

S 参数标准的研制和网络分析仪检定

张国华* 商晓宇

文摘 网络分析仪系统是一种宽频段、多参数,并能进行实时测量的大型频域、时域测量系统。主要介绍同轴、波导 S 参数标准件的组成、设计方法,研制过程及参数定标的方法。并介绍了双频激光同轴量规计的设计方法、工作原理及利用它对标准件定标的情况。文章中提供了大量的数据,详细也列出了标准失配器、标准空气线等, S 参数标准件在各频率点上定标的数据,从各不同方面验证了参数标准的准确性。

主题词 S 参数标准 同轴波导 网络分析仪 设计方法 工作原理

1 引言

随着电子元器件研制水平不断提高以及计算机和集成电路技术的不断发展,使得网络分析仪系统已成为一种自动化程度很高的宽频段、多参数、并能进行实时测量的大型频域、时域测量系统,它在国防科技领域广泛使用并发挥着越来越重要的作用。科学技术的发展,对测量仪器的测试功能、测量速度、测量准确度和自动化程度的要求也越来越高。为了能更好地提高网络分析仪的测量准确度,目前矢量网络仪普遍采用了误差模型修正技术,典型的是采用了单端口 8 项误差模型修正和双端口 12 项误差模型修正。这一措施有效地减小了测试系统的误差。但由于系统校准件的不完善,接头重复性的影响及环境温度造成系统参数漂移等原因,测试系统校准后也存在一定的剩余误差。因此,建立同轴与波导的 S 参数标准,以计量检定自动网络仪是亟待解决的问题。

目前用于网络分析仪参数定标的方法主要有两种,一是对网络分析仪系统的不确定度来源进行全面的分析,确定主要不确定度分量,制定精密严格的测量方法,分别对这些不确定度分量进行单项测量评估,得到各单项误差后进行合成,从而得到总的系统测量不确定度。该方法的实施难度较大。首先准确地测量网络分析仪的方向性、源端、负载端匹配、反射及传输频响、高低电平噪声、中频自动增益等项误差就是一项很困难的工作,需要制定严格准确的测量方法,配备各种高精密的辅助测量设备。其次,利用该方法建立的网络分析仪参数计量标准,开展日常的计量检定和量值传递工作时也存在着一定的问题,还要通过标准件传递的方式实现。所以,目前该方法更适合作为其它建标方式的一种旁证手段。第二种方法即本文将要介绍的方法,其中主要介绍同轴、波导 S 参数标准件的研制、定标以及利用这些标准件对 HP8510 网络分析仪进行检定的情况。

收稿:1999-02-07

* 中国航天机电集团二院二〇三所,高级工程师,男,45岁,100854

2 网络分析仪同轴系统测量参数的定标

2.1 标准件的选择

网络分析仪的测量参数主要包括反射系数、衰减量和传输相位三个部分，因此我们选择了经过严格设计和加工的无支撑精密同轴空气线和精密衰减器作为 S 参数标准件。空气线采用 APC-7 型接头，有三个不同外径的内导体和一个 7 mm 内径的外导体。分别接入不同内导体时就构成了驻波比分别为 1.1、1.5、2.0 的三个标准失配器，对空气线电长度进行精密测量后，利用公式 $\varphi = \omega t$ 就可得到全频段各频率点的标准相位值。

2.2 标准件的定标方式

目前国际上普遍采用经过精密加工的空气线作为 S 参数标准，对空气线进行测试定标的设备及方法有多种，但主要是一些相关参数的测试仪器或标准。这些仪器从功能上、参数上、测试准确度方面与网络仪相比大同小异。利用这些设备对空气线定标，然后作为网络仪的 S 参数标准的方法已经在采用，但是很难保证比较理想的效果。根据阻抗计算公式 $Z = 60 \ln D / d$ (空气介质)，空气线的特性阻抗主要取决于同轴线外导体内径 D 和内导体外径 d ，我们将与哈工大协作研制的双频激光同轴量规计测试系统用于同轴精密空气线的几何参数数的测试，利用编制的计算机软件将几何量转换成 S 参数，得到 S 参数标准值，用于网络分析仪及其它相关测试设备的计量检定。

2.3 同轴空气线量规计系统

在同轴两端口 S 参数标准的建立过程中，标准空气线得到了广泛的应用。为了完成同轴 S 参数标准的定标，与哈工大联合研制了同轴空气线量规计系统，利用它可以准确地测出标准空气线的长度、外导体内径、内导体外径以及内外导体的不同轴公差等几何参量。利用这些参量并考虑到导体损耗、阶跃电容、趋肤效应等因素的影响，用编制的 S 参数转换软件可以得到一个很好的同轴 S 参数标准。由于同轴空气线内外导体的测量值可以溯源至长度标准，因而可以提供一个可靠的定标手段。

2.3.1 同轴空气线量规计系统基本原理

同轴空气线量规计系统基本原理图见图 1。

量规计系统中所使用的双频激光干涉仪的激光束波长为 6328\AA ，标准状态下，经预热后稳定下来的激光波长值 $\lambda = 8 \times 0.079\ 102\ 48\ \mu\text{m}$ ($P = 101\ 324.72\ \text{Pa}$, $T = 22.5^\circ\text{C}$, 60%)。在使用中，同一轴向磁场把 He-Ne 激光器发出的 6328\AA 激光束分裂为频率分别等于 f_1 和 f_2 的频差约 1.8 MHz 的左、右圆偏振光，变成相互垂直的线偏振光，经分光镜分出一小部分光束被光电检测器接收，作为参考讯号，其余光束经平行光管扩大和准直。被干涉仪的偏振分光镜分成 f_1 和 f_2 两束光，并把它投射到两个反射镜上，然后将两束重迭后的回光送到激光头的光电检测器上 (两反射镜的相对移动引起两束回光的频率差产生多普勒频移 $\pm Df$)。再将该检测器接收的频率讯号 $(f_1 - f_2) \pm Df$ 与参考频率 $f_1 - f_2$ 送至减法器相减得到 $\pm Df$ ，然后由可逆计数器计数，从而测得靶镜移动过程中产生的干涉条纹数。再将所计条纹数乘以光波波长，即得到所测的长度值。由所测得的几何尺寸代入标准空气线的阻抗公式，考虑了内外导体不同心、趋肤效应等影响，通过软件计算出 S 参数。

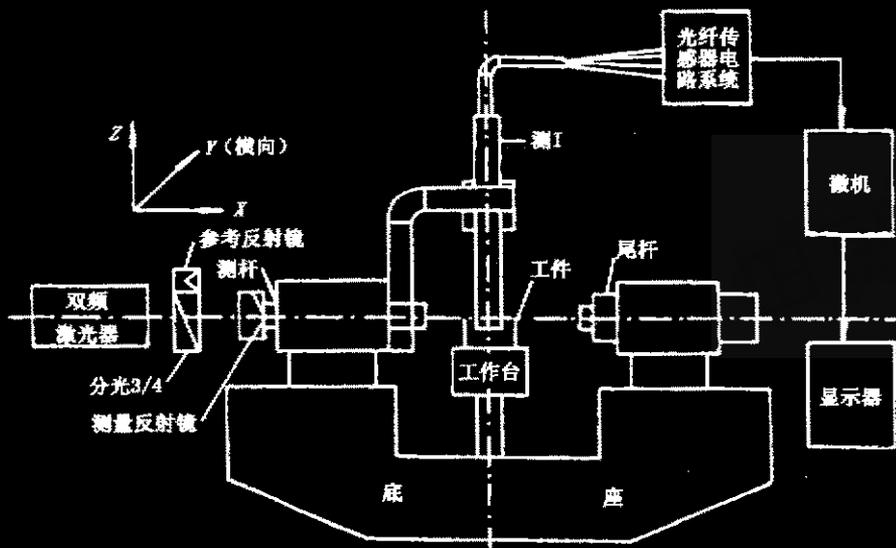


图1 同轴空气线量规计系统原理图

2.3.2 系统组成

该量规计系统主要由四个部分组成，由图1所示。双频激光干涉仪包括双频激光器、分光镜及参考反射镜组件，测量反射镜和电箱。该干涉仪用于测量和读数。万能测长仪：包括基座、工作台、尾杆和测杆等部分，用于夹持工作，并给出X、Y、Z三个方向的测量位移。用于孔径非接触检测的光纤传感器由光纤测头和电路系统（HD-1型光纤光电转换器）组成，用于测量定位。微机及其软件用于数据处理及过程监控。

编制的S参数软件将重点解决突变点等效电容的计算及其对S参数的影响、导电系数对S参数的影响、几何量测量误差对S参数的影响、同轴线内导体倾斜对S参数的影响、同轴线内导体偏移对S参数的影响、同轴线内导体直径变化对S参数的影响等问题。

2.3.3 主要技术指标

- 外导体内径测量不确定度：0.7 μm
- 内导体外径测量不确定度：0.25 μm
- 内导体长度测量不确定度：0.5 μm
- 内外导体不同心度测量不确定度：1.0 μm

2.3.4 S参数的计算方法

量规计所测得的几何尺寸，代入空气介质的标准空气线的阻抗公式可得标准空气线的阻抗为

$$Z = 59.958 \ln \frac{D}{d} \quad (1)$$

由内、外导体不同心会引起的阻抗偏差为

$$\Delta Z_0 \approx -296 \frac{e^2}{D^2} \quad (2)$$

内、外导体测量不准确度引起的阻抗偏差为

$$\Delta Z_0 = 60 \left(\frac{\Delta D}{D} - \frac{\Delta d}{d} \right) \quad (3)$$

趋肤效应引起的阻抗变化为

$$\Delta Z_0 = 302 \sqrt{\frac{\rho}{f} \left(\frac{1}{D} + \frac{1}{d} \right)} \quad (4)$$

式中: D —外导体内径, d —内导体外径, e —同心度, ρ 为电阻率。

利用同轴量规计测量标准空气线的几何量, 因量规计测量不准确引起的阻抗不确定度 (小于 0.1%) 相对于因加工公差而引起的阻抗不确定度来说要小, 转换成返回损耗为

$$R_L = 20 \lg \left(\frac{S+1}{S-1} \right) = 20 \lg \left(\frac{2 + \frac{\Delta Z_0}{Z_0}}{\frac{\Delta Z_0}{Z_0}} \right) = 20 \lg(2001) = 66(\text{dB}) \quad (5)$$

该量规计系统对标准空气线几何尺寸的测量准确度是非常高的, 由测量值所转换成的阻抗值来为两端口 S 参数定标是目前用其它方式定标所不能及的。查新资料表明, 目前国内尚无此类设备及定标方法。它与美国 NIST 所采用气压法测内、外径的方法比较, 具有工作稳定性高, 测量准确度高和测量可扩充性大的优点。

下面是建立的 APC-7 型接头同轴空气线 S 参数标准的指标, 定标的不确定度主要受下面几个因素的影响:

(a) 长度测量误差的影响

激光同轴量规计的长度测量不确定度为 1 mm, 以此为基准计算出的结果对 S 参数的不确定度的影响为

MagS ₁₁	ArgS ₁₁	MagS ₂₁	ArgS ₂₁
1.049 × 10 ⁻⁶	2.912 × 10 ⁻²	3.355 × 10 ⁻⁸	5.989 × 10 ⁻⁴

(b) 内导体偏心的影响

根据对系统接头偏心量的测量, 其量值都低于 15 μm, 以偏心量小于 100 μm 为基准计算出的结果对 S 参数的不确定度的影响为

MagS ₁₁	ArgS ₁₁	MagS ₂₁	ArgS ₂₁
3.307 × 10 ⁻⁴	3.007 × 10 ⁻²	3.456 × 10 ⁻⁵	9.890 × 10 ⁻⁴

(c) 内导体倾斜的影响

根据对系统接头倾斜量的测量, 其量值都低于 30 mm, 以倾斜量小于 100 mm 为基

准计算出的结果对 S 参数的不确定度的影响为

MagS ₁₁	ArgS ₁₁	MagS ₂₁	ArgS ₂₁
7.431×10^{-5}	4.465×10^0	6.779×10^{-6}	3.162×10^{-4}

(d) 衰减因子的影响

空气线的衰减因子与其材料及电镀有关，以导电系数 $5\sigma_0$ 为基准计算出的结果为 S 参数的不确定度的影响为

MagS ₁₁	ArgS ₁₁	MagS ₂₁	ArgS ₂₁
2.696×10^{-4}	2.207×10^{-1}	3.596×10^{-3}	9.471×10^{-4}

(e) 阶跃电容的影响

根据同轴空气线内导体几何尺寸突变计算出 μA 阶跃电容的误差应小于 5%，以 10% 为基准计算出的结果对 S 参数的不确定度的影响为

MagS ₁₁	ArgS ₁₁	MagS ₂₁	ArgS ₂₁
3.909×10^{-6}	1.160×10^{-2}	1.562×10^{-8}	2.298×10^{-4}

综合上述各项影响，按照代数和的方式累加，并乘 3 倍后得到表 1 中的驻波比定标不确定度。

表 1 驻波比定标值

标称值	1.1	1.5	2.0
频率 / GHz	定标值	定标值	定标值
1.0	1.0990	1.4988	1.9958
3.0	1.0988	1.4979	1.9934
5.0	1.0987	1.4972	1.9915
7.0	1.0986	1.4967	1.9901
9.0	1.0986	1.4962	1.9888
11.0	1.0985	1.4959	1.9874
13.0	1.0985	1.4955	1.9862
15.0	1.0984	1.4952	1.9850
17.0	1.0984	1.4949	1.9835
定标不确定度	5‰	5‰	5‰

2.4 网络分析仪系统同轴 S 参数定标

为了确定 8510 网络分析仪由轴测量系统的参数不确定度指标，利用网络分析仪分别测量定标后的标准空气线和标准衰减器。按照规定的方式对测量数据和标准数据进行综合处理后，得到 8510 网络分析仪的测量不确定度指标。传输相位的标准值是利用同轴量规

计测量 50 Ω 标准空气线的电长度, 然后利用公式 $\varphi = \omega t = 2\pi f l / c$ 得到各频率点的标准相位值。利用科工委二中心衰减标准定标的精密衰减器作为衰减标准器。表 2、表 3 中的标准值为别为量规计所确定的 S 参数值, 表中的测量值为网络分析仪的测量值。表 2 是 S_{11} 驻波比的数据, 表 3 是 S_{21} 相位的数据。

表 2 驻波比偏差值

标准值	1.1			1.5			2.0		
	测量值	定标值	相对偏差 (%)	测量值	定标值	相对偏差 (%)	测量值	定标值	相对偏差 (%)
12.4	1.090	1.097	6.4	1.440	1.434	4.2	1.910	1.922	6.0
13.2	1.100	1.104	3.6	1.470	1.465	3.4	1.960	1.987	6.5
14.4	1.110	1.109	0.9	1.470	1.480	6.8	2.030	2.007	11
15.0	1.110	1.109	0.9	1.490	1.476	9.5	2.20	1.986	17
16.2	1.090	1.106	5.4	1.440	1.446	4.1	1.880	1.895	7.9
17.4	1.090	1.098	7.3	1.400	1.394	4.3	1.750	1.752	1.1
18.0	1.090	1.093	2.7	1.380	1.361	14	1.680	1.668	7.2
最大偏差	0.64%			1.4%			1.7%		

表 3 相位偏差值

频率 / GHz	测量值 / (°)	标准值 / (°)	差值 / (°)
2.0	179.89	180.02	0.13
3.0	89.91	90.04	0.13
4.0	-0.133	-0.048	0.085
5.0	-90.14	-89.94	0.02
6.0	179.86	180.07	0.02
7.0	89.93	90.08	0.15
8.0	-0.158	-0.250	-0.082
9.0	-90.03	-89.89	0.14
10.0	179.83	180.12	0.29
11.0	90.21	90.13	-0.08
12.0	-0.151	-0.144	0.007
13.0	-90.73	-89.84	0.89
14.0	179.83	180.17	0.34
15.0	90.45	90.18	-0.27
16.0	-0.152	0.193	-0.041
17.0	-89.86	-89.80	0.006
18.0	179.77	180.21	0.044
最大偏差	0.89	-	-

从表 2 中可以看出测量驻波比 1.1, 1.5, 2.0 的同轴标准件时, 网络分析仪测量值的最大偏差为 0.64%, 1.4%, 1.7%。表 3 中的数据是驻波比 1.0 的标准空气线的传输相位测量数据, 最大偏差为 0.89° , 可见网络分析仪在 2~18 GHz 的频率范围内的传输相位不确定小于 1° , 20 dB, 50 dB 精密衰减器用来验证网络分析仪衰减测量的不确定度。表 4 中分别给出了网络仪的测量值和衰减器的定标值, 二者之间的偏差, 以及作为参考数据的三次全国网络分析仪比对的加权算术平均值。

表 4 衰减量偏差值

标称值	20 dB				50 dB			
	频率 GHz	比对 加权值	VM-4 标准值	测量值	差值	比对 加权值	VM-4 标准值	测量值
1.0	19.90	19.91	19.90	0.01	49.69	49.71	49.67	0.04
2.0	19.93	19.94	19.92	0.02	49.76	49.77	49.70	0.07
12.0	19.89	19.90	19.91	0.01	50.17	50.27	50.11	0.16
18.0	20.08	20.04	20.06	0.02	50.54	50.51	50.60	0.09
最大偏差	0.02 dB				0.16 dB			

从表 4 中可以看到网络仪测量 20 dB 衰减器时的最大偏差为 0.02 dB, 测量 50 dB 衰减器时的最大偏差为 0.16 dB。

2.5 网络分析仪参数定标结果

按照包含因子 k 为 2(置信概率 95%) 进行处理, 得到 8510 网络分析仪测量参数的扩展不确定度指标 (见表 5)。

表 5 S 参数最大偏差值

频率范围	S_{11} 模值	S_{21} 模值	S_{21} 相位
2~18 GHz	<3.4%	<0.06dB20dB 以下 <0.42dB50dB 以下	< 1.78°

3 网络分析仪波导系统测量参数的定标

3.1 波导两端口 S 参数标准的研制

我们曾经从美国 Maury 公司引进过一套该类型的标准装置, 它包括有 5 个窄边尺寸改变了的波导片, 每个波导片给出了中心频率点驻波比的标称值, 无法作为实用参数标准来使用。为了解决网络分析仪波导测量参数的定标问题, 我们研制了波导两端口 S 参数标准, 该标准在各个波导频段上完整地给出了 S_{11} 的幅度和相位 S_{21} 的幅度和相位, 电延时指标和标准不确定度。同时研制了从 10 cm 到 2 cm 波段 8 套标准件, 每套标准件有 5 个元件, 其标称驻波比分别为 1.0, 1.1, 1.25, 1.5, 2.0。基本覆盖了波导测试的常用频段。在各个波段上分析了加工准确度对电性能的影响, 在研制的系列两端口标准中,

2 cm 波段的波导口尺寸最小，对加工误差最敏感，以此波段为基准进行了各种试验及误差分析。从分析结果可以看出：我们研制成功的波导两端口标准可以作为国内任意一套相应频段的网络分析仪及其它波导测试系统的 S 参数标准。

波导两端口标准采用一定厚度的波导片，其宽边尺寸与普通波导相同，窄边比普通波导要小，如图 2 所示。接入两端口标准后的网络电路模型如图 3 所示。

那么

$$S_{11} = \frac{(1+r-jbr)(1-\frac{1}{r}-jb)e^{-2\gamma L} + (1-r-jbr)(1+\frac{1}{r}+jb)}{(1-r+jbr)(1-\frac{1}{r}-jb)e^{-2\gamma L} + (1+r+jbr)(1+\frac{1}{r}+jb)} \quad (6)$$

$$S_{21} = \frac{4e^{-\gamma L}}{(1-r+jbr)(1-\frac{1}{r}-jb)e^{-2\gamma L} + (1+r+jbr)(1+\frac{1}{r}+jb)} \quad (7)$$

式中： L —波导两端口标准的长度；传播常数 $\gamma = \alpha_R + j\frac{2\pi}{\lambda_R}$ ， $r = \frac{Y_{02}}{Y_{01}}$ ， $b = \frac{B}{Y_{02}}$ ； Y_{02} —两端口标准的特征导纳； Y_{01} —外部系统的特征导纳； λ_R —波导波长； α_R —传输线段衰减因子； B —归一化等效不连续电纳。

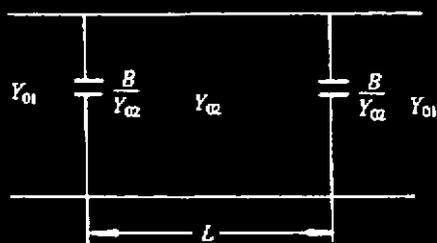


图 2 标准件示意图

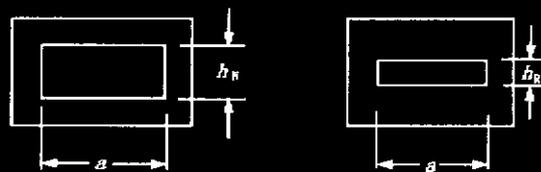


图 3 网络电路模型图

设计过程：

取 $L = \frac{1}{4} \lambda_R$ ，根据公式(6)可得到

$$S_{11} = \frac{1-r^2}{1+r^2} \quad (8)$$

据此，可设计出驻波比为 1.1、1.25、1.5、2.0 等一系列的 S_{11} 标准器。当 L 确定后 S_{21} 也就随之确定了。

误差的主要来源：

- (a) 波导窄边 h_R 、波导厚度 L 及法兰平面度的加工误差；
- (b) 不完善造成的等效不连续导纳近似；
- (c) 不同法兰材料表面电阻率的差别造成的接触损耗；

(d)波导连接时定位不准造成连接不重复。

对于误差来源(a), 可以编制程序将 h_R 和 L 的扰动对 S_{11} , S_{21} 造成的影响计算出来, 表示为在 $h_{R-0.005}^{+0.005}$ 和 $L_{-0.005}^{+0.005}$ 的允许加工误差情况下, 计算得到的各波导频段二端口S参数标准对驻波比和传输相位的影响如表6所示。

表6 多频段S参数标准偏差

波段名称	驻波比最大偏差(%)	传输相位最大偏差/(°)
BJ-140(P波段)	1.62	<0.08
BJ-120(M波段)	1.56	<0.08
BJ-100(X波段)	1.49	<0.08
BJ-84(H波段)	1.23	<0.05
BJ-70(J波段)	1.16	<0.05
BJ-58(C波段)	0.85	<0.05
BJ-40	0.58	<0.05
BJ-31(S波段)	0.46	<0.05

为了保证参数定标的可靠性, 我们请国家计量院利用同频段计量标准对我们研制的3 cm波段波导S参数标准进行了检定。表7中给出了驻波比1.1, 1.25, 1.5, 2.0四个标准件的测量值、定标值及二者的相对偏差。

表7 标准件驻波比相对偏差

器件名称	频率/GHz	计量院测试值	定标值	相对偏差(%)
TPS X-1.10	8.208	1.080	1.082	1.9
	9.385	1.097	1.095	1.8
	10.000	1.099	1.097	1.8
TPS X-1.25	8.208	1.206	1.211	4.1
	9.385	1.244	1.245	0.8
	10.000	1.250	1.248	1.6
TPS X-1.50	8.208	1.427	1.432	2.8
	9.385	1.500	1.501	1.5
	10.000	1.504	1.502	1.3
TPS X-2.00	8.208	1.850	1.868	9.6
	9.385	1.992	2.006	7.0
	10.000	1.991	1.999	4.0

计量院对传输相位只给了一个频率点(9.385 GHz)的测量结果。标准件相位相对偏差如表8所示。

表 8 标准件相位相对偏差

器件名称	计量院测试值/(°)	定标值/(°)	差值/(°)
TPSX-1.10	-77.50	-76.78	0.72
TPSX-1.25	-77.84	-77.23	0.61
TPSX-1.50	-78.66	-78.18	0.48
TPSX-2.00	-79.97	-79.91	0.06

从表 7、表 8 中可以看出, 我们研制的波导两端口标准的定标值与计量院的驻波比测量值的最大偏差为 0.96%, 与其相位测量值的最大偏差为 0.72°。

3.2 网络分析仪系统波导 S 参数定标

利用我们研制的波导二端口 S 参数标准对网络仪的参数指标进行检定, 选择了 2 cm 频段驻波比 1.1, 1.5, 2.0 三个标准件进行了测试, 测试的数据, 标准的数据, 以及二者的偏差见表 9。

表 9 网络分析仪波导系统定标值

标准值	1.1			1.5			2.0		
	频率 GHz	测量 值	标准 值	相对偏 差(%)	测量 值	标准 值	相对偏 差(%)	测量 值	标准 值
3.0	1.093	1.0988	5.5	1.492	1.4979	4.7	1.990	1.9934	3.5
5.0	1.083	1.0987	15	1.478	1.4972	18	1.968	1.9915	14
7.0	1.117	1.0986	16	1.525	1.4967	18	2.019	1.9901	17
9.0	1.102	1.0986	2.7	1.503	1.4962	7.0	2.001	1.9988	3.5
11.0	1.092	1.0985	6.0	1.482	1.4959	10	1.970	1.9974	12
13.0	1.091	1.0985	6.8	1.477	1.4955	12	1.960	1.9962	18
15.0	1.106	1.0984	19	1.506	1.4952	8.6	2.004	1.9950	6.0
17.0	1.120	1.0984	16	1.523	1.4949	17	2.022	1.9935	15
最大 偏差	1.9%			1.8%			1.8%		

从表 9 中可以看出, 网络分析仪在测量驻波比 1.1, 1.5, 2.0 的标准件时的最大偏差分别为 0.73%, 1.4%, 1.7%, 加上标准件 0.2% 的不确定度, 网络分析仪在 2 cm 波段测量 S_{11} 模值的不确定度分别为 0.92%, 1.6%, 1.9%。

4 结 束 语

在对网络分析仪测量参数检定中, 利用波导二端口 S 参数标准对网络分析仪波导测量时的不确定度进行了检定, 利用同轴二端口 S 参数标准对网络分析仪同轴测试系统测量时的不确定度进行了检定, 利用经过科工委二中心衰减标准定标的 20 dB, 50 dB 衰减

器对网络分析仪的衰减测量参数进行了检定,此外还利用了三年网络分析仪全国比对的加权算术平均值数据进行了旁证。通过上述手段较好地解决了网络分析仪测量参数不确定度的问题,为网络分析仪测量参数的计量传递打下了基础。

确定网络分析仪同轴测量系统参数指标,以前主要是采用比对的方式以及阻抗、衰减、相位等相关参数辅助定标的方式。但是在网络仪不断发展,功能、性能不断提高的情况下,其参数测量不确定度与其它相关参数标准相比已差别不大。为了掌握其它更有效、更准确的定标手段,与哈尔滨工业大学协作联合研制了双频激光同轴空气线量规计。据了解,目前美国 NIST 采用充气式同轴量规计进行有关参数的定标工作,其技术指标与我们目前使用的激光同轴量规计基本相同。该产品的研制成功使我们拥有了一套非接触式同轴空气线几何量测量到 S 参数转换设备,对今后国内开展同轴参数计量及阻抗标准的建立都具有重大的意义。并将对今后网络分析仪的应用和发展具有重要的意义和推动作用。

在研制过程中得到了叶德培、王志田等同志的大力帮助和指导,在此一并表示衷心的感谢。

参 考 文 献

- 1 汤世贤,微波测量,北京:国防工业出版社,1981.
- 2 Beatty R W. Calculated and measured S_{11} , S_{21} , and group delay for simple types of coaxial and rectangular waveguide 2-port standards. NBS technical note 657, Dec. 1974.
- 3 克恩斯 M, 贝提 R.W. 波导接头理论和微波网络分析,北京:人民邮电出版社,1984.
- 4 Hewlett packard. coaxial & waveguide measurement accessories catalog and microwave measurement handbook. Nov. 1982.

Development of S-parameter standard and calibrator of the network analyzer

Zhang Guohua Shang Xiaoyu

Abstract The network analyzer is a big test system that has wide frequency band, multi-parameters, real time test capability in frequency domain and time domain. It is widely used in national defense scientific research and plays an important role. It is eager for us to establish coaxial, waveguide S-parameter standard for the uniform of quantity value of network analyzer. The article mainly introduces the composition, design method, research process, parameter verification of coaxial, waveguide S-parameter standard devices. It also involves the design method, principle of two-frequency laser gauge meter and the result of verifications of standard devices using the gauge. A large quantity of data is given in this article, and the verification data in different frequency of S-parameter standard devices such as standard mismatch generator, standard attenuator, standard airline is listed in detail. These data prove the accuracy of S-parameters standard in different way.

Subject terms S parameter standard Coaxial waveguide Network analyzer
Design method Operating principle

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>