

PCB 抗干扰技术设计

Anti-interference Technology in PCB Design

马宁 陈元娣 张国安 空军雷达学院雷达装备管理与应用工程系（武汉 430019）

Ma Ning Chen Yuandi Zhang Guoan

Department of Radar Equipment Management & Application Engineering, AFRA (430019)

摘要:简要叙述了影响印制板抗干扰性能的几个因素,对这些因素进行了理论分析,提出了印制板制作过程中应采取的措施。

关键词:抗干扰技术 印制板 电磁兼容性

Abstract: Some factors influencing PCB anti-interference performance are described briefly in this paper, and theoretical analysis is done for them. Then some necessary measures that should be done in PCB manufacturing are given.

Keywords: Anti-interference technology; PCB; EMC

1 前言

电磁兼容性 EMC 是指电子系统在规定的电磁环境中按照设计要求能正常工作的能力。电子系统所受的电磁干扰不仅来自电场和磁场的辐射,也有线路公共阻抗、导线间耦合和电路结构的影响。在研制设计电路时,我们也希望设计的印制电路板尽可能不易受外界干扰的影响,而且它本身也尽可能小地干扰影响别的电子系统。影响印制板抗干扰性能的因素很多,其中主要有:铜箔的厚度,印制导线的宽度、长度和相邻导线之间的串扰,板内元器件布局的合理性,以及导线的公共阻抗、导线和元器件在空间产生的电磁场等。

设计印制板首要的任务是对电路进行分析,确定关键电路。这就是要识别哪些电路是干扰源,哪些电路是敏感电路,弄清干扰源可能通过什么路径干扰敏感电路。在模拟电路中,低电平模拟电路往往是敏感电路,功率放大器往往是干扰源。工作频率较低时,干扰源主要是通过线间耦合来干扰敏感电路;工作频率较高时,干扰源则主要是通过电磁辐射来干扰敏感电路。在数字电路中,高速重复信号,如时钟信号、总线信号等含有丰富的频率分量,是最大的干扰源,常对敏感电路构成威胁。复位电路、中断电路等是敏感电路,易受尖峰信号干扰,使数字电路不能正常工作。输入/输出电路(I/O)和外界相连,也应该特别注意。如果 I/O 电路紧靠时钟线等干扰源,不需要的高频能量就会耦合到输入输出电线,电线上的噪声则会通过辐射或传导对电缆附近的敏感电路产生干扰。

在对电路进行充分分析,确定关键电路的基础上,还必须适当地在印制板上布置电路。如对于数字电路,应该把高速电路(如时钟电路、高速逻辑电路等)、中低速逻辑电路和 I/O 电路布置在不同的区域,尽量在空间上把干扰源和敏感电路分开,这样

可以使干扰源对敏感电路辐射干扰大大减小。

2 印制板抗干扰设计

PCB 板抗干扰设计的目的是减小 PCB 板的电磁辐射和 PCB 板上电路之间的串扰。另外 PCB 的地线设计还直接影响 I/O 线缆的共模电压辐射。因此 PCB 的抗干扰设计对于减小系统电磁信息辐射具有重要的意义。

2.1 PCB 的布局设计

印制电路板(PCB)的密度越来越高,PCB 设计的好坏对抗干扰能力影响很大,所以 PCB 的布局在设计中处于很重要的地位。

特殊元器件的布局要求:

- 1、高频元器件之间的连线越短越好,尽量减少相互间的电磁干扰;易受干扰的元器件不能相距太近;输入和输出元件应尽量远离;

- 2、有些元器件有较高的电位差,应加大它们之间的距离,减小共模辐射。带高电压的元器件的布置要特别注意布局的合理性;

- 3、热敏元件应远离发热元件;

- 4、解耦电容应靠近芯片的电源引脚;

- 5、对于电位器、可调电感线圈、可变电容器、微动开关等可调元件的布局应按要求放在便于调节的位置;

- 6、应留出印制板定位孔及固定支架所占用的位置。

普通元器件的布局要求:

- 1、按电路的流程放置各个功能电路单元的器件,使信号流通方向尽可能一致;

- 2、以每个功能电路的核心元件为中心,围绕它来进行布局,元器件应均匀、整齐的排列在 PCB 上,尽量减少和缩短各元器件

之间的引线和连接；

3、在高频下工作的电路，要考虑元器件之间的干扰，一般电路应尽可能使元器件平行排列，便于布线；

4、PCB 的 outplace-line 离电路板边缘一般不小于 80mil。电路板的最佳形状为矩形。长宽比为 3:2 或 4:3。

2.2 PCB 的布线设计

PCB 的布线密度越来越大，因此 PCB 的布线设计尤为重要。

1、四层板电源线层应与地线层尽量靠近以获得最小电源阻抗。从上到下分别为：信号线、地线、电源线、信号线。考虑电磁兼容性，六层板从上到下最好为：信号线、地线、信号线、电源线、地线、信号线；

2、时钟线要与地线层相邻，线宽尽量加大，每根时钟线的线宽应一致；

3、与地线相邻的信号层布高速数字信号线和低电平模拟信号线，较远的层布低速信号线和高电平模拟信号线；

4、输入输出端布线应尽量避免相邻平行，避免发生反馈耦合；

5、印制导线拐弯处一般取 135 度钝角；

6、电源线、地线的线宽应尽量加大，对于 0.5mm 脚间距的器件布线宽度不小于 12mil；

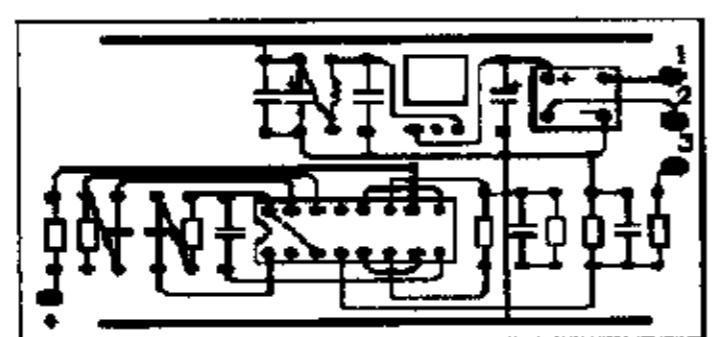
7、一般数字电路信号线宽度为 8mil—10mil，间距 6mil—8mil；

8、解耦电容引线不能太长，尤其是高频旁路电容不能有引线；

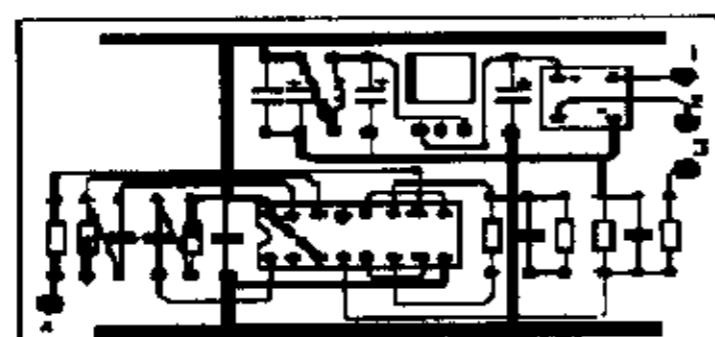
9、混合信号电路板上的数字地和模拟地分割开，若布线跨越了分割间隙，电磁辐射和信号串扰都会急剧增加，产生电磁兼容问题。因此，PCB 设计一般采用统一地，通过数字电路和模拟电路分区布局布线；

10、对于一些高速信号可采用差分对布线，减小电磁辐射。

3 试验事例



(a)



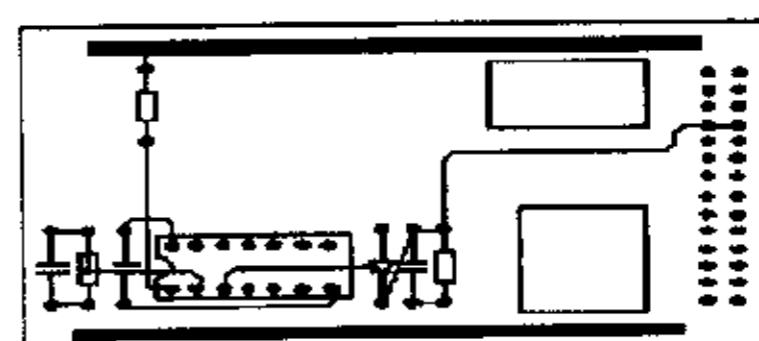
(b)

下面列出几个实际事例，说明不同原因带来的干扰及其实际解决办法。

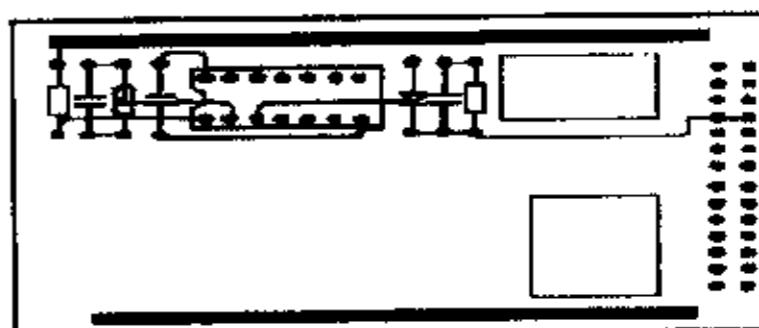
3.1 电源线和地线带来的干扰

上图取自某外协高压控保 PCB 的部分电路。(a)为原设计电路。由于电源线和地线的印制导线宽度太细，电路在工作时局受外界干扰；而(b)是经过改进后的电路，其电源线和地线加粗至 5mm，解决了电路的干扰问题。

3.2 元器件布局不合理带来的干扰



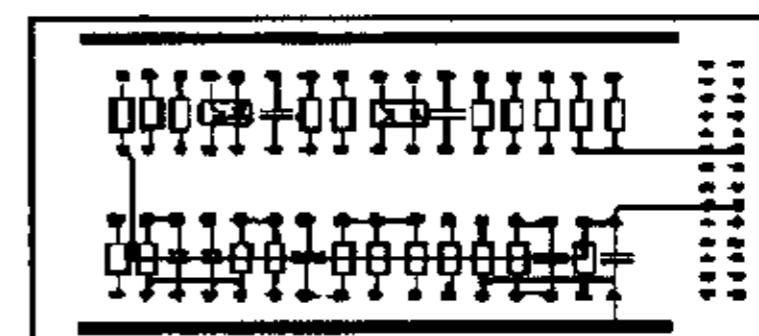
(a)



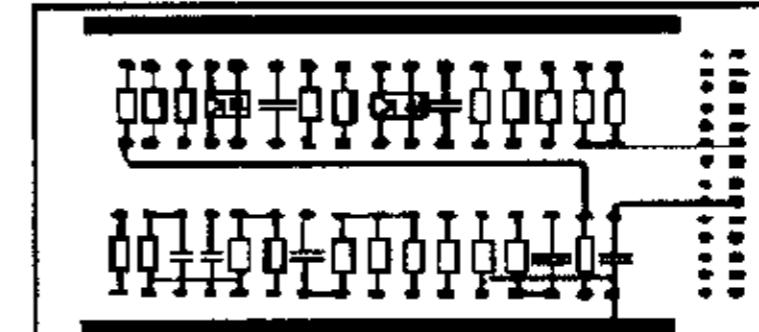
(b)

上图取自某雷达发射机磁场控保 PCB 的部分电路。改进后的 PCB 电路(b)较改进前的 PCB 电路(a)在抗干扰性能上有很大的改善。

3.3 布线不合理带来的干扰



(a)



(b)

上图取自某雷达 CFA 电源控保 PCB 的部分电路。(a)为原设计电路。由于布线时将高压取样信号线布于闭环取样回路中，使闭环取样电路在工作时易受外界的干扰，造成经常误报过压故障；而(b)是经过改进后的 PCB 电路，由于避开了高压取样信号线带来的干扰，改进后的 PCB 电路工作可靠稳定。

4 结语

多层印制板具有独特的抗干扰特性，随着大规模集成电路、超大规模集成电路的不断发展，人们将越来越多地采用多层印制板。在现代电子系统中，随着时钟频率的提高，芯片集成度的增加，PCB 设计的合理性和可靠性越来越重要，在设计中还需具体问题具体分析，以获得高质量的 PCB 设计。

(下转第 439 页)

式中, f —信号的频率(赫芝)

R —滤波器的电阻(欧)

R_L —负载的电阻(欧)

C —滤波器的电容(法)

$S = 2\pi f RC$

b. 高通滤波器

当干扰信号的频带低于有用信号的频带比较远时, 可采用高通滤波器来滤除干扰信号。

RC高通滤波器的信噪比为:

$$\delta_Y = [S^2 / (1 + S^2)]^{1/2} \quad (22)$$

式中, f —信号的频率(赫芝)

R —滤波器的电阻(欧)

C —滤波器的电容(法)

$S = 2\pi f RC$

c. LC 滤波器

当干扰信号的频带虽高于、但接近于有用信号的频带时, 可采用LC滤波器来滤除干扰信号。

LC滤波器的信噪比为(当 $L = C R_L^2$ 时):

$$\delta_Y = [(1 - \omega^2 LC)^2 + (\omega L / R_L)^2]^{1/2} \quad (23)$$

式中, f —信号的频率(赫芝)

R_L —负载的电阻(欧)

C —滤波器的电容(法)

L —滤波器的电感(亨)

$\omega = 2\pi f$

d. 选通滤波器

当干扰信号的频带为不连续时, 可采用选通滤波器来滤除干扰信号。

针对不同干扰信号的频带和负载, 可以应用LC选通滤波器或RC选通滤波器。其中LC选通滤波器分并联谐振式和串联谐振式两种型式。

5.3.2 数字电路

数字电路的电磁兼容设计方法:

(1) 在工作指标许可的条件下, 采用直流噪声容限高的数字电路。例如CMOS数字电路的直流噪声容限远高于TTL数字电路的直流噪声容限。

(上接第463页)

参考文献

- [1] 王水平编著:《电路设计与制板Protel99高级应用》,人民邮电出版社

(2) 在工作指标许可的条件下, 采用开关速度低的数字电路。因为开关速度越高, 由它引起的电压或电流的变化越快, 就越容易产生电路间的耦合干扰。

(3) 提高门槛电压: 可以利用在电路前设置分压器或稳压管的方法来实现提高门槛电压。

(4) 悬空长线的处理: 悬空长线具有天线效应, 易于接收电磁波而产生干扰。对此可用RC网络加以吸收, 或作不悬空处理。

(5) 采用负载阻抗匹配的措施, 即使负载阻抗等于信号线的波阻抗。这样一来将会消除数字信号在传输过程中, 由于折射和反射的作用而产生的畸变。比如, 在测量一个方波时, 如果阻抗不匹配, 示波器显示的将不是一个方波, 而是一种多次振荡的波形。其原因除了波形失真外, 还发生了方波信号的多次折射和反射。

6 结语

为了电子设备可靠的运行, 必须深入研究电磁兼容技术。本文用具体实例说明了电磁兼容的重要性和一些设计方法。特别注重要对电磁干扰源有明确认识, 对电磁干扰引入路径有清楚了解, 对电磁干扰敏感的接收电路进行重点保护。

参考文献

- [1] (美)B.E凯瑟:《电磁兼容原理》,电子工业出版社,1985。
 [2] (德)D.斯托尔:《工业抗干扰的理论与实践》,国防工业出版社,1985。
 [3] 蔡仁钢:《电磁兼容原理、设计和预测技术》,北京航空航天大学出版社,1997。

作者简介

阎秀生,男,副总工程师,研究员级高工。1986年毕业于哈尔滨工业大学激光专业,现从事电子工程总体等工作。

郭祥玉,男,研究员级高工。1967年毕业于哈尔滨工业大学电机系电器专业,先后在国防科委、中国科学院和信息产业部属研究所从事特种电器、特种电源和电磁兼容性等工作。

郭云志,男,助理工程师。2001年毕业于哈尔滨理工大学机械设计专业,现工作在大连重型工业集团有限公司设计院。

[2] 潘飞凡译:《电磁兼容设计手册》,电子工业部第十研究所出版

[3] 吕仁清、蒋全兴:《电磁兼容性结构设计手册》,东南大学出版社

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>