

矢量网络分析仪的时域测量

许春卿 段飞

(中国电子科技集团公司第四十一研究所 山东 青岛 266555)

【摘要】本文介绍了矢量网络分析仪进行时域测量的数学原理,分析了数据的处理过程,不同的参数设定对变换结果的影响以及窗函数在提高测量动态范围、改善测量结果中的作用,并比较了低通和带通两种测量模式各自的特点。最后本文通过一个实例介绍了网络仪在测量传输线阻抗失配点位置的具体应用。

【关键词】时域测量;矢量网络分析仪;傅立叶反变换;窗函数

Time-domain Measurement With Vector Network Analyzer

XU Chun-qing DUAN Fei

(The 41st Institute of CEC, Qingdao Shandong, 266555)

【Abstract】In this paper, the author introduced the mathematic principle of time domain measurement by vector network analyzer, analyzed the steps for data process and the effect of different parameters. The author also analyzed the role the window functions play in improving dynamic range and results. The different characteristics of low-pass and band-pass mode were compared. In the last part, an example was shown to illustrate the usage in measuring the impedance unmatched point of a transmission line with a VNA.

【Key words】Time-domain; VNA; Inverse FT; Window function

0 引言

在对传输线上阻抗不连续性进行检测时,传统方法是使用时域反射测量技术(TDR)。矢量网络分析仪的时域分析与之类似,通过发射扫频连续波,再接收源信号与散射信号并进行比值的方法,获得网络的S参数。将测得的频域数据进行时域变换,得到时域结果。与传统方法相比,矢量网络分析仪的时域测量功能有自己的特点:它强大的数据处理能力为数据分析提供更大的灵活性;它可以在指定频段内扫描,从而适合工作频率有限的被测件的测量;它的窄带接收机可以测到更加微弱的信号,大大提高了测量的动态范围。

本文将分析矢量网络分析仪时域变换的原理,窗函数的作用,并用一个测试实例来说明其测量过程。

1 时域分析原理

1.1 原理

我们进行分析的前提是被测网络为线性时不变网络。网络仪可以同时测量反射系数和传输系数,这里我们仅以反射测量为例,传输测量与之类似。

设入射和反射波量分别为 a 和 b,反射系数 $S_{11}=b/a$, S_{11} 可以看作是反射网络的冲击响应。网络仪先在一段带宽内用步进频率进行扫描,把反射系数作为频率的函数进行测量,得到 S_{11} 的频谱;再通过傅立叶逆变换得到 S_{11} 的时域表示 $s(t)$;最后将阶跃信号或冲击信号与 $s(t)$ 进行卷积,便得到这个反射网络的阶跃响应或冲击响应的时域结果。

1.2 低通模式

低通测量模式是对传统的 TDR 测量方式的模拟,能够提供阶跃和冲击两种激励方式。在这种模式下,测量结果不但描述了阻抗不连续性所在的位置,而且可以表示出阻抗变化的类型。由于时域变换后虚部为 0,因此将显示格式设为实部格式能更直观的观察测量结果。

在低通测量模式下,根据傅立叶变换的特点,要求被测频率包含直流值,即起始于 0Hz,并且频率点呈谐波相关。假设网络仪的测量结果为一个固定频率步长为 Δf ,频率点数为 N 的复数谱为

$$[S_{11}(0), S_{11}(\Delta f), S_{11}(2\Delta f) \dots S_{11}((N-1)\Delta f)]$$

(由于网络仪不能测量直流信号,所以直流值必须通过外推的方式得到)。

由于我们假设时域信号是实数,由傅立叶变换的性质可知其对应的频域信号实部为偶对称,虚部为奇对称,我们可以将测得的结果拓展到负频率轴上,于是得到点数 $M=2N-1$ 的频谱

$$[S_{11}^*((N-1)\Delta f) \dots S_{11}^*(\Delta f), S_{11}(0), S_{11}(\Delta f) \dots S_{11}((N-1)\Delta f)]$$

以 $N=5$ 为例,经拓展后,频谱点数变为 9。其幅度和相位谱如图 1-(a)和图 1-(b)的主值区间所示。对这个经过拓展后的谱序列进行离散傅立叶反变换,得到相同点数的时域序列,如图 1-(c)的主值区间所示。其时间间隔 Δt 为

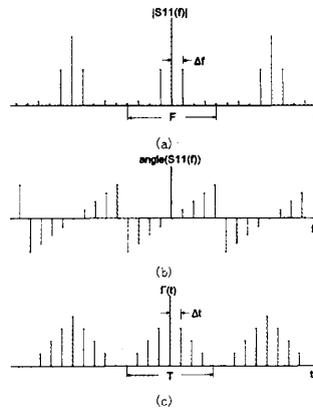


图 1

$$\Delta t = 1/F = 1/(\Delta f \cdot M) \tag{公式 1}$$

我们知道,频域的离散性对应时域的周期性。频率轴上步长为 Δf 的频率取样信号,对应于时域中周期信号,其周期 T 为

$$T = 1/\Delta f \tag{公式 2}$$

主值区间 $-T/2$ 到 $T/2$ 的值包含了我们所需的时域信息,此范围之外为其周期重复,我们不再关心。在测量中,必须选择合适的频率步长 Δf ,以获得合适的时域周期 T,否则会因为时域相邻周期信号混迭造成失真。

1.3 带通模式

在时域带通模式下,频率设置比较随意,起始频率不必从 0Hz 开始。适于对工作在一定频率范围内的器件进行测量,比如带通滤波器。频率点也不具有谐波相关性,只能提供冲击激励。测量结果可以指示出阻抗失配的位置,但不能得到阻抗失配的性质。由于带通模式下,不会将数据构造造成共轭对称的形式,因此得到的时域结果是复数值,显示格式适用幅度格式。

1.4 窗函数的应用

我们知道,时域有限信号对应的频谱是无限宽的,然而网络仪由于受到本身硬件的限制,测量频率范围是有限的。测量频率样本的截取会造成在测试频率的起点和终点处产生很陡峭的突变,这会导致在时域中产生振铃效应。振铃产生很高的旁瓣,有时会淹没其它信号,并降低测量的动态范围。

解决这个问题的办法就是在进行时域变换之前,对频域测试样本加窗函数。窗函数的应用,可以有效降低旁瓣的幅度,但需要注意的是,这种结果却是以增加主瓣的宽度为代价的。在冲击响应中会使冲击变宽,在阶跃响应中会使上升时间变长,从而降低(下转第 427 页)

(上接第47页)了时间分辨率,使两个靠的很近的时间响应难以区分。在图2中可以清楚地看到这一点。图2-(a)中可以清楚地看到两个正冲击信号;而图2-(b)为加窗之后的效果,两个冲击合在了一起,不能区分。实际测量中要根据所需的时间分辨率和信号的幅值选择窗函数。

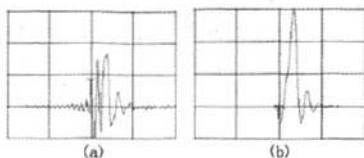


图2

网络仪的时域处理使用的是凯赛-贝塞尔窗,它的好处是可以对窗的形状进行调整。通过改变 β 值的大小来调整主瓣宽度及旁瓣高度, β 值增大,则主瓣变宽,旁瓣降低。



图3

图3显示了当 β 由小变大时开路器的冲击响应和阶跃响应的变化趋势。

2 实例分析

下面的例子利用网络仪时域测量功能来定位一条电缆中阻抗失配的位置。

首先计算设置网络仪所需的步进频率。由1.2节所述的关系,可以得到测量范围

$$l = T \times k \times c_0 = (1/\Delta f) \times k \times c_0 \quad \text{公式3}$$

其中 T 为时域周期, Δf 为频率间隔, c_0 =光速= 3×10^8 米/秒; k =传输线速度因子= c_0/v (其中 v 为信号在电缆中的传输速度)。聚乙烯介质的电缆速度因子 k 约为0.7。由于是反射测量, l 取电缆长度的2倍,为1.46m。由此算出 $\Delta f=140\text{MHz}$,我们取 $\Delta f=100\text{MHz}$ 。

再来计算所需扫描点数。假设我们需要的距离分辨率为0.01m,则

$$2\Delta l = c_0 \cdot k \cdot \Delta t = c_0 \cdot k \cdot (1/F) \quad \text{公式4}$$

计算得到 $F=10.5\text{GHz}$,则终止频率至少 $F/2=5.25\text{GHz}$ 。实际测量中我们取终止频率6GHz,则测量点数为60点。

然后将被测电缆接入网络仪,另一端开路,测量曲线显示为两个冲击,分别为故障点和电缆开路端引起的反射。如图4所示,通过读取光标值可以得到故障点距离输入端为611.23mm。本例中, β 取默认值6。

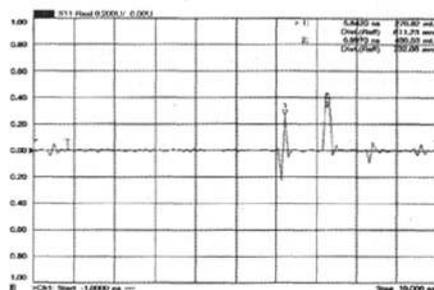


图4

3 结束语

时域测量是微波测量领域的一个重要内容。矢量网络分析仪使时域测量变得非常简单。本文从原理和实际应用两方面对其进行了分析,有助于读者对这类测量更好地理解 and 应用。

【参考文献】

- [1] Rytting, D. Let Time Domain Provide Additional Insight in Network Behavior.
- [2] Oppenheim & Schaffer. Discrete-Time Signal Processing.

作者简介:许春卿,2007年毕业于天津大学,电路与系统专业,现主要从事矢量网络分析仪的硬件开发工作。

[责任编辑:王静]

(上接第79页)的影响。

下图2是打开和关闭带夹具的微波滤波器测量对比。上面是打开夹具去嵌入的曲线,下面是关闭夹具去嵌入的曲线。

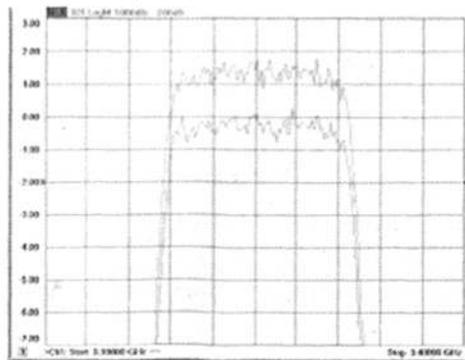


图2

3 总结

本文讨论了矢量网络分析仪的端口延伸和去嵌入功能,实际研究了这两种功能对器件测量的影响。对矢网的应用进行了深入的了解,对应用矢网进行在片测量有一定的借鉴意义。

【参考文献】

- [1] In-fixture measurement Using Vector Network Analyzer, Agilent AN 1287-9, 2006.
- [2] Michael Knox. 利用矢量网络分析仪去除和嵌入S参数网络. 国外电子测量技术. 2000年第5期.

作者简介:段飞,男,工学硕士,主要研究领域为矢量网络分析仪整机调试和硬件电路研发。

[责任编辑:许坤坤]

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>