

# 矢量网络分析仪 3mm 扩频技术

唐敬双 郭敏

(电子测试技术国防科技重点实验室 山东 青岛 266555)

**[摘要]**本文介绍了一种基于微波矢量网络分析仪实现3毫米频段扩频的技术方案及工作原理,重点对高本振谐波混频技术、毫米波定向耦合器设计制造技术、定向检波器技术、内置倍频源幅度及平坦度控制技术、毫米波校准技术等关键技术进行介绍。文末给出了应用本方案实现的3毫米矢量网络分析仪的成果及应用情况。

**[关键词]**毫米波;高本振;谐波混频;校准

The 3mm frequency-expanding technic of Vector Network Analyzer

Tang Jingshuang Guo Min

(National Key Lab of Electronic Measurement Technology ShanDong QingDao 266555)

**[Abstract]**This article presents the basic fundamentals of 3mm waveband frequency-expanding technic in micro-wave Vector Network Analyzer. The author mainly introduces these key technics, including: high LO harmonic mixer technic, the micro-wave directional coupler's designing and manufacturing, the directional detector technic, the build-in doubler's amplitude and flatness control technic and the micro-wave calibration technic. At the end of this, it also gives the effects and applications by using this scheme in 3mm Vector Network Analyzer.

**[Key words]**milli-wave; high LO; harmonic mixer; calibration

由于毫米波系统具有体积小、功能全、波束窄、容量大、分辨率高、抗干扰能力及保密性好等优点,使其在诸多军用电子系统中的重要性日益凸显,因此扩频到3mm频段的矢量网络分析仪(以下简称矢网)系统作为毫米波测量仪器中的一个重要成员,能够快速精确地获取毫米波被测网络的信号幅度、相位和群延迟特性,具有测量准确度高、动态范围大、测量实时性好、智能化程度高等优点,可广泛地应用于毫米波元器件、组件和部件的传输、反射及S参数测试、天线测试、雷达反射截面(RCS)测试等众多领域。

## 1. 3mm 扩频方案及工作原理

### 1.1 矢量网络分析仪的3mm扩频技术方案

矢量网络分析仪的扩频所采取的技术方案如图1所示,主要包括毫米波控制机和一对3mm S参数测试模块。毫米波控制机完成与主机之间的通讯,提供给模块倍频前的基波信号、本振信号、直流和控制信号,对模块产生的中频信号和ALC信号进行前处理;模块主要完成测试信号的产生、分离、混频、检波等。为保证系统的测量精度,配备相应的校准件。

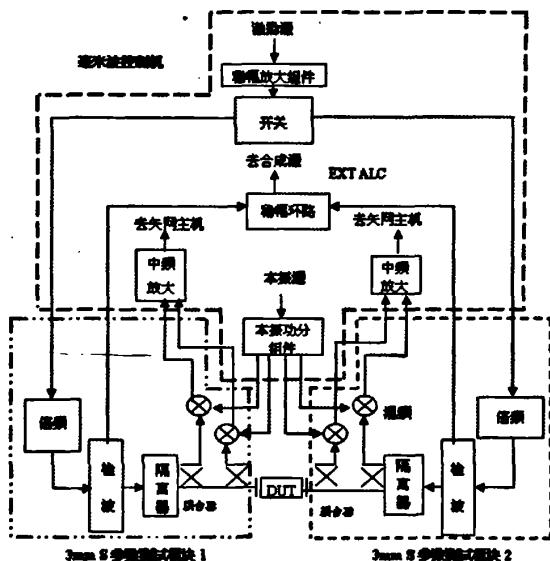


图1 3mm S参数测试装置技术方案框图

### 1.2 矢量网络分析仪的3mm扩频工作原理

在毫米波控制机中,当开关处于正向S参数时,来自射频源的

微波信号经稳频放大后通过定向耦合器A和B的主路加到被测网络的端口1。定向耦合器A的耦合端分出一部信号作为被测网络端口1的入射波,用 $a_1$ 表示,其反射波由定向耦合器B的耦合端取出,用 $b_1$ 表示。其传输波由模块2的定向耦合器C的耦合端取出,用 $b_2$ 表示。当开关处于反向测试时,定向耦合器D、C和B分别取出端口2激励时的入射波、反射波和传输波,至此已完成分离入射波、反射波和传输波的任务。本振源输出的信号,在控制机里由功分器分成四路,然后经过放大器放大分别送入模块中,然后利用谐波混频器将上述带有被测网络的幅度信息和相位信息的毫米波信号和本振信号谐波混频后转换成固定的中频信号 $a_1, b_1, b_2, a_2$ ,再经控制机中的中频放大器放大后经开关电路送到四通道幅相接收机中进行数据处理,可以检测出幅值和相位的测试信息并且以一定的格式显示出来。

被测件的正、反向S参数可用下式求得: $S_{11}=b_1/a_1$   $S_{21}=b_2/a_1$   $S_{22}=b_2/a_2$   $S_{12}=b_1/a_2$ 。

## 2. 主要关键技术

### 2.1 高本振谐波混频技术

系统动态范围是矢网的重要技术指标,主要取决于系统测量灵敏度和端口能提供的最大输出功率。按信号流程3mm矢网系统的动态范围主要决定于中频接收机的噪声带宽、中频滤波器的插入损耗、中频放大器的噪声系数、噪声电平的平均次数、测试信号通道中的谐波混频器的变频损耗、隔离器的插入损耗、定向耦合器的耦合度等,在中频接收部分一定的情况下,谐波混频器的变频损耗是制约系统动态范围的一个关键因素。

在扩频方案中我们选择了不同于西方国家的高本振谐波混频方案,由于本振频率提高,使变频损耗大幅下降,从而得到较高的系统接收灵敏度,提高了系统的动态范围。

### 2.2 毫米波定向耦合器和定向检波器技术

3mm定向耦合器是分离入射波、反射波和传输波的关键部件。3mm定向耦合器要求具有较高的方向性、固定的耦合度、较小的插入损耗和较好的耦合平坦度,采用了体吸收型的隔离端匹配负载,加强了其可靠性。

由于3mm倍频源的输出信号要求具有较好的频响,我们研制出了满足要求的定向检波器来检测输出信号,通过平坦度补偿技术、单斜对数放大和指数变换等电路对检波信号的处理,去调节前端射频源PIN调制器,从而完成对3mm有源倍频器的功率电平和输出功率平坦度的自动控制。

### 2.3 内置倍频源幅度及平坦度控制技术

在3mm矢网系统中采用射频源经内置倍频源产生毫米波测试信号。这种技术由于可全频段覆盖,具有较低的相位噪声和较高的频率分辨率,输出功率可满足要求。内置倍频源主要由放大倍频单元、定向检波单元、对数变换及平坦度补偿单元组成。

倍频电路采用渐变脊波导替代常用的鳍线结构,实现了输入信号对倍频管芯的阻抗匹配,渐变脊波导对倍频管的多次谐波提供了最佳

阻抗匹配和高通滤波,通过自偏置电路保证了倍频器的最佳倍频效率。

定向检波器检测倍频源的输出信号,通过自动稳幅环路去调节前端的射频源,从而完成自动电平控制。

对数变换及平坦度补偿单元采用单斜对数放大。检波器输出的检波信号经过五倍放大、单(双)斜对数放大、指数变换等处理,反馈到合成信号源,由合成信号源根据反馈信息调整实际输出到倍频源的激励功率,使两者成为一个稳定的反馈环路。

合成源的0.5V/GHz控制信号通过限幅整理电路进入模拟平坦度补偿单元。在模拟补偿单元中,采用八点补偿技术。在相同的八只三极管阵列组成的补偿电路中,每一个三极管的集电极连接一只电位器。控制信号经过电阻的逐级衰减,加在每一只三极管的发射极。可以形象的理解为将倍频源输出信号分为几个小的频段,通过调节电位器来调节相应频段的两个端点功率,从而使每一个频段功率可以做到自由地升降。

#### 2.4 毫米波校准技术

校准技术是矢量网络核心技术之一,可以说没有现代的误差修正理论和校准技术就没有新一代矢量网络分析仪的诞生。校准技术大大补偿了硬件的不完善,提高了整个系统的测试精度。

毫米波校准技术包括误差修正模型的选取、校准软件的编制、校准件的设计与制造技术等。微波矢量网络分析仪的研制成功,为毫米波误差修正模型的选取和校准软件的编制积累了较为丰富的经验和基础。参照微波矢量网络分析仪对二端口毫米波网络建立12项误差模型,提供用户多种误差修正的方法,如OSL和TRL等。

毫米波校准件是实现误差修正的关键,修正后的测试不确定度,取决于校准件的定标精度,它的精度往往要通过几何精度来保证。

### 3. 结论

41所经过课题组的艰苦努力终于实现了3mm矢量网络分析仪的研制任务,目前已有5套系统供用户使用,打破了西方国家对我国禁运。系统方案的设计为上述成果的取得起到了关键的作用。

#### 【参考文献】

- [1]《军用电子测量仪器应用指南》,电子工业出版社,梅劲松。
- [2]《毫米波理论与技术》,阮成礼,2001。
- [3]《毫米波技术及其应用》,黎滨洪。
- [4]《现代微波技术基础》,赵春晖,2000。

#### 作者简介:

唐敬双,男,1971年7月出生,工程硕士。2007年毕业于西安电子科技大学电子与通信工程专业,主要研究方向为微波毫米波测试仪器、自动化测试仪器与系统的设计和开发。



郭敏,男,1974年10月出生,工程硕士。2006年毕业于西安电子科技大学电子与通信工程专业,主要研究方向为微波毫米波测试仪器、自动化测试仪器与系统的设计和开发。



【责任编辑:汤静】

(上接第27页)振动速度计算如下:

$$V=K/(R/Q)^2=200/(20/72)^2=18.97(\text{cm/s})$$

式中:V、K、R、Q、m、 $\alpha$ 的涵义与爆破安全距离的计算公式相同。

### 五、结论

水下钻孔爆破遇到其他建筑物,需要实施控制爆破,是较为常见的,如何最大限度地消除施工对建筑物的影响,既可以不影响施工进度,又能保证建筑物的安全,不仅要有理论的指导,丰富的施工经验,还要结合当地的施工条件、地质情况、建筑物的本身材质、构造、与建筑相连的材质、建筑物的所处的准确位置、用途、施工质量、存在的年份及是否进行维修等进行分析研究确定,经充分论证,并制定切实可行的并选择相对保守的方案进行施工,否则造成的损失是施工单位无法承包的,引起的反响是不同一般的。另外在施工的过程中,加强对建筑物的观察,在有科学依据的情况下,胆大心细,争取取得更有利于施工进度数据,有条件时最好能用仪器监测,找到理想的爆破参数。水下钻孔爆破,由于水下情况不如陆上爆破一目了然,存在许多不确定的因素,因此就算是用世界上最好的仪器监测出来的数据,也不一定

能100%的保证建筑物的安全。实践是检验真理的唯一标准,只有在施工以后,建筑物是安全的,才是硬道理,所得的数据才是更为真实可靠的。总结本施工对过河水管的安全震动速度18.97(cm/s),在本工程在本地段施工是可取,也是可靠的,在其他类似工程也是可以参考使用的,但必须要按前所述了解具体情况。

本文推荐的理论成果:对过河水管的地震安全振动速度为:19cm/s,在其他工程施工时可以参考使用这个取值。

作者简介:陈艺,1971年12月出生,男,汉族;籍贯:广西博白;职务:科长;职称:高级工程师;注册一级建造师;工作单位:梧州航道管理局;主要工作:工程经营与管理。

吴贤标,男,汉族;籍贯:广西博白;职务:科长;职称:工程师;工作单位:梧州航道管理局;主要工作:工程经营与管理。

【责任编辑:汤静】

(上接第75页)

```
RsStream.Free; //释放数据流
FreeLibrary(DllHandle); //释放Dll
End;
```

其它类型的资源的调用方式和原理跟上面的格式基本相同,只要做些技术方面的处理就可以了。

### 四、总结

将资源文件放到DLL动态链接库中也有一些不足,如DLL文件被删除等,所以应用程序在调用前首先要检查DLL文件的存在与否。资源文件中可能包含了各种各样的类型如声音、图片、动画等,DLL中调用有些资源时可能需要用到一些临时文件。另外有些资源是可以公开,有些资源则需要保密,所以我们在创建资源文件的过程中可以对资源进行加密和解密的操作,以增加程序的保密性和防破解性。以上

是本人在实践过程中对资源文件的一点理解,有不足之处欢迎批评和指正。

#### 【参考文献】

- [1]李维,《Delphi编程思想》[M]北京,机械工业出版社,2002.4。
- [2]李维,《Delphi7从入门到精通》[M]北京,电子工业出版社,2003.7。
- [3]飞思科技工作室,《delphi7技术手册》[M],北京,电子工业出版社,2005.5。

作者简介:顾红其(1978—),男,江苏苏州,讲师,硕士,南京铁道职业技术学院苏州校区,研究方向:计算机应用。

【责任编辑:汤静】

## 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>