

多通道捷联惯组数据采集系统^①

庞 彬¹, 乔 丽²

¹(北京航天控制仪器研究所, 北京 100854)

²(中国科学院遥感与数字地球研究所, 北京 100101)

摘 要: 作为惯性导航的重要组成部分, 惯性器件通常由陀螺仪和加速度计组成. 为完成对其性能的评价, 需要研制专门的数据采集系统来实现对其测试工作. 传统的惯组数据采集由于体积庞大, 技术更新困难, 可靠性差等方面的原因, 越来越难于满足当前的测试需要. 随着 FPGA 技术的快速发展, 使得惯组数据采集系统越来越小型化和简单化. 通过选用 XILINX 公司的 XC3S1000-4FT256I 芯片, 实现了将惯组输出的陀螺仪脉冲信号、加速度计脉冲信号和温度传感器信号直接输入给 FPGA 进行处理, 完成了脉冲数据的采集. 经过在两轴转台上的实际应用, 通过对大量测试数据的比对与分析, 发现用本系统测试的惯组数据, 其稳定性指标与传统方法相比, 提高了近 1σ .

关键词: 陀螺仪; 加速度计; FPGA; 惯性导航; 转台; 稳定性; 滑环

Multi-Channel Strap-Down Inertial Navigation of Data Acquisition System

PANG Bin¹, QIAO Li²

¹(Beijing Institute of Aerospace Control Devices, Beijing 100854, China)

²(Institute of remote sensing and digital Earth Chinese academy of sciences, Beijing 100101, China)

Abstract: As an important component of the inertial navigation, inertial device is usually composed of gyroscopes and accelerometers. To complete the evaluation of its performance, it is needed to develop a specialized data acquisition system. The traditional set of data collection is becoming more and more difficult to meet the test needs due to the huge volume, technology updated difficulties, and poor reliability. With the rapid development of FPGA technology, the IMU data acquisition system is smaller and more simple. Through the XC3S1000-4FT256I chip of XILINX, the gyroscope, accelerometer IMU output pulse signal of pulse signal and a temperature sensor signal input directly to FPGA for processing, the pulse data collection, through the practical application in the two axis turntable. By comparing a large amount of test data and analysis, we found that the stability of the IMU data increased nearly 1 sigma, compared with the traditional method.

Key words: gyroscope; accelerometer; FPGA; inertial navigation; rotating platform; stability; slip ring

惯性导航是利用惯性器件测量载体相对惯性空间的线运动和转动运动, 并在已知的初始条件下, 用计算机推算出载体的速度、位置和姿态等导航参数, 为进一步引导载体完成预定的航行任务提供测量数据^[1], 惯性器件通常由陀螺仪和加速度计组成, 如何通过对其进行测试, 完成性能评定显得尤为重要, 为此需要专用的数据采集系统以对惯组的输出脉冲进行采

集与处理.

本文介绍了一种用 FPGA 实现的, 能够同时对多路脉冲信号以及温度传感器信号采集的新型脉冲采集系统.

1 设计指标要求

常用捷联惯组通常包含三个陀螺仪和三个加速度

^① 收稿时间:2013-07-29;收到修改稿时间:2013-08-28

计,需要同时对6路脉冲信号进行采集以及多路温度传感器信号测量,其输出脉冲为负脉冲,具体的脉冲特性为:脉冲高度:8~12V;脉冲宽度:2±0.2μs;脉冲前后沿:≤0.3μs;脉冲频率:≤500KHz.

温度传感器信号输出为电流信号.

2 总体方案设计及主要硬件构成

2.1 系统主要设计指标

本系统主要完成捷联惯组输出脉冲信号采集,设计10路20个通道(每路包含正负2个通道)的脉冲信号采集以及5路温度传感器信号采集,具有自检复位功能.具体的设计指标如下:

脉冲信号采集:计数精度±1个脉冲,计时精度 2×10^{-6} ,24小时内稳定性满足 2×10^{-6} .

提供定时计数、定数计时和周脉冲触发计数三种功能模式,脉冲信号源分为标准自检信号脉冲和外部惯组输出脉冲信号两种形式,正负通道分别用于陀螺仪和加速度计正反向输出时的脉冲信号采集.

温度传感器信号为AD590传感器输出电流信号,传感器输出电流信号模型为 $I=273.15+T$,其中 I 为传感器输出电流,单位为μA, T 为测量温度,单位为℃,温度测量范围为0℃~100℃,通过对电流信号的测量,根据输出模型实现对被测点的温度测量.

提供自检复位功能,通过采集卡内部的标准时钟实现对脉冲定时计数和定数计时功能的自检功能,复位功能通过外部复位信号来完成,复位信号接通时间大于10ms.

2.2 系统硬件结构

本系统的核心部分FPGA主要用来完成数据的采集、存储和处理工作.选用XILINX公司Spartan™-3系列中的XC3S1000-4FT256I芯片,该芯片具有以下特点:LAB/CLB数(可配置逻辑模块数)1920个,输入/输出数173个,逻辑元件/单元数17280个,逻辑门1M个,RAM位总计442368位,电源电压:1.14V~1.26V,工作温度:-40℃~100℃,安装类型:表面贴装,封装/外壳:256-LBGA.

系统总体框图如图1所示,惯组输出的陀螺仪脉冲信号、加速度计脉冲信号和温度传感器信号直接输入给FPGA进行处理,通过FPGA内部的数据缓冲器FIFO和数据存储器RAM实现对惯组数据的采集与处理.

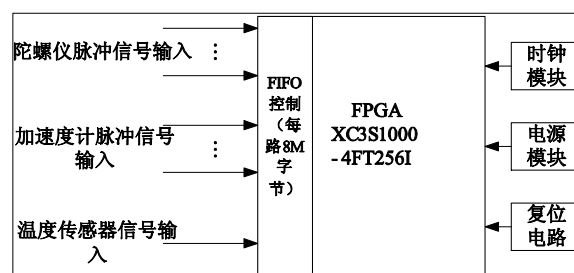


图1 系统总体框图

2.3 主要模块电路设计

2.3.1 电源模块设计

电源模块设计的好坏直接影响着整个系统工作的稳定性^[2],作为首选重要的外围模块电路,在设计过程中需要首先进行设计.

由于本系统采用+5V标准电源进行供电,而Spartan™-3系列FPGA数据手册推荐的专用内核工作电压VCCINT为1.2V,Bank电压VCCO为3.3V,因此需要进行电源模块设计,以将+5V电压转换为所需要的工作电压.

通过选用AMS1117电压转换芯片,实现将+5V的供电电压转换为3.3V和1.2V固定电压,整个系统电源通过开关J2来管理,具体的电源模块原理图如图2所示,电压输入端和输出端的电容起滤波作用,10μF的极性电容用于稳定电压.

2.3.2 时钟模块设计

好的时钟信号设计可以使系统设计事半功倍,选取一个好的时钟产生方案,不仅可以建立起全面有效的时序逻辑,而且还可以大大提高系统设计及运行的稳定性^[3],因此应该将时钟信号作为整个系统设计的重中之重进行考虑.

有源晶振由于只需要接上电源和地就可以产生稳定的频率输出,在时钟设计中经常会被选用.FPGA的全局时钟管脚通过直接与有源晶振的输出信号端相连,用有源晶振产生准确、稳定的时钟,以保证FPGA内部各个部件协调、同步、稳定的运行^[4].本系统选用3.3V供电,24MHz的有源晶振,通过FPGA内嵌的数字时钟管理模块(DCM)实现分频和倍频,得到系统各个模块所需要的不同的时钟资源.

2.3.3 复位电路

本系统的复位电路选用芯片来实MAX811,它是一个四管脚电压监视器,当芯片引脚3端的电压为

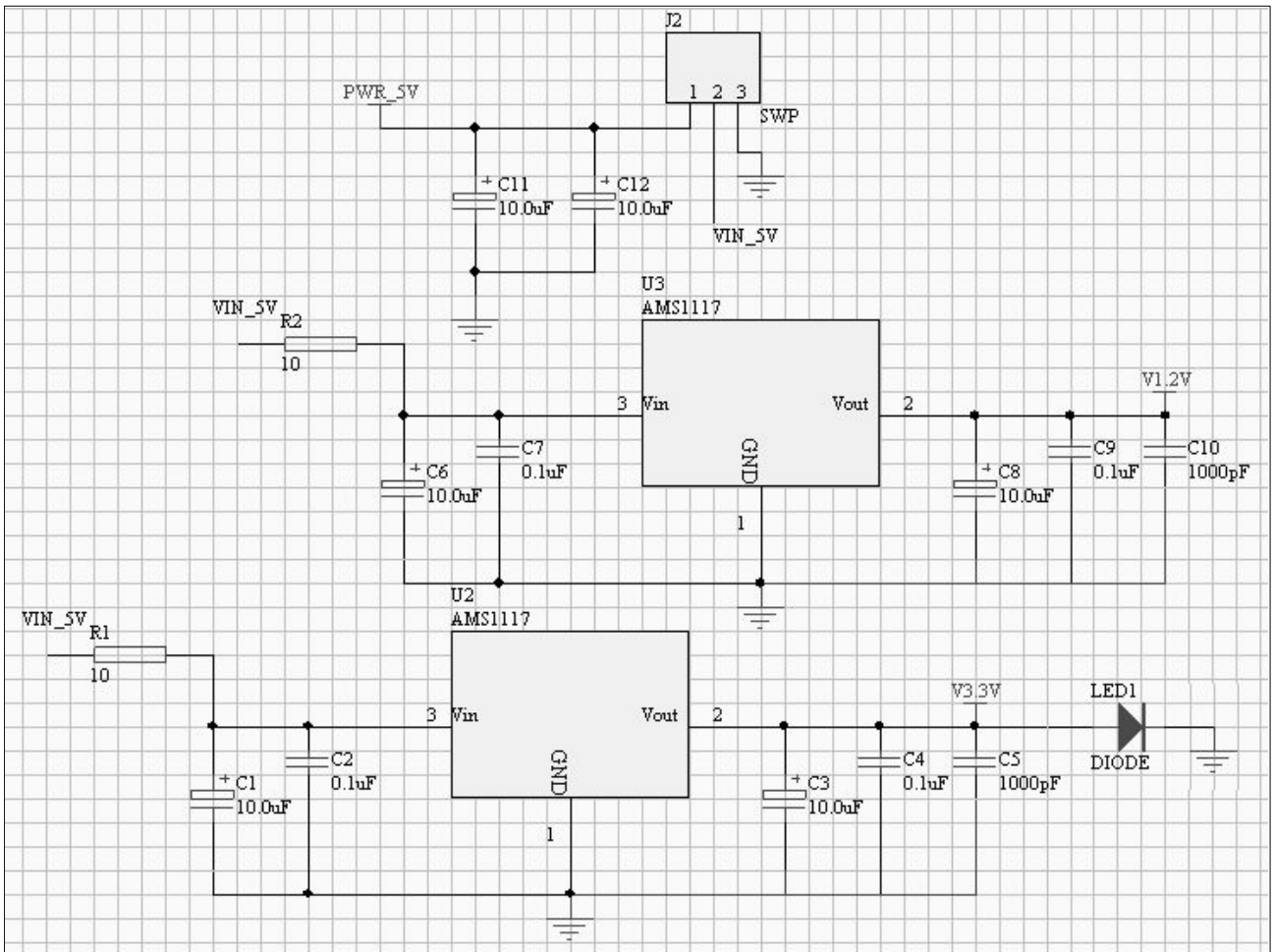


图 2 电源模块电路原理图

高时，输出一个高电平，当 3 端引脚电压为低时，芯片输出一个低电平，通过实时监测引脚 3 上的电压^[5]实现复位功能。具体的电路原理图如图 3 所示，MAX811 产生的复位信号 RESET 直接与 FPGA 的复位端口

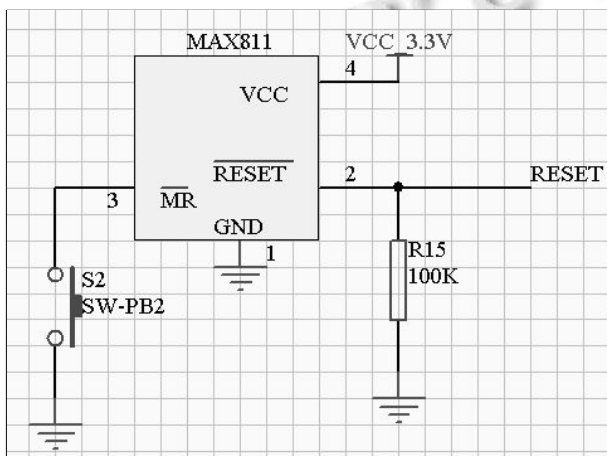


图 3 复位电路原理图

PROG_B 相连接，高电平有效。

3 软件开发实现

软件开发选用 XILINX 公司的 ISE14.5 设计软件，具体的开发流程图如图 4 所示。

4 电磁兼容性措施

为了提高系统的可靠性，必须有效抑制各种电磁干扰、优化电路设计和软件设计^[6]，以保证系统安全可靠运行。

本系统主要采取了以下抗干扰措施：

① 消噪电路

通过在各路正负通道与信号地之间分别加消噪电容来滤除高频噪声。

② 滤波和阻抗匹配

通过在各芯片的供电电压处加滤波电容，输出

端加合适的小电阻实现阻抗匹配, 来保证供电电压的稳定.

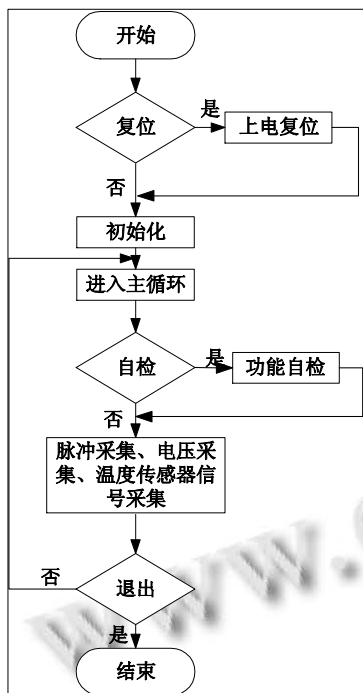


图 4 软件开发流程图

5 结论

在两轴转台上对某惯组的测试过程中成功运用了

本数据采集系统, 主要用于捷联惯组的稳定性测试, 两轴转台通过驱动与功放进行控制, 并由测试计算机发出运行控制指令, 惯组输出信号经过滑环传输给数据采集系统并由测试计算机进行数据采集与处理, 通过位置编排试验与速率试验, 准确地标定出陀螺仪和加速度计的各项静态误差系数, 经过对大量测试数据的分析与比对, 发现用本系统测试的惯组数据, 其稳定性指标与传统方法相比, 提高了近 1σ .

参考文献

- 1 陆元九. 惯性器件(下). 北京: 中国宇航出版社, 1993: 526.
- 2 王豫莹. 基于 FPGA 高速数据采集系统的设计与实现[学位论文]. 西安: 陕西科技大学, 2012.
- 3 郑勐. 基于 FPGA 的 USB 接口实时数据采集与处理系统[学位论文]. 青岛: 中国海洋大学, 2011.
- 4 丁卫东. 基于 FPGA 的无刷直流电机驱动控制系统设计与实现[学位论文]. 南京: 南京邮电大学, 2011.
- 5 甘定定. 基于 FPGA 的高速信号采集系统设计[学位论文]. 昆明: 云南大学, 2012.
- 6 鲁艺. 基于 FPGA 的反应堆控制保护系统电磁兼容性设计. 核动力工程, 2010, 31(4): 130-132, 142.