

基于矢量网络分析仪的混频器测试技术*

宋翔¹ 年夫顺²

(1. 中北大学 太原 030051; 2. 中国电子集团第41研究所 青岛 266555)

摘要: 混频器是一种三端口器件,且由于其输入、输出频率不同,其快速扫描测量一直是射频和微波领域的1个挑战。传统的测试方法是用2个信号源和1个频谱分析仪进行变频损耗的测试,主要以手动测试为主,测试效率低。介绍了基于矢量网络分析仪的混频器快速扫描测试方法,实现了混频器在固定本振和固定中频两种情况时变频损耗自动测试。围绕着矢量网络分析仪频偏模式,深入研究了混频器变频损耗和相频特性快速扫描测试技术,提出了消除失配纹波的具体解决方案。

关键词: 矢量网络分析仪;频偏模式;变频损耗;相位;群延迟

中图分类号: TM931 **文献标识码:** A

Measurement of mixer based on vector network analyzer

Song Xiang¹ Nian Fushun²

(1. The North University of China, Taiyuan 030051; 2. The 41st Institute of CETC, Qingdao 266555)

Abstract: Mixer is a 3-port component. Because its import and export frequency are different, the measurement of mixer under sweeping frequency is a big challenge in RF and microwave field. The traditional measurement of mixer is based on two signal sources and a spectrum analyzer, it can measure the frequency conversion loss of mixer. And this measurement is mainly based on manual testing, so the efficiency is very poor. In this paper, we introduce a fast-scan test method of mixer and this method is based on vector network analyzer. It can measure the frequency conversion loss of mixer automatically when the LO or the IF is fixed. Around the frequency offset model of the vector network analyzer, we deeply research the rapid measurement of mixer's frequency conversion loss and phase characteristic of fast-scan test technology, and give a specific suggestion of reducing the error ripple that is unmatched in the measurement.

Keywords: vector network analyzer; frequency offset model; frequency conversion loss; phase; group delay

0 引言

微波混频器应用于雷达、通信、电子侦察等电子装备和微波毫米波测试仪器,实现频率变换功能,是微波毫米波系统的重要部件,其特性的好坏直接影响设备或仪器的性能。在微波混频器设计、制作和批量生产的各个阶段,都需要对其变频损耗等性能指标做准确快速测试^[1]。

由于混频器的微波输入、本振和中频端口工作在不同的频率上,无法像其他微波部件一样使用矢量网络分析仪进行测量,传统的测试方法是利用2个信号源和1个频谱仪对混频器变频损耗进行测量,测量速度慢、测试精度低。本文介绍的基于矢量网络分析仪频偏测试功能对混频器进行测试的方法,不仅能对混频器的变频损耗进行测量,还能对其相频特性进行表征^[2]。

1 测试原理

由于混频器的微波输入、本振和中频频率不同,矢量网络分析仪的激励信号源和接收机必须能够工作在不同的频率,需要矢量网络分析仪带有频偏测试功能^[3-5],带有频偏模式的矢量网络分析仪结构图如图1所示。

对混频器进行测试时,矢量网络分析仪激励信号源A为混频器提供输入信号,接收机工作在频偏模式,工作频率为混频器输出中频频率,如果矢量网络分析仪内置2个激励信号源,内置信号源B可以作为本振信号源,但传统的矢量网络分析仪只有1个内置激励信号源,需要利用外置信号源提供本振信号。对于内置两个激励信号源的矢量网络分析仪,无需外配信号源,也无需外配主控计算机,就可以实现混频器的扫频测量^[6]。

本文于2011年7月收到。

* 基金项目:重点实验室基金(9140C120101080C12)

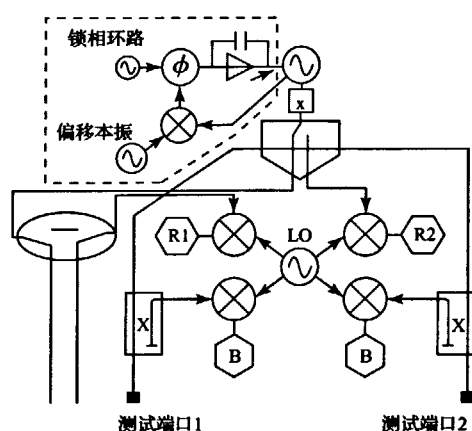


图 1 带频偏模式矢量网络分析仪的结构

2 测试方案与系统组成

2.1 混频器变频损耗的测试

变频损耗是混频器重要的技术指标,其好坏直接关系到混频器性能的优良,其对数功率公式如下:

$$\text{变频损耗}_{\text{dBm}} = |f_{\text{输入}}|_{\text{dBm}} - |f_{\text{输出}}|_{\text{dBm}}$$

一般情况下变频损耗是相对中频(在固定的本振频率下)或者是射频频率(在固定的中频频率下)而测量的。2 种测试方式下所需的配置也不同^[7]。

2.1.1 固定本振混频器测试

当混频器的本振频率固定时,其射频 RF 和中频 IF 都处于扫描状态,测试系统的具体配置如图 2 所示。

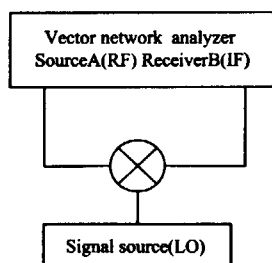


图 2 本振固定时测试系统的结构

如图 2 所示,射频信号 RF 作为混频器的输入信号,可用矢量网络分析仪的源 A 发出,中频信号作为混频器的输出信号,可以由 B 接收机接收。由于混频器的输入输出频率不同,因此要把源 A 和 B 接收机协调到不同的工作频率,即射频和中频的差值,即为频偏量为固定的本振 LO 频率的大小^[8]。

将矢量网络分析仪的测量设置为 B 接收机模式测量就可以看到 B 接收机接收到的中频信号功率随频率的变化,减去混频器输入信号的功率后取绝对值即为变频损耗的大小。若输入的信号为 0 dBm,接收机上接收的曲线即为变频损耗随频率变化的大小^[9]。

为了提高测试的精度,可以在测试前先对矢量网络分

析仪的源和接收机在各自的工作频段上做功率计校准^[10]。这样可以使矢量网络分析仪的源提供精确的功率电平,接收机能接收到精确的功率电平。

2.1.2 固定中频混频器测试

所谓固定中频的测量,就是混频器的射频 RF 和本振 LO 的频率同时扫描,其差值固定为中频的大小,对混频器的变频损耗进行测量。由于需要外加的本振 LO 源随着射频 RF 同时步进扫描,因此在测试系统中需要用计算机来控制两个源的扫描,使其差值始终固定为中频频率。固定中频测量时整个系统的结构图如图 3 所示。

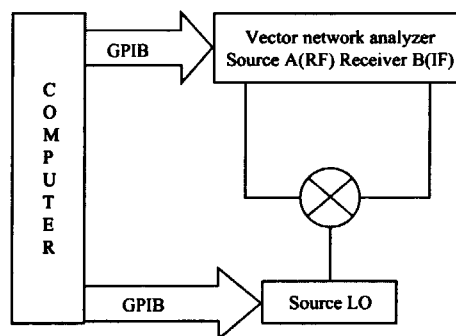


图 3 固定中频时测试系统的结构

如图 3 所示,计算机通过 GPIB 总线控制提供本振信号 LO 的信号源和提供射频信号 RF 的矢量网络分析仪源 A 同时步进扫描,由于本振信号 LO 在变化,因此中频和射频的差值也跟着变化,所以计算机还要同时控制矢量网络分析仪的频率偏移量随着 LO 同时改变,大小就为 $-LO$ ^[11]。

B 接收机在射频信号和本振信号步进的每一个点上进行中频信号的接收,接收到的中频信号功率减去射频信号的功率的绝对值即为混频器的变频损耗。计算机将每一个点的变频损耗计算出来后记录下来,就可以得到变频损耗随射频频率大小变化的曲线图。

为了提高测试的精度,同样可以用功率计对矢量网络分析仪源和接收机进行功率校准。

2.2 混频器相频特性的测试

一般混频器相频特性参数包括相位和群延迟。相位是一个相对测量值,要进行相位测量,必须有 1 个参考相位。

由于在进行混频器测试时,矢量网络分析仪工作在频偏模式,源和接收机工作在不同的频率上,不能形成相位对比。因此为了形成参考相位,在矢量网络分析仪的 R1 参考接收机的外接跳线上接入 1 个参考混频器,对参考混频器施加和被测混频器相同的本振,使源 A 的信号通过参考混频器的变频,在 R1 接收机上接收到和 B 接收机相同频率的信号,然后再将矢量网络分析仪测试设置为比值测量 (B/R1)。整个测试系统的连接图如图 4 所示。

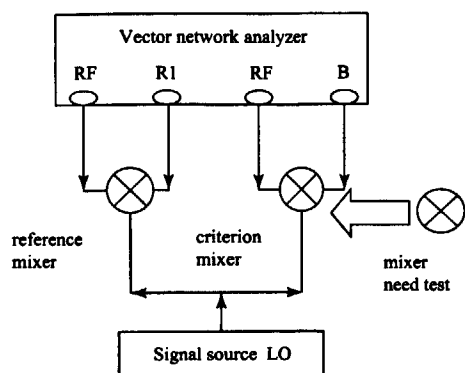


图4 混频器相频特性测试系统的结构

在测试中,为了消除整个系统的误差,也引入了1个已表征好的标准混频器。先接入标准混频器,测得的相对相位是标准混频器相对于参考混频器的,接收机比值为 $B1/R1$ (假设这时B接收机接收到的信号为 $B1$),归一化系统(消除了整个系统误差),然后移去标准混频器,接入被测混频器,这时候测试的接收机比值为 $B2/R1$ (假设这时B接收机接收到得信号为 $B2$),由于对标准混频器测试进行了归一化,因此矢量网络分析仪显示的结果是 $B2/R1$ 除以 $B1/R1$,即为了 $B2/B1$,即被测混频器相对于标准混频器的相位特性。此时再将测试模式改为群延迟便得到了相对于标准混频器群延迟算出的群延迟。

3 测试与试验结果

3.1 混频器变频损耗测试结果

针对上面提出的测试方案,我们选择了合适的仪器搭建了测试系统来对混频器的变频损耗进行了测试。对于作为整个测试系统的核心的矢量网络分析仪,选择了中电41所的带有频率偏移功能的AV3654B,其工作频率范围为 $0\sim 40$ GHz。信号源选择的是中电41所的AV1487信号源,其工作频率范围也为 $0\sim 40$ GHz。

3.1.1 固定本振频率的测试结果

如图2所示搭好测试系统,在本振信号为 10 GHz,功率为 15 dBm,射频信号为 $10.1\sim 12$ GHz,中频信号为 $0.1\sim 2$ GHz的扫频信号下对一个宽带混频器进行了测试。为了验证测试的精确度,在相同的测试条件下和传统的利用频谱仪和功率计测量的测试方法做了对比。在用功率计和矢量网络分析仪测量时,需在混频器的中频输出端加入1个截止频率为 2.5 GHz的低通滤波器来滤除泄露信号和其它杂散信号,在消除了滤波器的损耗后可得到混频器的变频损耗。3种测试结果的对比如图5所示。

以功率计的测量结果为标准,可以很明显的看出,利用矢量网络分析仪的测试方法精度要大大高于传统的利用频谱仪的测试方法,而且其测试速度也快于后者。

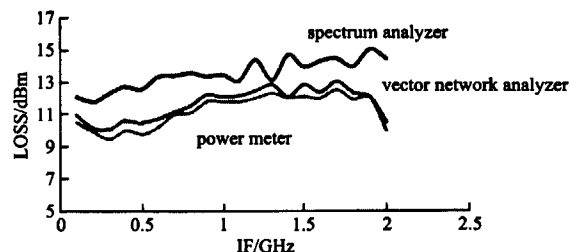


图5 3种测试方法测量结果对比

3.1.2 固定中频频率的测试结果

如图3所示,将AV3654B矢量网络分析仪,AV1487信号源和计算机用GPIB电缆两两连接起来,入被测混频器。在编写好的计算机控制程序里输入固定的中频频率 1 GHz,本振LO频率范围为 $3\sim 15$ GHz,功率为 15 dBm,射频信号功率为 -5 dBm,同样,在混频器的中频输出端加入1个截止频率为 1.5 GHz的低通滤波器用来滤除杂散信号,然后计算机自动控制整个系统对混频器进行测试,测试的结果在计算机上显示出来,测试结果如图6所示。

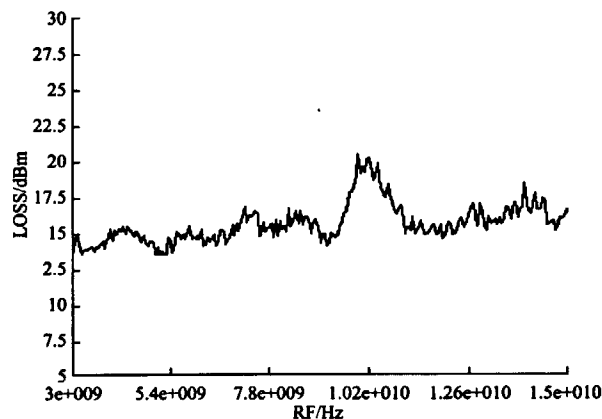


图6 固定中频测量时测得的变频损耗曲线

3.2 混频器相对相位和群延迟测试结果

同变频损耗的测试一样,我们选用了AV3654B矢量网络分析仪和AV1487信号源,选用的参考混频器和标准混频器的工作频率范围应大于被测混频器。

如图4所示连接好系统,接入标准混频器,将测量模式设为相位测量,选择 $B/R1$ 比值测量,归一化矢量网络分析仪,再接入被测混频器,就能测得相对于标准混频器的相对相位,测量完毕后将测量模式改为群延迟,测量结果就为相对于标准混频器算出的群延迟,图7和图8时在本振为 8 GHz,功率为 15 dBm,中频为 $1\sim 2$ GHz时测出的相对相位和群延迟。

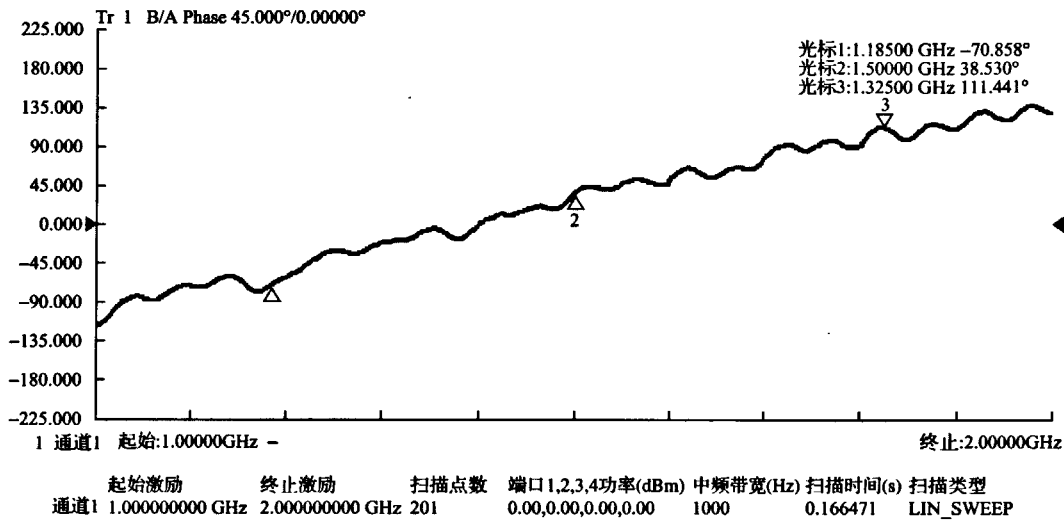


图 7 测得的混频器相对相位

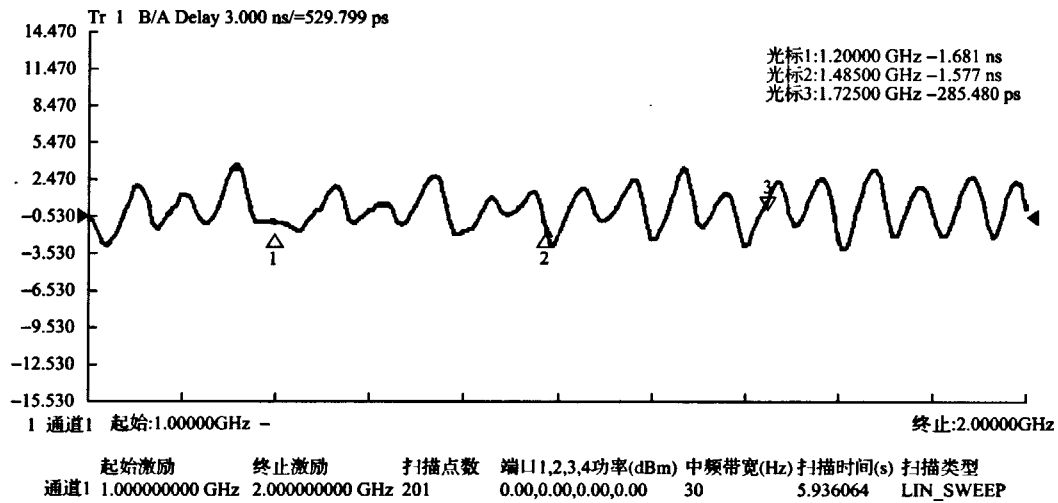


图 8 测得的混频器相对群延迟

3.3 减小失配纹波试验研究

混频测量的主要难题之一是由于混频器的非线性特性,在测试中存在多个信号和会产生很多杂散信号。无用的信号的后果通常是形成测量纹波,减小这些不希望信号是混频器测量的关键。衰减器是用来降低无用信号影响的常用元件^[12]。

在基于矢量网络分析仪的混频器测试中,为了找出失配纹波产生的根源以消除失配纹波,在实验时将在射频输入端加入 1 个 10 dBm 衰减器、在中频输出端接入 1 个 10 dBm 的衰减器和不加衰减器的 3 种情况做了对比,分析出主要影响测试结果产生失配纹波根源。

测试混频器的设置如下:

射频:11~11.5 GHz

本振:10 GHz、15 dBm

中频:1.1~1.5 GHz

测得的变频损耗结果如图 9 所示。

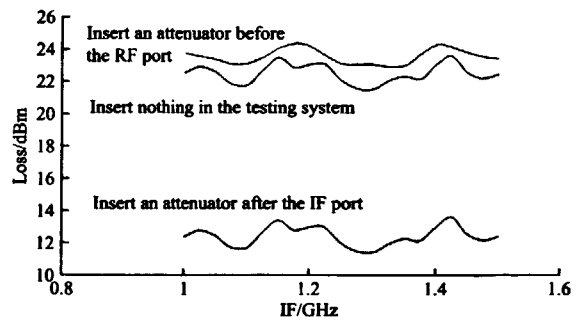


图 9 3 种情况测试结果对比

由图 9 可以很明显的看出,在混频器的输入端口接入衰减器后,变频损耗平坦度增加,失配纹波明显减小,而在输出端口接入衰减器不会有任何影响。这说明产生失配

纹波的根源之一在输入端,因此在测试中为了降低失配纹波,提高测量的精确度,建议在混频器的输入端接入1个合适的衰减器。

4 结 论

针对高性能矢量网络分析仪具有的频率偏移功能,本文设计出了对混频器的变频损耗(固定本振频率和固定中频频率)和相频特性(相对相位和群延迟)进行快速扫描测量的方法,并通过具体的实验验证了其可行性和高精度性,对测试中失配纹波的消除提出了具体的解决方法。

参 考 文 献

- [1] 刘祖深.微波毫米波测试仪器技术的新进展[J].电子测量与仪器学报,2009,23(3):1-8.
- [2] 江肇莲.矢量网络分析仪和频谱分析仪测量混频器[J].国外电子测量技术,2005,24(1):19-22.
- [3] 欧阳思华,武锦,李艳奎,等.基于Agilent VEE实现混频器的自动化测试[J].电子测量技术,2008,31(11):32-36.
- [4] 蒋勇,刘芳,石敖广.一种利用矢网测试接收机幅相特性的方法[J].电子测量技术,2009,32(3):50-53.
- [5] 朱伟,韩晓东.矢量网络分析仪中的电子校准技术[J].国外电子测量技术,2010,29(8):26-28.
- [6] BALLO D. Network analyzers simplify mixer[J]. Test, Microwave & RF, 2005(10):98-106.
- [7] DUNSMORE J. 利用新的矢量特性测量方法比较混频器的特性[J]. 国外电子测量技术, 2005, 28(4): 31-33.
- [8] 李树彪.一体化矢网中实用功率控制法[J]. 电子测量技术, 2005, 28(4): 50-53.
- [9] 吕朋尧.网络分析仪的线性相位偏差测量应用[J]. 民营科技, 2011(3): 7-30.
- [10] 温和,腾石胜,胡晓光,等.谐波存在时的改进电能计量方法及应用[J]. 仪器仪表学报, 2011, 32(1): 157-162.
- [11] 张娜.矢量网络分析仪在混频器件测试中的应用[J]. 国外电子测量技术, 2006, 25(10): 11-13.
- [12] 林茂六,张亦弛,张喆,等.基于混频器的非线性矢量网络分析仪双端口校准方法[J]. 仪器仪表学报, 2010, 31(10): 228-235.

作 者 简 介

宋翔,男,1987年出生,中北大学在读研究生,电磁场与微波技术专业,现在中电41所从事毫米波微波部件设计与测试研究。

E-mail:308706410@qq.com.

年夫顺,男,研究员,现任中电41所副所长,总工程师,研究方向为电磁场与微波技术。

(上接第112页)

- [11] 丁佳颖,曹炳尧,顾蔚. IPv6网络中的深度流检测技术应用研究[J]. 电子测量技术, 2009, 32(8): 63-66.
- [12] 孙圣和. 现代传感器发展方向[J]. 电子测量与仪器学报, 2009, 23(1): 4-13.
- [13] KARAGIANNIS T, BROIDO A, FALOUTSOS M, et al. Transport layer identification of P2P traffic[C]. Proceedings of the 2004 ACM SIGCOMM Internet Measurement Conference, Taormina, Italy, 2004.
- [14] 刘剑刚,秦拯,祝仰金. 基于多重特性的P2P流量识别方法[J]. 微计算机信息, 2010, 33: 69-71.

作 者 简 介

黄志根,男,1987年10月出生,工学硕士,主要研究方向为网络数据流量分析、嵌入式软件设计等。

E-mail:zigen11@163.com

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>