常是变换的先决“条件”数据,它能使在时域测量时隔离及区分多个独立信号时更为有用,在频域测量时因为在频率起止处频率发生突变及频域响应的带通限制引起时域响应的过冲和振铃,窗口能缓和上述过程中的边缘效应;窗口在频域数据转换到时域前就对频域数据滤波从而提高动态范围。窗口受主瓣宽度的影响,因此降低了有效分辨率,由于这个原因,对于适用的不同窗口类型和测量范围有一个最佳的折衷,在分辨率和旁瓣电平之间适当的选用能够达到二者间的最佳,以适应大多数的应用测量。窗口的类型有矩形、标准、低旁瓣和最小旁瓣等,矩形旁瓣电平最大;标准旁瓣电平小,在一般情况下使用最多;最小旁瓣电平最小,提供最大的动态范围。

时域门的方法:带时域门的频率响应。门是时域功能中一个基本的过滤器,通过测试者设置,用于观测时域响应中某一间断点,或者某一被测件上某处引起的时域响应突变点,如象由电缆的两端连接器接口引起的反射等,它也能察看门外的特殊间断点,即门的宽度为负值。打开时域门后,既可以观测看时域响应也能看带时域门内外的频域响应,这样能够看到微波电路中瑕疵点除去后的时域或频域响应性能,这使得观测的区域范围不会受到元件缺陷的影响了,如象电缆组件的两端连接器或在某种情况下测量传输过程中多路信号的影响等就能分别区分开来。门的处理方式也包括门的形状这一条件,这类似于但不等同于前面讲的窗口类型。从时域显示曲线显而易见,在频域上获得良好的反射特性曲线,必须要求在时域上观察区域的反射纹波需要遍布整个时域范围,门的处理除去了一些必要的的数据,在频域响应上会引入误差和纹波,在用窗口的解决方案中提供选择门的处理方法,能使分辨率和纹波得到最好的折衷。

3 时域测量功能的应用实例

现在我们应用前面叙述的时域测量方法,对图 1 显示的射频电缆组件的频域响应和时域响应曲线进行分析,首先在时域响应曲线上设置好门的参数,如图 3 所示,观测除去电缆两端连接器后的反射情况,图 4 为打开时域门后,可以看到电缆两端连接器的两个反射尖峰被除去了,然后返回到带有时域门的频率域响应,如图 5 所示是除去电缆两端连接器后纯电缆的频率响应,显然电缆电压驻波比只有 1.08 左右,而电缆两端有连接器的时候电压驻波比为 1.18。反之,我们观测除去电缆仅看两端连接器的反射情况,如图 6,打开时域门后可以看到电缆的反射响应被除去了,仅留下连接器的两个反射尖峰,同样返回到带有时域门的频率域响应测量,如图 7 所示,从频域响应看到电缆两端连接器的电压驻波比为 1.14,分析表明这根电缆组件的电压驻波比主要是由电缆两端连接器产生的,因此只要对电缆连接器进行修正来改善这根电缆组件的电压驻波比。而且我们也能运用同样的方法,分别对单个连接器进行分析,如图 8 对单独一个连接器开门,仅观测一个连接器的电压驻波比,分辨出哪一端连接器的电压驻波比不好,使我们能根据测试数据有针对性地调试出性能良好的产品,提高效率。

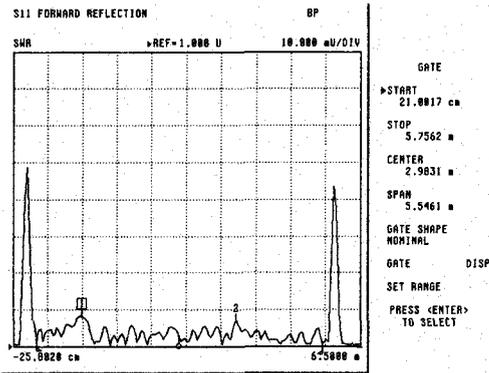


图 3 在时域曲线上设置门的大小

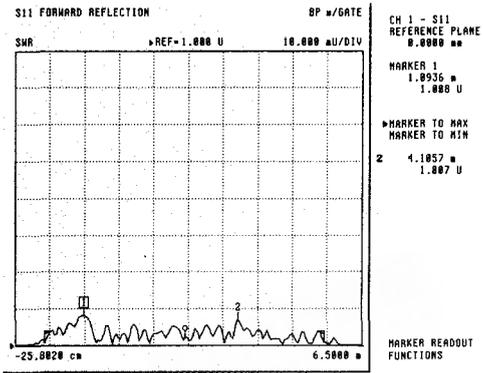


图 4 打开时域门后的时域曲线

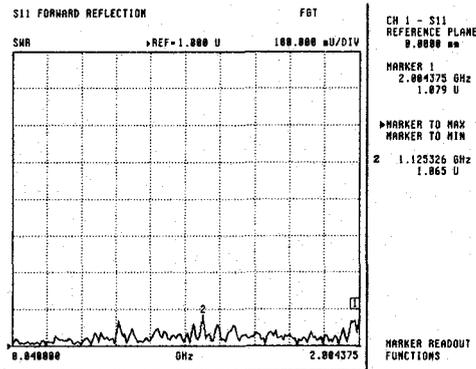


图 5 除去两端连接器后纯电缆的频率响应

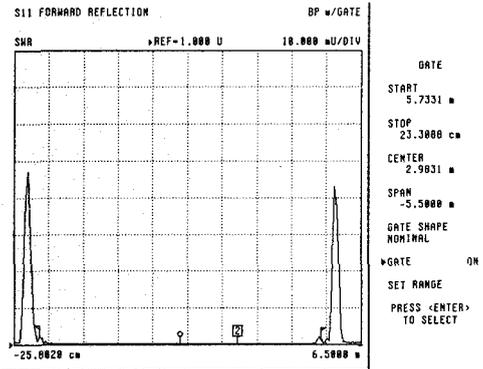


图 6 除去电缆的时域响应

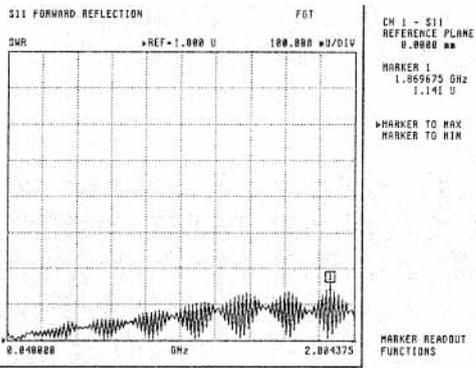


图 7 仅两端连接器的频率响应

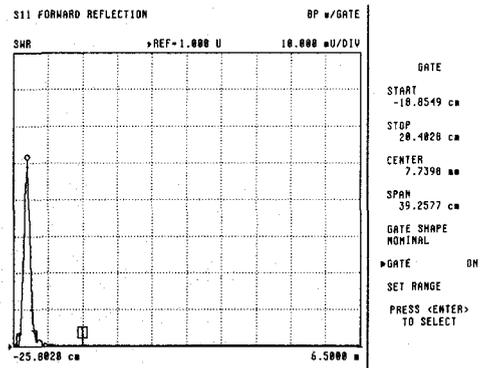


图 8 对单独一个连接器开门分析

下面再举一个用时域处理功能来测量矢量网络分析仪的方向性和端口匹配的例子, 矢量网络分析仪反射测量的精度主要与仪器校准后的有效方向性和端口匹配有关, 这些参数通常在仪器的技术说明指标上给出, 但这些指标依赖于校准标准和测试人员的测试技术, 在某些情况下, 实测值将优于给出的已知指标值。方向性和端口匹配这两个参数可用一根精密空气线快速地测试出来, 先将矢量网络分析仪通过开路器、短路器、标准负载和直通 (OSLT) 校准, 并调在时域反射测量状态, 然后把精密空气线接在经校准好的测试端口上, 精密空气线终端终接一只短路器, 这时显示曲线如图 9 所示, 方向性 (光标 1 处)、短路器的全反射 (光标 2 处) 和端口匹配 (光标 3 处) 清晰地时在时域状态下被区分出来了, 并能读出相应点的测量值。如果要观察它们的频域响应则可对其相应的反射区域进行开门测试, 如图 10 是对方向性反射部分开门后的曲线, 然后将其返回到带有时域门的频率域响应测试如图 11 所示。图 12 是对端口匹配反射

部分开门后的时域响应曲线, 同样将其返回到带有时域门的频率域响应, 能测量出端口匹配的
频率响应。

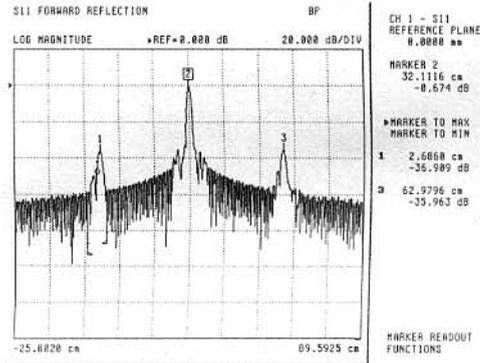


图 9 用精密空气线测量方向性和端口匹配

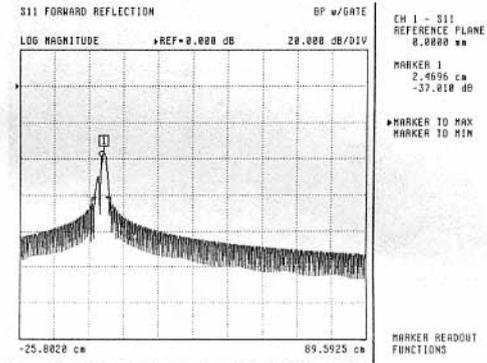


图 10 对方向性反射区域开门

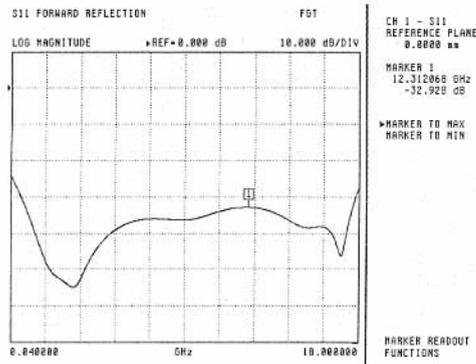


图 11 方向性的频率响应

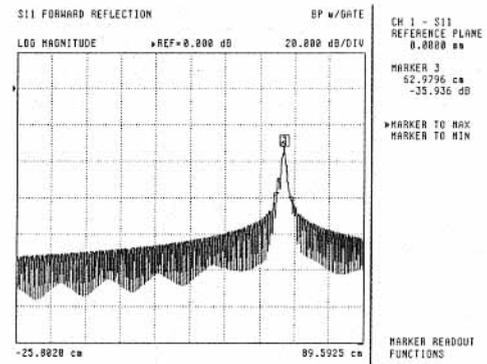


图 12 对端口匹配反射区域开门

4 结束语

我们从矢量网络分析仪时域测量功能的分析和实际应用看到, 时域测量在微波测量分析上
是十分有用的工具, 特别对传输线的故障定位测量、高频连接器、微带电路和宽带低损耗器件
等的测试分析。针对某一具体测试样品, 选用适当的测试频带范围, 扫频取样点数, 介质的介
电常数, 时域处理方法, 窗口类型, 时域门的形状等, 就能分析测量得到满意的数据结果, 在
工程上达到事半功倍的效果。

参考文献

[1]Anritsu, Time Domain for Vector Network Analyzers, Anritsu Company Application Note July.1998;Rev:B

作者简介

陆申奇: (1959—), 男, 中国电子科技集团公司第二十三研究所工程师

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

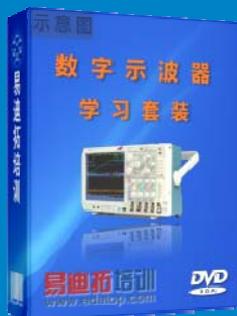
搞硬件、做射频,不会仪器操作怎么行!对于射频工程师和硬件工程师来说,日常电路设计调试工作中,经常需要使用各种测试仪器测量各种电信号来发现问题、解决问题。因此,熟悉各种测量仪器原理,正确地使用这些测试仪器,是微波射频工程师和硬件工程师必须具备和掌握的工作技能,该套射频仪器操作培训课程合集就可以帮助您快速熟练掌握矢量网络分析仪、频谱仪、示波器等各种仪器的原理和使用操作...

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>