

非制冷红外焦平面组件温控装置设计

张 伟^{1,2} 陈新禹¹ 方家熊¹

(¹ 中国科学院上海技术物理研究所 传感技术国家重点实验室, 上海 200083; ² 中国科学院研究生院, 北京 100039)

摘要 非制冷红外焦平面组件是功率器件。红外焦平面组件的温度会随着工作时间的增加而变化, 温度的变化直接影响红外焦平面组件的性能稳定性。为了稳定非制冷红外焦平面组件的温度, 设计了一种基于比例积分控制 (PI control) 的制作简单调试便捷的温度控制装置, 在印刷电路 (PCB) 板上实现了温度的监测与控制, 预设温度可以根据标定对照表直接在面板上设定。该系统由热电制冷器 (TEC), PI 控制电路, 铂电阻 (Pt100) 温度传感器组成, 能够将焦平面阵列的温度稳定控制在 25 °C ~ 15 °C 范围, 稳态误差小, 控制精度达到 ±0.1 °C。可以保证非制冷红外焦平面组件在室温下稳定工作, 不会引进额外噪声。

关键词 探测器; 非制冷红外焦平面组件; 温控装置; PI 控制电路; 热电制冷器

中图分类号 O436 **文献标识码** A **doi:** 10.3788/AOS200929s1.0361

Design of Temperature Controlling Device for Uncooled Infrared Focal Plane Array Assembly

Zhang Wei^{1,2} Chen Xinyu¹ Fang Jiaxiong¹

¹ State Key Laboratory of Transducer Technology, Shanghai Institute of Technical Physics, Chinese Academy of Sciences, Shanghai 200083, China
² Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039, China

Abstract Uncooled infrared focal plane array (IR-FPA) assembly is power device. The temperature of uncooled IR-FPA assembly will be risen up along with working time, which directly affect the performance stability of the uncooled IR-FPA assembly. A design based on proportional integral (PI) control which is composed of thermo-electric cooler (TEC), PI controller, Pt-100 temperature sensor is capable of measuring and controlling temperature, and the temperature controlling circuit can keep the temperature change of the uncooled IR-FPA detector between 25 °C ~ 15 °C. The precision of controlling is ±0.1 °C, so that the temperature controlling system based on PI control can ensure the uncooled focal plane array detector work in the temperature of high stabilization and precision without noise in addition.

Key words detectors; uncooled IR-FPA; temperature control; PI controlling circuit; thermo-electric cooler (TEC)

1 引 言

红外探测器组件按工作温度不同分为低温制冷和非制冷两种。非制冷焦平面探测器组件的“非制冷”是指其在某个恒定室温下工作, 而不像低温制冷型焦平面那样工作温度通常低于 200 K。

但探测器组件是功率器件, 功耗一般为 100 mW 左右, 随着工作时间的增加, 探测器芯片及读出电路芯片的温度也会越来越高。温度的变化直接影响红外焦平面探测器组件的性能稳定性。因此, 应尽量使非制冷红外焦平面组件温度保持在某个恒定温度下, 才能抑制由温度变化引起的工作性能波动。

设计高精度高稳定的温控系统对保持探测器组件的性能稳定至关重要。常规温控器通过控制继电器开关来控制温度, 开关通断引起的电磁干扰会给焦平面组件带来很大噪声。此温控系统采用比例积分 (PI) 控制, 通过功率三极管直接控制热电制冷器 (TEC) 电流, 温度稳定后电流波动很小, 不会引起额外噪声^[1~3]。

2 温度控制装置的设计

2.1 温控装置的原理

首先实现温度的监测, 温度变化导致 Pt-100 温

基金项目: 国家自然科学基金 (50632060) 资助课题。

作者简介: 张 伟 (1984—), 男, 博士研究生, 主要从事红外焦平面读出电路方面的研究。E-mail: zhangwei@mail.sitp.ac.cn

导师简介: 方家熊 (1939—), 研究员, 主要从事光传感器方面的研究。E-mail: jxfang@mail.sitp.ac.cn

度传感器的电阻变化,电阻的分压作用将其转换成电压信号,再经过差分放大器得到代表温度值的电压信号 V_{temp} 。温度控制部分将电压信号 V_{temp} 与设

定温度 V_{set} 通过差分放大器做误差放大,误差信号经过比例积分器补偿调制后,驱动低频大功率三极管控制 TEC 工作。如图 1 所示^[4~6]。

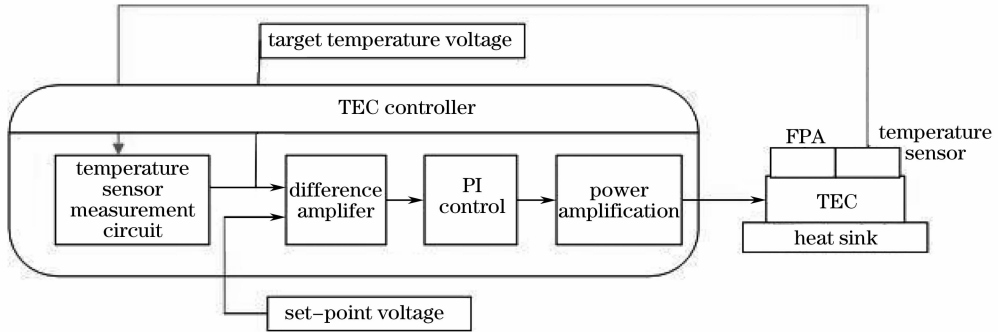


图 2 温控系统原理图

Fig. 2 Theory diagram of temperature controlling system

2.2 温度监测模块

测温模块由 Pt-100 温度传感器,温度监测电路构成。铂电阻监测焦平面的温度,为了更好地达到测温目的,铂电阻与焦平面一起贴在宝石片上。宝石片下面与热电制冷器的冷端直接接触,以达到最好的制冷效果。热电制冷器,温敏铂电阻和焦平面一起封装在管壳中。

为比例差分放大。温敏电阻采用正温度系数的 Pt-100 铂电阻。 V_{ref} 为高精度的参考电压。 R_5, R_6 的阻值相等, R_{set1} 可调电阻,用来调节 V_{temp} 的零点。当温度变化时, Pt 电阻偏离 100Ω 与 R_{set1} 不等,由于对称性被破坏,在第一级放大器的两个输入端会产生微小的电压差。然后经过增益可调的第二级放大得到温度信号电压 V_{temp} , 调节 R_{set2} 可以控制 V_{temp} 的范围。

电路如图 2 所示,由两级放大器组成。第一级

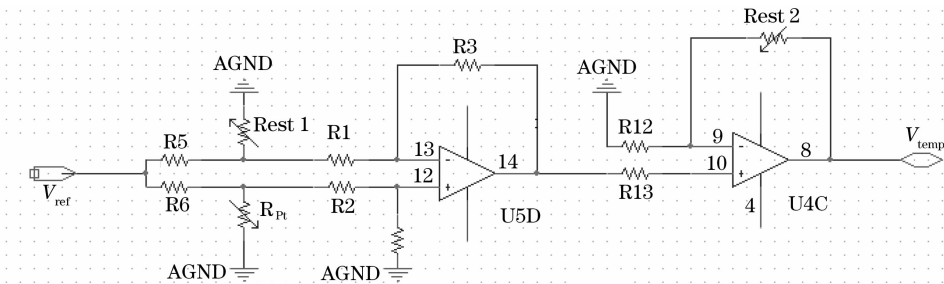


图 2 温度监测电路

Fig. 2 Temperature measuring circuit

在设计温控系统之前首先要确定温度测量范围。由于要求在室温范围内控温,因此设定温度测量范围

为 $-30 \text{ }^\circ\text{C} \sim 30 \text{ }^\circ\text{C}$, V_{temp} 变化范围为 $0 \sim 5.0 \text{ V}$ 。

将温敏铂电阻替换为可调电阻,调节其阻值,对照铂电阻阻值与温度的标定表,改变 R_{set2} 确定放大器增益,设定温度测量范围。得到图 3 所示标定表,表中所示温度与实际温度存在标定误差。

2.3. 温度控制模块

温度控制是先将温度信号 V_{temp} 与设定温度 V_{set} 通过差分放大器做差值放大,误差电压经过比例积分器驱动低频大功率三极管控制 TEC 工作。电路如图 4 所示^[7,8]。

V_{set} 即设定温度值,其与温度的关系参照上述标定表。调节 R_{set3} 可设定 V_{set} 的值, R_{set3} 的最大阻值与 R_7 相等, $V_{ref} = 10 \text{ V}$, 因此 V_{set} 从 $0 \sim 5.0 \text{ V}$ 可调。

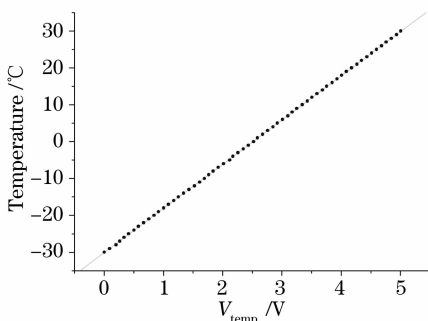


图 3 温度与 V_{temp} 的标定表

Fig. 3 Calibrating diagram of temperature and V_{temp}

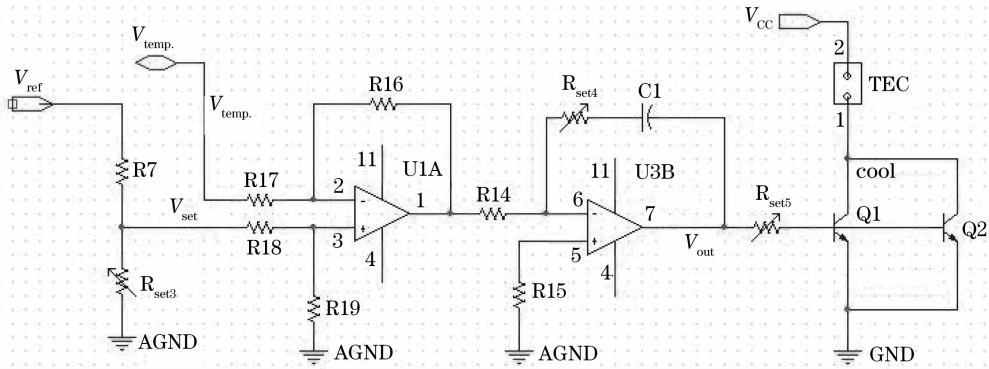


图 4 温度控制电路

Fig. 4 Temperature controlling circuit

V_{temp} 与 V_{set} 通过差分放大后得到误差电压 $V_{error} = \frac{R_{16}}{R_{17}}(V_{set} - V_{temp})$ 。

误差电压经过比例积分器的调制后形成控制信号,控制热电制冷器的工作。比例积分器传递函数为

$$G(s) = -K_p \left(1 + \frac{1}{TS} \right),$$

其中 $K_p = R_{set4}/R_{14}$, $T = R_{set4} \times C_1$ 。

然而 TEC 需要安培量级的大电流驱动,调制控制信号电流很小不能达到要求,因此采用低频大功率的三极管对电流进行放大。TEC 的驱动电流 I_{cool} 可以近似表示为: $I_{cool} = \frac{V_{out} - V_{th}}{R_{set5}} \times 2\beta$ 。可调电阻 R_{set5} 用来控制此驱动电流 I_{cool} 。

3 实验结果及分析

3.1 温度控制稳态误差

在 $-20\text{ }^\circ\text{C} \sim 30\text{ }^\circ\text{C}$ 范围内做温控实验,根据温度与电压标定表,设定温度 V_{set} ,测量系统稳定后的 V_{temp} 值,并与 V_{set} 比较得到图 5(室温 $27\text{ }^\circ\text{C}$)。

由图 5 可知在 $-15\text{ }^\circ\text{C} \sim 25\text{ }^\circ\text{C}$ 范围内,温控系统可以对温度稳定控制,稳态误差很小。在此范围平均稳态误差 5.87 mV ,折合温度误差不高于 $1\text{ }^\circ\text{C}$ 。低温区域(低于 $-15\text{ }^\circ\text{C}$),误差开始增加,且随着温度的增加稳态误差增大。这是由于 TEC 制冷极限限制,在 $V_{cc}=5\text{ V}$ 的情况下,TEC 极限制冷温度为 $-17\text{ }^\circ\text{C}$ 。进一步降低控制温度需要增强 TEC 热面的散热能力。

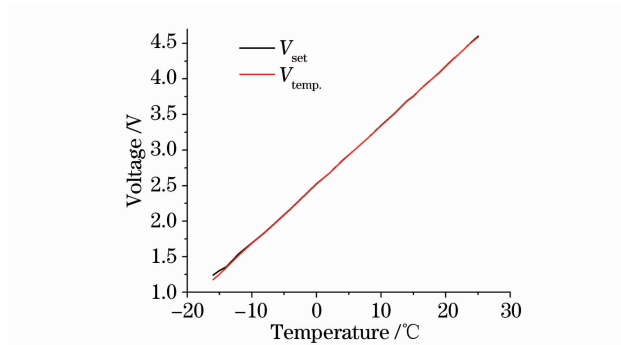


图 5 V_{set} 的控制误差

Fig. 5 Error of temperature controlling

3.2 温控系统时间稳定性

在特定温度下($-15\text{ }^\circ\text{C}$, $-10\text{ }^\circ\text{C}$, $0\text{ }^\circ\text{C}$, $10\text{ }^\circ\text{C}$, $20\text{ }^\circ\text{C}$)对控温系统的时间稳定性进行测试。结果如图 6(室温 $27\text{ }^\circ\text{C}$)。

V_{temp} 波动越来越小,最终稳定在 V_{set} ,由图可见稳态误差较小。PI 控制稳定时间较长,可以通过改变积分电容 C_1 和 R_{set4} 来调节积分时间从而调整稳定时间,但这样可能会增加稳态误差和降低控制精度。PID 控制可以兼顾精度与速度,但需调节三个参数,调节困难而且系统不易稳定。前面提到,应尽量保证焦平面工作的温度恒定,而对系统的稳定时间要求不高,因此 PI 控制完全可以满足要求^[9,10]。

4 结 论

实验证明采用比例积分控制来实现非制冷焦平面阵列的温度控制可以满足高稳定高精度的要求,在 $-15\text{ }^\circ\text{C} \sim 25\text{ }^\circ\text{C}$ 范围,稳态误差小,控制精度达到 $\pm 0.1\text{ }^\circ\text{C}$ 。该系统结构简单完全硬件搭建,相比单片机实现的温控系统参数调节方便不需要微机编程。

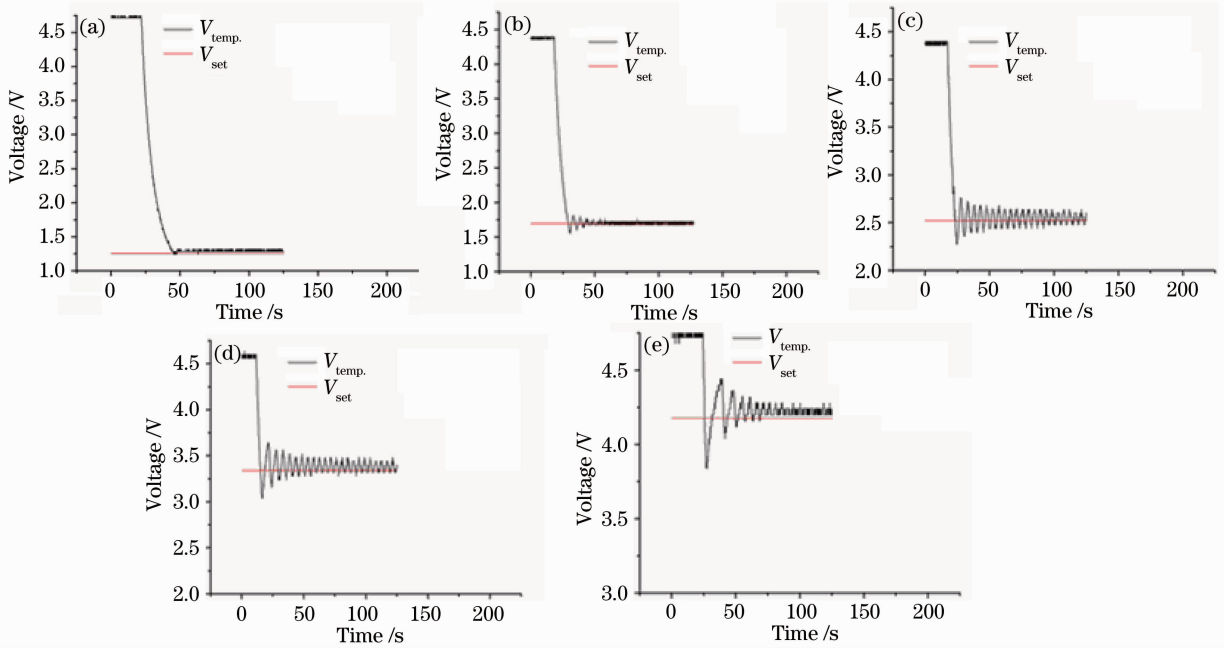


图 6 温控系统在不同温度下的时间稳定性。(a) $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$; (b) $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$; (c) $0\text{ }^{\circ}\text{C}$; (d) $10\text{ }^{\circ}\text{C}$; (e) $20\text{ }^{\circ}\text{C}$

Fig. 6 Stability of temperature controlling on temperature variation. (a) $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$; (b) $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$; (c) $0\text{ }^{\circ}\text{C}$; (d) $10\text{ }^{\circ}\text{C}$; (e) $20\text{ }^{\circ}\text{C}$

参 考 文 献

- Xing Suxia, Zhang Junju, Chang Benkang. Recent development and status of uncooled IR thermal imaging technology [J]. *Infrared and Laser Engineering*, 2004, **33**(5): 441~444
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[J]. *红外与激光工程*, 2004, **33**(5): 441~444
- Gu Wenyun, Pi Defu, Zhou Shiyuan. Uncooled micro bolometer thermal imaging[J]. *Infrared and Laser Engineering*, 2000, **29**(2): 65~67
顾文韵, 皮德富, 周士源. 非制冷微测辐射热计热成像[J]. *红外与激光工程*, 2000, **29**(2): 65~67
- Xu Long, Liu Huitong, Liu Jing. The design for drive circuits and signal post-processing of 128×128 infrared focal plane array [J]. *Infrared Technology*, 2002, **24**(5): 25~29
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[J]. *红外技术*, 2002, **24**(5): 25~29
- Wang Jingzhong, Feng Wei. Research on temperature control circuit of uncooled infrared focal plane array [J]. *Electronic Measurement Technology*, 2008, **31**(10): 42~45
王景中, 冯伟. 非制冷红外焦平面温度控制电路研究[J]. *电子测量技术*, 2008, **31**(10): 42~45
- Fan Songbo, Li Qinhuai, Lin Hong. Design of the temperature

controlling for UFPA thermal camera[J]. *Infrared and Laser Engineering*, 2005, **34**(4): 499~502

- 樊松波, 李庆辉, 林虹. 非制冷焦平面热像仪温度控制设计[J]. *红外与激光工程*, 2005, **34**(4): 499~502
- Richard C. Dorf. *Modern Control Systems*[M]. Xie Hongwei transl., Beijing Higher Education Press, 2001. 587~591
道尔夫·理查德. *现代控制系统*[M]. 谢宏伟译, 北京: 高等教育出版社, 2001. 587~591
- Xiao Heng, Chen Chunjun. The circuit design of PID temperature control device[J]. *Measure and Test Technology*, 2003, (1): 10~11
肖衡, 陈春俊. PID 温度控制装置的电路设计[J]. *计量与测试技术*, 2003, (1): 10~11
- Wang Zhimin, Wang Yichao. The application of integrated temperature controlling device[J]. *Apparatus and Instrument*, 2002, (3): 39~42
王志敏, 王轶超. 集成温度控制器的应用[J]. *仪器仪表用户*, 2002, (3): 39~42
- Hang Yang, Ashe J. Design a high performance TEC controller [C]. *SPIE*, 2002, **4913**: 177~183
- Analog Devices, Inc. *Thermoelectric Cooler Controller ADN8830* [S]. Norwood: Analog Devices, Inc, 2003