

印制电路板的电磁兼容问题

徐 暄¹, 徐红勇¹, 欧阳俊辉¹, 王丽芳²

(1. 武汉大学, 湖北 武汉 430072; 2. 山西省临汾地区电业局, 山西 临汾 041000)

摘 要: 主要介绍了在设计印制电路板时需要考虑的电磁兼容问题, 并说明产生问题的原因。

关键词: 印制电路板; 电磁兼容; 信号完整性; 电磁干扰

中图分类号: TN41 TN70 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001 - 3474(2001)04 - 0147 - 03

EMC Problems of Printed Circuit Boards

XU Xuan, XU Hong - yong, OUYANG Jun - hui, WANG Li - fang

(1. Wuhan University, Wuhan 430072, China;

2. Electric Bureau of Linfen Region of Shanxi Province, Linfen 041000, China)

Abstract: EMC problems of printed circuit boards, such as signal integrity, EMI are discussed in this paper.

Key words: PCB; EMC; Signal integrity; EMI

Document Code: A **Article ID:** 1001 - 3474(2001)04 - 0147 - 03

印制电路板(PCB)易于制造,性能可靠,价格便宜,因此广泛地应用于各种电子设备中。近年来,随着电子技术的发展,印制电路板上微处理器和逻辑电路中的(时钟)速率越来越快,信号的上升/下降时间越来越短,同时,板上器件密度和布线密度不断增加,印制电路板的电磁兼容问题变得日益突出。

在电磁兼容层面分析印制电路板,要考虑三个基本问题:

保证信号在板上可靠地传输,确保信号的完整性(Signal Integrity);

抑制电磁干扰(EMI)的传播;

加强防护,防止因为抗扰度不足引起灵敏度故障(Susceptibility Failure)。

对于相对低频的信号(信号的频谱上限为100 MHz),通常可以不考虑上述的问题。但是当信号波长(λ)与信号线长度(l)可相互比拟时($l \geq 0.1\lambda$),就需要考虑印制线的几何尺寸、布线、线间间

隔以及传输信号的上升、下降时间,脉冲宽度与周期等因素,以致需要用传输线理论(在某些场合需要用微波理论)来正确地分析信号的传播。

印制电路板上的印制线通常可以用微带线或带状线模型来模拟。微带线模型由介质基片一边的导体带和基片另一边的金属接地板构成,它可用来模拟 PCB 表面层的印制导线。带状线模型由上下接地导体和中间导体带构成,接地板和导体带之间是绝缘介质,它可以模拟多层 PCB 中间层的印制导线。

1 信号完整性

PCB 上的信号完整性问题主要包括时延、阻抗不匹配、地弹跳(Ground Bounce)、串音等。信号完整性问题会影响电子器件的稳定工作。

(1)信号时延:对于高频信号,传输时延应该是电路设计者考虑的最基本的问题之一。传输时延与信号线的长度、信号传输速度的关系如下:

$$t_{pd} = \sqrt{\epsilon_{r\text{eff}}} \times l_p / c$$

式中: c —真空中的光速;

$\epsilon_{r\text{eff}}$ —有效的相对电导率;

l_p —信号线的长度。

$\epsilon_{r\text{eff}}$ 与传输线周围介质有关,对于微带传输线来说, $\epsilon_{r\text{eff}}$ 介于板的相对电导率与空气相对电导率之间。在大多数系统中,信号传输线长度是影响时钟脉冲相位差(clock skew)的最直接因素。时钟脉冲相位差是指同时产生的两个时钟信号,到达接收端的时间不同步。时钟脉冲相位差降低了信号沿到达的可预测性,如果时钟脉冲相位差太大,会在接收端产生错误的信号,如图 1 所示。传输线时延已经成为时钟脉冲周期(Clock Cycle)中的重要部分。

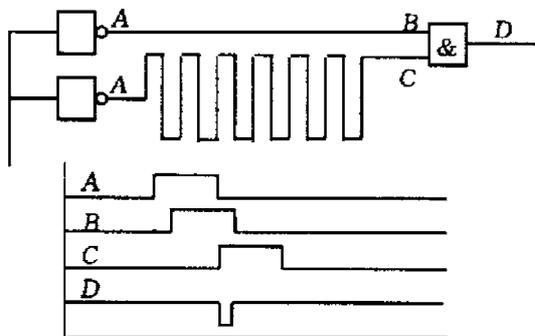


图 1 传输时延对信号的影响

(2) 阻抗不匹配:阻抗不匹配可以由驱动源,传输线和负载的阻抗不同引起,也可由传输线的不连续(例如导通孔、短截线)引起,另外由于返回路径上局部电感、电容的变化,返回路径不连续也会导致阻抗不连续。这种阻抗的不匹配,会导致反射和阻尼振荡。反射会引起信号的振铃(Ringing)现象,即在稳态信号上下产生的电压过冲和下冲现象,如图 2 所示。为了将电压的过冲/下冲限制在合理的范围内(不超出稳态值的 10%~15%),应该遵循下面这样一个原则:信号的上升时间要小于信号在印制导线上来回引起的传输时延。即:

$$t_r \leq 2l_p / t_{ppd}$$

式中: t_r —指信号的上升时间;

l_p —信号线的长度;

t_{ppd} —信号线单位长度引起的延时。

振铃现象可能会导致误触发,为了消除振铃现象的影响,方法之一就是等待信号稳定下来,但这又

会减小系统最大可能的时钟速率。

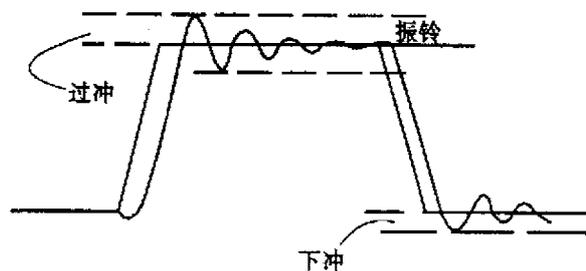


图 2 反射引起的振铃现象

(3) 地弹跳(Ground Bounce):所谓地弹跳,是指在某一集成电路开关时,由于 PCB 的地线以及集成电路的接地引线具有一定的电感,相应会引起器件内部地电位短暂的冲击或下降。而来自其它器件的输入驱动信号,或者由此器件输出信号所驱动的其他器件,都是以外系统地为参考的。这种参考地电位的不一致,可能会导致器件的输入门槛或输出电平的改变,从而给高速 PCB 的设计带来问题。对于电源来说,也存在类似的问题。

(4) 串音:通常可分为两部分,即公共阻抗耦合和电磁场耦合。公共阻抗耦合是因为不同信号共用公共返回路径引起的,这种耦合通常在低频时起决定作用。电磁场耦合又可分为电感耦合与电容耦合。串音属于近场问题,在 PCB 上,串音与线的长度、线的间距、线中传输信号的方向以及参考地平面的状况有关。例如地平面上的裂缝(Split)会使跨越裂缝的邻近线路的串音增加,引起信号波形畸变。

2 减小传导发射和辐射发射

电磁干扰问题主要包括传导发射和辐射发射问题。电磁兼容中所谓的发射,是指“从源向外发出电磁能的现象”,与一般通信领域中人为的向外发射电磁波不同,PCB 中的发射常常是无意的。辐射发射标准通常覆盖 30 MHz~1 GHz 的范围,在不久的将来将扩展至 5~40 GHz。对于传导发射,FCC 将范围限制在 0.45~30 MHz,而 CISPR 将下限延伸 0.15 MHz。

滤波是抑制传导发射的一种重要方法。对离开 PCB 板的信号线进行滤波,可以抑制传导发射的传播。

高频时,PCB 上的印制线就像一个单极天线(Mono-pole Antennas)或环形天线(Loop Antennas),

向外辐射能量。辐射发射可以分为两种基本类型:差模辐射和共模辐射。

差模辐射是由于闭合环路中的电流(即所谓的差模电流)引起的。辐射的强度与环的面积、电流的大小及频率的平方成正比。通过减小上述因素,尤其是频率,可以减小辐射的强度。另外,环的辐射具有方向性,一个小电流环的电场辐射值在环所处的平面上最大,而在环的轴向上最小。

共模辐射是由寄生效应,例如地线层、电源层或电缆上的感应电流(所谓的共模电流)引起的。共模辐射与一个单极天线类似,辐射的强度与单位线长中的电流及频率有关,但对方向不敏感。

由于差模电流产生的辐射是相减的,而共模电流产生的辐射是相加的,所以即使共模电流比差模电流小的多,也会产生程度相当的辐射场。例如,长为1 m的电缆,其中间距为1.27 mm的两导线中流有30 MHz 20 mA的差模电流,会在3 m外产生100 $\mu\text{V}/\text{m}$ 辐射电场,而对共模电流来说,只需要8 μA 的电流就能产生同样程度的辐射。在进行远场分析时,必须考虑共模辐射。

3 加强防护

防护的强度,随产品的用途而定。对于无关紧要的电子产品,就不需要专门的防护。而对于军用的电子产品及用于电厂与电网控制的电子设备,就需要加以最高等级的防护,因为即使是在极端情况下,也要保证这些设备能正常工作。

4 结论

在设计印制电路板时,必须考虑电磁兼容问题,以确保设计功能的实现。在高频时,简单的电路模拟可能不再适用,而需要用传输线理论或微波理论来分析遇到的问题。

参考文献:

- [1] 吴正娴.微波原理[M].武汉:武汉大学出版社,1995.
- [2] Paul C R. A comparison of the contribution common - mode and differential - mode currents in radiated emission[J]. IEEE Trans on EMC,1989,31(5):189 - 193.
- [3] Gravelle L B, Wilson P F. EM/ EMC in printed circuit board - a literature review[J]. IEEE Trans on EMC,1992,34(5):109 - 116.

收稿日期:2001 - 03 - 30

短 讯

全球著名 SMT 生产厂家松下电器公司,近日在上海举行了 Panasert 最新产品发布会。会上介绍了 Panasert 新型超高速贴片机 MSR,新型超级多功能贴片机 MSF,新型高速高精度焊膏印刷机 SPF,并演示了 0603 元件的焊膏印刷及高速(0.08 s/片)高密度(间距 0.15 mm)贴装。会上松下电器还就如何协助用户用好 SMT 设备所展开的 SE(Solution Engineering)活动进行了说明。

松下电器 SMT 产品自 80 年代初进入中国大陆地区以来,被广泛应用于通信、家用电器等各制造领域。截止目前为止,Panasert SMT 及 A.I. 设备的累计销售量已达 3 万余台,其中有超过 3 000 台的设备在中国大陆地区。

在 SMT 市场竞争日趋激烈的今天,松下电器通过 SE 活动向客户提供增值服务,切实提高用户 SMT 设备使用水平,帮助国内企业在管理、工艺、品质等方面缩短与国外先进水平的差距,赢得了市场好评。

5 月 15 日,松下电器机电(上海)有限公司在上海浦东梨格里拉大酒店,为其在华东地区的 SMT 及 A.I. 技术支持中心成立 5 周年,举行了隆重的庆典仪式及用户答谢宴会。主要来自华东地区的近 70 家 Panasert 用户参加了这次活动。

征 文 启 事

金属材料及热处理第七届学术年会将于 2001 年 10 月底在华东某地召开,现开始年会论文征集工作。

征文范围

- 1.金属材料、无机非金属材料、高分子材料、复合材料、功能材料等。
- 2.材料制备及加工工艺与技术。
- 3.金属材料热加工工艺(铸、锻、焊、热处理)。
- 4.材料三束加工技术(激光束、电子束、离子束)。
- 5.材料组织、结构、性能分析与测试及相关测试仪器。
- 6.材料失效分析及理化检验。
- 7.表面改性、表面涂覆与表面精饰。
- 8.模具加工与热处理。
- 9.材料热处理设备及介质。
- 10.新材料、新技术。

论文作者务必在 2001 年 7 月中旬以前报送论文题目及主要内容按回执要求填写寄出;论文作者在 2001 年 9 月底前报送论文详细摘要(400~500 字)及论文全文各一份。

联系地址:北京朝阳区平乐园 100 号,北京工业大学材料学院。

邮编:100022 联系人:王从曾
电话:010 - 67391760,67392171

射频和天线设计培训课程推荐

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;我们于 2006 年整合合并微波 EDA 网(www.mweda.com),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,成功推出多套微波射频以及天线设计经典培训课程和 ADS、HFSS 等专业软件使用培训课程,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>



射频工程师养成培训课程套装

该套装精选了射频专业基础培训课程、射频仿真设计培训课程和射频电路测量培训课程三个类别共 30 门视频培训课程和 3 本图书教材;旨在引领学员全面学习一个射频工程师需要熟悉、理解和掌握的专业知识和研发设计能力。通过套装的学习,能够让学员完全达到和胜任一个合格的射频工程师的要求...

课程网址: <http://www.edatop.com/peixun/rfe/110.html>

ADS 学习培训课程套装

该套装是迄今国内最全面、最权威的 ADS 培训教程,共包含 10 门 ADS 学习培训课程。课程是由具有多年 ADS 使用经验的微波射频与通信系统设计领域资深专家讲解,并多结合设计实例,由浅入深、详细而又全面地讲解了 ADS 在微波射频电路设计、通信系统设计和电磁仿真设计方面的内容。能让您在最短的时间内学会使用 ADS,迅速提升个人技术能力,把 ADS 真正应用到实际研发工作中去,成为 ADS 设计专家...



课程网址: <http://www.edatop.com/peixun/ads/13.html>



HFSS 学习培训课程套装

该套课程套装包含了本站全部 HFSS 培训课程,是迄今国内最全面、最专业的 HFSS 培训教程套装,可以帮助您从零开始,全面深入学习 HFSS 的各项功能和在多个方面的工程应用。购买套装,更可超值赠送 3 个月免费学习答疑,随时解答您学习过程中遇到的棘手问题,让您的 HFSS 学习更加轻松顺畅...

课程网址: <http://www.edatop.com/peixun/hfss/11.html>

CST 学习培训课程套装

该培训套装由易迪拓培训联合微波 EDA 网共同推出,是最全面、系统、专业的 CST 微波工作室培训课程套装,所有课程都由经验丰富的专家授课,视频教学,可以帮助您从零开始,全面系统地学习 CST 微波工作的各项功能及其在微波射频、天线设计等领域的设计应用。且购买该套装,还可超值赠送 3 个月免费学习答疑...

课程网址: <http://www.edatop.com/peixun/cst/24.html>



HFSS 天线设计培训课程套装

套装包含 6 门视频课程和 1 本图书,课程从基础讲起,内容由浅入深,理论介绍和实际操作讲解相结合,全面系统的讲解了 HFSS 天线设计的全过程。是国内最全面、最专业的 HFSS 天线设计课程,可以帮助您快速学习掌握如何使用 HFSS 设计天线,让天线设计不再难...

课程网址: <http://www.edatop.com/peixun/hfss/122.html>

13.56MHz NFC/RFID 线圈天线设计培训课程套装

套装包含 4 门视频培训课程,培训将 13.56MHz 线圈天线设计原理和仿真设计实践相结合,全面系统地讲解了 13.56MHz 线圈天线的工作原理、设计方法、设计考量以及使用 HFSS 和 CST 仿真分析线圈天线的具体操作,同时还介绍了 13.56MHz 线圈天线匹配电路的设计和调试。通过该套课程的学习,可以帮助您快速学习掌握 13.56MHz 线圈天线及其匹配电路的原理、设计和调试...

详情浏览: <http://www.edatop.com/peixun/antenna/116.html>



我们的课程优势:

- ※ 成立于 2004 年,10 多年丰富的行业经验,
- ※ 一直致力并专注于微波射频和天线设计工程师的培养,更了解该行业对人才的要求
- ※ 经验丰富的一线资深工程师讲授,结合实际工程案例,直观、实用、易学

联系我们:

- ※ 易迪拓培训官网: <http://www.edatop.com>
- ※ 微波 EDA 网: <http://www.mweda.com>
- ※ 官方淘宝店: <http://shop36920890.taobao.com>