

双通道同步数据采集系统的设计与实现

Design and Implementation of Dual-channel Synchronous Data Acquisition System

徐灵飞 李 健

(成都理工大学工程技术学院,四川 乐山 614007)

摘要: 为了准确快速地采集等离子体 I-V 特性数据,设计了一个双通道同步数据采集系统。详细阐述了系统的功能、结构和具体实现过程。系统由 ARM、FPGA、双通道 ADC、两片高速 FIFO 和 USB 2.0 控制器组成,可实现对双通道信号的同步采集,并对采集数据进行准确地缓存处理和高速传输。实验分析结果表明,该系统达到了预期设计要求。

关键词: 双通道 同步数据采集 ARM FPGA FIFO

中图分类号: TP274+.2 **文献标志码:** A

Abstract: In order to rapidly and precisely collect the I-V characteristics of plasma, the dual channel synchronous data acquisition system has been designed. The functions, structure, and specific implementation process of the system are described in detail. The system is composed of ARM, FPGA, dual channel ADC, two of the high speed FIFO and USB 2.0 controller for implementing synchronous collection of signals from dual channel and precise buffering and high speed transmission of the data collected. The experimental analysis shows that the system reaches predictive design requirement.

Keywords: Dual channel Synchronous data acquisition ARM FPGA FIFO

0 引言

低温等离子体电流-电压(I-V)特性的探测通常使用郎缪尔探针法^[1-2],即利用伸入等离子体内的导体作为探针,并向其施加一定的扫描激励电压,通过测量探针电流和电压得到等离子体 I-V 特性数据。

本文根据等离子体电流-电压(I-V)特性测量要求,设计了一个数据采集系统。系统能够实现如下功能:①对等离子体电流和电压的高速($f_s \geq 1$ MHz)同步采集测量;②完成采集电流、电压数据的同步组合,形成方便传输和识别处理的 I-V 数据对;③对采集的 I-V 高速数据流的传输。此数据采集系统实现对等离子体 I-V 特性数据的 12 位分辨率的同步采集和缓存,并可以将数据高速传送至 PC 机。

1 系统结构设计

系统的控制核心是 ARM 处理器 LPC2214 和 FPGA EP1C6TC144。LPC2214 在 EP1C6TC144 协作下实现对整个系统的控制,并产生 AD9238 和 IDT72V2113 工作所需的控制信号,实现对 ISP1582 DMA 数据传输的控制和其他辅助功能的实现。双通道同步数据采集系统结构

如图 1 所示。

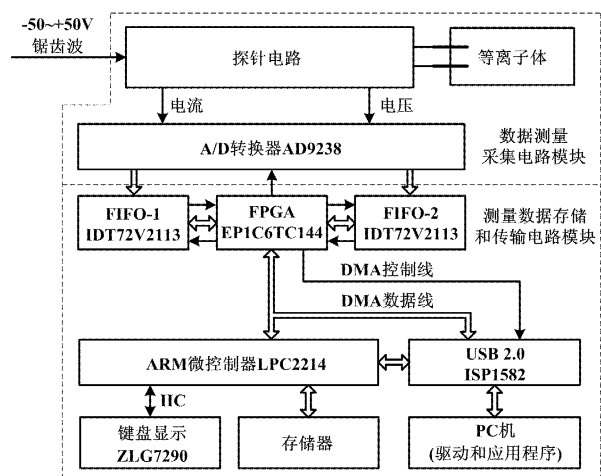


图 1 系统结构图

Fig. 1 Structure of the system

系统中数据的 FIFO 缓存和 I-V 数据对的同步组合需要有严格的控制时序。在此,使用 EP1C6TC144 来产生逻辑时序,从而降低系统的复杂性。频率为 1 kHz 的 $-50 \sim +50$ V 锯齿波电压信号通过探针电路激励等离子体,产生等离子体的感应电流和电压。

双通道模数转换器 AD9238 在 LPC2214 和 EP1C6TC144 的控制下,以 1~4 MHz 的采样频率对感应电流和电压进行同步模数转换。当转换结束后,FPGA 和两片 FIFO IDT72V2113 对 AD9238 转换输出

修改稿收到日期:2010-05-12。

第一作者徐灵飞,男,1981年生,2005年毕业于西北工业大学机电专业,获硕士学位,讲师;主要从事嵌入式系统和数据采集系统的研究。

的电流和电压数据进行传输之前的缓冲和 I-V 数据对组合^[3-4],实现 I-V 两种数据严格的对应。最后,通过 ISP1582 USB2.0 控制器将 I-V 数据传输到 PC 机^[5],以待进一步分析。

2 系统硬件电路设计

2.1 数据采样电路

数据采样电路可以提取等离子体探针电流、电压信号,并对其进行转换和处理,从而获得所需要的电流和电压数据。系统通过差分信号转换放大器 AD8138,为模数转换器 AD9238 的 A 输入通道和 B 输入通道提供可转换的差分输入信号,实现等离子体特性中电流和电压信息的模数转换。

频率为 1 kHz 的 -50 ~ +50 V 锯齿波电压激励信

号经过一个电流采样电阻 R_SHUNT 作用到等离子体探针,从而产生相应的等离子体感应电流,同时使用高共模输入电压的测量放大器 AD629 对电流进行采样。考虑到较大的阻值会影响到最终电流数据测量的精度,我们选择电流采样电阻阻值为 100 Ω,并在 AD629 的同相输入端串联上相同阻值的补偿电阻 R_COMP。为了增强 AD629 输出驱动能力,在 AD629 输出端增加了隔离放大器。在测量采集电流的同时,还需得到相应的激励电压信息,为此,使用与探针并联的两个电阻 R₁₂和 R₂₀组成分压网络,通过电压跟随隔离器对 R₂₀上的分压进行采样。系统通过差分转换放大器 AD8138 实现对所采样单端电流和电压信号的转换,获得 AD9238 模数转换所需的两路差分信号。数据采样电路原理图如图 2 所示。

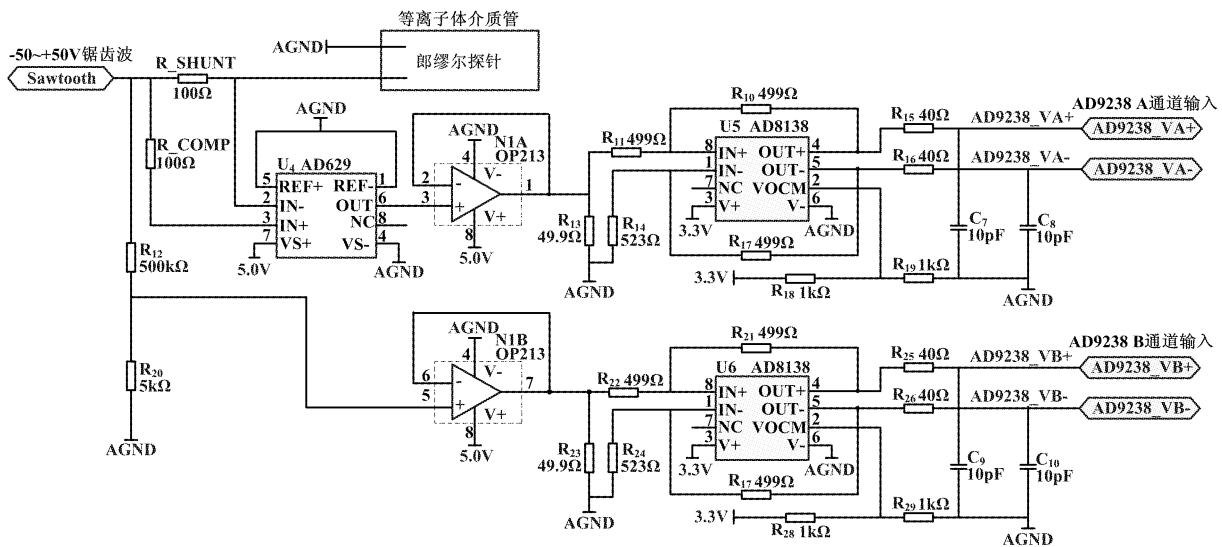


图 2 数据采样电路原理图

Fig. 2 Principle of the data sampling circuit

2.2 数据存储传输模块电路

系统的数据存储传输模块电路实现对模数转换器

AD9238 的控制以及等离子体 I-V 特性数据的缓存。相应的电路原理示意图如图 3 所示。

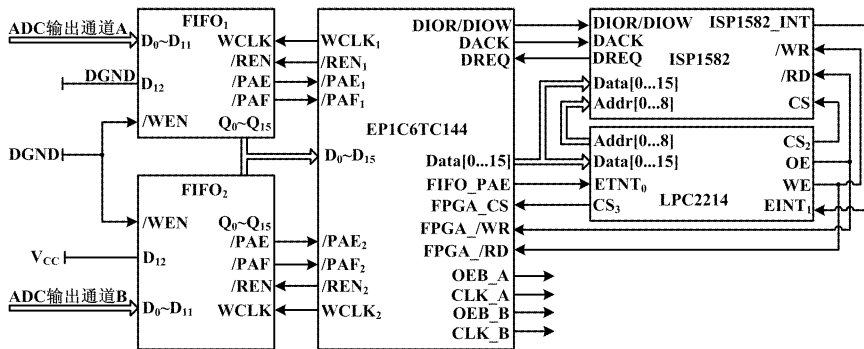


图 3 电路原理示意图

Fig. 3 Schematic of the circuitry principle

系统采用两片 FIFO IDT72V2113 和相应的时序控制电路,实现对 AD9238 双通道输出数据的缓存和组合^[6],并通过对 FIFO 引脚/ASYR 和/ASYW 的控制(高电平为同步方式,低电平则为异步方式),使 FIFO₁ 和 FIFO₂ 的数据写入工作在同步方式,而数据读出则工作在异步方式。FIFO₁ 和 FIFO₂ 作为数据的缓存,分别用来存储 AD9238 输出的电流和电压数据。FIFO₁ 和 FIFO₂ 的输入总线 D₀ ~ D₁₁ 分别与 AD9238 的双通道 12 位数据输出总线连接,而输出总线 Q₀ ~ Q₁₂ 与 FPGA 连接,从而实现由 ADC 到 FPGA 的数据传输通道。同时,系统设置 FIFO 中存储数据的 D₁₂ 位为识别标志(低电平“0”表示电流数据,高电平“1”表示电压数据),以便于对采集数据进行识别。

系统通过 FPGA 实现对分别存储在 FIFO₁ 和 FIFO₂ 中的电流和电压数据“乒乓”式的数据读出,并以电流-电压数据对的形式,通过 ISP1582 传输到 PC 机中。FIFO₁、FIFO₂ 数据读出传输的状态转换图如图 4 所示。

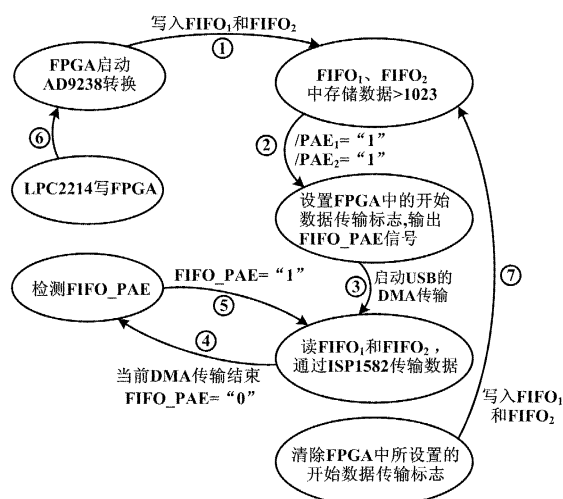


图 4 状态转换图

Fig. 4 State transition diagram

在数据传输过程中,重点是设计好 FIFO₁、FIFO₂ 数据读出控制和 FPGA 数据组合输入的控制时序。相应的使能控制如图 5 所示。

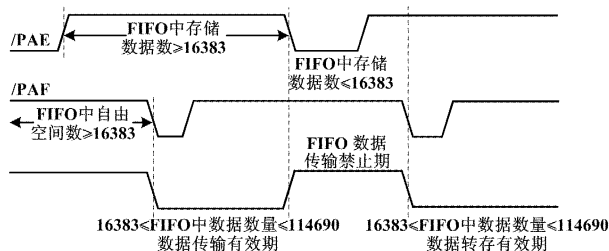


图 5 使能控制示意图

Fig. 5 Schematic of “Enable” control

由图 5 可知,结合 IDT72V2113 输出的将空信号/PAE($n = 16\ 383$, FIFO 存储数据少于 n 时,/PAE 引脚变低)和将满信号/PAF($m = 16\ 383$, FIFO 中自由空间少于 m 时,/PAF 引脚变低),可以实现 FIFO 数据读出及传输的使能控制。

当 FIFO₁ 和 FIFO₂ 中所存储数据 $> 114\ 690$ ($114\ 690 = 131\ 073 - 16\ 383$) 时,允许 FIFO 中数据的读出及传输,此时, FIFO₁ 和 FIFO₂ 的将空信号/PAE 为高电平,将满信号/PAF 为低电平;而在数据 $< 16\ 383$ 时,禁止 FIFO 数据的读出及传输,此时, FIFO₁ 和 FIFO₂ 的将空信号/PAE 为低电平。

当同时检测到 FIFO₁ 和 FIFO₂ 的将空信号/PAE 为高电平和将满信号/PAF 为低电平时, FPGA 以电流-电压数据对的形式通过 ISP1582 将数据传输到 PC 机中。USB2.0 控制器 ISP1582 工作在 GDMA 从机模式下,数据的 DMA 传输由 FPGA 产生的 DMA 传输申请信号 DREQ 控制。ISP1582 的 DMA 响应信号 DACK 经过 2 分频器和非门,产生交叉的 FIFO₁、FIFO₂ 数据读出有效使能信号 FIFO₁-/REN 和 FIFO₂-/REN,实现 FIFO₁ 电流数据和 FIFO₂ 中电压数据的“乒乓”式交叉输出。

3 系统工作流程

LPC2214 固件程序的设计主要是围绕 ISP1582 USB2.0 数据传输的控制程序^[7],以实现对整个系统数据传输流的控制。PC 主机可随时发送 DMA 数据传输厂商请求,启动 USB2.0 的数据传输。

在 LPC2214 接收到 DMA 请求且 FPGA 同时检测到 FIFO₁ 和 FIFO₂ 的将空信号/PAE 为高电平和将满信号/PAF 为低电平时,启动一次 1 024 Half-word 的 DMA 传输。一次 1 024 Half-word 的 DMA 传输结束后,如果传输条件依然满足,可继续进行 DMA 传输,直到 FIFO₁ 和 FIFO₂ 的将空信号/PAE 变成低电平为止。如果在传输中途收到了 PC 机数据传输终止命令,可实时停止数据的传输。

4 系统的应用

文中使用一种由 Ro-box 装置激发的 100 MHz 的等离子体源作为数据采集系统的实测对象。该等离子体源由石英管作为等离子体激励的介质管,管上开孔安装探针,并做好密封工作。石英管中填充 He 气,使用等离子体激励装置激发出管内的等离子体。应用本

数据采集系统,对等离子体进行等离子体特性测量采集,所得数据经计算机处理后如图6所示。

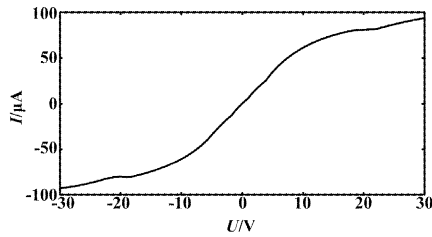


图6 等离子体 I-V 特性测量结果

Fig.6 Result of measurement for plasma I-V characteristics

由图6可以直接获得饱和离子电流 I_{i01} 和 I_{i02} 以及探针电流为零时的 I-V 曲线斜率。利用测得数据,再根据式(1)和式(2),即可进一步得到相应的等离子体的电子温度及离子密度,即:

$$T_e = \frac{e}{2k} \frac{I_{i0}}{\left. \frac{dI_D}{dV_D} \right|_{I_D=0}} \quad (1)$$

$$N_i = \frac{I_{i0}}{\alpha e Z \sqrt{\frac{2kT_e}{m_i} A_s}} \quad (2)$$

式中: e 为电子电量; k 为玻尔兹曼常数; α 为介于0.4~1的常数; Z 为放电气体的核电荷数; m_i 为放电气体的质量; A_s 为探针表面积; I_{i0} 为双探针的饱和离子电流; I_D 为探针电流; V_D 为探针电压。

(上接第68页)

由图3、图4可知,GPS东、北、天方向量测误差均方差均为30m,仿真时间为12000s。

4.2 SINS/GPS 组合导航仿真结果

SINS/GPS 组合导航滤波并进行位置、速度误差仿真。由仿真结果可知,采用SINS和GPS单独进行导航时,其位置误差随时间积累不断增大;组合校正后的位置误差精度明显提高,且比较稳定,充分证明了该仿真方法的有效性、正确性和合理性。

5 结束语

本文采用Kalman滤波技术确定了组合导航系统的基本模型,并利用Matlab对SINS/GPS组合导航系统位置、速度误差进行了仿真分析,结果表明,基于卡尔曼滤波的组合导航系统可以有效地削减捷联惯导系统的误差累积,提高导航精度,系统的稳定性较好。

5 结束语

以ARM和FPGA为核心,设计了一个双通道高速同步数据采集系统,实现了双通道数据的同步采集传输。利用此系统,可以方便地测量等离子体的I-V特性,消除了因手动测量时间因素而造成测量结果的误差,并减少了大量测量数据带来的工作量,提高了实验效率。该系统已初步在介质管等离子体物理特性测量中得到应用;且此平台设计经过移植,完全可以成为其他领域可靠的数据采集平台。

参考文献

- [1] 项志遵,俞昌旋. 高温等离子体诊断技术[M]. 上海:上海科学技术出版社,1982:27-36.
- [2] 李亚磊,邓新绿,徐军,等. 高信噪比Langmuir探针系统[J]. 核聚变与等离子体物理,2006,26(4):306-309.
- [3] 黄新财,佃松宜,汪道辉. 基于FPGA的高速连续数据采集系统的设计[J]. 微计算机信息(测控自动化),2005,21(2):58-59.
- [4] 张健,刘光斌. 多通道测试数据采集处理系统的设计与实现[J]. 计算机测量与控制,2005,13(10):1143-1145.
- [5] 曹建军,陈小勤,吴超,等. 基于USB2.0的数据采集卡的设计与实现[J]. 仪器仪表用户,2006,13(1):37-38.
- [6] 渠海青,孙艳萍,朱正伟. 数字示波器中超高速度数据采集系统的设计[J]. 自动化仪表,2009,30(11):67-69.
- [7] 周立功. ARM嵌入式系统基础教程[M]. 北京:北京航空航天大学出版社,2005.

参考文献

- [1] 秦永元,张洪钺,汪叔华. 卡尔曼滤波与组合导航原理[M]. 西安:西北工业大学出版社,2004:2-21.
- [2] 赵林,捷联惯导及其组合导航研究[D]. 南京:南京理工大学,2002.
- [3] 吴太旗,孙付平,易维勇,等. GPS/INS组合导航系统的Matlab/Simulink仿真[J]. 测绘学院学报,2004,21(3):1-3.
- [4] 张帅勇. 基于MIMU的捷联惯导/GPS组合导航系统研究[D]. 南京:南京理工大学,2008.
- [5] 常明飞. GPS/SINS组合导航系统研究[D]. 重庆:重庆大学,2004.
- [6] 张浩. SINS/GPS组合导航系统滤波算法研究及工程实现[D]. 南京:南京理工大学,2008.
- [7] 於二军. 简易SINS/GPS组合导航系统应用技术研究[D]. 西安:西北工业大学,2006.
- [8] 付梦印,邓志红,张继. Kalman滤波理论及其在导航系统中的应用[M]. 北京:科学出版社,2003:51-126.
- [9] Shin E H,Sheimy N E. Accuracy improvement of low cost INS/GPS for land applications [C] // Proceedings of the 2002 National Technical Meeting of the Institute of Navigation, San Diego, CA, 2002:146-157.