

数字式太阳敏感器测试方法的研究

王文靖 梁旭 郭宏

(北京航空航天大学自动化科学与电气工程学院 北京 100191)

摘要:数字太阳敏感器的性能测试工作在数字太阳敏感器的研制周期中具有特别重要的作用。为了缩短数字太阳敏感器的研制周期,提高其测试标定的精度,提出了一种新型的数字太阳敏感器的测试方法,研制出一套适用于数字太阳敏感器性能检测的自动测试系统,该系统利用平行光管模拟真实的太阳光源,通过接口适配器和数据采集处理系统完成了数字太阳敏感器的性能检测。测试结果表明所提出的方法和研制的设备能够完成数字太阳敏感器的性能测试工作并能提高测试精度和效率。

关键词:数字太阳敏感器;测试方法;适配器;性能检测

中图分类号: TP274+.5 TN06 **文献标识码:** A **国家标准学科分类代码:** 510.10

Research on test method for digital sun sensor

Wang Wenjing Liang Xu Guo Hong

(School of Automatic Science and Electrical Engineering, Beihang University, Beijing 100191, China)

Abstract: Performance testing for digital sun sensor is very important during the R&D process of digital sun sensor. In order to shorten the development cycle of digital sun sensor, and improve the precision of testing, a new method of testing for digital sun sensor is proposed, and the new equipment which can apply to the system of performance testing is designed. The automatic test system used collimator to simulate real light source of solar and achieved performance testing for digital sun sensor by using the interface adapters and the data system of acquisition and process. The testing results show that the method and equipment can achieve the performance testing and improve the test of precision and efficiency.

Keywords: digital sun sensor; test method; the adapter; performance testing

1 引言

太阳敏感器是一种以太阳为参考基准的高精度姿态敏感器,在各种飞行器的控制系统和姿态测量中起着重要的作用。由于航天产品最终的工作环境是在外太空,因此需要在地面测试中进行大量的模拟实验,尽可能全面地完成相关的测试验证工作,提高产品的稳定性和可靠性^[1]。

敏感器地面测试系统研究是近年来发展迅速的一个研究方向,目前包括对星敏感器、红外地球敏感器、太阳敏感器等的研究。文献[2]介绍了一种太阳辐射监测仪跟踪引导系统,文献[3]提出了一种利用仿真星图的星敏感器地面功能测试方法。围绕敏感器的研究迅速发展,包含光学系统设计、地面测试标定、卫星姿态确定、质心算法等^[4-8],但在太阳敏感器研制生产中的测试方法相关的文献相对较少,因此迫切需要此方面的进一步研究。

本文提出一种测试方法能有效替代人工测试的手段和测试方法,缩短性能测试周期,提高生产效率,保证生产速度。该方法具备综合数模混合、数字图像的采集、分析和处理以及性能和故障分析能力,用于生产过程中的调试。

2 测试对象介绍

太阳敏感器作为姿态控制系统的重要测量部件,其软硬件将互相紧密配合,协同工作,以满足姿控系统对航天器本体姿态捕获要求。数字太阳敏感器通过测量太阳光线相对于基准光轴的入射角,从而确定太阳在敏感器本体坐标系中的位置,然后通过坐标矩阵变换得到太阳在航天器本体坐标系中的位置^[9],再经过相应计算最终确定航天器在空间的方位。太阳敏感器的硬件结构如图1所示。

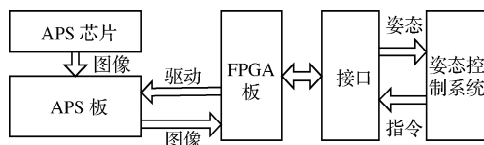


图1 硬件结构

图1所示为数字太阳敏感器硬件结构,FPGA板控制APS芯片将光信号转换成相应的模拟电信号,通过APS芯片的内部ADC转换成数字信号,经APS板(即芯片的外围电路,与FPGA板通过CDBF接插件直接相连)再将信号传输给FPGA板,其中FPGA板包含质心计算和太阳入射角计算的模块,从而根据传输来的图像数据确定出太阳光斑质心的位置(坐标),然后计算出太阳光线的入射角 α 和 β ,通过接口传给航天器的姿态控制系统。

数字太阳敏感器研制生产阶段测试需要完成对APS芯片、APS板、FPGA板以及整机组件的测试。芯片型号为ON Semiconductor CMOS STAR1000,共84个引脚;FPGA型号为ProASIC3 A3P250,APS板和FPGA板间连接的CDBF接插件共62个引脚。4种被测对象的需求分析如下:

1) APS 芯片

①阻抗测试:利用万用表,测量任意两点之间(84个引脚)的阻抗,设计适配电路板A+B;

②漏电测试:测量输出引脚(OUTPUT,共14个引脚)对地电压测试,设计适配电路板A+C;

③信号测试:APS电路板的输出引脚10路电压信号的测试,设计适配电路D;

④采图测试:采图并还原,确定光斑质心坐标,采用借鉴适配器电路板D。

2) APS 板

阻抗测试:任意两点之间(62个引脚)的阻抗测试功能,设计适配器电路板E。

3) FPGA 板

①阻抗测试:任意两点之间(48个引脚)的阻抗测试功能,设计适配电路板F;

②信号测试:测量FPGA给APS电路板的输出电压(31路信号),设计适配器电路板G;

4) 联合测试

图像还原,计算信噪比,设计适配电路板H。

3 测试方案设计

3.1 总体方案设计

数字式太阳敏感器作为航天器姿态控制系统中的重要测量部件,在研制过程中一般采取两种测试方式:光激励测试(使用太阳模拟光源)和电激励测试(使用电激励信号源,模拟探测器输出的模拟信号)^[10]。通过对被测对象进行需求分析,本文设计了数字式太阳敏感器的测试系统

总体架构,如图2所示。根据以上分析,已知对象所具有的特征、需要测试的项目以及参考标准,由此总结出系统的功能需求如下:

1)采用通用化设计架构,实现多被测对象间兼容,并可以对不同被测对象匹配不同的适配器进行转接;

2)设计硬件测试平台以实现对被测对象进行不同的性能测试;

3)设计系统的软件平台进行被测对象测试及设备的调试,并对数据进行管理;

4)对图像进行还原及图像质心确定。

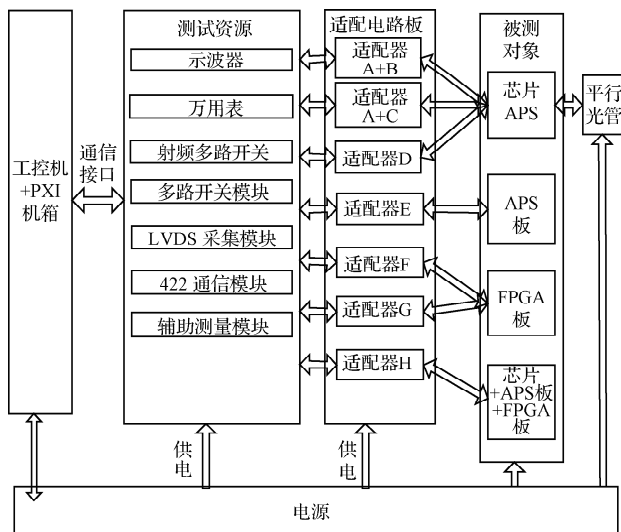


图2 测试系统总体架构

为满足所有测试需求,综合考虑各方面因素,选定的技术方案为工控机+PXI机箱+桥接卡,通信方式为两根网线(一根发送,一根接收)。硬件方案设计示意图如图3所示。

本测试系统采用适配器、PXI机箱和PCI/PCIe工控机平台相结合实现相关功能。根据被测对象测试需求,经过适配器将信号转接,通过线缆连接到相应的板卡上,PXI机箱中的板卡通过PCI/PXI 8570桥接卡实现通信,最终都通过工控机控制完成相应的测试,具体功能如下:

1)适配器:实现对测试对象进行信号转接,并将信号传输给PXI测试设备和工控机,进行相应的采集工作。

2)PXI机箱:负责接收信号。通过多路开关等设备对测试资源进行合理分配,实现资源利用最大化;通过数字化仪器、数据采集卡、数字万用表等对测试对象信号进行采集。从PXI测试设备输出的信号通过基于PXI总线的卡经两根网线(一发一收)连接到基于PCI总线的卡,实现PXI与主控计算机(工控机)的互相通信,供软件测试平台调用。

3)工控机:通过PCIe总线接收LVDS信号和PXI机箱传过来的信号,是系统的主控计算机,负责整个系统的管理。

3.2 测试方法

1) 芯片测试方法

① 阻抗测试

在适配器电路板 A 上将 APS 芯片装卡在方便拆卸芯片的标准底座(YAMACHI PLCC84)上,并由芯片底座引到弯式 96PIN 欧式插座上,通过 96PIN 插座将信号引到

适配电路板 B 上,如图 4 所示。该适配电路板围绕 APS 芯片没有任何附加电路和供电电路,仅用于 APS 芯片阻抗测试。APS 芯片的管脚均由适配电路板引出,然后每一个管脚均采用导线,或者经过双刀双掷开关连接到两个多路开关(80:1)模块接口上,并通过多路开关(n 选 1 双限制)切换接到万用表(多路开关为 PXI 总线的板卡)。

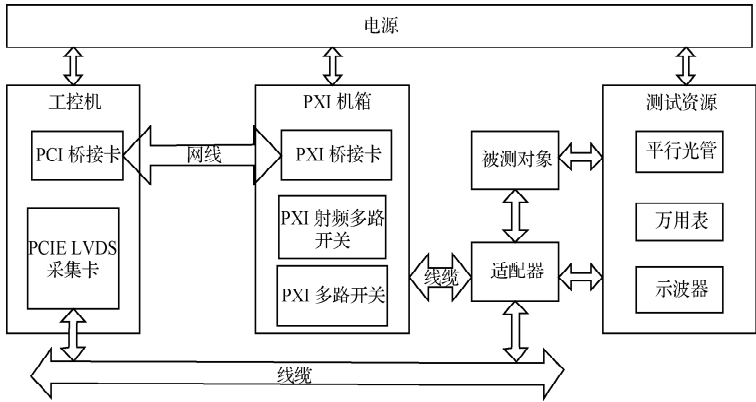


图 3 系统硬件总体架构示意

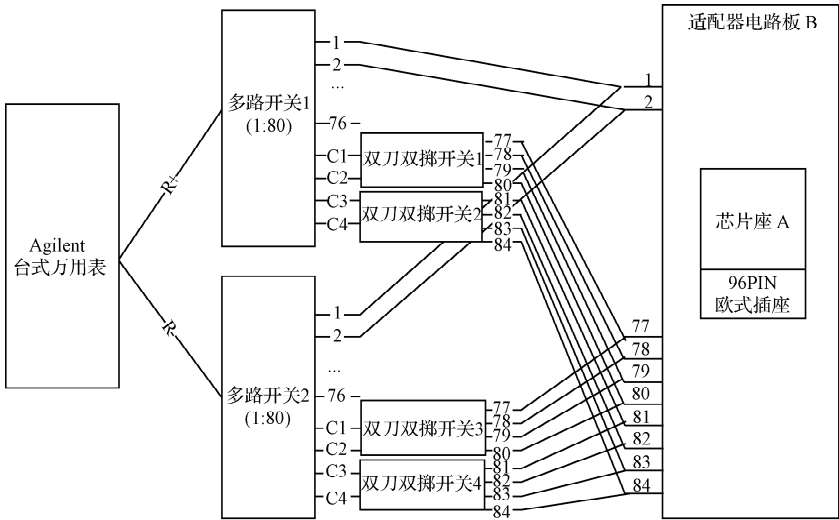


图 4 芯片阻抗测试示意

② 漏电测试

APS 芯片通过芯片底座引到适配电路板 C 上,该适配电路板围绕 APS 芯片设计了基本的外围电路。在只为 APS 芯片提供电源的情况下,利用万用表扫描每个被测试管脚对地的电压,实现方式为多路开关切换接到万用表,多路开关板卡与阻抗测试复用,且电缆复用,如图 5、6 所示。

③ 输出信号测试

将厂家标准 APS 电路板(62 个引脚)和 FPGA 板(62 个引脚)分别单独插到适配器电路板 D 上,留出 SD0-SD9 以及地的测试点,便于示波器手动测试。同时将 FPGA J14A-26(含串口和供电)也引到电路板上,便于通过 422 总线进行控制和采图。FPGA 由 +5 V 电源供电,如图 7 所示。

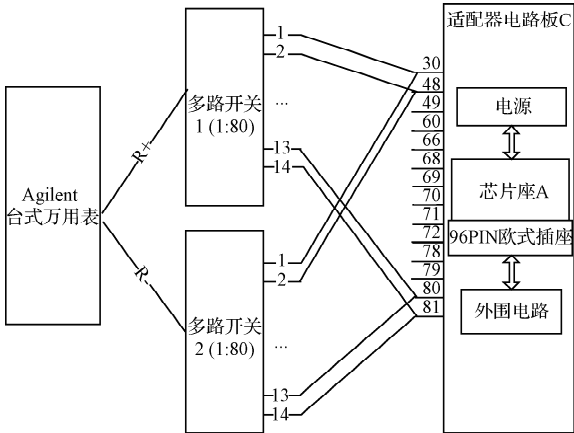


图 5 芯片漏电测试示意

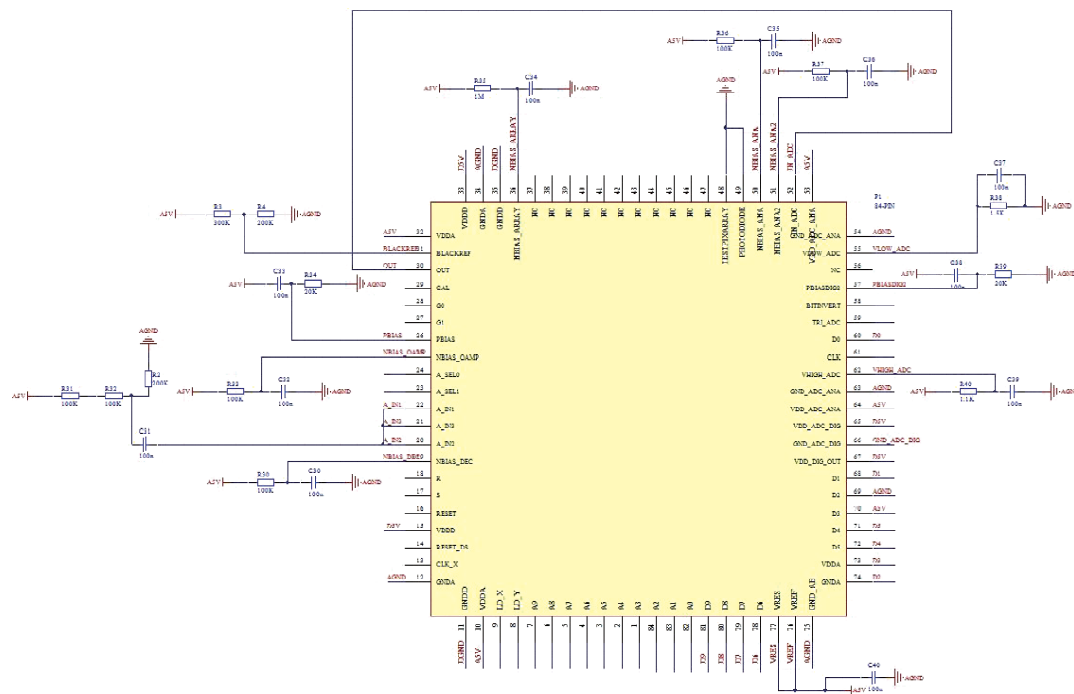


图6 芯片外围电路

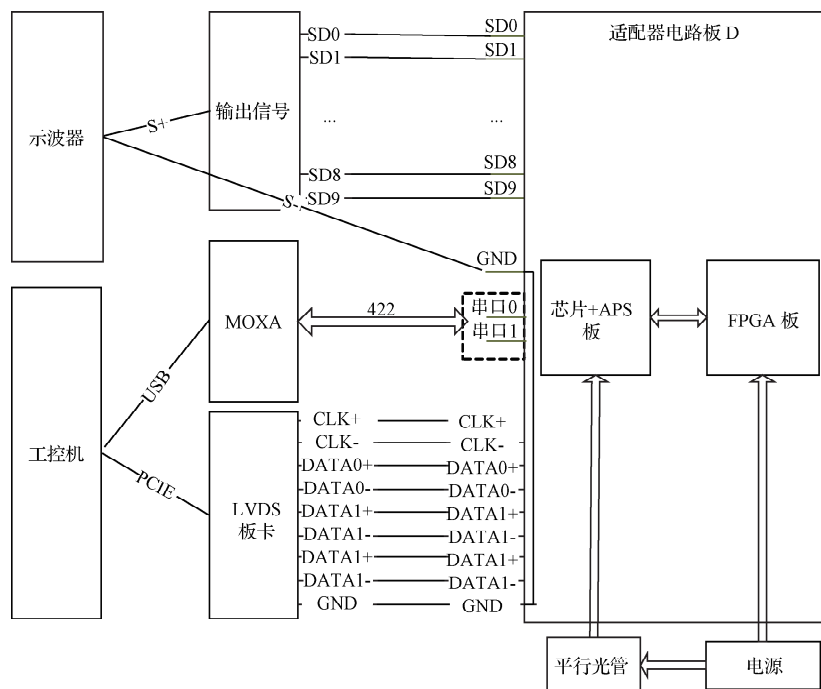


图7 芯片输出测试示意

④采图测试

与输出测试电路板 D 一样,利用 LVDS 专用板卡采图、还原。

2)APS 板阻抗测试方法

APS 电路板插接到适配器电路板 E 上,由适配器电路板 E 引出相关管脚。通过多路开关切换接到万用表,多路开关为 PXI 接口,与 APS 芯片阻抗测试复用。

3)FPGA 板测试方法

- ①阻抗测试
- FPGA 电路板通过电缆引到适配电路板 F 上,通过多路开关切换接到万用表,多路开关为 PXI 接口,与 APS 芯片阻抗测试复用。
- ②输出信号测试
- FPGA 的外部接口 (DB25 + DB16) 接到适配电路板 G 上,利用二次电源供电,再将 FPGA 的输出接口 (62 个引脚) 接到电路板上,利用射频多路开关 + 示波器的方案实现测试,需要一块射频多路开关板卡,如图 8 所示。
- ③422 信号测试
- 利用 MOXA 实现测量,与输出测试共用一块适配器电路板 G。
- ④LVDS 信号测试
- 利用 LVDS 专用板卡实现测量,与输出测试共用一块适配器电路板 G。
- 4)联合测试

FPGA 的外部接口 (DB25 + DB16) 接到适配电路板 H 上,利用 +5 V 电源给 FPGA 供电,利用 422 串口 1 发出使能信号,再采用 LVDS 采集专用板卡实现采图测试、还原,如图 9 所示。

3.3 系统软件平台设计流程图

系统软件平台是分析数据、计算参数的核心部分,在整个数据测试以及数据评估中起着至关重要的作用。上位机软件流程如图 10 所示。

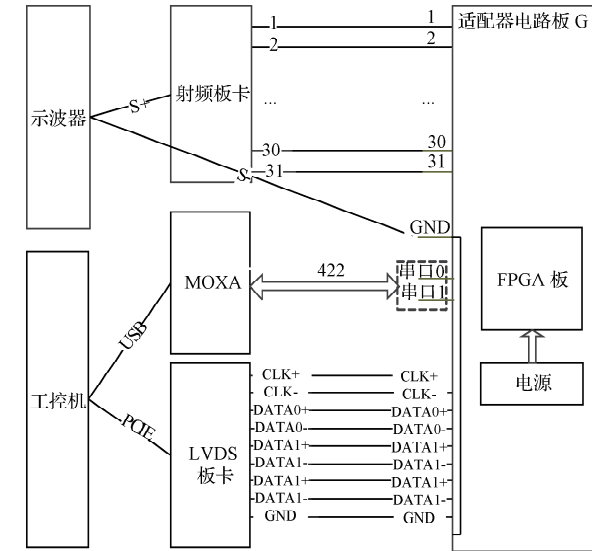


图 8 FPGA 板输出信号测试示意

4 测试验证与结果分析

数字式太阳敏感器自动测试系统精度检测结果如表 1 所示,分析测试数据结果可知:在对被测对象进行阻抗测试以及信号测试时,通过板卡的通道切换能有效实现被测对象的引脚切换,且其测试结果的偏差小于 1.2%,将表 2~3 的测试结果进行分析,阻值越小,

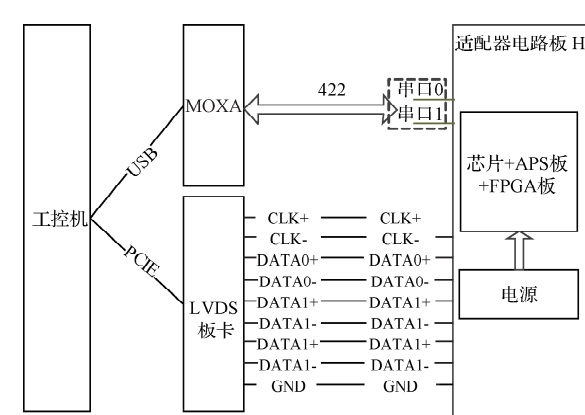


图 9 联合测试示意

误差越大,但是通过板卡切换通道的方式可以满足被测对象的阻抗测试要求,能表征被测对象的引脚好坏。在对被测对象进行信号测试时,通过板卡的通道切换能有效实现被测对象的引脚切换,且其信号波形能真实的在上位机显示。测试结果表明,所研究的测试方法和设备能够满足数字式太阳敏感器生产工艺中的测试需求。

表 1 芯片阻抗测试结果

序号	直接测量/ Ω	采集测量/ Ω	误差(%)
1-地	685	692	1.02
2-地	665	673	1.20
3-地	686	693	1.02
4-地	676	684	1.18
5-地	700	708	1.14

表 2 APS 板阻抗测试结果

序号	直接测量/ $M\Omega$	采集测量/ $M\Omega$	误差(%)
1-2	2.434	2.445	0.45
3-4	2.136	2.143	0.33
5-6	2.512	2.521	0.36
7-8	2.617	2.625	0.31
9-10	2.350	2.363	0.55

表 3 FPGA 板阻抗测试结果

序号	直接测量/ $M\Omega$	采集测量/ $M\Omega$	误差(%)
1-2	0.515	0.520	0.97
3-4	0.595	0.601	1.00
5-6	0.577	0.581	0.69
7-8	0.640	0.645	0.78
9-10	0.588	0.593	0.85

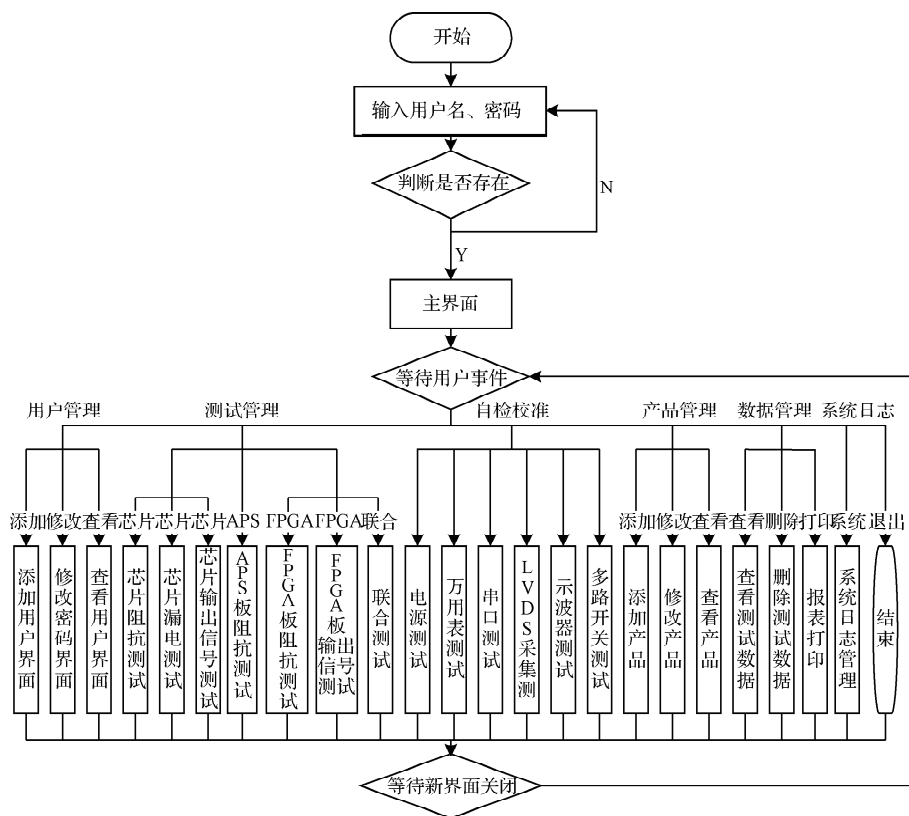


图10 上位机软件流程

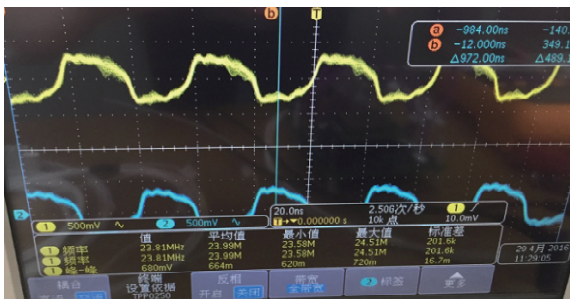


图11 FPGA板的某两路输出信号

如图11所示为FPGA板输出的两路信号,是图像时钟信号(CLK+和CLK-),CLK时钟为24MHz,采集到的信号与原始信号相符。如图12所示LVDS_CLK信号为图10中的两路信号的合成并还原信号,实际的clk信号是频率为24MHz的方波信号。

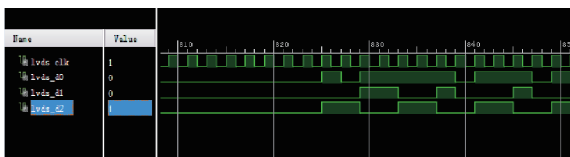


图12 FPGA板的输出信号

5 结论

本文所设计的太阳敏感器测试方法,提高了生产研制阶段太阳敏感器测试的可行性和可靠性。由于不需要过

多的人员配合,从而大大节省了人力,为整个太阳敏感器的测试任务节省了时间和生产效率;其次运用该测试方法测试人员可以在测试任务初期就完成各种性能测试;最后在定位被测对象的问题及故障的工作中大大节省了测试的工作量。该方法还可以借鉴运用于其他相似型号的芯片和板级的性能测试中。

参考文献

- [1] 项鸣. 星敏感器软件测试方法的研究[J]. 仪表技术, 2012(7):46-47.
- [2] 姜明,王玉鹏,方伟,等. 太阳辐射检测仪跟踪引导系统的设计[J]. 电子测量技术, 2013,36(9):84-88.
- [3] 魏新国,张广军,樊巧云,等. 利用仿真星图的星敏感器地面功能测试方法[J]. 红外与激光工程, 2008, 37(6):1087-1091.
- [4] 张欢,吴玲玲. 星敏感器光学系统设计[J]. 国外电子测量技术, 2014,33(12):61-64.
- [5] 何煦,姬珏. 面阵CCD调制传递函数测试仪器研究[J]. 电子测量与仪器学报, 2014,28(10):1100-1108.
- [6] 江洁,王英雷,王昊予. 大量程高精度三维姿态角测量系统设计[J]. 仪器仪表学报, 2013,34(6):1247-1252.
- [7] 李朋,高立民,吴易明. 加权质心法亚像素元定位误差研究[J]. 电子测量技术, 2011,34(6):43-46.

(下转第60页)