

# 如何扩大矢量网络分析仪的动态范围

How to Enlarge Dynamic Range of Vector Network Analyzer

□ 盛军 Sheng Jun

【作者简介】盛军,男,工程师。工作单位:信息产业部电子第三十九研究所计量测试中心。通讯地址:710065 西安市 84 信箱 30 分箱。

【摘要】本文叙述了矢量网络分析仪动态范围的定义及其相关概念,对 HP8510C 矢量网络分析仪动态范围的方法进行了讨论,并提出了相关建议。

【关键词】矢量网络分析仪 动态范围 中频带宽 扫描时间

【收稿时间】2001-06-18

HP8510C 矢量网络分析仪是一台高性能的微波测量仪器,用它来测量各种类型的微波器件和微波网络的参数非常方便。在测量微波器件的特性时,特别是高增益器件,使网络分析仪尽可能达到最大的动态范围极其重要,在某些情况下甚至成为确定测量性能的关键因素。也就是说,了解仪器的动态范围和被测件(AUT)的输入和输出电平对于测量是非常重要的。

## 1. 动态范围的概念

为了从网络测量系统获得最大的动态范围,重要的是要理解动态范围的本质,以及能用来扩大动态范围的一些方法。以便选择取得最佳结果而对其它仪器参数(如测量速度)影响最小的方法。网络分析仪的动态范围实质上是系统可以测量以下各个功率的范围:

(1)Pmax:在测量中出现不可接受的误差之前,系统可以测量的最高功率电平,此电平通常由网络分析仪的压缩指标决定。

(2)Pref:在测试端口上,网络分

析仪信号源提供的额定功率。

(3)Pmin:由接收机本底噪声所决定的系统能测量最小功率电平(系统的灵敏度)。Pmin 取决于中频(IF)带宽,平均方式和测试装置的结构配置。

动态范围的两个常见定义是:

接收机动态范围:若把系统看成是一台接收机时,系统的真实动态范围;接收机动态范围 = Pmax - Pmin;为了实现接收机的全动态范围,可能需要使用放大器,这个放大器可以是被测件或附加到测量系统上的外部放大器;系统动态范围:没在放大(如测量衰减器和滤波器之类的无源元件)时所能实现的动态范围。

系统动态范围 = Pref - Pmin 可达到的动态范围取决于测量应用场合(见图 1)。

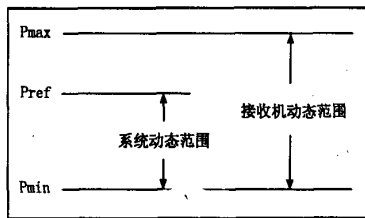


图 1 动态范围示意图

HP8510C 矢量网络分析仪的最大输入(Pmax)、输出电平(Pref)如表 1 和表 2 所示。

接下来该确定网络分析仪的本底噪声(Pmin),也就是系统的灵敏度。接收机的本底噪声是网络分析仪的一个重要技术指标,它有助于确定分析仪的动态范围。在图 2 中显示了四条曲线分别表示四种定义

计算出的本底噪声:

表 1 HP8510C 矢量网络分析仪的最大输入电平

	HP8514B at 20GHz	HP8515A at 26.5GHz	HP8517B at 50GHz
0.1dB compression level for test set (at test port) (dBm)	+8.5	-3	-6
Damage power level (at test port) (dBm)	+17	+17	+17

表 2 HP8510C 网络分析仪的最大输出电平

RF Source	HP 83621A	HP 83631A	HP83651A	
HP8510 Test Set	With HP8514B	With HP8515A	With HP8517B	With HP8517B, Opt. 007
Frequency (GHz)	Test Port Power Levels (dBm)			
0.05	+2.5 to -20.5	-3.5 to -26	+1.5 to -21.5	+5 to -21
2	+1 to -22.0	-6 to -29	+0.5 to -23.5	+5 to -21
20	-7.5 to -27	-13.5 to -30	-7.5 to -30	+2 to -23
26.5		-25 to -30	-13.5 to -30	+1 to -24
40			-20 to -30	-3 to -21.5
50			-27 to -30	-13 to -29

实线表示噪声的有效值,此值等于 -100dBm 的噪声功率。虚线 (-101dBm)是换算成 dBm 的噪声线性幅度平均值;虚线 (-102.4dBm)是噪声对数幅度平均值;点划线 (-92.8dBm)是换算成 dBm 的噪声线性幅度平均值与其 3 倍标准偏差之和。

图 2 四种定义计算出的本底噪声曲线

HP8510C 矢量网络分析仪采用有效值来定义接收机的本底噪声。这是一种常用的定义,降低它是接

收机的等效输入噪声功率,故很容易理解。

## 2. 增大动态范围的方法

在某些测量场合,希望将网络分析仪的动态范围增大到超出用缺省设置所能达到的水平。降低本底噪声通常有两种方法即取平均和减小系统带宽(中频带宽)。

### 2.1 取平均

HP8510C 矢量网络分析仪通过对每次扫描的数据点取指数加权平均来完成扫描之间取平均。对数据组中的样本进行指数加权,即使在达到所要求的平均因数后也能无止境地对取平均进行处理。可以对复数数据取平均,这意味着数据是以矢量方式进行平均。

利用矢量网络分析仪所提供的取平均功能,取平均次数每增加 1 倍,信噪比便会改善 3dB。这是降低本底噪声非常有效的方法。然而,它也会降低测量速度,因为必须对两条迹线进行平均,测量时间便会加倍。同时,取平均只能用于比值测量,而不能用在利用单接收机通道的测量中。取平均不适于非比值测量,因为在非比值工作方式下,相位呈随机性,取平均(在复数域中进行)总会引起趋于零的测量结果。

### 2.2 减小系统带宽

系统的中频带宽可以由面板来改变,中频带宽值将影响对分析仪接收机中采集的数据所进行的数字滤波。减小中频带宽,通过滤除掉数字滤波器带宽之外的噪声而使本底噪声降低。

矢量网络分析仪内存在的低电平噪声是由电阻中电子热骚动引起的热噪声所造成。因此,热噪声与带宽成正比。热噪声电压的均方值由下式给出:

$$E^2 = 4RKT B$$

式中:K 是玻尔兹曼常数(1.38 × 10<sup>-23</sup>J/K),T 是绝对温度(K),

R 是电阻分量(Ω),B 是带宽(Hz)

向复数共轭负载提供的噪声功率为:

$$P_n = E^2/4R = KTB$$

同取平均一样,由减小中频带宽来降低本底噪声也会降低测量速度。尽管可能理论上中频带宽减小 10 倍将使本底噪声降低 10dB 并使测量速度提高 10 倍,但这并不总是正确,因为网络分析仪中用在中频带宽上的数字滤波器形状上可能改变。例如,在高性能网络分析仪系列中,中频带宽减小 10 倍时,扫描时间增加不到 10 倍。这意味着为了使本底噪声有相同程度的降低,减小中频带宽所引起的测量速度下降幅度将比进行平均要小。

平滑是常常被考虑成类似于取平均和中频带宽调节的另一种方法,但它采用相邻点平均而不是迹线之间(或扫描之间)的平均,后者是研究网络分析仪取平均的传统方法。这两种方法的主要差别是平滑不能降低本底噪声,尽管它会减小迹线上噪声的微小峰-峰变化。

### 2.3 选择最佳方法

为了降低本底噪声,可以增加取平均的次数或减小中频带宽。若测量速度不是所要考虑的重点,则两种方法中任何一种都能取得同样好的效果。采集和处理迹线数据所需的时间(亦称循环时间)不仅包括扫描时间,而且还包括回扫时间,频带跨越时间和显示更新时间。由于取平均需要取多条迹线且每次都要更新显示,所以用来取平均的时间一般都比减小中频带宽的时间略

表 3 本底噪声和中频带宽的关系

F (GHz) \ TF (Hz)	1GHz	3GHz	5GHz	7GHz	9GHz
1	-133.22 dBm	-131.40 dBm	-119.76 dBm	-119.35 dBm	-118.50 dBm
10	-123.35 dBm	-121.10 dBm	-110.03 dBm	-109.92 dBm	-108.65 dBm
100	-114.54 dBm	-110.90 dBm	-99.90 dBm	-100.01 dBm	-99.10 dBm
1000	-103.45 dBm	-101.75 dBm	-89.86 dBm	-90.05 dBm	-89.20 dBm
10000	-94.65 dBm	-91.85 dBm	-80.02 dBm	-80.10 dBm	-79.50 dBm

长,特别是若需要多次平均时则更是如此。若将网络分析仪的中频带宽设为 10kHz,要使它的动态范围扩大 10dB,则可以通过对 10 次扫描取平均或将中频带宽调到 100Hz 来实现。表 4 列出了两种方法扫描时间的影响。

表 4 中频带宽和取平均对扫描时间的影响

	噪声降低 (dB)	扫描时间增加倍数
10kHz(10 次平均)	10	10
1kHz(无平均)	10	7.75

需要着重强调的是,对测量时间影响的主要差别是由对不同中频带宽进行的数字滤波造成。这个效应体现在循环时间的扫描时间分量上。所以,为了确定两种降低本底噪声方法对测量时间的影响,最好只考虑扫描时间。

在给定测量中决定选择哪种方法来增大动态范围时,还有另一些应考虑的因素。采用取平均来降低本底噪声可以使用户在对迹线取平均的同时,能观察网络分析仪屏幕上的迹线,这对工程师可能是有益的。减小中频带宽对比值测量和非比值测量均有效,这在某些场合可能是决定性的因素。

HP8510C 提供了大量供选择的中频带宽,这在获取所需的降低本底噪声的同时尽可能不降低测量速度方面提供广泛的选择余地。在许多情况下,通过取平均和调节中频带宽的方式均能扩大动态范围。

## 3. 结束语

网络分析仪的动态范围在许多测量场合中是最重要的参数。动态范围可以通过取平均或减小中频带宽使本底噪声降低的途径得以增加。然而,每种方法都有其缺点,这些缺点决定了在不同情况下的适用性,并对测量速度有特殊的影响。

## 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>