

〈系统与设计〉

基于 640×480 非制冷红外传感器的低噪声采集系统设计

谢宝蓉, 魏文超, 叶盛, 李贤, 方彩婷

(上海电子技术研究所, 上海 201109)

摘要: 从低噪声角度出发, 设计了基于 640×480 的高信噪比非制冷红外采集系统。对精密偏置电压、信号滤波以及高速模数转换提供了详细设计思路和实现方法。测试结果表明本系统在积分时间为 $64 \mu\text{s}$ 的情况下, 取得了像元平均 NETD 值为 223 mK 的优良信噪比特性。

关键词: 非制冷; 红外传感器; 低噪声; 采集系统

中图分类号: TN215

文献标识码: A

文章编号: 1001-8891(2016)05-0374-04

Design of the Acquisition System Based on 640×480 Uncooled Infrared Detector

XIE Baorong, WEI Wenchao, YE Sheng, LI Xian, FANG Caiting

(Shanghai Aerospace Electronic Technology Institute, Shanghai 201109, China)

Abstract: On the principle of low noise characteristic, a high SNR acquisition system was designed based on a 640×480 uncooled infrared sensor. The paper gives a detailed description and realization of precise bias voltages, signal filtering and high speed A/D conversion. The test result showed that the system had achieved an excellent SNR characteristic with average NETD value of 223 mK .

Key words: uncooled, infrared sensor, low noise, acquisition system

0 引言

随着红外技术的发展, 非制冷红外焦平面传感器凭借价格低、重量轻、功耗小、操作方便等优势, 在军事和民用红外成像领域占有越来越重要的地位, 成为高科技领域发展的热点之一^[1]。然而, 在红外探测器的应用中, 图像采集系统的质量将直接影响到红外成像系统的性能。其中, 传感器的采集系统噪声处理十分关键, 较多的噪声会降低红外图像系统的图像质量, 减小工作动态范围, 从而影响系统测量的精度。近年来, 国内对非制冷红外焦平面的研究取得了一定进展, 但对其相关采集电路的低噪声设计思路和方法介绍却鲜有报道。

本文以 640×480 大面阵非制冷传感器为例, 详细介绍了长波红外传感器采集系统的低噪声设计过程。特别地, 对于如何减小传感器驱动电路噪声、A/D 量化噪声给出了详细描述, 并设计了实时成像系统, 给出了系统的信噪比和实际成像效果。

1 640×480 非制冷传感器介绍

设计中采用的是分辨率为 640×480 的非制冷型红外传感器, 内置热电制冷器 (TEC), 可以根据环境温度的变化调节传感器焦平面的温度, 从而保证传感器能够稳定、低噪声工作。像元的 NETD 在 300 K , $f/1$, 50 Hz 情况下为 80 mK 左右。其内部功能框图如图 1 所示。

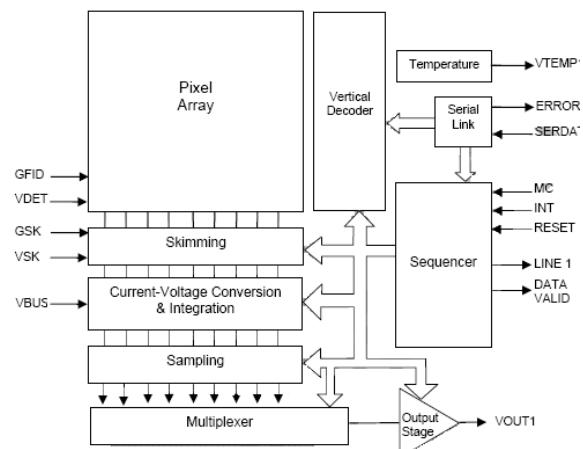


图 1 传感器内部功能框图

Fig.1 The function diagram of sensor

收稿日期: 2015-11-28; 修订日期: 2016-02-27。

作者简介: 谢宝蓉 (1980-), 女, 博士, 研究方向为遥感图像处理技术。E-mail: littlecrab1024@126.com。

2 驱动电路设计

2.1 电源和偏置电压设计

本传感器的供电电路共需提供 1 路模拟电源、4 路模拟偏置电压以及 1 路数字电源。电源与偏置信号如表 1 所示。

表 1 电源与偏置信号

Table 1 Power and bias signal

名称	最优值	电流	最大 RMS 噪声
VDDA	$5\text{ V} \pm 100\text{ mV}$	60 mA	$\leq 100\text{ }\mu\text{V}$
GFID	0~5 V 可调	1 mA	$2\text{ }\mu\text{V}(1\text{ Hz} \sim 1\text{ kHz})$ $5\text{ }\mu\text{V}(1\text{ Hz} \sim 10\text{ kHz})$ $100\text{ }\mu\text{V}(1\text{ Hz} \sim 10\text{ MHz})$
VSK	2.0~5.5 V 可调	5 mA	$2\text{ }\mu\text{V}(1\text{ Hz} \sim 1\text{ kHz})$ $5\text{ }\mu\text{V}(1\text{ Hz} \sim 10\text{ kHz})$ $100\text{ }\mu\text{V}(1\text{ Hz} \sim 10\text{ MHz})$
VBUS	$2.8\text{ V} \pm 25\text{ mV}$	1 mA	$\leq 100\text{ }\mu\text{V}$
GSK	$2.2\text{ V} \pm 50\text{ mV}$	1 mA	$2\text{ }\mu\text{V}(1\text{ Hz} \sim 1\text{ kHz})$ $5\text{ }\mu\text{V}(1\text{ Hz} \sim 10\text{ kHz})$ $100\text{ }\mu\text{V}(1\text{ Hz} \sim 10\text{ MHz})$
VDDL	$3.3\text{ V} \pm 30\text{ mV}$	5 mA	$\leq 100\text{ mV}$

由表 1 可知, 传感器的电源和偏置电压对噪声性能要求非常高, 并且电源和偏置电压的选择和控制是否精确会直接影响传感器输出图像的质量。因此如何设计低噪声、高精度的电源和偏置电压是影响图像质量的关键因素^[2]。本设计将采取如下方法设计电源和偏置电压。

VDDA 采用 linear 公司生产的 LT1962-5 进行供电, LT1962-5 是一款低噪声、低功耗的低压差稳压器, 噪声均值为 $20 \mu\text{V}$, 静态电流为 $30 \mu\text{A}$, 输出电流可达 300 mA , 而且具有良好的温漂特性, 当温度变化在 $-50^\circ\text{C} \sim +125^\circ\text{C}$ 之间时, 输出电压稳定在 $4.975 \sim 5.025 \text{ V}$ 之间, 可以满足设计要求。

GFID 选用 ADI 公司生产的 ADR445，电压输出为 $+5\text{ V}$ ，精度误差为 2 mV ，最大输出电流可达 10 mA 。此芯片拥有超低电压噪声性能和低温漂系数，其中电压噪声峰-峰值为 $2.25\text{ }\mu\text{V}(0.1\text{ }\sim\text{ }10\text{ Hz})$ ，温漂系数为 $2\text{ PPM/}^{\circ}\text{C}$ 。

VSK 使用 linear 公司的 LT1962, 器件可调输出电压为 $1.22\sim20\text{ V}$, 电流输出可达 100 mA 。它的噪声性能优良, 噪声均值在 $20\text{ }\mu\text{V}$ ($10\text{ Hz}\sim100\text{ kHz}$)。图 2 给出了设计图。

图 3 为 VBUS 偏置电压设计图。VBUS 采用了超低噪声电压基准芯片 ADR433B，其精度为 1 mV，输出电流最大可达 30 mA，噪声电压峰-峰值为 3.75

μ V (0.1~10 Hz)，满足指标要求。ADR433B 输出为+3.0 V 固定电压，所需电压可经过精密电阻 2.8 k Ω 和 0.2 k Ω 电阻分压得到。

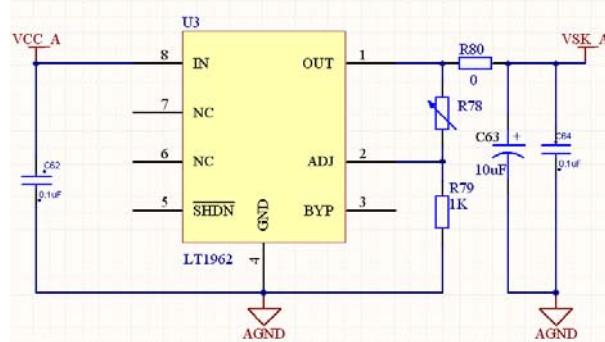


图 2 VSK 供电

Fig. 2 VSK voltage

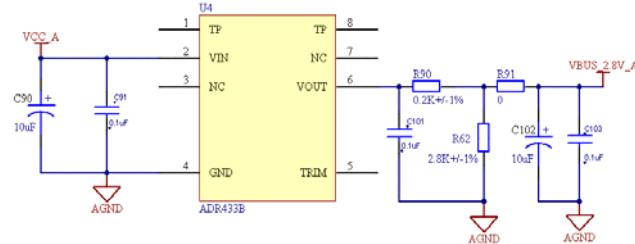


图 3 VBUS 偏置电压设计

Fig.3 VBUS voltage

GSK 信号获取类似于 VBUS，采用电压基准芯片 ADR433B 经过 $2.2\text{ k}\Omega$ 和 $0.8\text{ k}\Omega$ 电阻分压得到。

数字电源 VDDL 可采用 linear 公司生产的 LT1962-3.3，输出为固定 3.3 V 电压。LT1962-3.3 电路设计图如图 4 所示。

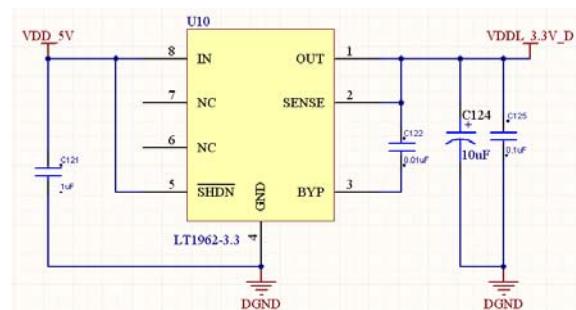


图 4 VDDL 供电

Fig. 4 VDDL voltage

2.2 濾波电路设计

输出的传感器模拟信号进入到 A/D 前, 为保证信号的低噪声性能, 进行二阶有源滤波^[3], 设计电路如图 5 所示。

图 6 为此滤波电路仿真的幅频响应, 为保证读出视频信号的不失真, 一般滤波器带宽选择为读出信号频率的 3~5 倍。本设计由读出信号带宽为 2

MHz, 滤波器3 dB带宽设计为10 MHz^[4]。为保证低噪声设计, 运放采用高速、低噪声的运算放大器AD8606, 其电源输入为2.7~5.5 V供电, 信号带宽为10 MHz, 低噪声电压特性为8 nV/Hz^{1/2}。

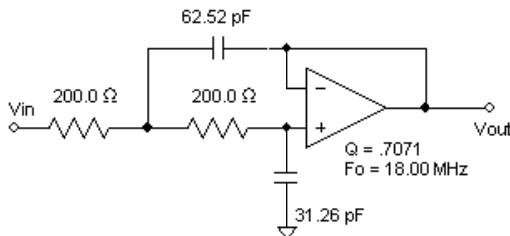


图5 滤波器电路图

Fig.5 Filtering diagram

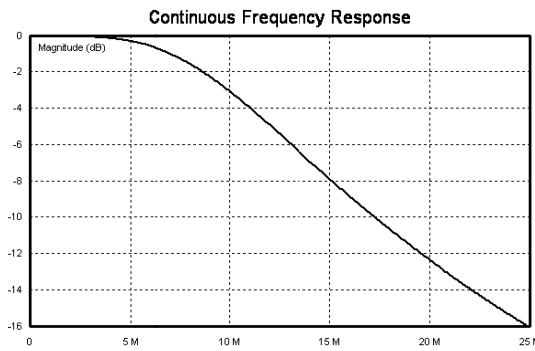


图6 幅频响应

Fig. 6 Fitering AF response

2.3 模数转换电路设计

由于传感器输出的信号动态范围为1.0~4.2 V, 典型灵敏度为4 mV/K, 噪声等效温差最小为60 mK, 计算得最小需识别的电压为0.24 V, 因此信号输出的动态范围可达105 dB, AD转换芯片的量化精度由下式进行计算:

$$DNR = \sqrt{6} \cdot 2^{n-1} \quad (1)$$

由上式可估算, n 至少取14可满足输入动态范围要求, 实际A/D转换芯片选择14 bit量化精度。

设计中采用ADI公司生产的14 bit低噪声器件

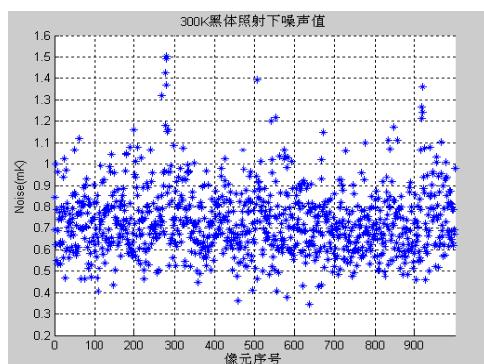


图8 系统成像结果

Fig. 8 Imaging results of the system

AD9240^[5], SNR为78.5 dB (@4 MHz)。采样率为10 MSPS, 可满足2 MHz输入信号的无失真采样。图7给出了AD9240的设计原理图。

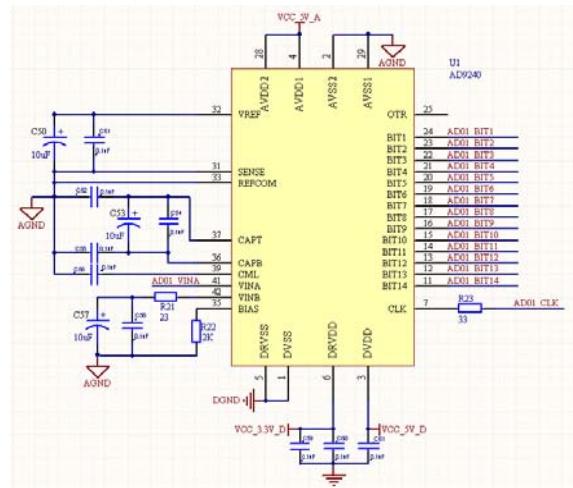


图7 AD9240 电路图

Fig. 7 AD9240 A/D circuit

3 信噪比测试及成像结果

3.1 系统信噪比测试

一般来说, 长波红外传感器的信噪比用NETD来衡量^[6]。在测量中, 使用黑体辐射目标, 系统对温度为 T_1 和 T_2 ($T_2 > T_1$)的黑体表面分别进行测量。NETD计算公式如下所示。

$$NETD = \Delta T \frac{N_{RMS}}{\Delta S} \quad (2)$$

式中: ΔT 为测量黑体的温度差; ΔS 为各光敏元对应 ΔT 的平均输出差值; N_{RMS} 为 T_1 或 T_2 温度对应的RMS噪声。

经计算, 在传感器积分64 μs和300 K黑体照射情况下, 此长波传感器的平均像元噪声电压值为1.1 mV, 像元平均NETD值为223 mK。图8和图9分别给出了序号为1~1000像元的噪声电压值和NETD值。

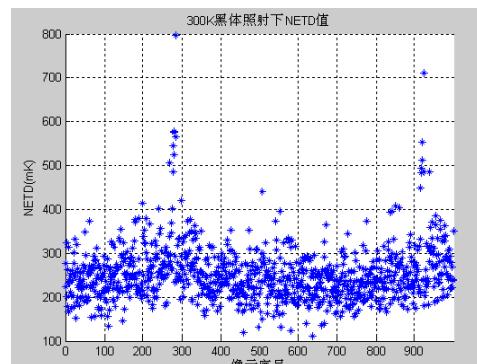


图9 系统成像结果

Fig. 9 Imaging results of the system

3.2 成像结果

实验采用焦距为 25 mm, F 数为 1.0 的红外光学镜头进行成像, 成像效果如图 10 所示。由图 10 可看出, 本系统取得了较高信噪比的成像效果。



图 10 系统成像结果
Fig. 10 Imaging result of the system

4 结论

针对 640×480 非制冷传感器, 从低噪声角度出发, 设计了精密偏置电压、信号滤波、高速模数转换电路, 并对电路的噪声性能进行了测试和分析。该采集系统在传感器积分时间为 $64\ \mu\text{s}$ 时, 测得像元平均 NETD 值为 $223\ \text{mK}$, 取得了优良的成像效果。因此, 本文提出的设计方法对于非制冷长波红外成像的低噪声处理具有较好的借鉴意义。

参考文献:

- [1] 宿美春. 非制冷红外焦平面信号处理系统设计[J]. 电子科技, 2009, 22(3): 69-71.
SU Meichun. Design of uncooled IRFPA signal processing system[J]. *Electronic Science and Technology*, 2009, 22(3): 69-71.
- [2] 张沛, 祝红彬, 吕坚, 等. 低噪声非制冷红外焦平面阵列驱动电路的设计[J]. 红外与激光工程, 2010, 39(5): 806-810.
ZHANG pei, ZHU Hongbin, LV Jian, et al. Design of the low noise uncooled infrared focal plane array driver circuit[J]. *Infrared and Laser Engineering*, 2010, 39(5): 806-810.
- [3] 谢宝蓉, 傅雨田, 张滢清. 480×6 长波红外探测器的低噪声采集系统设计[J]. 激光与红外, 2009, 39(11): 1177-1182.
XIE Baorong, FU Yutian, ZHANG Yingqing. Design of the acquisition system with low noise based on 480×6 long wavelength infrared detector[J]. *Laser & Infrared*, 2009, 39(11): 1177-1182.
- [4] 高晋占. 微弱信号检测[M]. 北京: 清华大学出版社, 2004: 51-53.
GAO Jinzhan. *Weak Signal Measuring Technology*[M]. Beijing: Tsinghua University Press, 2004: 51-53.
- [5] Analog Device. Complete 14-Bit, 10 MSPS Monolithic A/D Converter AD9240[Z]. 1998.
- [6] 张滢清, 王建宇, 傅雨田. 细分采样叠加技术在推扫式长波红外成像中的应用[J]. 量子电子学报, 2006, 23(2): 263-267.
ZHANG Yingqing, WANG Jianyu, FU Yutian. Oversample -superposition technique applied to long-wave infrared push-broom imaging system[J]. *Chinese Journal of Quantum Electronics*, 2006, 23(2): 263-267.