

# 高可靠性增量式光电编码器接口电路设计

蒋 晶, 蒋东方, 高 航

(西北工业大学 自动化学院, 陕西 西安 710072)

**摘要:**针对目前增量式光电编码器辨向计数电路脉冲或抖动干扰抑制能力差的问题,提出了一种基于有限状态机的编码器接口电路设计方案,并给出了硬件实现。首先将光电编码器输出的 A、B 两路信号在每个脉冲周期内的电平变化细分为 4 个子段,总结出正、反向旋转时 A、B 信号电平的正常变化规律,并引入有限状态机方法进行描述;再利用状态机机制,检测出光电编码器输出的信号的各种有效、错误和无效状态,同时正确输出转速计数脉冲、旋转方向、出错报警 3 路信号,以满足高准确度和高容错性计数的要求,增强角位置测量系统的可靠性;最后介绍了采用 EPROM 完成状态机时序电路实现的具体方法。

**关键词:**角位置/速率测量系统;增量式光电编码器;辨向计数电路;有限状态机;抖动抑制

**中图分类号:**TP212 **文献标识码:**A **文章编号:**1000-8829(2009)02-0001-04

## A High Accuracy Interface Circuit Design for Incremental Photoelectric Encoder

JIANG Jing, JIANG Dong-fang, GAO Hang

(College of Automation, Northwestern Polytechnical University, Xi'an 710072, China)

**Abstract:** To overcome the shortcomings such as low tolerance in pulse disturbance and shaking rotating error rejection existed in current interface circuit for incremental photo-electric encoder, a finite-state machine based encoder interface circuit design and its implementation is proposed. The encoder outputted A, B signals within every pulse cycle are divided into four sub-segment, their translating laws in positive and negative rotating direction are extracted and described with finite-state machine at first. Latter, with help of state-machine, normal encoder pulse, rotate direction, error state/invalid state are detected from the encoder signals. Three output signals are generated respectively for satisfying high accuracy and high error tolerance pulse counting, angle position measurement requirement. The EEPROM based implementation of the state-machine is introduced at last.

**Key words:** angle position/velocity measurement system; incremental photoelectric encoder; direction recognition and pulse counting circuit; finite state machine; shaking rejection

光电编码器是现代伺服系统中广泛应用的角位移或角速率测量传感器,分为绝对式和增量式两种类型。增量式光电编码器以体积小、价格低、精度高、响应速度快、性能稳定等优点,应用更为广泛。在高分辨率和大量程角速率/位移测量系统中,增量式光电编码器更具优越性。增量式光电编码器一般输出 A、B、Z 3 路脉冲信号。光电编码器每旋转一圈 Z 信号端输出仅一个脉冲,故 Z 信号主要用于同步或调零,一般不需

做额外处理。A、B 信号包含了被测对象的旋转方向、旋转速率等信息。当检测对象旋转时,同轴或关联安装的光电编码器便会输出 A、B 两路相位相差 90° 的数字脉冲信号。图 1 给出了编码器正反转时 A、B 信号的波形及其时序关系,当编码器正转时 A 信号的相位超前 B 信号 90°,如图 1(a)所示,反转时则 B 信号相位超前 A 信号 90°,如图 1(b)所示。A 和 B 输出的脉冲个数与被测角位移变化量成线性关系,因此,通过对脉冲个数计数就能计算出相应的角位移。根据 A 和 B 之间的这种关系正确地解调出被测机械的旋转方向和旋转角位移/速率就是所谓的脉冲辨向和计数。脉冲的辨向和计数既可用软件实现也可用硬件实现。软件实现严重占用 CPU 计算时间,故目前应用上更多地采用硬件方法,也就是使用辨向和计数接口电路。

目前,增量式光电编码器常见的接口电路一般都

收稿日期:2008-09-22

**作者简介:**蒋晶(1981—),男,湖北省孝感人,硕士研究生,主要研究领域为智能仪器、光电传感器与非接触式测量技术;蒋东方(1968—),男,湖北省汉川市人,副教授,硕士研究生导师,主要研究领域为嵌入式系统、稳定与随动控制系统、微信号提纯;高航(1983—),男,河北省石家庄市人,硕士研究生,主要研究领域为稳定与随动控制系统、集成测试与控制系统。

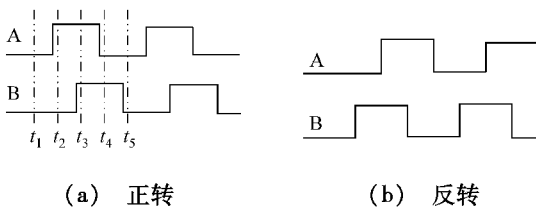


图 1 编码器正转和反转波形

是根据 A 或 B 信号在一个脉冲周期中的某一特定跳变沿时刻另一个信号的电平高低来进行辨向和计数的<sup>[1~3]</sup>。这些方法抗干扰能力较差。一旦因外界干扰引起 A、B 相的错误跳变,方向判断就极易出错<sup>[4]</sup>,从而引起位置计数器的错误计数。此外,如果光电编码器在 A 或 B 相信号的跳变沿位置来回旋转(对应 0 转速附近旋转方向的反复切换),则尽管被测机械没有角位移积累,而这种抖动却可以在 A 或 B 信号端产生很多个跳变沿,使得位置计数器连续地计数而造成严重的计数错误<sup>[2,3]</sup>,而且这类错误在现有的接口电路中没有设置报警指示,因而影响位置控制等实际应用。针对以上问题,介绍了一种基于有限状态机的增量式光电编码器辨向和计数接口电路,解决现有的一些接口电路中存在的抗噪声干扰和消除抖动影响能力差的问题。并介绍采用 EPROM 实现有关时序电路的方法<sup>[3,5]</sup>。

### 1 有限状态机设计

从图 1 不难看出,信号跳变沿是 A 和 B 两路信号关键参考时刻点,而短脉冲型干扰很容易引入虚假的跳变沿,从而导致位置或速率计数错误。若将这里对 A、B 两相信号的跳变沿检测改为采样 A、B 两相信号的电平变化次序,则可以克服以上问题。如图 1(a)所示,当光电编码器正转时,编码器输出的 A 相信号超前 B 相。在一个脉冲周期内,A、B 两相信号共经历 4 个阶段,对应 4 种状态。在图 1(a)中  $t_1, t_2, t_3, t_4$  时刻点能依次检测到这 4 种状态。若用“10”表示信号 A 电平为高、信号 B 电平为低这种状态,则编码器正转时在一个脉冲周期内 A、B 两相对应的状态变化次序为:00→10→11→01。当光电编码器反转时,一个脉冲周期内 A、B 两相对应的状态变化为:00→01→11→10。只有依次经历这 4 种状态,才表示被测机械转动了一个光电脉冲对应的转角。当编码器和线路受到干扰或出现故障时,A、B 信号的电平状态将不同于以上两种变化次序,即可判断为出错或有干扰,可以进行适当的处理

#### 1.1 有限状态机设计

将 A、B 两路信号电平的变化次序用有限状态机来描述,该有限状态机的状态转换图如图 2 所示。

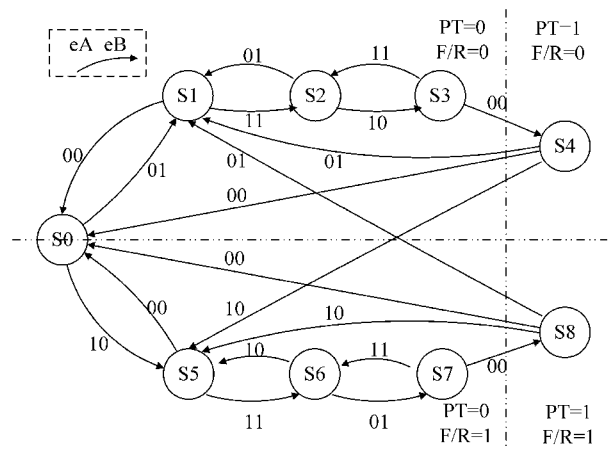


图 2 有限状态机

图中,eA、eB 是状态转移的条件,表示 A、B 两相输入信号的当前电平,用“0”表示低电平,用“1”表示高电平。PT 是脉冲输出信号,F/R 是转动方向输出信号。F/R=1 和 F/R=0 分别表示正转和反转。S0~S8 为不同的状态。记起始状态为 S0,不失一般性,设 S0 时对 A、B 的记忆电平均为 0,且 Error=0,PT=0,F/R=0。图中虚线将平面区域分成 4 个象限,上下两个半区分别表示编码器反转和正转时的状态转移情况(F/R=1 为正转,F/R=0 为反转),当编码器从初始态向一个方向转动并转过一个脉冲周期对应的角度时,只有 A、B 两相构成的状态切换按正确次序循环一周,即反转时状态转移次序为 S0→S1→S2→S3→S4,正转时状态转移次序为 S0→S5→S6→S7→S8,接口电路才输出一个转角脉冲(PT=1),同时将 S4 或 S8 视作下一个脉冲周期起始状态。按照图 2 的状态机设计,在每个输入脉冲周期内的任何时刻出现噪声干扰或抖动都不会使状态转移到第二象限,也就不会有计数信号的输出,从而可达到干扰抑制的目的。

#### 1.2 噪声和抖动干扰抑制原理

图 3(a)中给出了编码器正转时 A 相信号在  $t_1$  时刻受噪声干扰而出现一个正向跳变沿的情况。若采用常见的简单计数方法,则会在  $t_1$  时刻检测到 A 相的上跳沿,B 相为低电平,计数器将进行加 1 操作,从而导致计数错误。若采用上节介绍的方法, $t_1$  时刻前后 A、B 信号电平的采样情况为 00-10-00,从图 2 的状态转移图中可以看出, $t_1$  处的干扰将使状态机在状态 S0 和 S5 之间转移一次又回到 S0,不能到达 S4 或 S8,也就不会有计数信号的输出。其他时刻出现噪声干扰而被抑制的原理与此类似。

图 3(b)中给出了正转时 A 相信号在上升沿处来回抖动的情况,按照其他计数接口设计方法,在  $t_1$  到  $t_2$  间会检测到 A 相信号的许多上升沿跳变,而 B 相信号始终保持低电平,位置计数器将进行多次加 1 操作,导

致位移测量计数错误。若采用本方法,在时刻  $t_1$  到  $t_2$  间的电平采样值为:00 - 10 - 00 - 10 - 00 - 10 - 00 …… ,对比图 2 发现抖动过程中电路的状态始终在 S0 和 S5 间转移,不能到达 S4 或 S8,即不能完成完整的状态转移周期,因此不会有计数信号输出,也就可以消除抖动引起的计数错误。

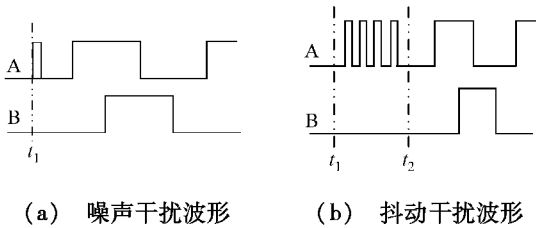


图 3 噪声和抖动干扰波形

## 2 有限状态机的电路实现

### 2.1 状态编码

辨向和计数接口电路有两路输入信号,即来自光电编码器的输出信号 A 和 B;输出信号有 3 路,分别为 PT、F/R、Error。此电路工作状态数为 9,要实现完全状态编码,需要采用四位二进制数。若用四位编码中的高两位 ( $X_3 X_2$ ) 反映 PT、F/R 的电平信息,低两位 ( $X_1 X_0$ ) 反映上一采样时刻 A、B 信号电平的相关信息。则图 2 中的状态编码分别对应为: S0:0000, S1:0001, S2:0011, S3:0010, S4:1000, S5:0110, S6:0111, S7:0101, S8:1100。值得注意的是,由于四位二进制数可编码 16 种状态,这里只用到了其中的 9 种,其他 7 种,如:1010、0100 等应视为无效状态,在进行时序电路设计时,需对这 7 种无效状态设计相应的处理机制,以解决电路的自启动问题。

### 2.2 电路实现

为了简化硬件电路并提高设计灵活性,可采用 EPROM 和锁存器来设计有限状态机时序电路。EPROM 不妨选用 Intel27512,触发器选用 74ls273 八位 D 锁存器。因实际电路的最大状态数为 9,故只需使用八位锁存器中的 4 位。具体的逻辑电路如图 4 所示。

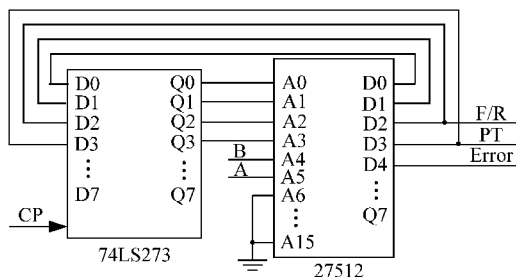


图 4 逻辑电路图

图 4 中 CP 信号是采样时钟,用以控制接口电路

对输入的 A、B 两路信号进行采样。接口电路的输出就是上文指出的 PT、F/R 和 Error 3 路信号。因为在一个信号周期内需对 A、B 两相信号进行至少 4 次采样才能准确跟踪 A、B 信号的电平变化情况,所以这里的采样时钟 CP 的频率  $f_{cp}$  应大于光电编码器输出脉冲最大频率  $f_{max}$  的 4 倍。较高的  $f_{cp}$  对电路的可靠性是有利的,但需要考虑 EPROM 的读写时间和输出计数脉冲信号脉宽的问题。因 CP 信号的周期不能小于 EPROM 的读写时间,同时以上电路输出的 PT 脉冲的高电平宽度(脉宽)与 CP 的周期相等,故一般情况下选择  $f_{cp} = 8f_{max}$  较为合适。图 4 中 EPROM 的地址与编码数据如表 1 所示。

表 1 EPROM 编码表

地址		S <sub>n</sub> 注	数据				S <sub>n+1</sub>	编码							
A <sub>5</sub>	A <sub>4</sub>		D <sub>4</sub>	D <sub>3</sub>	D <sub>2</sub>	D <sub>1</sub>		D <sub>0</sub>	地址	数据					
0	0	0	0	0	0	0	S0	00H	00H						
0	0	0	0	0	0	1	S1	01H	00H						
0	0	0	0	1	0	0	S3	02H	08H						
0	0	0	0	1	1	0	S2	03H	13H						
0	0	0	1	0	0	0	S7	05H	0CH						
0	0	0	1	1	0	0	S5	06H	00H						
0	0	0	1	1	1	0	S6	07H	17H						
0	0	1	0	0	0	0	S4	08H	00H						
0	0	1	1	0	0	0	S8	0CH	00H						
0	1	0	0	0	0	0	S0	10H	01H						
0	1	0	0	0	1	0	S1	11H	01H						
0	1	0	0	1	0	0	S3	12H	12H						
0	1	0	0	1	1	0	S2	13H	01H						
0	1	0	1	0	0	0	S7	15H	05H						
0	1	0	1	1	0	0	S5	16H	16H						
0	1	0	1	1	1	0	S6	17H	05H						
0	1	1	0	0	0	0	S4	18H	00H						
0	1	1	1	0	0	0	S8	1CH	00H						
1	0	0	0	0	0	0	S0	20H	06H						
1	0	0	0	0	1	0	S1	21H	11H						
1	0	0	0	1	0	0	S3	22H	02H						
1	0	0	0	1	1	0	S2	23H	02H						
1	0	0	1	0	0	0	S7	25H	15H						
1	0	0	1	1	0	0	S5	26H	00H						
1	0	0	1	1	1	0	S6	27H	06H						
1	0	1	0	0	0	0	S4	28H	00H						
1	0	1	1	0	0	0	S8	-S0	2CH	00H					
1	1	0	0	0	0	0	S0	30H	10H						
1	1	0	0	0	1	0	S1	31H	03H						
1	1	0	0	1	0	0	S3	32H	03H						
1	1	0	0	1	1	0	S2	33H	03H						
1	1	0	1	0	0	0	S7	35H	07H						
1	1	0	1	1	0	0	S5	36H	07H						
1	1	0	1	1	1	0	S6	37H	07H						
1	1	1	0	0	0	0	S4	38H	10H						
1	1	1	1	0	0	0	S8	E	1	0	0	0	S0	3CH	10H

表 1 中 A<sub>5</sub>、A<sub>4</sub> 反映 A、B 信号的输入电平;A<sub>0</sub> ~ A<sub>3</sub> 反映 D 触发器的输出电平,为 D 触发器的现态;D<sub>0</sub> ~ D<sub>3</sub> 为 D 触发器的下一个输入,反映了 D 触发器的次态;现态和次态在表中分别用 S<sub>n</sub> 和 S<sub>n+1</sub> 表示;“E”表

示 A、B 输入有误, D<sub>4</sub> 为错误标志位。

### 2.3 出错和无效状态处理

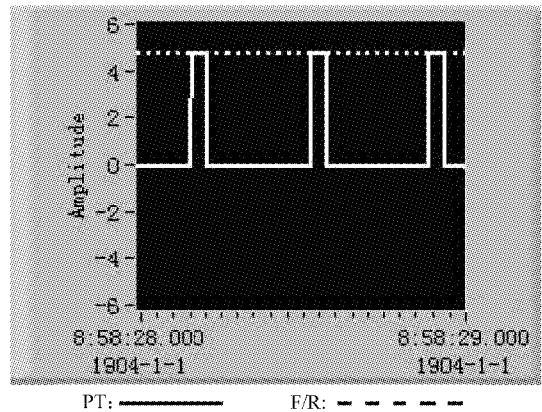
① 错误情况处理。从图 1 可以看出, 编码器正常工作, 在一个脉冲周期内 A、B 两相信号两个相邻时刻的电平采样值最多有一相不同, 当 A、B 两相信号的同时跳变就意味着此时编码器的输出有误, 为了避免这种错误对正常计数的影响, 必须对这种错误情况进行处理。当触发器处于状态 S<sub>4</sub> 或 S<sub>8</sub> 时, 如果编码器出现错误输出即 A、B 都为高电平时(表 1 中地址单元 38H 和 3CH), 置触发器次态为 S<sub>0</sub>, 其他时刻出错则保持触发器当前状态不变, 忽略掉因干扰引起的编码器错误输出的影响, 同时使 Error 有效。

② 无效状态处。无效状态对应的地址单元中的数据编码, 必须设置为一种有效状态, 否则电路可能无法自启动, 在这里将这些单元中的 D<sub>4</sub> 位置 1, 即 Error 端输出有效, 其余位全部置 0, 使触发器返回初始态 S<sub>0</sub>。这里也可根据需要采用未使用的输出位(如 D<sub>5</sub>)作为无效状态报警, 将编码器输出错误报警和出现无效状态报警加以区分, 以便进行不同的报警处理。

## 3 实验结果

实验中采用美国 EPC 公司的 755A 光电编码器, 每转脉冲数为 1024, 触发时钟频率选择约为 8 倍的编码器输出频率。使用波形发生器对编码器输出信号加入脉冲干扰, 通过 PXI6251 数据采集卡对接口电路的输入输出信号进行采集, 采集结果如图 5 所示, 图 5(a) 为在 A 相信号加入脉冲干扰后的波形, 图 5(b) 为编码器输出的计数和方向信号。

可以看出, 加入的脉冲干扰对计数没有影响。抖动干扰的实验情况与此类似, 但在编码器换向时方向信号 F/R 的变化会存在一定的延时(延时不超过一个信号脉冲周期), 这点从状态转移图中也可以看出, 如: 编码器在正转到状态 S<sub>7</sub> 时换向, 只有当编码器反转经过 S<sub>0</sub> 后方向信号才会变化。但方向信号的延时



(b) 电路输出波形

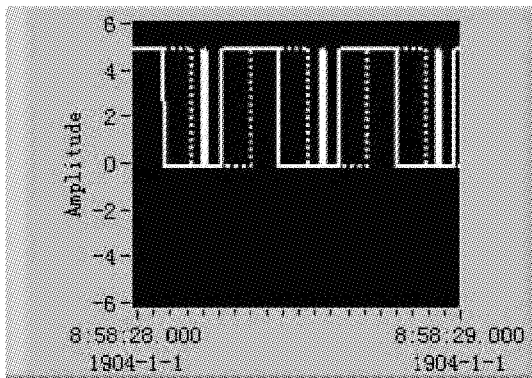
图 5 加入脉冲干扰后电路输入输出波形图并不影响正确计数, 因为此时无计数信号输出。实验结果验证了所设计的接口电路对脉冲和抖动干扰抑制的有效性, 在后续的工作中还可以进一步引入 Z 信号, 对换向时 F/R 信号延时的问题进行补偿。

## 4 结束语

通过对 A、B 信号每个周期电平变化的采样及其规律的分析, 设计了合理的有限状态机和相应处理机制, 实现了对各种因干扰或其他因素引起的错误和无效状态的有效滤除, 并采用 EPROM 进行时序电路的设计, 不仅有效解决了目前一些常见的接口电路容易受噪声干扰和消除抖动影响能力差的问题, 增强了接口电路的干扰抑制和容错能力, 而且电路实现更为简单, 可扩展性更强。

### 参考文献:

- [1] 胡超, 方刚, 王耀. 增量式位移传感器信号的计算机检测[J]. 计量学报, 1997, 18(4): 50-54.
- [2] 朱灿焰. 增量式光电编码器克服抖动干扰的方法[J]. 华东交通大学学报, 1997, 14(1): 3-7.
- [3] 张九才, 王文祥, 等. 增量式编码器抖动性研究[J]. 自动化仪表, 2005, 26(10): 41-42.
- [4] Hébert B, Brulé M, and Dessaint L A. A high efficiency interface for biphase incremental encoder with error detection[J]. IEEE Trans. Ind. Electron, 1993, 40(1): 155-156.
- [5] 容文杰. 一种基于 EPROM 的时序电路设计方法及应用[J]. 石家庄铁道学院学报, 1998, 11(4): 39-44.
- [6] Galvón E, Torralba A, Franquelo L G. ASIC implementation of a digital tachometer with high precision in a wide speed range[J]. IEEE Trans. Ind. Electron, 1996, 43(6): 655-660.
- [7] 刘常澍. 数字逻辑电路[M]. 北京: 国防工业出版社, 2002.
- [8] 赵明富, 包明. 存储器函数变换技术及应用[M]. 北京: 北京航空航天大学出版社, 2004.



(a) 加入脉冲噪声后的 A/B 信号输入波形

□