

基于导电塑料传感器的连续测角系统设计

李 扬^{1,2}, 黄磊博², 郭启锋², 季伟峰²

(1. 西南交通大学, 四川 成都 610031; 2. 中国地质科学院探矿工艺研究所, 四川 成都 610081)

摘要:介绍了一种基于双联导电塑料传感器可连续测角的数据采集系统,理论角分辨率可达 0.1° 。系统主要由低功耗单片机、0 功耗串口电路及显示部分组成。单片机控制自带 ADC12 模块进行数据采集,采集完毕即进入低功耗休眠状态,并可由定时中断唤醒。通过对双联导电塑料传感器进行双通道数据采集及算法设计,不仅避免了传统光电编码器存在体积、质量大,对灰尘、电磁环境等条件要求高的问题,而且解决了传统导电塑料传感器无法实现 $0^\circ \sim 360^\circ$ 连续测角的难题。该系统具有精度高、功耗低、体积小、扩展性强的特点,在工业控制、智能机器人和状态监测等领域的角位移量测量中有重要的应用价值。

关键词:导电塑料,低功耗,连续测角,电阻补偿

中图分类号:TP212 文献标识码:A 文章编号:1672-7428(2013)07-0103-04

Design of Continuous Angle Measurement System Based on Conductive Plastic Sensor/LI Yang^{1,2}, HUANG Lei-bo², GUO Qi-feng², JI Wei-feng² (1. Southwest Jiaotong University, Chengdu Sichuan 610031, China; 2. Institute of Exploration Technology, CAGS, Chengdu Sichuan 610081, China)

Abstract: This paper introduces a data acquisition system for continuous angle measurement based on double conductive plastic sensor, and its angular resolution is up to 0.1° in theory. The system is mainly composed of a low power MCU, 0-power consumption serial circuit and display part. Single chips control the inner ADC12 module for data acquisition, then enter into low-power sleep state and can be awakened by timer interruption. By the dual-channel data acquisition with double conductive plastic sensor and the algorithm design, the large size, heavy weight and high demand of dustproof and electromagnetic environment of traditional photoelectric encoder are avoided, and $0^\circ \sim 360^\circ$ continuous angle measurement is realized, which could not be done by the traditional conductive plastic sensor. This system has the characteristics of high accuracy, low power consumption, small size and strong extensibility, which has important application value in angular displacement measurement for industrial control, intelligent robots and condition monitoring.

Key words: conductive plastic; low power consumption; continuous angle measurement; resistance compensation

0 引言

角位移的精确测量一直是几何量测量的难题。现有的测角方法有比较测量法(如角度量块、角度样板)、直接测量法(如光学分度头、测角仪)、间接测量法(如正弦尺)等。这些方法或者精度不高,或者使用复杂、价格昂贵,不能适应在线自动测量的要求^[1,2]。

导电塑料自 20 世纪 70 年代在实验室被发现以来,由于其既具有普通塑料的优点,同时拥有类金属的导电特性,是一种理想的抗静电、电磁屏蔽材料^[3-5],被广泛应用于半导体、防静电材料、导电性材料等领域。21 世纪初,日本和美国就开始将其用在精密角度传感器中,作为敏感材料,将其制成薄膜电阻器,利用电刷臂将转角转换成电阻的变化,使老式的电位器式转角传感器的结构大为精简,输出精

度大大提高^[6]。

本文介绍一种通过使用双联导电塑料传感器,单片机组成连续测角系统的新方法,可外部扩展 LCD 显示屏或者 GPRS 传输模块,进行实时测量或者远程传输。通过优化程序算法,可降低系统功耗至 μA 级别,适合使用电池条件下连续工作的场合。

1 导电塑料传感器

导电塑料传感器由于制造工艺限制,无法避免地存在着测量死区,即电气转角小于机械转角,因此普通导电塑料传感器难以实现 $0^\circ \sim 360^\circ$ 连续测量。

本文介绍的测角系统使用日本产的 mirrorCPP45B \times 2 双联导电塑料传感器。该型号传感器与普通单联导电塑料传感器在结构上的区别见图 1。普通单联导电传感器只由一组电刷及导电塑料

收稿日期:2013-06-15

作者简介:李扬(1984-),男(汉族),江西南昌人,西南交通大学在读博士,中国地质科学院探矿工艺研究所工程师,机械制造及自动化专业,主要研究方向为仪器仪表研发、单片机智能系统、状态监测及模式识别等,四川省成都市金牛区一环路北二段 1 号,boqekanpu_10@163.com。

薄膜组成^[7](图 1a),而 CPP45B × 2 双联导电塑料传感器是由两组电刷及导电薄膜塑料组成(图 1b),其中 2 组电刷为间隔 180° 安装。外径 45 mm,轴径 4 mm;电子转角 350°;机械转角 360°;标称阻值 10 K;阻值公差 ± 15%;独立线性精度 ± 0.1%;广泛应用于注塑机、掌舵室、作业机械手等方面。

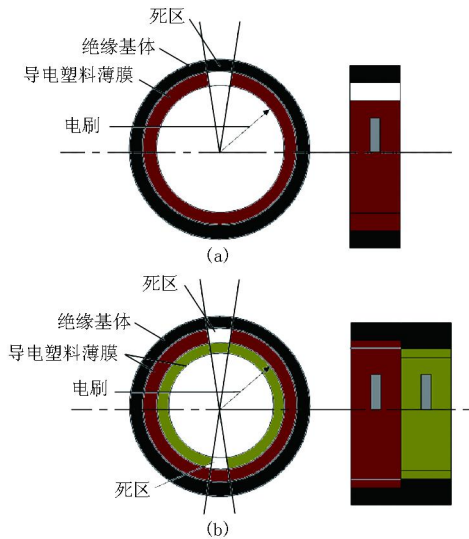


图 1 导电塑料传感器结构图

由于导电塑料传感器原理上相当于滑动变阻器,分辨率无理论上限(模拟输出),根据电刷电压与传感器电源比值可求出传感器转动角度,且传感器阻值大小不影响测量精度,当电源电压固定时,可增大阻值减小系统功耗。通过不同采样精度的 AD 芯片,可获得不同的测量精度。

2 测量装置硬件结构

为了实现系统的低功耗设计,单片机选型十分重要。本方案中单片机选型为 MSP430F149。MSP430 单片机不仅提供了强大的运算能力,而且能够以极低的功耗运行,并具有丰富的内部资源和各种模拟电路接口。MSP430 单片机引入了“时钟

系统”的概念^[8]。将 CPU、外围功能模块、休眠唤醒机制三者所需的时钟独立,而且可以通过软件设置时钟分频、倍频系数,为不同速度的设备提供不同速度的时钟,并且可以随时将某些暂时不工作模块的时钟关闭。这种独特的时钟系统还可以实现系统不同深度的休眠,让整个系统以间歇工作方式最大限度地节约电力。MSP430F149 单片机自带 12 位 AD,理论角分辨率可达 0.1°。单片机采集到传感器输出后,通过串口输出测量值。系统硬件结构如图 2 所示。传感器信号通过信号调理至单片机 ADC12 模块,单片机计算后通过串口输出。单片机 IO 口连接键盘和 LCD,自带 flash 模块可存储系统配置参数。

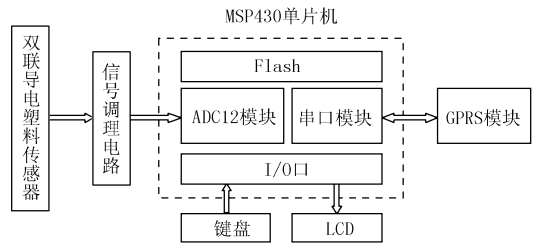


图 2 测量系统硬件结构图

为了降低系统功耗及系统成本,特别设计串口自动休眠电路。串口电路如图 3 所示。当 PC 的 TXD 管脚 3 输出逻辑 1 时,电压为 -10 V,V1 截止,单片机的 RXD 管脚 R2 上拉为高电平,实现了计算机发逻辑 1 时,单片机收到逻辑为 1。当 PC 的 TXD 输出逻辑 0 的时候,电压为 +10 V,V1 饱和,单片机的 RXD 管脚被拉低为低电平。实现了计算机发逻辑 0 时,单片机收到逻辑 0。当单片机的 TXD 管脚发送逻辑 1 时,电压为 -3.3 V 时,V2 截止,计算机的 RXD 管脚被 R4 下拉为 -10 V,实现了单片机发送逻辑 1 时,计算机收到逻辑 1。当单片机 TXD 管脚输出逻辑 0 时,电压为 0,V2 饱和,计算机的 RXD 管脚被 V2 上拉为 VCC。而 VCC 高于 3 V,实现了

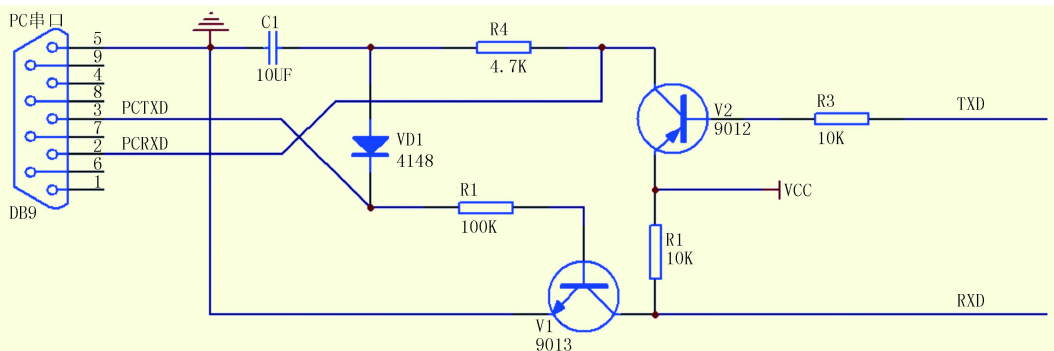


图 3 低功耗串口电路图

单片机发逻辑 0 时计算机收到逻辑 0。该电路只有在通信双方有数据交流时才会耗电,当计算机与单片机不传输数据时,V1 与 V2 均截止,电路功耗为 0,因此可认为该电路能“自动休眠”。该电路适用于无干扰环境、短距离、低成本的通信场合。

3 算法设计

传统的导电塑料传感器虽然可以连续旋转,但由于电位器 0 点和 R 点(电阻最大处)不可能重合,电阻体的首尾必存在缝隙,即死区。且由于制造工艺限制,在首尾接头处线性精度较低,因此可设 $0.05R \sim 0.95R$ 处为传感器线性区^[9], R 为传感器最大输出电阻。利用双联导电塑料传感器,当一个传感器进入死区时可读取另一传感器数据,当 2 个传感器均处于输出状态时可同时读取 2 个传感器电阻值,求平均值。

假设双联导电塑料传感器各单圈电阻器分别为电阻器 A、电阻器 B,其最大阻值为 R_A 、 R_B 。以电阻器 A 为例,当电阻器 A 输出阻值为 $0.05R_A$ 时,记录电阻器 B 阻值 R_{B1} ;当电阻器 A 输出阻值为 $0.95R_A$ 时,记录电阻器 B 阻值 R_{B2} 。利用电阻补偿原理,当电阻器 A 处于 $0.05R_A \sim 0.95R_A$ 时,采用电阻器 B 的阻值进行补偿。

$$R_A' = 0.9R_A + (R_{B2} - R_{B1}) \quad (1)$$

式中: R_A' ——电阻器 A 的全周电阻,借助它可以使电位器在 $0^\circ \sim 360^\circ$ 范围内以均衡的精度、线性度连续输出。

同理可得:

$$R_B' = 0.9R_B + (R_{A2} - R_{A1}) \quad (2)$$

测量时,导电塑料传感器通过 ADC12 模块 V_{REF} 供电,这样方便软件控制传感器电源。ADC12 模块为 12 位 AD,因此,当电阻器最大输出时,采集值为 2^{12} 。测量角度与电阻器输出电压存在式(3)的关系。

$$\alpha = (U_{AX}/2^{12})(R_A/R_A') \cdot 360^\circ \quad (3)$$

式中: α ——电阻器 A 测量角度值, R_A ——电阻器 A 阻值, U_{AX} ——电阻器输出电压, R_A' ——死区补偿后的全周电阻。

同理得:

$$\beta = (U_{BX}/2^{12})(R_B/R_B') \cdot 360^\circ \quad (4)$$

理论上, α 、 β 角度值相差 180° 。

因此只要通过单片机的 AD 采集口采集传感器输出的电压,即可得到传感器的角度值。当传感器用于连续测角时,可设置一转动圈数变量。

在电阻器 A 和 B 均处于线性区时($0.05R \sim 0.95R$),可同时读 2 个电阻器角度值。当任一电阻器处于非线性区或者死区时,读另一传感器输出电压,这样即实现了双联导电塑料传感器的无死区连续测量。

由于传感器在安装时存在安装误差,不能保证初始测角时,传感器输出为 0,所以在硬件中应设置一归零按钮,在传感器安装完毕,程序第一次运行时,测出偏差,按下归零按钮,系统减去该偏差,得到角度 0 位置。

4 软件编写

测量系统软件主要实现 3 部分功能,分别是数据采集、角度计算、人机交互,低功耗是贯穿全部程序的整体要求。因此程序整体设计为事件触发结构。它是一种将全部程序都放在中断内执行的程序结构。主程序只有一条休眠语句,大部分时间 CPU 都处于休眠状态,这种结构是低功耗系统软件的首选。

在程序开始运行时,首先完成串口初始化,便于参数设置和 PC 端监视。在硬件设计中,使用一个 IO 输入口作为工作模式判断管脚,用于检测是否处于设置模式,如处于设置模式时,系统不进入低功耗状态,此时可以设置系统的休眠时间间隔、采集次数、修正值等一系列系统参数。进入工作模式后,系统根据定时中断唤醒单片机,单片机多次采集数据,求出平均值,显示输出。清零按钮通过外部中断唤醒单片机,显示值清零,并将当前值记录为修正值。图 4 是系统的程序流程图,单片机绝大部分时间处于休眠状态,实现了低功耗的目的。

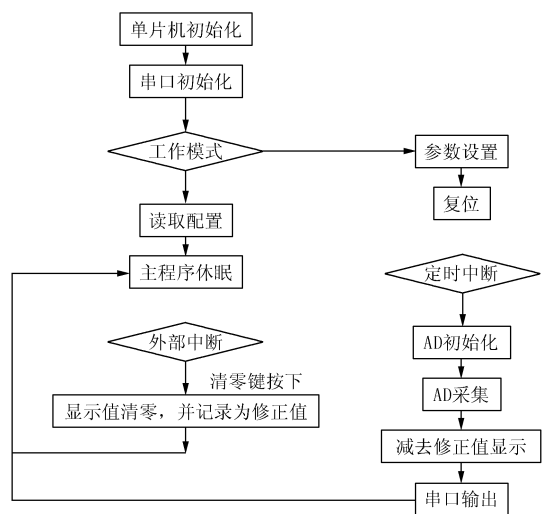


图 4 系统软件流程图

5 测试实验

根据上述介绍的算法, $R_A' = 0.9R_A + (R_{B2} - R_{B1})$, 实验测得当电阻器 A 处于死区时 $R_{B2} - R_{B1} = 1.5K$, 所以 $R_A' = 0.9R_A + (R_{B2} - R_{B1}) = 10.5K$; 同理, 求得 $R_B' = 10.6K$ 。

在测量过程中取 8 组测试典型值进行分析, 如表 1 所示。其中第三组数据由于电阻器 A 处于非线性区, 故不进行计算; 第四组数据电阻器 A 处于死区, 也不进行计算。同理, 第六组和第七组数据电阻器 B 也分别处于非线性区和死区, 故不计算。若电阻器 A 和电阻器 B 输出均有效时, 可参考 2 组值, 理论上 2 个电阻器安装间隔角为 180° , 但实测约为 198° 。

表 1 电阻器电压及角度关系

序号	电阻器 A 电压	α	电阻器 B 电压	β	$\alpha - \beta$
1	BAF	276.1	33F	77.4	198.7
2	D9F	321.9	533	124.0	197.9
3	FF7		589	132.0	
4	FFF		600	143.1	
5	2AB	63.0	AFA	261.9	-198.9
6	57B	129.5	F3C		
7	76E	175.6	FFF		
8	9A3	227.7	146	30.4	197.3

6 结论

(1) 该测量系统采用双联导电塑料电阻器作为传感器, 避免了传统导电塑料传感器存在死区及无法连续测量的缺陷。且较传统编码器等测角传感器

成本降低, 使用简单。

(2) 系统采用低功耗设计, 软件编写注重休眠, 单片机连接传感器直接构成测量系统, 设计自动休眠串口电路, 功耗降低, 减小了系统功耗, 降低系统成本。

(3) 串口便于人机交互且可扩展 GPRS 模块远程传输数据。

(4) 设计一拉绳装置, 通过在传感器轴上安装转盘, 钢丝绳带动转盘转动, 可将线位移转化为角位移测量, 该测角系统已得到实际应用。

参考文献:

- [1] 陈秋霞. 高精度动态测角仪[J]. 红外, 2006, 27(8): 33-38.
- [2] 李军, 王继荣. 一种新型角位移测量装置的研制[J]. 青岛大学学报, 1997, 10(2): 92-95.
- [3] Jennifer Markarian. Increased demands in electronics drive additive developments in conductivity[J]. Plastics Additives and Compounding, 2005, 7(1): 26-30.
- [4] Jay Amarasekera. Conductive plastics for electrical and electronic applications [J]. Reinforced Plastics, 2005, 49(8): 38-41.
- [5] 陈勇, 官建国, 谢洪泉. 导电塑料的研究进展[J]. 弹性体, 2008, 18(2): 75-81.
- [6] 陆长征. 导电聚氨酯泡沫塑料的研制[J]. 塑料, 2003, 32(5): 50-53.
- [7] 俞志根. 精密导电塑料角位移传感器的设计[J]. 传感器与微系统, 2009, 28(1): 88-89.
- [8] 谢楷, 赵建. MSP430 系列单片机系统工程设计与实践[M]. 北京: 机械工业出版社, 2009.
- [9] 孟阳, 李青. 基于间角叠组电位器的无限连续测角传感器研究[J]. 传感器世界, 2010, (8): 23-27.

中国获得西太平洋富钴结壳矿区专属勘探权

中央政府门户网站消息(2013-07-20) 新华社金斯敦 7 月 19 日电(记者朱庆翔) 国际海底管理局 7 月 19 日核准了中国大洋矿产资源研究开发协会(简称“大洋协会”)提出的西太平洋富钴结壳矿区勘探申请。中国成为世界上首个就 3 种主要国际海底矿产资源均拥有专属勘探矿区的国家。

在 7 月 19 日举行的国际海底管理局第 19 届会议上, 该局理事会核准了中国的申请, 同时还核准了日本提出的富钴结壳矿区勘探申请, 但俄罗斯、英国、印度、新加坡就不同资源提出的 4 份矿区勘探申请被推迟到明年审议。

富钴结壳是位于海底山区岩石表面的富含钴、锰、镍、铜等元素的结壳状矿床, 主要由铁锰氧化物构成, 集中分布在

水深 800~4000 m 之间的海山斜坡和顶部。

中国此次获得专属勘探权的富钴结壳区位于目前所知的富钴结壳资源分布最为富集的西太平洋海山区域, 面积为 3000 km²。

1994 年成立以来, 国际海底管理局相继就区域内多金属结核、多金属硫化物和富钴结壳 3 种主要矿产资源的勘探活动做出规定。此前, 中国已于 2001 年在东北太平洋获得多金属结核矿区勘探权, 2011 年又获得西南印度洋多金属硫化物矿区专属勘探权。

国际海底管理局总部设在牙买加首都金斯敦, 是管理国际海底区域及其资源的权威政府间组织。