

理论与方法

# 矢量网络分析仪混频器假响应的解决方法

张超

(中国电子科技集团公司第四十一研究所 青岛 266555)

摘要:当使用矢量网络分析仪来测量低通滤波器时,频率响应测量结果显示滤波器的阻带内存在着非常大的测量误差,但是当测量带通滤波器时,测量结果却接近带通滤波器的真实指标。本文从中频端口到射频端口的隔离出发,详细分析了产生这种测量误差的原因,提出了有效的解决方法,提高了网络分析仪的测量精度,最后给出了改善后的测量结果。

关键词:阻带 混频器假响应 中频

## Solution to mixer's spurious response in vector network analyzer

Zhang Chao

(The 41st Institute of China Electronic Technology Group Corporation, Qingdao 266555)

Abstract: When a vector network analyzer measured a low pass filter, the measurement result of the frequency response showed that there was an extreme measurement error in the filter's stopband. However, when a bandpass filter was measured, the measurement result was near to the true value of the bandpass filter. Beginning at the isolation of intermediate frequency port to radio frequency port, the paper analyzed the produced course of the measurement error and presented the effective solution, and improved the measurement accuracy of the vector network analyzer measurement accuracy. Finally, the optimized measurement result was presented.

Keywords: stopband, mixer's spurious response, intermediate frequency.

### 0 引言

混频器<sup>[1]</sup>是一切超外差式接收机必不可少的部件,混频器的技术指标(变频损耗、噪声系数、隔离度等)直接影响到整机性能。对于混频器的隔离度,由于信号电平远小于本振电平,所以一般只考虑本振端口对中频输出端口及本振端口对信号输入端口之间的隔离,而往往忽略了中频输出端口对信号输入端口的隔离。实践中如果忽略了中频端口对信号端口的隔离问题,往往会带来意想不到的后果。本文将从该方面入手,剖析在网络分析仪设计中混频器假响应产生的原因及抑制和改善的方法。

### 1 网络分析仪的工作原理

从采用的是取样变频还是谐波混频的角度来看,网络分析仪的原理框图<sup>[2]</sup>大致相同,如图 1 所示,它

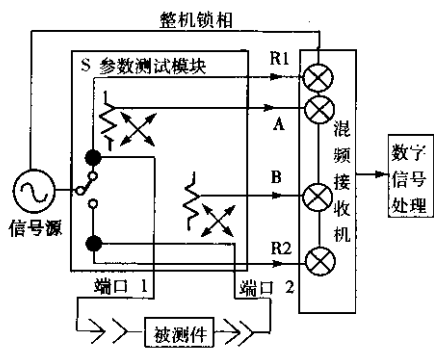


图 1 网络分析仪原理框图

主要包括 2 部分:信号源和接收机。信号源产生激励信号,经 S 参数测试模块中的开关功分器、定向耦合器,提取出待测网络的正向入射信号 R1、反射信号 A 和传输信号 B;若开关打在相反位置,可获得待测网络反向入射信号 R2、反射信号 B 和传输信号 A。

作者简介:张超(1975-),女,工程师,主要从事测试仪器的计量。

代表待测网络特性的 4 路信号送入 4 通道混频接收机,与本振源提供的本振信号进行混频,得到中频信号,经数据处理得到待测网络的幅度信息和相位信息,通过比值运算求出待测网络的 S 参数<sup>[3]</sup>。

### 2 混频器假响应的产生

根据上述原理设计的网络分析仪,在调试过程中发现下述问题:测量低通滤波器时,滤波器在阻带内本应该由于高反射特性而呈现高阻状态,却意外地表现出极大的假信号响应(图 2 给出了一个低损耗、1.2 GHz 低通滤波器的测量波形),无论采取增加平均次数还是减小中频带宽,对于阻带内的信号均无影响,而测量带通滤波器时,滤波器的带外接近噪声电平,测量结果接近带通滤波器的真实指标,没有假信号响应的现象(图 3 给出了一个 2.058 GHz 带通滤波器的测量波形)。是否因为网络分析仪信号源端口的匹配性太差,从而导致滤波器阻带内存在高反射特性。但是,在端口接上理想的开路器或短路器进行 S21 或 S12 测量时,测量曲线却近似于噪声电平。

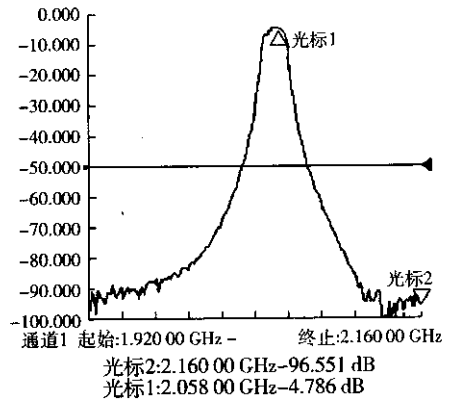
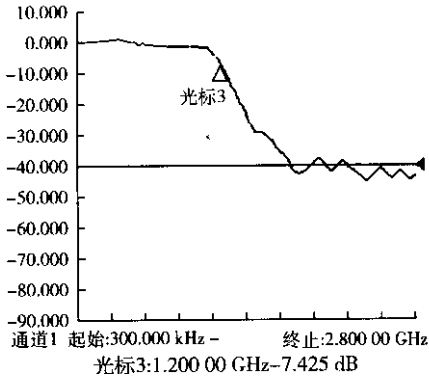


图 3 2.058 GHz 带通滤波器的测量波形

忽略了混频器射频 - 中频反向隔离度的要求。正由于该疏忽,使得混频器的反向隔离性太差,导致低频率的中频信号反串,泄漏到信号源端口。从图 4 的信号流程分析图可以得出:假设信号源输出的信号频率在滤波器阻带内,并且沿着始于信号源的虚线进行,信号基本上完全被滤波器反射回来,反射回来的信号经过耦合器的耦合端进入反射接收的混频器 A,并与本振进行混频,由此产生的假 IF 信号,并反串到混频器 A 的射频端,离开混频器 A,然后穿过滤器,在传输接收的混频器 B 中产生错误响应。这种由于混频器假响应引起的假信号响应大大降低了矢量网络分析仪的灵敏度和动态范围。作为参考接收的混频器 R1 在这个过程中也产生混频器假响应现象,但由于功分器的隔离而较混频器 A 小得多,如果待测件是一个带通滤波器,且此带通滤波器的通带频率较高,导致产生的假中频信号无法通过滤波器到达传输接收的混频器 B,从而避免了假响应。当待测件是理想的开路器或短路器,同样由于频率较低的假中频信号无法通过开路器或短路器到达传输接收的混频器 B 而避免了假响应,分析仪测量结



2 1.2 GHz 低通滤波器的测量波形

设计时,整机要求混频器的隔离度指标:本振 - 射频的隔离  $\geq 36$  dB、本振 - 中频的隔离  $\geq 48$  dB,而

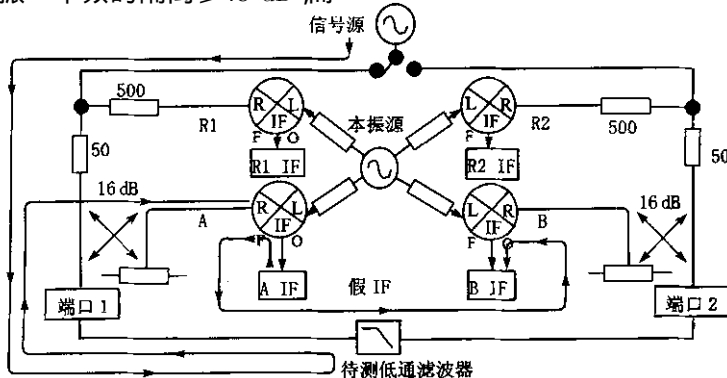


图 4 信号流程分析图

果与真实值近似。

传统的网络分析仪采用取样变频,因为取样变频损耗大,产生的中频反串而引起混频器假响应对整机指标带来的影响不十分明显。现代网络分析仪都采用基/谐波混频,基/谐波混频的优点是:变频损耗小、噪声系数低,使分析仪具有更大的动态范围,但如果忽略了中频端口对信号端口的隔离问题,由于其变频损耗小,引起极大的混频器假响应却大大降低了分析仪的灵敏度和动态范围。

### 3 混频器假响应的抑制和改善

减小混频器假响应最有效的方法是增加4个混频器内中频端到射频端的隔离。如果每个混频器的射频输入端到中频输出端的隔离越大,那么产生的假中频信号就越小,混频产物泄露出来的就越小。混频器的原理<sup>[4]</sup>如图5所示。由于混频器内在本振和射频前端均有放大器,在中频输出端也相应设计有滤波电路和放大电路,达到整机对混频器隔离度要求比较容易,所以设计时,混频器的射频前置放大器选择了一个放大倍数为10 dB、隔离度为14 dB的放大器<sup>[5]</sup>,混频管在基波混频时的实际变频损耗约12 dB(因为混频器在谐波混频时变频损耗较基波大,其假响应现象没有基波混频时明显)。当分析仪端口输出功率为0 dBm时,从滤波器阻带反射回来的信号经16 dB的耦合器耦合到达混频器射频端为-16 dBm,由射频放大器放大为-6 dBm,然后经过混频管变频的中频信号为-18 dBm,混频管中频端对射频端的隔离约12 dB,那么中频信号反串回射频放大器端约-30 dBm,最后经射频前置放大器到达射频端口约-44 dBm,外加上参考接收的混频器产生的假响应信号,总的信号响应与图2相符。实际上,频谱仪在分析仪反射接收混频器A的射频端能测到-47 dBm的中频信号。

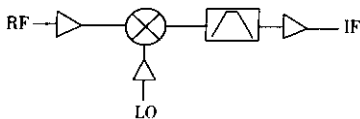
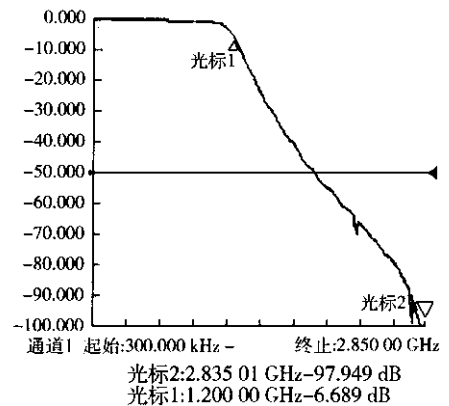


图5 混频器的原理

从上述分析可知,改善混频管及其外围电路的对称性,可以使其隔离度得到一定的改善,但增加混频器中前置射频放大器的反向隔离可以显著降低混频器的假响应。本文将4个混频器的前置射频放大器改为一个隔离度为68 dB的放大芯片,得到了理

想的改进。图6是改善后的1.2 GHz低通滤波器的测量波形。



6 改善后的1.2 GHz低通滤波器的测量波形

在矢量网络分析仪中,如果还需要进一步减小混频器假响应,可以采用交替扫描方式,即在做传输测量期间,断开测量反射的混频器,使其完全不工作。在这种方式下,分析仪首次扫描时只能测量一个混频器的接收信号,在下次扫描时测量另一个混频器的接收信号。交替扫描方式关闭混频器A或B,要获取所有4个S参数需要原来2倍的扫描时间。但是,由于它关掉了不用的混频器,使混频器的假响应降到了最低,同时也降低因做不到完全屏蔽而存在的信号泄漏,提高了仪器的灵敏度。

### 4 结论

在设计分析仪混频接收机组件时,选择器件除要求前置射频放大器的低噪声、高增益等指标外,还应考虑它的隔离度,避免因混频器假响应给整机指标带来的不良影响。

### 参考文献

- [1] 武国机. 微波电子线路[M]. 西安:西北工业大学出版社,1994:13.
- [2] Agilent Technologies Ins. PNA Series RF Network Analyzers E8356A, E8357A, E8358A Service Guide[Z]. 2002.
- [2] [美]WEBER R J. 微波电路引论—射频与应用设计[M]. 北京:电子工业出版社,2005:53-56.
- [3] [美]Inder Bahl Prakash Bhartia. 微波固态电路设计[M]. 2版. 北京:电子工业出版社,2006:434.
- [4] Hittite microwave corporation. AMPLIFIERS. CHIP[Z]. 2002.

## 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>