

线阵 CCD 筛选电路的设计与研究

李 帅, 刘栋斌, 张 航, 李 巍, 张 达

(中国科学院 长春光学精密机械与物理研究所, 吉林 长春 130033)

摘要: 航天任务中, 为保证低等级器件的可靠性需要对其进行筛选。针对 Kodak 公司的商用 CCD 探测器 KLI-2113, 设计了可供 12 片 CCD 同时进行老炼试验的筛选电路, 通过对各驱动信号的频率、宽度和相互位置关系的仔细调试, 获得了满足信噪比要求的数字图像。在此基础上, 针对 12 片 CCD 进行了老炼试验, 试验结果表明, 器件完全满足可靠性筛选方法的要求。本文中筛选电路的设计方法对其他航天任务中的低等级器件筛选也具有一定的参考价值。

关键词: 线阵 CCD; FPGA; 图像传输; 筛选电路

中图分类号: TN386.5-34

文献标识码: A

文章编号: 1004-373X(2014)04-0133-04

Design and research of screening circuit for linear array CCD

LI Shuai, LIU Dong-bin, ZHANG Hang, LI Wei, ZHANG Da

(Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics, Chinese Academy of Sciences, Changchun 130033, China)

Abstract: The low-level devices are required to be screened to ensure their reliability in space mission. A screening circuit that can carry out the aging test for simultaneous screening of 12 CCDs was designed for the commercial CCD detector KLI-2113 made by Kodak. The digital images meeting the SNR requirements were obtained by careful debugging of the frequency, the pulse width and the mutual positional relationship of the drive signals. On this basis, the aging test for 12 commercial CCDs of Kodak was conducted at a same time. The result shows that the circuit meets the reliability requirements of the device screening. The design method of the screening circuit has a certain reference value for screening the low-grade devices in other space missions.

Keyword: linear array CCD; FPGA; image transmission, screening circuit

0 引 言

航天任务中, 对使用电子元器件的质量等级要求很高, 真空特性、温度特性、抗辐照特性均要满足系统要求, 但是由于电子元器件的采购渠道, 采购成本, 采购周期等原因在设计中会遇到选用低等级器件来代替高等级器件的情况, 为保证元器件的可靠性和任务的顺利完成, 需要对所选用的低等级器件进行可靠性筛选。

电荷耦合器件能够存储由入射光在光敏单元激发出的光信息电荷, 并且能够在适当的时钟驱动脉冲作用下, 把存储的电荷定向转移和传输, 最终以收集到的电荷作为信号, 因其具有质量轻、体积小、功耗低、动态范围大、测量精度高、寿命长等诸多优点, 被广泛应用于航天遥感观测、载荷对地观测、空间科学等领域^[1-3]。Kodak 公司的商业级三线阵探测器 KLI-2113 有敏感度高、动态

范围大、数据速度快以及噪声低等优点, 因此非常适合应用在空间探测领域。本文针对商业级的探测器 KLI-2113, 设计老炼试验的筛选电路, 并给出试验结果。

1 电路设计

CCD 筛选电路是为了从多片 CCD 中获取、处理和存储数字图像信号^[4], 主要由时序产生和控制单元、驱动单元、视频处理单元和数据传输单元等几个部分构成, 原理框图如图 1 所示。

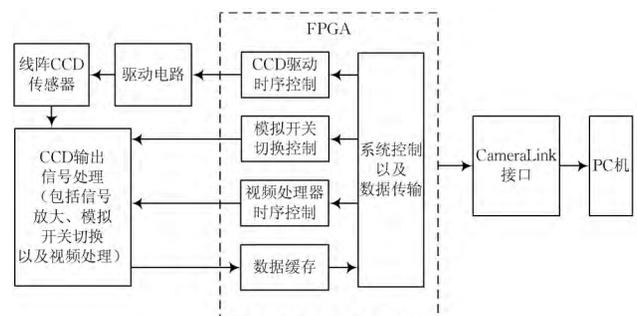


图 1 CCD 筛选电路原理框图

其工作过程是12片CCD在FPGA产生的驱动时序作用下输出与光强相对应的模拟信号,通过模拟开关选择后经过前置放大、相关双采样、A/D转换成为12位的数字信号,FPGA缓存接收到的数据并通过CameraLink接口传输到PC机中,完成数据采集过程。

1.1 CCD驱动单元

三线阵探测器KLI-2113由3条平行的并且完全相同的光电二极管阵列组成,每行包括2098个有效像元、12个暗像元以及12个测试像元,饱和输出电压为2.0V,动态范围76dB,像元读出频率为20MHz,电荷转移效率为0.99999,暗电流为0.02pA/pixel。CCD探测器的主要参数如表1所示。

表1 KLI2113主要参数

参数	典型值
像元数	2098×3
像元尺寸/μm	14×14
动态范围/dB	76
饱和电子数	170000
电荷转移效率	0.99999
最大数据率/(MHz/Channel)	20
暗电流/(pA/pixel)	0.02

KLI-2113由7路脉冲驱动,分别是转移脉冲TG1和TG2,输出复位脉冲QR,曝光控制脉冲LOG及读出脉冲Q1,Q2和Q2S。偏置电路的原理图如图2所示。

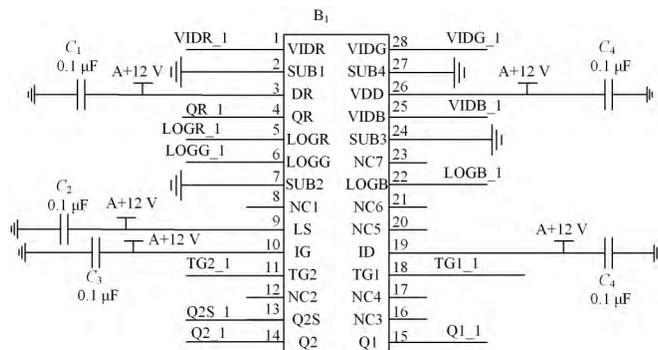


图2 CCD偏置电路原理图

KLI-2113的一个工作周期分为两个阶段:光积分阶段和电荷转移阶段^[5]。转移脉冲TG1和TG2高电平期间,光敏区积累的信号电荷并行地向与每个像素对应的移位寄存器转移,为保证信号电荷的充分转移,TG1高电平持续时间最小为500ns,TG2高电平持续时间比TG1的高电平持续时间至少大500ns。转移脉冲低电平期间,光敏区与移位寄存器被隔离,在光敏区进行光

积分的同时,移位寄存器在读出脉冲的作用下,逐个地输出各像元信号至OS端。本设计中,读出时钟Q1和Q2是反向的关系,占空比为1:1,频率为2MHz;由于不需要相邻像素相累加,Q2S和Q2保持相同的频率和相位关系;输出复位脉冲QR用于清除上一个像素转移后的残余电荷,其频率和Q1、Q2相同,占空比为1:9。

FPGA输出的驱动脉冲无法直接驱动CCD,需要增加驱动电路,时序驱动单元为探测器的工作提供偏置电压和时序脉冲,选用SNV54ACT245八总线收发器来实现,调整好各驱动时序后,在输出端可以得到稳定的视频信号。

1.2 模拟前端和视频处理单元

为了避免容性负载引起的带宽限制,并且能够提高CCD输出信号驱动后级电路的能力,在CCD的信号输出端加一级射极跟随电路作为模拟前端信号处理单元^[6]。模拟前端处理单元由三极管3DG111构成放大电路,用以缓冲和匹配CCD输出信号。设计中采用交流耦合方式,以消除直流分量,降低直流功耗,抑制1/f噪声。模拟前端电路在PCB设计时应该尽可能地靠近CCD信号输出的管脚,同时晶体管3DG111的输出级与下一级电路的连线也尽量设计为最短连接,从而能够最大程度地减小对地的寄生电容对电路的影响。

电路中共有12片CCD,每片CCD具有3个通道,如图3所示,所以共有36个通道的模拟信号。将3片CCD的9路模拟量连接到一片多路模拟开关上,4个模拟开关作为第一级,然后将4个模拟开关的输出端连接到第二级模拟开关的输入端,第二级模拟开关的输出信号作为视频处理器的输入来进行后续的视频数据处理,模拟开关的切换由FPGA进行控制,从而可以实现用最简单的硬件电路完成多路模拟信号的采集处理功能^[7]。

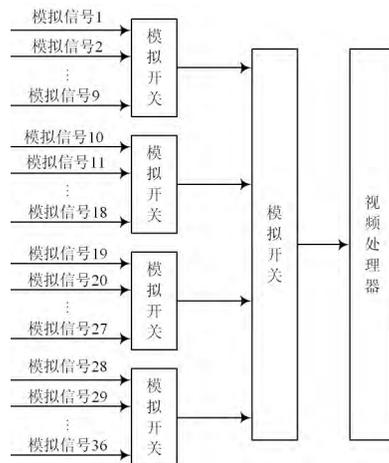


图3 模拟开关原理框图

视频处理单元选用定制的Philips公司生产的专用

集成视频信号处理器 TDA9965, 其由采样保持电路、可编程增益放大器、直流偏置调整、暗电流校正及 12bit A/D 转换器组成。视频处理器主要参数如表 2 所示。

表 2 TDA9965 主要参数

参数指标	数值范围
量化级数 /b	12
采样频率 /MHz	30
输入电压 /V	0~2
输入阻抗 /kΩ	63
输入容抗 /pF	1
PGA 范围 /dB	0~36

CCD 的输出信号是经过交流耦合接入视频处理器的输入端的, 但是由于光强和温度等的变化会导致 CCD 输出信号的暗电平参考出现波动, 因此需要进行暗电平校正^[8]。在每一帧开始和结束部分会有两个暗电平参考信号, 在此期间使 CLPOB 和 CLPADC 信号为高电平, 就能使整行的输出信号暗参考电平保持在芯片内部提供的一个基准电平上。

采样保持电路采用能够有效抑制复位噪声和白噪声的相关双采样算法。其基本原理是将两次采样得到的暗电平和信号电平相减, 就可以得到消除了复位噪声的视频信号。SHP 脉冲对暗电平采样, SHD 脉冲对信号电平采样。本设计中 SHP 频率为 2 MHz, 高电平持续时间为 50 ns; SHD 频率同样为 2 MHz, 高电平持续时间也为 50 ns, 同时两个采样信号 SHP 和 SHD 都要处于暗电平和信号电平的相对平坦阶段。

在 TDA9965 中, 为了防止 CCD 信号过弱或者饱和, 其内部含有一个可编程增益放大器, 用于控制信号的增益。PGA 是增益在 0~36 dB 之间可调的放大器, 可以通过一个 10 b 的 DAC 控制, 码值在 0~720 之间变化时, 增益与码值为线性关系, 步进为 0.05 dB, 码值大于 720 后, 增益保持最大值 36 dB 不变。DAC 的值由 FPGA 通过 TDA9965 的串行接口进行配置。

视频处理器作为高精度和高速的模数转换芯片, 在 PCB 设计中既有模拟电路部分又有数字电路部分, 因此常将视频处理器看作模拟器件。

由于模拟信号是随时间变化的连续的电压和电流信号, 所以它对于外界的干扰非常敏感; 而电路中又有大量的数字器件并且电路工作在较高的频率, 数字信号在上升沿和下降沿处会产生较高的高频成分, 很容易对周围的模拟信号造成影响。

因此在设计中要正确区分数字电源和模拟电源, 在模拟地和数字地的连接点处通过磁珠连接来保证模拟地

和数字地连接的正确性, 消除二者间构成传导回路的可能性。电源线要尽量的粗, 并且尽量地靠近地层。同时 IC 电源引脚就近安置旁路电容用以抑制电磁辐射干扰。

2 试验过程

2.1 试验程序

(1) 预处理: 将被检器件和筛选板置于正常大气环境下, 至温度稳定。

(2) 初始检测: 在正常试验条件下, 对 CCD 及筛选板进行外观检查, 若完好则将器件安装于板上进行电性能检测, 记录并保存器件在常温下各个通道的量化值。

(3) 老炼过程: 筛选板放置到试验箱中上电, 试验箱升温至 80 °C; 80 °C 条件下进行老炼, 停留时间 96 h。整个工作过程中监测电源电流并观察图像, 判断系统是否工作正常, 同时保存整个试验过程的数据; 数据采集和存储软件界面如图 4 所示。

(4) 最后检测: 试验结束, 在常温条件下, 对筛选板和 CCD 进行电性能检测。

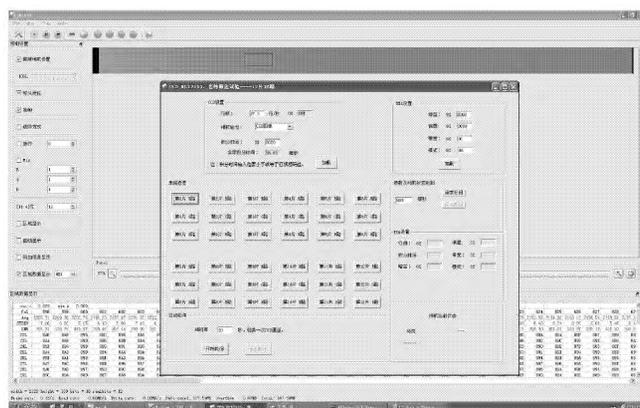


图 4 数据采集和存储界面

2.2 试验结果与分析

老练试验前后分别对 CCD 进行了综合测试, 将探测器直接放置在积分球的开口处, 且感光面平行于出光口所在平面, 同时, 利用光照度计同步测量出光口处的光照度, 通过调整积分球不同亮度等级, 可以得到 CCD 输出 DN 值及对应的光照度之间的关系。

下面以其中任一片 CCD 进行说明。老练试验前测得的 R 通道输出 DN 值及对应的光照度之间的响应关系如表 3 所示。试验后测得的 R 通道输出 DN 值及对应的光照度之间的响应关系如表 4 所示。

拟合曲线如图 5、图 6 所示。试验前后 CCD 响应度对比结果如表 5 所示。从以上 CCD 响应度的对比结果可以看出, 经过老练试验后, CCD 的响应度提高, 非线性度下降, 器件满足可靠性筛选实现方法要求, 可供仪

器使用。

表3 试验前光照度与灰度值之间的关系

光照度 /lx	CCD 输出灰度值	光照度 /lx	CCD 输出灰度值
0.000 0	6.789 2	4.288 7	2 510.595 0
0.000 3	6.735 6	5.315 2	3 081.989 3
1.093 0	648.338 4	6.390 9	3 654.486 1
2.151 8	1 274.132 1	7.500 7	4 095.000 0
3.215 0	1 894.058 7		

表4 试验后光照度与灰度值之间的关系

光照度 /lx	CCD 输出灰度值	光照度 /lx	CCD 输出灰度值
0.000 0	6.788 0	4.296 8	2 808.716 6
0.002 0	6.748 4	5.347 0	3 448.676 0
1.085 2	722.996 6	6.452 4	4 070.585 9
2.178 5	1 442.246 1	7.394 4	4 095.000 0
3.187 3	2 108.736 2		

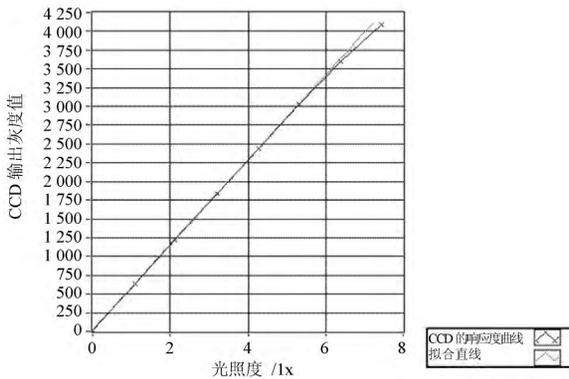


图5 试验前 CCD 响应曲线

3 结论

通过对12片线阵CCD输出信号处理电路的精心设计以及对各控制脉冲的频率、宽度和相互位置关系的仔细调试。本系统得到了响应度较好的增益、偏置、起始像元和积分时间都可调的数字图像,为多片线阵CCD老炼筛选试验的顺利进行提供了良好的硬件基础。试验结果表明CCD完全满足可靠性筛选实现方法要求,可供仪器使用。同时,本设计中的筛选电路也对其他

航天任务中低等级器件的筛选具有一定的参考借鉴作用。

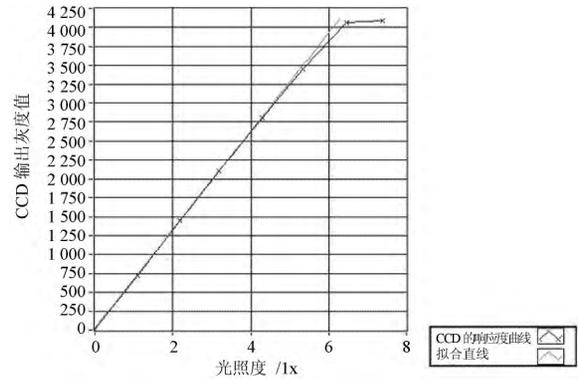


图6 试验后 CCD 响应曲线

表5 试验前后 CCD 参数对比

	试验前	试验后
响应度	5.768 8e+2	6.504 2e+2
暗背景	28.465 5	23.023 3
拟合直线残差	95.649 7	70.161 0
非线性度	0.64%	0.26%

参 考 文 献

- [1] BOYLE W S, SMITH G E. Charge coupled semiconductor devices [J]. The Bell System Technical Journal, 1970, 49(1) : 587-593.
- [2] 张航,刘栋斌.线阵探测器 KLI-2113 总剂量辐照性能试验分析 [J].发光学报,2013,34(5):611-616.
- [3] 佟首峰,阮锦,郝志航.CCD 图像传感器降噪技术的研究[J].光学精密工程,2000,8(2):140-145.
- [4] 张达,徐抒岩.高速多通道 CCD 信号并行处理系统[J].吉林大学学报,2008,26(3):281-286.
- [5] 常丹华.一种新的 CCD 外围电路设计方法[J].传感器技术, 2001,20(6):32-34.
- [6] 薛旭成,李云飞,郭永飞.CCD 成像系统中模拟前端设计[J].光学精密工程,2007,15(8):1191-1195.
- [7] 李正岱,刘文怡.多路信号采集器的硬件电路设计[J].微计算机信息,2008,24(1):220-222.
- [8] 张达,刘栋斌.三线阵 CCD 视频信号处理系统研究[J].光机电信息,2010,27(12):167-171.

作者简介:李 帅(1987—),男,辽宁葫芦岛人,研究实习员,硕士。主要从事空间光学成像技术方面的研究。
 刘栋斌(1968—),男,吉林长春人,研究员,博士。主要从事空间光学成像系统方面的研究。
 张 航(1984—),男,吉林长春人,助理研究员,硕士。主要从事空间光学成像技术方面的研究。
 李 巍(1980—),男,吉林吉林人,助理研究员,硕士。主要从事空间成像技术方面的研究。
 张 达(1981—),男,辽宁昌图人,副研究员,博士。主要从事语言与图像信号的高速处理方面的研究。