

改善矢量网络分析仪的长电缆测量精度

吕朋尧

(电子测试技术重点实验室 山东 青岛 266555)

[摘要]在使用矢量网络分析仪(VNA)进行长电缆测量中,由于在电缆上的时间延迟会引入测量误差。本文通过分析VNA测量原理讨论了测量误差来源,并针对不同使用情况提出了改善测量精度的解决方法。

[关键词]电长度;延迟;中频带宽

Improve the Measurement Accuracy of Long Cable Using Vector Network Analyzer

LV Peng-yao

(Science and Technology on Electronic Test & Measurement Laboratory, Qingdao Shandong, 266555)

[Abstract]Measurement errors will be caused because of the time delay on the cable when you measure a long cable with the Vector Network Analyzer. In the paper we discuss the sources of measurement errors by analyzing the principle of VNA, solutions to increase measurement accuracy in different applications is also given.

[Key words]Electrical length; Delay; IF Bandwidth

0 前言

在科研和生产中,由于可以方便的测量被测件(DUT)的正反向S参数,得到频率响应的幅度和相位信息,矢量网络分析仪对于电缆、微波器件、组件及系统的特性分析具有至关重要的作用。

在使用矢量网络分析仪进行长电缆测量时,如果设置的中频带宽较小,而扫描速度相对较快时,所得到的电缆的插入损耗和回波损耗等曲线常常会出现失真,测量误差较大而不能真实反映被测件信息甚至引起严重的错误,如合格产品却无法正常通过检测等。这种情况显然无法满足科研和生产的需要,因此必须找到此误差的来源,在测量中采用合理有效的方法避免误差出现。

1 时间延迟引起测量偏差

图1所示为四接收机的矢量网络分析仪的测量原理框图。内置激励信号源的输出信号经开关功分器分离出锁相参考信号R1和测试信号,测试信号再由端口定向耦合器分离出反射信号A和传输信号B。三路激励源信号分别混频得到频率较低的第一中频IF1,并再次混频得到频率更低的第二中频IF2。IF_{R1}同时作为锁相参考信号被送回锁相电路,通过高速锁相技术实现激励源与本振源严格同步,这样从射频到第二中频变换过程中信号的幅度和相位信息不会丢失。通过中频滤波器后,由DSP采样提取IF2的幅度和相位信息,就可以得到被测件的S参数。在进行测量时,通过减小第二中频的滤波器带宽(中频带宽)可以降低迹线噪声干扰,提高测量精度。但是当第二中频频率出现较大偏移时,由于滤波器的滚降效应会滤除部分信号能量,导致测量曲线失真。

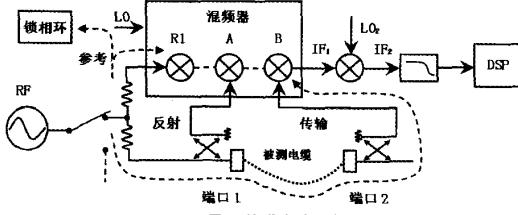


图1 矢量网络分析仪测量原理

以传输测量为例,要在分析仪的两个测试端口间连接标准测试电缆进行直通频响校准。此时可以认为,从开关到R1混频器,和从开关到测试端口1、2再到B混频器,两个射频通路上的时间延迟是完全一致的;两个混频器的本振输入通路电缆也是等长的。这样在分析仪测试接收机B的输入端信号频率与R1参考接收机输入频率相同,DSP采样得到的频率也是准确的,不会引起失真。但是当测量一根电长度为T的长电缆时,分析仪的扫描速度为df/dt,此时在分析仪B测试接收机输入端的信号频率将滞后于R1参考接收机输入频率的大小为F=T*df/dt;而为了降低迹线噪声干扰,提高测量精度,通常设置的分析仪中频带宽比较小。若此时分析仪设置的扫描速度相对较快,滞后频

率将偏离于中频滤波器通带,第二中频信号IF2-B的部分能量由于滤波器的滚降效应而被滤除,此时将会出现S21(B/R1)曲线失真。

2 改善长电缆测量精度的方法

使用安捷伦的E8362B型矢量网络分析仪测量一根长度为3.6m的电缆的插损,扫描设置为:中频带宽5kHz,扫描时间80ms,扫描点数201。不仅测量数据存在误差,而且在不同的频段误差大小有比较明显的跳变,但是在跳变点数据正常。这是由于矢量网络分析仪的软件控制上存在许多频率分段,分析仪扫描时在每段的起始频率锁定相,锁相成功后经一定时间的延迟,然后在小数分频环路的拖动下以一定步距进行扫描。由于在起始点有锁相和延迟时间,就避免了频率偏移导致的误差。而在不同的频段内分析仪的扫描速度是不同的,这样在被测电缆上延迟时间也是不同的,从而引起大小不同的频率偏移,进而导致不同程度的测量误差。

分析矢量网络分析仪的测量原理可以知道,避免长电缆测量的这种误差有两种考虑。

最直接的办法就是降低分析仪的扫描速度,通过增加每个频率点的时间延迟就可以避免曲线失真的现象,改善长电缆测量的精度。设置的扫描时间应该大于(F终止-F起始)*T/FIF, FIF为中频带宽。如E8362B设置中频带宽为5kHz,被测电缆长度为3.6m(电长度约16ns),那么估算扫描时间(45MHz~20GHz)应该大于64ms,在扫描时间为80ms时测量曲线是存在很严重的失真的。这是由于以平均扫描速度进行估算,而实际的扫描速度在不同频段内是不同的。在实际测量时,应该在可接受的情况下选择较低的扫描速度。当扫描速度分别为130ms和200ms的测量曲线如图2所示,可见在相同条件下,增长扫描时间会带来更精确的测量效果。

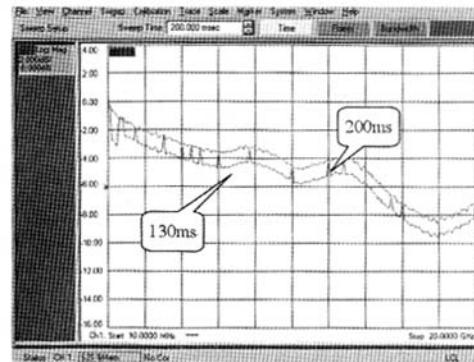


图2 130ms 和 200ms 扫描时间下的电缆插损

矢量网络分析仪提供了更方便有效的方法,就是使用步进扫描方式。在缺省状态下,当设置中频带宽小于某值时,分析(下转第126页)

仿真结果如下：

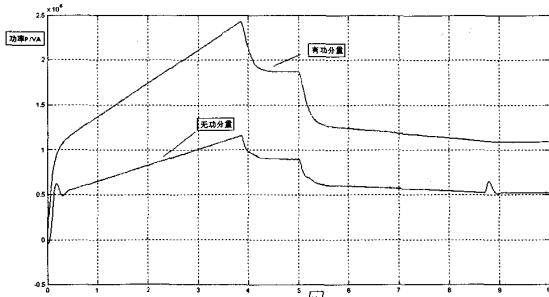


图 12 补偿滤波后的 P,Q 曲线图

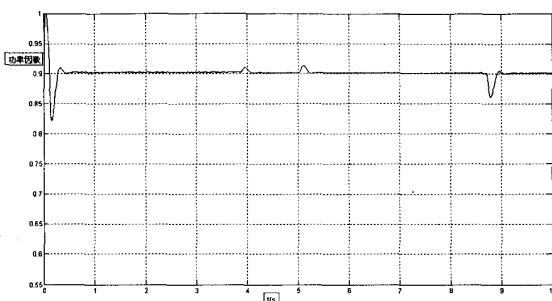


图 13 补偿滤波后的功率因数曲线图

(上接第 117 页) 仪工作在模拟扫描方式下, 扫描速度较快。当选择步进扫描方式时, 内置信号源在被调谐后会等待指定的驻留时间, 获得响应数据, 然后再将信号源调谐到下一个点。通过设置适合的驻留时间, 就可以消除我们关心的误差, 实现精确测量。但驻留时间的设置也依赖操作者的经验, 通过尝试、比对来确定。

生产过程伴随着调整和测试, 而生产线检测通常是制约生产能力提高的瓶颈。增加单根电缆的测量时间就意味着生产效率的降低, 这是用户无法接受的。不能通过降低扫描速度来解决问题, 就必须考虑另一个途径: 补偿参考通路的时间延迟使之与测试通路相一致。对于在仪器前面板配置了跨接电缆(一般是仪器选件)的矢量网络分析仪, 这是更适合且非常方便的途径。在配置了 014 选项的 E8362B 上, 取下 R1 通路的跨接电缆(SOURCE OUT-RCVR R1 IN), 用一根与被测件相同长度、相同材料的电缆替代它接在前面板上。这样, B 通路的时间延迟就与 R1 通路的基本一致了。没有了时间延迟差异导致频移, 我们关心的误差就可以消除了。

在参考通路上增加电缆长度会给激励信号带来较大的功率损耗, 从而降低锁相中频信号幅度。由于受到锁相环路的限制, 当锁相中频信号过小时会导致网络仪锁相失败、失锁等, 这种情况下显然是无法进行高精度测量的。所以根据待测电缆的插损特性, 参考通路上增加的电缆长度也只是在一定范围内可以接受。

3 结论

(上接第 154 页) 和运作办法及其内在规律还有待在实践中进一步探索、丰富和完善。

【参考文献】

- [1] 黄松峰, 朱林. 高校田径运动会改为体育节的可行性研究[J]. 体育科学, 2005, 9(1): 42-45.
- [2] 邢树强. 新时期学校运动会的改革[J]. 体育文化导刊, 2002(6): 63-64.

仿真结果表明, 采用瞬时无功补偿后, 功率因数基本稳定在设定的 0.9, 仅在负载剧烈变动时, 功率因数曲线才存在较小的跟随偏差。

本文提出了无功补偿方案, 介绍了相关的原理和控制策略。并通过建立瞬时无功补偿系统的模型, 进行了相应的仿真, 论证了该理论的正确性。

【参考文献】

- [1] 王兆安, 杨君, 刘进军. 谐波抑制和无功功率补偿[M]. 北京: 机械工业出版社, 1998.
- [2] 黄立培, 邓毅民. 大容量变频调速技术. 电工技术杂志, 2001(6).
- [3] 林辉, 王辉. 电力电子技术[M]. 武汉: 武汉理工大学出版社.

作者简介: 戚立峰(1976—), 男, 本科, 长期从事机电方面的应用与实践工作。

[责任编辑: 汤静]

使用矢量网络分析仪进行长电缆测量时, 由于在测试通路上的时间延迟, 测试接收机和参考接收机的输入频率会有一定的频差, 从而引起测试通路 DSP 采样频率发生偏移。如果此时分析仪设置中频带宽较小, 而扫描速度过快, DSP 采样前的中频滤波器会滤掉部分信号能量, 从而导致较大甚至无法接受的测量误差。一方面, 通过延长扫描时间, 增加在每个频率点的时间延迟, 可以将测试通路上的滞后频率降至最低, 避免因 DSP 采样频率不同而引起的误差。另一方面, 通过增加参考通路上的时间延迟, 使之与测试通路一致, 也是解决该问题的有效途径。这两种方法达到的测量效果是基本相同的, 针对不同的情况选择适合的方法, 就能在测量速度和精度之间找到最佳的平衡点。

【参考文献】

- [1] Agilent Technologies PNA Series Network Analyzers User's Information.V3.1
- [2] [美]罗伯特·A·维特. 频谱与网络测量. 李景威, 张伦, 译. 科学技术文献出版社, 1997, 5(1).

作者简介: 吕朋光, 2001 年毕业于西安电子科技大学测控工程与仪器系, 工程师, 从事矢量网络分析仪的研究工作。

[责任编辑: 王静]

(上接第 154 页) 和运作办法及其内在规律还有待在实践中进一步探索、丰富和完善。

作者简介: 刘瑞玲(1983—), 女, 河南郑州人, 郑州大学体育系 08 级研究生, 体育教育训练学专业。

[责任编辑: 常鹏飞]

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>