某新型 ATCA 插箱热学仿真分析及优化设计^{*}

徐计元,江 波,孙 帆,肖克齐,李东来 (南京电子技术研究所, 江苏南京 210039)

摘 要:采用 ATCA 技术标准的新一代电子设备集成密度和功率密度更高,由此带来的散热要求也相应 增加。文中以某新型 ATCA 插箱(单板功率高达 300 W)为例,利用 FLOTHERM 软件分别进行了模块级 与插箱级热学仿真分析。文中研究了 ATCA 刀片式板卡的冷板结构参数对芯片散热性能的影响,在此 基础上进一步研究了风道设计及风机选型对 ATCA 插箱散热性能的影响,并根据热学仿真分析结果为 ATCA 刀片式板卡及其插箱的结构设计提出了优化建议。文中所介绍的热学仿真分析思路及优化方法 可为新型电子设备风冷插箱的散热设计提供参考。

关键词:ATCA;FLOTHERM;热学仿真;插箱

中图分类号:TP391.9 文献标识码:A 文章编号:1008-5300(2015)06-0061-04

Thermal Simulation and Optimization Design for a Novel ATCA Chassis XU Ji-yuan, JIANG Bo, SUN Fan, XIAO Ke-qi, LI Dong-lai

(Nanjing Research Institute of Electronics Technology, Nanjing 210039, China)

Abstract: With the rapid increase of integration density and heat flux of the new electronic equipment with ATCA standard, great pressure has been placed on its cooling. In this paper, the thermal simulation for a novel ATCA chassis (The PCB power is 300 W) at module level and chassis level are performed based on FLO-THERM. The effect of the plate-fin parameters on the cooling of electronic chips is firstly researched and then the effect of wind path design and fan selection on the cooling of ATCA chassis is studied. Finally optimization suggestions on the structure design of ATCA modules and chassis are provided. The thermal simulation and optimization methods introduced in this paper can be used as reference for the air cooling chassis design of the new electronic equipment.

Key words: ATCA; FLOTHERM; thermal simulation; chassis

引 言

ATCA (Advanced Telecommunications Computing Architecture)是国际工业计算机协会定义的一种全开放、可互操作的电信工业标准,可为下一代通信及数据 网络应用提供一个高性价比、基于模块化结构、可兼 容、可扩展的硬件架构^[1]。采用 ATCA 技术的新一代 电子设备集成密度增加,功率密度更高,由此所带来的 散热问题成为影响整个系统可靠运行的关键。

大部分军用或民用电子设备研制成本高,制造工 艺复杂,生产周期长,因此很难在预先获得试验件的基 础上进行热设计改进工作。相比之下,在产品研发初 期通过可靠的仿真软件进行热分析并提出热设计方 案,可为产品的结构设计提供参考信息,从而最大限度 地降低产品的研制成本,保障新研产品的质量^[2]。随 着计算机技术的快速发展以及诸多研究领域需求的增 加,各种仿真分析软件应运而生。FLOTHERM 作为第 1款针对电子散热的商业化 CFD 软件,已普遍应用于 电子设备散热领域^[3-5]。

本文以在研的某新型 ATCA 刀片式服务器(插箱)为例,根据 ATCA 标准所规定的硬件规格并结合该 产品在实际工作条件下需满足的环境要求,利用 FLO-THERM 软件进行了热学仿真分析。

1 建模与输入

ATCA标准规定的前板卡尺寸规格为280 mm ×

^{*} 收稿日期:2015-10-20

322 mm,单板最大功率高达200~300 W。根据电讯提 出的方案要求,该 ATCA 插箱需留14个板卡安装空 间,单板总功率最高可达300 W。在实际应用过程中, 该 ATCA 插箱的工作环境温度最高可达55 ℃,热设计 要求芯片壳温不高于85 ℃。根据以上数据和文献 [6],该 ATCA 插箱可采用强迫风冷方式进行散热,其 传热路径如图1所示。元器件产生的热量首先经过热 传导方式传递至散热翅片,最后以对流传热方式将热 量释放至热沉。



图 1 ATCA 风冷插箱传热路径示意图

1.1 模块级分析建模

本文首先对 ATCA 刀片式板卡进行简化风洞仿 真, 拟获取单板翅片的最佳设计参数。板卡的结构设 计效果如图 2(a) 所示, 利用 FLOTHERM 软件建立的 单板风洞分析模型如图 2(b) 所示。



图 2 ATCA 板卡分析模型与简化

1.2 插箱级分析建模

ATCA 插箱的结构设计效果如图 3(a) 所示。AT-CA 插箱总高度为 13U(1U = 44.45 mm), 板卡高度占 8U, 板卡下方留 2U 的进风空间, 上方留 3U 的风机空 间。内部的无引线背板位于前插件后方且该插箱无后 插件。图 3(b) 为利用 FLOTHERM 软件建立的插箱热 仿真分析模型。



图 3 ATCA 插箱分析模型

1.3 输入条件

仿真建模的主要单元包括风洞模型、PCB印制板、 发热元件、导热衬垫、散热凸台和散热翅片。各单元的 建模方式及参数设置如下:

 1)采用FixedFlow单元(55 ℃空气,体积流量 80 m³/h)建立风冷源模型,ATCA板卡所处的风洞外 形尺寸为30.48 mm × 370 mm × 290 mm;

2)采用 PCB 智能单元(各向异性,材料取为 FR4+ 铜)建立印制板模型,尺寸为 280 mm × 322 mm;

3)采用具有材料特性(导热系数为10 W/(m・K)) 和热量均匀分布的块单元建立发热器件模型(详细布局 参见图2(b)),其中CHIP1、CHIP2均为70 W,CHIP3、 CHIP4、CHIP5、CHIP6均为15 W,其余器件均为25 W;

4)采用肋片型铝材翅片单元建立散热翅片模型 (基板厚度,内翅高度、数量及厚度为目标优化参数);

5)已知图1中导热衬垫的导热系数λ为 20 W/(m・K),受压状态下厚度δ为0.3 mm。导热 衬垫建模可采用在发热元件表面定义表面热阻 (*R*_{surf-solid})的方式:

 $R_{\rm sufr-solid} = \delta/\lambda = 1.5 \times 10^{-5} (\text{K} \cdot \text{m}^2/\text{W}) \quad (1)$

2 热仿真分析及结果

2.1 模块级分析与优化

选取如下输入变量作为优化目标,并根据实际结构尺寸要求设置输入变量的可变范围:1)基板厚度 $H_{\rm b}$ 为1~3 mm;2)内翅片高度 $H_{\rm int}$ 为12~16 mm;3)内翅片数量为35~65个;4)内翅片厚度 $W_{\rm int}$ 为1~3 mm; 5)变量约束条件为 $H_{\rm b}$ + $H_{\rm int} \leq 17$ mm。

优化前的翅片参数为:基板厚 2 mm,内翅片高 14 mm,内翅片数量为 50 个,内翅片厚 1 mm。采用 响应面优化方案优化设计功能(RSO Optimum),得出 ATCA 板卡散热翅片优化参数组合:1)*H*_b 为 2.7 mm; 2)*H*_{int} 为14.3 mm;3)内翅片数量为60个;4)*W*_{int} 为 1.5 mm。 图 4 为翅片参数优化前、后 ATCA 板卡的温度分 布图。由图 4 可知,优化前、后芯片最高壳温(CHIP1 附近)由92.4 ℃降低至83.8 ℃,出风口处芯片壳温普 遍高于进风口处芯片壳温。由此说明在设计印制板 时,需尽量将发热功率较高的器件布置在靠近进风口 处而将发热功率相对较低且热稳定性相对较好的器件 布置在出风口附近。





2.2 插箱级分析与优化

在插箱级热仿真分析过程中采用翅片参数优化后的 ATCA 板卡,进一步研究风道设计和风机选型对 ATCA 插箱散热性能的影响。

2.2.1 风道设计

考虑到风机安装维护与取电的便利性,本文拟选用 并联风机从插箱顶部抽风的方式进行强迫风冷。进风 口设置在插箱前部下方,出风口设置在插箱后部上方。 为降低空气流动阻力,在风道中拐角较大的位置安装导 流板。ATCA 插箱的风道设计效果如图5 所示。



图 5 ATCA 插箱风道设计示意图

2.2.2 风机选型

ATCA 插箱内部共有 14 块刀片式板卡(单板功率 300 W),插箱总发热量 Q 为 4 200 W。已知插箱进风温 度 t_{a1} = 55 ℃,假定出风温度 t_{a2} = 65 ℃,则空气进、出口 温 差 $\Delta t_a = t_{a2} - t_{a1} = 10$ ℃。查得冷却风的定压比热容

 $C_p = 1\ 005\ \text{J/(kg · K)}$,冷却风的密度 $\rho = 1.06\ \text{kg/m}^3$,则 ATCA 插箱的设计风量为:

$$q_v = \frac{3\ 600\ Q}{C_v \rho \Delta t_a} = 1\ 419\ \text{m}^3/\text{h}$$
(2)

考虑到漏风情况,取设计风量为1500 m³/h。

当风机选用数量为 6 个时,平均每个风机提供的 风量需达到 250 m³/h。根据风机产品手册提供的风 机曲线及相关参数,可初步筛选出合适的风机型号。 然后利用 FLOTHERM 软件对每种情况进行仿真分析。 图 6 为分别选用 6 个 4118NHH、4118NH3、4118NH4、 4118NH6 和 4118N/2H8P 风机并联时 ATCA 插箱的最 高温度值。从图 6 可以看出,选用 4118N/2H8P 风机 时可满足环境要求。图 7 为选用 6 个 4118N/2H8P 风机 时可满足环境要求。图 7 为选用 6 个 4118N/2H8P 风机 时插箱内板卡及进、出口风的温度分布情况。从图 7 可知:插箱的最高温度值为 83.1 °C,满足环境要求;插 箱进风温度为 55 °C,出风温度约为 64 °C,与设计风量 时假定的 65 °C 出风温度近似,因此风量设计合理。





图 7 选用 4118N/2H8P 风机时 ATCA 插箱温度分布云图

图 8 为 6 个 4118N/2H8P 风机的工作点示意图。 由图 8 可知,靠近插箱前面板的 3 个风机提供的风量分 别为 217 m³/h、198 m³/h、178 m³/h;靠近插箱背板的 3 个风机提供的风量分别为 412 m³/h、407 m³/h、 449 m³/h。风机提供的总风量为 1 861 m³/h,大于







图 9 为穿过 CHIP1 且垂直于翅片方向的切面 速度云图,从图 9 可以看出,插箱中靠近前面板的 风速低于靠近背板处的风速。因此,在布置印制板 上元器件时应尽量将高热流密度元器件布置在靠 近背板处。





3 结束语

本文在某新型 ATCA 插箱设计研发之初对其进行了 热学仿真分析。根据热仿真分析结果,得出如下结论:

1)综合优化 ATCA 板卡翅片参数,可提高板卡散 热效率。所得到的最佳结构参数为:基板厚 2.7 mm, 内翅片高 14.3 mm,内翅片厚 1.5 mm,内翅片的数量 为 60 个。建议在设计印制板时将热功耗高的器件布 置在靠近进风处的位置,而将热功耗较低且热稳定性 较好的器件布置在靠近出风处的位置。

2)6个并联的4118N/2H8P风机在工作时提供的 风量可满足设计要求,采用优化翅片参数板卡的AT-CA插箱可满足环境要求。

3)经过插箱级分析发现,靠近插箱背板处的风速 普遍高于靠近前面板处的风速。因此当插箱的进出风 形式与本文相似时,建议在设计电路板时将高热流密 度发热元件布置在靠近插箱背板处。

参考文献

- [1] 侯旭敏,郑正奇,童燕,等. 一种基于 ATCA 平台下的 IPMI 监视软件[J]. 计算机技术与发展, 2008, 18(2): 17-20.
- [2] 刘家华. 某型雷达密封机箱散热结构研究[J]. 电子机 械工程, 2012, 28(4): 40-42.
- [3] ZHANG L M. Thermal design of the telemetry transmitter on Flotherm [J]. Equipment Manufacturing Technology, 2014 (1): 106-109.
- [4] GUANG Y H. Environment synthetical simulation analysis on satellite-borne equipment [J]. Application and Experiment, 2016, 26(6): 88–90.
- [5] 李玉宝,李增荣,高利兵. 某高功率密度密闭电源的结构热设计[J]. 电子机械工程, 2012, 28(5): 19-21.
- [6] 余建祖,高红霞,谢永奇.电子设备热设计及分析技术 [M].2版.北京航空航天大学出版社,2008.

徐计元(1988-),男,工程师,主要从事雷达产品 热设计及结构设计工作。

• 64 ·