

矢量网络分析仪在高速PCB材料评估中的应用

朱兴华

(珠海方正印刷电路板发展有限公司, 广东 珠海 519173)

何为

(电子科技大学应用化学系, 四川 成都 610054)



摘要 信号完整性是高速PCB的核心参数之一, 材料是影响高速PCB信号完整性的主要因素。从信号完整性的检测原理出发, 对矢量网络分析仪在高速PCB材料评估中的应用进行了介绍。

关键词 矢量网络分析仪; 高速PCB; 材料特性; 信号完整性; S-参数

中图分类号: TN41 文献标识码: A 文章编号: 1009-0096(2012)06-0064-03

Application of VNA in high speed PCB material evaluation

ZHU Xing-hua HE Wei

Abstract Signal integrity is one of key performance of high speed PCB and material is the most important effect factor of high speed PCB signal integrity. Based on the test principles of VNA (Vector Network Analyzer), this article introduces the application of VNA in high speed PCB material evaluation.

Key words VNA; High speed PCB; Material properties; Signal integrity; S-parameter

1 前言

随着电子信息技术的快速发展, 高速数字系统的主频和信号的传输速率要求越来越高, 印制电路板(PCB)作为高速互连系统的硬件载体, 直接影响信号传输的可靠性。PCB是信号完整性的主要影响因素之一, 如何解决高速PCB的信号完整性问题在2011年成为国内外业者的研究热点^[1]。PCB的材料特性对信号完整性有着重要的影响^{[2][3]}, 基板材料是构成PCB互连线的基础, 传输线、参考平面与夹在二者之间的绝缘介质形成的电容对高速信号传输的完整性产生影响, 材料的介质常数(D_k)和介质损耗(D_f)是PCB高速信号传输能力好坏的决定性因素, 同时高频信号在传输线的铜箔表面产生“集肤效应”, 对高速信号完整性也产生一定的影响, 并

随着铜箔表面粗糙度的增大而增加^[4]。因此, 评估和选择合适的材料是高速PCB制作的关键, 特别是对材料在高速信号传输方面的特性评估和检测。当前对于高速板材的电性评估大多数采用标准样品测试材料的 D_k 和 D_f , 没有考虑设计和制作对PCB的影响, 对高速信号完整性的表征不直观。

2 信号完整性与矢量网络分析仪

2.1 信号完整性^[5]

大多数电子系统产品, 当时钟频率超过100 MHz, 或者上升边小于1 ns时, 信号完整性就变得十分重要, 通常将这种情况称为高频领域或高速领域。从广义上讲, 信号完整性是指在高速产品中由互连线引起的所有问题, 主要研究互连线与数字信号的电

压电流波形相互作用时其电气特征参数如何影响产品的性能。互连线的电气特性对数字信号波形造成的主要影响有振铃、反射、近端串扰、开关噪声、地弹、衰减、容性负载等。

所有的信号完整性问题（图1），可归为四类：

- (1) 单一网络的信号完整性；(2) 两个或多个网络间的串扰；(3) 电源和地分配中的轨道塌陷；
(4) 来自整个系统的电磁干扰和辐射。



图1-a, 单一网络的信号质量: 在信号路径或返回路径上由于阻抗突变引起的反射与失真



图1-b, 多网络间的串扰: 和理想回路与非理想回路耦合的互电容、互电感。



图1-c, 电源分配系统 (PDS) 中的轨道塌陷: 在电源/地网络中的阻抗压降



图1-d, 来自元件或系统的电磁干扰 (EMI)

图1 四种信号完整性问题

2.2 传输线损耗

当信号沿着实际传输线传播时，高频分量的幅度减小而低频分量的幅度保持不变，这种衰减导致信号的带宽降低，信号的上升边增长。信号沿着传输线传播时的能量损失有五种方式：辐射损耗、耦合到邻近的线条上、阻抗比匹配、导线损耗和介质损耗。介质损耗、导线电阻和“集肤效应”是传输线的主要损耗源，介质损耗是指介质中的能量损失，由PCB的材料特性(Dk 和 Df)引起的。信号沿传输线传播的衰减可由式(1)表示。

$$A = 2.3 F \times Df \times \sqrt{Dk} \times d \quad (1)$$

其中：A——表示信号衰减，单位为dB；

F——表示信号正弦波频率，单位为GHz；

Dk ——表示材料的介质常数；

Df ——表示材料的介质损耗；

d——表示传输线的长度，单位为in。

2.3 矢量网络分析仪 (VNA)^[6]

矢量网络分析仪器是一种电磁波能量的测试仪器，能够准确测量高频信号的入射能量、反射能量和传输能量。其测试原理如图2。

矢量网络分析仪是高速信号传输反射损耗和传输损耗最好的测量方法之一，测量结果以S-参数(S-parameter)来表征，是发射信号或传输信号与参

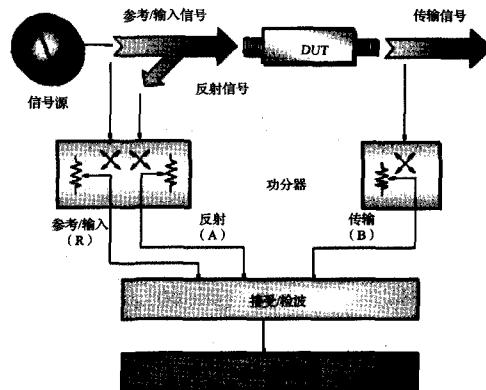
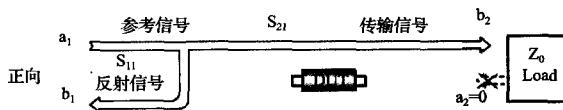


图2 矢量网络分析仪的测试原理示意图

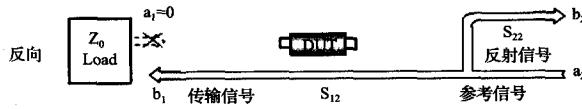
考信号之比值，是射频领域最重要的指标，描述网络在正向和反向传输信号时以幅度和相位表示的发射和传输性能。反射信号与参考信号之比称为反射损耗(S11)，传输信号与参考信号之比称为插入损耗(S21)。当传输线的终端为 Z_0 (Z_0 =传输线特性阻抗)时，S-参数表征如图3。当传输线终端为短路或开路时，S-参数表征如图4。



$$S_{11} = \frac{\text{反射信号}}{\text{参考信号}} = \frac{b_1}{a_1} \quad |_{a_2=0}$$

$$S_{21} = \frac{\text{传输信号}}{\text{参考信号}} = \frac{b_2}{a_1} \quad |_{a_2=0}$$

图3 传输线终端为 Z_0 时的S-参数表征



$$S_{22} = \frac{\text{反射信号}}{\text{参考信号}} = \frac{b_2}{a_2} \quad |_{a_1=0}$$

$$S_{12} = \frac{\text{传输信号}}{\text{参考信号}} = \frac{b_1}{a_2} \quad |_{a_1=0}$$

图4 传输线终端为短路或开路时的S-参数表征

3 高速PCB材料评估

3.1 材料选择

本次试验选择三个不同供应商的材料A、材料B和材料C。

3.2 测试样板设计

本次测试样板设计基本信息如下：

层数：6层；

板厚：1.6 mm；

导通孔直径：0.3 mm；

传输线线宽/间距：100 μm /100 μm 。

3.2 测试样板制作

选用相同的生产设备，相同的操作员工并在相同的时间制作不同材料的测试板。生产流程如图5。



图5 评估样板制作流程图

3.3 矢量网络分析仪 (VNA) 检测

对制作好的高速PCB测试样品 (Test Vehicle)，采用VNA测试不同频率的高速信号经不同材料制作的PCB传输线的损耗 (图6)。

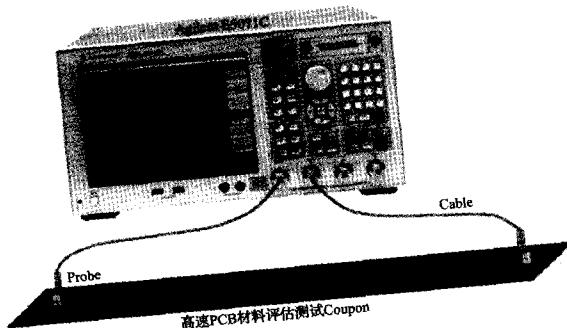


图6 矢量网络分析仪 (VNA) 测试图

3.4 结果与分析

采用矢量网络分析仪分别对三个著名材料供应商的材料A、材料B、材料C进行对比测试，得到不同频率下三种材料的插入损耗 (S_{21}) 数据。用插入损耗作纵坐标，用测试频率作横坐标做图 (图7)。从图中可以看出在300 MHz时，三种材料的插入损耗差别不大，均在0.4 dB。随着测试频率的升高，三种材料的插入损耗都增大，在20 GHz时，插入损耗超过了25 dB，其中材料C的插入损耗达到30 dB，材料A和材料B的插入损耗要比材料C小。在频率小于10 GHz时，材料A和材料B的损耗非常接近。

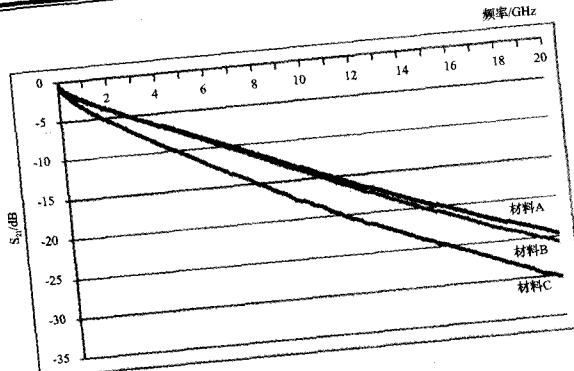


图7 不同材料在不同频率下的插入损耗图

从不同材料在不同频率下的插入损耗看，材料A和材料B更适用于高速PCB的制作，在高频高速下相比材料C更能保证信号的完整性。采用相同的测试方法，可以对市场上的高速材料进行对比测试，从不同的性能角度进行评估，建立材料数据库，对不同客户不同PCB的性能要求选取最优的材料。

4 结论

矢量网络分析仪 (VNA) 对传输线信号损耗的检测是一种简单、准确、有效的高速PCB材料评估方法。采用此方法评估出不同材料在不同频率下的信号损耗，为高速互连系统的PCB材料选择提供依据，在保证信号完整性的前提下对材料做出最优选择，降低成本。同时，VNA测试法与终端客户的测试方法一致，可直观的表征PCB板材对高速信号完整性的影响。PCI

参考文献

- [1] John Coonrod. 2011 material highlights[J/OL]. PCB 007, December 2011:36-38.
- [2] 唐世悦. 高速背板中互连的研究[D]. 博士学位论文, 合肥:中国科学技术大学, 2006.
- [3] 宋雪臣. PCB工艺对射频传输性能影响的研究[D]. 硕士学位论文, 济南:山东大学, 2008.
- [4] 高斌, 朱兴华, 陈正清等. PCB信号完整性影响因素探讨[J]. 印制电路信息, 2010, Z1:512-523.
- [5] Eric Bogatin, 李玉山, 李丽平. 信号完整性分析[M]. 北京:电子工业出版社, 2010:2-3.
- [6] 矢量网络分析仪介绍[DB/OL]. <http://wenku.baidu.com/view/f9015416866fb84ae45c8d73.html>.

第一作者简介

朱兴华，主要从事PCB技术开发与技术管理工作。

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>

