

文章编号:1001-9383(2013)01-0058-06

基于矢量网络分析仪的信道链路标校方法

易卿武,宋海涛

(中国电子科技集团公司 第五十四研究所,河北 石家庄 050081)

摘要:卫星导航系统中收发信道链路的时延标定与测量对系统性能和定位精度具有重要意义,介绍了常见的收发设备零值标校方法,重点分析了基于矢量网络分析仪的绝对时延测量方法,通过校准和测量原理以及测量精度的比较,突出了基于矢量网络分析仪的梳状波发生器法(SMC+Phase)进行时延测量的优势。

关键词:时延测量;SMC+Phase;收发信道;绝对时延

中图分类号:TN967

文献标识码:A

VNA based channel delay measurement and calibration method

YI Qing-wu, SONG Hai-tao

(The 54th Research Institute of CETC, Shijiazhuang Hebei 050081, China)

Abstract: The delay calibration and measurement in T/R (transmitter and receiver) channel of satellite navigation system is significant for system performance and positioning precision. In this paper, the zero value calibration methods of common T/R equipment is briefly introduced, and the measurement of absolute delay based on VNA (Vector Network Analyzer), also known as comb generator based SMC+Phase method, is thoroughly investigated, which indicates that the SMC+Phase has great advantages on delay measurement.

Keywords: Delay measurement; SMC+Phase; Channel; Absolute Delay

在卫星导航系统中,为了产生和维持精密的系统时间,需要对系统收发链路的传输时延零值进行精确的标定,以减小系统误差,提高定位精度。目前链路传输时延零值标校方法基本可分为两类,分别是基准差分法和绝对标校法。

基准差分法是将被标校设备的测量值与基准设备测量值进行差分,二者的差值视为被标校设备的零值变化量,缺点是基准设备的零值稳定性难以维持,零值的漂移会在标校值中引入偏差。绝对标校法是采用基于矢量网络分析仪或高速示波器的绝对时延标校方法。

基于高速示波器的时延测量原理是将待测设备的输入测距信号和输出测距信号分别采集并进行处理,得到的时延值做差。缺点是对于频率过高的射频信号,高速示波器无法采集,测

收稿日期:2012-12-25

作者简介:易卿武(1975-),男,高级工程师。研究方向:卫星导航,通信系统的仿真与设计。

量频段范围有限。基于矢量网络分析仪的时延测量方法有调制信号法、背靠背法、矢量混频器和梳状波发生器法(SMC+PHASE)。本文将重点讨论梳状波发生器法。

1 基于矢量网络分析仪的测量方法

1.1 调制信号法测量

调制信号法(包含使用双音法)是最早的时延测量方法之一,测量原理如图 1 所示。如被测设备为上行信道链路,将调制信号分为两路,分别接入矢量网络分析仪的 SRC1 和 SRC2 端口,其中一路直接进行信号解调,另一路调制信号输出至被测上行信道,被测设备将调制信号上变频之后再行信号解调,利用鉴相器测量两路解调信号之间的相位差,从而解算出时延差。两路信号时延差为引入的被测上行信道的时延值。

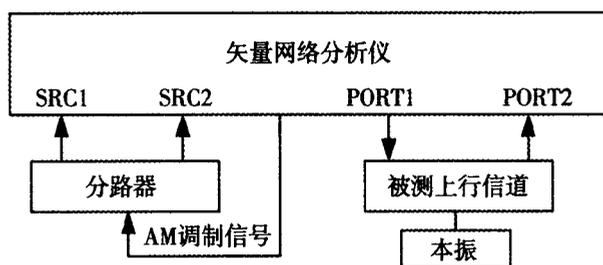


图 1 调制信号法测量原理图

调制信号法要求矢量网络分析仪内部的检波器响应是宽带的,而且响应极为平坦,核心是需要对检测出来的两路信号相位差进行处理。缺点是容易受到噪声和被测器件非线性的干扰,从而影响测量精度,矢量网络分析仪需要宽带检波技术,其灵敏度较差。根据实际测量分析,调制信号法测量精度的典型值只有 10ns 左右。

1.2 背靠背法测量

矢量网络分析仪背靠背法测量原理图如图 2 所示。以被测设备为下行信道为例,矢量网络分析仪的测量频率设置为被测件的射频输入频率。先在矢量网络分析仪的 2 个端口间接入 2 只同型号且互易的宽带混频器。混频器 1 将矢量网络分析仪端口 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。先对矢量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,此时即可得到被测设备的时延特性。

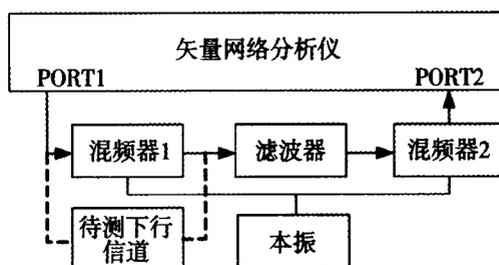


图 2 背靠背法测量原理图

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 2 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已知混频器的值,所以这种测量较为粗略。由于连接的重复性加上滤波器与混频器对之间以及混频器与测试设备之间的失配效应,会将误差引入测量过程。

1.3 矢量混频器校准法

矢量混频器校准法(VMC)的测量原理如图3所示。在矢量网络分析仪 SRC 端口接入参考混频器,并利用 VMC 校准方法标定参考混频器及滤波器件传输时延和仪器自身时延作为零值处理。矢量网络分析仪 Port1 端口输出 RF 测试信号,经过 RF 增益调整器件调整电平送入被测下行信道链路 RFin 端口,测试信号在被测信道中进行变频滤波放大处理后由 IFout 端口输出,再经由 IF 增益调整器件调整电平后送入矢量网络分析仪 Port2 端口。矢量网络分析仪借助与 SRC 端口连接的参考混频器及滤波器件,将 RF 测试信号进行上变频处理,进而测量出测试链路的总时延 t 。RF 及 IF 增益调整器件均为同频器件,可直接使用网络分析仪测量其传输时延,分别记为 t_1 和 t_2 。连接仪器与被测链路的电缆组件传输时延也可以直接测量,记为 t_3 ,则被测下行信道链路传输时延 $t' = t - t_1 - t_2 - t_3$ 。

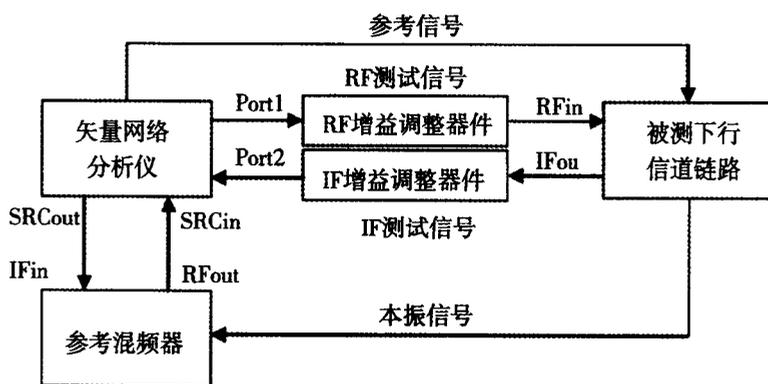


图3 矢量混频器校准法测量原理图

在整个测试过程中,矢量网络分析仪要与被测信道链路参考同源,且参考混频器需使用被测信道链路的 L0 信号作为本振激励,以保证测量精度。矢量混频器校准法的优势在于对标校混频器的量化和全面的矢量误差修正,VMC 技术对校准混频器进行了量化,并采用全面的矢量误差修正,消除了反射的影响,从而提高了对变频器件的时延特性测量精度。但 VMC 方法测量过程需要引入参考混频器和校准混频器,操作流程复杂,有一定的测量误差。经分析使用 VMC 方法测量变频器件时延特性最佳测量不确定度为 0.2ns。

1.4 梳状波发生器法测量

梳状波发生器法(SMC+Phase)是 Agilent 公司推出的最新测量变频链路时延方法,建立在 PNA/PNAX 接收机不同频点的相位相干的基础之上,测量方法和校准方法最为简单。

梳状波发生器法测量需要具备内置 PNA/PNAX 接收机的矢量网络分析仪,如 N5241A 等型号。校准过程需要三个常用校准件包括功率计、梳状波发生器和校准件,其中功率计用做幅度标准,梳状波发生器用做相位标准,校准件(电子或机械)作为矢量校准。

2 梳状波发生器法

2.1 测量原理

SMC+Phase 测量方法是基于矢量网络分析仪测量变频链路最为简单的方法,测量原理图如图4所示。只需要将待测设备直接接入完成校准的矢量网络分析仪,以下行信道为例,矢量网络分析仪 Port1 端口输出 RF 测试信号,送入下行信道进行下变频,输出 IF 信号连

接至矢量网络分析仪 Port2 端口,其中 Port3 端口输出本振信号至待测设备。矢量网络分析仪读出的时延值 t 即为待测设备的时延值。

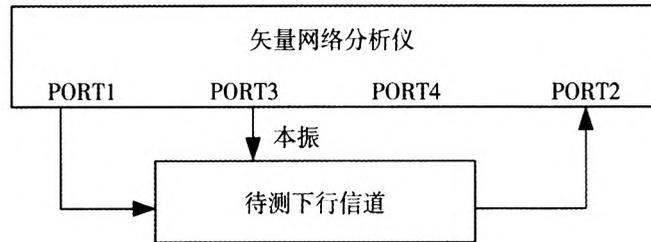


图 4 梳状波发生器法测量原理图

梳状波发生器法首先要求矢量网络分析仪具备 PNA/PNAX 接收机,对于 PNA-X/PNA 来说,独有的数字频综能保证每次扫描时,输出信号的响应稳定。其次,功率校准可以保证精确的幅度响应,而梳状波发生器能提供不同频点之间的精确的相位关系,以校准矢量网络分析仪接收机的不同频点之间的相位。梳状波发生器校准过程中产生信号的频率范围及波形如图 5 所示,频率范围可覆盖 1~50GHz。

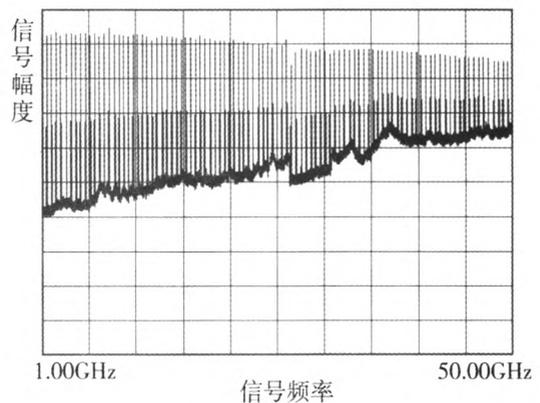
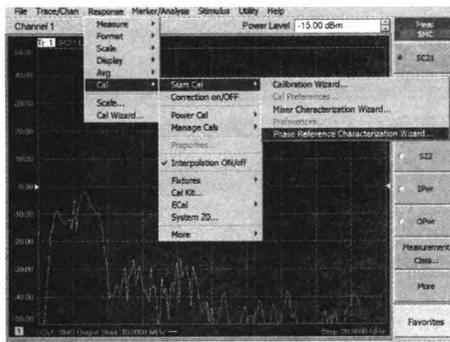


图 5 梳状波发生器信号波形图

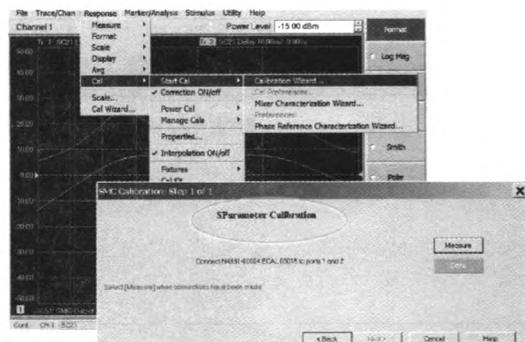
2.2 测量方法

依照测量原理,要完成对被测信道传输时延的测量,需要采用 SMC+Phase 法进行校准,以完成整个信道链路的绝对时延测量,校准过程需要功率计、梳状波发生器和标准校准件(电子或机械式)三个校准件,所有的校准标准都溯源到 NIST,方法适应于 PNA 和 PNA-X,也适应于测量嵌入式本振的变频链路。利用 SMC+Phase 法进行校准和测量的基本步骤如下:

1. 在 PNA/PNAX 的测试端口连接梳状波发生器和功率计,点击 Phase Reference Calibration Wizard,在全频段对 PNA/PNAX 接收机的幅度、相位进行校准,校准界面如图 6(a)所示。校准过程中,矢网的 10MHz 参考输出用作梳状波发生器的输入。



(a)



(b)

图 6 梳状波发生器法校准界面

第一步校准完成之后,由于 PNA/PNAX 的硬件极为稳定,所以这种校准操作可以相隔数月之后再行。

2. 校准的第二步只需在测量面进行 S 参数校准,使用电子校准件,连接一次即可完成。校准界面如图 6(b)所示。

3. 校准完成后,只需要将被测设备的输入、输出和本振连接到矢量网络分析仪上,即可进行信号时延和幅度测量。

2.3 误差分析与测试结果

在被测导航接收信道链路中串入高精度可编程延迟线,通过改变可编程延迟线的延迟量模拟被测导航接收信道设备的时延变化。

引起测量误差主要因素有:矢量网络分析仪内部触发信号抖动引入的误差,矢网自校准误差,电缆摆动引起的测量误差,环境温度变化引起的测量误差,延迟线时延变化误差以及端口连接等时延零值误差等。表 1 根据实际情况给出了基于这些误差项的估值汇总。

表 1 时延标定误差项估算

误差源	变量定义	取值估计	备注
矢网内部触发信号抖动引入的误差	σ_{Source}	$\pm 0.1 \text{ ns}$	
矢网校准误差	σ_P	$\pm 0.05 \text{ ns}$	
测试过程电缆摆动引起的误差	σ_L	$\pm 0.05 \text{ ns}$	
环境温度变化引起时延误差	σ_T	± 0.005	
延迟线时延误差	σ_R	$\pm 0.03 \text{ ns}$	
设备端口连接误差	σ_C	$\pm 0.05 \text{ ns}$	

上述误差对总的标定结果误差贡献均衡,因而总的测量误差可作以下计算:

$$\sigma_A = \sqrt{\sigma_{\text{Source}}^2 + \sigma_P^2 + \sigma_L^2 + \sigma_T^2 + \sigma_R^2 + \sigma_C^2} =$$

$$\sqrt{0.1^2 + 0.05^2 + 0.05^2 + 0.005^2 + 0.03^2 + 0.05^2} = 0.136 \text{ ns}$$

实测结果如表 2 所示。

表 2 实测时延变化表

组数	延迟线/ns	测试时延变化/ns	偏差/ns
1	0.5	0.61	0.11
2	1	1.17	0.17
3	2	2.15	0.15
4	3	5.18	0.18
5	10	9.80	0.20

上述测试结果取均值为 0.162ns,与误差估计值接近,利用梳状波发生器法测得被测导航信道链路时延变化量与可编程延迟线变化量相差较小,此实验,验证了使用梳状波发生器法可以较准确的测量出导航信道链路的绝对时延。

3 结束语

通过比较四种基于矢量网络分析仪的导航信道链路时延测试方法,可以看出,梳状波发生器法(SMC+Phase)与矢量混频器校准法(VMC)测量的时延精度最高,但是 VMC 法校准和测量流程较复杂,SMC+Phase 法操作和设置简单,不需要参考混频器和校准混频器,测量精度可溯源到 NIST,所以梳状波发生器法(SMC+Phase)测量信道链路具有一定的优势。绝对传输时延的测量技术将为信道链路的研究及工程设计提供更准确、更有价值的参考数据和更为灵活的测量思路。

参考文献:

- [1] Dunsmore,J.;Ericsson,J; "A novel method for measuring phase and group delay of mixers without a reference mixer," Microwave Measurements Conference (ARFTG),2010 75th ARFTG,vol. no. pp.1-7,28-28 May 2010.
- [2] 谭述森. 卫星导航定位工程[M]. 第 2 版. 北京:国防工业出版社,2010.
- [3] 寇艳红译. ELLIOTT D. KAPLAN. GPS 原理与应用[M]. 北京:电子工业出版社,2007.
- [4] 李德儒. 群时延测量技术[M]. 北京:电子工业出版社,1990.
- [5] 刘阳琦. 双向比对实现电缆时延测量方法[J]. 宇航计测技术,2009(5):34-36.
- [6] 杨晶超. 基于伪随机序列的高精度时延测量技术研究[J]. 国外电子测量技术,2009.
- [7] 魏海涛,蔚保国,李刚等. 卫星导航设备时延精密标定方法与测试技术研究[J]. 中国科学:物理学力学天文学,2010,40(5),623-627.
- [8] Agilent Technologies. PNA Series Network Analyzer Help. Agilent Technologies[S]. 2003.

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>