

288 × 4 长波红外探测器关键驱动电路的设计

陈晓东, 何锡君

(南京电子技术研究所, 江苏 南京 210039)

摘要:针对制冷型 288 × 4 长波焦平面红外探测器组件 PLUTON LW K508 的特点, 设计了一个驱动模块, 为探测器组件提供了时序与控制信号、模拟与数字电源、参考电平、制冷模式控制信号等。重点介绍了上电控制电路、 G_{POL} 电压产生电路、制冷模式控制电路等关键电路的设计原理与结构。实验结果表明, 采集到的红外图像具有噪声低、精度高、稳定性强等特点。当探测器在 293 K 和 353 K 之间的黑体照射下, 并且积分时间为 19 μs 时, 整个红外图像采集系统采集到的图像噪声电压均值保持在 0.4 mV 以下。

关键词: 红外探测器; 驱动电路; 噪声电压; 滞回比较器

中图分类号: TN215 文献标识码: B

Design of key driving circuits for 288 × 4 long-wavelength infrared detector

CHEN Xiao-dong, HE Xi-jun

(Nanjing Research Institute of Electronics Technology, Nanjing 210039, China)

Abstract: According to the characteristic of 288 × 4 LWIRCOS Integrated Detector Dewar Cooler Assembly named PLUTON LW K508, a drive module is designed to provide the Detector Assembly with clock, control signals, analog power, digital power, reference level and control signals of refrigeration mode, etc. The design principle and configuration of three key circuits: power on circuit, bias voltage G_{POL} generation circuit and refrigeration mode control circuit are described detailedly. Experimental results show that the collected infrared images have the characteristic of low noise, high precision, and high stability. The average noise voltage of the images acquired by the whole infrared image collecting system is below 0.4 mV when the detector is radiated by the 293 K to 353 K blackbody with an integral time of 19 μs .

Key words: infrared detector; drive circuit; noise voltage; hysteresis comparator

1 引言

目前, 红外系统被广泛应用于预警、侦察、制导等军事领域以及工业和医疗等民用领域^[1-2]。红外成像系统通常位于整个红外系统的最前端, 其成像质量的好坏将直接影响着红外系统的整体性能。要想提高红外成像系统的成像质量, 除了选择高性能的红外探测器之外, 为其匹配低噪声的驱动与采集电路也是至关重要的因素。

本文以一套用于匹配 SOFRADIR 公司的 288 × 4 长波红外焦平面探测器组件 PLUTON LW K508 的低噪声驱动模块为例, 重点介绍了上电控制电路、

G_{POL} 电压产生电路、制冷模式控制电路的设计原理与结构。实验结果表明, 匹配了本驱动模块的红外成像系统具有噪声低、精度高、稳定性强等特点, 可用于目标搜索与跟踪等安防领域。

2 驱动模块的结构与作用

如图 1 所示, 288 × 4 长波红外焦平面探测器组件的驱动模块由同相缓冲电路、逻辑电平转换电路、

作者简介: 陈晓东(1980-), 男, 工程师, 博士, 主要从事嵌入式图像采集与处理系统的研究。E-mail: ndcx2000@163.com

收稿日期: 2010-11-18; 修订日期: 2011-01-25

上电控制电路、参考电平产生电路、电源管理电路、制冷模式控制电路等部分组成。主要作用是:为探测器提供正常工作所需的各种模拟电源、数字电源、参考电平;为探测器提供时序和控制信号;根据后端的需要,设定组件上的制冷机的工作模式;将探测器输出的四路模拟信号低失真、低噪声地传输到采集模块。

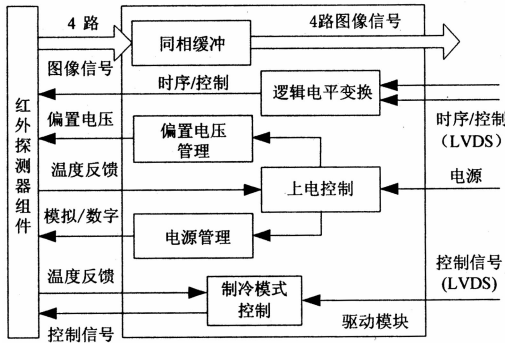


图1 驱动模块结构框图

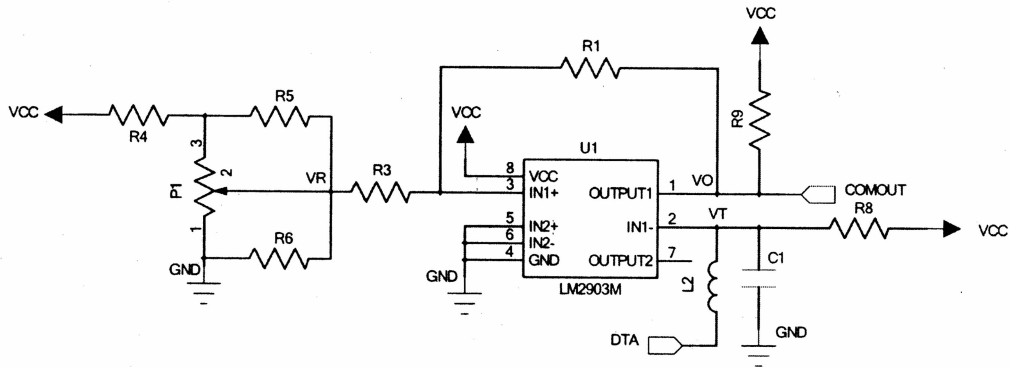


图2 上电控制电路原理图

由滞回比较器理论^[4],得出其上限、下限及回差宽度分别为:

$$\begin{aligned} V_H &= \frac{R_3}{R_3 + R_1} V_{OH} + \frac{R_1}{R_3 + R_1} V_R \\ &= \frac{R_3}{R_3 + R_1} V_{CC} + \frac{R_1}{R_3 + R_1} V_R \end{aligned} \quad (1)$$

$$V_L = \frac{R_3}{R_3 + R_1} V_{OL} + \frac{R_1}{R_3 + R_1} V_R = \frac{R_1}{R_3 + R_1} V_R \quad (2)$$

$$\begin{aligned} \Delta V &= V_H - V_L \\ &= \frac{R_3}{R_3 + R_1} (V_{OH} - V_{OL}) = \frac{R_3}{R_3 + R_1} V_{CC} \end{aligned} \quad (3)$$

式(1)~(3)中, V_{OH} 、 V_{OL} 分别为比较器正、负向饱和输出电压; V_R 为可调参考电平; V_{CC} 为比较器驱动电平。

4 G_{POL} 电压产生电路的设计

在288×4长波红外焦平面探测器的所有参考电平当中,最关键的是光电二极管的偏置电压 G_{POL} ,

在驱动模块的所有电路中,上电控制电路、 G_{POL} 电压产生电路、制冷模式控制电路是关键电路,它们的性能影响着探测器的寿命长短和成像质量的好坏。

3 上电控制电路的设计

288×4长波红外焦平面探测器的FPA(焦平面阵列)严格地工作在77~80K的温度范围,因此要保证其温度被制冷到该区间并且趋于稳定之后,上电控制电路才允许驱动模块给探测器供电^[3]。同时,由于制冷机的制冷温度存在一定范围的波动,因此上电控制电路还要防止因制冷温度的波动带来上电电路的频繁跳动。

如图2所示,为了满足上述要求,上电控制电路采用了滞回比较结构。图中 V_T 是探测器FPA上的温度传感器2N2222的正极电压值,它随着FPA温度的降低而升高。

它的可调范围是0.2~1.5V,典型值是(0.7±0.1)V,电压公差是±0.005V,最大电流是1mA^[3]。根据PLUTON LW K508的数据手册上的说明,我们可以画出探测器对 G_{POL} 电压基底噪声的频谱密度要求,如图3所示。影响 G_{POL} 电压精度的因素主要有基准电源器件的固有噪声、温度漂移、时间漂移以及外部干扰等。本模块选用AD780BR作为基准电源,其输出电压为2.5V,0.1~10Hz范围内低频噪声峰峰值小于4μV,长期稳定性为±20ppm/1000h,100Hz频率点的电压噪声密度是100nV/√Hz,最大温度漂移是3ppm/°C,工作温度范围为-40°C~+125°C^[5]。基准电源在匹配分压电路和滤波电路以后,可以得到高精度的 G_{POL} 电压值。下面通过计算来证明得到的 G_{POL} 在理论上是满足要求的。

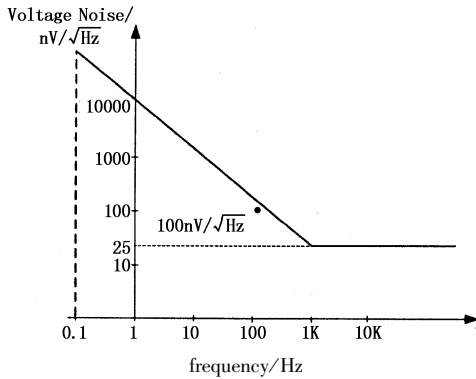


图3 G_{POL} 电压基底噪声的频谱密度要求

首先,根据图3可算得在0.1~10 Hz频率区间内 G_{POL} 电压的最大允许噪声:

$$V_{0.1-10} = \frac{\sqrt{\int_{0.1}^{10} [10000 f^{1/2} (\frac{25}{10000})^{1/3}]^2 df}}{1000} = 26.7 \mu V \quad (4)$$

而AD780BR在0.1~10 Hz频率区间内的典型噪声是4 μV ,显然能满足 G_{POL} 电压的要求。

其次,AD780BR产生的2.5 V电压先经过分压,再由高精度运放OP184ES进行电压跟随得到 G_{POL} 电压,这样可以减小 G_{POL} 电压的输出电阻。在OP184ES的输出端进行一阶低通滤波,与其等效的砖墙式滤波器的截止频率是10 kHz。由OP184ES的噪声频谱密度图^[6]可算得它在1/f区域的噪声和^[7]:

$$e_{nf} = e_{f_{norm}} \sqrt{\ln\left(\frac{f_H}{f_L}\right)} = 24 \sqrt{\ln\left(\frac{10000}{0.1}\right)} = 81.4 \text{ nV} \quad (5)$$

式中, $e_{f_{norm}}$ 是1 Hz频率点处的归一化噪声; f_H 和 f_L 分别是上、下截止频率。OP184ES的宽带噪声和:

$$e_{nBB} = e_{BB} \sqrt{BW_n} = 4 \sqrt{1 \times 10^4} = 400 \text{ nV} \quad (6)$$

式中, e_{nBB} 是宽带电压噪声的均方值; BW_n 是系统的等效砖墙式滤波器的截止频率。而OP184ES在0.1~10 kHz的总噪声:

$$e_{nV} = \sqrt{e_{nf}^2 + e_{nBB}^2} = \sqrt{81.4^2 + 400^2} = 408.1 \text{ nV} \quad (7)$$

根据数据手册可得AD780BR在0.1~10 kHz频率区间内的总噪声小于12 μV 。因此,AD780BR与OP184ES在0.1~10 kHz区间的噪声和为 $\sqrt{12^2 + 0.481^2} = 12.0 \mu V$ 。根据图4可算得在0.1~10 kHz频率区间内 G_{POL} 电压最大允许噪声:

$$V_{0.1-10K} =$$

$$\frac{\sqrt{\int_{0.1}^{10000} [10000 f^{1/2} (\frac{25}{10000})^{1/3}]^2 df + \sqrt{25^2 \times (10000 - 1000)}}}{1000} = 29.5 \mu V \quad (8)$$

显然,在0.1~10 kHz频率区间,AD780BR与OP184ES的噪声和满足 G_{POL} 电压的要求。

5 制冷模式控制电路的设计

探测器组件上集成了一个斯特林制冷机,它具有正常、关断、待机三种工作模式。关断模式下制冷机停止工作,而待机模式下制冷温度比正常工作时的温度高(13±2) K,因此待机模式也称为省电模式^[2]。

制冷模式控制电路的设计难点在于既要使上位机能控制制冷模式,又要保持探测器的地和制冷机的地相隔离,否则探测器FPA上的温度传感器可能被烧坏。如图4所示,本设计采用光耦电路来解决上述难点。图中,GND_R是探测器的地,GND是制冷机的地,VCC_R由上位机控制,VCC由制冷机驱动电源产生,STANDBY连到制冷机相应的控制引脚。

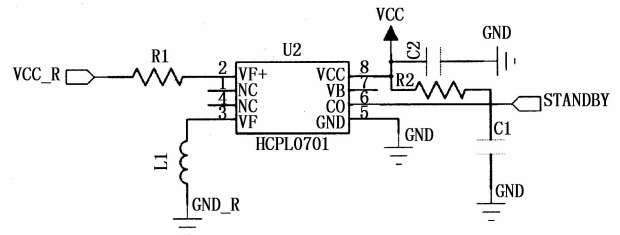


图4 制冷模式控制电路

6 实验结果

图5给出了实际测得的探测器FPA上温度传感器正极DTA的输出电压 V_T 随时间的变化的过程。图中 T_1 时刻驱动模块上电, T_2 时刻制冷机开始降速并趋于稳定。

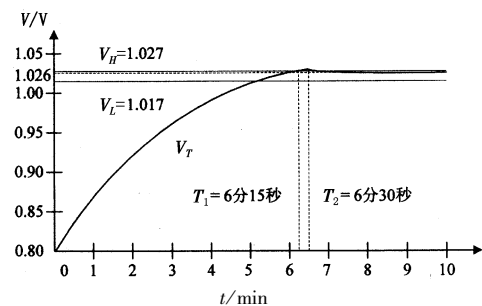


图5 驱动模块上电特性

图6是 G_{POL} 电压在1.0 GHz/s采样率下采集到的波形图,其中纵坐标单位是10 mV/div,横坐标单位是100 ns/div。图中 G_{POL} 电压的峰-峰值 $V_{P-P} = 3.914 \text{ mV}$,标准差为359.6 μV 。

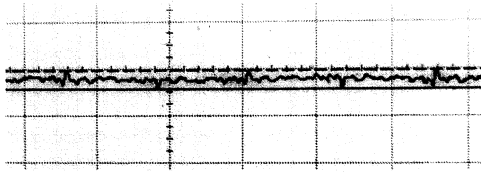


图6 G_{POL} 电压实测波形图

图7是在30℃环境温度下,当设定 G_{POL} 电压值为0.6852V,探测器处于TDI(时间延迟积分)模式下,主时钟设定为4MHz,并被20℃黑体照射时,红外成像系统采集到的连续10000帧图像上各通道单元在时域上的电压标准差。所有这些288个有效像元标准差的均值为0.343mV。其中第10个像元的噪声明显偏大,这与探测器组件PLUTON LW K508的出厂报告上的数据相一致。

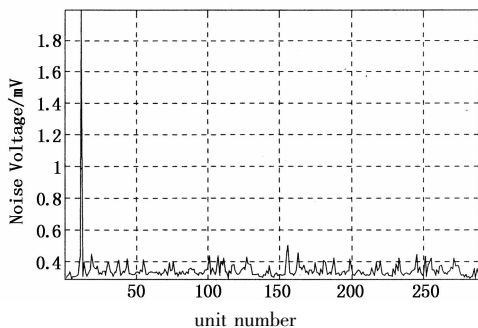


图7 探测器各像元的噪声电压值

7 结束语

PLUTON LW K508 探测器组件有着高性能和高稳定度的特性,本文通过对驱动模块关键电路的设计,为其提供了良好的工作环境,从而能够充分地发挥它的特性。从实验数据可以看出,本模块的性能在国内同类研究与应用中处于先进水平。同时,采取措施降低PCB板上的电磁干扰,将有望进一步地

减小红外图像的噪声电压。

参考文献:

- [1] Yang Zheng, Zhou Wei, Xu Huizhong. Forecast of IR Imaging System Applied in Military Field [J]. Infrared and Laser Engineering, 2008, 37 (S2): 691 - 694. (in Chinese)
杨争,周伟,徐惠忠. 红外成像系统在军事领域的应用前景[J]. 红外与激光工程, 2008, 37(S2): 691 - 694.
- [2] An Yongquan, Yu Jian. Infrared Imaging System Design for 576 × 6 Linear Detector [J]. Laser & Infrared, 2009, 39(2): 173 - 177. (in Chinese)
安永泉,禹健. 576 × 6 长波红外探测器成像系统设计 [J]. 激光与红外, 2009, 39(2): 173 - 177.
- [3] Sofradir. PLUTON LW K508 288 × 4 LWIRCMOS Integrated Detector Dewar Cooler Assembly (IDDCA) With Microcooler Type K508 Technical Specification [Z]. France: Sofradir, 2005.
- [4] Gu Wenzhao. Studies on Applications of Hysteresis-Comparators in Differential Control of Temperature [J]. Journal of Data Acquisition & Processing, 1994, 9 (4): 278 - 284. (in Chinese)
顾文照. 运放滞回比较电路在差动式温度控制中的应用研究 [J]. 数据采集与处理, 1994, 9(4): 278 - 284.
- [5] Analog Devices. 2. 5V/3. 0V High Precision Reference AD780 [Z]. USA: Analog Devices, 2004.
- [6] Analog Devices. Precision Rail-to-Rail Input and Output Operational Amplifiers OP184/OP284/OP484 [Z]. USA: Analog Devices, 2008.
- [7] Art Kay. Analysis and Measurement of Intrinsic Noise in OP Amp Circuits [Z]. USA: Analogzone, 2006.