

# 矢量网络分析仪在变频器件群时延测量方面的应用

## Application of Measurement on Group Delay of Frequency-Translating Devices with VNA

曹芸 邱新宇 鲁芳丽 张喜洋

(北京航天飞行控制中心, 北京 100094)

**摘要:** 介绍基于矢量网络分析仪对变频器件的群时延进行测量的方法, 以RS公司生产的ZVA和Agilent公司生产的PNA矢量网络分析仪为代表, 分别对外接本振变频器件和嵌入式本振变频器件的群时延测量原理进行了阐述, 可根据不同的测试需求选择有效的测试方法。

**关键词:** 矢量网络分析仪 变频器件 群时延

**Abstract:** This paper introduces several methods of measuring the group delay of frequency-translating devices (FTD) with VNA. It especially analyses the group delay measurement principle of FTD with or without LO access based on ZVA of RS and PNA of Agilent. We can choose efficient way according to different measuring requirements.

**Key words:** Vector network analyzer (VNA)

Frequency-translating devices (FTD)

Group delay

### 1 引言

变频器件广泛应用于通信、雷达、卫星等系统的上行和下行链路中, 变频器件的群时延是影响误码率的关键参数。仅通过最大峰—峰相位波动并不足以全面反映器件的相位特性, 而利用群时延却能有效表达相位失真的迹象。

群时延是指群信号通过电气系统或网络传播时, 系统或网络对信号整体产生的时延。群时延测量是基于相位的测量, 可通过取相位差与频率差的比值来近似微分计算, 表达式为:

$$\tau_g = -\frac{1}{2\pi} \frac{d\varphi}{df} \quad (1)$$

在实际应用中, 矢量网络分析仪测量的是差商而不是微商, 测量群时延的原理是通过先测量被测件的相频响应特性, 然后取相位与频率差的比值来近似微分计算。表达式为:

$$\tau_g = -\frac{1}{2\pi} \frac{\Delta\varphi}{\Delta f} \quad (2)$$

变频器件是输入输出频率不同的多端口器件, 如果使用矢量网络分析仪通过常规的S参数测量法对其群时延进行测量, 由于源和接收机工作在不同的频率上, 所以其输入与输出端口的相位关系不能通过直接测量得出; 另一方面, 对于嵌入式本振的变频器件而言, 其相位特性还受到本振源的相位影响。所以矢量网络分析仪通过增加相应选件的方

式,采用新的测量技术,实现了对变频器件群时延的测量。

## 2 外接本振变频器件的群时延测量

当变频器件的本振可以由外部源提供时,我们将其称为外接本振变频器件。矢量网络分析仪对外接本振变频器件的群时延测量一般采用矢量混频器/变频器(VMC)测量法,由于需要引入参考混频器使参考通道与测量通道频率一致,所以有时也称为参考混频器测量法。

双参考混频器技术的测量连接图如图1,矢量网络分析仪在测量端口1输出RF(f1)信号,端口3和端口4提供LO信号(如果使用二端口矢量网络分析仪,则LO信号由外部源提供)。当测量被测件的正向特性时,RF信号首先经被测混频器变换为IF信号(f2),再经端口2测量通道的参考混频器恢复为f1信号,因此在端口2测量接收机测得的信号与端口1的参考接收机测得的信号频率相同。当测量被测件的反向特性时,端口2输出的信号(f2)经参考通道的参考混频器变换后为f1,由端口2的参考接收机测量;而f2经被测混频器频率变换后,频率同样转换为f1,由端口1的测量接收机测量,因此在端口2参考接收机测得的信号与端口1的测量接收机测得的信号频率相同。因为频率一致,所以可以求出被测混频器的相位偏移。

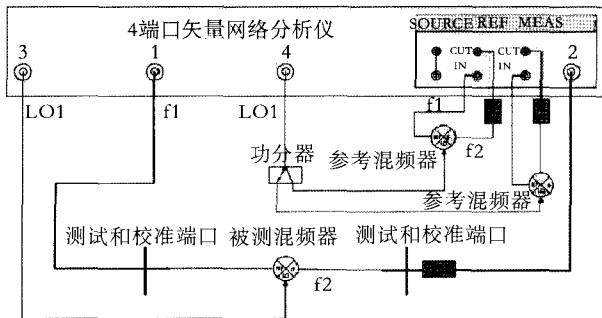


图1 双参考混频器测量法的连接框图

在选择参考混频器时,需要其工作频段能够覆盖被测混频器的测量频率范围,损耗尽量低,驻波

尽可能小,不需具有互易特性。

## 3 嵌入式本振变频器件的群时延测量

当被测变频器件的本振无法由外部源提供,不能接入或接出时,我们称其为嵌入式本振变频器或内置本振变频器。由于被测混频器嵌入式本振与网络分析仪提供的参考混频本振信号不相参,使得被测变频器输出中频信号与参考混频器输出中频信号出现频率差或不能保持相位相差。这给嵌入式本振变频器群时延的测量带来了一定的困难,不同的厂家采取了不同的解决方案,美国Agilent公司生产的PNA采用的是本振重建技术,而德国RS公司生产的ZVA采用的是双音测试技术。

### 3.1 本振重建

本振重建是通过跟踪被测件的IF频率,调节参考通道混频器的外本振频率,使之能够适应被测件嵌入式本振的偏移;同时对被测件的IF相位进行跟踪,直至IF的相位相对于时间的偏移很小。频率跟踪是通过测量应用软件来实现的,测量准确度取决于嵌入本振的稳定性。

以Agilent公司生产的PNA为例,在对嵌入式本振变频器的测量中,通过以下方法来确定本振频率:首先进行宽调谐,对用以测量被测件输出的B接收机进行粗调,使中频能适应外本振频率的变化;然后进行精密调谐,根据宽调谐的结果,对参考混频器本振和接收机设置补偿,执行“相位对时间”

(横坐标为时间,纵坐标为相位)的扫描,由此确定参考混频器本振频率。总地来说,采用本振重建技术的矢量网络分析仪通过对被测变频器件输出信号的频率扫描和相位扫描及补偿处理,对参考混频器本振频率进行设置,使参考混频输出和被测输出能保持相位相参关系,而接收机用于进行VMC测量,保证被测件相位参数测试的准确。

### 3.2 双音测试

双音测试是RS公司的专利技术,测量原理是通过将频率分别为f1和f2的双音信号输入到被测变频

器件,由于被测件的相位响应产生相位偏移,本振的相位也会以同样的量加到 $\phi_{1out}$ 和 $\phi_{2out}$ 中,因此被测变频器件本振的频率和相位的不稳定在运算 $\Delta\phi$ 时可被抵消。此时群时延的计算公式为:

$$\tau = -1/360^\circ \times [(\phi_{1out} - \phi_{2out}) - (\phi_{1in} - \phi_{2in})] / \Delta f \quad (3)$$

在对嵌入式本振变频器的测量中,矢量网络分析仪在端口1的双通道接收前端对两个输入信号的相位差( $\phi_{1in} - \phi_{2in}$ )进行测量,在端口2的双通道接收前端对两个输出信号的相位差( $\phi_{1out} - \phi_{2out}$ )进行测量,分别通过矢量网络分析仪内部提供的本振LO2、LO1实现模拟下变频,再通过数控振荡器(NCO)实现数字下变频,得到频率偏移,即可由公式(3)计算出群时延。

在双音测试中,孔径的选择非常重要,孔径即频率差 $\Delta f$ ,增加孔径可以改善轨迹噪声,但同时也会增加信号之间的相位差,而如果相位差超出 $180^\circ$ 就会使测量结果产生错误。可按式(4)对孔径进行设置:

$$\Delta f_{max} = 0.5/\tau \quad (4)$$

例如,如果被测件的群时延约为100ns,则最大孔径不能超过5MHz,此时可将孔径设为3MHz。

## 4 实例

取一外接本振混频器,采取参考混频器法测量其群时延,测量结果如图2所示。此时,Min=184ps, Max=566ps。

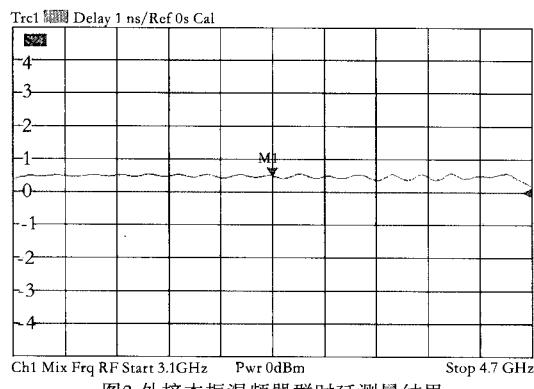


图2 外接本振混频器群时延测量结果

取同一混频器,利用外部信号源单独为此混频器提供本振,模拟嵌入式本振,此时测量结果如图3所示。此时,Min=124ps, Max=672ps。

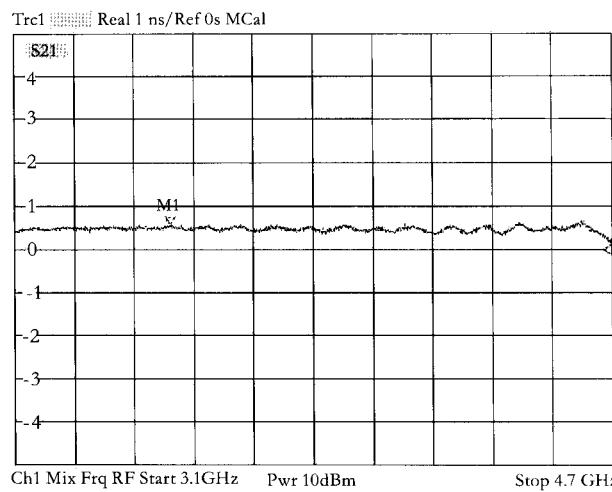


图3 嵌入式本振混频器群时延测量结果

可以看出,测量数据略有差异,测量曲线的起伏趋势基本吻合。

## 5 结论

目前利用网络分析仪对变频器件群时延测量的技术已很成熟,不同的仪器有着不同的解决方案,用户可以根据自己的需求选择适当的方案对群时延进行准确的测量。

## 参考文献

- 1 邱帅,张国华,冯克明. 频率变换器件群时延测量方法的探讨与分析. 宇航计测技术, 2007, 2.
- 2 李健开. 矢量网络分析仪高级应用. rohde & schwarz Ltd, 2009, 11.
- 3 Measuring Group Delay of Frequency Converters with Embedded Local Oscillators. Agilent. 2007.
- 4 无线电电子学计量. 国防科工委科技与质量司. 原子能出版社, 2002, 9.

**作者简介:**曹芸,工程师,硕士,主要从事仪器仪表计量方面的工作。

## 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量测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悉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悉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>

