

[自控·检测]

DOI:10.3969/j.issn.1005-2895.2018.04.010

基于 TMS320F28377S 的双位置解算系统及其应用

孙鹏, 马钧华

(浙江大学电气工程学院, 浙江杭州 310027)

摘要:为提高传动系统位置检测的精度和安全性以及减小系统首末端的位置偏差,提出了绝对式光电编码器和旋转变压器的双位置解算方案。基于高速芯片 TMS320F28377S 设计了绝对式光电编码器和 DSP 的通信电路,运用 SCI 模块与光电编码器通信;设计了旋转变压器与 DSP 的接口电路,对旋转变压器的输出信号进行 160 倍过采样并相敏整流;分别在传动系统首端和末端安装绝对式光电编码器和旋转变压器,位置解算结果相互验证,确保传动系统位置解算的正确性和安全性。实验表明该方案能快速准确地实现位置的检测,提高传动系统的性能。

关键词:电机控制;TMS320F28377S 控制芯片;绝对式光电编码器;旋转变压器;位置检测;位置偏差
中图分类号:TM383 **文献标志码:**A **文章编号:**1005-2895(2018)04-0048-06

Dual Position Solving System Based on TMS320F28377S and Application

SUN Peng, MA Junhua

(College of Electrical Engineering, Zhejiang University, Hangzhou 310027, China)

Abstract: In order to improve the accuracy and safety of the position detection of the transmission system and to reduce the position deviation, the dual position solving method of absolute photoelectric encoder and resolver was proposed. Based on the high-speed chip TMS320F28377S, communication circuit of absolute photoelectric encoder and DSP was designed, the SCI module was used to communicate with the encoder; the interface circuit between the resolver and the DSP was designed, and the output signal was sampled over 160 times and phase sensitive was rectified; The encoder and the resolver were installed at the first and end of the transmission system respectively, and the position solving results were verified mutually, ensuring the correctness and safety of the position. The experiment shows that the method can detect the position quickly and accurately, and can improve the system's performance.

Keywords: motor control; TMS320F28377S; absolute photoelectric encoder; resolver; position detection; position deviation

现代伺服系统需要实时检测电机转子位置和转速,以实现伺服控制中矢量控制的角度解耦、速度闭环和位置闭环。位置检测通常采用光电编码器和旋转变压器,光电编码器输出位置精度高,通常用于精密机械制造等精工行业,而旋转变压器由于其抗干扰能力强和输出纯绝对位置的特性,可应用于起重机械、风力发电、露天机械和武器装备等工况恶劣的场合^[1-2]。

课题组以高性能芯片 TMS320F28377S 为基础,设计了双位置解算系统,即绝对式光电编码器和旋转变压器的位置解算系统。该系统用 SCI 模块与光电编码器通信,并对编码器的返回数据进行解码,获得转子位

置;用 ADC 模块对旋转变压器的输出信号进行过采样并相敏整流,提高旋转编码器的解码精度。

将文中位置解算系统应用于多级且传动比较大的传动系统,分别在传动系统首端和末端安装多圈绝对式光电编码器和旋转变压器。首端的多圈绝对式光电编码器对应于电机到负载的高传动比,且精度高;末端的旋转变压器适用于 360° 运行范围的执行机构。首端和末端的位置解算结果相互验证,以提高系统的位置解码安全、传动链的过载监测和总体精度。

1 绝对光电编码器位置解算系统

以多摩川 Smart Abs 系列编码器 TS5667N120 为

收稿日期:2018-01-05;修回日期:2018-03-20

第一作者简介:孙鹏(1992),男,江苏连云港人,硕士研究生,主要研究方向为电机驱动与位置检测。E-mail:ssunp@163.com

研究对象,该编码器为电子式多圈绝对编码器,单圈分辨率 17 bit,多圈分辨率 16 bit,采用 5 V 单电源供电,可附加外接电池,以便在电源掉电时保存多圈的位置值,不至于数据丢失^[3]。

1.1 通信接口电路设计

TS5667N120 编码器采用高速串行通信方式输出转子的绝对位置数据,多摩川公司提供专用的处理芯片 AU5561,可将编码器输出的串行信号转换为并行信号,再由 DSP 读取,芯片的应用电路如图 1 所示。专用的解码芯片费用高,通用性低,且位置数据需经过 2 次传递才能传送至 DSP。

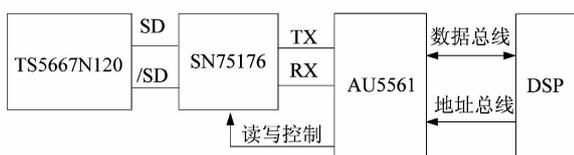


图 1 解码芯片 AU5561 的应用电路

Figure 1 Application circuit of AU5561

随着高速 DSP 的出现,采用 DSP 的串行通信 SCI 模块实现与编码器的直接通信并完成解码成为可能。文中采用主频 200 MHz 的 28377S 高速 DSP 直接与编码器通信并解码,降低了系统硬件成本,同时提高了位置刷新速度。

编码器与 DSP 接口电路设计如图 2 所示。

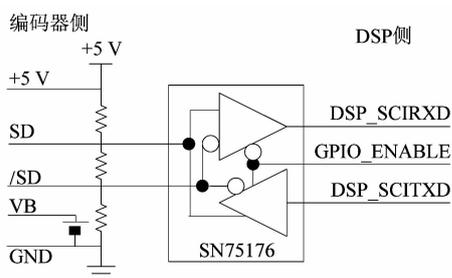


图 2 编码器与 DSP 接口电路

Figure 2 Interface circuit of encoder and DSP

编码器接口信号为 RS485 差分信号,波特率 2.5 Mbit/s,双向差分收发芯片 SN75176 可以实现 DSP 与编码器之间的数据转换。SCI 模块设置接收、发送和使能引脚,实现 DSP 与编码器之间的数据传输。

1.2 位置解码设计

编码器 TS5667N120 的信号输出采用“请求-应答”的形式,即 DSP 端发送请求命令,编码器根据请求命令返回相应的参数和电机状态信息,DSP 接收编码器传回的数据,编码器与 DSP 之间的数据传输时序图见图 3。

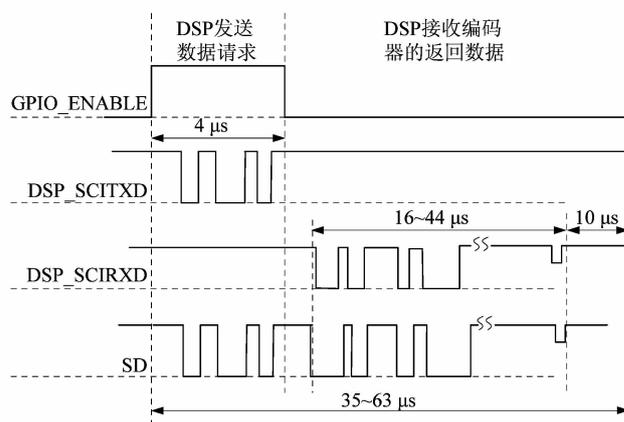


图 3 编码器与 DSP 数据传输时序图

Figure 3 Data transmission sequence

由图 3 数据传输时序图可知,DSP 完成数据请求发送的时间约为 4 μs,接收从编码器返回的数据需要 16 ~ 44 μs,数据校验需要 10 μs,一个完整的“请求-应答”数据交换过程的时间为 35 ~ 63 μs。因此,需合理配置 SCI 模块和设置数据读取的时间间隔,实现编码器和 DSP 之间正确的通信时序。

编码器 TS5667N120 的数据帧格式为 1 位起始位,8 位数据位,1 位停止位,接收请求和返回数据的数据格式如图 4 所示^[4-6]。



图 4 编码器通信数据格式

Figure 4 Encoder communication data format

编码器返回数据中含有状态帧 SF(包含电机的状态信息)、数据帧 DF0-DFn(包含位置信息和报警信息)等。对数据帧进行处理可以得到当前的单圈位置值和多圈位置值。

表 1 所示为编码器返回的一组数据,表中只列出了与位置相关的数据帧,可以确定当前多圈位置值为 0xFFC7,单圈位置值为 0x05AA3。

表 1 编码器返回数据说明

Table 1 Description of returned data

帧	数据	说明
DF5	0xFF	多圈位置值 8 ~ 15 bit
DF4	0xC7	多圈位置值 0 ~ 7 bit
DF2	0x00	单圈位置值 16 bit
DF1	0x5A	单圈位置值 8 ~ 15 bit
DF0	0xA3	单圈位置值 0 ~ 7 bit

2 旋转变压器位置解算系统

实验所用的旋转变压器型号为多摩川公司的 TS2640N321E64, 该旋转变压器为一对级、无刷结构, 输出电压形式为正余弦, 工作原理如图 5 所示。

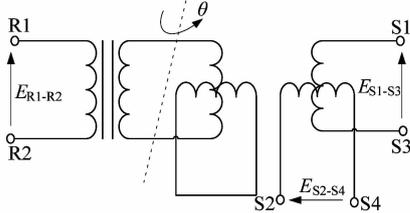


图 5 旋转变压器工作原理图

Figure 5 Principle of resolver

正常工作时, 励磁绕组中施加频率为 10 kHz 的正弦交流电压 E_{R1-R2} , 电压通过无刷结构在转子绕组中感应出激磁电压, 再经转子耦合到定子侧的正余弦绕组中, 其中携带了转子位置角 θ 的信息。定子侧感应出的正弦电压信号 E_{S2-S4} 和余弦电压信号 E_{S1-S3} , 满足:

$$\left. \begin{aligned} E_{S1-S3} &= KE_{R1-R2} \cos \theta; \\ E_{S2-S4} &= KE_{R1-R2} \sin \theta. \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

式中: K 为旋转变压器变比; θ 为转子位置角。

由式(1)可以看出, 旋转变压器的输出信号是励磁信号对转子位置角的正余弦调制, 对输出信号进行采样并解码, 就可以获得转子的绝对位置角度。但旋转变压器的输出信号无法直接被 DSP 采用, 可以使用专用的解码芯片, 如 AD2S1205、AU6802 等^[7-8], 直接输出转子位置供 DSP 使用, 也可以设计接口电路对旋转变压器输出信号进行调理, 然后由 DSP 直接采样并对采样信号进行解码^[9-10]。DSP 直接解码的方法成本低, 系统结构简单, 且随着 DSP 性能的提升, 解码的位置精度也达到了专用芯片的水平。

2.1 旋转变压器接口电路设计

旋转变压器正常工作时需要 10 kHz 的励磁电压, 设计由 DSP 的 PWM 模块生成, 经电路调理后接至励磁绕组; 旋转变压器输出信号为高频调制信号, 接入 DSP 前同样需要经过电路处理。

图 6~7 所示为励磁信号接口电路和信号采样接口电路^[11]。

DSP 的 PWM 模块工作频率为 160 kHz, PWM+ 和 PWM- 为互补的 PWM 波, 经滤波后形成频率为 10 kHz、相位相差 180° 的 2 路单极性正弦电压信号。后续的运算放大器电路将 2 路单极性的信号转变为双极性的信号, 并进行功率放大, 获得可以驱动旋转变压器的励磁电压。

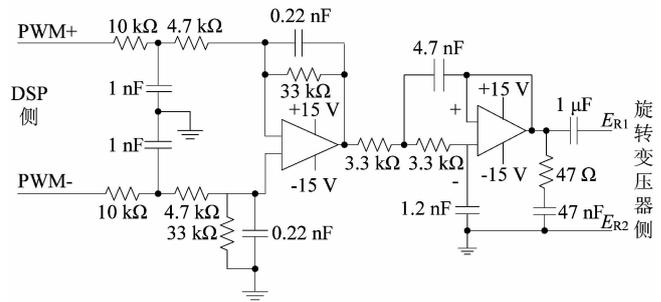
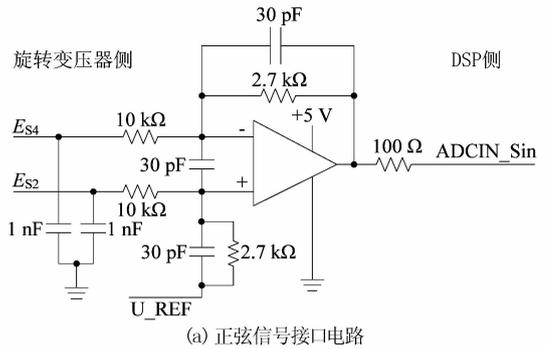
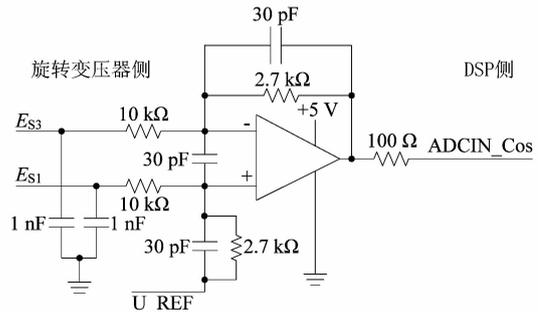


图 6 励磁信号接口电路

Figure 6 Interface circuit of excitation signal



(a) 正弦信号接口电路



(b) 余弦信号接口电路

图 7 信号采样接口电路

Figure 7 Interface circuit of sampling signal

图 7 中的电路完成旋转变压器 2 路差分信号的放大、电平平移和调理, 通过合理设置电路参数, 使调理后的正余弦信号满足 ADC 输入电压 0~3 V 的要求。

2.2 旋转变压器位置解码设计

TI C28x 系列 DSP 的 ADC 模块的分辨率是 12 bit, 为提高旋转变压器位置解码精度, 考虑采用过采样技术。系统产生的励磁电压频率为 10 kHz, ADC 采样频率设计为 1 600 kHz, 过采样率为 160, 即每个励磁周期采样 160 个数据。为避免主 CPU 频繁读取 ADC 采样值, 降低系统实时性和执行效率, 设计 CLA 程序读取 ADC 采样值并进行预处理。

CLA(控制律加速器)是独立于主 CPU 的运算控制器, 处理频率与主 CPU 相同, 且中断延迟低, 能即时

读取 ADC 采样值。以 ADCIN_Sin 通道为例,CLA 每读取 10 个正弦信号的采样值,就对这 10 个采样值进行累加,生成一个预处理值并放至 Message RAM,即预处理值刷新频率为 160 kHz。设置 CPU 以 160 kHz 的频率从 Message RAM 读取预处理值,每个励磁周期共读取 16 个预处理值,对这 16 个预处理值进行相敏整流并运算,得到正弦信号的计算值;类似的,对 ADCIN_Cos 通道做同样的过采样和相敏整流,得到余弦信号的计算值。

图 8 所示为相敏整流后的一个励磁周期的图形, $u_0 \sim u_{15}$ 为该励磁周期内的 CPU 读取的 16 个经相敏整流后的预处理值, U_{8a} 、 U_{8b} 、 U_{16} 为不同情况下选取的计算值。

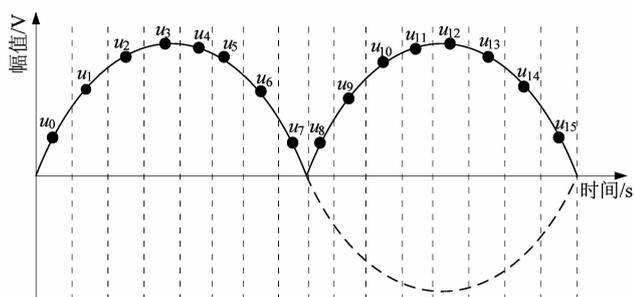


图 8 预处理值与计算值示意图
Figure 8 Diagram of preprocessing and calculating values

记 $f(x)$ 为某种算法,则

$$\left. \begin{aligned} U_{8a} &= f(u_0, u_1, \dots, u_7); \\ U_{8b} &= f(u_8, u_9, \dots, u_{15}); \\ U_{16} &= f(u_0, u_1, \dots, u_{15}). \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

对 16 个预处理值进行运算得到计算值 U_{16} , 计算值的刷新频率为 10 kHz;对 16 个预处理值的前、后 8 个值分别运算,得到 2 个计算值: U_{8a} 和 U_{8b} , 计算值的刷新频率为 20 kHz。采用的算法不同,计算值的刷新频率也不同。

转子位置有

$$\theta = \arctan \frac{U_{\text{sincal}}}{U_{\text{coscal}}} \quad (3)$$

式中: U_{sincal} 和 U_{coscal} 分别为正弦信号和余弦信号的计算值。

3 传动系统的设计

实际的传动系统通过传动链控制末端的机械位置,传动链一般由多级的减速装置构成。传动链存在弹性变形和间隙,极端情况下会出现断裂或离合器分离的情况,造成电机端的位置与末端位置失去同步,降

低了系统的安全性和精度^[12]。

出于安全和提高精度的考虑,需要在末端安装第二位置传感器。根据对上述位置解算系统的研究,选择在传动系统末端安装旋转变压器,旋转变压器输出的是绝对位置且输出信号不会丢失,可以确保绝对位置的正确性和位置读取的安全,虽然旋转变压器精度不如高精度的编码器,但环境适应性比较好;传动系统首端采用的位置传感器是安装于电机壳内的多圈绝对式光电编码器,可以解析首端电机到末端负载的高传动比,如图 9 所示,传动比为 $n:m$ 。

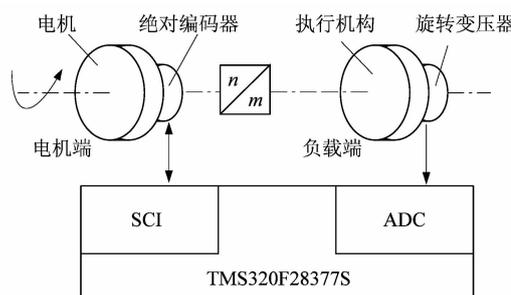


图 9 传动系统结构

Figure 9 Structure of transmission system

正常工作时,使用多圈绝对式光电编码器的换算位置作为末端的控制位置,旋转变压器的位置作为同步监测位置。由于旋转变压器输出的位置是末端负载的实际位置,因此在光电编码器因掉电而丢失位置数据或传动链误差累积到限定值时,可根据旋转变压器的同步监测位置重新修复光电编码器的位置。

所以得到该传动系统的双位置解算的软件流程图如图 10 所示。

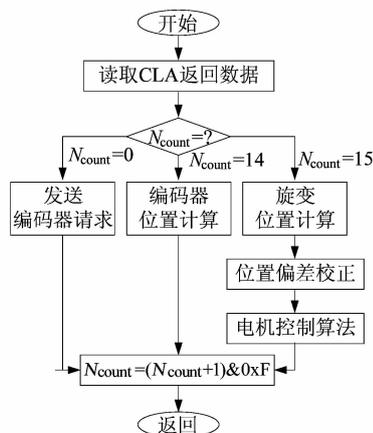


图 10 双位置解算系统流程图

Figure 10 Dual position resolving algorithm flow chart

图 10 中断程序频率设置为 160 kHz,以 N_{count} 计数。DSP 发送数据请求到编码器返回数据并处理的时间间隔为 $93.75 \mu s$,大于 $63 \mu s$,确保 DSP 和编码器通信正常。旋转变压器的位置计算在 16 个预处理值读取完成之后,旋转变压器的位置可以用来监测编码器的位置,以消除编码器断电故障、断轴或传动链误差引起的位置偏差。

4 实验结果与分析

图 11 ~ 12 分别为按传动比 1:1 配置时的绝对式编码器(为对比方便,仅显示单圈位置值)和旋转变压器的位置解算结果,图 13 所示是 2 种位置解算结果的差值,运行条件为 1 500 r/min,绘图采样频率为 2 kHz。由图可以看出转子位置周期性变化,线性度好;以编码器位置值为基准位置值,旋转变压器位置解码误差范围在 $\pm 0.1^\circ$ 内。

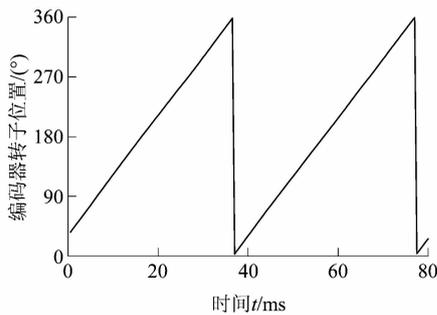


图 11 编码器转子位置变化曲线
Figure 11 Position's graph of encoder

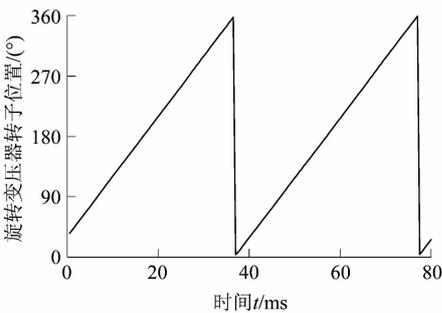


图 12 旋转变压器转子位置变化曲线
Figure 12 Position's graph of resolver

图 14(a)和(b)是旋转变压器处于同一位置时的解算结果,区别是图 14(b)使用了过采样技术。可以看出采用过采样技术时,位置解算结果的最大变化范围为 0.05° ,达到了 12 位的分辨率,高精度的位置解算结果可以重修复光电编码器的位置,提高了系统的位置解码安全和总体精度。

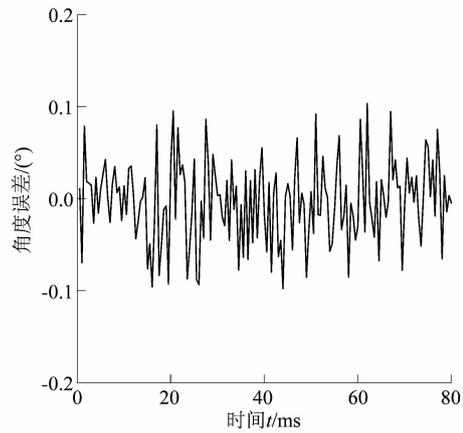


图 13 误差曲线
Figure 13 Error graph

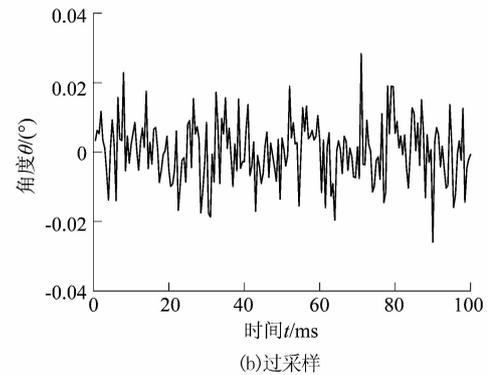
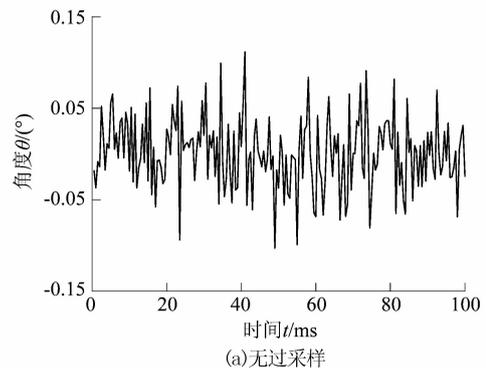


图 14 位置解算结果
Figure 14 Position solving result

5 结语

基于 TMS320F28377S 设计的双位置解算系统,实现了对通信接口光电编码器和旋转变压器的位置解码。通信接口编码器的位置值(16 位的多圈位置值和 17 位的单圈位置值)刷新频率可到 10 kHz;对旋转变压器的输出信号进行过采样,并运用 CLA 处理相关数据,获得了较高的解码精度,旋转变压器位置值的刷新频率可达 10 kHz 或 20 kHz。该系统直接实现 2 个位
(下转第 59 页)