

[自控·检测]

DOI:10.3969/j.issn.1005-2895.2016.02.014

新型电梯轿厢绝对位置检测传感器的研究

胡 军¹, 赵国军²

(1. 浙江长征职业技术学院 实训中心, 浙江 杭州 310023;
2. 浙江工业大学 机械工程学院, 浙江 杭州 310023)

摘 要:针对目前电梯轿厢位置检测时,增量式编码器存在位置零点偏移,大多绝对式编码器又受到量程限制等缺点,提出了基于低功耗单片机的多圈数字式绝对位置传感器。设计了多圈绝对位置传感器的硬件结构,介绍了单圈磁绝对式旋转编码器角度信号采集及多圈计数原理;设计了单片机接口电路,串行通信接口电路,电源与停电检测电路,多圈计数以及停电唤醒电路等硬件电路;设计了传感器系统的主要智能化软件;采用低功耗待机技术,设计了外部电源停电情况下依靠内部电池供电机制。实际应用结果表明该系统不仅具有精度高、功耗低等特点,且具有多圈宽量程位置检测和停电位置记忆功能。该系统能够对电梯轿厢绝对位置实现高精度实时检测。

关 键 词:绝对位置检测;电梯轿厢;磁旋转编码器;多圈绝对值传感器

中图分类号:TP212.6 文献标志码:A 文章编号:1005-2895(2016)02-0064-06

Research on New Type Elevator Car Absolute Position Detection Sensor

HU Jun¹, ZHAO Guojun²

(1. Department of Training Center, Zhejiang Changzheng Vocational & Technical College, Hangzhou 310023, China;
2. College of Mechanical Engineering, Zhejiang University of Technology, Hangzhou 310023, China)

Abstract: Aiming at the elevator car position detection, the incremental encoder exists position zero offset and the most absolute encoder is limited by range and other defects. A digital multi-turn absolute position sensor based on low-power single-chip microcontroller was proposed, and the hardware structure of the multi-turn absolute position sensor was designed. The principle of magnetic single-turn absolute rotary encoder angle signal acquisition and multi-turn counting was introduced. The encoder and microcontroller interface circuit, serial communication interface circuit, power supply and power failure detection circuit, multi-turn count and power outage wake-up circuit and other hardware circuits were designed. The main intelligent sensor system software was designed, and the low-power consumption standby technology was adopted to design working mechanism exclusively on internal battery power when the external power supply was failed. Practical application results indicate that the system possesses the characteristics such as high precision, low power consumption, and has the function of multi-turn wide-range position detection and power outage position memory. The system is able to achieve the absolute position of the elevator car with high precision real-time detection.

Key words: absolute position detection; elevator car; magnetic rotary encoder; multi-turn absolute sensor

电梯轿厢位置数据是电梯运行的基准数据,电梯的定向、换速都是以轿厢位置为基础的。缺乏电梯轿厢位置数据或轿厢位置确定存在偏差,会造成电梯运行的不正常,甚至安全事故^[1]。目前国内电梯轿厢位置检测大多采用曳引机电机自带的增量式旋转编码器。当电梯断电,增量编码器和系统停电,无法实现电

梯的位置移动检测。在电梯再次送电后电梯需要重新回到端站进行复位。另外,当曳引轮与钢丝绳发生打滑时,轿厢的绝对位置也将产生较大误差。本文基于ATmega48单片机,以非接触式单圈磁绝对式旋转编码集成电路AS5040测量磁钢旋转角度为背景,设计了实现多圈绝对位置传感器的硬件电路及主要软件。系

收稿日期:2015-08-06;修回日期:2015-12-02

基金项目:浙江省科技厅浙江省科技攻关计划项目(2005C21G2020066)

作者简介:胡军(1966),男,浙江杭州人,硕士,讲师,主要研究方向为电子通信技术。E-mail:hj6606a@163.com

统能够对电梯轿厢绝对位置进行实时检测,且停电时能够在掉电模式下低功耗运行,能对电梯位置移动进行检测。

1 传感器基本工作原理

本文介绍的传感器由单圈磁绝对式旋转编码器和多圈计数器构成。单圈磁绝对式旋转编码器采用的 AS5040 是一款非接触式磁旋转编码器,是一个完整的片上系统,封装内整合了集成式 Hall 元件、模拟前端和数据信号处理功能元件。它能够提供精确的高分辨率绝对值角度信息。测量角度时,只需简单地配备一个在芯片中心上方旋转的双极磁钢即可^[2-3],如图 1 所示。其分辨率达到 0.35° ,即每圈 1 024 个位置。

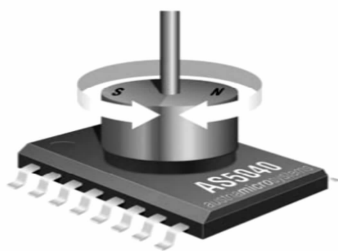


图 1 AS5040 和磁钢的典型配置方式

Figure 1 Typical arrangement of AS5040 and magnet

多圈计数器由 2 个磁开关 S1, S2 和磁钢构成,如图 2 所示。磁钢安装在传感器轴上,旋转时磁开关 S1, S2 在旋转磁场的作用下做开关动作,磁钢每转一圈磁开关动作 2 次。由于 S1, S2 安装成偏心位置,磁钢旋转一圈,磁开关将产生 2 个具有相位差的脉冲输出信号,如图 3 所示。S1, S2 开关脉冲信号输入到单片机中断接口,单片机根据相位差,对多圈计数器进行加减计数^[4]。

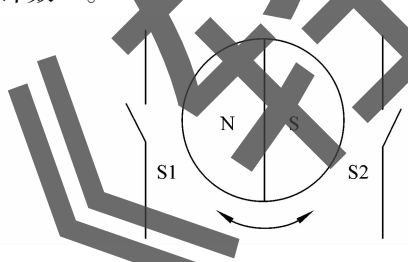


图 2 磁开关与磁钢的位置示意图

Figure 2 Position diagram of magnetic switch and magnet

为使多圈计数器在停电后还能够实现多圈计数,本文采用了超低功耗单片机,用锂电池作为后备电源。在停电时如果传感器轴转动一圈,则磁开关在磁场的作用下,输出图 3 所示的具有相位差的 2 路开关信号至单片机并将其唤醒,单片机被唤醒后判别输入开关

信号正反转,对多圈计数进行加减计数。完成计数后再次进入掉电休眠模式,等待下一次磁开关接口的电平变化^[5]。

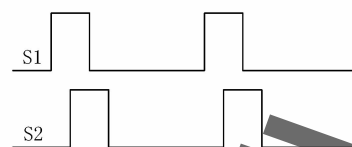


图 3 磁开关相位差示意图

Figure 3 Phase difference diagram of magnetic switch

2 传感器硬件电路设计

2.1 传感器电路

传感器电路如图 4 所示。单片机 ATmega48 作为传感器主控制器;单圈磁绝对式旋转编码器 AS5040 用于单圈绝对角度检测;停电检测电路用于外部电源检测;通信接口电路实现与外部进行数据通信;正交磁开关检测电路用于多圈计数和停电唤醒;配置的微型锂电池作为传感器内部电源。JTAG 接口电路用于单片机进行编程调试。

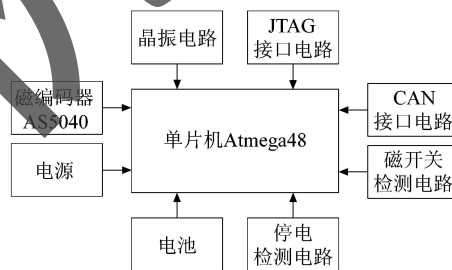


图 4 传感器系统电路结构图

Figure 4 System circuit diagram of sensor

ATmega48 的工作电压为 $2.7 \sim 5.5 \text{ V}$,掉电模式时耗电小于 $1 \mu\text{A}$,可用 3.0 V 锂电池供电^[6]。磁开关接入单片机外部中断 INT0 和 INT1 口,正常工作模式磁开关用于多圈计数,掉电模式时磁开关的开闭可以唤醒 MCU 掉电模式触发中断,完成多圈计数。ATmega48 单片机与 AS5040 之间通过 SPI 串行方式通信。

2.2 AS5040 与单片机接口电路设计

单圈磁绝对式旋转编码器 AS5040 与单片机 ATmega48 的接口电路如图 5 所示。接口电路的功能是将 AS5040 采集到的绝对角度数值读入单片机 ATmega48 指定的内存单元中^[7]。CSn 片选信号、CLK 时钟信号和 DO 数据输出分别连接在单片机 ATmega48 的 13(PB1), 17(SCK), 16(MISO)引脚。

AS5040 的电源由单片机的引脚 28(PC5)控制,三极管 T_1 作为 AS5040 的电源开关,当系统外部停电时,

关闭 AS5040 的电源,使系统的耗电减少至最低状态。电阻 R_8 并连在三极管发射极与基极之间,分流发射极、基极微小的漏电流,防止三极管误动作。考虑到软

件编程和系统测试的方便性,在单片机引脚 27 接入一个 LED 发光二极管,通过 LED 的闪烁可以验证硬件平台是否正常工作以及传感器故障指示。

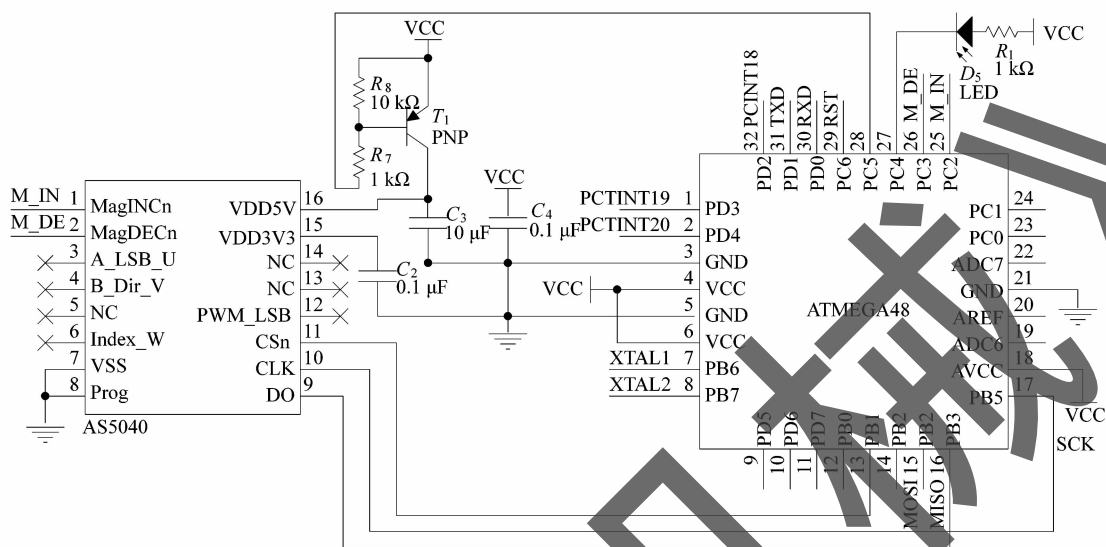


图 5 AS5040 与单片机接口电路

Figure 5 AS5040 and microprocessor interface circuit

2.3 电源与停电检测电路设计

电源与停电检测电路如图 6 所示,外部电源通过二极管 D_3 向传感器提供电源。BT1 为内部锂电池供电电路。当外部电源停止供电时,备用电源锂电池通过二极管 D_4 向系统供电。

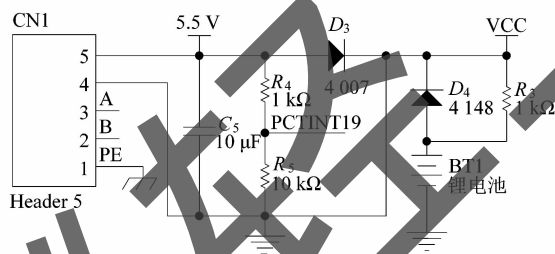


图 6 电源与停电检测电路

Figure 6 Power supply and power failure detection circuit

当外部正常供电时,5.5 V 直流电源通过二极管 D_3 给单片机供电,同时通过电阻 R_3 对蓄电池(锂电池)进行涓流充电以补偿电池由于自放电而造成的容量损失;当外部停止供电时, D_3 可防止电池电流倒流。电阻 R_4 和 R_5 分压电路输出进入单片机,用于外部电源监控。当外部发生停电,PCTINT19 为低电平,向单片机发出停电中断信号,单片机 ATmega48 进入掉电模式。内部蓄电池通过 D_4 向 VCC 供电,保证单片机

能够进入停电处理程序,关闭 AS5040 电源,使整个系统的耗电达到最低状态。当供电恢复时,PCTINT19 为高电平,向单片机发出电平中断信号,使单片机退出掉电模式,进入正常工作程序。

2.4 通信接口电路设计

通信接口电路如图 7 所示,主要功能是输出数据,通过随行电缆将绝对位置信息传送到位于机房的电梯主控制器上。采用 TJA1050 作为外部通信总线收发器,将 TJA1050 的引脚 1 和 4 分别与单片机 USART 的 RXD 和 TXD 连接;在输出端接入 2 只 TVS 二极管 D_1 和 D_2 对电路进行过压保护,以免损坏电路的其它元器件,防止瞬变干扰;在 CANH 和 CANL 之间接入一个 120 Ω 的终端电阻,防止高频信号在传输线终端形成的反射干扰^[8]。

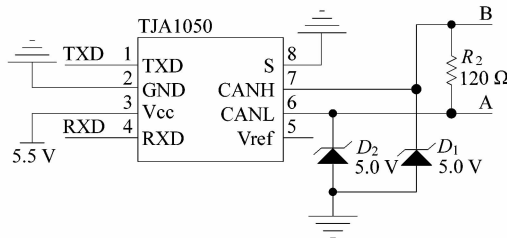


图 7 串行总线接口电路

Figure 7 Serial bus interface circuit

2.5 多圈计数磁开关检测和停电唤醒电路设计

如图8所示,磁开关S1,S2用于多圈计数和停电唤醒,开关信号输入到单片机外部中断输入端。传感器轴上的磁钢转动时,磁开关受到旋转磁场的作用而开和闭,当传感器轴旋转一圈,每个磁开关开闭2次;开关信号触发单片机外部中断端口,使单片机进入外部中断程序,并对多圈计数器进行加减计数。电路停电后,磁开关还可用于掉电唤醒。当停电后传感器轴转动时,磁开关将会发生开或闭,单片机外部输入端口电平发生变化,从而唤醒单片机。电阻 R_6 和 R_9 为磁开关的上拉电阻,阻值应大于 $1\text{ M}\Omega$,防止因系统外部停电时,磁开关处于闭合状态时的电池消耗。

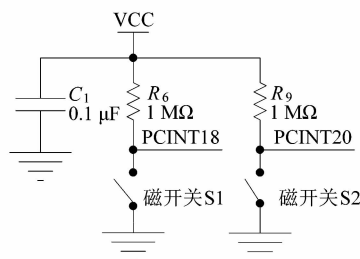


图8 多圈计数磁开关检测和停电唤醒电路

Figure 8 Multi-turn count magnetic switch detection and power outage wake-up circuit

3 传感器软件设计

3.1 采样速率与多圈计数策略

采样速率:AS5040采样角度数值时,在快速模式下采用 10.42 kHz 的采样速率。因此,每隔 $96\text{ }\mu\text{s}$ 提供一个新的读数。磁钢处于静止位置时,此采样率不会造成额外的误差。由于电梯运行速度缓慢($<20\text{ m/s}$),快速模式可以满足测速要求。

图9为AS5040输出绝对角度位置数据的同步串行接口协议,共2个字节16个数据位,绝对值角度数据为10位,高位在前,后6位为状态信息,见表1。

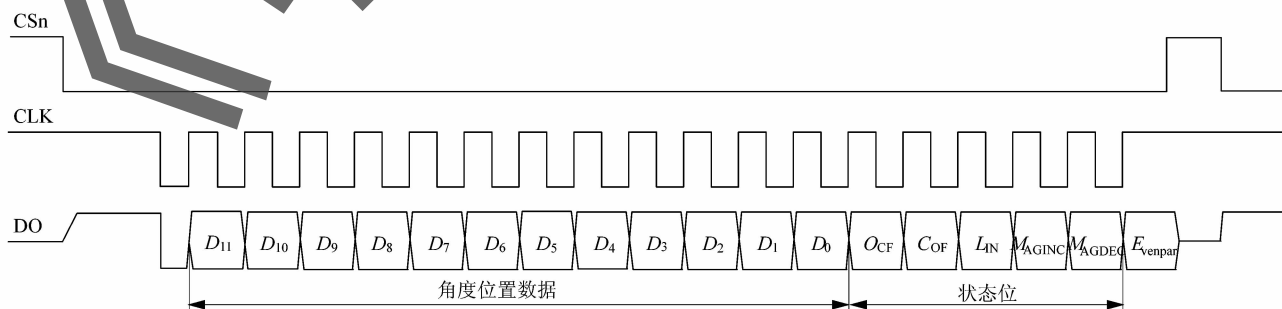


图9 AS5040输出绝对角度位置数据的同步串行接口协议

Figure 9 Synchronous serial interface protocol of AS5040 absolute angular position data

表1 状态位输出

Table 1 Status bit output

偏差补偿 O_{CF}	CORDIC 溢出 C_{OF}	线性度 报警 L_{IN}	磁场增强 M_{agINC}	磁场减弱 M_{agDEC}	奇偶校验
1	0	0	0	0	1:15 位的 偶校验和
1	0	0	0	1	
1	0	0	1	0	

表1为AS5040输出第11~16状态位,具有表1配置时,数据 $D_9:D_0$ 有效。偏差补偿 O_{CF} 高电平表示偏差补偿算法执行完毕,CORDIC溢出 C_{OF} 低电平表示CORDIC单元未出现超范围的错误,线性度报警 L_{IN} 低电平表示输入磁场没有严重的输出线性度问题;磁场增强 M_{agINC} 高电平表示磁铁靠近IC导致磁场强度增大,磁场减弱 M_{agDEC} 高电平表示磁铁远离IC导致磁场强度减小^[9-10]。

根据以上协议可以将单片机的SPI串口设置为对应的读取数据模式,读取数据后再根据11~16状态位确定读取数据的有效性。

从AS5040读取的是单圈绝对角度数据,数据范围 $0\sim1\text{ }023$ 。当 $1\text{ }023$ 转到 0 时传感器转过一周。本文介绍的多圈绝对值传感器为22位计数范围,其数值范围为 $0\sim3\text{FFFFFF}$, $D_0\sim D_9$ 低10位为单圈绝对值传感器数值, $D_{10}\sim D_{21}$ 位为多圈计数值, $D_{22}\sim D_{23}$ 位为状态信息位。

本文采用了2种多圈计数方法:

1) 在正常供电工作时采用相邻二次单圈磁传感器数值差算法,来确定多圈计数器的加或减。则有

$$\Delta Z = D_n - D_{n-1}。$$

式中: ΔZ 为二次相邻数值差; D_n 为当前读取的数值; D_{n-1} 为前一次读取的数值。

M 为多圈计数器,计数方式有:

当 $\Delta Z > 512$,则 $M = M + 1$,多圈计数器加1;

当 $\Delta Z < -512$,则 $M = M - 1$,多圈计数器减1。

2) 停电后, 电池供电时使用磁开关多圈计数: S1, S2 磁开关在磁钢旋转一周时将产生 2 组具有相位差的脉冲信号。根据 S1, S2 产生脉冲的先后次序对多圈计数器进行加减操作。

当停电后, 单圈磁绝对式旋转编码器停止工作。则使用磁开关作为多圈计数器在低功耗的情况下继续保持计数工作。多圈计数器在首次上电工作时被复位。

3.2 传感器程序

传感器软件采用汇编语言进行编程, 主程序流程如图 10 所示。软件主要由传感器系统初始化程序, 读取 AS5040 数据程序, 停电中断程序, 掉电唤醒服务程序, 多圈计数程序和外部通信程序构成。

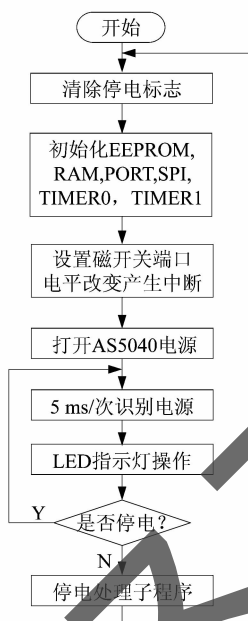


图 10 传感器主程序流程框图

Figure 10 Main program flow block diagram of sensor

主要功能包括 3 个部分:

1) 编码器 AS5040 与单片机 ATmega48 之间的数据传输程序。编码器 AS5040 和单片机 ATmega48 之间的数据传输采用 SPI 串口进行传输, 每间隔 96 μ s 读取一次 AS5040 的数据^[11]。

2) 停电中断程序如图 11 所示。当检测到外部停电时, 保存 RAM 数据到 EEPROM, 关闭耗电功能单元, 单片机进入掉电模式。

3) 多圈计数程序。当轿厢发生位移, 磁钢转动, 使干簧管发生动作, 产生电平中断, 唤醒单片机, 读取前一次数据与本次的数据, 将本次数据与前一次数据进行比较, 超过一定值则判定为正转或反转一圈, 以此判断多圈计数器是否需要加 1 或减 1。



图 11 停电处理子程序流程图

Figure 11 Flow chart of power failure processing subroutine

4 传感器应用

备用电池使用微型蓝牙锂电池, 容量为 180 mAh。实测掉电低功耗模式运行时的最大静态电流约为 2 μ A, 唤醒一次的工作时间约为 1 ms, 唤醒时的工作电流约为 10 mA。唤醒工作完成后程序将再次进入掉电休眠状态。实测传感器达到零功耗的要求, 能够满足电梯控制系统对绝对位置测量的要求。

绝对位置检测传感器的应用实例: 将传感器安装在电梯轿厢顶部, 通过齿形带与轿厢连接, 能够做到位置信息精确同步, 并可以通过随行电缆将数据发送到电梯主控制器。电梯首次运行时, 处于检修模式, 只须一次性到达每个停站, 采集到的定位数据可以在计算机中生成一个与真实井道信息相符的“虚拟井道装置”。将位置检测传感器安装在电梯系统中进行测试, 如图 12 所示。传感器通过串行总线与机房中的电梯主控制器连接实现通信, 利用齿形带带动齿轮转动测量电梯轿厢绝对位置。图中齿轮分度圆周长为 468 mm, 电梯运行速度为 2.5 m/s, 电梯主控系统示值误差为 0.5 mm, 实测结果电梯的重复平层误差小于 1.5 mm。

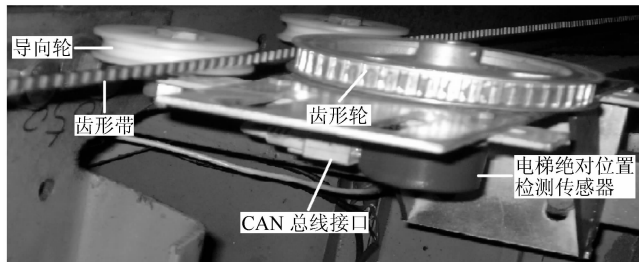


图 12 安装在电梯上的多圈传感器测试现场

Figure 12 Multi-turn sensor mounted on elevator test scene

(下转第 72 页)