

网络分析仪在变频器件测量中的应用

张 娜, 李 元, 金宝龙

(上海微波设备研究所, 上海 201802)

摘 要:网络分析仪为测量变频器件提供了快速而准确的测量方法, 根据标量网络分析仪和矢量网络分析仪的测量原理, 详细介绍了用标网测量变频器变频损耗的方法, 以及用矢网测量变频损耗和相位的方法。分析了两种仪器在测量中的适用范围和优缺点在变频器测量中的优缺点。以正交混频器为例, 提供了测量其幅度不平衡和相位不平衡的网络分析仪测量方法; 以本振与射频信号频率范围重合的特殊应用为例, 介绍了简单准确的测量方法。

关键词:变频器; 标量网络分析仪; 矢量网络分析仪; 幅频特性; 相频特性

中图分类号: TN711.3

文献标识码: A

文章编号: 1672-4984(2007)04-0040-04

Flexible application of network analyzer for measurement of frequency translating devices

ZHANG Na, LI Yuan, JIN Bao-long

(Shanghai Institute of Microwave Equipments, Shanghai 201802, China)

Abstract: Network analyzers provide a method for measurement of frequency translating devices and these methods are more accurate and can save more time. According the principles of scalar network analyzer and vector network analyzer the authors introduced methods to measure conversion loss of frequency translating devices using scalar network analyzer and methods to measure conversion loss and phase using vector network analyzer. They concluded the advantages and disadvantages of them and proposed proper situations for every method. They also gave a quarter mixers as an example and provided measurements for amplitude unbalance and phase unbalance. Simple and accurate measurements were also mentioned as when local oscillator of mixers covers the same frequency range as RF.

Key words: Frequency translating device; Scalar network analyzer; Vector network analyzer; Characteristics of amplitude frequency; Characteristics of phase frequency

1 引言

混频器是射频(RF)和微波系统中的关键器件, 常用于下变频、上变频及正交变频等场合。从广义上讲, 常把这类可以实现频率变换功能的器件及其组件统称为变频器。一般的射频和微波器件如放大器、功分器、滤波器等, 他们的输入信号频率和输出信号频率相同; 而变频器是三端口器件, 有本振(LO)、射频(RF)和中频(IF)三个端口, 在本振功率的驱动下, 将射频信号转变为中频信号(下变频)或者将中频信号转变为射频信号(上变频)。三个端口的信号频率满足关系式: $F_{IF} = mF_{RF} + nF_{LO}$, (m, n 是整数)。变频器件的输入频率和输出频率不相等, 因此变频器件的测量也比其他器件的测量复杂。

网络分析仪是射频和微波系统中常用的测量仪器, 分为标量网络分析仪(下面简称标网)和矢量网络分析仪(下面简称矢网)。这两种网络分析仪的测

试原理不同, 它们都可以用于变频器件的测试中。标网可以测量变频器的变频损耗、输出功率、回波损耗和隔离度等。具有频偏功能的矢网除了能测量标网可以测量参量外, 还可以测量相位和群延迟等与相位相关的参数。但是用矢网测量仪器配置复杂, 准备工作繁琐。标网测量仪器配置简单, 测量中引入的误差项少。因此根据实际情况灵活地选择测试方法可以准确、简便地获得变频器件的各项参数。

2 标量网络分析仪在变频器测量中的应用

标网(以 HP8757D 为例)通过检测被测件输出信号的功率电平, 获得被测件网络参数的幅频特性。标网的功率检测器件是宽频带、高精度的二极管检波器, 检波器的性能将直接影响到网络分析仪的性能。测量一般二端口网络时, 标网的标准配置如图 1。标网有两个接收通道(通道 A 和通道 B)和一个参考通道 R, 标准配置时标网的测量选项中比值测量 B/R 表示二端口网络的传输特性, 比值测量 A/R 表示被测件输入端口的反射。

变频器的输入频率和输出频率不同, 比值测量

收稿日期: 2006-10-23; 收到修改稿日期: 2006-12-28

作者简介: 张 娜(1977-), 女, 工程师, 主要从事微波无源器件设计及应用。

方法将不适用于变频器的测量。但是标网的检波器是宽频带的，能检测出变频器输出信号的绝对功率，因此可以用非比值测量获得变频器的变频损耗等幅频信息。标网测量变频器的仪器配置如图 2。变频器是非线性器件，输出信号中除了有用信号外，还有高次谐波信号，宽频带的检波器会把频带内的所有信号检测出来，这将抬高检波器的输入噪声，降低检波器的测量灵敏度，因此最好在检波器与变频器的输出端加一个滤波器滤除高次谐波，减小谐波对检波器的影响。因此这种测量方法特别适用于内部集成有滤波器的变频器器件。

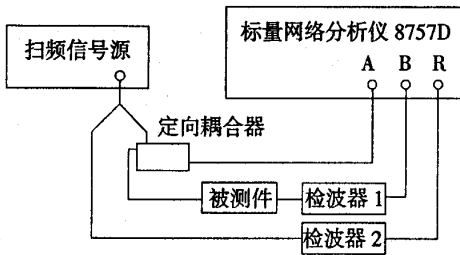


图 1 标量网络分析仪测量二端口网络的标准配置

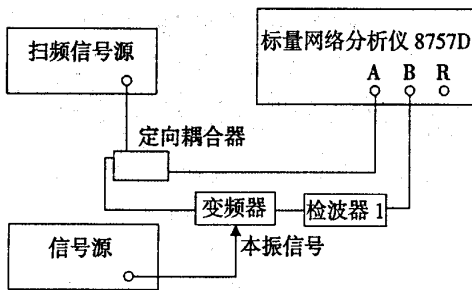


图 2 标量网络分析仪测量变频器的配置

在标网测量之前必须对标网校准，去除测量通路中固定频响对测量的影响。校准的方法是将图 2 中检波器探头直接连到定向耦合器输出端口上，把测量结果存到标网的 MEM 中，然后接入被测件，在测量选项中选择 B-M，这时屏幕上显示的曲线就是变频损耗。事实上，在变频损耗的测量中只用到一个测量通道（图中为通道 B），A 通道可用来测量变频器输入端口的反射或者断开不用。因此理想情况下可以去掉定向耦合器，把扫频信号源的输出直接连接到变频器的输入端，但实际上，变频器的输入端并不是理想的，存在反射信号，如果没有电桥隔离反射信号，变频器输入端口的反射信号会在测量通路中不断积累，将导致不正确的测量结果。

3 矢量网络分析仪在变频器测量中的应用

万方数据

矢网可以测量微波网络参数的幅度和相位。矢网的接收机是窄带调谐接收机，射频信号先下变频为中频信号，再执行中频信号处理程序，完成网络参数的计算和测量。接收机在信号变换和处理过程中，完整地保留了被测信号幅度和相位信息。在测量一般二端口网络时，矢网的源频率与接收机频率调谐在相同的频率上，若要测量输入和输出频率不同的变频器，则要求矢网的接收机能够调谐在与信号源不同的频率上。Agilent PNA 系列矢网（以 PNA 8362 为例）提供了频偏工作模式，他的源频率和接收机调谐频率之间满足一定的频率偏移关系，因此可以用于变频器网络参数的测量中。PNA 8362 提供两种混频器测量方法，即标量测量方法和矢量测量方法。

矢网标量测量方法能测量变频器的变频损耗等幅频特性。测量前需要对矢网的源功率和接收机功率进行校准，校准的仪器配置如图 3。矢网标量校准的频率范围是可以扩展的，即可以一次对较宽的频段进行校准，这样校准的结果可以应用在其他频段变频器的测试中。功率校准所需要的时间与所选取的频率扫描点数呈正比，因此在功率校准中只要选择足够满足自己测量需要的带宽和扫描点数就可以了。完成源功率校准后，该校准数据通过内部算法应用于接收机功率校准中。执行完功率校准后，功率计的功率测量精度传递给矢网，保证功率测量的准确性。

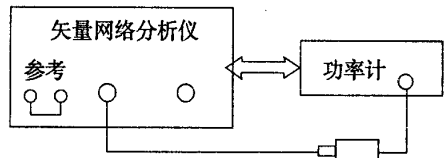


图 3 矢量网络分析仪源功率校准配置

矢网矢量测量方法可以全面衡量变频器的性能，能测量变频损耗、输出信号的相位及绝对群延迟等各项参数。矢量测量方法校准仪器配置如图 4。在校准的过程中需要一个参考混频器和一个校准混频器，参考混频器的信号和被测变频器的信号同步地转换，为矢网内部的源和接收机提供锁相参考，校准混频器校正测量通路的误差，以及为相位和群延迟测量提供参考。

4 三种测量方法的优缺点比较

4.1 标网测量的优缺点

标网测量变频器的优点是：

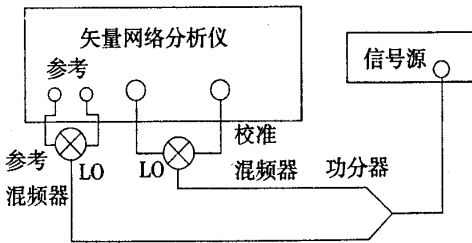


图4 矢量网络分析仪矢量测量校准配置

(a)标网校准和测量时仪器配置简单,不需要附加其它仪器;

(b)测量时引入的误差项少。测量误差包括校准时的端口不匹配引入的误差及被测件接入后输入和输出端口不匹配引入的误差;

(c)标网测量特别适用于内部自带滤波器的变频器;

(d)可实现双通道测量。标网一般配备两个检波器探头,因此可以利用双通同时测量 I/Q 变频器的两个正交端口。

标网测量变频器件的缺点是:

(a)只能测量变频器的幅频特性;

(b)为了获得准确的测量结果,对内部没有滤波器的变频器,需要在标网检波器和变频器输出端口之间附加滤波器,以滤除高次谐波对测量的影响。

4.2 标网标量测量的优缺点

标网标量测量变频器的优点:

(a)可以准确地测量绝对功率,它的测量精度与功率计的测量精度相同;

(b)校准频率范围可以扩展,能实现一次校准,多器件测量。

标网标量测量变频器件的缺点是:

(a)只能测量变频器件的幅频特性;

(b)测量中的误差项比标网测量多,包括:校准时的 PORT1 端口与功率计端口不匹配引入的误差, PORT2 端口不匹配引入的误差,被测件的输入与 PORT1 端口不匹配和被测件输出与 PORT2 端口的不匹配;

(c)功率校准所需要的时间比较长,校准时间与频率扫描点数呈正比,例如选取 101 个点时大概需要 20min 的时间。

4.3 标网矢量测量的优缺点

标网矢量测量变频器的优点:

(a)三种方法中唯一能用来测量相位的方法;

(b)为变频器幅频特性和相频特性测量提供了

高精度的测量方法。

标网矢量测量变频器的缺点:

(a)测量和校准时的仪器配置复杂,校准步骤多,一般需要十几个步骤才能完成一个测试频段的校准;

(b)校准频率范围不能扩展,每次校准的输入输出频率必须满足固定的变换关系。

由以上分析可以看出每种方法都有其自身的优缺点,因此在实际应用中,应该根据不同的情况选择测量方法。灵活地应用这三种测量方法,发挥他们长处,能使测量过程既简单又准确。

5 测量举例

5.1 I/Q 变频器的测量

对于 I/Q 变频器,一般最关心的参数是正交输出端口的幅度不平衡和相位不平衡。前文提到的三种方法都可以测幅度不平衡。标网是一个两端口测试仪器,因此测量幅度不平衡时,要对两个正交端口的幅度分别测量,然后作比较。而标网一般配备有两个检波器探头,利用标网的两个测试通道,可以一次完成幅度不平衡的测量,标网的配置如图 5。在标网的测量选项中选择 B/R,屏幕上显示的曲线就是两个正交端口的幅度不平衡。双通道测量会引入由于两个检波器的响应不完全一致所带来的误差,实际上这个误差是很小的,在一般的测量中可以忽略。

I/Q 变频器的相位不平衡可以用标网的标准矢量测量方法,先测每个输出绝对相位,然后再比较两个端口的相位差。这种做法在本振信号固定在单一频率时是可行的,但有些情况是本振频率需要选择一系列的频率值,标准的矢量方法要求对每个本振频率都要执行一次标网的矢量校准,如果频率点很多,这种方法太繁琐。其实我们真正关心的是正交输出端口的相位差是否是 90°,每个端口的绝对相位在测量中只是中间量,因此我们希望找到一种测量方法可以避开测量绝对相位,利用标网的频偏功能直接比较两个端口的相位,即相对相位。从此思路出发测量相对相位,不需要

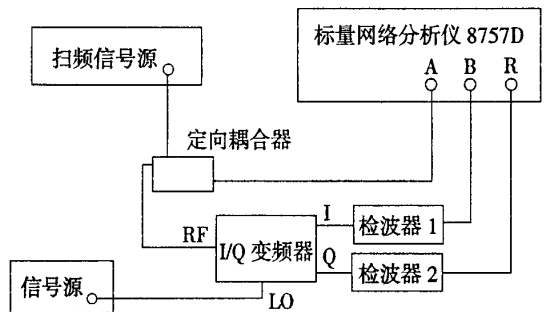


图5 用标量网络分析仪测量 I/Q 变频器的幅度不平衡

执行标准矢量校准步骤。测量相对相位仪器配置如图4,仍然需要参考混频器,但不需要校准混频器,直接将I/Q变频器接到图中校准混频器的位置。然后设置测量的频率范围,将锁相参考设为外部,此时矢网内部信号源和调谐接收机用参考混频器的输入和输出信号作为锁相参考,先测量一个端口的相位保存到缓存器中,然后再测另外一个端口的相位,将显示的曲线设置为两次测量值之差,就测得相对相位。对每个频率点都执行这个过程就能得到I/Q变频器的相位不平衡。需要注意的是,要先设置频偏参数,再开放锁相参考,因为系统的锁相环在没有接受频偏参数的情况下将无法与外部参考同步。

5.2 本振信号与射频信号频率范围重合时的测量

如果本振信号和射频信号频率范围重合,就意味着对于一个本振频率,变频器工作在上变频和下变频模式能得到同样的中频信号频率。标准的矢量测量方法要求输入输出频率之间满足固定的频率变换关系,即固定工作在上变频模式,或者固定工作在下变频模式。因此如果用标准的矢量方法测量这样的器件,对一个本振频率需要执行两次校准,即上变频校准和下变频校准。对于多个本振频率,则校准步骤增加一倍。所以这种情况下,变频器件幅频特性最好用标网或者用频率扩展的矢网标量来测量。而相对相位的测量,可以参考5.1中相对相

位的测量方法。如果必须测绝对相位,那么只能按照标准的矢网矢量测量步骤执行,在实际应用中需要绝对相位测量的情况比较少。

6 结论

本文分析了两种网络分析仪的测量原理,比较了三种测量方法的优缺点,并且列举了两个比较典型的例子。通过对例子的分析可知,根据被测参数选择合适的测量仪器,并且灵活地配置网络分析仪可以使测量的设备量和测量步骤都得到优化。尤其在大量产品需要测试的情况,高效灵活地配置测量仪器可以节约人力,节省时间。

参考文献

- [1] David Ballo. Network analyzers simplify mixer test[J]. Microwave & RF, 2002, 10: 98-106.
- [2] Agilent Technologies. Understanding the fundamental principles of vector network analysis, application note 1287-1[M]. California: Agilent Technologies, 2000.
- [3] Agilent Technologies. Exploring the architectures of network analyzers, application note 1287-2 [M]. California: Agilent Technologies, 2000.
- [4] Joel Dunsmore. 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, 2004, 23(4): 31-33.
- [5] 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, 1999, 17(1): 19-22.
- [6] 张娜. 矢量网络分析仪在变频器件特殊测试中的应用[J]. 国外电子测量技术, 2006, 25(10): 33-35.
- [7] Howells W G. Enhancing water jetting by use of water soluble additives [C]. Water Jet Applications in construction engineering, Edited by A. W. Momber, A. A Balkema, Rotterdam, Brookfield, 1998: 41-50.
- [8] Momber A W, Kovacevic R. Principles of abrasive water jet machining [M]. Springer-Verlag, London, appears, 1998.
- [9] Hashish M. A modeling study of metal cutting with abrasive waterjets [J]. Journal of Manufacturing Science and Engineering, 1984, 106(1): 88-100.
- [4] Zeng J and Kim T. J. Parameter prediction and cost analysis in abrasive waterjet cutting operations [C]. Proceedings of the 7th American Water Jet Conference, Seattle, WA, 1993: 175-189.
- [5] Li X H, Lei Y Y, et al. Numerical controlled water cutter and its applications in the machining of natural rock materials [M]. Key Engineering Materials, 2003: 274-280.
- [6] LEI Yu-yong, Wan Xia et al. Ultra-high speed water jet. A potential tool for stone materials machining, Key Engineering Materials, 2003, 259: 602-608.
- [7] 雷玉勇. 高速水射流特种精密加工技术[J]. 精密制造与自动化(增), 2003: 138-142.
- [8] 薛胜雄. 高压水射流技术与应用[M]. 北京: 机械工业出版社, 1998: 409-434.
- [9] 沈忠厚. 水射流理论与技术[M]. 东营: 石油大学出版社, 1998.

(上接第39页)

示出巨大的市场潜力。

就目前情况看,我国水射流切割机床目前绝大部分用于石材、民用陶瓷、玻璃等建材的加工。这些行业仍具有广阔的市场空间。另一方面,随着全球制造中心向中国的转移,用于机械、电子、环保等产业的高端水射流特种精密加工技术和设备在我国具有更广阔的市场。

参考文献

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>