

军用嵌入式系统中 PCB 设计与测试规范研究

宋 亮, 原 亮, 满梦华

(军械工程学院 计算机工程系, 河北 石家庄 050003)

摘 要:在嵌入式系统应用过程中,普遍存在着工作环境恶劣、易受电磁干扰影响等问题。此类问题的解决对提高军用系统的可靠性至关重要。通过理解、规范军用嵌入式系统设计、测试等相关方法,可有效、低成本地解决上述问题。有鉴于此,在参考了相关标准并予以简化、使之易用的基础上,针对相关内容和需求,结合国内外研究现状和军用环境下的一些特点,对军用 PCB 设计、测试工作提出了几点完善性的建议。经笔者所在项目组具体工作的实践检验,采用上述建议后确有收效。

关键词:嵌入式系统;设计;测试;EMC;PCB

中图分类号:TP303+.3

文献标识码:A

文章编号:1673-629X(2010)01-0235-04

Study of PCB Design and Testing Standards in Embedded Systems for Military Usage

SONG Liang, YUAN Liang, MAN Meng-hua

(Department of Computer, Ordnance Engineering College, Shijiazhuang 050003, China)

Abstract: In the application of embedded system, the working environment is generally not good and even in an extreme condition. It is also easily influenced by many other factors such as electromagnetic interference. For the purpose of improving the system's reliability, the getting familiar with the ready-made standards in this area, the understanding and following the related method of embedded system design, and some routine testing methods, especially in the beginning process of making PCB board used in military-related equipments, are very important. So in this case, making the standards mentioned above simplified to use, easy to remember, can be considered the main aim of this article. By the long-term practicing in the author's project group, the proposals offered here have been checked successfully and the positive results got as well.

Key words: embedded system; design; testing; EMC; PCB

0 引 言

随着我军武器装备“两化”建设的发展,嵌入式系统在武器装备中的应用比例已大幅度增加,核心作用日渐凸现。面对日益恶劣的战场环境,作为装备核心部件——军用嵌入式系统能否在复杂多变的战场环境中发挥应有的效能,已经成为我军武器装备建设中亟待解决的一个问题。在此背景下,如何从军用嵌入式系统设计、测试规范入手,通过规范硬件设计测试来保证军用嵌入式系统的可靠性、安全性,就显得尤为重要。

印制线路板 PCB (Printed Circuit Board) 是电子产品中电路元件和器件的基本支撑件^[1],它提供电路元

件和器件之间的电气连接,其设计质量往往直接影响嵌入式系统的可靠性和抗干扰能力。鉴于 PCB 在嵌入式系统中的基础性地位^[2],文中将从相应设计、测试规范入手,提出与之相对应的建议。

1 规范研究意义及背景介绍

通常把在绝缘材上,按预定设计,通过图形化印制方式所形成的线路、元件或两者组合而成的导电基板,称为印制线路板。PCB 是标准化很强的定制基础电子产品。因此,国际上十分重视 PCB 标准的制定和修订工作。其主要标准体系有:

(1) 国际电工委员会(IEC)标准。IEC 是制定 PCB 标准的重要组织,目前已制定了有关 PCB 设计、制造和电子装联技术标准、规范 100 余项,涉及到 PCB 及其组装件设计、材料、各类型产品、制造技术及测试方法和质量保证等方面,构成一个相互配套的体系。

收稿日期:2009-03-09;修回日期:2009-06-04

基金项目:国防科技重点实验室基金(9140C8702020803)

作者简介:宋 亮(1981-),男,硕士研究生,研究方向为智能检测与诊断;原 亮,教授,研究方向为智能检测与诊断。

IEC 是由多个国家组成的电气电子产品标准化技术组织,标准制定过程需要多国协商和协调,因此其标准的制定修订速度相对较慢,配套性尚不完善,通用性要求多,详细要求少,执行起来还要以本国或用户的标准作为支撑。除了 IEC 外,其他一些制定相关标准的国际化组织还包括 URSI(国际无线电科学联合会)、ITU-T(国际电信联盟电信标准化委员会)等。

(2) 技术发达国家标准。主要有美国、英国、日本等国,各自制定了本国的标准和规范。目前在国际上最有影响并被许多国家采用的标准,主要是美国电子电路封装协会标准(即 IPC 标准)和美国军用标准(MIL-STD 标准)。目前,美国部分军用标准和高可靠性产品的内容整合到同一类产品通用标准中,从而由 IPC 标准代替了许多 MIL-STD 标准,体现了军民结合、资源共享的思想,提高了标准的适用性和通用性。

(3) 国内标准。国内印制板标准分为国家标准(分为国家标准 GB 与国家军用标准 GJB)、行业标准、企业标准 3 个等级。国家标准部分与国际标准接轨,主要是参照采用 IEC 标准,部分参照采用 IPC、MIL-STD 标准,但在印制板基材方面,目前主要生产商都是直接采用美国 IPC 或 NEMA 标准(美国电气制造商标准,主要指 FR-4 材料标准^[31])。

在 PCB 设计、测试时,遵循对应规范,可有效提高 PCB 设计质量和设计效率及可生产性、可测试、可维护性,减少系统硬件测试错误,避免或提早发现设计潜在问题,达到确保整个嵌入式系统的可靠性和安全性的目的。

2 PCB 设计、测试相关的主要因素

在 PCB 设计时,除成本控制外,主要需考虑 EMC、热干扰及工作环境两方面因素。而进行相关测试时,主要方向也大体相似。有鉴于此,下文将主要就这两个方面展开陈述。

2.1 EMC 的相关概念

电磁兼容性 EMC(ElectroMagnetic Compatibility)是指设备或系统在其电磁环境中能正常工作且不对该环境中任何事物构成不能承受的电磁干扰的能力^[1]。它包括三层含义:①电磁环境应是给定的或可预期的;②设备、分系统或系统不应产生超过标准或规范所规定的电磁干扰发射值的要求;③设备、分系统或系统不应产生超过标准或规范所规定的电磁敏感性限值或抗扰度限值的要求^[4]。

电子设备或系统的电磁兼容性体现为两个方面的

能力:①在预期的电磁环境中正常工作而无性能的降低或故障;②不会成为环境中的电磁污染源。与之对应,EMC 问题包括电磁干扰 EMI(ElectroMagnetic Interference)和电磁抗扰度 EMS(ElectroMagnetic Susceptibility)^[2]。

2.1.1 EMI

EMI 指任何可能引起装置、设备、系统性能下降或者对生物产生损害的电磁作用所引起的性能下降^[2]。EMI 表现为当系统加电运行时,会对周围环境辐射电磁波,从而干扰周围环境中电子设备的正常工作。如果上述情况没有被足够考虑,EMI 将显著增加,这就不单单影响 PCB 自身设计结果,严重时还会造成整个系统失常。目前,最通常的 EMCIP(ElectroMagnetic Interference,即电磁干扰控制方法)是将控制 EMI 的各项设计规则应用在 PCB 设计的每一环节,实现在设计各环节上的规则驱动和控制。

2.1.2 EMS

EMS 指处在一定环境中的设备或系统在正常运行时,能承受相应标准规定范围的电磁能量干扰^[2]。为了保证嵌入式系统正常工作,必须削弱和防止 EMS 对 PCB 及整个系统的影响,如消除或抑制干扰源以及削弱接收电路对干扰的敏感性^[4]等。具体设计中可通过采取抗干扰设计、选用抗干扰性能强的器件^[5],使系统能稳定可靠地工作。

2.1.3 EMI 的作用过程

当电磁兼容问题发生时,必定符合三个条件:噪声源、易受干扰的敏感设备(器件)、干扰传播途径,如图 1 所示。

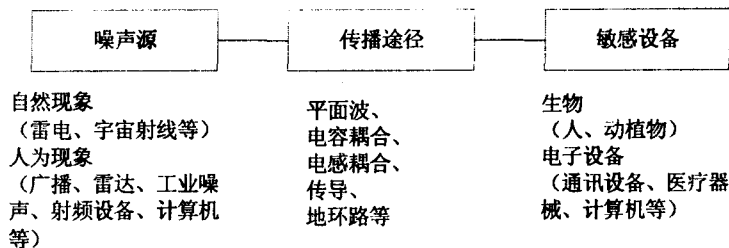


图 1 电磁兼容问题的三个条件

对于任何发生 EMC 问题的设备,这三个条件缺一不可;反之,若消除三个条件中的任何一个,EMC 问题将不复存在。因此,解决 PCB 电磁兼容问题要从这三方面着手,即抑制噪声源、切断传播途径、保护敏感设备(器件)。

2.2 热干扰及工作环境

热干扰一般指的是由于元件自身工作发热,导致自身或相邻元件、线路甚至整个系统性能下降,不能正常工作。在进行 PCB 设计时,避免热干扰对系统的不

良影响必须纳入设计考虑范围,否则将会对整个系统引入不可预测的不稳定因素。

此外,军用嵌入式系统要求在高温、低温、高湿、盐雾等复杂工作环境下亦能正常工作。因此,在设计时,必须将上述需求纳入设计考虑范畴,以满足系统工作要求。

3 军用 PCB 设计考虑

军用嵌入式系统中 PCB 具有以下特点与要求:①工作环境恶劣,包括电磁环境、自然环境等;②可靠性要求高^[6],要求板卡在受到强干扰或一定损伤的情况下仍能正常工作;③便于测试、维护,且具备较高的自检功能^[7,8];④具有良好的可维修性,便于系统平时战时维修的进行^[9]。针对此类特点与要求,在充分考虑上文提到的 PCB 设计需要考虑的因素的基础上,参考相关标准并结合以往设计经验及寿命周期成本(LCC)要求后,提出以下设计原则:

(1) 处理好先进性与可靠性之间的均衡。

PCB 设计中,采用性能先进的器件会增强嵌入式系统的性能,但先进器件往往存在可靠性不足的问题,例如可能引入不可预测的 EMC 问题或自身散热问题。而军用系统在满足基本性能的基础上,可靠性要求高于一切。如何在提升系统性能与保证系统可靠性之间平衡,需要设计者仔细斟酌。

(2) 考虑板卡的通用性与稳定性需求。

军用产品一旦投入列装,往往要服役十几年甚至几十年。在此期间,必须从各个方面保证其生产维护工作的正常开展。因此,设计军用板卡时,在满足系统性能要求的前提下,应尽量使用标准件、通用件,考虑所选器件在装备生产、使用期内的采购稳定性,以及停产会对系统寿命周期产生何种影响,并就相应影响有针对性地准备应对方案,如预备替代器件或设计替代升级模块。

(3) 按照系统工作环境进行针对性设计。

军用装备中使用的嵌入式系统工作环境要远比一般民用或工业用产品的工作环境恶劣。如果对这种情况不进行针对性设计,那必将为系统乃至整个装备的稳定性埋下致命隐患。为此,在设计 PCB 时,需要针对系统的工作环境进行特别设计处理,如加强板卡的 EMC 性能,布局要利于散热等等。在 PCB 设计过程中要尽可能地在设计前期考虑相关问题,因为在设计前期加强相应设计不会给整个系统设计带来附加费用。

(4) 将降低使用维护成本纳入考虑范畴。

投入使用的军用产品其开始的采购费用往往只占

到其寿命周期成本的 15%~30%,而其使用维护成本能占到 LCC 的 50%~60%。而国外有统计分析表明,在设计阶段结束时,就已经决定了产品的使用维护成本的 95%。由此可见,在设计阶段将其纳入考虑范畴,对于降低产品寿命周期成本将起到事半功倍的效果。

4 主要测试规范

在通用测试标准中,PCB 测试主要包括 EMC 测试和环境测试,而军用 PCB 则更为严格,其主要规范如下。

4.1 EMC 测试规范

所谓 EMC 测试就是按照电磁兼容测量标准,在规范的电磁兼容实验室里,使用规范的测量设备,遵照标准的测量方法进行的测试,通常分为两类:EMI 测试、EMS 测试^[2]。EMI 测试主要有电源、信号、控制线传导骚扰(CE),辐射骚扰(RE),谐波电流测量(Harmonic),电压波动和闪烁测量(Fluctuation and Flicker)等;EMS 测试包括静电放电抗扰度(ESD),电快速瞬变脉冲群抗扰度(EFT/B),浪涌(SURGE),辐射抗扰度(RS),传导抗扰度(CS),电压跌落与中断(DIP)等。

EMC 测试根据标准不同而有所差别,这里主要参考 IEC1000-4 系列、EN55022 标准并结合实际测试特点,提出相应测试要求。

(1) 合理选择测试点。

测试点选择应遵循如下原则:

* 测试点应能够正确反映嵌入式系统的全部电气功能特性;

* 测试点应便于取得,且避免引入干扰;

* 系统中关键功能参数必须取得。

因此,测试点通常选择于易损部件、逻辑关键部件、外部中断、外部测试接口以及采集控制接口^[10]等。通常情况下,在 PCB 的测试点应当在下列地方选择:

* 晶振经过整形之后的输出点:主要用于确定晶振的波形参数。在高速系统中,此参数尤其应当重视。

* 读写时序:通常测试点在远离智能单元地方,以判断读写信号经过较长敷铜线的衰减以及外界干扰在读写信号线上引起的扰动。

* 采集单元:采集单元测试点的目的在于分析触发控制条件,以及判断采集信号输入的正确性。

* 控制单元:控制单元测试点主要在于判断控制信号的正确性。

* 外部中断测试点:针对低功耗和专门信号的测试。

* 其他将来在维修过程中需要的测试点。

(2) 排除环境电平干扰。

在 EMC 认证测试中,一般都在屏蔽室、电磁暗室或者开阔试验场地进行,目的是消除电磁环境电平的影响。但在 EMC 预测试时,由于测试是在普通的实验室或者工作环境中进行的,将不可避免地受到电磁环境电平的干扰,所以应该采取措施来消除这种干扰,如通过记录被测设备 EUT(Equipment Under Test)开机前后电磁环境变化来区分电磁环境电平和 EUT 发射的干扰信号、缩短电源线的长度、对电源线采取屏蔽措施、在电源线附近不要放置铁制品(因为可能吸收 EUT 发射的干扰信号,从而减弱了电流探头采样的信号强度而导致错误读数)。

4.2 环境测试规范

军用电子器件环境测试一般包括耐湿、稳态寿命、间歇寿命、稳定性烘焙、盐雾、温度循环、热冲击、内部水汽含量等测试内容^[11,12]。在 PCB 环境测试中,试验条件要求具体、细致,需要逐项落实才能得到真实、可靠的试验结果,并由此推断出产品在相应环境下的实际性能。根据 GJB548B、GJB360A 标准并参考相关 IPC 标准及测试特点,又有相关测试规范要求。

(1) 注重对板卡的可靠性与稳定性验证。

军用板卡对自身的可靠性与稳定性要求极为苛刻,民用或工业用 PCB 无法比拟。在环境测试中,对板卡测试的主要目的就是验证其可靠性与稳定性。因此,应对相关测试过程及结果记录格外细心、谨慎。

(2) 严格按照测试要求设定试验环境。

环境测试时,通过模拟恶劣的工作环境来验证军用板卡在恶劣环境中的性能。因此,对 PCB 进行相关环境测试时,要按照标准设置试验条件。环境测试一般是以加速方式评估产品在相应环境下的特定性能,若试验条件不达标或设置超标,则很难得到产品实际性能、达到测试目的。

5 结束语

随着军队信息化浪潮的逐步推进,军用嵌入式系

统将更加深入部队装备建设的方方面面。在装备设计、生产中普及、落实军用板卡设计、测试规范,对提高军用嵌入式系统可靠性、缩短设计周期、降低研发费用有着积极的意义。

如能准确把握、严格落实,必将有助于推动我军装备建设水平进一步的提高。

参考文献:

- [1] 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,2004:13-18.
- [2] 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,2006:274-276.
- [3] Arulvanan P, Zhong Z W. Assembly and reliability of PBGA packages on FR-4 PCBs with SnAgCu solder[J]. Microelectronic Engineering. 2006,83(12):2462-2468.
- [4] Shahparnia S, Ramahi O M. Electromagnetic Interference (EMI) Reduction From Printed Circuit Boards (PCB) Using Electromagnetic Bandgap Structures[J]. IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility,2004(11):580-587.
- [5] 付清荣,赵建东. 基于 SI 的数字电路 PCB 高速设计[J]. 微计算机信息,2008,24(9-2):298-300.
- [6] 巨政权,原亮,李浩,等. 基于 S3C2440 和 SM501 的嵌入式系统硬件设计[J]. 计算机技术与发展,2008,18(10):207-209.
- [7] 崔玉莲. 嵌入式系统 PCB 的可信性设计[J]. 电子质量,2008(9):33-34.
- [8] 王燕飞,金瓯,贺建勋. 嵌入式系统的安全技术研究[J]. 计算机技术与发展,2008,18(8):152-154.
- [9] 刘丽君,贺占庄,李灏. 基于 PowerPC 的嵌入式系统硬件设计[J]. 计算机技术与发展,2008,18(2):251-253.
- [10] Leung E S W, Yung W K C. Quality and Reliability of High Aspect - Ratio Blind Microvias Formed by Laser - Assisted Seeding Mechanism in PCB[J]. IEEE Transactions on Electronics Packaging Manufacturing,2004(4):115-124.
- [11] GJB 548B-2005. 微电子器件试验方法和程序[S]. 北京:总装备部军标出版发行部,2007.
- [12] GJB 360A-1996. 电子及电气元件试验方法[S]. 北京:中华人民共和国电子工业部,1996.

(上接第 234 页)

Graphics Proceedings. (ACM Siggraph Annual Conference Series). Atlanta:[s. n.],1978:286-292.

- [5] 江巨浪,张佑生,薛峰,等. 两步纹理映射的改进算法[J]. 系统仿真学报,2006,18(5):1157-1194.
- [6] 孙博文. 分形算法与程序设计[M]. 北京:科学出版社,2004:86-87.

- [7] 李学庆,孟祥旭,杨承磊,等. 一个基于球面映射的视景生成系统[J]. 系统仿真学报,2001,13(s):129-132.
- [8] 范波,吴慧中. 多面体表面纹理映射方法的研究[J]. 计算机研究与发展,1999,36(4):446-450.
- [9] 江巨浪,张佑生. 一种适用于球面局部区域的纹理映射算法[J]. 中国图象图形学报:A 辑,2004,9(9):1112-1116.