

# 空间电子设备电路板可靠性可测试性设计检查

曲利新

(中国科学院 长春光学精密机械与物理研究所, 吉林 长春 130033)

**摘要:**为了提高空间电子设备可靠性和可测试性设计的工作质量,采取在印制电路板生产前对其进行可靠性和可测试性设计检查的方法,可以提前在产品研发设计阶段发现可靠性和可测试性设计的不足,有针对性的加以改进,就能进一步提高产品质量与可靠性。列举了印制电路板可靠性可测试性设计检查要点,具有实际工程应用价值。

**关键词:**空间电子设备; 电路板; 可靠性设计; 可测试性设计; 检查

中图分类号: TN21-34

文献标识码: A

文章编号: 1004-373X(2011)19-0176-03

## Reliability and Testability Design Check for Circuit Board of Space Electronic Equipment

QU Li-xin

(Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics, Chinese Academy of Sciences, Changchun 130033, China)

**Abstract:** In order to improve the quality of reliability and testability design for space electronic equipment, the method of reliability and testability design check before printed circuit board manufacture is proposed. Thus, the disadvantages of reliability and testability in the process of research and development can be found as soon as possible for which the design can be changed properly to improve the quality and reliability of products. The key points of design check of reliability and testability for printed circuit board are listed. These points are valuable for engineering application.

**Keywords:** space electronic equipment; printed circuit board; reliability design; testability design; check

### 0 引言

空间环境是除陆地、海洋和大气以外人类生存的第四个环境。空间环境中所说的空间通常指地面上几十千米高度以上的广大宇宙区域。主要的空间环境要素有:中性大气、电离层等离子体、地球基本磁场、高能带电粒子(太阳宇宙线、地球辐射带、银河宇宙线)和空间碎片、流星体等<sup>[1]</sup>。

空间电子设备经历的环境非常复杂,包括气动力、振动、噪声、加速度、冲击、微流星、真空、冷黑、太阳辐射、磁场、原子氧、等离子体、质子、电子等。在设备研制过程中,对这些因素完全考虑是不可能的也是没有必要的,但空间电子设备作为飞行器的有效载荷,上述环境因素对其高可靠的完成工作任务产生巨大影响<sup>[1]</sup>。

空间电子设备的可靠性设计包括:热设计、电磁兼容设计、抗辐射环境设计、抗力学环境设计、静电放电控制设计、元器件降额设计等6个方面。

空间电子设备以印制电路板(PCB)为主要装配方式,而印制电路板设计是电路原理图变成电子产品的关键设计工序,其可靠性可测试性设计与产品质量紧密相关。对于从事空间电子设备设计的工程人员来说,印制

电路板设计的可靠性和可测试性是印制线路板设计的重要内容。事实证明,即使电路原理图设计正确,但印制电路板设计不合理,会对电子设备的质量与可靠性产生巨大的不利影响<sup>[2-5]</sup>。

### 1 电路板(PCB)可靠性设计检查

#### 1.1 PCB热设计检查

电子器件热设计的目的是确保元器件工作在允许的温度范围内,确保元器件的结温低于降额设计后允许的最高结温,以提高元器件的可靠性。

由于空间设备工作在真空状态,没有空气对流的传导散热路径,只有金属传导和辐射散热方式,所以将元器件产生的热量导入到与电路板紧密相连的金属壳体上,通过散热良好的壳体(金属框架),增加散热面积降低器件的工作温度。PCB热设计检查要点如下:

(1) 根据电子学设计的边界条件(空间真空环境),对重点发热元器件在印制电路板的位置和发热等情况,建立数学模型,进行EDA仿真热分析,计算元器件、印制板的温度,检验元器件工作温度范围是否满足要求,检验元器件的结温是否满足降额要求;

(2) 发热量大的元器件通过热管等散热器件将热量引出,元器件的散热途径(导热散热途径和辐射散热途径)是否通畅和连贯,同时,应尽可能使导热路径最短;

收稿日期:2011-04-02

基金项目:国家自然科学基金支持(61036015)

(3) 对于热功耗大的元器件,应在器件下面与电路板接地部分设计热过孔,填充金属材料,实现热传导功能;

(4) 应选择导热性能良好、热稳定性好、耐高温范围的印制电路板。

### 1.2 PCB 电磁兼容设计检查

电磁兼容性是指电子设备在各种电磁环境中仍能协调、有效地进行工作的能力。电磁兼容性设计的目的是使电子设备既能抑制各种外来的干扰,使电子设备在特定的电磁环境中能够正常工作,同时又能减少电子设备本身对其他电子设备的电磁干扰。印制电路板的电磁兼容设计是电子设备电磁兼容设计的基础,为提高空间电子设备的电磁兼容能力,应尽量设计多层印制电路板<sup>[2,6-8]</sup>。PCB 电磁兼容设计检查要点如下:

(1) 电路板上既有高速逻辑电路、又有线性电路,应使它们尽量分开,而两者的地线不能相混,分别与电源端地线相连,要尽量加大线性电路的接地面积;低频电路的地应尽量采用单点并联接地,实际布线有困难时可部分串联后再并联接地;高频电路宜采用多点串联接地,地线应短而粗。高频元件周围尽量铺设栅格状大面积地箔;

(2) 高低压电路之间要进行隔离。在许多印制电路板上同时有高压电路和低压电路,高压电路部分的元器件与低压部分的元器件要分隔开放置。为避免高压放电,在印制电路板上的高低压电路之间还需开槽进行隔离;

(3) 要把模拟信号部分、高速数字电路部分、噪声源部分合理地分开,使相互间的信号耦合为最小;

(4) 时钟、振荡器等高电平电路应与低电平、高敏感电路隔离;

(5) 印制电路板时钟导线、差分对导线、视频导线、音频导线、复位导线等易产生串扰和耦合的信号线的宽度和间距,应符合 3W 原则,即导线间距离间隔(导线中心间的距离)必须是单一导线宽度的 3 倍。一般情况下最小导线宽度应不小于 0.15 mm,导线间距应不小于 0.20 mm,有条件的情况下尽量放宽<sup>[9-11]</sup>;

(6) 在印制电路板的各个关键部位配置适当的退藕电容:电源输入端跨接 10~100  $\mu\text{F}$  的电解电容器;

每个集成电路芯片都应布置一个 0.01 pF 的瓷片电容,如遇印制板空间不够,可每 4~8 个芯片布置一个 1~10 pF 的钽电容;

对于抗噪能力弱、关断时电源变化大的器件,如 RAM,ROM 存储器件,应在芯片电源线和地线之间直接接入退藕电容;电容引线不能太长,尤其是高频旁路电容不能有引线。

(7) 对电磁敏感和易发射电磁信号的元器件,要设

计屏蔽罩,屏蔽罩应可靠接地。

### 1.3 PCB 环境适应性设计检查

为了适应航天火箭发射(变轨、火工品爆炸冲击等)飞行中的气动力激励、发动机的振动激励等随机振动激励的影响,而提出对空间电子设备的振动、冲击等环境适应性要求。电子设备在振动和冲击环境下,由于振动的疲劳效应及共振现象,可能出现电性能下降、零部件失效、疲劳损伤甚至损坏的现象。提高装备印制电路板抗振动冲击能力,是保证产品性能和可靠性的重要手段。PCB 抗环境设计检查要点如下:

(1) 对质量大的元器件或散热片或导热管等和有拔插力的接插件,应设置元器件支撑孔,以便采取局部或整体加固措施;

(2) 印制电路板加金属框架;

(3) 印制电路板元器件采用硅胶等固封措施;

(4) 印制电路板箱采取减振措施;

(5) 为防止空间高能粒子对 COMS 电路的干扰,检查采取抗门锁措施情况和采用屏蔽材料进行防护情况。

### 1.4 PCB 防静电设计检查

设计空间电子设备时,设计人员要了解所用电子元器件的静电放电(ESD)敏感度的情况,然后进行静电防护设计。在设计文件和图样中要明确标明器件的静电放电敏感度级别要求和电装过程中的静电防护要求。PCB 抗静电设计检查要点如下:

(1) 为提高静电放电的损伤阈值,在 MOS 器件的输入端,应设置 RC 网络;

(2) 安装在印制电路板上的静电敏感器件的引出端,应设置串联电阻等保护装置,切不应与印制板连接器直接相连;

(3) 静电敏感器件管脚的设计,应便于电装人员焊接;

(4) 集成电路未使用的管脚是如何处理的,有悬空的吗,要确保每一个管脚(通过软件或硬件设置)都有一个确认的确定逻辑状态。

### 1.5 PCB 电装可生产性检查

电路板设计必须考虑其可制造性,对空间电子设备印制电路板来说,由于单机数量有限,几乎都是电装人员手工焊接完成,因而设计人员要了解电装工艺和电装生产过程,这样才能更好地提高印制电路板电装过程的可靠性。电装可生产性检查要点如下:

(1) 元器件布局是否合理,元器件之间应留有足够的距离,以便于电装焊接和维修更换器件;

(2) 元器件距离印制电路板的边缘至少 3 mm,以便于传送;

(3) 印制板焊盘尺寸应与元器件的封装严格对应,避免器件管脚与焊盘不匹配的情况;

(4) 有部分印制板器件封装焊盘引脚对手工焊接来说,稍短,应适当加长;

(5) 有极性的元器件应在印制板上清楚标明极性;

(6) 对于 BGA 等球栅阵列封装的超大规模集成电路,只能采用设备进行焊接。

### 1.6 PCB 的性能等级检查

按 GJB 4057-2000 要求,印制电路板性能等级应选用 3 级,3 级印制电路板组装后有完整的功能,长的工作寿命,连续工作和高的可靠性,在使用中不允许发生任何故障<sup>[2]</sup>。

### 1.7 PCB 标识检查

空间设备印制电路板上应有惟一、清晰的标识;主备板标识应不同。

对于引脚较多、引脚间距小的单个元器件,应设置局部基准标志,放置在元器件对角线对称方向的位置上。

## 2 电路板(PCB)可测试性设计检查

可测试性就是指测试人员用尽可能简单的方法来检测某个器件或部件是否正常工作特性。在设计电路板时就考虑可测试性,可以大大降低测试的难度,并极大的提高测试效率。空间电子设备由于在轨工作后的不可维修性,需要更加重视设计及联调阶段的可测试工作<sup>[2,11-12]</sup>。PCB 可测试性设计检查要点如下:

(1) PCB 上至少要有 2 个或 2 个以上的定位孔,以便于电路板定位;定位孔的直径在 3~5 mm 之间,定位孔在电路板上位置不能对称;

(2) 对于 PCB 上电源和地的测试点,要求每根测试针最大可以承受 2 A 的电流;每增加 2 A 的电流,就需要对电源和地多提供一个测试点;

(3) 一般要求每 5 个集成电路芯片提供 1 个地线测试点,这样可以很好地监测相应电路的工作状态;

(4) 测试点的形状、大小应符合规范,建议选择方形焊盘或圆形焊盘,方形焊盘尺寸不小于 1 mm × 1 mm,圆形焊盘尺寸以  $\Phi 2.0$  mm 为标准;

(5) 测试点应标注清楚;

(6) 不能将元器件的焊盘或元器件的管脚作为测试点;

(7) 两个测试点间距应大于 2.54 mm,测试点与元器件的间距应大于 2.54 mm,测试点与定位孔的距离应大于 0.5 mm,测试点到 PCB 边缘的距离应大于 3.157 mm。

(8) 低压测试点和高压测试点的间距应符合安全

规范要求,以避免危险发生;

(9) 测试点的密度不能大于 4~5 个/mm<sup>2</sup>,要均匀分布;

(10) 测试点应有保护,对地短路应不会引起损坏;

(11) 根据具体电路情况,为便于测试,可将测试点引到电连接器或电缆上进行测试;

(12) 测试点不能被其他焊盘或胶等覆盖,这样可以保证测试探针的可靠接触。

## 3 结 语

我国是一个发展中的大国,面临极为复杂的国际环境,发展航天产业具有重大意义。航天产品对质量与可靠性要求极高,空间电子设备是航天工程必不可少的装备,其可靠性设计尤为为重要。印制电路板设计是电路原理图变成电子产品的关键,是各种大规模电子元器件的载体,是电气互联的基础,没有印制电路板的高可靠性设计,再先进的电路设计也无法实现其战术技术指标。对空间电子设备印制电路板进行可靠性和可测试性检查,可以在产品研发设计阶段发现可靠性设计的不足,提前发现问题,针对不足加以改进,能有效地提高航天产品质量与可靠性<sup>[1,3]</sup>。

### 参 考 文 献

- [1] 谭维焱,胡金刚. 航天器系统工程[M]. 北京:中国科学技术出版社,2009.
- [2] 总装备部. GJB 4057-2000 军用电子设备印制电路板设计要 求[S]. 北京:总装备部,2001.
- [3] 曲利新. 星载电子设备 PCB 设计的可靠性检查[J]. 电子产品可靠性与环境试验,2010(28):39-41.
- [4] WILLIAMS Tim. 产品设计中的 EMC 技术[M]. 李迪,译. 北京:电子工业出版社,2004.
- [5] MONTROSE Mark I. 电磁兼容和印刷电路板:理论、设计和 布线[M]. 刘元安,译. 北京:人民邮电出版社,2004.
- [6] 王丹,闫利超. 高速 DSP 系统的电路板级电磁兼容性设计 [J]. 现代电子技术,2010,33(14):1-3.
- [7] 白敏丹. 电子线路的电磁兼容性分析[J]. 现代电子技术, 2009,32(14):191-194.
- [8] 张燕燕. 高速 DSP 的电磁兼容设计研究[J]. 现代电子技术, 2008,31(18):174-177.
- [9] 中国航天工业总公司. QJ3103-99 印制电路板设计规范[S]. 北京:中国航天工业总公司,1999.
- [10] 中国航天工业总公司. QJ831A-98 航天用多层印制电路板 设计通用规范[S]. 北京:中国航天工业总公司,1999.
- [11] 姜雪松. 印制电路板设计[M]. 北京:机械工业出版社,2006.
- [12] 国防科学技术委员会. QJ2172A-2005 卫星可靠性设计指 南[S]. 北京:国防科学技术委员会,2005.

作者简介:曲利新 男,1966 年出生,吉林人,研究员。主要从事质量与可靠性工作。