

基于空间应用的红外探测器驱动电路设计

张 钰, 邓希宁, 高旭辉
(华北光电技术研究所, 北京 100015)

摘 要:以空间应用为目的,提出基于国产 1024×6 长波红外探测器的驱动电路设计方案。该方案利用 LDO 和电压跟随器产生探测器需要的驱动电压。通过对该方案进行论证及在某型号空间相机中应用,证明该方案切实有效,能够较好的满足空间应用需求。

关键词:红外探测器;驱动电路;低噪声设计;空间应用

中图分类号:TN216 **文献标识码:**A **DOI:**10.3969/j.issn.1001-5078.2015.02.007

Design of infrared detector driver circuit for space applications

ZHANG Yu, DENG Xi-ning, GAO Xu-hui
(North China Research Institute of Electro-optics, Beijing 100015, China)

Abstract: Based on space applications, a design of driver circuit based on 1024×6 long-wavelength infrared detectors is put forward. LDO and voltage follower is used to produce the required drive voltage. The design has been used in a practical space camera, it proves the design is effective and can meet the needs of space applications.

Key words: infrared detector; driver circuit; low-noise design; space application

1 引言

空间成像技术是一个国家实力的标志,它不仅能在气象、生物技术等民用领域造福百姓,更能在反导、侦查等军事领域捍卫国家主权。星载红外探测器驱动电路安装于空间红外相机中,为了满足空间应用,要求其必须适应真空、辐射等复杂的太空环境,同时具备高可靠性。本文以某型号空间红外相机探测器驱动电路设计为依据,针对电路所处的空间环境,从供配电设计、偏置电压设计、阻抗匹配设计、差分传输设计、低噪声设计、空间环境适应性方面进行了设计和论述。

2 红外探测器驱动电路设计

2.1 概述

红外探测器驱动电路为红外探测器(以下简称“探测器”)工作提供必须的工作电源、偏置电压、时序电路等,同时完成对探测器模拟信号的读取和预处理,其原理如图1所示。

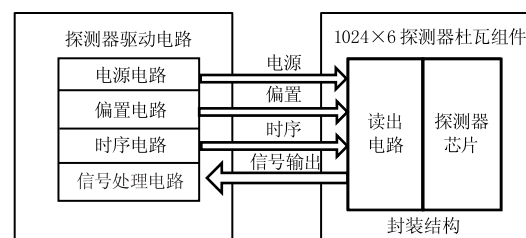


图1 探测器驱动板原理框图

2.2 探测器驱动电路设计

2.2.1 探测器供电设计

探测器所需的三个供电电源分别为 VDDA、VDDO 和 VDDD。空间环境对电源的可靠性、体积、重量等参数都有着苛刻的要求^[1],为了减小电源的输出波动和开关带来的噪声,采用体积小、重量轻、抗干扰性强的 LDO (MSK5101) 直接给探测器供电。探测器驱动电路工作温度范围为 $-20 \sim +50^{\circ}\text{C}$,此范围内该 LDO 温漂为 1.4 mV ,满足探测器使用要求,同时该芯片输出电流可达 1.5 A ,

满足驱动电流设计需求,电路设计如图2所示。



图2 探测器配电电源设计

2.2.2 探测器偏置电压设计

探测器有7个直流偏置电压,分别为 G_{POL} (0.5 ~ 2 V)、 V_{PD} (1.7 ~ 4.2 V)、3.1 V 外部偏置 (V_R 、 V_{REF} 、 V_{SREF})、2.5 V 外部偏置 (V_{WSREF} 、 $AJTREF$)^[2]。这些偏置电压对噪声非常敏感,输入电压的波动会给探测器输出信号带来较大影响。为了保证探测器输出信号的稳定,须保证探测器偏置电压的稳定,同时尽量减小噪声。

设计时,选用低噪声、低电压调整率的 LDO 产生一个稳定的电压 V_1 ,通过高精度的分压电阻从 V_1 分得所需电压 V_2 。为了增大驱动能力,同时起到隔离作用,将电压 V_2 通过低噪声、高共模抑制比的运算放大器 AD843 (该运放在 10 Hz ~ 10 MHz 带宽内噪声均方根为 60 μV ,可满足探测器对偏置电压噪声均方根的要求)进行缓冲,得到电压 V_3 供探测器使用,如图3所示。

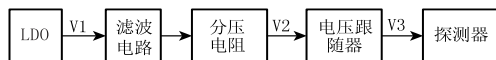


图3 探测器偏置电压电路设计

2.2.3 探测器输出信号阻抗匹配设计

探测器输出模拟信号的典型负载要求为: $R \geq 100 \text{ k}\Omega$, $C \leq 10 \text{ pF}$ 。在设计时,选取的运放 (AD 843) 输入阻抗可达 $10^{10} \Omega$,输入电容为 6 pF,可满足探测器的负载要求,设计如图4所示。

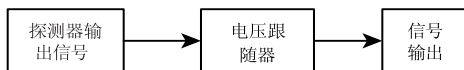


图4 探测器输出信号阻抗匹配设计

2.2.4 中心电平平移及差分传输设计

探测器输出信号动态范围为 1.7 ~ 4.2 V,中心电平为 2.95 V,而 A/D 芯片对输入信号中心电平的要求为 0 V。为了满足 A/D 芯片对输入信号的要求,在驱动电路上对探测器输出信号进行中心电平平移。

红外信号属于小信号,易受到复杂的空间干扰影响,这种影响对于单端信号影响较大。当采用差分电路设计时,正负两路信号会受到相同的影响,但其差值 $\Delta U = V_+ - V_-$ 变化较小,可减弱这种影响,因此采用差分传输设计,如图5所示。

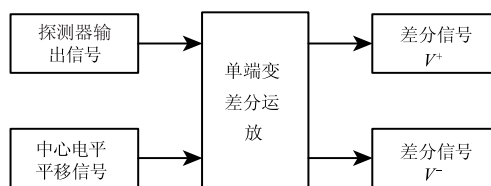


图5 中心电平平移及差分传输设计

2.3 低噪声设计与改进

为了对设计的电路性能进行评估,使用数据采集软件采集探测器输出的信号并通过 MATLAB 对其进行分析。探测器驱动电路与系统联调,采集 35 $^{\circ}\text{C}$ 时黑体数据并分析,发现约有 15 个 DN 值波动 (幅值为 7.3 mV),如图6所示。此时系统数字噪声均方根为 2.7 mV,NETD 为 65 mK。

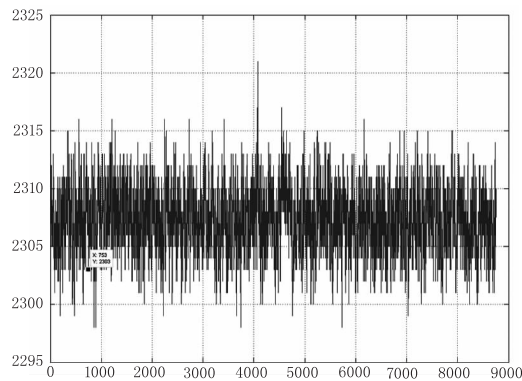


图6 采取滤波措施前

为了降低噪声,在探测器驱动电路的供电入口、信号传输的关键路径等位置加上滤波措施 (如大容量钽电容等)。重新采集图像数据并分析,测得此时 DN 值波动约 7 个 (幅值为 3.4 mV),如图7所示。此时系统数字噪声均方根为 1.4 mV,NETD 为 34 mK。

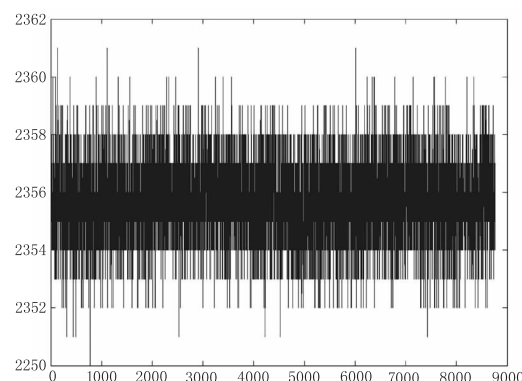


图7 采取滤波措施后

2.4 空间环境适应性设计

2.4.1 降额设计

降额是使元器件使用中的应力低于其额定值,以达到延缓参数退化,提高使用可靠性的目的。探测器驱动电路工作于空间环境中,为了保证其安全性和可靠性,在设计过程中对元器件的参数进行了降额设计,如表1所示。

表1 主要元器件降额设计

序号	元器件类型/型号	主要参数额定值	I级降额因子	实际设计	实际降额因子
1	MSK5101	电源电压 26 V	≤ 0.7	电源电压 8 V	0.307
		输出电流 1.5 A	≤ 0.7	输出电流 ≤ 40 mA	0.026
2	AD8138	带宽 ≥ 220 MHz	≤ 0.8	带宽 ≤ 10 MHz	0.045
		输入动态范围 ± 3.8 V	≤ 0.6	输入动态范围 ± 1 V	0.263
3	AD843	电源范围 ± 18 V	≤ 0.7	电源 ± 8 V	0.444
		带宽 ≥ 34 MHz	≤ 0.8	带宽 ≤ 10 MHz	0.294

2.4.2 抗单粒子锁定设计

探测器驱动电路工作于空间环境中,CMOS 器件中的晶体管结构很容易受到空间高能粒子冲击,进而引发单粒子锁定效应(SEL)^[3]。发生 SEL 后,CMOS 器件锁定区的电流将会大幅度增加,形成 SEL 异常大电流^[4],进而影响电路的正常工作。为了防止 SEL 的发生,在电路设计时采取以下措施:

a) 运放芯片(AD8138/AD843)的供电端串联限流电阻;

b) 选用具有输出限流功能的 MSK 系列 LDO 芯片;

c) 选用抗辐照器件;

通过降额设计与抗单粒子锁定设计,保证了驱动电路工作的可靠性和空间环境适应性。

2.5 性能检测

保持相同的光学、摆镜和数据采集设备,分别使用本文设计的探测器驱动电路和某型探测器驱动电路采集黑体图像数据并分析,结果如表2所示。

表2 本文设计的探测器驱动电路
与某型探测器驱动电路性能对比

	所使用的探测器	NETD	视场	综合性能
本文所述探测器驱动电路	国产 1024 × 6 红外探测器(各项元均匀性与一致性一般)	34 mK	大	好
某型探测器驱动电路	进口 480 × 6 红外探测器(各项元均匀性与一致性较好)	约 40 mK	小	一般

通过表2可知,在国产探测器均匀性、一致性与进口探测器有一定差距的情况下,通过改进探测器驱动电路,最终在性能指标上赶超了某型探测器驱

动电路。证明该方案设计实用、有效。通过与系统联调,该探测器驱动电路工作稳定、可靠,可满足空间要求。

3 总结

本文设计的探测器驱动电路,以空间应用为出发点,在满足性能指标的要求下,考虑了电路的空间环境适应性。通过与系统联调,证明该设计稳定、可靠,满足空间使用需求。

参考文献:

- [1] GUO Chuangqiang, NI Fenglei, et al. Design of multi-output power supply application to space environment[J]. Power Electronics, 2010, 44(8): 105 - 107. (in Chinese) 郭闯强, 倪风雷, 等. 适合空间环境应用的多路输出电源设计[J]. 电力电子技术, 2010, 44(8): 105 - 107.
- [2] LI Zheng, LIU Han, et al. Improved design for the scanning thermal imager based on 576 × 6 long-wavelength infrared detector [J]. Laser & Infrared, 2012, 42(8): 897 - 900. (in Chinese) 李政, 刘晗, 等. 基于长波 576 × 6 扫描型热像仪的改进设计[J]. 激光与红外, 2012, 42(8): 897 - 900.
- [3] HOU Rui, ZHAO Shanghong, et al. Calculation methods analysis of the single event upset ratio of satellite-borne CMOS 2164 equipment [J]. Laser & Infrared, 2011, 41(1): 101 - 106. (in Chinese). 侯睿, 赵尚弘, 等. 卫星光通信系统中单粒子翻转计算方法研究[J]. 激光与红外, 2011, 41(1): 101 - 106.
- [4] YANG Shiyu, CAO Zhou, XUE Yuxiong. Research on the single event latchup in the space and its protection technology[J]. Nuclear Electronics & Detection Technology. 2008, 28(5): 945 - 948. (in Chinese) 杨世宇, 曹洲, 薛玉雄. 空间单粒子锁定及防护技术研究[J]. 核电子与探测技术, 2008, 28(5): 945 - 948.