

· 电路与控制 ·

## 电子设备抑制电场辐射发射工程设计及改进

侯宇<sup>1</sup>, 刘蒙<sup>1</sup>, 张成刚<sup>2</sup>

(1. 中国电子科技集团公司光电研究院, 天津 300000; 2. 72506 部队, 河南 驻马店 463219)

**摘要:** 从 PCB、接地、屏蔽、滤波等几方面介绍了电子设备抑制电场辐射发射的设计措施, 就可能导致电场辐射发射试验超标的情况进行了说明。结合工程案例, 对试验过程中的辐射超标问题进行理论分析, 详述了改进设计中使用的铁氧体磁环的滤波原理, 提出了如何根据试验数据选择合适铁氧体的设计方法, 并结合试验证明所进行的理论分析合理, 所采取的设计措施有效。

**关键词:** 电磁兼容; 辐射发射; 铁氧体磁环

中图分类号: TN713

文章标识码: A

文章编号: 1673-1255(2014)-03-0048-04

## Design and Improvement Engineering of Suppressing Electric Field Radiation from Electronic Equipment

HOU Yu<sup>1</sup>, LIU Meng<sup>1</sup>, ZHANG Cheng-gang<sup>2</sup>

(1. Academy of Opto-Electronics, China Electronics Technology Group Corporation (AOE CETC), Tianjin 300000, China;  
2. 72506 Army Unit, Zhumadian 463219, China)

**Abstract:** From several aspects such as printed circuit board (PCB), grounding, shielding and filtering, the design measures to suppress the electric field radiation from electric equipments are introduced. With engineering examples, the issues radiation standard exceeding limit in tests are analyzed. The filtering principle of ferrite bead in the improved design is introduced in detail. The design method to choose appropriate ferrite bead based on tests data is proposed. The tests results show that the academic analysis is reasonable and the design measures are effective.

**Key words:** electromagnetic compatibility (EMC); radiation; ferrite bead

优良、可靠设备的电磁兼容设计能力是产品的核心竞争力之一。为保证企业产品的竞争力, 必须做好电磁兼容设计, 确保产品质量。电磁兼容设计中抑制电场辐射发射一直是重点和难点, 为通过电场辐射发射试验, 往往需进行多次整改甚至颠覆设计, 同时在整改过程中缺少理论依据, 一般采用工程试错的手段, 这就加大研制周期、提高了设计成本。对此文章介绍了电子设备如何有效进行电磁兼容设计, 结合工程案例论述了电磁兼容设计方法, 及在试验失败后, 根据试验数据进行的分析改进。

### 1 电子设备抑制辐射发射的工程设计

电场辐射实质是设备壳体和互联电缆的辐射发

射。抑制电场辐射发射通常采用的设计措施包括: PCB 设计、接地设计、屏蔽设计及滤波设计<sup>[1]</sup>。以上设计措施相辅相成, 采用一项或几项设计有可能通过该项试验, 但无疑会冒较大风险, 一旦不能通过试验将造成设计的反复, 加大研制成本, 完善的电磁兼容设计往往通过综合的措施实现。

#### 1.1 PCB 设计

PCB(或称电路板)是干扰信号的辐射源, 合理地进行 PCB 设计, 可有效减少电场辐射, 从根源上抑制干扰发射。PCB 设计应注意以下几点。

(1) 合理的布线

印制线粗细适度, 阻抗匹配以减小印制板电路

的辐射;电路板走线不用长的平行线,尽量避免印制板内平行印制线的数量;PCB顶层、底层设计接地栅网,抑制辐射发射;电源线、地面采用星形布线方式,强弱信号应分开;减小电源线、地线的回路面积,若回路面积为零,阻抗为零,差模电磁骚扰发射为零<sup>[2]</sup>。

### (2)合理的布局

PCB布局时,应先进行物理区分和电器区分,确定元器件板上的位置,然后布置地线、电源线,再安排高速信号线,最后考虑低速信号线。布局时,元器件的位置应按电源电路、数字电路、模拟电路、速度快慢、电流大小等进行分组。根据元器件的位置确定印制板连接器各引脚的布局。所有连接器应安排在印制板的一侧,尽量避免从两侧引出线,减少共模辐射<sup>[3]</sup>。

## 1.2 接地设计

接地设计对于抑制电场辐射发射来说是一项重要的设计,是解决EMC问题最有效和最廉价的方法。接地就是为电流流回源提供一个低阻抗路径,系统基准与大地相连,可抑制电磁骚扰,金属外壳连接大地,可以提供静电电荷的泄露通路,防止静电积累。

对一般低频直流用电设备,信号地或参考地应采用并联单点接地方式,对于有电源滤波器件的系统,应注意每个分机的信号地应接至滤波后地,不可将采用就近接地方式,否则滤波器将失去滤波效果;屏蔽地应采用就近接地方式,为干扰信号提供快速的释放途径;电源地应采用单点方式在输入端与屏蔽地连接。

## 1.3 屏蔽设计

屏蔽是电磁兼容设计中最广泛、最有效的设计方法。通过反射、吸收等方式,抑制10 kHz以上电磁骚扰,切断耦合途径。屏蔽的效果不仅与屏蔽材料有关,而且与材料的厚度、应用频率、辐射源到屏蔽层的距离以及屏蔽层的形状和数量有关。

完美的屏蔽应是一个无缝的箱体,但在实际中必然存在许多泄漏源,如结合处的接缝、螺钉、指示灯、连接器等。电场辐射发射试验超标,往往是因为屏蔽的设计缺陷造成,对屏蔽进行整改也是最快捷、最廉价的方式。在屏蔽的设计和整改中,应依据相关标准设计螺钉的间距与螺钉螺纹长度;注意接缝

处导电连续性的工艺处理,需经常拆卸以致可能影响工艺性的接缝处,应设计条形导电密封衬垫;连接器与机箱的搭接采用导电胶垫;电缆必须使用防波套进行电磁防护,特别需注意防波套与连接器的搭接,采用有屏蔽设计的连接器尾附<sup>[4]</sup>。

## 1.4 滤波设计

滤波包括电源线滤波和信号线滤波。对电源线的滤波一般采用滤波器,设计时需注意滤波器外壳应与机箱屏蔽地连接,滤波器应安装在电源线入口处<sup>[5]</sup>;信号线滤波可采用电阻、电容、电感、铁氧体等,阻容器件一般应用于印制板的滤波设计,对于输入输出信号线,可采用穿心电容、铁氧体等器件。

## 2 设计实例

某电子设备设计初始针对电场辐射发射,结合设计规范及工程经验,采取了多项设计措施,主要设计措施如下:(1)设备内部采用金属隔离舱的设计形式,对电源信号、高频信号进行隔离;(2)PCB板的器件布局合理、印制线粗细适度,阻抗匹配及降低信号幅度以减小PCB电路的辐射;(3)电源线采用低通滤波器进行滤波;(4)尽可能减少机箱内部接线;(5)设备外壳结构件间的装配接合处采用电磁密封衬垫、导电胶、导电橡胶条密封,以达到外壳的导电连续性,增强屏蔽效果;(6)设备面板上的电连接器安装时,安装部位处的面板要有良好的导电性(不能有漆膜),在电连接器的法兰盘下面要使用电磁密封衬垫;(7)设备连接电缆应尽可能的短,对特殊信号线应采取双绞屏蔽线,电缆应有屏蔽护套,电缆的屏蔽层保证良好接地;(8)信号地采用单点接地,屏蔽地采用多点就近接地;(9)设备电连接器安装屏蔽尾附件,确保良好的电磁屏蔽效果。

## 3 电场辐射发射试验情况

该设备首次进行电场辐射发射试验时未通过该项试验,试验测试波形见图1。试验要求设备的电场辐射发射不能超过34 dB,如图1所示该设备在14 MHz频点电场辐射峰值达38 dB,超出允许范围。用探头对设备电磁泄漏点进行排查,发现在机壳连接器处存在较强电磁泄露,其他部位无泄露。

根据以上现象可得出,辐射源应为设备晶振(晶振频率为14 MHz);外壳其他密封处无泄露,搭接及屏蔽满足要求;泄露点为机壳连接器及连接导线,辐射信号通过耦合方式从连接器及电缆发射出去,造成测试超标。检查连接器及电缆,其屏蔽措施完善,辐射超标原因应为信号辐射强度超出屏蔽层屏蔽效能。

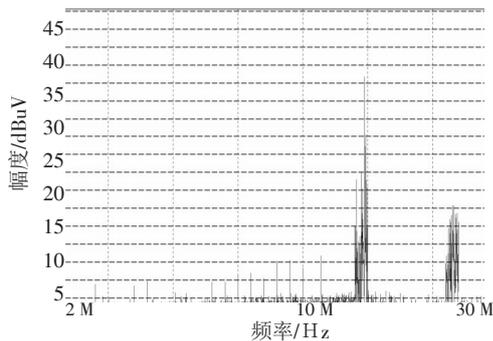


图1 首次试验测试波形

## 4 改进及验证

### 4.1 改进

根据试验现象及检查分析结论,对该设备的改进应从信号衰减方面进行,对电子设备的输入输出信号,可采用穿心电容或铁氧体器件进行衰减滤波,案例采用铁氧体磁环对于干扰信号进行衰减滤波。

铁氧体元件就是一种常用的有耗元件,在阻带内,将高频骚扰吸收后,转化为热损耗<sup>[6]</sup>。铁氧体元件对不同频率的敏感度不同,当安装铁氧体元件时,低频信号将通过,信号不会有明显降低,但在一定频率以上信号与铁氧体耦合产生很高的阻抗,铁氧体阻抗特性见图2<sup>[7]</sup>。

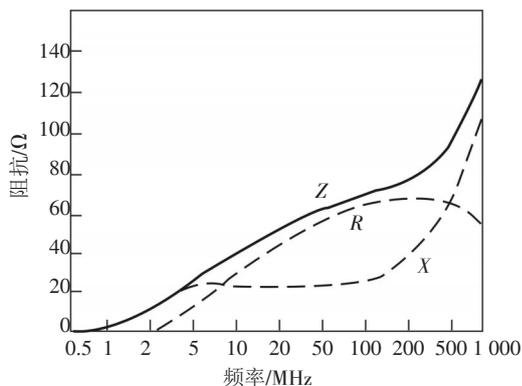


图2 铁氧体阻抗特性

选择合适的铁氧体元件,需明确需要最大的衰减频率;需要的衰减量;铁氧磁导率与相关问题频率有关的计算特性;铁氧体配置的一致性;安装环境和结构匹配要求。确定以上信息后,通过式(1)进行计算<sup>[8]</sup>,求出 $Z_{sc}$ (需要的铁氧体阻抗),再查阅铁氧体产品技术手册选择满足需求的元件。

$$I_L = 20 \lg[(Z_s + Z_{sc} + Z_L) / (Z_s + Z_L)] \text{ dB} \quad (1)$$

式中, $I_L$ 为插入衰减; $Z_s$ 为源阻抗; $Z_{sc}$ 为铁氧体阻抗; $Z_L$ 为负载阻抗。其中 $Z_s + Z_L$ 可以理解为设备环路的等效阻抗; $I_L$ 为需要的衰减量。

在案例中,根据试验情况可明确,需要在14 MHz频点至少衰减4 dB,设计中按衰减10 dB选择元件,设备环路的等效阻抗 $Z_s + Z_L = 25$ ,使用式(1)可得

$$10 \text{ dB} = 20 \lg[(25 + Z_{sc}) / 25] \quad (2)$$

$$Z_{sc} = 54$$

查阅铁氧体产品技术手册,找到在14 MHz时阻抗靠近54 Ω的铁氧体磁环,采用该型号元件对设备进行改进,在机壳连接器尾部加装安装板安装磁环,使每根输入输出信号线均穿过磁环。

### 4.2 验证

改进后设备再次进行电场辐射发射试验,试验顺利通过,试验波形见图3。如图3所示,超标频点得到有效压制,14 MHz频点的辐射发射由原38 dB压制到27 dB,试验证明所进行的分析正确,改进措施有效。

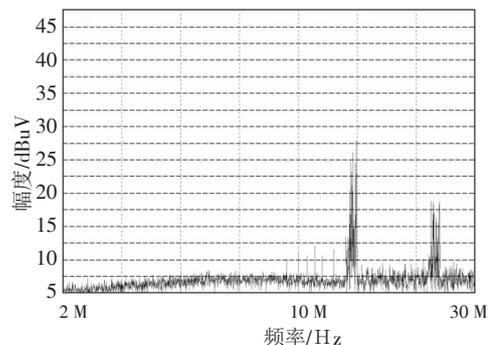


图3 改进后测试波形

## 5 结束语

随着电子设备的日益复杂,信号频率越来越高,电场辐射更加难于控制,现代电子产品采用单一的电磁兼容设计方法,或根据以往的经验进行电

磁兼容设计已不能满足要求,抑制电场辐射发射的设计需要采用综合化的手段进行。已有较完善的电磁兼容设计但仍未通过试验,应根据试验数据进行分析排查,找出问题所在,如文中通过分析计算选择适合补救措施,保证再次试验的顺利通过。

#### 参考文献

- [1] 郑军奇. EMC 电磁兼容设计与测试案例分析[M]. 北京: 电子工业出版社, 2010: 187-188.
- [2] 陈伟化. 电磁兼容使用手册 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2000: 154-156.

- [3] 白同云. 电磁兼容设计实践 [M]. 北京: 中国电力出版社, 2007: 106-110.
- [4] 张秋菊. 电子设备电磁兼容性分析与设计[J]. 光电技术应用, 2011, 26(3): 63-64.
- [5] 王培清, 李迪. 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: 90-95.
- [6] 孙京昇. 电磁兼容器件知识介绍[J]. 医疗器械导航, 2010: 5-6.
- [7] 程浩, 谢桂林. 开关磁阻发电机系统研究[J]. 电子技术学报, 2001: 16(6): 7-12.
- [8] 杨克俊. 电磁兼容原理与设计技术[M]. 北京: 人民邮电出版社, 2011: 88-90.

(上接第 29 页)

合并,结果如图 5 所示。可以看出,合并后的区域特征相似性较好,较好地解决了传统图像分割算法存在的过分割现象。

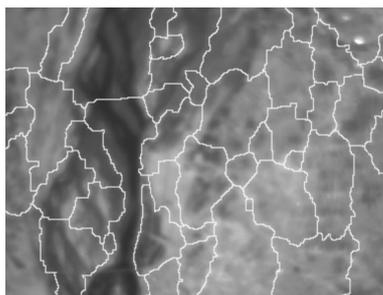


图5 区域特征合并后结果

## 4 结 论

采用的分水岭变换结合区域特征合并的图像分割方法,实现了对图像的自适应分割,较好地解决了传统方法存在的过分割现象。但是,采用目标区域平滑性合并方法存在将不同灰度特征区域合并的现象,如何实现该方法与图像灰度特征相结合是后期研究工作的重点。

#### 参考文献

- [1] RICHARD N, FRANK N. Statistical region merging [J].

- IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2004, 26(11):1-7.
- [2] PAUL B, XHANG L, WUX. Canny edge detection enhancement by scale multiplication [J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2005, 27(9):1485-1490.
- [3] VINCENT L. Graphs and mathematical morphology [J]. Signal Processing, 1989, 16(4):365-388.
- [4] MEYER F. Topographic distance and watershed lines [J]. Signal Processing, 1994, 38(1):113-125.
- [5] 图像工程[M]. 北京: 清华大学出版社, 2005: 399-427.
- [6] 卢中宁, 强赞霞. 基于梯度修正和区域合并的分水岭分割算法[J]. 计算机工程与设计, 2009, 30(8): 2075-2077.
- [7] 唐黎, 程胜. 基于分水岭与图像的自动分割方法[J]. 北京航空航天大学学报, 2012, 38(5): 636-647.
- [8] 王振杰, 盛焕焯. 一种基于边缘梯度的图像分割方法[J]. 计算机应用研究, 2004, (4): 247-254.
- [9] 李苏祺, 张广军. 基于邻接表的分水岭变换快速区域合并算法[J]. 北京航空航天大学学报, 2008, 34(11): 1327-1348.
- [10] 杨海峰. 基于改进分水岭及区域合并的图像分割方法 [J]. 微计算机应用, 2007, 28(11): 1132-1137.
- [11] 高红波, 王卫星. 一种二值图像连通区域标记的新算法 [J]. 计算机应用, 2007, 27(11): 2776-2785.
- [12] 邵明, 徐向纭. 分水岭变换和统计区域合并的图像分割算法研究[J]. 中国计量学院学报, 2012, 23(4): 273-278.