

一种低温加热电路及其性能测试^{*}

张娅妮, 赵亮, 孙立萌, 杨明明

(中国航空计算技术研究所, 陕西 西安 710119)

摘要:机载电子设备呈现出高性能、高可靠、低成本的发展趋势,而采用工业档器件进行低温加热以满足机载环境条件的要求是降低电子设备成本的一个关键途径。为了深入探讨低温加热技术在机载环境条件下的应用,文中对比了几种不同的低温加热方式。针对适合机载环境条件的电阻加热方式研制了一套低温加热智能控制电路,详细介绍了该电路的工作原理和组成部分。并在此基础上搭建了一套试验测试系统,对低温加热性能进行了试验测试,确定了低温加热时间和加热功耗的关系。结果表明:当加热功率为27 W和19 W时,元器件表面温度从-55 ℃加热到-35 ℃的加热时间分别不超过2 min和5 min,符合GJB对元器件启动温度的要求。

关键词:加热方式;加热电路;加热时间

中图分类号:TN707 **文献标识码:**A **文章编号:**1008-5300(2012)05-0011-04

A Low-temperature Heating Circuit and Its Performance Test

ZHANG Ya-ni, ZHAO Liang, SUN Li-meng, YANG Ming-ming

(Aeronautical Computing Technique Research Institute, Xi'an 710119, China)

Abstract: The airborne electronic equipment has the development tendency of high performance, high reliability and low cost, and the low-temperature heating of industrial components is the key to reduce the cost. Different kinds of low-temperature heating modes are compared in this paper in order to discuss the application of the low-temperature heating technique under airborne conditions. A low-temperature heating circuit aiming at the resistance heating is designed. The operation principle and composition of this circuit is introduced in detail. A test system is established on this basis and the low-temperature heating performance is tested. The relationship between time and power of low-temperature heating is determined. The test results show that when the heating power is 27 W and 19 W, the heating time from -55 ℃ to -35 ℃ is less than 2 minutes and 5 minutes respectively, which satisfies the GJB standard.

Key words: heating mode; heating circuit; heating time

引言

从国外的发展情况来看,越来越多的机载电子设备采用工业档器件进行加固,这是机载电子设备降低研制费用,缩短研制周期的必由之路,也是今后机载电子设备高性能、高可靠、低成本发展的主流趋势,特别是随着国外对部分军品器件的停产及封锁,这一点显得尤为重要^[1]。但在机载环境条件下,工业档芯片的性能尤其是在低温下的性能难以满足使用要求,因此,低温加热成为一项亟待解决的关键技术。

目前,国内关于低温加热方面的相关文献较少,部分研究机构针对低温加热技术开展的研究工作大多集中在-30 ℃ ~ -10 ℃以上,在-55 ℃环境条件下开展的低温加热技术研究较少。为了深入探讨低温加热技术在机载环境条件下的应用,确定满足GJB对电子设备加热时间要求的加热功耗,为其它同类设计选择加热功耗或者确定加热时间提供相应的参考依据,文中研制了一套低温加热智能控制电路,搭建了试验测试系统并对该电路的低温加热性能进行了试验测试,获

^{*} 收稿日期:2012-06-26

基金项目:航空科学基金资助项目(20100231);装备预研基金资助项目(9140A16060208HK6103)

得了低温加热时间-加热功耗的关系曲线,为低温加热技术的深入研究和广泛应用奠定了一定的基础。

1 低温加热方式

1.1 电阻加热

电阻加热膜由金属电阻丝和高强度绝缘材料采用新工艺复合而成,适用于特殊环境中电子设备的加热和除湿。产品的热能主要以辐射方式扩散,热效率高,响应速度快,无自身热损耗,且厚度仅为 0.2~2.5 mm,空间占用小。电阻加热膜表面的高强度绝缘材料同时还具有防盐雾、防水、耐霉、抗震等优点。

1.2 红外加热

红外加热膜采用远红外技术,适用于苛刻的外部环境条件。红外加热不是通过空气传递热量来加热物体,而是通过辐射远距离加热器件,因此,加热效率高,加热速度快。红外加热转换率高达 99% 以上,是一种高效、安全、耐用、易控制的加热技术,其安装及使用成本较低,使用寿命较长^[2]。

1.3 PCB 加热

PCB 加热是在需要加热的器件覆盖的 PCB 区域内布置加热导线,导线通电后发热来加热器件。PCB 加热的优点是不需要增加其它加热部件,但是,目前大部分芯片都是 BGA 芯片,这些芯片的焊点全部在芯片底部,而且数量很大,在芯片覆盖的 PCB 区域内布导线用于加热芯片的难度很大。因此,PCB 加热方式不适用于 BGA 芯片,但对于底部没有焊点的器件是适用的。

1.4 半导体制冷/加热

半导体制冷/加热又叫温差电制冷,是建立在珀尔帖效应基础上的一种制冷/加热方法^[3]。半导体制冷/加热器由电堆、冷却板和散热板组成,其制冷量和冷却速度可以通过改变电流的大小而随意调节,改变电流的方向即可以作为加热源。半导体制冷/加热效率高,一般情况下,半导体一级制冷/加热可以达到 70℃ 的温差。

综合对比上述几种加热方式发现:半导体制冷/加热效率高,但是半导体制冷/加热器体积相对较大,在机载电子设备对体积、重量要求苛刻的前提下,应用空间较小;PCB 加热不需要额外占用体积和空间,但是它不适用于 BGA 封装类型芯片,应用局限性较大;红外加热效率高、加热速度快,但是加热面积相对较大,加热区域不易控制。因此,在实际工程应用中,根据目前芯片技术的发展水平,结合机载电子设备对空间、体积及重量的要求,综合考虑加热效率和实现难度,选择了加热时间快、体积占用小、环境适应性强的电阻加热作为机载电子设备的低温加热方式,并据此设计了低温

加热智能控制电路。

2 低温加热智能控制电路

2.1 加热原理

针对不同的加热方式及加热结构,在加热模块上采取适当的方式对加热电路实施智能控制,使加热源可以自动根据环境条件的不同对被加热元器件进行加热启动或加热终止。当元器件温度低于规定的启动温度时,加热电路开关闭合,对元器件实施加热,当加热到预定的温度后,传感器发出信号,触发相应电路开关切断加热电源,终止加热。低温加热智能控制电路的工作原理如图 1 所示。

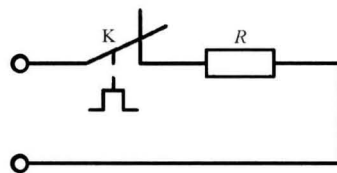


图 1 低温加热智能控制电路原理图

2.2 电路组成

根据低温加热智能控制电路的工作原理及实际加热温度限定条件,设计低温加热智能控制电路,如图 2 所示。低温加热智能控制电路由加热电路和控制电路 2 部分组成。加热电路部分主要由电阻加热膜、温度传感器和待加热器件组成;控制电路部分主要由稳压器、比较器、光电耦合器、开关和相应的电阻电容组成。各部分选择的器件均适用于机载环境条件,尤其是在低温下的性能稳定、响应迅速且控制精确。

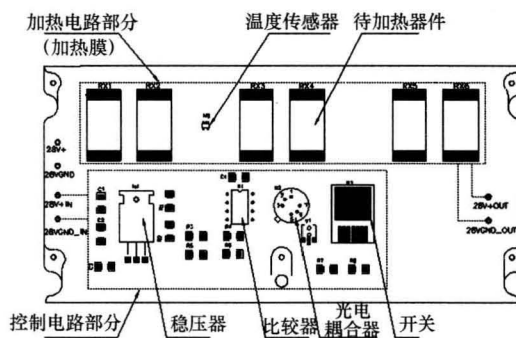


图 2 低温加热智能控制电路组成

2.3 工作过程

当元器件温度低于规定的启动温度时,控制电路开关处于闭合状态,外部直流供电电压直接为电阻加热膜供电,待加热元器件表面温度逐渐升高,温度传感器将感知到的温度信号转化为电压信号,与控制电路部分的比较器设置的基准电压进行比较(比较器设定启动温度对应的电压为基准电压)。当温度传感器感

知到的温度值高于启动温度时,感应电压大于基准电压,比较器发出控制信号,光电耦合器触发控制电路开关断开,电阻加热膜停止供电,待加热元器件表面温度逐渐降低,当温度传感器感知到的温度值低于启动温度时,感应电压小于基准电压,比较器发出控制信号,光电耦合器触发控制电路开关闭合,电阻加热膜重新开始为元器件表面加热。如此往复,实现低温加热电路的智能控制。

一般情况下,给器件设定的启动温度往往要大于器件的最低启动温度,以提高器件的可靠性和寿命。根据工程实际经验,考虑到温度继电器启动温度的误差等相关因素的影响,建议设定的温度继电器启动温度大于器件的启动温度 5℃~10℃。

3 低温加热性能测试

GJB/Z457 规定^[4],Ⅱ类机载电子设备必须在-55℃~+70℃环境条件下正常工作。目前工业级芯片能够正常工作的壳体温度范围是-40℃~+85℃,显然,当环境温度低于-40℃时,芯片无法正常启动,电子设备也就不能正常工作。同时,GJB/Z457 中对于需要加热的器件有明确的预热时间要求:在-55℃时,对于确保飞行安全所必需的电子设备,预热时间不超过 2 min,对于其它设备,预热时间不超过 5 min。因此,低温加热性能测试的主要内容是测试几种在不同加热功率下,待加热器件从-55℃加热到-35℃(设定加热温度大于器件的启动温度 5℃,下同)时所消耗的加热时间,得到加热功率与加热时间之间的关系曲线。

3.1 试验系统

试验系统主要由低温加热智能控制电路、电阻加热膜、高低温箱以及测量控制设备等几部分组成。

根据上述原理设计生产的低温加热智能控制电路板如图 3 所示。试验选用工业级 125 型电阻加热膜,额定加热功率 40 W,电阻 20 Ω,加热膜与被加热器件之间采用导热垫粘贴的方式进行固定安装。

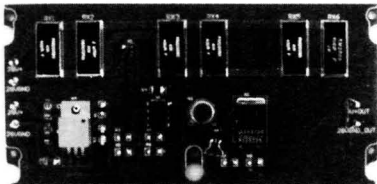


图 3 低温加热智能控制电路板

以下是试验过程中使用的仪器和设备。

(1) ESPEC 高低温箱

采用 MC-711 型 ESPEC 小型高低温试验箱,使用

环境温度为+5℃~+35℃,箱体温度可调范围为-60℃~+150℃,温度波动度为±0.5℃,温度偏差为±2℃,从环境温度+20℃降低到-70℃的时间≤30 min。

(2) 数据采集系统

采用 HYDRA SERIES II 型 FLUKE 数据采集系统进行温度测量,通过 PC 机实时输出温度测试曲线。

(3) 直流稳压电源

采用 DH1716-4D 型 35 V/100 A 直流稳压电源为低温加热智能控制电路板供电,通过调节电压和电流控制电阻加热膜的发热功率。

3.2 试验过程

在待加热元器件与电阻加热膜接触表面布置多个热电偶测试点,将组装好的加热电路置于高低温箱内,在-55℃的环境条件下保温 5~7 h,保证待加热元器件表面温度均达到-55℃,接通直流稳压电源给加热电路供电,调节直流稳压电源的电压和电流,获得不同的电阻加热膜加热功率,测量不同的加热功率条件下,热电偶表面诸多测试点的平均温度达到-35℃时所消耗的加热时间,得到加热功率-加热时间关系曲线,确定在-55℃的环境条件下将元器件表面温度加热到-35℃,加热时间不超过 2 min 和 5 min 时所需要的加热功率,并在此加热功率条件下,测量元器件表面温度随加热时间的变化趋势。

3.3 试验结果

在 5 种不同加热功率下,被加热器件从-55℃加热到-35℃所消耗的加热时间随加热功率变化的测试数据见表 1,加热功率-加热时间关系曲线见图 4。

表 1 加热功率-时间测试数据记录表

序 号	1	2	3	4	5
加热电压/V	26	28	30	32	34
加热电流/A	0.70	0.70	0.80	0.85	0.90
加热功率/W	18.2	19.6	24	27.2	30.6
加热时间/s	315	240	155	110	77

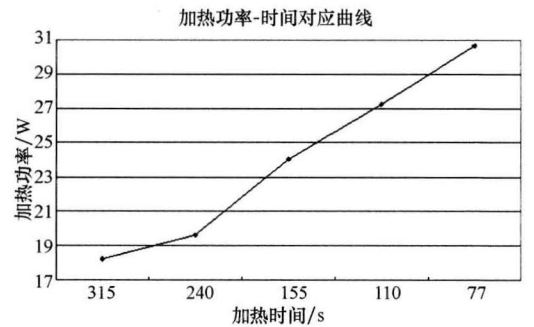


图 4 加热功率-时间关系曲线

如图 4 所示,在-55℃的环境条件下,将元器件表

面温度加热到 -35°C ,加热功率约为 27 W 时,加热时间不超过 2 min ,加热功率约为 19 W 时,加热时间不超过 5 min 。同时,分别在加热功率 27 W 和 19 W 的条件下,对元器件启动低温加热智能控制电路,将元器件表面温度加热到 -35°C ,用FLUKE数据采集系统记录元器件表面温度和加热时间的对应曲线分别如图5和图6所示。

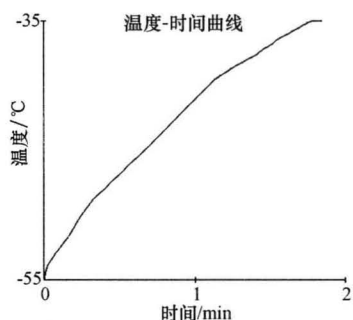


图5 加热功率 27 W 时,元器件表面温度-加热时间变化曲线

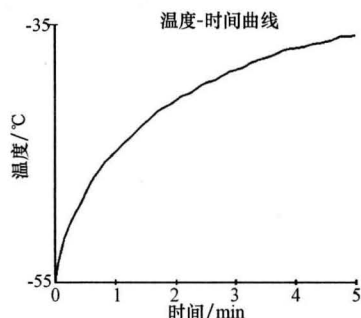


图6 加热功率 19 W 时,元器件表面温度-加热时间变化曲线

4 结束语

采用工业档芯片的低温加热技术对机载电子设备进行深入研究,得到如下结论:

1) 综合考虑机载电子设备对空间、体积、重量的要求以及温度和振动等复杂多变的机载环境条件,结合加热效率和实现难度,选择电阻加热作为机载电子设备的低温加热方式。

2) 研制的低温加热智能控制电路能够实现对工业档元器件在机载环境条件下的低温加热,避免了传统的温度继电器在低温(-55°C)下控制精度差、温度易漂移的缺点。该加热电路体积小,重量轻,控制温度准确,低温性能稳定,工程应用价值高。

3) 通过搭建试验测试系统对低温加热时间和加热功率进行测试,获得了加热时间-加热功率的关系曲线,为今后同类设计中选择合适的加热功率和确定

准确的加热时间提供了相应的参考依据。

4) 研究表明:当加热功率为 27 W 和 19 W 时,元器件表面温度从 -55°C 加热到 -35°C 的加热时间分别不超过 2 min 和 5 min ,符合GJB/Z457对元器件启动温度的要求。

从目前的使用情况来看,存在同一个设备内既有军品级器件也有工业级器件,全是军品级器件或者全是工业级器件这3种情况。因此,在实施低温加热时,也必须有3种解决方案:对于全是军品级器件的设备,不需要采取加热措施;对于全是工业级器件的设备,对整个设备采取加热措施;对于既有军品级器件又有工业级器件的设备,采用局部加热的方式,仅对工业级器件加热。

参考文献

- [1] 赵春林. 电子设备的热设计[J]. 电子机械工程, 2002, 18(5): 40-42.
- [2] 邹丽娟. 浅谈红外光电传感器工作原理及应用[J]. 机械与电子, 2010, 82(23): 110-111.
- [3] 朱冬生, 雷俊禧, 王长宏, 等. 电子元器件热冷却技术研究进展[J]. 微电子学, 2009, 39(1): 94-100.
- [4] 国防科学技术工业委员会. GJB/Z457—2001 机载电子设备通用指南[S]. 北京: 国防科学技术工业委员会军标出版发行部, 2001.

张娅妮(1983-), 女, 工程师, 硕士, 主要从事电子设备结构设计及热设计工作。

声 明

为适应我国信息化建设,扩大本刊以及作者的知识信息交流渠道,本刊已被封面上的数据库全文收录,其作者文章著作权使用费与本刊稿酬一次性付给。如作者不同意文章被收录,请在来稿时向本刊申明,本刊将作适当处理。