

# 网络分析仪在数据电缆测试中的应用浅谈

上海电缆研究所

## 一、前言

随着因特网的日益发展,数据电缆的应用也越来越广泛。而数据电缆的电性能测试也变得越来越重要。目前数据电缆测试参数主要分为一次参数(电阻、电容等)和二次参数(传输性能及反射性能)两大类,而二次参数的测试,最常用的测试设备是矢量网络分析仪。对于许多厂家来说,由于配置了集成网络分析仪的自动测试设备,测试人员只需进行简单的计算机操作就能完成电缆的测试。但对于如何通过网络分析仪的配置及设置达到更高精度的测试目的,大多数测试人员就不甚了解。本文就针对这一情况进行简单的分析。

## 二、网络分析仪的测试原理

网络分析仪是一种通过正弦扫频测量获得线性网络的传递函数以及阻抗函数的仪器。线性网络指的是仅改变输入信号的幅度和(或)相位,不会产生新的频率信号的测试系统。网络分析仪可分为矢量网络分析仪和标量网络分析仪。矢量就是复数形式,标量是实数范围。

体现在网络分析仪上,矢量多了相角,有了实部虚部,而标量只能测反射系数的模。数据电缆的测试一般应用矢量网络分析仪。矢量网络分析仪本身自带了一个信号发生器,可以对一个频段进行频率扫描,如果是单端口测量的话,将激励信号加在端口上,通过测量反射回来信号的幅度和相位,就可以判断出阻抗或者反射情况,而对于双端口测量,则还可以测量传输参数,图1,图2分别为应用网络分析仪测试数据电缆传输性能(以衰减为例)和反射性能(以特性阻抗为例)的原理图<sup>[1][2]</sup>。

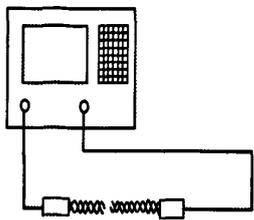


图1 衰减测量原理图

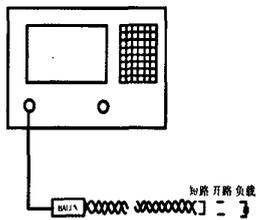


图2 特性阻抗测量原理图

图1: 矢量网络分析仪的扫频输出端被接在平衡——非平衡转换器(BALUN)上。从输出端输出的非平衡信号经转换器转换成平衡信号。平衡信号加载在被测对称电缆的始端上,在末端又经转换器转换为非平衡信号,由矢量网络分析仪来接收非平衡信号。网络分析仪进行相应的处理后,就得到电缆的衰减。

图2: 由矢量网络分析仪发出扫频信号,经平衡转换后,加载在被测电缆的一端。由于电缆的结构不均匀,将产生反射信号。反射信号经由矢量网络分析仪的定向耦合后被矢量网络分析仪接收,进行相应的处理后,能够得到电缆的阻抗。

注意:对于非平衡电缆的测试,通过连接头将电缆直接接在网络分析仪的端口即可。

## 三、网络分析仪的参数设置

要完成一次数据电缆的测试,必须对网络分析仪配置下列参数。而合理的参数配置是实现高精度测试目的的基本要求。

**3.1 测试频率:**设置网络分析仪扫描频率。根据网络分析仪的型号不同,可以有频段设定和频点设定等方式;在频段设定的方式下需要设置扫描的开始频率和终止频率,或者设置中心频率和频宽;在频点设定方式下可以设置多个扫描频率点。(注意,在设置扫描频段时,必须保证设置的频率范围要大于或等于测试规范指定的频率范围)

**3.2 扫描类型:**常用的扫描类型分对数扫描和线性扫描。这两种扫描方式从频率的分布而言,对数扫描可以保证在低频段有足够的频率点数,从而保证低频数据的精确性;而线性扫描则是一种整频段按点数平均划分频率,如果要保证低频段数据的精度,必须设置足够多的点数,这将会导致测试速度变慢而影响测试效率。由于目前所测试的数据电缆基本上都在300MHz以内,对于低频数据的测试精度要求比较高,因此采用对数扫描的方式可以有效保证低频数据的测试精度。

以下为频率计算公式:

$$\text{线性扫描: } Freq_{[i]} = \frac{Freq_{[Stop]} - Freq_{[Start]} * i + Freq_{[Start]}}{n}$$

对数扫描:

$$Freq_{[i]} = 10^{\left[ \frac{\log(Freq_{[stop]}) - \log(Freq_{[start]})}{n} * i + \log(Freq_{[start]}) \right]}$$

两公式中:

$Freq_{[Start]}$  : 开始频率

$Freq_{[Stop]}$  : 终止频率

n : 扫描点数

$Freq_{[i]}$  : 第 i 点的频率

用一个例子来说明这两种扫描方式的区别:

测试频率范围 1-100MHz。

在采用对数扫描时, 选用点数 401 点, 在 1-10MHz 范围内有 200 点频率分布点; 而如果需要在线性方式保证 1-10MHz 范围内有 200 点的频率分布点, 则需要设置 2000 点的扫描点数。这对于某些网络分析仪是无法达到的设置条件, 同时也增加了测试时间。

**3.3 扫描点数:** 开始频率与终止频率间的插入点数。网络分析仪实时测试每个插入点的值, 对于两个插入点之间的值, 采用函数拟合。因此选择点数愈多, 则每个离散频率点的值愈接近于测试值。但测试点数的增多会使测试速度变慢。该参数的设置需要根据用户的测试需求以及扫描方式的选择而定。

**3.4 系统带宽:** 带宽的选择将影响测试精度及速度。带宽就像一扇判定条件的“门”。带宽选择愈小, 进入“门”内的信号愈接近于合格品, 就能够提高测试精度, 但判定条件的提高自然使测试速度变慢(带宽参数的变化, 可以从网络分析仪上可以直观的观察到的系统的变化, 当带宽变小时, 系统的本地噪声会有一定程度的降低, 扫描的抖动会变小, 而扫描速度将变慢。在常规使用中, 可以选择 1000Hz 左右的带宽, 如果测试曲线不光滑或者抖动较大, 可以适当下调带宽值)。

**3.5 扫描时间:** 网络分析仪在信号发送端发出型号后, 会在指定的扫描时间后在接收端接收信号。网络分析仪一般在上述参数确定后, 自动生成一个最小扫描时间, 如果被测电缆比较长, 在系统设定的最小扫描时间内, 信号无法到达接收端, 这可以适当增加扫描时间, 以保证能收到信号为止(因数据电缆的传输速度小于 100ns/100m, 且测试长度一般最大 305m, 系统设置的扫描时间远大于传输时间, 因此一般

不用更改)。

## 四、网络分析仪的校准

由于网络分析仪的输出和待测数据电缆输入之间必然存在中间过渡件/连接件, 使得理想网络分析仪的测试平面和被测数据电缆的待测平面间出现了一个误差网络。所以网络分析仪使用之前必须进行校准, 用以消除测试链路中存在的系统误差。在日常的网络分析仪校准中应注意校准方式, 校准方法和校准时间等三个方面。

### 4.1 校准方式

网络分析仪有几种方法来测量和补偿测试系统误差。利用不同误差模型, 消除其中的一项或多项系统误差。一般是通过对高质量的已知标准件(例如: 短路器、开路器、负载和直通件)的测量使网络分析仪可求解误差模型中的诸误差项。

目前我们所测试的二次参数, 可以分为传输性能测试和反射性能测试, 根据不同的测试参数, 对网络分析仪的校准要求也不相同。在数字电缆测试中常用到两类校准方式: 单端口反射校准, 双端口全校准。

#### 4.1.1 单端口校准

当只对被测件的反射性能感兴趣, 而且要求的测试精度相对较低时, 可以使用单端口校准。对于单端口误差模型, 有三个误差项(端口的方向性误差, 源匹配误差和频率误差)。为了求解三个误差项, 由线性矩阵理论, 需要建立三个不相关的方程来求解。校准的原理就是建立这三个方程。通过在测试面加入三个已知特性的校准件, 例如开路件, 反射系数理论上为 1, 短路件, 反射系数理论上为 -1, 负载件反射系数理论上为 0。通过网络分析仪测量这三个校准件, 得到实际测量结果。也就得到包含三个误差模型的线性方程, 通过求解就能得到三个误差项。在后续的测量中, 在直接获得的测试结果中, 先通过数学运算, 消除三个误差项带来的影响, 显示给用户的就是校准后待测数据的特性。图 3 是单端口误差模型。



图 3 (a) 理想状态



扫描时间：自动

校准方式：全两端口校准

### 5.1 衰减：

设置测量方式为：S21；显示格式为：LOG；电缆两端分别接入网络分析仪两端。测试曲线如图 5。

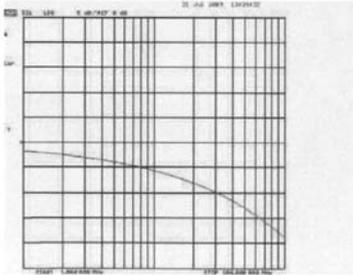


图 5 衰减测试曲线

### 5.2 相位

设置测量方式为：S21；显示格式为：PHASE；电缆两端分别接入网络分析仪两端。测试曲线如图 6。

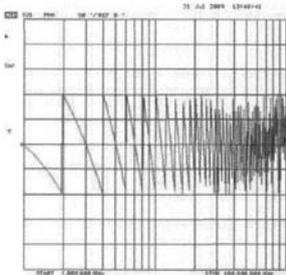


图 6 相位测试曲线

注：按照相应标准规定进行相位叠加处理，并计算传播延时及传播速度参数。

### 5.3 延时

设置测量方式为：S21；显示格式为：DELAY ( GROUP DELAY )。电缆两端分别接入网络分析仪两端。测试曲线如图 7。

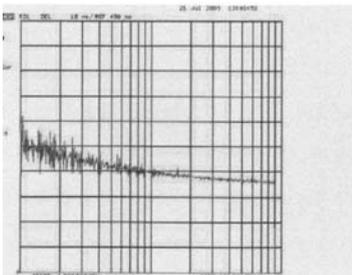


图 7 延时测试曲线

### 5.4 回波损耗

设置测量方式为：S11；显示格式为：LOG。电缆近端接网络分析仪近端，电缆远端连接标准电阻。测试曲线如图 8。

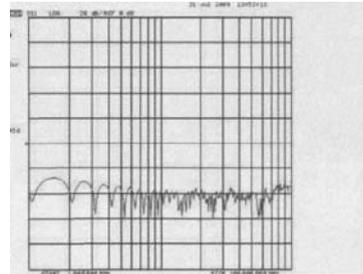


图 8 回波损耗测试曲线

### 5.4 开路阻抗

设置测量方式为：S11；显示格式为：SMITH ( R+Jx )。电缆近端接网络分析仪近端，电缆远端开路。测试曲线如图 9。

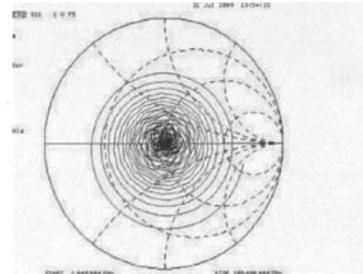


图 9 开路阻抗测试曲线

### 5.4 开路阻抗

设置测量方式为：S11；显示格式为：SMITH ( R+Jx )。电缆近端接网络分析仪近端，电缆远端短路。测试曲线如图 10。

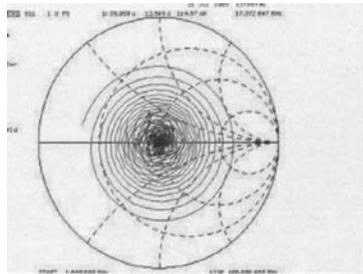


图 10 开路阻抗测试曲线

## 六、结束语

有了正确的设置和合理的校准，网络分析仪的应用才有了基本保证。在实际应用中还必须注意网络分析仪的静电保护、使用环境及端口扩展所用的器件、安装及防尘保护等因素，才能合理的应用网络分析仪，达到快速、高精度的测试目的。

## 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>