

128 × 128 红外焦平面阵列时序分析与温控电路设计

徐 隆 易新建

(华中科技大学光电子工程系, 湖北, 武汉, 430074)

摘要 介绍了微测辐射热计的 128 × 128 凝视型非制冷红外热像仪的系统框图, 论述了一种新型的红外焦平面阵列温控电路设计方案以及读出电路时序的 FPGA 实现方法. 该方案具有高集成度、高精度、低成本、布线简单等优点, 为热像仪系统的研制开发提供了设计思想.

关键词 非制冷红外焦平面阵列, 热电稳定器, 读出电路, 现场可编程门阵列.

THE DESIGN FOR TEC CIRCUITS AND TIMING SEQUENCE OF 128 × 128 INFRARED FOCAL PLANE ARRAY

XU Long YI Xin-Jian

(Department of Optoelectronic Engineering, Huazhong University of Science & Technology, Wuhan, Hubei 430074, China)

Abstract The system design is proposed based on 128 × 128 UFPA (Uncooled Focal Plane Array) of uncooled staring infrared camera. A new kind of TEC's circuit design for IRFPA is emphasized. And the implementation of FPGA for timing sequence of RIOC is also discussed. The method of design is characterized by high integration, high precision, low cost and simple topology. It provides the design idea for the development of the thermal imager system.

Key words UFPA, TEC, readout circuits. FPGA.

引言

红外探测器从根本上决定着红外系统的发展水平. 由于现代探测理论和探测器制作技术的进步, 单元探测器的性能已越来越接近理论极限, 实际使用中难以通过常规方法再加以提高, 人们开始通过增加探测器数目从而延长探测器积分时间的方法来提高探测器响应的信噪比. 随着 CCD 技术的成熟, 二十世纪七十年代中期出现了红外焦平面阵列探测器 (IRFPA, infrared focal plane array), 这是二十多年来光电子领域最为显著的成就之一.

所谓 IRFPA, 就是把大量探测器单元按照一定规则用先进的微电子工艺高密度地集成到一块对红外透明的材料芯片上, 同时将其它必要的信号读出及处理电路 (如前放) 集成到同一芯片或另一其他材料的芯片上, 构成一个既接收光辐射又将光电信号输出为可用数据的整体.

1 128 × 128 UFPA 热像仪原理框图

本实验室开发的非制冷焦平面阵列 UFPA (128

× 128) 热像仪原理框图如图 1 所示.

外界的红外辐射通过红外光学系统接收并聚焦在 UFPA 的敏感面上. UFPA 通过其读出电路 (RIOC) 将红外光信号转换为相应的电信号, 然后按照逻辑控制模块设定的时序, 串行输出 25 帧/s、每帧 128 × 128 像素的模拟信号, 其输出信号的动态范围为 $> 1.9V$ ($V_{max}/V_{min} > 70dB$). 模拟输出信号经过 12 位的 A/D 转换器, 转换成数字信号输入到数字信号处理器 DSP 中. 由于 12 位的 A/D 转换器具有 72dB 的动态范围, 与 UFPA 的 70dB 的动态范围相匹配, 从而能够提供足够的温度分辨率. 由于 UFPA 上温度的微小波动会直接影响热图像质量, 该热像仪特别配备了一个高精度的 TEC 温度控制器用以控制 UFPA 上的制冷器, 使得 UFPA 的温度能恒定在设定温度值, 其温度波动范围为 0.01° . 另外, 逻辑控制及 UFPA 驱动模块提供 UFPA 正常工作所需的时序逻辑信号和同步信号, 使 UFPA 的模拟输出、A/D 转换器及数字信号处理器 DSP 同步工作^[1]. 所有的逻辑控制集成在一块 FPGA 芯片上. DSP 数字信号处理器主要实现以下功能: (1) 非均匀性校正

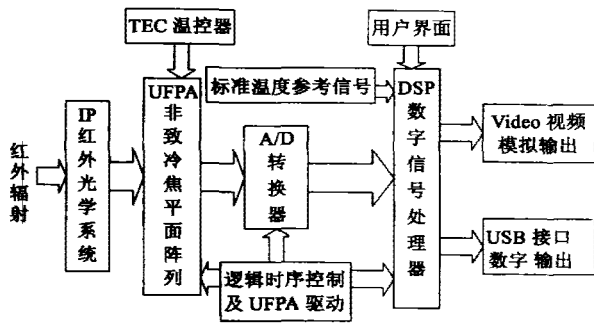


图 1 128 × 128 热像仪原理框图
 Fig.1 Block diagram for thermal imager of 128 × 128 pixels

(NUC); (2) 伪彩色编码; (3) 后期图像编辑; (4) 人机界面. Video 视频模拟输出模块完成常规视频模拟信号的转换与输出. USB 接口数字输出模块则可实现与外部设备大数据量、高速的数字图像数据的输出.

128 × 128 凝视型非致冷红外热像仪具有如下性能: 象元尺寸 50 μm × 50 μm; 帧像数为 128 × 128; 帧频 25Hz; 空间成像分辨率 1.1 mrad; 温度分辨率 (MRTD) 0.3 °C (背景温度 300K); 视场 20° × 15°; 工作距离为 0.3m ~ ∞.

2 读出电路设计及时序分析

IRFPA 主要分为二部分, 即探测器阵列和读出电路. 其中, 128 × 128 UFPA 的读出电路通过 12V 直流、300mA 电源驱动, 以逐行扫描的方式将焦平面上敏感元接收的光信号转换成电信号串行输出. 该读出电路由直流偏置和象素寻址^[2]二部分组成.

(1) 直流偏置部分提供 UFPA 正常工作所需的各种电压, 包括数字部分电压及接地、象元电压及接

地、内部运放工作电压等. 其中, 行阵列的偏置电压 VBIAS 应保证低噪声 (低频噪声不超过 0.1mV RMS, 3kHz 以上的高频噪声不超过 1 μV RMS). 偏置电压与偏置电流之间应满足关系式

$$I_{bias} (\mu A) = \frac{\beta_p}{2} (V_{DD} - V_{BIAS} - |V_{Thp}|)^2, \quad (1)$$

式(1)中 β_p 是跨导, V_{Thp} 是电流源 P 型场效应管阈值电压. 经反复实验得出, 一般 β_p 和 V_{Thp} 的典型值为 2.4 μA/V² 和 -0.7V.

(2) 象素寻址部分主要由地址锁存器、读出模式选择开关、数字通信串、并接口等组成, 可以实现二种象素寻址方式^[3]: 随机寻址模式和行列时钟模式. 寻址方式的选取是通过行寻址控制管脚 CASI、列寻址控制管脚 RASI 以及行同步控制管脚 RSSI 组合决定.

由于本实验室研制的热像仪帧频为 25Hz, 读出电路中的数据流速率应为 128 × 128 × 12 × 25 = 4915200 ≈ 5Mbit/s, 因此读出电路的主时钟频率设定为 5MHz.

基于对 128 × 128 UFPA 读出电路电源、动态范围和读出速率等多方面因素的考虑, 该设计最终选用了 Altera 公司的 Flex10K 芯片进行时序部分的 FPGA 编程, 并用仿真软件 ModelSim SE PLUS 对上述时序设计进行了时序仿真.

图 2 ~ 图 4 分别给出了读出电路在对 UFPA 进行逐行扫描过程中第 1 行象素扫描开始时、第 1 行象素扫描结束时、第 128 行象素扫描结束时的时序结果. 其中, CLK 是 5MHz 的主频时钟信号, RESET 是复位信号, RSI 是行同步信号, FS 是帧同步信号, cnt128 是每行的象元计数器 (0 ~ 127), cntFS 是每帧的行计数器 (0 ~ 127). RESET 信号可

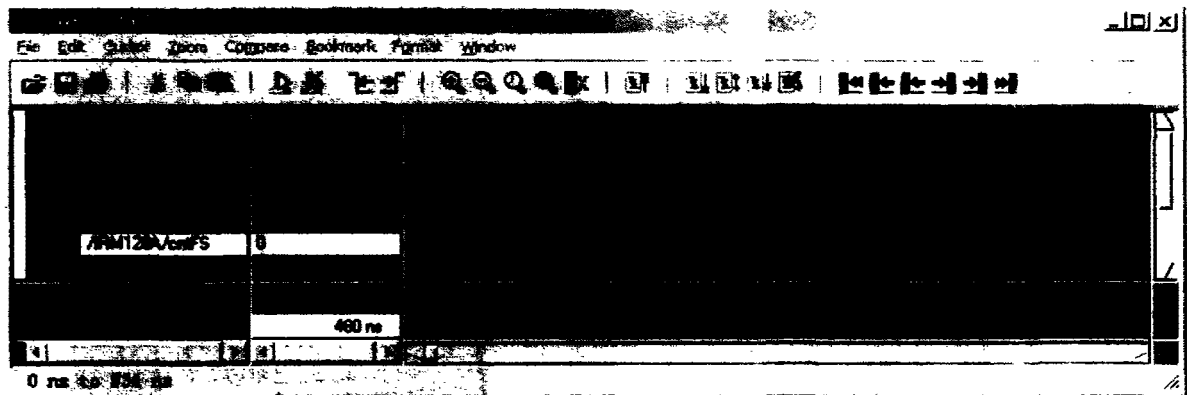


图 2 第 1 行像素扫描开始时的时序状态
 Fig.2 Timing sequence at the beginning of the 1st row scanning

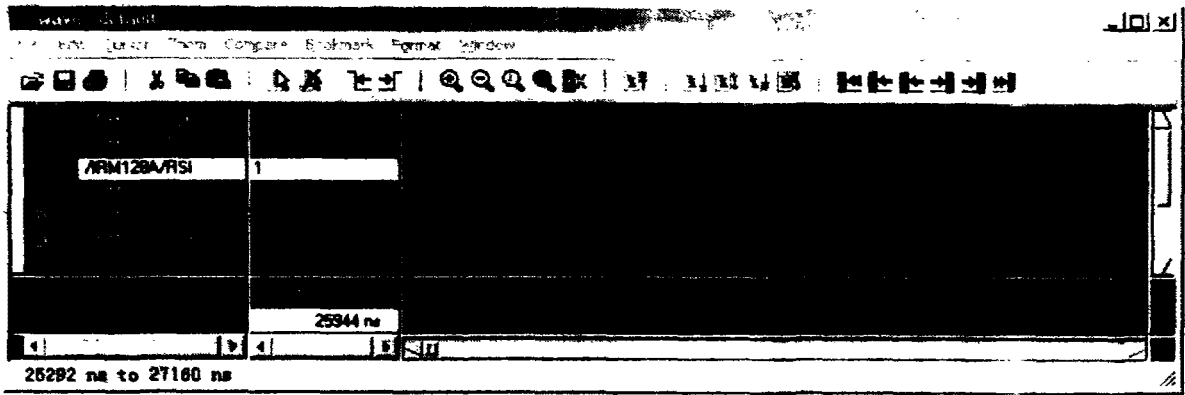


图3 第1行像素扫描结束时的时序状态
Fig.3 Timing sequence at the end of the 1st row scanning

以在实现任何时刻的异步复位,高电平有效;RSI信号在每行的最后一个像素的扫描周期内(即每行的第128个像素)出现高电平,其余时刻为低电平;FS信号在每帧最后一行像素的扫描周期内(即每帧的第128行像素)出现高电平,其余时刻为低电平。

3 UFPA 温控电路设计方案

由于凝视型非致冷红外热像仪是利用入射辐射使敏感元件的温度提高后从而使电阻随之改变而探测目标温度特性的热探测器。所以,只有尽可能的保证焦平面阵列中各敏感象元自身基准温度稳定且一致,才能够提高热像仪的探测灵敏度,减小系统后期非均匀性校正难度,最终从根本上改善热像仪成像性能^[4]。

该UFPA温控电路采用了AD公司的ADN8830温度控制芯片。它是一个单片电路的控制器,通过一个具有负温度系数(NTC)的热敏电阻来感应与TEC相连的器件温度。预达到的目标温度由DAC模拟输

入的电压或外部电阻分压器来设定。有效工作电压为3.3V或5V。ADN8830温控器电路设计方案如图5所示。

AND8830首先用PE1、PB1两个接点来测量UFPA上反映其实际温度的压降值,并通过精密的输入放大器产生一个正比于设定温度和UFPA实际温度差值的误差电压;然后将误差电压值输入到补偿放大器用以优化TEC对温度间隔的步进响应;最后通过一个改良H桥结构驱动UFPA上的制冷器工作,由于ADN8830采用了脉宽调制(PWM),从而大大提高了UFPA的温度稳定精度,完全满足设计要求,并将系统所需外部元件减至最少,在环境温度(即UFPA初始温度)为28.450℃条件下,拟通过ADN8830温控电路将UFPA的温度最终恒定到22.350℃,温度波动范围不超过0.01℃,其测试结果大致如下:5~8s内UFPA的温度呈现类似阻尼震荡,震幅较大;10s后基本趋于稳定,波动范围长时间控制在0.008℃(优于预期的0.01℃),测试结果如图6所示。

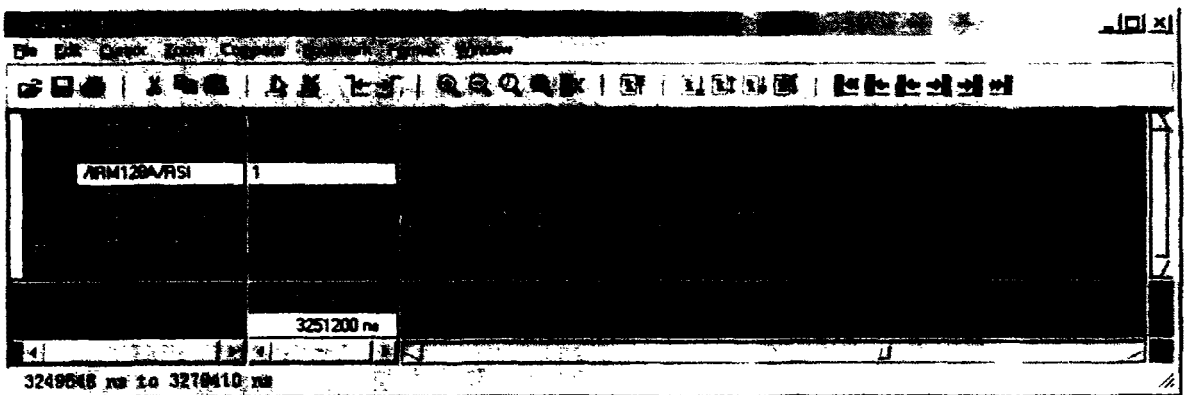


图4 第128行像素扫描结束时的时序状态
Fig.4 Timing sequence at the end of the 128th row scanning

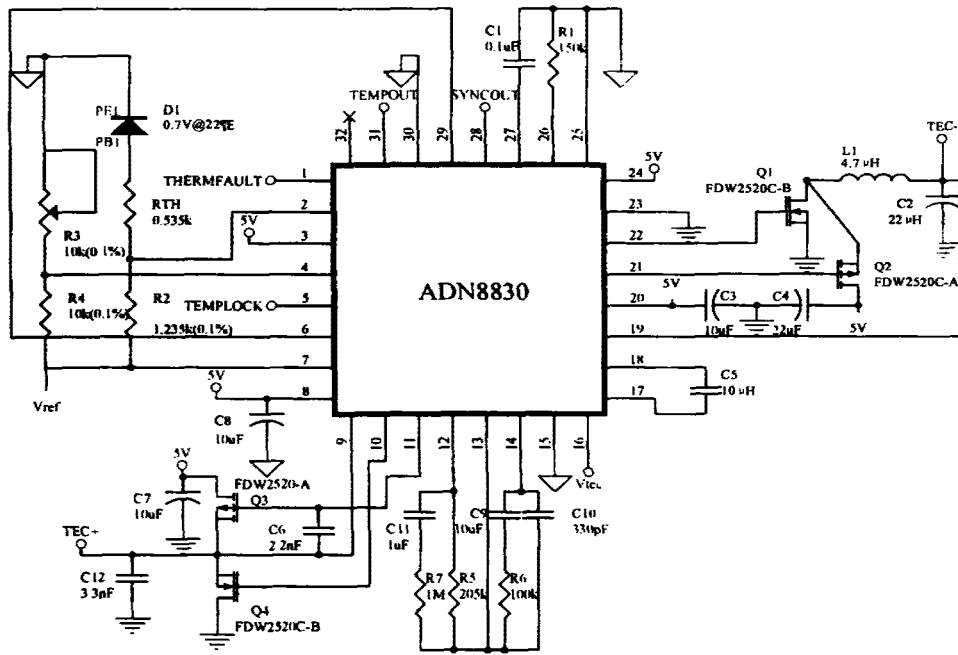


图 5 ADN8830 温控器设计电路
Fig. 5 ADN8830 cooler controller schematic

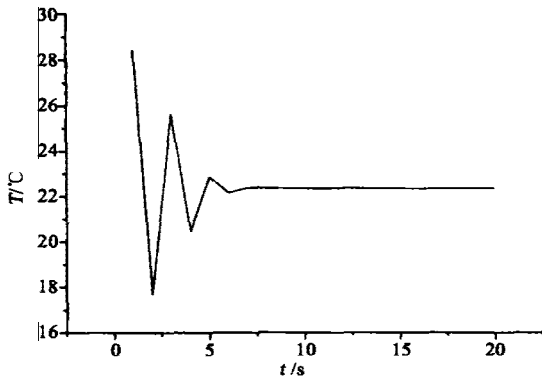


图 6 TEC 温控测试结果
Fig. 6 Testing result of the TEC's thermoregulation

4 结语

本文提出了非致冷红外焦平面读出电路设计

框架,并对读出电路的时序 FPGA 实现进行了计算机仿真.同时,提出的 UFPA 温控电路设计方案,在原型样机上测试获得了满意的实验效果(见图 6),为实现热像仪的高精度、高集成度、低成本、轻型化提供了一些设计思路.

REFERENCES

- [1] Sun A G, Dalrymple B J. 10K NbN DSP module for IR sensor applications. *IEEE Transactions on Applied Superconductivity*, 2001, 11(1): 312—317
- [2] Chen Changhong, Yi Xinjian, Zhao Xingrong, et al. Characterizations of VO₂-based uncooled microbolometer linear array. *Sensors and Actuators A*, 2001, 90: 212—214
- [3] Chih-Cheng Hsieh, Chung-Yu. Focal-plane-arrays and CMOS readout techniques of infrared imaging systems. *IEEE Transactions on circuits and systems for video technology*, 1997, 7(4): 597—605
- [4] Gu X, Karunasiri G, Yu J, et al. On-chip compensation of self-heating effects in microbolometer infrared detector arrays. *Sensors and Actuators A*, 1998, 69: 92—96