

# 基于 TLE5012B 的高精度多圈绝对式磁编码器设计

陈如意, 周翟和, 王 锋, 尹 辉

(南京航空航天大学 自动化学院, 江苏 南京 211106)

**摘要:**针对工业领域某些伺服电机位置控制需要高精度、小体积、强抗干扰能力的多圈绝对值编码器的特殊场合,设计了一种基于英飞凌公司的角度传感器 TLE5012B 的多圈绝对式磁编码器,该编码器可提供最高 15 位分辨率的位置信息。利用 ARM 微处理器对角度传感器的数据进行采集和处理,提供单圈绝对位置、多圈值、UVW 信号和 ABZ 信号,采用 SSI 通信接口输出数据。本编码器具有掉电记忆、位置清零等功能,而且成本低,已应用于实际工控系统中。

**关键词:**多圈绝对式;磁编码器;TLE5012B;分辨率;SSI

**中图分类号:**TP212 **文献标识码:**A **文章编号:**1000-8829(2017)07-0116-05

## Design of High Precision Multiloop Absolute Magnetic Encoder Based on TLE5012B

CHEN Ru-yi, ZHOU Zhai-he, WANG Feng, YIN Hui

(College of Automation Engineering, Nanjing University of Aeronautics and Astronautics, Nanjing 211106, China)

**Abstract:** In order to meet the requirement that the industrial field of servo motor position control of special occasions needs multiloop absolute encoder with high precision, small volume and strong anti-interference capability, a multiloop absolute magnetic encoder based on Infineon Corporation's angle sensor TLE5012B is designed, which can provide information about the location of the highest 15-bit resolution. The ARM microprocessor is used to acquire and process the data of the angle sensor, and the absolute position of the single loop, multiloop value, UVW and ABZ signals are provided. The SSI communication interface is used to output the data. This encoder has the functions of power down memory, zero position clearing and low cost, and has been applied to the actual industrial control system.

**Key words:** multiloop absolute; magnetic encoder; TLE5012B; resolution; SSI

随着现代工业设备(如高精度数控机床、精密仪器)的快速发展,在位置测量和定位方案中对伺服驱动系统的性能要求越来越高,精度和可靠性是衡量伺服驱动系统性能的重要标志。而编码器作为伺服驱动系统最常用的位置和速度检测环节,是提高其精度和可靠性的关键环节之一<sup>[1]</sup>。

磁编码器是一种新型的角度或者位移测量装置。

同传统的光电式编码器相比,磁编码器具有抗振动、抗腐蚀、抗污染、抗干扰和宽温度的特性,可应用于传统的光电编码器不能适用的领域<sup>[2]</sup>。多圈绝对式编码器无需记忆位置,可以以中间任意位置作为零点,降低了安装调试难度,在位置控制方面的优势非常明显,在工控系统中应用越来越多。文献[3]中设计的基于校准处理方法的绝对值磁编码器分辨率虽然达到了 13 位,但无法测量多圈值。文献[4]中设计的 720°的磁编码器,采用两个 TLE5012 芯片级联,增加了成本,且最大检测圈数为 2。本文设计的编码器结合磁编码器和多圈绝对值式编码器的优势,采用一个 TLE5012B 芯片作为位置检测传感器,利用 ARM 处理器进行多圈计数,最大可检测 512 圈,最高分辨率可达 15 位,具有增量输出和绝对输出功能,同时也具有可编程的特性<sup>[5]</sup>。

收稿日期:2016-09-05

基金项目:国家自然科学基金项目(61174102);中央高校基本科研业务费专项资金(NS2014033);江苏省产学研前瞻性联合研究项目(BY2015003-06)

作者简介:陈如意(1990—),男,硕士研究生,主要研究领域为嵌入式系统设计和移动机器人传感技术;周翟和(1974—),男,博士,副教授,主要研究领域为组合导航与非线性滤波、机器人控制与多传感器信息融合。

1 多圈绝对式磁编码器的总体设计

1.1 多圈绝对式磁编码器设计原理

本编码器使用的角度传感器 TLE5012B 是采用巨磁阻(GMR)原理进行角度检测的,它由  $V_x$  和  $V_y$  两个 GMR 感应单元组成,每个感应单元是由 4 个 GMR 电阻连接到惠斯通桥电路组成,如图 1 所示。X 桥通道和 Y 桥通道在旋转磁场作用下产生余弦信号( $\cos\alpha$ )和正弦信号( $\sin\alpha$ ),其中  $\alpha$  为磁场方向与 X 轴之间的夹角。这两种信号经过 A/D 转换后,进行反正切计算得到需要的角度值  $\alpha$ 。

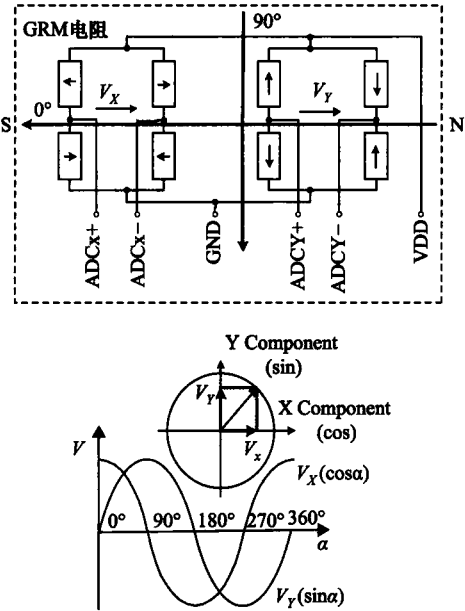


图 1 TLE5012B 角度检测原理

TLE5012B 角度传感器可以直接作为单圈绝对式编码器使用,在一直保持供电情况下可以准确提供多圈值(通过读取角度转数寄存器 AREV 来获取),但断电后再供电 AREV 复位为 0,传感器本身无额外长期存储单元,多圈值无法保存。如果使用电池在断电情况下供电,其功耗约为 100 mW,考虑成本问题,此方法不可行。所以本编码器外加 E<sup>2</sup>PROM 用来存储多圈值,外加 MCU 处理圈数值的计算和控制圈数值的存储,同时提供串行输出接口。TLE5012B 内部 16 位角度转数寄存器 AREV 中 0~8 位(REVOL)表示圈数值,共 9 位,因此可检测的圈数最大为 512 圈;16 位角度寄存器 AVAL 中 0~14 位(ANG\_VAL)表示单圈绝对角度,共 15 位,因此本编码器的最高分辨率为 15 位。单圈角度计算公式如式(1)所示,总角度计算公式如式(2)所示。

$$\alpha = \frac{360^\circ}{2^{15}} \times ANG\_VAL(^\circ) \tag{1}$$

$$\Omega = \alpha + 360^\circ \times REVOL(^\circ) \tag{2}$$

1.2 编码器的总体设计框图

多圈绝对式磁编码器的组成包括 STM32 最小系统、TLE5012B 模块、E<sup>2</sup>PROM 模块、电源电路、差分输出模块。总体设计框图如图 2 所示。

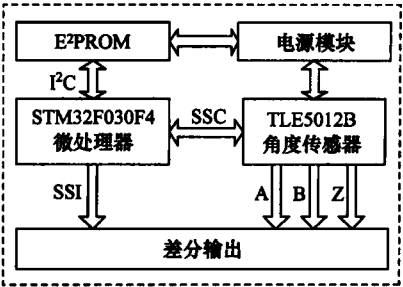


图 2 编码器的总体设计框图

本编码器的核心器件有两个: TLE5012B 和 STM32F030F4, TLE5012B 角度传感器基于 iGMR 技术,可检测磁场的 360°变化,它是由单片集成测量正弦和余弦角组件的巨磁电阻实现的<sup>[6-7]</sup>; STM32F030F4(以下简称 STM32)是由意法半导体公司生产,是一款采用高性能 ARM Cortex-M0 内核的 32 位微处理器,具有高速嵌入式存储器(64 KB 的闪存和 8 KB SRAM),内核运行频率为 48 MHz,可以轻松应对 TLE5012B 数据的采集与处理。

1.3 硬件电路设计

1.3.1 不间断供电电路设计

供电电源采用两种方式供电:编码器正常工作时由 5 V(驱动器提供)供电,5 V 驱动器电源断电之后采用 3.6 V 锂电池短时供电,用来存储编码器圈数信息。电源电路设计图如图 3 所示。

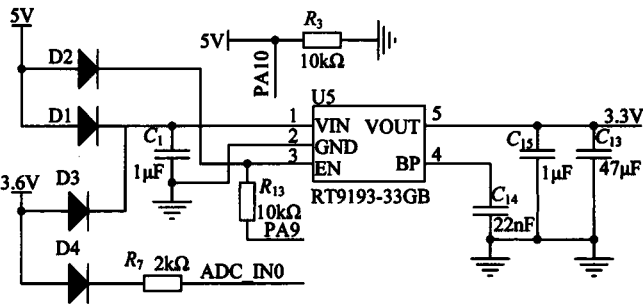


图 3 电源电路设计

除差分模块用 5 V 供电以外,其余模块均为 3.3 V,电压转换芯片采用低压差线性稳压器 RT9193-33GB。二极管 D3 用来进行 5 V 和 3.6 V 电源的切换。ADC\_IN0 线为电池电压采集线,当电压低于 3.3 V 时,需更换电池(一般 3~5 年更换一次);PA9 线用于在编码器完成圈数记录之后断掉电池电源(节约电池电量);PA10 线用于检测 5 V 电源是否掉电(可以防止突发断电情况)。



每次上电后将当前单圈角度值减去存储在 E<sup>2</sup>PROM 的清零值作为新的单圈绝对值角度数值。

3 多圈绝对式磁编码器软件设计

磁编码器通过 SSI 通信接口输出的信息中,单圈角度值、圈数、电池低电压报警值和电机的自身结构没有任何关系,唯一有关系的信息是 UVW 信号<sup>[11]</sup>(当磁编码器作为增量式编码器使用时需要该信号),该信号共有 6 个状态,能分辨 60°电角度,电机每转 360°电角度,6 状态循环一次,电机每转一圈 UVW 信号循环的次数和电机的极对数相等。UVW 信号产生方法:首先将 360°机械角度平均分为 4×6 个区(若电机极对数为 4),然后通过 SSC 读取电机的单圈绝对值角度,判断该角度属于哪个区,最后输出相对应的 UVW 信号。

电机位置清零信号由外部人为给定,只需将 STM32 留出一个普通 I/O 口即可,在程序中判断该 I/O 的状态来确定是否需要清零。编码器在 5 V 电源掉电之后,经过 10 s(可根据实际要求更改时间)后保存圈数值和 TLE5012B 角度寄存器的值,接着断开电池电源。总体软件流程图如图 8 所示。

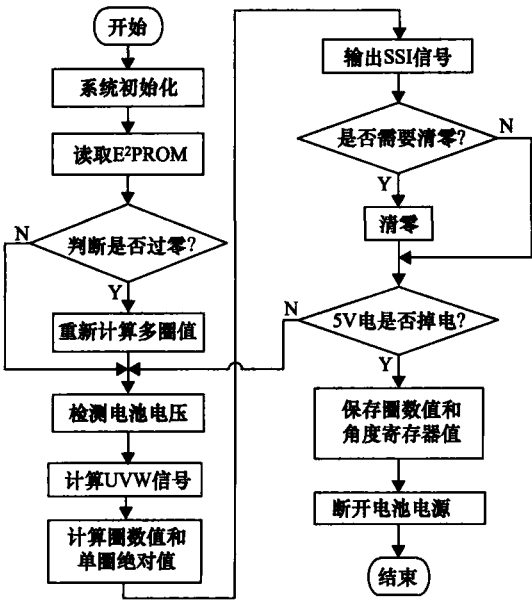


图 8 总体软件流程图

系统初始化包括系统时钟、SSI 接口、SSC 接口、IIC 接口、TLE5012B 的初始化。读取 E<sup>2</sup>PROM 包括从 E<sup>2</sup>PROM 读取上次保存的多圈值和单圈角度以及清零时的单圈角度。

4 实验结果

本文设计的多圈绝对式磁编码器的实物图如图 9 所示。图 10 为编码器安装在具有 5 对极电机上 5 V 电源断电前 SSI 的通信波形,1 号波形为 CLK 时钟信

号,2 号波形为 DIO 数据信号,改变 CLK 的频率,可改变 SSI 的通信速度。ARVE1 表示圈数(圈数为 0x005),AVAL1 表示单圈绝对位置(0x27BC)。5 V 电源断电后,人为将电机顺时针转过小幅度角度后,过一段时间(等待电池自动掉电)再上电后 SSI 通信波形如图 11 所示,ARVE2 为 0x005,AVAL1 为 0x25DA。由 AVAL2 与 AVAL1 相等可知,本编码器可以完全记住多圈值的功能。由图 10 或图 11 可知电压报警值为 0 (AREV1 和 AVAL1 之间的位),UVW 信号为“001”状态(AREV1 向左 3 位)。

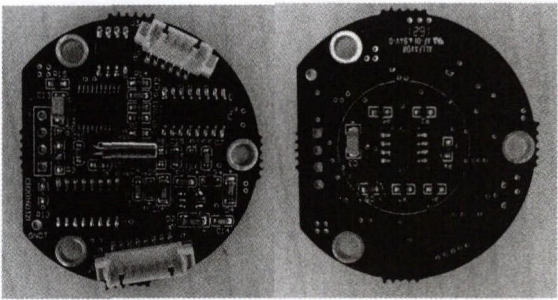


图 9 磁编码器实物

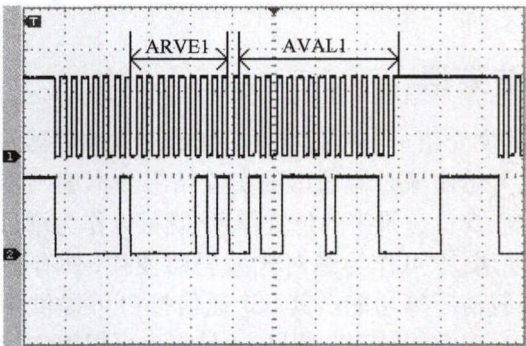


图 10 SSI 通信波形 A

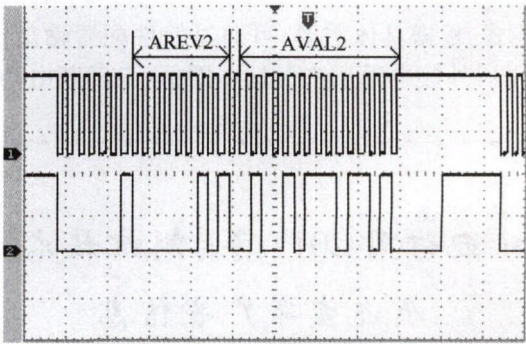


图 11 SSI 通信波形 B

图 12 为电机正转时 A/B 模式波形输出,两波形相位相差 90°。图 13 为 Step/Direction 模式下的 A/B 波形输出,在电机正反转切换时 A 波形有一段切换延时,这与 TLE5012B 的 IIF 模式的电开关滞后有关,修改相应的寄存器,可得到解决。



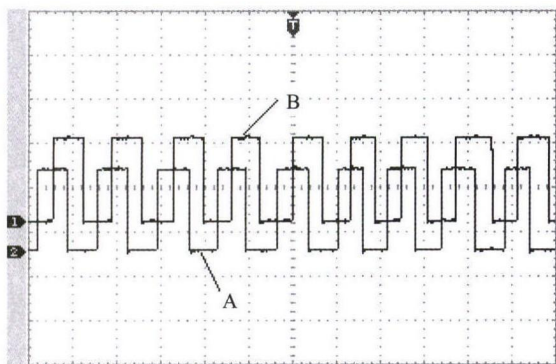


图 12 A/B 波形

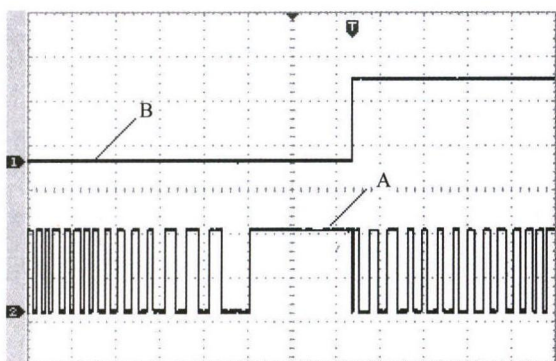


图 13 Step/Direction 波形图

## 5 结束语

本文介绍了一种高精度多圈绝对式编码器的设计方案,并给出编码器输出的实验结果。本编码器可提供最高 15 位分辨率的位置信息,既可以作为增量式编码器使用,也可作为绝对式编码器使用,具有掉电记忆、位置清零等功能。其 SSI 通信接口可提供单圈绝对位置、多圈值、UVW 信号,通信频率可根据实际需要进行设置。磁编码器产生的 ABZ 信号由 TLE5012B 直接输出,共有两种输出模式: A/B 模式和 Step/Direction 模式,根据具体需要,可通过软件配置输出模式。本编码器外接电池用来记忆多圈值,自动断电功能增

加了电池的使用寿命。通过实际应用表明,本文设计的多圈绝对式磁编码器完全能满足伺服驱动系统对电机控制的需求,而且成本低,精度高,安装方便。

## 参考文献:

- [1] 何英武,莫元劲,韦凤. 一种绝对式光电编码器的通信协议设计[J]. 机电工程技术,2014,43(2):46-51.
- [2] Van Hoang H, Jeon J W. An efficient approach to correct the signals and generate high-resolution quadrature pulses for magnetic encoders [J]. IEEE Transactions on Industrial Electronics, 2011, 58(8):3634-3646.
- [3] Hao S H, Liu Y, Hao M H. Study on a novel absolute magnetic encoder[C]//IEEE International Conference on Robotics and Biomimetics. IEEE, 2009:1773-1776.
- [4] Li H, Xu Y L, Zhang Y, et al. Development of steering wheel angle sensor used for torque coordinating control of in-wheel motor driven electric vehicle [C]//International Conference on Electrical Machines and Systems. 2011:1-3.
- [5] 寇丽萍,夏超英. 基于 TLE5012 可编程磁编码器的设计[J]. 电源学报,2016,14(1):35-42.
- [6] Smirnov Y S, Kozina T A, Yurasova E V, et al. Analog-to-digital converters of the components of a displacement with the use of microelectronic sine-cosine magnetic encoders [J]. Measurement Techniques, 2014, 57(1):41-46.
- [7] Reig C, Cardoso S, Mukhopadhyay S C. Giant Magnetoresistance (GMR) Sensors: From Basis to State-of-the-Art Applications[M]. Springer-Verlag, 2013.
- [8] 何喜富. 基于 iGMR 原理角度传感器 TLE5012B 应用指南[J]. 单片机与嵌入式系统应用, 2015, 15(3):74-77.
- [9] 陈志同. 基于 SSI 协议的绝对值编码器通信接口研究[D]. 天津:天津理工大学, 2014.
- [10] 张琴琴,杨建宏,刘琳. 基于 DSP 的绝对式光电编码器串行接口设计[J]. 现代电子技术, 2012, 35(14):185-188.
- [11] 康伟伟,王胜勇,卢家斌,等. 一种永磁同步电机初始定位的方法[J]. 电气传动自动化, 2013, 35(5):20-23.

□

欢迎订阅 2017 年《测控技术》

欢迎发布广告信息

- 订阅代号:82-533
- 定价:18.00 元/期
- 每月 18 日出刊

《测控技术》征订  
电子版期刊静态、动态广告!

一朝发布,持续在线,  
让广告展示无穷的生命活力,  
不再为刊期、页面、成本困扰!

网址:www.mct.com.cn 或 ckjs.ijournals.cn(测控在线)  
电话:(010)65667357 / 65665345