

功率器件散热技术的研究

刘一兵^{1,2}

(1.湖南大学 电气与信息工程学院, 湖南 长沙 410082; 2.邵阳职业技术学院 机电工程系, 湖南 邵阳 422000)

摘要: 在介绍散热器传统的选择方法(即根据散热器的热阻进行选择)的基础上, 采用散热器优化软件对散热器进行优化设计, 使得功率器件与散热器达到最佳匹配, 并对散热器在选择和安装过程中的注意事项进行了阐述。

关键词: 功率器件; 热阻; 散热器; 散热设计; 优化设计

中图分类号: TN60

文献标识码: A

文章编号: 1673-9833(2007)04-0077-03

Research on Heat Dissipation Technology for Power Device

Liu Yibing^{1,2}

(1.College of Electrical and Information Engineering, Hunan University, changsha 410082, China;

2.Department of Mechanical and Electric Engineering, Shaoyang Professional Technology College, Shaoyang Hunan 422000, China)

Abstract: Based on introducing selection method (which based upon thermal resistance) of heat sink and adopting the optimization on it by the heat sink software, it can get the optimal match between power device and heat sink. Then some points on the choice and installation of heat sink are expounded.

Key words: power device; thermal resistance; heat sink; heat dissipation design; optimization design.

0 引言

功率器件作为多数电子设备的关键器件, 其工作状态的好坏直接影响整机的可靠性; 功率器件在工作时产生的热量会使自身温度升高, 而温度升高会对功率器件的性能产生有害影响。如, 高温会危及到半导体的结点, 损伤电路的连接界面, 增加导体的阻值和形成机械应力的损伤。这样, 将严重影响器件性能, 增加故障率, 从而造成电子设备失效。据统计, 电子设备的失效有 55% 是温度超过规定值引起的。随着温度的升高, 失效率呈指数增长趋势。器件的环境温度升高 10℃时, 其失效率会增加一个数量级, 即所谓“10℃法则”^[1]。因此, 对功率器件散热技术的研究显得十分重要。

功率器件由于发热量大, 需要配置合适的散热器进行有效散热。传统的方法是根据散热器的热阻来选择散热器, 这样很难达到最佳的散热效果。本文通过

热分析软件, 对散热器进行优化设计, 使得器件在允许结温的范围内, 散热器和功率器件的匹配达到最优。

1 功率器件的热性能指标

表征功率器件的热性能指标主要是结温和热阻。

1.1 结温

功率器件的种类不同, 有源区的表现形式不一样。如晶体管的有源区为 PN 结, 场效应管的有源区为导电沟道, 集成电路的有源区为扩散电阻或薄膜电阻等^[2]。

功率器件损坏的重要原因是实际耗散功率超过额定数值 P_{CM} 。器件工作时都有损耗, 大部分的损耗变成热量, 产生的热量会使器件内部芯片有源区温度上升, 即结温升高, 从而使器件可靠性降低, 严重时会使功率器件烧坏。由此可见, 功率器件的耗散功率取决于管子内部 PN 结的温度 T_j 。当 T_j 超过允许值时, 由

收稿日期: 2007-07-02

作者简介: 刘一兵(1964-), 男, 湖南邵东人, 邵阳职业技术学院高级工程师, 硕士生, 主要从事电子器件的制造工艺及设计研究。

于电流急剧增大而烧坏管子。功率器件的温度控制主要是控制功率器件的结温。从理论上讲,一般硅器件的结温为 $150\text{ }^{\circ}\text{C}$ 左右,但据可靠性研究和工程经验,对使用功率器件的电子设备长期通电,使壳体温度超过 $100\text{ }^{\circ}\text{C}$,将导致故障率明显增加。因此,要求功率器件壳体(即散热器底板)温度不超过 $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ [3]。

1.2 热阻

功率器件耗散功率大,如果不采取散热措施,管芯的温度就可达到甚至超过允许的结温而损坏器件,因此,必须加散热装置。加装散热器的功率器件的热阻由3个部分组成。

1) 从发热的PN结到器件外壳的热阻 R_{Tj} : R_{Tj} 大小与管芯尺寸、封装结构有关,一般可从器件的数据资料中查找。

2) 从管壳到散热器的热阻 R_{Tc} : R_{Tc} 的大小与安装技术及器件的封装有关。如果器件采用导热油脂或导热垫后再与散热器安装,其 R_{Tc} 典型值为 $0.1\sim 0.2\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{W}$;若器件底面不绝缘,需另加云母片绝缘,则其值可达 $1\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{W}$ 。

3) 散热器与周围空气间的热阻 R_{Tf} : 与散热材质、空气的接触面积有关,实际上就是散热器热阻。

工程计算中可将功率器件散热总热阻 R_T 表示为:

$$R_T = R_{Tj} + R_{Tc} + R_{Tf}$$

2 散热设计

进行功率器件散热设计的目的是在确定的散热条件下,选择合适的散热器,以保证功率器件安全可靠工作。常规下散热器是依据其热阻值选择,这样选择出的散热器很难达到最佳效果。为了达到最佳散热性能,选用时要对功率损耗、空气流速、散热器参数(如肋高、肋长、肋厚、肋片数目、形状、材料等)及环境条件等多个变量进行综合考虑[4]。本文采用热分析软件对散热器进行优化设计,散热设计流程如图1所示。

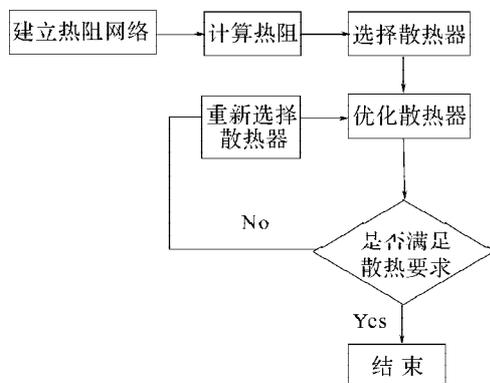


图1 散热设计流程图

Fig. 1 The flow chart for cooling design

2.1 热阻网络的建立和热阻的计算

加装散热器的功率器件形成的热阻网络由

R_{Tj} , R_{Tc} , R_{Tf} 串联而成,即热阻网络的总热阻 $R_T = R_{Tj} + R_{Tc} + R_{Tf}$ 。根据热设计基本理论,功率器件耗散的热量为

$$P_{cm} = \frac{\Delta T}{R_T}, \text{ 即 } R_{Tf} = \frac{\Delta T}{P_{cm}} - R_{Tj} - R_{Tc}$$

式中: P_{cm} 为功率器件的耗散功率,可由器件数据手册提供; $\Delta T = T_{jm} - T_a$ 为功率器件最高结温与周围环境温度之差,进行散热设计时, T_{jm} 取 $100\text{ }^{\circ}\text{C}$,而整体电路的工作环境温度通常取 $T_a = 40\sim 60\text{ }^{\circ}\text{C}$; P_{Tj} 可由器件数据手册提供; R_{Tc} 视具体情况而定。因此,可计算出 R_{Tf} ,根据 R_{Tf} 就可确定所需散热器的类型和参数。

2.2 散热器的选择

散热器热阻求出后,根据散热器的材料形状、表面安装位置和冷却介质等确定散热器的大小。

工程中散热器的选择应遵循以下几点:

1) 功率器件的热阻指标有很大的差异性,对于热阻小的功率器件,可选择在印制板上大面积覆铜后把器件紧密安装在铜皮面上达到散热目的,热阻较大的功率器件应选择与封装匹配的散热器;

2) 散热器通常采用铝合金型材,经机械加工及表面处理制成,一般为标准件,也可提供型材,由用户根据要求制成非标准散热器[5]。

3) 如果散热器肋间距太小,两肋的热边界层易交叉,影响肋表面对流,所以,建议散热器的肋间距 $>12\text{ mm}$,如果散热器肋高 $<10\text{ mm}$,可按肋间距 ≥ 1.2 倍肋高来确定散热器的肋间距。

4) 由于自然对流达到热平衡的时间较长,因此,自然对流散热器的基板及肋片厚度应足以抗击瞬时热负荷的冲击,建议 $>5\text{ mm}$ 。

5) 散热器表面应经电泳涂漆或黑色氧化处理、拉沙,以提高热辐射和增加与空气的接触面积。

2.3 散热器的优化设计

目前,热设计软件种类繁多,本文采用美国Flunt公司专门用于散热器优化的软件——Qfin软件对所选的散热器进行优化设计。

Qfin软件采用计算流体力学求解器,有限体积法非结构化网络,可以逼近复杂的几何形状,同时实现散热器肋片高度、长度等几何参数的优化。散热器的优化问题是一个有约束的多变量非线性问题。优化时先根据初选散热器的实际尺寸在优化设计软件界面上建立散热器模型,在散热器中心位置添加热源,在热源参数界面输入功率器件的功耗和接触热阻值,选定散热器质量为优化目标,分别设定散热器的肋片长度、厚度及高度,肋片个数为优化变量,其他几何参数及环境条件保持不变(对散热器优化设计时不考虑散热器基座的尺寸,这是由于基座对散热器的影响很

小,及改变基座的尺寸会使散热器成本增加)。优化后的散热器面积减小,质量减轻,散热器的热阻虽略有增大,但器件的结温仍低于最高结温,因此,器件可以正常可靠地工作,从而实现了器件与散热器的理想优化;同时,在优化过程中发现散热器肋片厚度对散热器性能的影响相对较小,肋片高度对散热器散热性能的影响比肋片长度影响大^[6]。因此,在工程优化时,主要考虑的是改变易于制造且对散热性能影响较大的几何参数,如肋片高度、长度。

2.4 案例分析

现有 LM1876 集成功率放大器制作一台最大输出

功率为 15 W 的功放,试选择合适的散热器。

分析: LM1876 是 OCL 乙类功放结构,2 只功放管最大管耗为 $2 \times 0.2 \times 15 = 6$ W,考虑静态电流和电路内前级管耗,再加大到 1.5 倍,则 $P_{cm} = 9$ W。

功放管 T_j 取 100 °C,环境温度 T_{ai} 定为 50 °C,假设 R_{Tj} 为 2 °C/W,则散热器热阻

$$R_{Tr} = \frac{\Delta T}{P_{cm}} - R_{Tj} - R_{Tc} = 2.06,$$

查表初步确定散热器的参数,将有关数据输入到 Qfin 软件系统进行优化,得出二者间的比较结果如表 1。

表 1 散热器优化前后性能指标比较结果

Tab. 1 The compared results of character optimized before and after heat sink

阶段	散热器性能指标						
	质量/kg	肋片高度/mm	肋片厚度/mm	长度/mm	散热器热阻/(°C·W ⁻¹)	散热器最高温度/°C	器件结温/°C
优化前	0.070	13	2	40	2.06	58.5	76.8
优化后	0.039	9	1	20	2.67	62.7	82.4

优化前后的比较结果表明,优化后的散热器面积减少,质量减轻。虽然热阻相应增大,但器件结温处在安全结温范围内,器件能安全可靠工作,从而实现了器件与散热器的理想优化。

2.5 散热器的安装

1) 散热器的安装要处于有利于散热的方向,可在机箱或机壳的相应位置开散热孔,使冷空气从底部进入,热空气从顶部散发;

2) 散热器与周围环境间的热阻随发热源尺寸的增大而减小,直到热源的尺寸达到散热器安装面的 60% 为止。工程中将功率器件等发热元件集中布置,将大大减少散热器的散热面积,同时可使底板厚度减薄,这样可在有限的空间内使散热器优化布置^[7]。

3) 由于散热器与功率器件的接触面不是绝对平整,接触面间会留有空隙,这种空隙为热绝缘体,严重影响热传递效率。因此,安装时应尽量保证接触面平整光滑,以增加接触面积,扭紧固件以增加接触压力,减小接触热阻。

4) 若器件外壳为电极或与电源相连,安装时必须采用云母垫片或其他高性能导热绝缘材料,使其外壳与散热安装面绝缘,以防止发生短路。

5) 在散热器相应位置钻孔,使功率器件引脚穿过散热器,为防止引脚和孔壁相碰,通常套上聚四氟乙烯套管进行绝缘。

3 结语

本文介绍了功率器件的散热设计,对散热器的选择、优化及安装过程中的经验和准则进行了总结。随着电子技术的发展,出现了很多新型的散热技术,如热管技术、热电致冷技术、微槽道冷却技术等,这将促使我们对功率器件的散热技术作更深入的研究。

参考文献:

- [1] 李 琴, 刘海泉, 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(3): 165-167.
- [2] 付桂翠, 高泽溪, 邹 航, 等. 功率器件热设计及散热器的优化设计[J]. 半导体技术, 2004(5): 78-80.
- [3] 景莘慧, 陈文鑫. 大功率电源模拟块的散热设计[J]. 电子机械工程, 2003(1): 28-30.
- [4] 龙 昊, 付桂翠, 高泽溪, 等. 自然空气冷却情况下, 功率器件散热器的优化设计[J]. 电子元件和材料, 2003(3): 18-21.
- [5] 方佩敏. 功率器件的散热计算及散热器的选择[J]. 世界电子元器件, 2002(1): 30-31.
- [6] 付桂翠, 高泽溪. 影响功率器件散热器散热性能的几何因素分析[J]. 电子器件, 2003(4): 354-356.
- [7] 张 平, 范多旺. 电子产品中散热器的设计与安装[J]. 甘肃科技, 2002(7): 108-109.