

非制冷焦平面热像仪温度控制设计

樊松波, 李庆辉, 林虹

(西安电子科技大学 技术物理学院, 陕西 西安 710071)

摘要: 在分析法国 ULIS 公司生产的 320×240 长波红外非制冷微测辐射热计焦平面阵列探测器 UL01011 技术参数的基础上, 论述了微测辐射热计非制冷红外焦平面热像仪温度控制的必要性, 指出了温度控制设计的实质。并讨论了单片机、线性模式单芯片热电制冷器控制器和开关模式单芯片热电制冷器控制器温控方案的优缺点。提出了使用 AD 公司生产的全新单芯片热电制冷器控制器 ADN8830 的温控设计方案, 以该芯片为核心设计出适合 320×240 长波红外非制冷微测辐射热计焦平面阵列探测器 UL01011 的温度控制电路, 该电路能够把焦平面阵列温度变化控制在 30±0.01 ℃ 范围内, 使探测器工作在最佳温度。该方案功耗低、效率高、体积小, 是一种较好的温控设计方案。

关键词: 单芯片热电制冷器控制器; 温控; 微测辐射热计; 非制冷焦平面热像仪

中图分类号: TN21 **文献标识码:** A **文章编号:** 1007-2276(2005)04-0499-04

Design of the temperature controlling for UFPA thermal camera

FAN Song-bo, LI Qing-hui, LIN Hong

(School of Technical Physics, Xidian University, Xi'an 710071, China)

Abstract: On the basis of analysis of the technical specifications of the 320×240 long wavelength infrared uncooled microbolometer detector developed by ULIS Corporation of France, the necessity of temperature controlling for microbolometer uncooled focal plane arrays thermal camera is discussed, and the essential aspect of design of temperature controlling is presented. The merits of temperature controlling schematic by single chip microcomputer, liner mode monolithic thermoelectric cooler controller and switch mode monolithic thermoelectric cooler controller are discussed. A appropriate temperature controlling circuit for the 320×240 long wavelength infrared CMOS uncooled integrated microbolometer detector is developed by a single chip monolithic thermoelectric cooler controller, named ADN8830, produced by Analog Devices Inc., and the temperature controlling circuit can keep the temperature change of the uncooled focal plane array detector in 30±0.01 ℃ so that the uncooled focal plane array detector work in the range of the most optimized temperature. This is a better scheme of temperature controlling for its high efficiency, low power and compact size.

Key words: Monolithic TEC Controller; Temperature controlling; Microbolometer; UFPA thermal camera

收稿日期: 2004-11-30; 修订日期: 2005-01-11

作者简介: 樊松波 (1979-), 男, 河南洛宁人, 硕士生, 主要研究方向为红外图像处理和可编程逻辑器件的应用。

0 引言

红外热像仪根据发展情况和预测,大致可以分为三代:第一代光机扫描型,探测单元数目有限,且需要低温制冷器;第二代为凝视型,具有二维 $N \times M$ 元焦平面阵列探测器,探测单元数目过万,且集成有信号读出电路(ROIC);第三代为灵巧型凝视大阵列焦平面,特征是集成探测器后续的信号处理电路,包括 ROIC、前放和 A/D 转换器等。第一代热像仪在技术上相对落后,且探测器为线阵,第三代热像仪尚未投入使用,因此第二代是热像仪行业目前发展的主流。第二代热像仪根据探测器阵列工作温度不同分为低温制冷和非制冷两种。低温制冷型热像仪探测器属于光子探测器,在探测性能指标上领先于非制冷探测器,但由于它的工作温度通常低于 200 K,需要昂贵的低温制冷器,使热像仪制造成本偏高,同时整机工作寿命短,体积、质量、功耗都偏大,因此主要用于军事领域。非制冷焦平面热像仪是美国 20 世纪 90 年代开发出来的高科技产品,探测器从工作机理上看属于热探测器,该热探测器虽然在探测性能指标上逊于光子探测器,但已能满足监视和夜视等应用。与传统低温制冷型热像仪相比,它具有性价比高、无须制冷、可靠性高、使用方便、功耗低、体积小、质量轻、携带方便等优点,在军事、工业、医药及科研等诸多领域都将有广泛的应用。UFPA 热像仪根据探测单元所用材料不同分为热释电 UFPA 和微测辐射热计 UFPA 两种,从现有系统来看,二者总体性能指标不相上下^[1-3]。

1 温控的必要性和实质

非制冷焦平面热像仪的“非制冷”是指其可在某个恒定室温下工作,而不像低温制冷型热像仪那样工作温度通常低于 200 K^[2,4]。对微测辐射热计 UFPA 热像仪而言,入射红外辐射使热敏元件温度上升引起自身阻值变化从而探测目标温度特性。因此,热敏元件的温度将直接影响热像仪的探测灵敏度和成像性能,只有尽量使探测器阵列所有像元温度保持在某个相同的恒定室温下,才能从根本上提高热像仪的探测灵敏度,抑制由此引起的工作波动^[5]。所以设计一个高精度的温控系统,是完成高性能非制冷焦平面热像仪

设计的关键。

选用 ULIS 公司的 320×240 长波红外非制冷微测辐射热计焦平面阵列探测器 UL01011,要使其正常工作,探测器阵列像元温度必须稳定在 30 ± 0.01 °C 且保持一致。该 UFPA 内部集成了一个具有两个电气管脚的热电制冷器和一个负温度系数温度传感器。通过温度传感器读出 UFPA 的温度,经过处理后产生控制 TEC 的电流,该电流使 TEC 制冷或制热即可精确控制 UFPA 的温度。TEC 可以带走的热量与通过 TEC 的电流成正比,但并非简单的线性关系。另外,TEC 是一个利用珀耳贴(Peltier)效应来制冷或制热的半导体 P-N 结器件,电流必须低于某个最大值,否则 TEC 将不能正常工作。因此,控制目标物体的温度,实质就是在保证 TEC 电流低于最大值的前提下,控制流过 TEC 两端的电流方向和幅度^[6]。

2 温控方案设计

控制 TEC 的方案有两种:采用单片机或采用单芯片 TEC 控制器。采用单芯片的方案为:温度传感器产生代表目标物体实际温度的模拟电信号,经过预处理依次送给 A/D 转换器和单片机,借助一定的算法,在单片机中进行高精度的 PID 运算,输出控制信号,再经 D/A 转换器,送给 TEC,控制 TEC 制冷或制热^[7]。此方案的缺点是需要 A/D 和 D/A 转换器及单片机,集成度相对较低,而且要求软硬件相结合,调试相对困难。因此,选用单芯片 TEC 控制器方案。

单芯片 TEC 控制器的基本功能如图 1 所示。第一部分是温度传感器,用来测量放在 TEC 冷端的目标物体温度,产生代表实际目标物体温度的电压。期望的目标物体温度用一个设定点电压来表示。这两个电压通过一个 OP 运放进行比较,产生一个误差电压。误差电压通过高增益放大器放大,同时对因目标

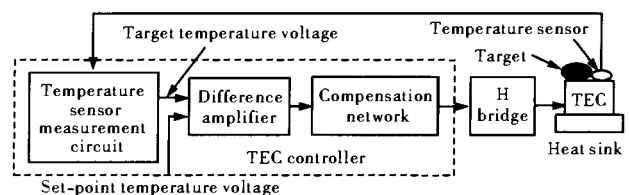


图 1 TEC 控制器功能框图

Fig.1 Block diagram of a TEC controller

目标物体的冷热端引起的相位延迟进行补偿,然后驱动H桥输出。H桥同时控制TEC电流的大小和方向。当目标物体的温度低于设定点温度时,H桥朝TEC制热的方向产生一定幅度的驱动电流;当目标物体温度高于设定点温度时,H桥会减少TEC电流甚至翻转TEC的电流方向来降低目标物体温度。当控制环路达到平衡时,TEC的电流方向和幅值被调整好,目标物体温度也等于设定的温度^[6]。

单芯片TEC控制器按照输出的工作模式不同可以分为线性模式和开关模式。线性模式的TEC控制器,虽然具有容易设计和制造的优点,但功率效率比较低,通常只有20%~40%。开关模式的TEC控制器效率比较高,但需要更多元器件^[6]。针对这种情况,模拟器件公司(ADI)于2002年推出全新的单芯片TEC控制器ADN8830。它包含了图1所示的所有功能,却克服了上述两种模式TEC控制器的缺点,并且易于设计制造,集成度高,因此效率也高。

ADN8830的特点:

(1) 与开关输出的TEC控制器采用完全对称的H桥结构不同,它采用一半开关输出,一半线性输出方式。这种同时包含线性输出和开关输出方式的专利技术能够减少一半的输出电流纹波,同时减少外围器件,并且提高功率效率到90%。当器件工作在大信号方式时,线性模式输出级会工作在“开关模式”,根据TEC是工作在制热还是制冷方式,输出会饱和在一个电源电压值上。在小信号工作方式下,线性模式输出级工作在线性模式,从而为TEC在制热和制冷方式间转换提供平滑的过渡。

(2) 采用外部的MOSFET,使设计人员可以根据驱动电流的大小需要来选用合适的MOSFET,尽可能实现效率最大化。

(3) 在输入端采用自校正,自动归零放大器,使它能达到的最终温度精度和长期温度稳定性都会低于 $\pm 0.01\text{ }^{\circ}\text{C}$,满足系统温度控制要求。

(4) 采用外部补偿网络,仅需几个电阻和电容。设计人员可以根据其热负载特性来调整补偿网络,达到最佳的温度设定时间和稳定容限。

(5) 多个ADN8830具备的频率同步和相位错开功能,使它们能够工作在多控制器模式下,即协调工

作来控制多个TEC^[6,8]。

使用ADN8830的温控系统设计方案如图2所示。电阻RTH、R1、R2、R3分别将代表实际目标物体温度和期望目标物体温度的电压信号送入ADN8830进行比较和放大;外部的MOSFET管Q1、Q2、Q3、Q4用来产生合适的电流,通过ADN8830的OUTA和OUTB管脚驱动TEC制冷或制热;电阻R4、R5、R6和电容C4、C5、C6构成外部PID补偿网络。

TEC和温度传感器要可靠工作,其电流和电压都要低于某个特定的值。因此,对系统加上限流和限压功能十分必要。采用ADI公司高性能放大器AD8605和ADN8830配合使用,通过编程ADN8830管脚VLIM设定最大输出电压来实现最大输出电流限制;同时使放大器AD8601和ADN8830配合使用,对系统进行短路保护。

3 结论

该方案的优点:

(1) 与单片机方案相比,使用较少的元器件;而且ADN8830本身集成度很高,且体积很小,采用5mm×5mm LFCSP封装,因此使PCB板面积大大减小,系统功耗降低,效率和可靠性提高。

(2) ADN8830采用外部补偿网络,只有几个电阻和电容,调整简单方便。经验证,该方案成功达到了预定目标。

参考文献:

- [1] WU Cheng, SU Jun-hong, PAN Shun-chen, et al. A review of the technology based on uncooled infrared focal plane array[J]. *Infrared Technology* (吴诚, 苏君红, 潘顺臣, 等. 非制冷红外焦平面技术评述(上). *红外技术*), 1999, 21(1): 6-9.
- [2] WU Cheng, SU Jun-hong, PAN Shun-chen, et al. A review of the technology based on uncooled infrared focal plane array[J]. *Infrared Technology* (吴诚, 苏君红, 潘顺臣, 等. 非制冷红外焦平面技术评述(下). *红外技术*), 1999, 21(2): 1-3.
- [3] XING Su-xia, ZHANG Jun-ju, CHANG Ben-kang, et al. Recent development and status of uncooled IR thermal imaging technology [J]. *Infrared and Laser Engineering* (邢素霞, 张俊举, 常本康, 等. 非制冷红外热成像技术的发展与现状. *红外与激光工程*), 2004, 33

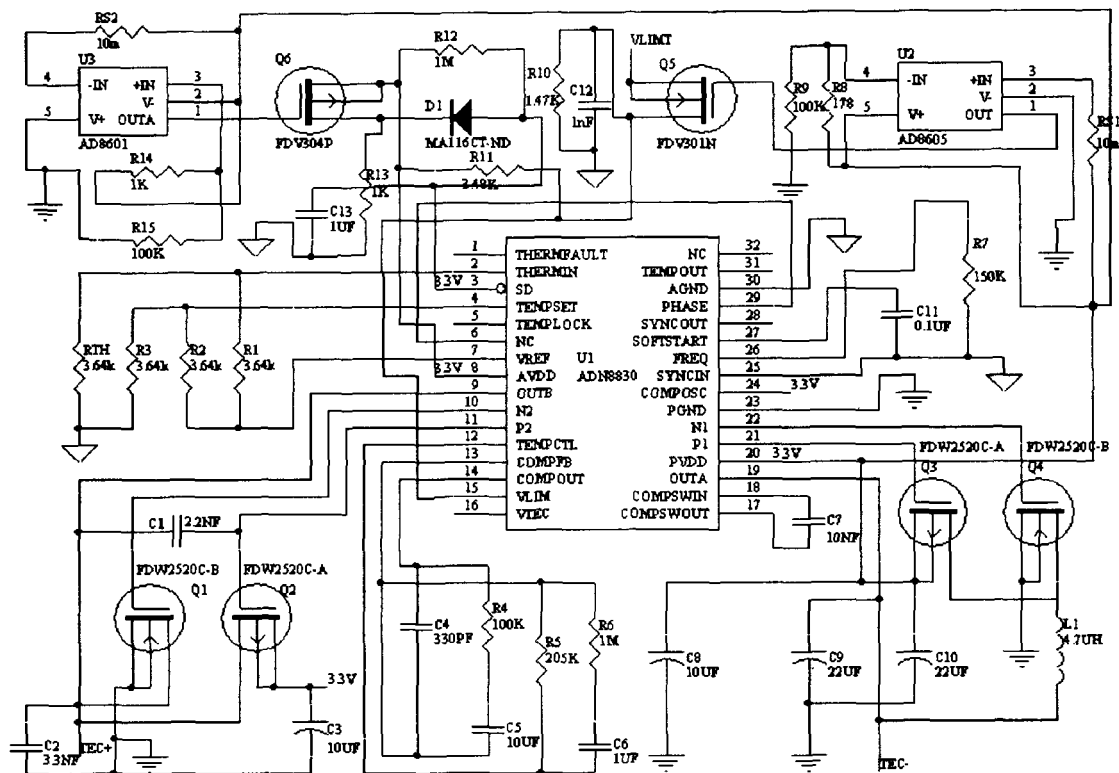


图 2 ADN8830 温控器设计电路

Fig.2 Circuit schematic of ADN8830 cooler controller

- (5): 441-444.
- [4] GU Wen-yun, PI De-fu, ZHOU Shi-yuan. Uncooled microbolometer thermal imaging[J]. Infrared and Laser Engineering(顾文韵, 皮德富, 周士源. 非制冷微测辐射热计热成像. 红外与激光工程), 2000, 29(2): 65-67.
- [5] XU Long, LIU Hui-tong, LIU Jing, et al. The design for drive circuits and signal post-processing of 128×128 infrared focal plane array[J]. Infrared Technology(徐隆, 刘会通, 刘靖, 等. 128×128 红外焦平面阵列驱动和信号后处理电路的设计. 红外技术), 2002, 24(5): 25-29.
- [6] ZHANG Yang, Ashe J. Design a high performance TEC controller [A]. SPIE[C]. 2002, 4913. 177-183.
- [7] KONG Ling-bin, YI Xin-jian, WANG Dian-hong, et al. Design of 320×240 long wave uncooled microbolometer infrared thermal camera[J]. Acta Photonica Sinica(孔令彬, 易新建, 王典洪, 等. 320×240 长波非制冷微测辐射热计红外热像仪的研制. 光子学报), 2002, 31(5): 596-600.
- [8] Analog Devices, Inc. Thermoelectric Cooler Controller ADN8830 [Z]. Norwood: Analog Devices, Inc, 2003.

欢迎订阅《红外与激光工程》

《红外与激光工程》系中国宇航学会光电技术专业委员会会刊, 由中国航天科工集团公司主管, 创刊于 1972 年, 是国家科委和国家新闻出版署批准的国家级学术刊物, 中国科技论文统计源期刊, 中国无线电电子学、电信技术类核心期刊, 被美国“剑桥科学文摘(CSA)”、英国“科学文摘(SA)”、俄罗斯“文摘杂志(AJ)”收录, 入编中国学术期刊(光盘版), 2004 年第 1-6 期全部被 EI 核心数据库收录。本刊可办理广告业务, 广告经营许可证号: 津工商广字 3-141。

本刊为 A4 开本, 国内外公开发行, 128 页, 全年定价 90 元(含邮费)。邮发代号为 6-133, 欢迎订阅。