

非完全阵列分布的电子元件的热布局优化

田少欣, 苏中, 马晓飞, 赵旭

(北京信息科技大学 智能控制研究所, 北京 100101)

摘要: 运用有限元分析软件 ANSYS, 对含有非完全阵列分布电子元件的电子设备的稳态温度场分布进行了研究, 分析了导致设备过热的主要原因, 并根据分析结果对其内部电子元件的布局进行了优化。结果表明: 通过改变电子元件的位置, 电子设备的最高温度和平均温度分别降低了 9.914% 和 9.838%, 可靠性得到了提高。

关键词: 非完全阵列; 可靠性; 稳态温度场; 热布局优化

中图分类号: TN305.94

文献标识码: A

文章编号: 1001-2028 (2012) 08-0069-03

Thermal layout optimization of incompletely arrayed electronic components

TIAN Shaoxin, SU Zhong, MA Xiaofei, ZHAO Xu

(Institute of Intelligence Control, Beijing Information Science & Technology University, Beijing 100101, China)

Abstract: The steady-state temperature field of a device containing some incompletely arrayed electronic components were studied using a finite element analysis software ANSYS. The main reasons for the overheating of the device were analyzed, and the layout of those incompletely arrayed electronic components was optimized based on the analysis. The results show that the maximum temperature and the average temperature of the device are reduced by 9.914% and 9.838% respectively through optimizing the layout of electronic components. This indicates that the reliability of the device is improved by the layout optimization.

Key words: incomplete array; reliability; steady-state temperature field; thermal layout optimization

美国空军航空电子整体研究项目的研究结果发现^[1], 在影响电子产品可靠性的诸多因素中, 如温度、振动、湿度、粉尘等, 温度 (包括高温、低温及高温低温循环) 对电子产品的影响尤为关键, 由温度引起的电子产品故障比例高达 55%。有统计资料表明, 电子元件温度每升高 10 °C, 可靠性下降 50%。尤其是大功率的集成芯片, 若是热量不能够及时排除, 将引起电子电路板的热流密度过高, 影响电路的可靠性和寿命。

电路板温度升高的主要因素有以下几个方面: 电子元件布局密集、使用大功率集成芯片、电子设备长时间工作等^[2-3]。目前, 大多数学者主要研究的是具有均匀阵列分布的电子元件的热特性, 通过降低其热阻或者是通过不同的优化设计方法来降低整个电子设备的最高温度^[4], 但是在实际生活中,

几乎不存在一个电子设备内部的所有电子元件是分布均匀、体积相等的。有鉴于此, 笔者研究了非完全阵列分布的电子元件的热特性, 通过优化布局来改善温度分布。为进一步提高电子设备的可靠性提供一定的依据。

1 热传递分析

物体内部存在温度差时, 热量会从高温部分传递到低温部分; 不同温度的物体相互接触时热量会由高温物体传递到低温物体, 这种热量的传递过程成为热传导, 也就是说有温差的存在, 就有热量的传导, 在电子设备的冷却中普遍采用的是对流方式, 对流是固体表面与流体表面间传热的主要方式, 热量首先以传导方式传递到与流体接触的表面, 再通过对流传入到流体中, 然后再流到其他地方^[5-6]。对

收稿日期: 2012-05-08 通讯作者: 苏中

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (No. 61031001; No. 60972118); 北京市创新人才资助项目 (No. PHR201106226; No. PHR201006115); 科技创新平台资助项目 (No. 71F1210907; No. 5028123300); “十二五” 预先研究资助项目 (No. 40405100304; No. 9071223301)

作者简介: 苏中 (1962—), 男, 安徽阜阳人, 教授, 研究方向为导航制导与控制及热可靠性, E-mail: sz@bistu.edu.cn;

田少欣 (1986—), 女, 河南新野人, 研究生, 主要从事热可靠性的研究, E-mail: tsx967586@126.com。

网络出版时间: 2012-07-25 17:08

网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/detail/51.1241.TN.20120725.1708.008.html>

于一些小型化、高功率密度的元器件来说, 由于体积、成本等因素的影响, 采用自然风作为主要的散热方式。通过自然对流, 热量从元器件表面散发到周围的环境中; 通过辐射的方式, 热量从元器件表面辐射到周围物体表面。不管以哪种散热方式, 设备周围的环境一定要通风良好, 便于热量的快速散发^[7-8]。笔者所研究的电子设备, 热量以热传导的方式首先从电子元器件的表面散发到内部的空气中, 然后再通过设备外壳散发到周围的空气中。

2 建模

2.1 建模思路

对于集成大功率芯片而言, 其多个热源之间的热耦合作用较强, 单位体积内的功耗很大, 由此带来的芯片热失效和热退化现象突出, 考虑到电阻和电容的发热量比集成芯片小很多, 笔者在建模的过程中, 忽略了电容和电阻, 只考虑了集成芯片的发热。某电子设备共有 9 个集成芯片, 它们的材料相同, 其具体尺寸和功耗见表 1。虽然器件越分散越利于热量的散发, 但是基于其他各种小型元器件的存在及机械安装和计算简化的考虑, 限定这 9 个器件只能在 45 mm×50 mm×2 mm 的矩形区域内, 每个芯片之间的距离约为 5 mm。

表 1 集成芯片参数
Tab.1 Integrated chips parameters

器件编号	1	2	3	4	5	6	7	8	9
长 L/mm	12	5	10	10	5	22	22	15	20
宽 W/mm	8.0	3.5	3.0	3.0	3.5	10.0	10.0	15.0	5.0
高 H/mm	1	1	1	1	1	2	2	1	2
功率 P/W	2.600	7.200	0.571	0.571	7.200	0.165	0.165	8.400	0.741

2.2 有限元模型的建立

在考虑精度和计算量的情况下, 对模型做以下假设: (1) 假设集成芯片表面和印制板表面与设备外壳的热传递系数为常数; (2) 芯片整体作为热源, 忽略电流流过电阻和连线时产生的热量, 初始实体的简化模型如图 1 所示。



图 1 初始实体简化模型
Fig.1 Simple model for initiating entity

元件在进行布局时, 尽量使发热高、热阻大的器件避开或隔离其他热源对其辐射的影响, 不要使热敏高或高发热元件互相靠近, 不要将元件正好放置在高发热元件的正上方, 应在水平面内交错放置。

一般情况下, 根据实际经验, 对于一些功耗大, 体积又比较小, 也就是生热率比较大的芯片, 布局的时候, 在印制板面积允许的情况下尽量让这些芯片相互距离远一些。

2.3 材料属性及边界条件

该分析为热稳态分析, 只需知道各部分材料的热导率即可。集成芯片的热导率统一为 $5 \text{ W}/(\text{m} \cdot ^\circ\text{C})$, 印制板的热导率各向异性, 分别为 8.37, 8.37 和 $0.32 \text{ W}/(\text{m} \cdot ^\circ\text{C})$ ^[9]。ANSYS 热分析的边界条件可以分为 7 种: 温度、热流率、热流密度、对流、辐射、绝热和生热率。由于半导体器件中辐射效应几乎不会影响到系统的热量变化, 因此, 本文的分析中只考虑其中的热传导、生热率和温度这 3 种边界条件。

图 2 所示为电子设备的初始有限元模型, 采用的是自由网格划分, 各集成芯片之间通过传导方式进行传热, 服从傅里叶传热定律^[10], 取环境温度为 20°C , 将每个芯片视作热源, 元件的生热率 $q(\text{W}/\text{m}^3)$ 的公式:

$$q = \frac{P}{L \times W \times H} \quad (1)$$

式中: P 为元件功耗; L 为元件长度; W 为元件宽度; H 为元件厚度。

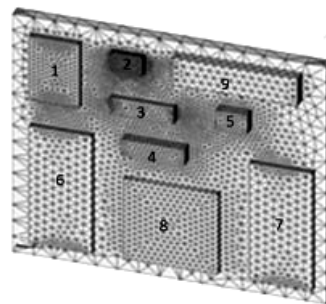


图 2 初始有限元模型
Fig.2 The initial finite element model

3 仿真结果及分析

图 3 所示为设备的稳态温度场分布, 从图 3 中可以看出, 温度的变化范围是 $49.042 \sim 49.360^\circ\text{C}$, 平均温度为 49.196°C , 符合其正常工作温度的范围要求, 其中芯片 6 和芯片 7 附近的温度比较高, 所以从云图上可以看到这两个地方的颜色比较深, 而且温度高的区域分布比较集中。

图 4 所示为优化后的温度场分布, 把芯片 7 放在 PCB 板的最上端, 靠近 PCB 板的边缘, 周围都是功耗比较小的芯片, 从图 4 可以看出, 本次优化后的最高温度为 44.420°C , 最低温度 44.033°C , 平均温度为 44.227°C , 最高温度比优化后下降了 9.914%, 平均温度比优化后下降了 9.838%。由此可见, 通过调整

芯片的位置来降低整个电子设备的最高温度和平均温度是可行的, 而且在尺寸为 $45\text{ mm} \times 50\text{ mm} \times 2\text{ mm}$ 的 PCB 板上, 平均温度降低 $4.826\text{ }^{\circ}\text{C}$ 还是很可观的, 可以在很大程度上提高整个电子设备的可靠性。

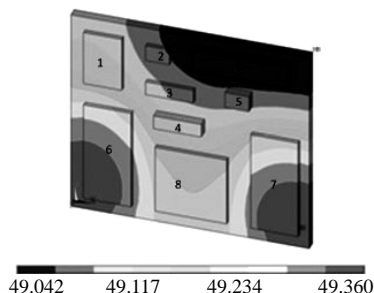


图3 优化前的温度场分布

Fig.3 The temperature distribution before optimization

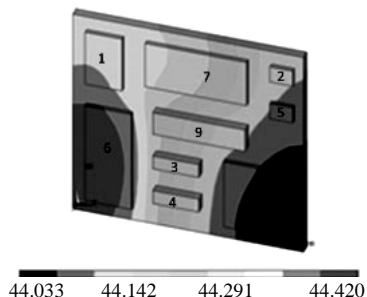


图4 优化后的温度场分布

Fig.4 The temperature distribution after optimization

比较优化前后的温度场分布, 从元件的散热角度考虑, 当印制板的大小、元件的大小、功率和数目都已确定时, 需要合理布置各元件在印制板上的位置, 可以在很大程度上降低整个设备的最高温度和平均温度。在布局时首先应该将各元件尽量分散, 把生热率较高的器件分布在印制板的四个角位置,

便于散热; 其次, 应将各发热元件尽量远离对最高温度起决定性作用的器件; 最后, 对于单位体积功耗较大的器件, 为了便于散热, 应尽量避免将其放于中心位置, 而且应尽量将该元件放置于印制板的边缘, 这样可以有效降低最高温度。

4 结论

应用有限元分析软件, 对电子设备进行了热稳态分析, 得到了电子设备的稳态温度场分布, 结果表明, 对于非完全阵列分布的电子元件, 在面积一定的同一块印制板上, 当电子元件的大小、功耗和元器件的数目都确定时, 可以通过改变元器件的位置来有效降低整个电子设备的最高温度和平均温度, 在一定程度上能够提高电子设备的可靠性。

参考文献:

- [1] 张亚平, 冯全科, 余小玲. 多芯片组件基板的热效应分析 [J]. 电力电子技术, 2009, 43(2): 67-69.
- [2] 王元春, 马卫东, 吕长志, 等. DC/DC 电源模块的有限元热分析 [J]. 微电子学, 2009, 39(1): 101-104.
- [3] 杜秀云, 唐祯安. 三维集成电路工作热载荷工况的有限元分析 [J]. 系统仿真学报, 2012, 24(2): 289-292.
- [4] ANKUR J, ROBERT E J, HUANG Z H, et al. Thermal modeling and design of 3d integrated circuits [C]// Thermal and Thermo-mechanical Phenomena in Electronic Systems. USA: IEEE, 2008.
- [5] 秦向南, 杨平, 沈才俊, 等. 多芯片组件的热三维有限元模拟与分析 [J]. 电子元件与材料, 2007, 26(9): 10-13.
- [6] 高红霞, 余建祖, 谢永奇. 引脚式表面贴装元件的数值热分析 [J]. 北京航空航天大学学报, 2006, 32(7): 778-782.
- [7] 于付平, 朱荣新, 李斌, 等. 基于 ANSYS 的管道腐蚀缺陷有限元仿真 [J]. 计算机测量与控制, 2009, 17(1): 151-153.
- [8] GOKUL V S, RAHUL K S. Selection of appropriate thermal model for printed boards in CFD analysis [C]// ITHERM06. San Diego, USA: IEEE, 2006.
- [9] 刘文广, 吴凡. 基于 APDL 的 PCB 元件布局优化 [J]. 电子工艺技术, 2009, 30(3): 151-153.
- [10] 张健, 吕长志, 张小玲, 等. 基于 ANSYS 的 IGBT 热模拟与分析 [J]. 微电子学, 2011, 41(1): 139-142.

(编辑: 陈渝生)

(上接第 68 页)

分析思路 and 具体工作实施。应建立分布在设计、鉴定、生产及使用环节的行波管结构分析的工作流程和技术流程。

(4) 重视对失效行波管的 DPA 分析。

(5) 建立行波管的完整数据库, 包括行波管全寿命周期各个阶段、可疑结构、禁用结构数据库 (数据库的建立现在是有困难的, 这还有待于国内行波管发展水平的提高以及经验的积累)。

7 结束语

行波管结构分析是基于行波管零部件本身特性, 并结合工作环境和工作要求的具体分析, 其可以为行波管可靠性评估提供重要依据。结构分析作为一种器件应用验证技术, 可以对行波管的使用可靠性和满足相关项目运行要求的能力做出早期判

断, 还能向研制方指明在结构设计和制备工艺方面需要改进完善的方向, 对于可疑结构还能向用户方给出相应的后续试验或验证工作内容。结构分析对行波管可靠性评估有重要的实际作用 and 意义。由于行波管制备工艺复杂、材料种类繁多、结构设计形式多样等诸多因素, 以及受技术基础和发展水平的制约, 再加上西方国家限制对华先进技术的输出, 行波管结构分析在国内仍处于初步探索阶段, 还有许多问题有待解决。

参考文献:

- [1] 张延伟, 江理东, 陈志强. 一种新的元器件可靠性评估方法——结构分析(CA) [J]. 电子产品可靠性与环境试验, 2003(5): 1-3.
- [2] ECSS Secretariat. Space Product Assurance-Electrical, Electronic and Electromechanical (EEE) Components [S]. Noordwijk, The Netherlands: ESA-ESTEC, 2009.
- [3] 刘之畅. 高可靠行波管结构分析技术研究 [D]. 成都: 电子科技大学, 2011: 20-21.
- [4] 孔学东, 恩云飞. 电子元器件失效分析与典型案例 [M]. 北京: 国防工业出版社, 2006: 231-232.

(编辑: 邓学敏)