

# 矢量网络分析仪的原理及故障检修

## The Operation Principle and Troubleshooting of Vector Network Analyzer

南京电子研究所电子仪器室 (南京 210013)

沈文娟

TP2A

**【摘要】** 介绍了微波矢量网络分析仪(HP8720C)的工作原理和电路特点,并讲述了几个典型的故障检修实例。

**关键词:** 矢量网络分析仪,原理,检修

**【Abstract】** The paper describes the operation principle of HP8720C Vector Network Analyzer and characteristics of it's circuits. It also discusses some typical troubleshooting examples about the vector network analyzer.

**Keywords:** vector network analyzer, principle, troubleshooting

### 1 引言

现代微波技术要求在微波电路的设计和计算中必须准确快速地测量所设计和生产的微波器件及微波网络的各项参数指标,如S参数、驻波比、阻抗、导纳和正反向传输损耗等。目前,集合成源、测试装置、矢量网络分析仪为一体的测试系统,已成为必不可少的测量仪器,它与分体式矢网相比,体积小,便于现场测试,并且减少了许多外部连接电缆,提高了仪器的可靠性,从而得到了广泛的应用。

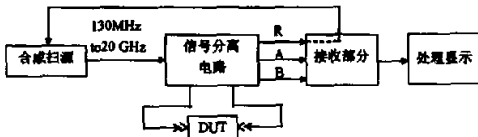


图1 矢量网络分析仪原理框图

### 2 矢量网络分析仪的工作原理

微波矢量网络分析仪主要由合成扫源(激励源)、测试装置(信号分离部分)、接收部分、微处理器四大部分组成,原理框图如图1所示。其基本工作原理是:先将激励源的信号分成二路,一路作为参考信号R,另一路经过衰减送入测试端口作为被测网络的激励源,并通过定向耦合器取出,经过被测网络的反射信号A和传输信号B后作为测试信号,再用采样变频法将该两路微波信号中所包含的幅度和相位信息线性地转移到中频或低频上,进行幅度和相

位关系的测量,变频还有利于在很宽频带内实现连续和步进扫频测量,以显示出被测网络的各种参数随频率变化的情况。下面以HP公司的HP8720C为例,分析其各部分的工作原理及有关特点。

#### 2.1 合成扫频源部分

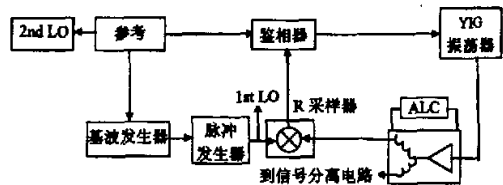


图2 合成扫频信号源的原理框图

合成扫频信号源的原理框图如图2所示,它主要由参考信号、合成基波发生器和微波合成扫频信号发生器YIG等组成。参考信号由频率稳定度极高的石英晶体振荡器产生,并由此频率再产生不同频率的信号去分别同步基波发生器及合成扫频发生器等,使它们所产生的工作频率保持同晶振一样的准确度和稳定度,达到仪器所满足的频率指标。基波发生器产生频率为60~240MHz的N分数合成基波信号,驱动阶跃二极管产生梳状的采样脉冲,由于梳状的采样脉冲具有非常丰富的谐波,而且采样脉冲的谐波幅度与基波幅度一样,其可用谐波的上限达几十GHz。用它来作为网络分析仪接收部分的第一本振源,这样就使扫频信号源在扫频全程中中频幅度保持不变,从而达到在变频中信号的幅度和相位

• 收稿日期:2001-03-09

信息保持不变的目的。微波扫频振荡器用 YIG (Yttrium-iron-garnet) 作振荡源, YIG 首先产生一个  $2.25\text{GHz}\sim 20\text{GHz}$  的信号, 然后再经下变频器产生一个  $0.50\text{GHz}\sim 2.25\text{GHz}$  的信号, 使信号源达到了  $0.50\text{GHz}\sim 20\text{GHz}$  的全程信号; 该 YIG 的频率是由接收部分参考通道 R 的第一中频信号, 取出一反馈与参考信号在鉴相器里比较后输出一个直流误差电压来修正其振荡频率而达到锁相的目的。目前, 合成扫频源都采用 YIG 作振荡源, 因为其振荡频率与它的驱动电流能保持很好的线性关系, 即它能保证扫频时频率保持良好的线性关系, 并用内部计算机来设定信号源每步频率, 将振荡器频率设定为应有的准确数值, 在锁相环保持中频为恒定值的同时便自然地保证了扫频源每步频率等于指定值, 其重复性优于  $100\text{Hz}$ , 从而使扫频源的稳定性和分辨率达到频率合成器的水平, 满足了测量的需要。

## 2.2 信号分离部分

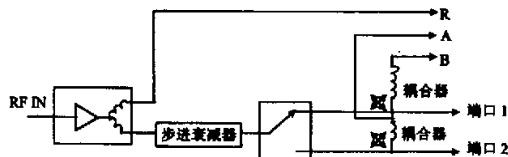


图3 信号分离部分框图

信号分离部分框图如图 3 所示, 激励信号首先经一个衰减量为  $6\text{dB}$  电阻性的功率分配器对信号进行分离, 这里, 利用该功率分配器的好处是频率范围宽, 与信号源之间的匹配性能良好, 但同时也牺牲了一定的信号功率。一路作为参考信号 R 直接送入接收部分的 R 采样器, 另一路作为激励信号送入信号测试端口。该路激励信号首先经可控的  $0\sim 70\text{dB}$  的步进衰减器(以增加信号测量的动态范围), 再通过一程控微波开关以选择正向(信号流向端口 1)来进行参数  $S_{11}$ 、 $S_{21}$  的测量或反向(信号流向端口 2)来进行参数  $S_{12}$ 、 $S_{22}$  的测量; 若信号经端口 1 送入被测网络, 通过被测网络反射信号经端口 1 的定向耦合器耦合后送入接收机的 A 通道, 与参考通道 R 的信号相比较(即  $A/R$ ) 测量其反射参数  $S_{11}$ ; 通过被测网络传输信号经端口 2 的定向耦合器耦合后进入接收机的 B 通道, 与参考信号 R 相比较(即  $B/R$ ) 测量其传输参数  $S_{21}$ 。反之, 信号经端口 2 送入被测网络, 即为  $S_{12}$  反向传输参数的测量和  $S_{22}$  的反向反射参数测量。

## 2.3 信号接收部分

• 52 •

接收部分的框图如图 4 所示。由信号分离电路来的 R、A、B 信号分别通过各自的采样器(第一混频器)与第一本振(采样脉冲)相混频后变为第一中频( $10\text{MHz}$ ), 第一中频的计算公式为  $IF = N \times VCO - f_s$ , 式中 VCO 是频率为  $60\text{MHz}\sim 240\text{MHz}$  的基波, N 为其谐波,  $f_s$  为被测射频信号。经中频滤波器滤波, 再与第二本振( $9.996\text{MHz}$ )相混频后产生第二中频( $4\text{kHz}$ )的最终中频, 该中频信号经程控多路开关在 ADC 电路分离出被测信号的幅度和相位信息, 由于 R 通道的信号是被源锁相的, A、B 通道的信号相对再经微处理器处理后, 最终在显示器(CRT)上显示出所测量的信号来。这样就利用较窄的接收波段和带通滤波器, 有效提高了测量灵敏度, 降低了噪声电平, 同时也增加了测量的动态范围。

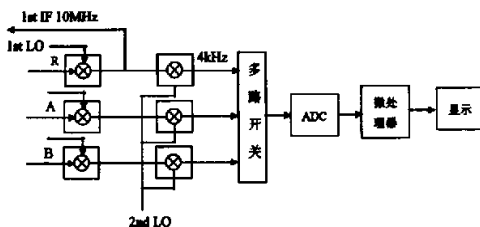


图4 接收部分原理框图

## 2.4 微处理部分

微处理器主要实现矢量网络分析仪的全自动化操作, 并计算和处理所测信号, 即通过测量 A/R、B/R, 自动换算出网络测量的各种参数, 经数据处理后显示出来。还可以利用其强大的计算功能来消除测量误差, 即系统误差。误差修正过程称为校准, 即把那些频率点上的误差模型参数测量出来存于存储器中, 之后将每个步进频率点上测量结果中的系统误差自动扣除。具体的校准方法是, 在每个步进点上暂时将信号源频率固定不变, 用若干个[S]参数已知的校准件接入网络分析仪, 测出该件的[S']值来得到足够多数目的方程, 这样便可解出误差模型中的全部待测参数。用这种方法来消除系统误差, 可以弥补仪器硬件设计中的不足, 并且简化硬件设计。

## 3 仪器检修

随着使用率的提高, 仪器不可避免地会出现故障, 这类仪器的检修给我们维修人员带来了新的挑战。这就要求我们具有很宽的专业知识面和较强的逻辑思维能力, 首先要理解仪器的原理框图, 分析信号流程, 通过对仪器的基本操作, 对仪器故障进

行初步定位。现根据对多台该类仪器的检修,总结一下该类仪器常见故障的分类及维修。

#### (1)由误操作引起的软故障

矢量网络分析仪大多具有多菜单显示功能,有时误操作会引起仪器功能紊乱,只要正确使用菜单,特别是正确使用维修菜单,就可以排除仪器的软故障。

#### (2)开机自检后出现错误信息提示

仪器自检主要是对几个核心部件进行检查,其顺序一般为 CPU-ROM-RAM-I/O 接口-各被控按键,通过检查所出现的错误信息可以大致了解故障出现的部位。

#### (3)开机自检正常而仪器出现硬故障

这类故障出现部位不能一目了然,往往需要通过对仪器进行功能检查,再根据原理框图推断故障部位。

以下通过维修实例来简单分析一下矢量网络分析仪出现故障的检查思路和排除方法。

**实例 1:**开机后仪器自检通过,测量反射(所用通道 A/R)工作正常,测量传输(所用通道 B/R)工作不正常,信号低 30dBm 左右,而且曲线不平,根据原理框图分析,由反射测量正常可知,仪器所有共用的部件应该是正常的,则故障一定出在端口 2 的定向耦合器、B 通道接收、采样器、第二混频器、及 ADC 电路的多路开关上。故障牵扯的器件较多,且仪器的结构比较紧凑,逐一检查的方法不大可行,通过研究发现,第一中频比较好测,设置仪器在连续波工作状态,频率 1GHz,功率电平 10dBm,此时第一中频应该输出频率 10MHz,峰-峰值为 0.15V 的正弦波,而我们用示波器测量发现信号低了很多,故可判断故障出在采样器或前面的耦合器上,进一步测

量后发现,定向耦合器输出信号正常,即可判断采样器损坏,需要更换。

**实例 2:**开机后仪器工作正常,但工作一小时或更长后出现错误信息。用功率计在端口 1 测量,输出功率电平为最大,且功率电平不可调,该故障可能出现在自动电平控制电路或功率模块上。因电路是闭环的,故障定位较困难,但根据故障出现的状态,可判断某一元器件的性能不好或电路存在虚焊点,而且是由温度过高引起的,在这里我们采用了局部加热法进行故障快速定位,即用一种温度可控的热风机分别对某一元器件进行加热,然后快速冷却,来确定故障所在点。

**实例 3:**开机后,屏幕出现锁相错误。锁相电路涉及的电路很多,由框图可知,它由信号源部分、信号分离部分、R 通道采样部分及其相关电路组成。出现这种错误信息,首先须做相位校准,校准通不过,则可判断仪器出现硬件故障;再检查与锁相环路有关的电缆,连接电缆接触不良,也有可能引起此类故障。检查参考信号、基波发生器和脉冲发生器,如果均有正常信号输出,就可排除其相关电路出现故障的可能性。将环路打开,外加一模拟输入信号至鉴相器,检查其输出,同样未发现问题,而锁相环路中 R 通道采样器断开则出现锁相错误,因此无法测量其对故障的影响,但因 A、B、R 三通道完全一样,可互换使用,所以用替换法查出 R 通道采样器损坏。

## 4 结束语

未来的矢网将会有更快的测量速度、更强的软件和测试功能及更复杂精密的电路结构,只有掌握基本原理,灵活地应用各种微波仪器检修方法,才能进行快速准确的故障定位,达到事半功倍的效果。

(上接第 31 页)

### 参 考 文 献

- 1 Designing and Optimizing Microsoft Windows CE3.0 for Real-Time Performance. <http://msdn.microsoft.com/library/techart/rt30designing.htm>
- 2 Summary of Real-Time Improvements in Microsoft Windows CE3.0. <http://www.microsoft.com/windows/embedded/ce>
- 3 Choosing the Right Windows CE 3.0 Internet Explorer

Browser. <http://www.microsoft.com/windows/embedded/ce>

- 4 Windows CE3.0; the Embedded Foundation for Digital Media Appliances. <http://www.microsoft.com/windows/embedded/ce>
- 5 Navigating the Internet Appliance Industry with the Windows CE3.0 Platform. <http://www.microsoft.com/windows/embedded/ce>

## 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>

