

DOI: 10.13718/j.cnki.xdzk.2014.08.030

# 电子设备中基于接地与屏蔽的电磁兼容性设计<sup>①</sup>

周 国 清

重庆电子工程职业学院 建筑与材料学院, 重庆 401331

**摘要:** 现代电子设备都是在复杂电磁环境下运行的, 针对电磁干扰常导致电子设备故障甚至安全事故, 探讨了电子系统的电磁兼容性设计. 文中对电磁干扰源作了剖析, 论述了电磁兼容性设计理念, 研究了抗电磁干扰的设计机理, 针对电子设备常出现的故障, 提出了抗电磁干扰的技术措施. 以某控制设备电磁兼容性设计采取的具体技术措施为例, 验证了抗电磁干扰的良好效果, 显著提高了控制设备的安全可靠性. 工程实践表明, 最重要的抗电磁干扰技术措施是系统的良好接地和屏蔽以及合理布线.

**关 键 词:** 电子设备; 电磁兼容性; 抗电磁干扰设计

**中图分类号:** TP273

**文献标志码:** A

**文章编号:** 1673-9868(2014)8-0185-04

随着微电子技术的快速发展, 电子设备应用越来越广泛, 电子系统的集成度越来越高, 但是在复杂电磁环境下, 电子系统对电磁干扰有明显的敏感性和脆弱性. 为了减少故障并杜绝事故的发生, 必须对电子设备进行电磁兼容性设计. 只要电子电气设备通电就会产生电磁场, 电生磁, 磁生电, 因此电磁环境是非常复杂的, 一方面要求使用电子设备时对周围的电磁环境不造成污染, 另一方面也要求该电子设备在现实电磁环境应用中不至于性能下降或发生故障以致产生严重事故. 因此必须对电子设备的电磁兼容性进行研究, 对电磁导致的干扰进行控制与防护<sup>[1-2]</sup>. 基于电磁兼容性设计的重要性, 以下对相关问题作某些探讨.

## 1 常见的电磁干扰现象及其分析

电磁及其感应现象是普遍存在的, 因此电子系统的电磁工作环境是非常复杂的. 从工程应用角度, 电磁干扰按工作频率的不同可将其进行分类. 例如, 一般电网中普遍存在谐波信号电压波动、电网频率变化与低频感应电压、电网电压不平衡、电网供电波动短暂下降与短时间中断等导致的低频传导干扰, 磁场与电场的低频辐射干扰; 由于感应连续波电压电流的振荡瞬变与单向瞬变引起的高频传导干扰, 电磁场(连续波、瞬态)与磁场、电场导致的高频辐射干扰; 由于材料的绝缘性能导致的静电放电干扰等. 上述提及的干扰包含了工程应用中绝大多数的电磁干扰现象.

在对电子系统进行抗干扰性能分析时, 必须对导致系统的固有特性及其应用环境进行综合分析. 电子电路系统中可能出现的电磁干扰类型有: 例如, 由于存在电路回路的公共阻抗耦合, 因而导致电路性的相互干扰; 由于干扰源与干扰对象之间存在着变化的电场, 通过电容耦合可能形成电容性干扰, 因其会产生干扰电压; 空间电磁波的电、磁场强度变化, 可能产生感电势导致的传导电流和传导电压的干扰; 在交变磁场干扰源中, 电流变化可能导致在电感性元件上产生感应电压, 因而产生电感性干扰等等.

① 收稿日期: 2014-02-20

基金项目: 重庆市教委支持科技项目(2012-09-3-314).

作者简介: 周国清(1968-), 男, 重庆人, 副教授, 主要从事建筑智能自动化工程方面的教学与科研工作.

## 2 电磁兼容性及其设计机理

### 2.1 电磁兼容性

随着电气及电子设备在现代化生产中的广泛应用,设备联接越来越复杂,功率越来越大,数量急剧增加,对设备要求也越来越高,频带日益加宽,设备灵敏度更高,因此电磁兼容性问题变得更加重要.电磁兼容(EMC, Electromagnetic Compatibility)的涵义是指处于电磁环境中的电子系统,任何其他事物都不可能对它构成不能承受的电磁干扰能力,且设备或系统都能够正常地工作.电磁兼容技术涉及通信、计算机、电子、生产、军事以及生活的各个方面,是一门正在迅速发展的交叉学科.电磁兼容是研究在有限空间、有限时间与有限频谱资源条件下,不同设备相互之间可以共存而不致相互影响的科学.由上述电磁兼容定义可知,电磁兼容的涵义包括:设备对周围其他设备不产生不能承受的干扰,其本身也不受其他设备干扰的影响.电磁兼容性研究涉及多个方面,首先是对电磁干扰源自身特性的研究;其次,电磁发射强度、干扰机理与电磁干扰抑制方法以及电磁干扰的时频域特性等方面的研究,第三,特别值得注意的是设备自身抗电磁干扰性能的研究;最后,如何评价电磁辐射与传导特性等电磁兼容性,采用什么设备与测量方法对电磁干扰进行测量,如何处理测量数据与测量结果.从更大范围考虑,它还涵盖了系统内及系统间的电磁兼容性.电磁兼容性研究内容包括自然及人为电磁干扰源,如闪电现象与静电放电就是自然电磁干扰源,干扰源的测量包括开阔场地、辐射、传导与脉冲干扰的测量(电浪涌、快速瞬变脉冲群与静电放电),在实现电磁兼容性的技术方面有屏蔽、接地、绑接与滤波等,也包括采用特殊设计技术以抑制电磁干扰.

### 2.2 抗电磁干扰设计机理

要构成电磁干扰必须同时具备三个条件:其一,必须有干扰源存在,没有干扰源存在,显然不可能对设备产生电磁干扰;其二,有传播电磁干扰的通道存在,否则不可能形成对设备的电磁干扰;其三,设备要能够接收到干扰信号,并直接影响到设备的正常工作,因此即使设备接受到了干扰,如果采取技术措施可消除其对设备的干扰.例如,一个鲁棒性很强的设备,是不会受到电磁干扰影响的.抗电磁干扰设计机理就是要采取电磁兼容性设计,使上述三个条件不同时具备,以达到提高设备抗电磁干扰的目的.

以电子设备抗干扰设计为例,因为设备中高频干扰特别突出,首先是对设备发射的射频能量进行控制,使其尽可能地小以免干扰其它设备,其次,为了设备不受到外界干扰,必须尽量减小进入该设备的射频能量.电磁干扰可以借助辐射或者传导传输两种方式实现,如干扰源能量直接辐射到控制线、信号线与电源线进入设备后,可通过公共信号、控制电缆或公共电源线等耦合途径直接干扰设备的正常工作.因此,可在设备端口或敏感回路,采用共模或差模抗干扰措施,最大限度地减少对其影响,降低辐射与传导的能量,提高设备的抗干扰性能,其抗电磁干扰设计机理就是杜绝同时满足上述的三个必备条件<sup>[3-4]</sup>.基于此,其抗电磁干扰设计的技术措施可以是各种各样的,随着技术的进步,可采取的技术措施会越来越丰富,以保证设备设计的电磁兼容性.

## 3 抗干扰设计策略

抗电磁干扰设计就是在复杂电磁频谱环境下,采用综合技术措施以保障电子设备正确发挥效能.按照抗电磁干扰设计机理,首先是抑制干扰源以防范电磁干扰;其次是采取防电磁干扰措施,以阻断干扰传播途径;最后,是降低电子设备对干扰的敏感度,或者提高电子设备的鲁棒性性能,以预防与抑制电磁干扰.针对电子系统的电缆接插件、印制板布局、信号布置,抑制干扰布线、元器件、滤波器、接地与旁路等环节可能引入的电磁干扰信号,可采用隔离、电路阻抗控制、滤波、解耦、密封、接地、屏蔽、正确布线等抗电磁干扰措施<sup>[5-8]</sup>.

### 3.1 PCB 版的合理布局与布线设计

在电路布局方面,电源、模拟与数字电路的元件布局和布线是不同的,在元件布局时应将其分别放置,

应将高、低频电路分开, 尽可能将其各自隔离, 注意信号传输方向、途径以及强、弱信号的器件分布相互之间不要产生干扰。对于容易产生噪声干扰的电路, 如时钟发生器、晶振与 CPU 时钟等的输入端等, 应当相互尽可能地靠近些, 以便于合理布局整个 PCB 版, 减少干扰源。强弱电流不同的电路与易产生噪声的器件应尽可能远离逻辑电路。最大限度地减少信号通路与电路元件布局中无用信号的相互耦合。为避免模拟、数字电路产生公共阻抗耦合, 将低电平的模拟与数字电路分开, 并且远离无滤波的电源和高电平信号线; 在 PCB 版布局上, 应将不同的高、中、低速逻辑电路分别布局于不同的区域, 确保同层相邻布线、同板相邻层、相邻板之间的平行信号线尽可能长度最小; EMI 滤波器放置于同一线路板并尽可能靠近 EMI 源; 整流器、DC/DC 变换器与开关元件与变压器的放置位置应当尽可能地靠近以缩短导线长度。滤波电容器、调压元件与整流二极管的放置位置也应当尽可能地靠近, 以减少对外部的干扰; 噪声与非噪声元件尽量远离, 将印刷电路板按电流开关特性与频率分区, 杜绝大电流、高速开关线与噪声敏感布线相互平行。

在 PCB 版电路布线方面, 为了提高电磁兼容性, 可以采取以下的布线策略: 为避免集中电场耦合到较强噪声的相邻路径, 在转弯处路径采用  $45^\circ$  以避免直角布线; 在传送高频与敏感信号路径上不采用短截线, 以避免在短截线上产生振荡; 保持从驱动到负载的路径宽度不变, 以避免产生反射导致线路阻抗不平衡; 在多个 PCB 板地线连接时, 为了避免短截线信号路径, 必须杜绝采用树型排列的高速和敏感信号线, 同样也要杜绝辐射型排列的高速和敏感信号线, 以避免产生反射和辐射干扰; 密集的电源和地层过孔会导致电源阻抗增加, 电源在该点形成高阻抗, 影响射频电流传递, 因此应当避免过孔密度过大; 所有敷铜区直接连接到地, 避免敷铜区变成辐射天线; 除上述常用的布线策略外, 其它布线策略这里就不讨论了。

### 3.2 接地系统设计

接地系统设计是复杂的, 要考虑的因素很多。电磁屏蔽有利于电磁干扰的相互隔离, 在电子设备中, 如将屏蔽与接地结合使用, 那么电子设备中的绝大部分电磁干扰问题是可以获得解决的。为了使接地系统的接地阻抗最小, 接地系统设计可以采用以下技术措施。

① 接地点选择。低频电路中电感影响较小, 为避免多点接地形成环流导致干扰, 在工作于 1 MHz 频率以下时, 应采用单点接地。高频电路中电感影响较大, 在工作于 10 MHz 频率以上时, 可采用就近多点接地, 地线应短而粗, 以降低地线阻抗。

② 数字电路与模拟电路接地必须严格分开, 并且分别与电源端地线相连, 两者地线不可以相混, 此外, 还要注意尽量加大模拟电路的接地面积, 以减少接地阻抗。

③ 由于导体电感与导体长度成正比而与直径成反比, 因此接地线应尽量短而粗, 使其可通过三倍于印刷线路板的允许电流, 以提高抗噪能力。

④ 数字电路的接地线应当构成闭环路, 避免耗电量加大时加大电位差值, 以提高 PCB 抗噪声能力。

⑤ 为了减少接地阻抗, 将多层线路板的其中一层作为接地层并起屏蔽作用, 一般将印刷板周边布作地线。

⑥ 在电源板面和接地板面的绝缘薄层间存在电容, 将其放置在相邻层可构成去耦电容, 从而提高高频率响应特性。

⑦ 低速电路和元件的分布与放置应当尽量使其靠近电源面, 而高速电路和元件的分布与放置应当尽量使其靠近接地面。

⑧ 多电源供电时, 各个电源应当分开接地。

电子设备接地系统结构复杂, 有多种接地方式, 如数字系统(逻辑地)和模拟系统接地, 机壳接地(屏蔽地)与系统接地等, 接地技术在多层与单层 PCB 板中都有广泛应用, 其目标是实现接地阻抗的最小化, 减少接地回路电势的不良影响。

## 4 结束语

随着微电子技术的快速发展, 电子设备更新换代越来越快, 电磁兼容性设计变得更加重要。但是电子

设备设计的成功经验表明,如将屏蔽与接地措施结合使用,就可对外部产生的电磁干扰进行抑制,解决电子设备中的绝大部分电磁干扰问题.

#### 参考文献:

- [1] 黄益庄. 变电站智能电子设备的电磁兼容技术 [J]. 电力系统保护与控制, 2008, 36(15): 6—9.
- [2] 黄海, 张辉, 华栋. 变电站内的电磁干扰及电磁兼容问题 [J]. 电力建设, 2002(2): 32—33.
- [3] 顾海洲, 马双武. PCB 电磁兼容技术——设计实践 [M]. 北京: 清华大学出版社, 2004.
- [4] 王培清, 李迪译. 电子系统中噪声的抑制与衰减技术 [M]. 北京: 电子工业出版社, 2003.
- [5] 黄伟. 浅议可编程控制器控制系统的可靠性 [J]. 装备制造技术, 2008(9): 152—154.
- [6] 熊幸明, 张文希. PLC 控制系统可靠性设计的研究 [J]. 煤矿机电, 2004(3): 13—16.
- [7] 庄晓芸, 李永明, 马俊. 同塔四回路输电线的三维空间电磁干扰 [J]. 重庆理工大学学报: 自然科学版, 2012(5): 51—56, 85.
- [8] 邓皓, 李军, 张兰勇. 基于小波分析的电磁兼容自动测试系统设计 [J]. 四川兵工学报, 2013(4): 86—90.

## Design of Electromagnetic Compatibility in Electronic Devices Based on Grounding and Shielding

ZHOU Guo-qing

*School of Architecture and Materials, Chongqing College of Electronic Engineering, Chongqing 401331, China*

**Abstract:** Modern electronic devices commonly operate in a complicated electromagnetic environment. As electromagnetic interference frequently results in failures or even accidents of electronic devices, the design of electromagnetic compatibility of electronic systems is explored in this paper. First, the sources of electromagnetic interference are analyzed, the design idea of electromagnetic compatibility is elaborated and the design mechanism of anti-electromagnetic interference (anti-EMI) is researched. Then, with the common faults appearing in electronic devices in mind, the technical countermeasures of anti-electromagnetic interference are put forward. Taking as an example the specific measures of electromagnetic compatibility design adopted by a certain control device, the paper demonstrates that the electromagnetic compatibility design has satisfactory effect of anti-EMI and has significantly improved the safety and reliability of the control device. Engineering practice shows that the most important technical measures of anti-EMI are good grounding and shielding and reasonable wiring of the system.

**Key words:** electronic device; electromagnetic compatibility; anti-electromagnetic interference design

责任编辑 汤振金

