

·光电系统·

基于ADN8830的非制冷红外焦平面温度控制系统

张晓鹏, 郭经纬

(海湾安全技术有限公司, 河北 秦皇岛 066004)

摘要:在光电领域中,有许多光器件对温度稳定性的要求很高。非制冷红外焦平面作为不需制冷的红外探测器有很好的应用前景。为了保证焦平面上各敏感元的温度稳定性,设计了一个高性能、高精度的温度控制系统。介绍了采用赛贝克效应工作的热电制冷器(TEC)的工作原理,详细讨论了基于ADN8830的温度控制电路的设计。通过实验对所设计的温控系统进行了测试,测试结果表明,所设计的温控系统完全符合焦平面上各敏感元对温度稳定性的要求。

关键词:ADN8830;热电制冷器(TEC);非制冷红外;焦平面;温度控制

中图分类号:TN216

文献标识码:A

文章编号:1673-1255(2011)01-0001-04

Uncooled Infrared Focal Plane Temperature Control System Based on ADN8830

ZHANG Xiao-peng, GUO Jing-wei

(Gulf Security Technology Co., Ltd, Qinhuangdao 066004, China)

Abstract: In the electro-optic field, many devices require the temperature stabilization. Uncooled infrared focal plane (UIFP) which does not need the cooling system has a good prospect. In order to ensure the temperature stabilization of each sensitive element on the focal plane, a high performance and accuracy temperature control system is designed. The theory of thermo-electric cooler (TEC) using Seebeck effect is introduced, and the design of temperature control circuit based on ADN8830 is discussed. The experimental results show that the temperature control system fully meets the requirements of the temperature stabilization of each sensitive element on the focal plane.

key words: ADN8830; thermo-electric cooler(TEC); uncooled infrared; focal plane; temperature control

在光电领域中,有许多光器件对温度稳定性的要求很高。非制冷红外焦平面技术采用的是不需要制冷的微测辐射热计焦平面敏感探测阵列,利用目标红外辐射(8~12 μm)使焦平面上敏感探测单元的温度改变,从而使其电阻特性发生改变来探测目标的信息。所以,应该尽可能地保证焦平面上各敏感元的温度稳定性,这样才能提高各敏感元的探测灵敏度,抑制由此引起的工作波动,减小后期非均匀性校正的难度,从根本上提高非制冷红外焦平面系统的成像质量^[1,2]。出于此目的,设计了基于

ADN8830的非制冷红外焦平面温度控制系统,设计结果完全满足实际要求。

1 温度控制原理

在温度控制系统中,采用一种叫热电制冷器(TEC, thermo-electric cooler)的装置来把目标物体稳定在工作点温度。TEC的温度稳定精度在0.01℃,这完全符合焦平面阵列的要求。

TEC是一个半导体P-N结器件,是利用赛贝克效应来加热和制冷的^[3]。如图1所示,当在TEC两

收稿日期:2010-12-30

作者简介:张晓鹏(1981-),男,河北秦皇岛人,学士,主要从事消防安防方面的研究。

端加直流偏置电流时,TEC的一端就会加热,而另一端就要制冷^[4]。发热的一端通常被称为“热端”,制冷的一端被称为“冷端”。如果把TEC两端的偏置电流反向,则热端变为冷端,冷端变为热端。TEC转移的热量与通过TEC的电流有关。电流越大,转移的热量越多,但并非线性关系。因此,焦平面阵列的温度可以通过调节流过TEC两端电流的大小和方向来控制。但流过TEC的电流不能超过其允许的最大值。

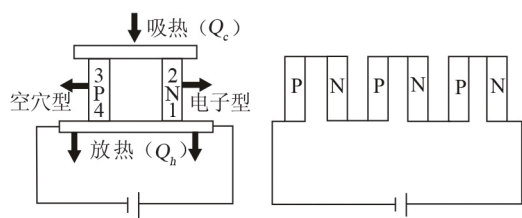


图1 TEC工作原理图

图2是TEC的一个工作框图。图2中温度传感器用来感应TEC上焦平面阵列的温度。基准温度是用一个设定点电压来表示的,与温度传感器产生的表示焦平面阵列温度的电压通过一个运算放大器进行比较,产生一个偏差电压。这个偏差电压通过差分放大器进行放大,同时通过补偿网络也对焦平面阵列引起的相位延迟进行补偿,然后再通过H桥输出电流来控制TEC。当焦平面阵列的温度高于基准温度时,H桥就朝TEC制冷的方向输出一定幅值的驱动电流;当焦平面阵列的温度降低时,H桥就会减小电流甚至反转电流方向来对焦平面阵列加热;当焦平面阵列温度达到基准温度时,H桥就不会输出电流。图2中虚线部分为TEC控制器模块。

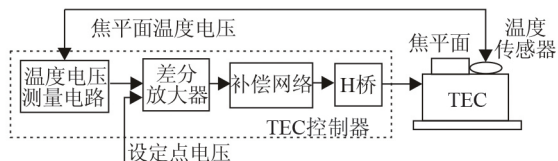


图2 TEC控制框图

综上所述可以看出,一个好的温度控制电路需要包含以下内容^[5]:

- (1)一个精密的差分放大器,能够准确地测量出焦平面阵列温度和基准温度的不同;
- (2)一个完整的补偿网络,能够得到最优的稳定

性和时间特性;

(3)一个高的输出电流,因为高的输出电流可以使TEC控制器有较高的效率,将除TEC以外的器件产生的热量减小到最小。

2 基于ADN8830的温度控制电路设计

2.1 ADN8830控制原理

为了满足上述内容要求,一般采用单片集成式TEC温度控制器。文中采用的为ADI公司生产的ADN8830控制器。图3为ADN8830控制原理图。

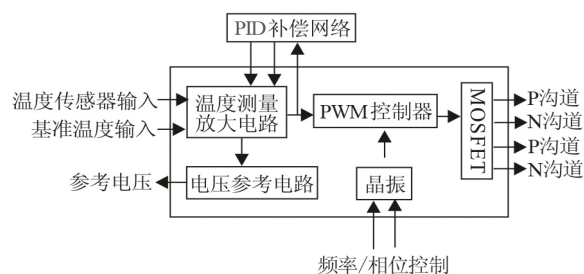


图3 ADN8830控制原理图

图3中的温度传感器,一般采用的是一个负温度系数的热敏电阻(negative temperature coefficient thermistor)来感应焦平面阵列的温度。偏差放大电路采用的是高精度差分放大器作为输入级,该放大器可以区分 $250\mu\text{V}$ 以上的偏差,且具有自校正、自归零、低温漂的特性。电压参考电路输出的是典型值为 2.47V 的标准参考电压。通过调整PID(比例-积分-差分)补偿网络的参数可以改变系统的响应特性^[6]。通过对限制控制器的调制,可以设置TEC的最大加热、制冷电流及其最大偏压。晶振部分控制着MOSFET的开关频率。采用一半开关输出一半线性输出的MOSFET驱动器,可以减少一半的输出电流纹波,同时减少了一些外围器件,提高了效率。

2.2 温度控制系统的设计

图4为所设计的基于ADN8830的温度控制电路。ADN8830通过一个简单的电阻分压将热敏电阻(R_{TH})连接到偏差放大器上,如图4中虚线A部分所示。 R_{TH} 与 R_1 、 R_2 、 R_3 构成一个电桥,当电桥平衡时,焦平面的温度为基准温度。电阻 R_1 的选择与 R_{TH} 的温度特性和工作环境有关。 R_1 的阻值可通过

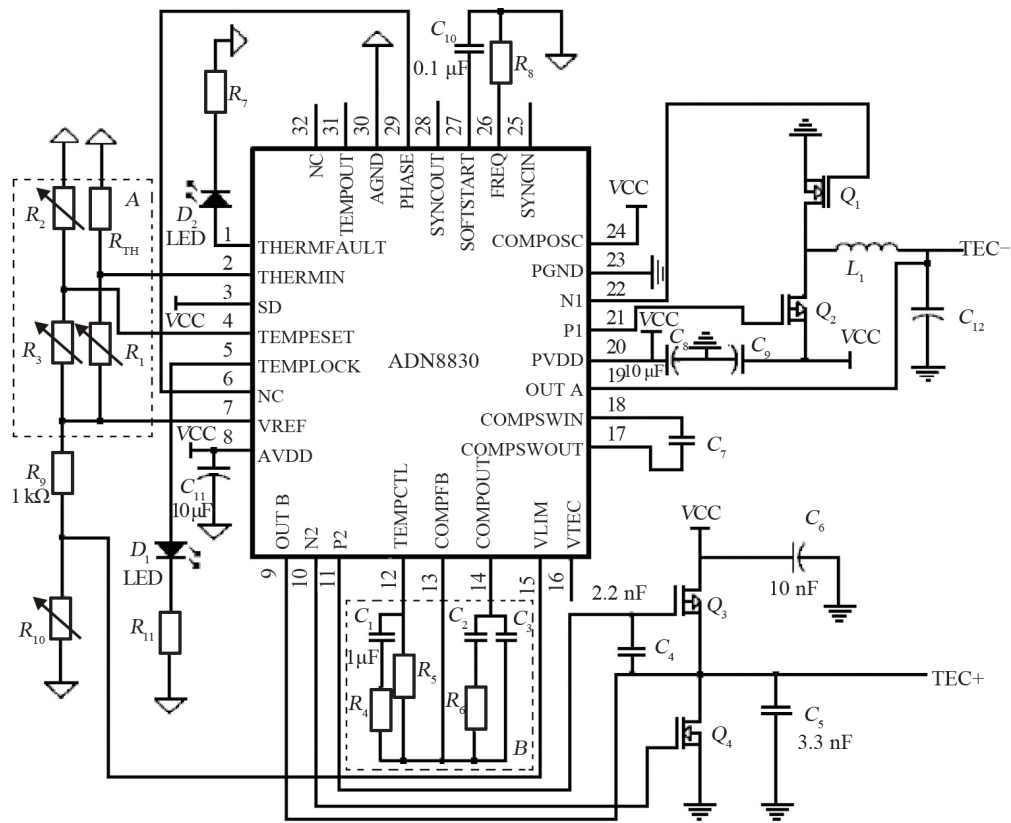


图4 ADN8830温度控制电路

式(1)计算得到^[5]

$$R_1 = \frac{R_L R_M + R_H R_M - 2R_L R_H}{R_L + R_H - 2R_M} \quad (1)$$

式中, R_L 、 R_H 分别为热敏电阻工作在最低温度和最高温度时的阻值; R_M 为热敏电阻在平均温度时的阻值。

ADN8830中3脚(INIM)的电压为

$$V_{INIM} = V_{REF} \frac{R_{TH}}{R_1 + R_{TH}} \quad (2)$$

式中, R_{TH} 的值为热敏电阻工作在基准温度时的阻值; V_{REF} 的值由芯片内部提供, 为 2.47 V。从而可以计算出电阻 R_2 、 R_3 的阻值。

图4虚线框A中产生的偏差电压经偏差放大器放大后进入虚线框B中的补偿网络。补偿网络是由补偿放大器及外围几个电阻和电容构成的PID网络。可以通过调整B中电容 C_1 、 C_2 、 C_3 及电阻 R_4 、 R_5 的值来优化TEC的稳定时间和最大电流变化时的步进响应。

通过调节 ADN8830 的 1 脚 (ILIMC) 和 32 脚 (ILIMH) 可以设置 TEC 的最大制冷和加热电流, 调节 ADN8830 的 31 脚 (VLIM) 可以设置 TEC 的最大偏压。

TEC 中的电流是由 ADN8830 驱动外部 MOS 管 Q_1 、 Q_2 、 Q_3 、 Q_4 来传输的。这些 MOS 管一般都集成在 ADI 公司配套提供的芯片 FDW2520 中。每片 FDW2520 芯片都集成了一个 N 沟道和一个 P 沟道的 MOSFET 开关管。为了进一步提高功效, ADN8830 采用了一半线性输出、一半开关输出的工作方式。在开关输出部分只需要一个 4.7 μH 的电感 L_1 、一个 22 μF 的电容 C_3 和 1 MHz 的开关频率, 可以保证通过 TEC 的最差电压波动低于 $\pm 0.5\%$ 。

MOS 管的开关频率由 ADN8830 中的晶振提供, 可以通过 13 脚 (FREQ) 的阻值来设置。阻值与频率的关系如表 1 所示^[5]。

表1 R_{FREQ} 与开关频率 f 的关系

| f/kHz | $R_{FREQ}/\text{k}\Omega$ |
|----------------|---------------------------|
| 100 | 1 500 |
| 200 | 600 |
| 500 | 300 |
| 700 | 200 |
| 1 000 | 150 |

2.3 温度控制系统的特点

文中所设计的基于 ADN8830 的高性能温度控

制系统具有如下特点:

(1)控制精度高,可以把焦平面阵列控制在基准温度的 $\pm 0.01^\circ\text{C}$ 之间。采用自校正、自归零、低温漂的偏差放大器作为输入级,该放大器可以区分 $100\ \mu\text{V}$ 以上的偏差。

(2)采用PID外部补偿网络,仅需几个电容、电阻的调节就可以使系统达到最佳的温度设定时间和稳定容限。

(3)采用外部的MOSFET,这就非常容易地根据TEC驱动电流的大小来选择合适的MOS管,以便使系统的效率最大化。

(4)系统功耗低,由于采用的是MOSFET开关管,导通电阻很小,降低了系统功耗。

(5)ADN8830的输出采用的是一半线性输出、一半开关输出的输出方式,这种输出方式可以使功效达到90%以上,纹波电压噪声低于0.5%。当工作在大信号方式时,输出方式为开关模式,根据TEC是工作在制冷还是加热状态,输出会饱和在一个电源电压值上。当工作在小信号方式时,输出方式为线性模式,从而为TEC的制冷或加热的转换提供平滑的过渡。

(6)集成精度高,ADN8830采用的是 $5\ \text{mm}\times 5\ \text{mm}$ 的32脚LFCSP封装,所有的控制器件都集成到一个芯片里,这就大大节约了PCB板的面积。

3 测试结果

图4所设计的电路具有正常工作指示功能。当热敏电阻监测到的温度达到基准温度时,ADN8830的11脚(TMPGD)输出高电平,表示电路工作正常,且焦平面温度达到基准温度(即基准温度的 $\pm 0.01^\circ\text{C}$

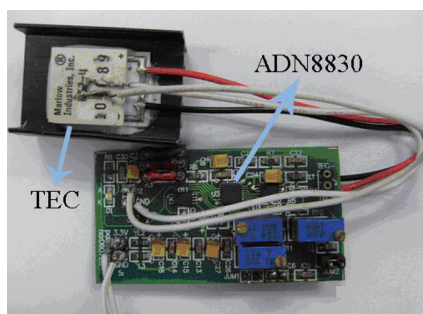


图5 实际测试系统

之间),此时发光二极管 $D1$ 发光。当 $D1$ 不发光时,表示电路异常或尚未达到基准温度。

图5为实际测试系统。用恒温箱温度模拟环境温度,电路基准温度设定为 27°C ,恒温箱温度为 T ,稳定时间为 t ,测试结果如图6所示。

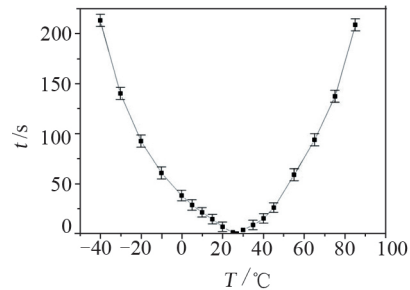


图6 温控系统测试结果

当环境温度低于 -40°C 或高于 85°C 时,发光二极管 $D1$ 不发光,即ADN8830控制精度超过 $\pm 0.01^\circ\text{C}$,所以此时温度控制系统不能正常工作。因此,所设计温控系统工作温度为 $-40\sim 85^\circ\text{C}$ 。

4 结论

利用热电制冷器设计了基于ADN8830的非制冷红外焦平面温度控制系统。所设计的系统具有控制精度高、响应时间短、效率高、功耗低及集成精度高的特点。对通过实验对所设计的温控系统进行测试,结果表明,所设计的温控系统完全符合焦平面上各敏感元对温度稳定性的要求,对非制冷红外焦平面系统的正常应用具有重要意义。

参考文献

- [1] 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.
- [2] 常本康,蔡毅. 红外成像阵列与系统[M]. 北京:科学出版社,2006:235.
- [3] 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.
- [4] Huang B J, Duang C L. System dynamic model and temperature control of a thermoelectric cooler[J]. International Journal of Refrigeration,2000,23: 197-207.
- [5] ADI. ADN8830 Thermoelectric Cooler Controller Data Sheer (REV.A),2002, www.analog.com.
- [6] 周进军,元秀华,李博. 用ADN8830实现半导体激光器的自动温度控制[J]. 光学与光电技术,2005,3(2): 54-57.