

一种固态功率放大模块的热设计

刘茂全, 杨爱芬

(中国电子科技集团公司第二十七研究所, 河南 郑州 450047)

摘要:设计了一种固态功率放大模块,将功放组件和电源组件这2个主要的发热组件分别固定在2个相对的散热器上,根据发热量选择散热器筋片高度,在箱体的两端安装风机形成一个风道.在结构设计的基础上,采用理论计算进行验证,同时运用Icepak软件进行热仿真分析,并通过试验证实了该设计的可行性.

关键词:固态功率放大模块;热设计;Icepak

中图分类号:TK124 **文献标志码:**A **DOI:**10.3969/j.issn.2095-476X.2013.01.025

Thermal design of a solid state power amplifier module

LIU Mao-quan, YANG Ai-fen

(The 27th Research Institute of CETC, Zhengzhou 450047, China)

Abstract: A solid state power amplifier module was designed. The two thermal components with power amplifier module and power supply module were independently fixed two opposite cooling radiators. According to the thermal quantity, the height of cooling tooth was adjusted, and the cabinet was constructed a wind path by the fans of its both sides. On the base of the structure design, theoretical calculation was used to verify, and the software of Icepak was used to analyse the simulation thermal model, and the test result showed the feasibility.

Key words: solid state power amplifier module; thermal design; Icepak

0 引言

电子技术的发展使电子设备的热控制技术和热分析技术得到了普遍的重视和发展.随着电子设备组装密度的提高,组件和设备的热流密度也在迅速增加,若不采取合理的热控制技术,将严重影响电子设备的热可靠性^[1].

高功放最初是采用速调管之类的真空管器件实现的,但存在耗电大、散热大、噪声大、外形尺寸大等固有缺点,并且速调管的存贮保养比较困难,隔一段时间就要换到高功放机上工作几个月,否则

容易造成管子真空度下降,缩短管子寿命^[2].近年来随着微波元器件的进步及微波合成理论的发展,固态高功放发展很快,并进入实用状态.目前的高功放,其输出功率具有很好的稳定度,功能和综合性能指标优良,填补了国内在固态高功放领域的空白,在国外同类产品中具有领先水平.

固态高功放系统是热效应明显的电子系统,良好的热设计是保证系统正常工作的前提.固态高功放系统是由多个固态功放模块组成的,作为系统的关键整件,模块内部安装有发热量最大的2个组件:功放组件和电源组件.固态功率放大模块的热设计

收稿日期:2012-09-24

作者简介:刘茂全(1976—),男,河南省孟津县人,中国电子科技集团公司工程师,硕士,主要研究方向为测控系统电子机械工程.

是一个系统性的课题,电子设备热分析能在电子设备设计阶段,模拟设备内的温度分布,从而为改进热设计提供依据^[3]. 功放组件有最高温度要求,且固态功放模块具有功耗密度大、体积小等特点,将其作为热设计和热分析的重点是必要的. 本文拟设计一种固态功率放大模块,对其进行热设计,并采用 Icepak 软件进行热仿真分析,以验证热设计的可行性.

1 冷却方式选择

电子设备的冷却方式主要根据电子器件的发热密度(即单位面积的耗散功率)大小进行选择,同时考虑器件的工作状态、工作环境条件(如温度、海拔高度)、空间位置以及设备的复杂程度等因素. 目前常用的冷却方式有强迫风冷、强迫液冷、半导体制冷等.

1.1 强迫风冷

强迫风冷是利用风机使空气流经发热表面把热量带走的一种冷却方法. 与水冷比较,强迫风冷设备简单,工作可靠、使用维护方便、经济性好. 而且冷却空气容易获得,不存在结冰、沸腾、结露、冷却液泄漏等问题,因此中小功率密度电子设备采用强迫风冷比较合适.

1.2 强迫液冷

当电子设备的发热密度较高,用强迫风冷无法将电子器件产生的热量带走时,可以采用强迫液冷. 液冷首选方案通常为水冷,采用水冷有利于电路的集成化设计,可使设备在较低温度下稳定工作,但水冷还需要二次冷却,因此水冷系统设备复杂程度高,存在可靠性低、成本高、使用维护不便等问题. 如果密封不严,还会造成冷却液泄漏,使系统无法正常工作.

1.3 半导体制冷

半导体制冷又称温差电制冷,具有结构紧凑、制冷迅速、操作简单、容易实现高精度的温度控制等优点,其应用范围渗透到各个行业. 但由于其效率比较低,且加工制造工艺比较复杂,在很大程度上限制了半导体制冷的推广和应用^[4]. 因此在耗散功率大的固态发射机冷却中,国内尚未应用.

众所周知,在达到同样的技术指标的前提下,设备越简单,其整机的可靠性越高. 因此,强迫风冷如果能够使功放模块的工作结温低于额定值,无疑

会给固态功放系统带来最佳的可靠性. 因此,强迫风冷设计是本固态功放模块热设计的最佳方案.

2 固态功放模块的结构设计

在固态功放模块中,发热量最大的是功放组件和电源组件,这是因为在功率放大电路中,给负载输送功率的同时,管子本身也要消耗一部分功率,管子消耗功率的直接表现就是管子的结温升高. 功放器件的散热是高功放设备散热的核心问题,散热方式的正确选择直接决定功放设备能否正常工作以及工作效率的高低和寿命的长短^[5]. 功放组件发热点布局如图 1 所示,功放组件外壳为铜结构,外形尺寸 224 mm × 135 mm × 32 mm,发热量为 400 W,驱动管和末放管是主要发热点,其中末放管占 90%,发热元件与壳体之间涂上导热胶,通过螺钉相连. 电源组件发热点布局如图 2 所示,其外壳为铝合金结构,外形同功放组件,发热点由 AC 模块和 DC 模块组成,总发热量为 45 W.

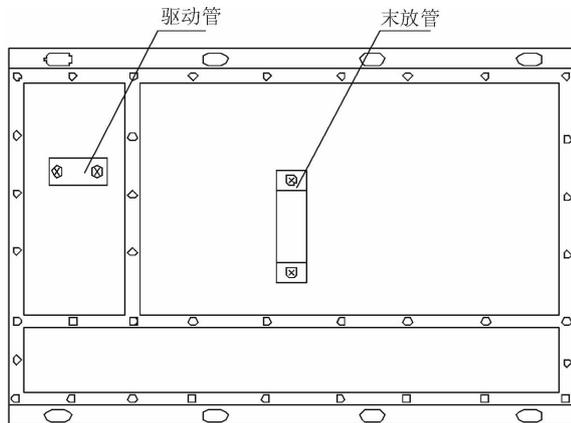


图 1 功放组件发热点布局示意图

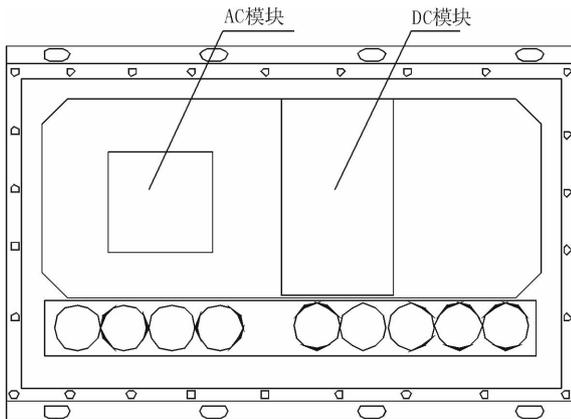


图 2 电源组件发热点布局示意图

在结构设计中,把发热量大的功放组件和电源组件直接固定在加工好的散热器平面上,功放组件功耗大,选用较高的散热器筋片;电源组件相比功耗小,选择较低的散热器筋片.然后将上下2个散热器的肋片相对安装,顺着箱体的前后方向形成一个较长的风道,在风道的进风口,即箱体前面板的相应位置开通风孔并安装一个鼓风机,后面板的相应位置安装一个轴流风机向风道外部吹风.固态功放模块内部布局示意图如图3所示.这样风道内部形成一定的冷风压力和流速,加快风道内部空气的热交换,从而把热量带走,达到散热的目的.



图3 固态功放模块内部布局示意图

3 固态功放模块的热分析理论验证

3.1 总发热量

固态功放模块的总发热量

$$\Phi = \Phi_1 + \Phi_2 + \Phi_3 = 470 \text{ W}$$

式中,功放组件的热耗 $\Phi_1 = 400 \text{ W}$;电源组件的热耗 $\Phi_2 = 45 \text{ W}$;其他电路的热耗 $\Phi_3 = 25 \text{ W}$.

3.2 散热器的理论损耗功率

电源组件和其他电路的热耗远小于功放组件的热耗,为简化理论计算模型,在计算时不再考虑.

已知高功放机房内的温度 $t_1 = 28 \text{ }^\circ\text{C}$,出风口温度 $t_2 = 58 \text{ }^\circ\text{C}$ (功放组件正常工作的允许温度),轴流风机的风量 $Q_1 = 160 \text{ m}^3/\text{h}$.按定性温度 $t_f = 0.5(28 + 58) \text{ }^\circ\text{C} = 43 \text{ }^\circ\text{C}$ 可查得空气物理参数(密度 ρ ,比热 C_p ,导热系数 k ,普朗特数 Pr ,空气动力黏度 μ ,运动黏度 ν).

根据散热器结构设计可得散热器结构参数:铝导热系数 λ ,有效长度 L ,有效宽度 W ,总高度 H ,肋片间距 p ,肋片厚 δ ,肋片高 Y ,肋内间距 X ,总传热面积 F ,通孔截面积 f ,当量直径 d .

由此可得散热器质量流速 $G = Q_1\rho/f$,雷诺数 $Re = wd/\nu$,考尔本数 $J = 0.023/Re^{0.2}$,进而可得散热器换热系数 $h = JC_p G (Pr)^{-2/3}$.散热器效率 $\eta = \tanh mY/mY$,式中 $m = \sqrt{2h/\lambda\delta}$.因此,散热器的理论损耗功率 $\Phi' = h\eta F\Delta t = 525 \text{ W}$.

功放模块的总发热量 $\Phi <$ 功放模块散热器的

理论损耗功率 Φ' .由此可知,当散热器平均壁温为 $58 \text{ }^\circ\text{C}$ 时,散热器散热功率可达 525 W ,模块内部功耗 470 W ,并留有适当余量,说明热设计方案是可行的.

4 热设计仿真及试验验证

采用 Icepak 软件建立设备热分析模型,箱体中电源组件发热比较均匀,模拟为发热铝块;功放组件是主要的发热源,且为铜壳体,所以模拟为铜块上部有一发热源的结构;其余组件由于发热量小,建模时对其发热情况不予考虑^[6].

在建立模型的过程中,设置求解所需的边界条件和模型的材料性能参数及热源功率.其中初始环境温度设为 $28 \text{ }^\circ\text{C}$.对于各器件的材料及发热功率设置,功放组件为纯铜,电源组件为铝合金,功放组件为热耗 400 W ,电源组件热耗为 45 W .

计算结果通过可视化的温度云图来显示(见图4).由图4可知,功放组件处的温度最高,约为 $55 \text{ }^\circ\text{C}$,因为功放组件允许的结温为 $58 \text{ }^\circ\text{C}$,所以该热分析模型证明功放模块热设计是成功的.

根据设备的总体布局,结合该模块热设计特点,为尽可能地降低发热组件与安装面间的界面热阻,采取了尽量增大接触面积和提高接触面表面光洁度的措施,以消除接触面的空气隙.最终,功放模块设计加工成长方体,外形尺寸为 $196 \text{ mm} \times 221 \text{ mm} \times 480 \text{ mm}$ (见图5).在实验室中对设备样机进行热设计验证,验证时实验室环境温度为 $28 \text{ }^\circ\text{C}$,可以将该温度认定为功放模块进风口温度,对功放模块样机进行加电加功率测试,系统稳定后测得出风口温度为 $50 \text{ }^\circ\text{C}$,低于功放组件允许温度.

5 结论

本文设计了一种固态功率放大模块,在结构设计的基础上,采用理论计算对热设计进行了验证,

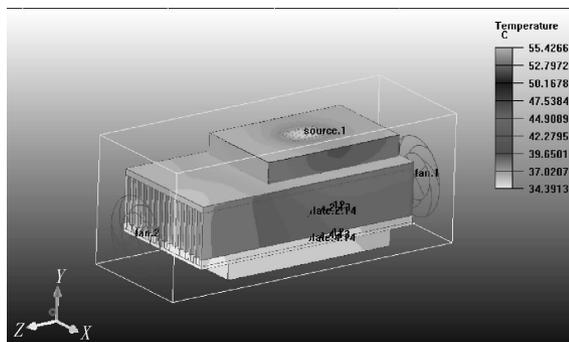


图4 固态功放模块热分析温度云图

运用 Icepak 软件进行了热仿真分析. 理论计算、热仿真分析及试验验证均获得可信且统一的结论, 该固态高功放系统在测控领域已取得广泛的应用, 稳

定性及可靠性得到了充分的验证, 同时也验证了该系统热设计的可行性.

参考文献:

- [1] 邱成梯, 赵悳爻, 蒋全兴. 电子设备结构设计原理[M]. 南京: 东南大学出版社, 2005.
- [2] 张军. 卫星地球站高功放固态化改造[J]. 广播与电视技术, 2005(1): 85.
- [3] 付桂翠, 高泽溪, 方志强, 等. 电子设备热分析技术研究[J]. 电子机械工程, 2004(1): 13.
- [4] 徐昌贵, 贾艳婷, 闫献国, 等. 半导体制冷技术及其应用[J]. 机械工程与自动化, 2012(3): 210.
- [5] 邵科峰. 基于 Icepak 软件的某高功放设备散热方式的改进分析[J]. 中国制造业信息化, 2011(15): 35.
- [6] 张丽敏, 朱晓凯, 杨爱芬. 某大功率密封功放单元的热分析及优化[J]. 郑州轻工业学院学报: 自然科学版, 2011, 26(4): 56.



图5 固态功放模块试验样机效果图

本刊数字网络传播声明

本刊已许可中国学术期刊(光盘版)电子杂志社在中国知网及其系列数据库产品、万方数据资源系统、维普网等中以数字化方式复制、汇编、发行、信息网络传播本刊全文。其相关著作权使用费与本刊稿酬一并支付。作者向本刊提交文章发表的行为即视为同意我刊上述声明。