

文章编号：1672-2892(2009)06-0554-05

## 网络分析仪数据处理分析

王建忠，魏翔文，赖晖，朱斌，魏竹

(中国工程物理研究院 计量测试中心，四川 绵阳 621900)

**摘要：**在分析讨论了网络分析仪数据处理过程的基础上，提出了线性内插算法，并用具有两种扫描方式的网络分析仪对算法进行验证。结果表明：通过线性内插算法，两种扫描方式得到的S参数测量值之间的差值与定制频率扫描方式下测量值的标准偏差相近，因此能较好地解决频率点不一致带来的问题；此外，也为分析相位测量数据异常提供了有力的工具。

**关键词：**网络分析仪；数据处理；S参数；内插

中图分类号：TN919.5

文献标识码：A

## Analysis on data processing of network analyzer

WANG Jian-zhong, WEI Xiang-wen, LAI Hui, ZHU Bin, WEI Zhu

(Metrology and Testing Center, China Academy of Engineering Physics, Mianyang Sichuan 621900, China)

**Abstract:** For network analyzer which has stepped sweep only, the measurement frequency of network analyzer does not accord with that of verification kit sometimes. Moreover, there exists abnormal data in phase measurement on occasion. Based on the analysis and discussion about network analyzer data processing, the data interpolation algorithm was proposed and validated by a network analyzer with two scan methods. The results indicated that the data interpolation algorithm could solve the problem of frequency difference, and it was a useful tool of analyzing abnormal data.

**Key words:** network analyzer; data processing; S parameters; interpolation

S参数是描述微波器件最常用的一种方式。网络分析仪(以下简称网分)能同时测量全部S参数<sup>[1]</sup>。作为常用频域仪器，网分的扫描方式有频率扫描和功率扫描两种。其中频率扫描又大致可分为等间隔(含线性和对数扫描)和定制频率(segment)扫描两种。某些较早仪器或某些类型仪器往往只有等间隔扫描方式，在对这类仪器进行检定时，由于检验件溯源频率点一般为整数频率点，因此往往遇到溯源频率点与网分测量频率点不完全一致的情况；此外，检定传输相位时，有时会碰到测量数据突变的情况。要分析和解决这类问题，就有必要对网分的内部数据处理过程进行深入了解。本文从MS2024A网分测量频率点与检验件溯源频率点不一和8714ET网分相位测量值突变两个典型事例出发，分析了网分的数据处理过程，提出了数据内插的解决办法。

### 1 典型事例

#### 1.1 MS2024A 测量频率与检验件溯源频率不一致

MS2024A是日本Anritsu公司推出的一款手持式经济型矢量网分(VNA)，频率范围为2 MHz~4 GHz，其特点是重量轻和便携性<sup>[2]</sup>。但是由于本身定位经济型，因此，在功能和性能上较之高性能网分有一定差距。如在频率扫描方式上过于单一(只有等间隔扫描，共有137,275,551等3种测量频率个数点)，因此给这类仪器的量传带来了一定困难。具体体现在：由于网分S参数靠检验件来进行量传，而检验件溯源频率点一般都是整数频率点，对只有等间隔频率扫描方式的网分，其测量频率点不能保证都在整数频率点，这就产生了频率点不完全一致的情况。此时，对突变参数来说，可能就会产生不能容忍的结果。当然可以由经溯源的网分对检验件按待检网分频率点先进行S参数测量，然后再进行量传。但经溯源的网分同样存在频率点不一致的情况<sup>[3]</sup>。

#### 1.2 8714ET 传输相位检定时遇到的问题

对8714ET进行重复多次传输相位检定，频率在1 500 MHz时，测量值有时为 $\phi_1=59.26^\circ$ ，有时为 $\phi_2=179.55^\circ$ ，  
此稿日期：2009-04-24；修回日期：2009-06-01

且没有规律可循。简单来看,  $\phi_1$  和  $\phi_2$  之间没有  $180^\circ$  等特殊相位之间的关系, 因此, 对这种情况应进行较深入的分析, 才能得到比较合理的解释。网分的测量曲线如图 1 所示。测量值为  $\phi_1$  时的( $1485\text{ MHz} \sim 1508\text{ MHz}$ )测量数据如表 1 所示。

在这个频率范围内,  $1500\text{ MHz}$  为溯源频率点。从曲线来看, 整个曲线的斜率可分为 3 个部分:  $k_1, k_2$  和  $k_3$ 。其中  $k_1$  和  $k_3$  几乎相等, 约等于  $-0.12^\circ/\text{MHz}$ , 而  $k_2$  约等于  $24^\circ/\text{MHz}$ 。此时, 在  $k_2$  段内的所有示值为异常值。

表 1 测量值异常时的测量数据  
Table 1 Abnormal test data

$f/\text{MHz}$	$\phi/(\text{°})$	$k$
1485.0	-178.56	
1486.0	-178.68	$k_1$
$\vdots$	$\vdots$	
1490.0	-179.15	
1490.1	-177.96	
1490.2	-175.56	$k_2$
$\vdots$	$\vdots$	
1500.0	59.26	
$\vdots$	$\vdots$	
1505.0	179.03	
1506.0	178.90	
1507.0	178.77	$k_3$
1508.0	178.64	

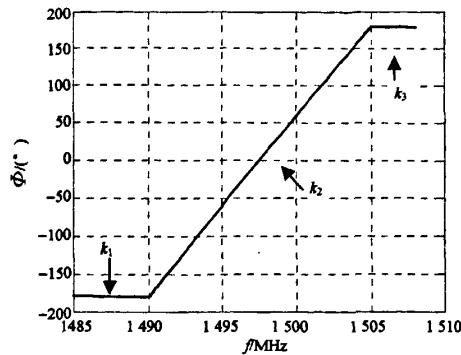


Fig.1 Test result of 8714ET transmission phase

图 1 8714ET 传输相位测量结果

分析其原因, 由于传输相位范围为  $[-180^\circ, 180^\circ]$ , 因此, 当相位小于  $-180^\circ$  或大于  $180^\circ$  时, 要进行加或减  $360^\circ$  运算。对于图中斜率  $k_2$  部分, 事实上就是相位翻转部分。因此, 理论上来说  $k_2$  应该与  $k_1$  和  $k_3$  基本一样, 只是相位翻转而已。因此, 解决的办法就是采用一定的算法将  $k_2$  换算为与  $k_1$  和  $k_3$  基本一样的数值再进行计算。

此外, 在对网分标记(marker)值的认识上, 因为 marker 频率点往往远远大于自校准频率点, 即存在 marker 频率点不是校准频率点时, 如何理解和认识 marker 频率点的示值问题。

## 2 解决办法

### 2.1 网分的数据处理过程概述

网分  $S$  参数, 可分为反射参数和传输参数两类。反射参数可用反射系数、电压驻波比等来表征; 传输参数主要由插入损耗来表征。虽然表征  $S$  参数的方式很多, 但都可归纳为幅度和相位<sup>[4]</sup>。任何一个矢量信号都可以用实部和虚部来表示, 矢量网分测得的数据最初就是这

种形式。 $S$  参数中的幅度通过测量信号的实部和虚部取模得到; 相位通过虚部除以实部再取反正切得到。网分测量得到的矢量信号, 要经过相应的运算才能得到所需要的参数, 频率不能完全吻合时, 还需要通过数据内插进行计算。数据处理大致过程如图 2 所示。

### 2.2 数据内插算法

数据内插要解决的问题: 通过对已知信息规律的掌握, 求得未知信息。如图 3 所示, 图中  $f_1$  和  $f_2$  为网分等频率间隔扫描测得的两个频率点, 已知它们对应测量值为  $y_1$  和  $y_2$ , 求两者之间整数频率点(任何频率点都行) $f_3$  对应测量值  $y_3$ 。图中已知的两个点分别可以用  $(f_1, y_1), (f_2, y_2)$  来表示。两者之间的关系可以用一个二元一次方程来描述(本文采用线性内插), 如式(1)所示。在求得该方程的斜率和截距后, 就得到待求频率点  $f_3$  的测量值  $y_3$ 。

$$y = kf + b \quad (1)$$

将  $(f_1, y_1), (f_2, y_2)$  代入式(1)中, 得到式(2):

$$\begin{cases} y_1 = kf_1 + b \\ y_2 = kf_2 + b \end{cases} \quad (2)$$

通过简单的计算得到  $k$  和  $b$ 。内插后计算结果如式(3)所示:

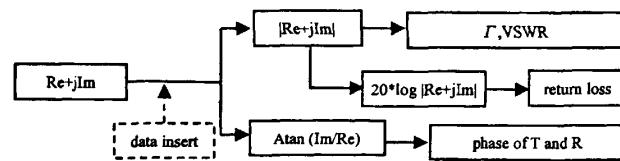


Fig.2 Block diagram of VNA data process  
图 2 网络分析仪数据处理框图

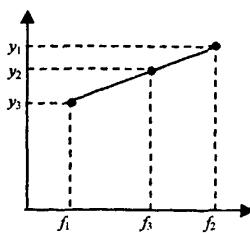


Fig.3 Data interpolation  
图 3 数据内插示意图

$$\begin{cases} k = \frac{y_2 - y_1}{f_2 - f_1} \\ b_1 = y_1 - \frac{f_1(y_2 - y_1)}{f_2 - f_1} \end{cases} \quad (3)$$

$y_3$  可以由式(4)得到:

$$y_3 = \frac{f_3(y_2 - y_1)}{f_2 - f_1} + y_1 - \frac{f_1(y_2 - y_1)}{f_2 - f_1} \quad (4)$$

### 3 实验验证

基本思路:采用一台两种频率扫描方式都有的网分,然后对两种方式测得的结果进行分析验证。网分采用美国 Agilent 公司的 E5070B,验证频率为 10 MHz~3 000 MHz,等间隔扫描选取 201,401,801 和 1 601 等测量频率个数点,定制频率为 10 MHz/(10 MHz~100 MHz),100MHz/(100 MHz~3 000 MHz)共计 39 个频率点。为了保证网分测量数据的可靠性,采用 10 Hz 的中频带宽,校准方式采用 12 项误差校准<sup>[5]</sup>。

首先进行 10 次定制频率方式下测量,然后进行 4 种频率个数点的等间隔扫描测量。测量参数选取 20 dB/50 dB 衰减器的传输幅度  $S_{21}/S_{12}$ ,标准空气线的传输幅度  $\varphi_{21}/\varphi_{12}$ ,失配空气线的反射系数  $S_{11}/S_{22}$ 。

#### 3.1 定制频率扫描

完成 10 次定制频率方式下测量的平均值、标准偏差(Standard Deviation, STDEV)的测量和计算。标准偏差的计算结果如图 4 所示。从图中可以看出:传输幅度测量标准偏差最大为 0.015 dB;传输相位测量标准偏差最大为 0.17°;反射系数的测量标准偏差最大为 0.003。这些测量值的平均值将与等间隔频率扫描方式下数据内插后的数据进行比较,标准偏差用于对数据的分析。

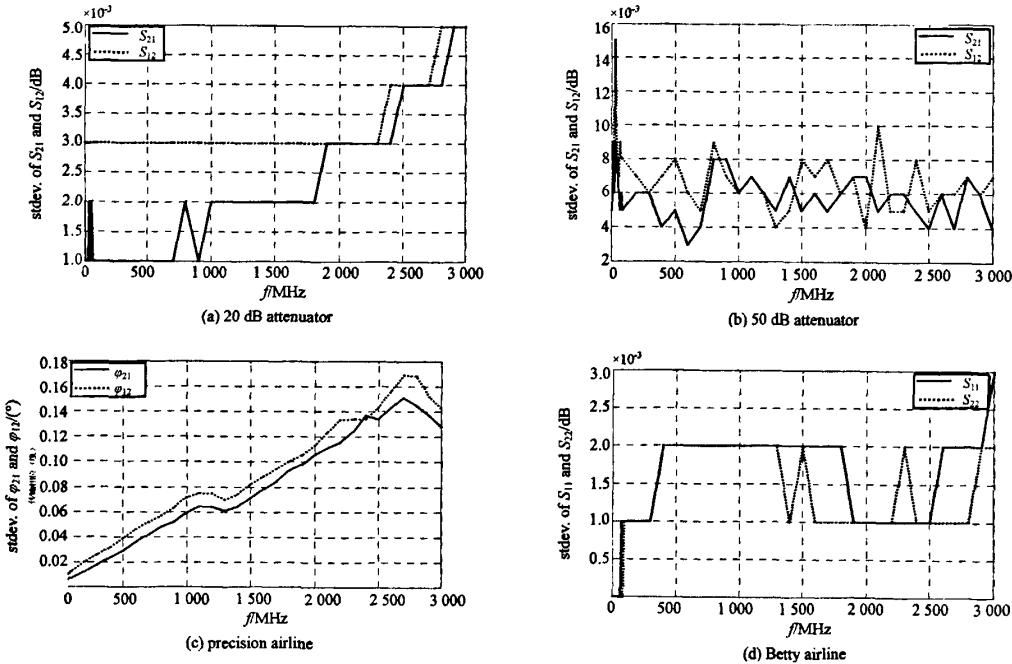


Fig.4 Test data STDEV of  $S$  parameters as segment  
图 4 定制频率扫描方式下各参数测量的标准偏差

#### 3.2 等间隔频率扫描

完成对 201 等 4 种频率个数点的测量,并利用数据内插算法完成整数频率点对应测量值的计算。图 5 表示内插后计算结果与标称值(定制频率扫描下的测量平均值)的差值。

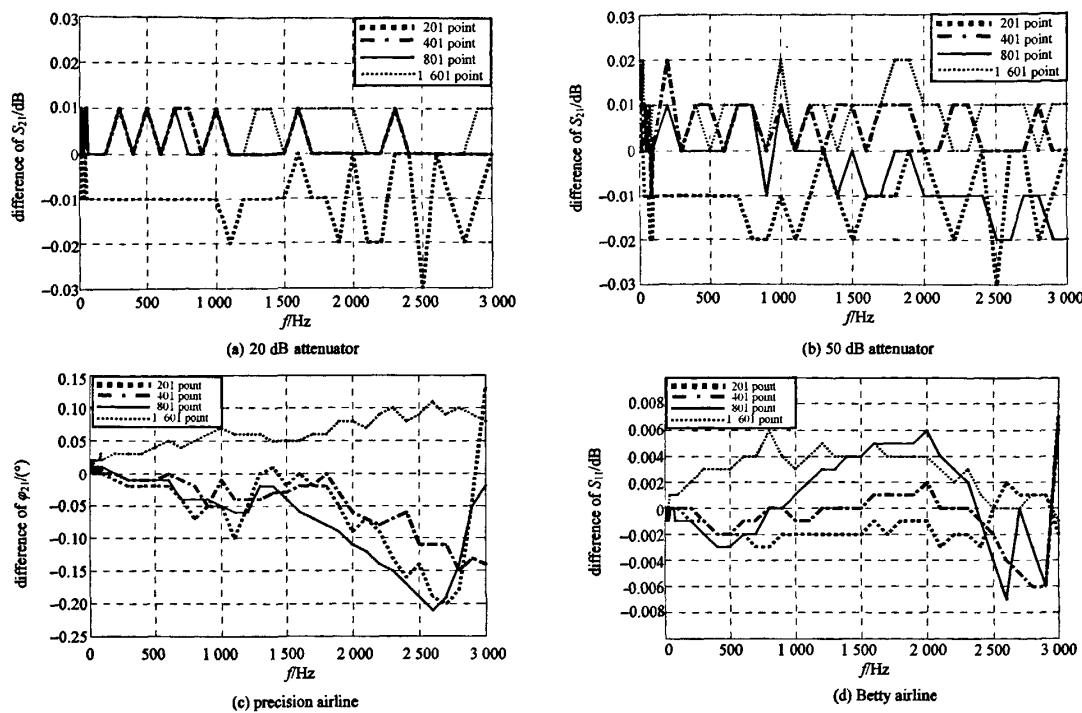


Fig.5 Test results comparison of two methods  
图 5 两种扫描方式测量结果比较

从图 5 可看出, 对没有定制频率扫描的网分, 采用数据内插技术可以完成特定频率点的测量值的计算。表 2 是各参数的定制频率扫描下的最大标准偏差  $S_{\max}$  和两种扫描方式最大差值  $D_{\max}$  (等间隔频率扫描采用 1601 数据点, 截距用  $b_1$  列表)。从表 2 可以看出,  $D_{\max}$  与  $S_{\max}$  基本相等。因此, 通过数据内插技术完成特定频率点的测量值计算, 对于只有等间隔频率扫描方式的网分量传是可行的。同时, 根据图 5 可以看出, 用网分的 4 种数据点来进行内插时, 选用的数据点越多越接近标称值。

表 2 E5070B 2 种扫描方式测量值比较  
Table2 Two test results comparison of E5070B

20 dB attenuator		50 dB attenuator		precision airline		Betty airline	
$S_{11}/\text{dB}$	$S_{22}/\text{dB}$	$S_{11}/\text{dB}$	$S_{22}/\text{dB}$	$\varphi_{21}/(^{\circ})$	$\varphi_{12}/(^{\circ})$	$S_{11}$	$S_{22}$
0.01	0.01	0.01	0.02	0.17	0.17	0.003	0.002
$D_{\max}$	0.01	0.01	0.02	0.11	0.11	0.003	0.002

#### 4 实验结果

表 3 给出了 MS2024A 通过数据内插算法计算得到的测量值与溯源值之间最大差值  $D_{if}$ ; 表 4 给出了 8714ET 传输相位出现异常时, 经修正后得到的正确值。

从表 3 和表 4 中可看出, 经过对网分测得的原始数据进行分析和修正, 很好地解决了检验件溯源频率点与网分测量频率点不能完全重合的问题。

表 3 MS2024A 检定结果  
Table3 Test result of MS2024A

20 dBATT	50 dBATT	precision airline	Betty airline
$S_{11}$	$S_{22}$	$\varphi_{21}$	$S_{11}$
0.16 dB	0.31 dB	0.42°	0.017

表 4 8714ET 经修正相位值  
Table4 Adjusted results of 8714ET

$f/\text{MHz}$	$\Phi/(^{\circ})$	
	correct off	correct on
1 490.1	-177.96	-179.15
1 490.2	-175.56	-179.17
⋮	⋮	⋮
1 500.0	59.26	179.65
⋮	⋮	⋮
1 504.8	174.26	179.07
1 504.9	176.66	179.06

全吻合的问题；同时，也得到了传输相位出现异常的原因。表3中 $D_{if}$ 较表2中 $D_{max}$ 更大，这是由于不同网分对测量标准(检验件)测量结果的差异引起的，与本文采用的数据内插算法无关。

## 5 结论

当网分测量频率点与标准溯源频率点不能吻合时，对于某些对频率较灵敏参数的测量会产生不能容许的误差。本文通过对网分数据处理过程的分析讨论，提出了数据内插法完成测量频率点参数的修正计算。结果表明：通过数据内插算法，两种频率扫描方式测量数据最大差值与定制频率扫描最大实验标准偏差相当，较好解决了等间隔扫频方式下频率不能一致时的S参数测量；传输相位产生异常测量值是由于网分内插算法采用了不正确参数。此外，在进行数据内插时，网分测量数据点取得越多，则计算得到的值与标称值越接近。当然，面对测量频率点的多样性，在溯源与测量频率点如何保持一致或相关性上还值得进一步分析研究。

### 参考文献：

- [1] 国防科工委科技与质量司组织编写. 无线电电子学计量(下册)[M]. 北京:原子能出版社, 2002.
- [2] 日本 Anritsu 公司. MS2024A 技术手册[Z]. 2002.
- [3] GJB/J 3608-99 自动网络分析仪检定规程[S]. 1999.
- [4] 汤世贤. 微波测量[M]. 北京:电子工业出版社, 2002.
- [5] 美国 Agilent 公司. E5070B 技术手册[Z]. 2002.

### 作者简介：



王建忠(1974-), 男, 四川省大邑县人, 硕士, 工程师, 主要从事无线电计量研究.email:wjzl999@sina.com.

赖晖(1973-), 男, 湖南湘阴人, 工程师, 研究方向为无线电计量.

朱斌(1971-), 男, 江苏江阴人, 工程师, 研究方向为无线电计量.

魏翔文(1955-), 男, 成都市人, 工程师, 研究方向为无线电计量.

魏竹(1982-), 女, 四川崇州人, 助理工程师, 研究方向为无线电计量.

## 2009年度优秀编委和优秀审稿人名单

优秀编委：常青 程蝉 杨健 曾孝平 张立明

优秀审稿人：陈佳品 孟凡宝 邵玉斌 陶德元 周邦华

## 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量测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悉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悉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>