

# 光电经纬仪单杆数据采集系统设计与实现

李| 芒<sup>1,2</sup>, 何 昕<sup>1</sup>, 魏仲慧<sup>1</sup>, 何家维<sup>1,2</sup>

(1 中国科学院长春光学精密机械与物理研究所, 吉林长春 130033

2 中国科学院研究生院, 北京 100039)

**摘要:** 为满足对光电经纬仪进行人工控制的需求, 结合现场可编程门阵列 (FPGA) 器件 XC3S200 型芯片与| 款高速的模数转换 (A/D) 芯片 AD7864- 2 提出了| 套光电经纬仪单杆数据采集系统的设计方法。在介绍 AD7864- 2 工作方式的基础上给出了系统硬件和软件的设计方案, 通过对单杆的实验采样证明其采样效果良好, 能够满足主控计算机对数据采集系统的要求。

**关键词:** 数据采集; 现场可编程门阵列; 模数转换; 单杆

中图分类号: TN79 文献标识码: B 文章编号: 1002- 1841(2011)06- 0014- 03

## Design and Implementation of Joystick Data Acquisition System for O-E Theodolite

LIY imang<sup>1,2</sup>, HE Xin<sup>1</sup>, WEI Zhong-hu<sup>1</sup>, HE Ji-a-w ei<sup>1,2</sup>

(1 Changchun Institute of Optics Fine Mechanics and Physics Changchun 130033, China;

2 Graduate School Chinese Academy of Sciences Beijing 100039, China)

**Abstract** In order to meet the requirement that O-E theodolite to carry out manual control, this paper combined the site FPGA apparatus XC3S200 model chip and one high-speed A/D transformation chip AD7864- 2. It proposed a set of design methods of O-E theodolite joystick data acquisition system. On the basis of introducing the working model of AD7864- 2, it presented the hardware and software design method. The test sampling of joystick demonstrates that its sampling effect is good, the data acquisition system can meet the requirement of the master computer.

**Key words** data acquisition; FPGA; A/D; joystick

### 0 引言

近年来, 随着靶场测试目标速度的提高, 对光电经纬仪电视跟踪伺服系统的跟踪和捕获快速运动目标的能力提出了越来越高的要求。目标速度的提高将会产生大的角速度、角加速度及更大的角加加速度导致光电经纬仪电视跟踪动态误差急剧增大, 可能导致目标逸出视场<sup>[1]</sup>。因此在一些实际测试中需要引入人工控制来调节经纬仪的视场, 从而增强对目标的跟踪能力。通过单杆可以实现一种人工控制光电经纬仪方位角和俯仰角的方法<sup>[2]</sup>, 单杆所产生的模拟量需被转换成数字信号, 再经过一定的运算和转换, 来实现对光电经纬仪的控制。

为实现通过单杆进行对经纬仪的人工操作, 提出一种基于 FPGA 器件和快速模/数 (A/D) 转换器件的单杆数据采集系统, 给出了硬件和软件的设计方案, 实验验证该系统能够满足人工控制光电经纬仪时对单杆所产生的模拟信号进行采集与转换的需求。

### 1 系统设计方案

考虑系统的功能是将模拟信号转换成数字信号, 需要设计多路控制信号并产生和接收数据信号, 且由于 FPGA 本身不具备 A/D 转换模块, 必须使用外加 A/D 转换电路, 因此设计系统主要由系统主控制器和模数转换器组成, 系统硬件框图如图 1

所示。

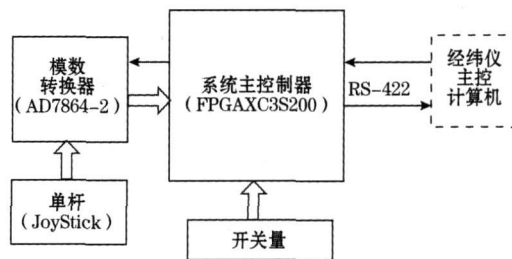


图 1 单杆数据采集系统硬件框图

在系统主控制器方面, 虽然 DSP 以其高速处理能力和强大而又灵活的接口与通信能力已在许多实际系统中得到应用, 但 DSP 存在易受干扰的弱点, 单片机 I/O 资源相对少, 设计时存在很强的局限性, 因此选用设计灵活、速度快, 不受干扰且可扩展性强的现场可编程门阵列器件 (field programmer gate array, FPGA) 来弥补这些弱点<sup>[3]</sup>, 在作为系统主控制器的同时, FPGA 丰富的内部资源与 I/O 资源还可以承担数据接收、存储和发送的任务。在设计中 FPGA 直接采集开关量信息以替代传统的经 PCI 接口通信的数字量 I/O 采集卡, 缩小了系统的体积, 同时增强了系统的灵活性。为使单杆数据采集系统能够将数据高速发送至经纬仪主控计算机, 模数转换器选用一款高精度、高采样频率、低功耗的信号采集芯片 AD7864- 2 设计数据采集系统与经纬仪主控计算机间的串口通信符合 RS- 422 接口

标准。电子工业协会 (EIA) 于 1962 年首先发布了 RS-232 标准以保证不同厂家之间的兼容。但 RS-232 通信距离短、速率低, 而 RS-422 则定义了一种平衡通信接口, 将传输速率提高到 10 Mb/s 并允许在一条平衡总线上连接最多 10 个接收器。RS-422 通信速率快这一特点, 满足了人工控制光电经纬仪时, 对数据的采集与传输速率方面的要求。

## 2 系统硬件结构

### 2.1 系统主控制器

系统主控制器选用 FPGA 芯片 XC3S200-4TQ144, XC3S200-4TQ144 是 Spartan-3 系列的 FPGA, 具有 200 K 的系统门, 4 320 个逻辑单元, 216 KB 的 block RAM, 12 个专用乘法器, 4 个 DCM, 97 个用户 I/O 引脚, 用户可以很方便地设计出多种逻辑组合。

系统中 FPGA 的工作过程可以概述为: 发送模数转换器的控制信号, 接收经纬仪主控计算机发来的控制信号后将开关量信息和模数转换器发送的数据信号整合后, 经串口发送至经纬仪主控计算机。

### 2.2 模数转换器

AD7864-2 可实现 12 位 4 通道同时采样。在内部时钟模式下转换时间为 1.65 μs/通道, 采样保持时间为 0.35 μs, 工作在外部时钟模式下支持最高 5 MHz 的外部时钟, 转换时间为 2.6 μs。虽然外部时钟模式下转换时间大于内部时钟模式下的转换时间, 但外部时钟模式利于时钟同步, 方便多个 A/D 芯片并行工作<sup>[4-5]</sup>。信号输出采用 12 位高速并行数据输出接口, 不需电平转换等处理, 可直接与 FPGA 器件进行连接, 由于在读取数据时是并行读取数据, 数据读取速度快, 因此不必使用 FIFO, 可直接读取。AD7864-2 信号输入范围支持 0~2.5 V, 0~5 V 2 种, 而且具有电压过载保护功能。由 +5 V 电源供电时, 功耗高达 90 mW, 省电模式下低至 20 mW, 能够符合经纬仪长时间作业的需要。

FPGA 读取 AD7864 转换后的数据有 2 种方法, 转换中读取和转换后读取。其中转换后读取数据的具体工作过程为: 转换起始输入信号 /CONVST 若由低置高, 则将所有的 track/hold 置成 hold 模式并开始所选择通道的转换, 当 /CONVST 上升沿时触发 BUSY 为高电平, 直到所有选择通道的转换都结束, 每个通道转换结束之后 /EOC 会产生一个低电平脉冲。全部通道转换后的数据保存在 AD7864 内部相应的锁存器中。当读信号 /RD 和片选信号 /CS 一起置低后, 就可以按照转换顺序从数据总线上并行读取数据, 同时必须保证写信号 /WR 高电平。第一个数据输出状态信号 FRSTDATA 会在第一通道转换结束触发为高电平, 第二通道转换结束变为低电平。

### 2.3 单杆与开关量

单杆选用 Hall Effect Joystick 供电电压为 5 V, 支持 X、Y、Z 轴方向移动所产生的模拟量和 2 个开关量的采集, 供电电流为每轴 6.5 mA, 处在原点时输出电压为 2.5 V, 最大误差为 40 mV。设计中还加入了 8 个带有 LED 灯的双路开关, 可以控制经纬仪手动模式和自动模式的切换, 以及进行其他一些信息

的人工输入。

## 3 系统时序设计

单杆系统的主要接口设计如图 2 所示, FPGA 功能设计框图如图 3 所示。

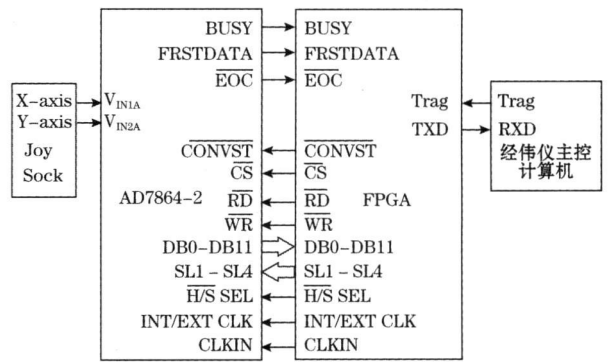


图 2 单杆数据采集系统接口图

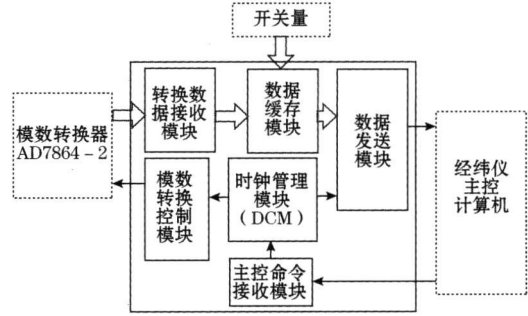


图 3 FPGA 功能设计框图

因需人工控制经纬的俯仰、水平 2 个方向的角度速度与角加速度, 将单杆的 X 轴输出和 Y 轴输出连接到 AD7864-2 的 2 个模拟输入端。当主控命令接收模块接收到经纬仪主控计算机发来的允许单杆数据采集系统开启的控制命令后, 时钟管理模块通过分频和倍频为模数转换控制模块和数据发送模块提供工作所需的时钟信号。模数转换控制模块将 INT/EXT CLK 置为高电平, 令 AD7864-2 始终工作在外部时钟模式下, 通过分频得到 5 MHz 的时钟信号作为 AD7864-2 的外部时钟, 将 H/S SEL 置 Q, SL1~SL4 置为 1100 即选择通道 VIN1A、VIN2A。模数转换控制模块按照转换后读取方式发送 CONVST、RD、CS 信号的时序和转换数据接收模块读取转换结果的时序如图 4 所示, 读取操作完成后, FPGA 将数据缓存模块中的数据整合后按照 RS-422 协议, 以 230.4 K 的波特率发送至经纬仪主控计算机。

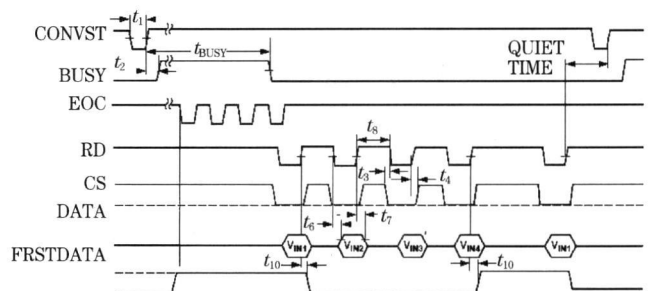


图 4 转换完成后读出数据时时序图

### 4 实验结果

为了方便调试,使用配有研华公司推出的 2 端口 RS-422/485 通用 PC 通讯卡 PCI-1601AU 的 PC 机模拟经纬仪主控计算机,它通过 PCI 接口同时支持 3.3V 和 5V 信号系统,并且带有 128 字节的 FIFO,适合在多任务环境中使用。触发信号 T<sub>mag</sub> 则在单杆数据采集系统 FPGA 内部模拟。数据采集系统与 PC 机进行串口通讯时信息格式如表 1 所示。

表 1 单杆数据采集系统与主控计算机通讯的信息格式

序号	名称	DB7	DB6	DB5	DB4	DB3	DB2	DB1	DB0	备注
1	帧头	0	1	1	1	1	1	1	0	0x7E
2	控制量	8 个开关量控制				默认值	0	xFF		
3	X 高 4 位	0	0	0	0	x11	x10	x9	x8	
4	X 低 8 位	x7	x6	x5	x4	x3	x2	x1	x0	
5	Y 高 4 位	0	0	0	0	y11	y12	y9	y8	
6	Y 低 8 位	y7	y6	y5	y4	y3	y2	y1	y0	
7	帧尾	1	1	1	0	0	1	1	1	0x7E

对单杆进行不同方式的操作,可在 PC 机上获得数据,如图 5 所示:图 5(a)是单杆零位置采集到的数据;图 5(b)是单杆零位置改变某开关量采集到的数据;图 5(c)是单杆 X 正方向满移动采集到的数据;图 5(d)是单杆 Y 负方向满移动采集到的数据;图 5(e)是单杆 X 负方向 Y 正方向某点采集到的数据。对数据进行分析可得到如下结论:对开关量的采集准确,将开关量最高位(第 8 位)置 0 后,开关量数据由 FF 变为 7E 对 A/D 数据的采集准确,某方向未满移动的数据在这个方向满移动所输出的数值和零位置时所输出的数值之间,转换误差一般为一位十六进制数,这是由 AD7864-2 的转换精度决定的(误差约为 1LSB),数据误差在 0.5% 以内(16/4096);在零位置时,输出数值会和理论零位置输出值产生小于 1% 的偏差,这是单杆处于零位置时的模拟电压输出误差引起的,以很小的经纬仪低速操纵特性为代价可弥补这些误差,并且符合主控计算机对数字采集系统数据误差小于 3% 的要求。

### 5 结束语

经测试检验,所设计的数据采集系统能够在一定误差范围内高速、稳定地将单杆移动所产生的模拟量转换为数字量并发送至经纬仪主控计算机。系统预留了扩展时必要的存储资源和 I/O 资源,因此未来可以在此基础上继续开发并设计诸多扩展应用。目前,这套设计方案已经成功应用于某靶场测量系统

(上接第 5 页)

[5] 李智慧,姜印平,邵磊. 新型压电加速度传感器. 传感技术学报, 2003(3): 344- 347.

[6] 黄朋生,任天令,楼其伟. 三维压电加速度传感器的设计. 压电与声光, 2005 27(6): 643- 645.

[7] BAJDREK J, KOLASA J. Non-destructive method of magnetic permeability control of non-magnetic machine elements. Journal of Magnetism and Magnetic Materials, 2000, 215- 216: 726- 728.

[8] KLENKE, DARRELL K, MEHMET H. Magnetostrictive Force Sensor Review of Scientific Instruments, 1994, 65(5): 1699.

[9] KLENKE, DARRELL K, MEHMET H. Noncontacting magnetostrictive strain sensor Review of Scientific Instruments, 1993, 64(8): 2361.

```

7E FF 09 1F 08 3F E7 7E FF 09 19 08 3E E7 7E FF 0B 1C 08 41 E7 7E FF 08 1F 08 3E E7 7E FF 0B 1D
08 40 E7 7E FF 06 1A 08 3D E7 7E FF 08 1B 08 3D E7 7E FF 08 1B 08 3D E7 7E FF 08 1B 08 3D E7 7E FF 08 1B 08 3D E7
FF 08 1E 08 3D E7 7E FF 08 19 08 3D E7 7E FF 08 1E 08 3E E7 7E FF 08 1E 08 3E E7 7E FF 08 1E 08 3E E7 7E FF 08 1F 08
3F E7 7E FF 08 23 08 3D E7 7E FF 08 1A 08 3E E7 7E FF 08 20 08 3A E7 7E FF 08 21 08 3E E7 7E FF 08 21 08 3E E7 7E FF
06 19 08 3E E7 7E FF 08 24 08 3B E7 7E FF 08 1F 08 3D E7 7E FF 08 1F 08 3D E7 7E FF 08 1F 08 3D E7 7E FF 08 1F 08 3D E7
E7 7E FF 08 1C 08 3D E7 7E FF 08 21 08 3A E7 7E FF 08 23 08 3B E7 7E FF 08 1E 08 3A E7 7E FF 08 1E 08 3A E7 7E FF 08
1D 08 3E E7 7E FF 08 1B 08 3D E7 7E FF 08 1E 08 3E E7 7E FF 08 23 08 3C E7 7E FF 08 1C 08 3B E7 7E FF 08 1C 08 3B E7
7E FF 08 1D 08 3A E7 7E FF 08 25 08 3A E7 7E FF 08 19 08 3B E7 7E FF 08 19 08 3B E7 7E FF 08 19 08 3B E7 7E FF 08 1C
08 3E E7 7E FF 08 1E 08 3A E7 7E FF 08 20 08 3B E7 7E FF 08 1D 08 39 E7 7E FF 08 1F 08 3C E7 7E FF 08 1F 08 3C E7
    
```

(a)

```

7E 7F 08 1A 08 3E E7 7E 7F 08 1E 08 3E E7 7E 7F 08 1C 08 3F E7 7E 7F 08 1F 08 43 E7 7E 7F 08 21
08 3E E7 7E 7F 08 1B 08 3E E7 7E 7F 08 1E 08 3E E7 7E 7F 08 1F 08 43 E7 7E 7F 08 23 08 37 E7 7E 7F
7F 08 19 08 3E E7 7E 7F 08 1F 08 3B E7 7E 7F 08 1E 08 3E E7 7E 7F 08 1E 08 40 E7 7E 7F 08 1D 08 3A E7 7E 7F
3B E7 7E 7F 08 1E 08 3B E7 7E 7F 08 1B 08 3A E7 7E 7F 08 1D 08 37 E7 7E 7F 08 21 08 3A E7 7E 7F 08 21 08 3A E7 7E 7F
08 1F 08 3B E7 7E 7F 08 1A 08 3E E7 7E 7F 08 1B 08 3A E7 7E 7F 08 1C 08 3E E7 7E 7F 08 1C 08 3E E7 7E 7F
E7 7E 7F 08 1D 08 3D E7 7E 7F 08 24 08 3D E7 7E 7F 08 1C 08 3E E7 7E 7F 08 1D 08 3B E7 7E 7F 08 1D 08 3B E7 7E 7F
1E 08 3E E7 7E 7F 08 1C 08 3C E7 7E 7F 08 21 08 34 E7 7E 7F 08 21 08 39 E7 7E 7F 08 1A 08 3E E7 7E 7F
7E 7F 08 18 08 3E E7 7E 7F 08 23 08 3B E7 7E 7F 08 22 08 3B E7 7E 7F 08 19 08 3B E7 7E 7F 08 19 08 3B E7 7E 7F
08 3A E7 7E 7F 08 21 08 3B E7 7E 7F 08 1A 08 37 E7 7E 7F 08 1B 08 39 E7 7E 7F 08 1F 08 3A E7 7E 7F
    
```

(b)

```

21 E7 7E FF 0F FF 0A 21 E7 7E FF 0F FF 0A 25 E7 7E FF 0F FF 0A 28 E7 7E FF 0F FF 0A 29 E7 7E FF 0F FF
0A 1F E7 7E FF 0F FF 0A 20 E7 7E FF 0F FF 0A 25 E7 7E FF 0F FF 0A 26 E7 7E FF 0F FF 0A 28 E7 7E FF 0F FF
FF 0A 28 E7 7E FF 0F FF 0A 27 E7 7E FF 0F FF 0A 26 E7 7E FF 0F FF 0A 28 E7 7E FF 0F FF 0A 23 E7 7E FF 0F FF
0F FF 0A 23 E7 7E FF 0F FF 0A 1F E7 7E FF 0F FF 0A 25 E7 7E FF 0F FF 0A 25 E7 7E FF 0F FF 0A 21 E7 7E
FF 0F FF 0A 24 E7 7E FF 0F FF 0A 1F E7 7E FF 0F FF 0A 1D E7 7E FF 0F FF 0A 21 E7 7E
7E FF 0F FF 0A 28 E7 7E FF 0F FF 0A 26 E7 7E FF 0F FF 0A 25 E7 7E FF 0F FF 0A 25 E7 7E FF 0F FF 0A 23
E7 7E FF 0F FF 0A 24 E7 7E FF 0F FF 0A 22 E7 7E FF 0F FF 0A 21 E7 7E FF 0F FF 0A 21 E7 7E FF 0F FF
2D E7 7E FF 0F FF 0A 1F E7 7E FF 0F FF 0A 1D E7 7E FF 0F FF 0A 1D E7 7E FF 0F FF 0A 1F E7 7E FF 0F FF
0A 21 E7 7E FF 0F FF 0A 1A E7 7E FF 0F FF 0A 20 E7 7E FF 0F FF 0A 1E E7 7E FF 0F
    
```

(c)

```

07 E7 7E FF 07 0F 00 07 E7 7E FF 07 07 00 07 07 07 07 07 07 07 07 07 07 07 07 07 07 07 07 07 07 07
07 75 00 07 7E FF 07 07 07 07 07 07 07 07 07 07 07 07 07 07 07 07 07 07 07 07 07 07 07 07 07
E7 7E FF 07 71 00 07 E7 7E FF 07 71 00 07 E7 7E FF 07 5D 00 07 7E FF 07 71 00 07 E7 7E FF 07 71 00 07
7B 00 07 E7 7E FF 07 71 00 04 E7 7E FF 07 74 00 07 E7 7E FF 07 7A 00 07 E7 7E FF 07 75 00 07
7E FF 07 78 00 07 E7 7E FF 07 72 00 07 E7 7E FF 07 76 00 07 E7 7E FF 07 7E 07 07 07 07 07 07 07 07 07 07
00 07 E7 7E FF 07 76 00 07 E7 7E FF 07 78 00 07 E7 7E FF 07 7E 07 07 07 07 07 07 07 07 07 07 07 07 07
FF 07 7E 00 07 E7 7E FF 07 71 00 07 E7 7E FF 07 70 00 06 E7 7E FF 07 76 00 07 E7 7E FF 07 74 00 07
07 7E FF 07 75 00 07 E7 7E FF 07 6F 00 07 E7 7E FF 07 73 00 07 E7 7E FF 07 74 00 07 E7 7E FF 07 74 00 07
07 5F 00 07 E7 7E FF 07 72 00 07 E7 7E FF 07 70 00 07 E7 7E FF 07 72 00 07 E7 7E FF 07 74 00 07
    
```

(d)

```

7E FF 05 4E 08 55 E7 7E FF 05 49 08 58 E7 7E FF 05 50 08 58 E7 7E FF 05 4B 08 55 E7 7E FF 05 47 08 55
08 58 E7 7E FF 05 4E 08 58 E7 7E FF 05 4B 08 58 E7 7E FF 05 50 08 5C E7 7E FF 05 48 08 57 E7 7E
7E FF 05 82 08 58 E7 7E FF 05 47 08 58 E7 7E FF 05 4F 08 56 E7 7E FF 05 4F 08 5A E7 7E FF 05 49 08 5B
58 E7 7E FF 05 4B 08 59 E7 7E FF 05 47 08 58 E7 7E FF 05 4E 08 57 E7 7E FF 05 4D 08 57 E7 7E FF
05 4B 08 58 E7 7E FF 05 51 08 59 E7 7E FF 05 48 08 58 E7 7E FF 05 08 58 E7 7E FF 05 08 58 E7 7E FF 05
E7 7E FF 05 4D 08 57 E7 7E FF 05 4F 08 57 E7 7E FF 05 4F 08 57 E7 7E FF 05 4E 08 5D E7 7E FF 05 57 08 58
4E 08 59 E7 7E FF 05 50 08 59 E7 7E FF 05 4B 08 59 E7 7E FF 05 50 08 5C E7 7E FF 05 56 08 5B E7 7E FF
7E FF 05 4A 08 58 E7 7E FF 05 4E 08 59 E7 7E FF 05 4E 08 58 E7 7E FF 05 4C 08 58 E7 7E FF 05 4E 4E
08 58 E7 7E FF 05 4C 08 58 E7 7E FF 08 58 08 58 E7 7E FF 08 48 08 5A E7 7E FF 05 60 08 5C E7 7E
    
```

(e)

图 5 实验结果

单杆数据采集系统中。

### 参考文献:

[1] 王建立. 光电经纬仪电视跟踪捕获快速运动目标技术的研究: [学位论文]. 北京: 中国科学院研究生院, 2002

[2] 吴志勇, 于秀妍. 经纬仪训练仿真系统单杆操纵器读值的处理方法. 光学精密工程, 1999, 7(2): 33- 36

[3] 文峰, 石峰, 胡洪飞, 等. 基于 FPGA 的高速数据采集系统设计. 研究与开发, 2008, 27(7): 32- 35

[4] 于浩成, 朱喜林, 卢川英. 模数转换器 AD7864 及在光电编码器中的应用. 仪表技术与传感器, 2006(6): 40- 41, 44

[5] 4-Channel Simultaneous Sampling High Speed 12-Bit ADC AD7864 Analog Devices Inc. 2004.

作者简介: 李一芒 (1986), 硕士研究生, 主要研究领域为数字系统设计. E-mail: liyiangkj@126.com

[10] KUHNEN K, SCHOMMER M AND JANOSHA H. Integral feedback control of a self-sensing magnetostrictive actuator Smart Materials and Structures, 2007, 16(4): 1098- 1108

[11] 电磁场与电磁波. 周克定, 张肃文, 董天临, 等译. 北京: 机械工业出版社, 2000, 201.

[12] 唐志峰. 超磁致伸缩执行器的基础理论与实验研究: [学位论文]. 浙江: 浙江大学, 2005.

[13] OLABIA G, GRUNWALD A. Design and application of magnetostrictive materials Material and Design, 2008(2): 46.

作者简介: 葛春亚 (1985), 硕士研究生, 研究方向为超磁致伸缩材料传感器与执行器. E-mail: chunyanag@163.com