



高频 PCB 设计中出现的干扰分析及对策

李勇明,曾孝平
(重庆大学,重庆 630044)

摘要:随着频率的提高,将出现与低频 PCB 设计所不同的诸多干扰,归纳起来,主要有电源噪声、传输线干扰、耦合、电磁干扰(EMI)四个方面。通过分析高频 PCB 的各种干扰问题,结合工作中实践,提出了有效的解决方案。

关键词:电磁干扰;电磁兼容性;串扰;耦合

中图分类号:TN41 **文献标识码:**B **文章编号:**1001 - 3474(2003)01 - 0013 - 03

Analysis and Solution of Interference in PCB Design

LI Yong-ming, ZENG Xiao-ping
(Chongqing University, Chongqing 630044, China)

Abstract: With increasing of frequency, there will be many interferences which are different from low frequency PCB design, four kinds of interferences are mainly power noise, transfer interference, coupling, electromagnetic interference. Analyze various interferences of high frequency PCB and combine practise, put forward effective solutions.

Key words: EMI; EMC; Series interference; Coupling

Document Code:B **Article ID:**1001 - 3474(2003)01 - 0013 - 03

1 电源噪声

高频电路中,电源所带有的噪声对高频信号影响尤为明显。因此,首先要求电源是低噪声的。在这里,干净的地和干净的电源同样重要,为什么呢?电源特性如图 1 所示。很明显,电源是具有一定阻抗的,并且阻抗是分布在整个电源上的,因此,噪声也会叠加在电源上。那么我们就应该尽可能地减小电源的阻抗,所以最好要有专有的电源层和接地层。在高频电路设计中,电源以层的形式设计,在大多数情况下都比以总线的形式设计要好得多,这样回路总可以沿着阻抗最小的路径走。此外,电源板还得为 PCB 上所有产生和接受的信号提供一个信号回路,这样可以最小化信号回路,从而减小噪声,这点

常常为低频电路设计人员所忽视。

PCB 设计中消除电源噪声的方法有如下几种。

(1) 注意板上通孔:通孔使得电源层上需要刻蚀

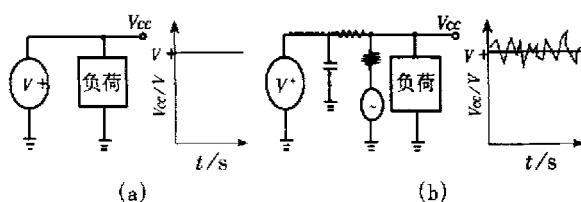


图 1 电源特性

开口以留出空间给通孔通过。而如果电源层开口过大,势必影响信号回路,信号被迫绕开,回路面积增大,噪声加大,同时如果一些信号线都集中在开口附近,共用这一段回路,公共阻抗将引发串扰。如图 2

作者简介:李勇明(1976 -),男,讲师,主攻电磁场理论与应用,射频有源电路设计,EMC 研究及微波在光纤通信中的应用等。

曾孝平,男,重庆大学通信学院院长,博士生导师,通信测控研究所负责人,俄亥俄州立大学留学学者。

所示。

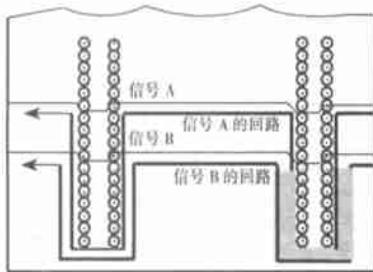


图 2 旁路信号回路的公共路径

(2) 连接线需要足够多的地线：每一信号需要有自己的专有的信号回路，而且信号和回路的环路面积尽可能小，也就是说信号与回路要并行。

(3) 模拟与数字电源的电源要分开：高频器件一般对数字噪音非常敏感，所以两者要分开，在电源的入口处接在一起。若信号要跨越模拟和数字两部分的话，可以在信号跨越处放置一条回路以减小环路面积。用于信号回路的数模间的跨越如图 3 所示。

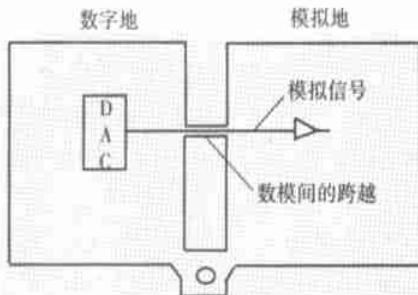


图 3 用于信号回路的数模间的跨越

(4) 避免分开的电源在不同层间重叠：否则电路噪声很容易通过寄生电容耦合过去。

(5) 隔离敏感元件：如 PLL。

(6) 放置电源线：为减小信号回路，通过放置电源线在信号线边上实现减小噪声，如图 4 所示。

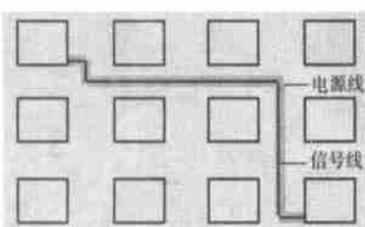


图 4 信号线上放置电源线

2 传输线

在 PCB 中只可能出现两种传输线：带状线和微波线，传输线最大的问题就是反射，反射会引发出很多问题，例如负载信号将是原信号与回波信号的叠加，增加信号分析的难度；反射会引起回波损耗(回

损)，其对信号产生的影响与加性噪声干扰产生的影响同样严重：(1) 信号反射回信号源会增加系统噪声，使接收机更加难以将噪声和信号区分开来；(2) 任何反射信号基本上都会使信号质量降低，都会使输入信号形状上发生变化。大原则来说，解决的办法主要是阻抗匹配(例如互连阻抗应与系统的阻抗非常匹配)。但有时候阻抗的计算比较麻烦，可以参考一些传输线阻抗的计算软件。

PCB 设计中消除传输线干扰的方法如下。

(a) 避免传输线的阻抗不连续性。阻抗不连续的点就是传输线突变的点，如直拐角、过孔等，应尽量避免。方法有：避免走线的直拐角，尽可能走 45° 角或者弧线，大弯角也可以；尽可能少用过孔，因为每个过孔都是阻抗不连续点，如图 5 所示；外层信号避免通过内层，反之亦然。

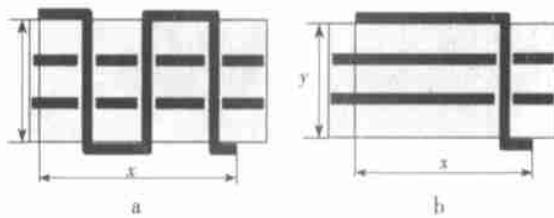


图 5 消除传输线干扰的方法

(b) 不要用桩线。因为任何桩线都是噪声源。如果桩线短，可在传输线的末端端接就可以了；如果桩线长，会以主传输线为源，产生很大的反射，使问题复杂化，建议不要使用。

3 耦合

(1) 公共阻抗耦合：是一种常见的耦合通道，即干扰源和被干扰设备往往共用某些导体(例如回路、电源总线、公共接地等)，如图 6 所示。

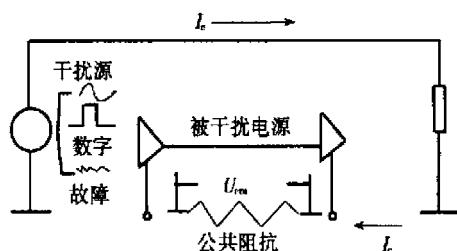


图 6 公共阻抗耦合

在该通道上， I_c 的下降回在串联的电流回路中引起共模电压，影响接收机。

(2) 场共模耦合将引起辐射源在由被干扰电路形成的环路和公共参考面上引起共模电压。如果磁场占主要地位，在串联地回路中产生的共模电压的

值是 $V_{cm} = -(\Delta B / \Delta t) \times \text{面积}$ (式中的 ΔB = 磁感应强度的变化量) 如果是电磁场, 已知它的电场值时, 其感应电压: $V_{cm} = (L \times h \times F \times E) / 48$, 公式适用于 $L(m) = 150 \text{ MHz}$ 以下, 超过这个限制, 最大感应电压的计算可简化为: $V_{cm} = 2 \times h \times E$ 。

(3) 差模场耦合: 指直接的辐射被导线对或电路板上的引线及其回路所感应接收。如果尽量靠近两根导线, 这种耦合会大大减小, 所以可以将两根导线绞在一起减小干扰。

(4) 线间耦合(串扰)可以使任何线等于并联电路间发生不希望有的耦合, 严重的将大大损害系统的性能。其种类可分为容性串扰和感性串扰。前者是因为线间的寄生电容使得噪声源上的噪声通过电流的注入耦合到噪声接收线上; 后者可以被想象成信号在一个不希望有的寄生变压器初次级间的耦合。感性串扰的大小取决于两个环路的靠近程度和环路面积的大小, 及所影响的负载的阻抗。

(5) 电源线耦合: 是指交流或直流电源线受到电磁干扰后, 电源线又将这些干扰传输到其他设备上。

PCB 设计中消除串扰的方法有如下几种。

(1) 两种串扰的大小均随负载阻抗的增大而增大, 所以应对由串扰引起的干扰敏感的信号线进行适当的端接。

(2) 尽可能地增大信号线间的距离, 可以有效地减少容性串扰。进行接地层管理, 在布线之间进行间隔(例如对有源信号线和地线进行隔离, 尤其在状态发生跳变的信号线和地之间更要进行间隔) 和降低引线电感。

(3) 在相邻的信号线间插入一根地线也可以有效减小容性串扰, 这根地线需要每 $1/4$ 波长就接入地层。

(4) 对于感性串扰, 应尽量减小环路面积, 如果允许的话, 消除这个环路。

(5) 避免信号共用环路。

(6) 关注信号完整性: 设计者要在焊接过程中实现端接来解决信号完整性。采用这种办法的设计者可专注屏蔽用铜箔的微带长度, 以便获得信号完整性的良好性能。对于在通信结构中采用密集连接器的系统, 设计者可用一块 PCB 作端接。

4 电磁干扰(EMI)

随着速度的提升, EMI 将变得越来越严重, 并表现在很多方面上(例如互连处的电磁干扰), 高速器

件对此尤为敏感, 它会因此接收到高速的假信号, 而低速器件则会忽视这样的假信号。

PCB 设计中消除电磁干扰的方法有如下几种。

(1) 减小环路: 每个环路都相当于一个天线, 因此我们需要尽量减小环路的数量、环路的面积以及环路的天线效应。确保信号在任意的两点上只有唯一的一条回路路径, 避免人为环路, 尽量使用电源层。

(2) 滤波: 在电源线上和在信号线上都可以采取滤波来减小 EMI, 方法有三种: 去耦电容、EMI 滤波器、磁性元件。EMI 滤波器如图 7 所示。

(3) 屏蔽。由于篇幅问题, 再加上讨论屏蔽的文章很多, 不再具体介绍。

(4) 尽量降低高频器件的速度。

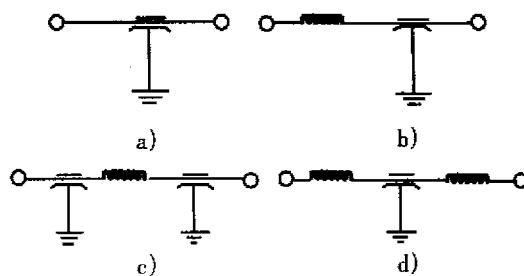


图 7 EMI 滤波器的类型

(5) 增加 PCB 板的介电常数, 可防止靠近 PCB 板的传输线等高频部分向外辐射; 增加 PCB 板的厚度, 尽量减小微带线的厚度, 可以防止电磁线的外溢, 同样可以防止辐射。

讨论到此, 我们可以总结一下: 在高频 PCB 设计中, 我们应该遵循下面的原则。

(1) 电源与地的统一, 稳定。

(2) 仔细考虑的布线和合适的端接可以消除反射。

(3) 仔细考虑的布线和合适的端接可以减小容性和感性串扰。

(4) 需要抑制噪声来满足 EMC 要求。

参考文献:

- [1] 廉承恩. 微波技术基础[M]. 西安: 电子科技大学出版社.
- [2] Michel Mickuian. 电磁干扰排查与故障解决[M]. 刘萍译. published by Mc Graw Hill CORP.
- [3] 陈邦媛. 射频通信电路[M]. 北京: 科学出版社.

收稿日期: 2002-10-28

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>



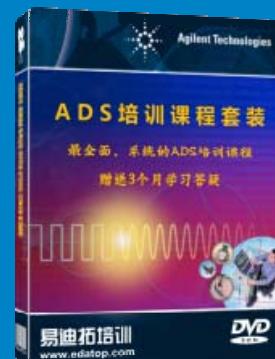
射频工程师养成培训课程套装

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>