

某全国产化车载控制器稳态热设计与仿真分析

周强¹ 林浩² 杨文龙³ 刘骏⁴

1 中电智能科技有限公司 北京 102209

2 中电智能科技有限公司 北京 102209

3 中国电子信息产业集团有限公司第六研究所 北京 102209

4 中电智能科技有限公司 北京 102209

摘要: 在车载控制器设计中,各个元器件的发热会对机箱内部温度场产生影响,而温度场的分布对整个机箱内部元器件的工作性能和可靠性有重要的影响。本文以某全国产化车载控制器为研究对象,应用有限元方法建立机箱热分析模型,运用有限元软件对控制器机箱进行70℃使用环境下,进行自然对流的稳态热分析,得到了机箱实体的温度场分布情况,给出了控制器机箱整体的热响应性能、印制线路板(PCB)及板上大功耗电子元器件的稳态温度分布云图。结果显示,PCB的温度为116.3℃,板上大功耗电子元器件的温度为122.2℃,均满足热控设计的指标要求。热分析结果表明机箱热设计合理可行,能够满足使用要求。

关键词: 机电一体化机箱; 稳态热分析; 温度场

前言

电子设备热控设计系统性能的好坏直接影响到电子设备的工作状态、工作性能以及工作寿命,解决电子设备过热问题是目前国内外电子设备热设计技术领域的研究热点之一。

对某全国产化控制器进行温度场的建模和仿真可以有效预测和研究机箱结构及外界环境对机箱温度场的影响,为机箱的可靠运行和增强散热效果提供理论依据。本文以某全国产化控制器为研究对象,在进行机箱各发热元器件热功率计算的基础上,建立其有限元稳态热分析模型,从而对某全国产化控制器的温度场进行求解和分析。

1 车载控制器热设计

车载控制器安装于工程车辆外部的电器控制箱内,受使用环境的限制,且要考虑电磁兼容设计,因此车载控制器采用金属密封结构。其中PCB采用三层板叠加的设计,发热器件主要安装在顶板跟底板上,通过金属凸台将热量通过热传导的方式导到机箱上。为减轻车载控制器整体质量,并提高热传导性能,车载控制器结构件材料为铝合金6061;电路板材料为FR4,覆铜率50%。

2 模型简化与网格划分

该产品在设计过程中考虑到外观要求,设计大量圆角与弧面造型,在仿真过程中这些外观造型对产品网格划分造成很大困难,在仿真过程中采取简化的办法,去除圆角与造型弧面,将连接器去掉,用塑料板代替。网格划分达到均匀贴体的要求如图1所示。网格单元数569578,网格节点数604980。

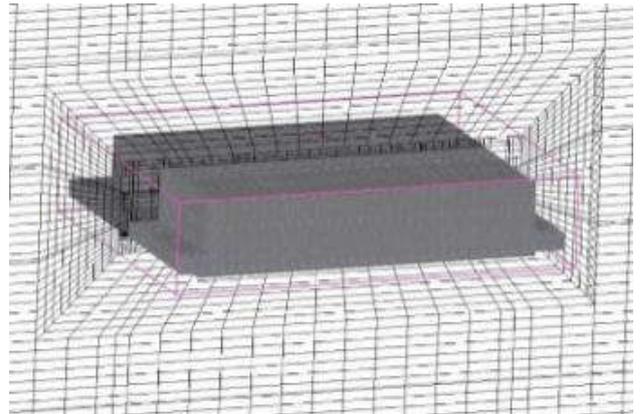


图1 网格划分

3 热环境指标要求及工况设定、参数设定

根据各个发热器件的手册参数,整理得到功耗较大元器件的功耗表,如表1所示。

表1 关键元器件的数量和功耗

序号	器件	热耗(W)	数量
1	2596	0.2	1
2	8033	0.4	1
3	2405	1.65	1
4	5215	2.8	1
5	0.11Ω采样电阻	0.44	1
6	LTC3374	0.28	1
7	SPM-I	3.5	1
8	BQ6	2	1
	总计	11.27	8

备注:芯片型号已做处理

车载控制器的环境温度为-55~70℃。对于冷却方法的选择，各主要发热器件热耗如

表所示，计算分析如下。由表1可知，控制器总功耗为 $Q_T = 11.27 \text{ W}$ 。控制器热稳态下散热表面的热流密度按式(1)进行计算：

$$\varphi = \frac{Q_T}{A} \quad (1)$$

式中：A—机箱散热总面积 (cm^2)

经计算 $A = 2550.1 \text{ cm}^2$ ，则 $\Phi = 4.42 \times 10^{-3} \text{ W/cm}^2$

4 仿真结果

表2 PCB参数

名称	层数	铜皮厚度 (um)	覆铜率	导热率 (W/m-K)		比热 (J/kg℃)	密度 (kg/m ³)
				X轴	Y轴		
底板	8	70	50%	X轴	54.5	750	1800
				Y轴	0.48		
				Z轴	54.5		
中间板	8	70	50%	X轴	54.5	750	1800
				Y轴	0.48		
				Z轴	54.5		
顶层板	10	70	50%	X轴	68.1	750	1800
				Y轴	0.53		
				Z轴	68.1		

将表1的芯片热耗数据及表2的PCB参数输入仿真软件，得到仿真云图如图2所示。

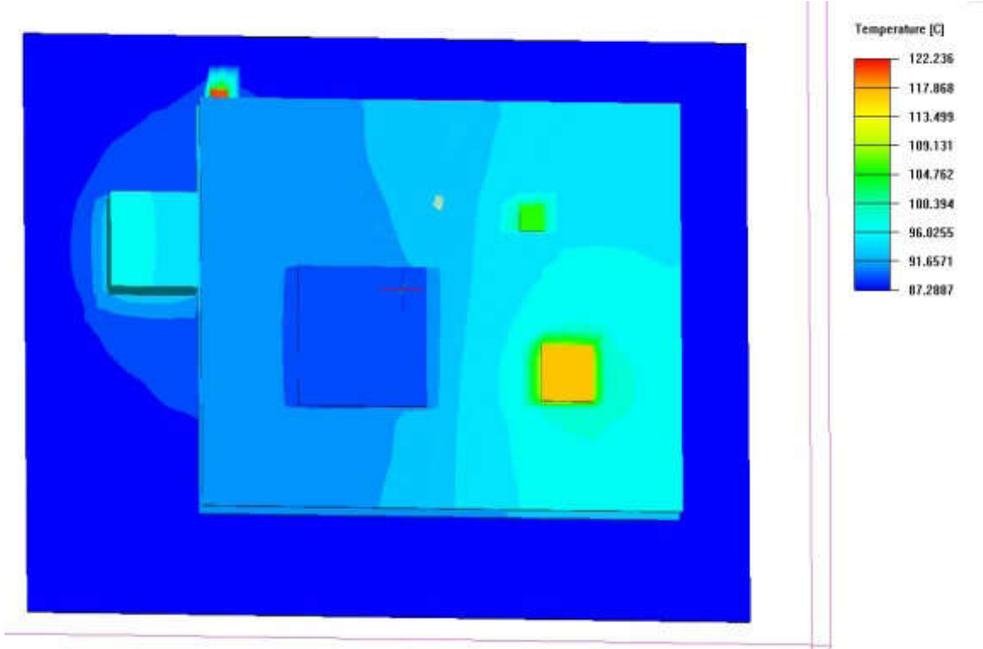


图2 内部芯片温度云图

由图2内部芯片温度云图可知电路板及发热器件的最高温度为122.2℃，在芯片8033处，不在功耗最大芯片SPM-I处，是因为通过在SPM-I上方壳体处设计凸台将芯片的热量都导到机箱上。外部壳体温度云图机箱整体的

车载控制器的最高环境温度为70℃，考虑到其内部模块、元器件的耐高温性能(105~125℃)，其内部温升应控制在25~35℃范围之内。电子设备自然冷却散热达到热稳态条件下，内部温升不超过25~35℃时，空气自然冷却散热的热流密度阈值一般在 $0.3 \times 10^{-2} \sim 4.2 \times 10^{-2} \text{ W/cm}^2$ 。

根据设备的允许温升和热流密度冷却方法选择图，车载控制器热稳态下的热流密度小于自然冷却散热的阈值，控制器机箱自然冷却散热完全可以满足散热要求。

温度为87-89℃之间。

内部各个芯片温度计算结果如表3所示，所有芯片都没有达到125℃的要求，满足设计条件。但是8033芯片温度过高接近125℃，后续应考虑对其进行散热设计。

表3 各芯片仿真温度

序号	器件	温度(°C)
1	2596	89.5
2	8033	122.2
3	2405	96.7
4	5215	98.2
5	0.11Ω电阻	89.7
6	LTC3374	106.6
7	SPM-I	91.7
8	BQ6	117.1
9	底板	111.3
10	中间板	94.7
11	顶层板	116.3

5 结论

本文借助热仿真分析快速并相对准确地得到机箱内部的热设计分析结果,给出PCB的元器件温度,使设计者对设备的散热能力有直观、准确的了解,及时发现设计

中的问题并予以修改,节省样机制作与验证的时间与成本。元器件温升均未超过最高允许工作温度,满足热设计要求。为进一步降低元器件温升,满足更高的环境要求。建议在后续阶段的设计过程中适当改进电路设计,分散布置大功耗器件,底板发热器件尽量靠近板子边缘,尤其应关注高温器件8033,注意其选型并进行必要的降额、散热设计。

参考文献:

- [1]王永康. ANSYS Icepak 电子散热基础教程[M]. 北京:国防工业出版社, 2014. [1]
- [2]李琴, 刘海东, 朱敏波. 热仿真在电子设备结构设计中的应用[J]. 电子工艺技术, 2006, 27(3): 165
- [3]邱成梯, 赵婷爻, 蒋全兴. 电子设备结构设计原理[M]. 南京:东南大学出版社, 2005: 56-58