

文章编号:1001-893X(2007)01-0193-03

利用矢量网络分析仪测量时延特性的方法*

黄凯冬,尹仲琪,胡勇

(中国西南电子技术研究所,成都 610036)

摘要 解释了无线射频系统时延指标测量的意义及重要性,介绍了使用矢量网络分析仪进行时延指标测量的基本原理,归纳了网络分析仪进行线性器件、变频器件时延测量的测量方法,重点分析了变频器件时延测量的三种方法的原理、步骤和准确度。

关键词 时延测量;矢量网络分析仪;线性器件;变频器件

中图分类号:TN806 文献标识码:A

Delay Measurement Methods by Using Vector Network Analyzer

HUANG Kai-dong, YIN Zhong-qi, HU Yong

(Southwest China Institute of Electronic Technology, Chengdu 610036, China)

Abstract This paper explains the major purpose of measuring delay specification for RF system, presents the theory of delay measurement by using Vector Network Analyzer (VNA), concludes the measurement methods for linear and frequency conversion components, with emphasis on the analysis of the concepts, steps and accuracy of three delay measurement methods for frequency conversion components.

Key words delay measurement; VNA; linear component; frequency converter

距离测量在航天测控、导航定位等诸多领域中起着关键作用。为了提高距离测量的准确度,就要尽可能准确地测量信号在发射和接收系统中的绝对传输时延。而在所有无线射频系统中,信号要不失真地传输就要求系统必须具有良好的群时延特性。所以研究系统的时延特性目的有两个:一是根据系统的时延特性来确定系统所产生的信号传输延迟时间的大小,以便确定系统的电长度;二是要根据时延特性来了解系统产生的信号线性失真情况并寻求减小信号线性失真的方法。

当今的矢量网络分析仪具有强大的测量能力和优良的测量性能,几乎所有的矢量网络分析仪都具有相位和时延的测量能力。利用矢网的时延功能,常常可以测量器件、单元和系统的时延特性,但是对于不同的被测件和不同的应用场合以及准确度要求,需要采取不同的测量手段。我们通过分析和实验,对使用矢量网络分析仪测量时延的方法进行了研究和归纳。

1 网络分析仪时延测量原理

由于矢量网络分析仪具有相位测量能力,它可以轻松测得被测件的相频响应。同时,通过对相频响应曲线求微分的方法可直接测得被测件的群时延特性,其原理如图1和式(1)所示,其中Average delay即是信号通过被测件的平均渡越时间的度量。

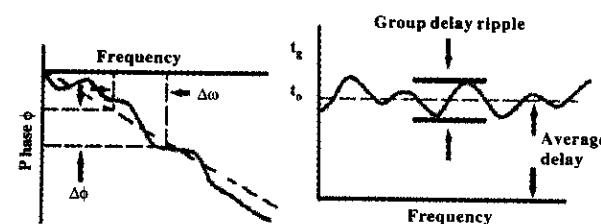


图1 网络分析仪时延测量原理

$$\text{Group Delay} = -\frac{d\varphi}{d\omega} = -\frac{1}{360} \times \frac{d\varphi}{df} \quad (1)$$

* 收稿日期 2006-11-29;修回日期 2007-01-16

通过网络分析仪测量时延的原理,我们可以看到网络分析仪测量时延实际上是测量相位 φ ,再通过式(1)计算得到时延特性,因此时延参数的测量准确度就主要取决于相位测量准确度 $\Delta\varphi$ 和频率孔径 Δf 的大小。当网络分析仪的相位测量准确度一定时,要提高时延测量准确度就需要考虑孔径大小的选取。另外,由于大多网络分析仪的源输出和接收机频率都为同一频段同步扫描,而我们往往需要测量混频器或接收机这种频率转换器件的时延特性,那么这时就需要使用具有频率偏移模式的矢量网络分析仪。所以根据不同的测量情况,我们把时延测量分为线性器件的时延测量和变频器件的时延测量进行分析。

2 线性器件的时延测量

信号通过理想的线性器件的传输时延 τ 是一个常数,在工作频带内的信号通过线性器件时的相频特性往往是线性变化的。

由于线性器件在频带内具有平坦的群时延特性,所以为了提高时延测量准确度,我们可以设置较大的时延测量孔径。以我们研制的具有良好线性特性的群时延标准为例,在选取合适的测量孔径时,群时延定标最佳测量不确定度可达到0.005 ns。

3 频率转换器件的时延测量

在实际应用中,往往需要测量整个系统的时延特性,例如被测件为接收系统、发射系统等都存在频率转换的问题,而通常的网络分析仪测试时使用的源输出和内部的接收机又多是工作在同一频率。针对这种情况,网络分析仪可采用以下几种方法进行变频器件时延特性的测量。

3.1 使用背靠背法测量

图2所示的是此方法的基本测量原理图。以被测件为下变频装置为例,网络分析仪的测量频率设置为被测件的射频输入频率。先在网络分析仪的两个端口间接入两只同型号且互易的宽带混频器。混频器1将网络分析仪端口1的射频信号转换为中频,中频信号经过中频滤波器输入混频器2,混频器2则将中频信号上变频回射频信号送到网络分析仪的端口2。先对网络分析仪进行直通校准,校准完后,去掉混频器1,接入被测件,此时即可得到被测件的时延特性。

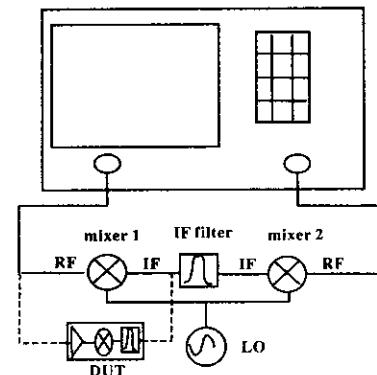


图2 背靠背法测试连接原理图

背靠背测量法的优点在于对矢量网络分析仪没有特殊的要求,该网络分析仪校准和测量时两个端口都工作在同频状态。但是这种方法校准端面与测量端面不相同,得到的被测件时延特性实际上是相对于混频器1的值,所以这种测量较为粗略,亦不能准确得到被测件的绝对时延值。如果用三混频器法对参考混频器定标,扣除了其影响后可提高测量准确度。而由于采用了宽带混频器,在很窄的某段工作频带内其时延特性应该较平坦,所以测试结果应能基本反映被测件的时延波动情况。

3.2 使用频率偏移模式测量

某些型号的矢量网络分析仪具有混频器测量的选型,如Agilent8753ES、R/S ZVM等具有频率偏移测量模式。所谓频率偏移模式,是指可以将网络分析仪的源输出和接收机接收设置在不同的频率上,从而使两个端口的频率满足变频器件的输入、输出频率关系。这种网络分析仪在面板上有参考通道的跳线。当工作在频率偏移模式时,需要在参考通道插入参考混频器,用以建立相位参考。在测试通路加入宽带校准混频器进行直通校准。之后取下校准混频器,插入被测件即可测得被测变频器件的时延特性。频率偏移模式测量连接如图3所示。

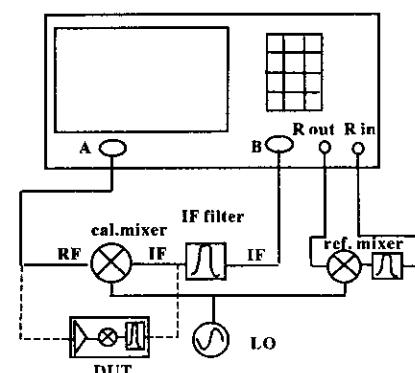


图3 频率偏移模式测量连接图

频率偏移模式的测量,测试连接较为复杂。测

得的时延特性同样是相对于校准混频器的相对值,这种方法也不能准确得到被测件的绝对时延值。

3.3 使用矢量混频器校准(VMC)技术测量

矢量混频器校准(VMC)是近几年提出的可以进行变频器件绝对时延测量的新技术,该技术现已经融入进 Agilent 公司的 PNA 系列网络分析仪中。此技术主要的先进性体现在对校准混频器的量化和全面的矢量误差修正。

我们知道,一个普通的二端口网络误差模型具有反射、传输等 12 项误差来源。同样变频器件除了传输误差外,还应该分别在输入、输出频率上进行误差模型的建立。前面的背靠背和频率偏移两种方法在校准时一般只进行了直通校准,而我们知道在射频微波系统中,信号的反射对系统有着不可忽视的影响。VMC 校准的第一步就是分别在被测件的输入频率和输出频率上进行反射特性的校准,如图 4 所示。

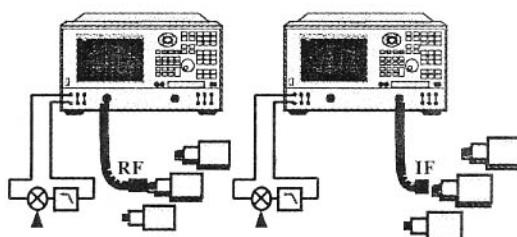


图 4 反射校准

VMC 校准的第二步如图 5 所示,通过在校准混频器的输出端接入开路器、短路器、负载对校准混频器的反射和传输特性进行量化。这也是 VMC 技术的特点之一,通过对校准混频器的量化,我们在测试被测件时就可以扣除校准混频器的值,从而得到被测件自身的时延特性值。

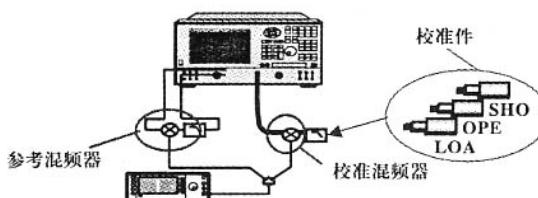


图 5 量化校准混频器

由于 VMC 技术对校准混频器进行了量化,所以此方法可以对变频器件的绝对时延进行测量。同时因为采用了全面的矢量误差修正,消除了反射的影响,大大提高了对变频器件的时延特性测量准确度。由于接收机信道往往工作频率范围有限,所

以时延测量孔径选择不可能太大,从而限制了测量准确度。经分析,使用 VMC 方法测量变频器件时延特性的最佳测量不确定度可达到 0.15 ns。

4 结束语

网络分析仪作为射频微波领域的通用仪器,在部件研发、调试、系统性能鉴定等诸多领域起着重要作用。作为矢量网络分析仪功能之一的时延测量,也被越来越多的工程师所使用。这些测量都基于网络分析仪的基本特性和原理,所以现在我们使用矢量网络分析仪测量无线电系统的时延特性,往往还局限于系统中的信道部分。由于网络分析仪分析的信号是单纯的连续波,因而测量时延特性时可能无法满足某些数字调制信号系统的真实工作情况。这时我们常常还需借助示波器、矢量信号分析仪等仪器工具进行测量。相信随着测量技术的不断进步,更多新的、准确度更高的时延测量技术会被开发和应用。

参考文献 :

- [1] 李德儒.群时延测量技术[M].北京:电子工业出版社,1990.
- [2] Agilent Application Note 1408 - 2 Mixer Conversion - Loss and Group - Delay Measurement Techniques and Comparisons[Z].

作者简介 :



黄凯冬(1976 -)男 重庆人 工程师;



尹仲琪(1953 -)女 四川资阳人 高级工程师(电话)028 - 87555565;

胡 勇(1972 -)男 重庆人 工程师。

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>

