

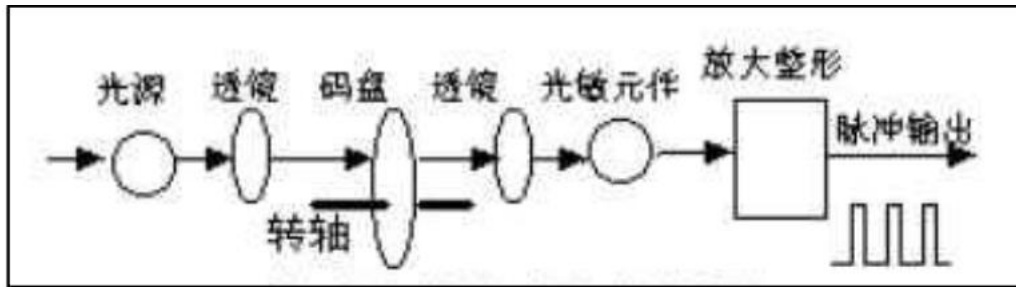
编码器

编码器（也称光电编码器），见图 1，是将信号或数据进行编制、转换为可用以通讯、传输和存储的信号形式的设备。编码器把角位移或直线位移转换成电信号，前者称为码盘，后者称为码尺。它是工业中常用的电机定位设备，可以精确的测试电机的角位移和旋转位置。光电编码器是集光、机、电技术于一体的数字化传感器，可以高精度测量被测物的转角或直线位移量。编码器最直接的作用就是可以测量位移，知道位移了就可以计算得到速度了。



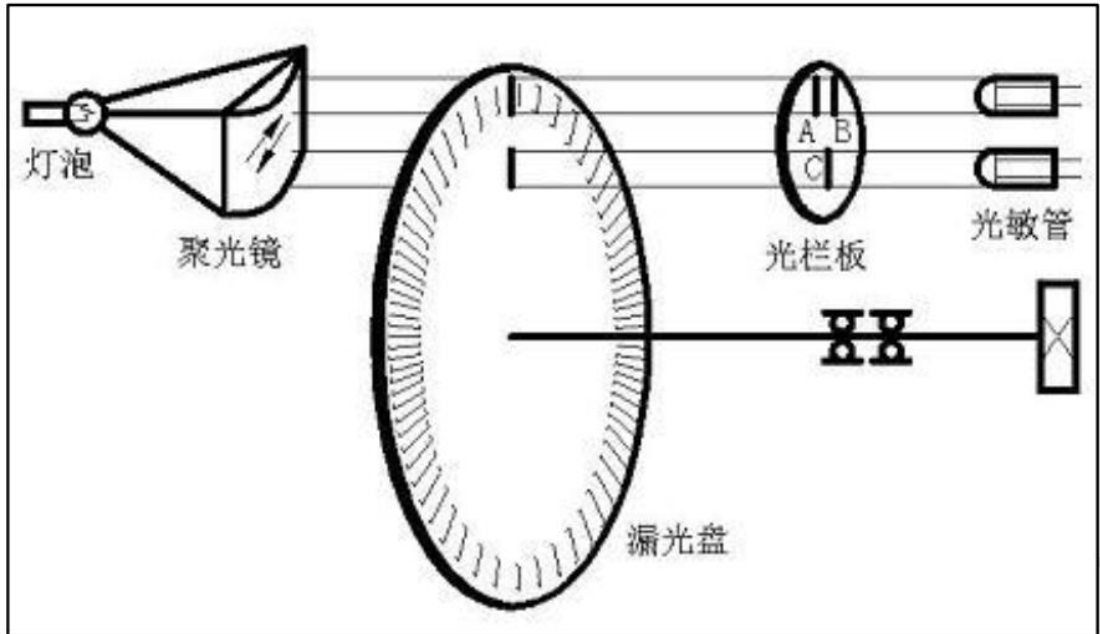
编码器分类及原理按照工作原理编码器可分为增量式和绝对式两类。增量式编码器是将位移转换成周期性的电信号，再把这个电信号转变成计数脉冲，用脉冲的个数表示位移的大小。绝对式编码器的每一个位置对应一个确定的数字码，因此它的示值只与测量的起始和终止位

置有关，而与测量的中间过程无关。编码器工作原理模型，见图 2。

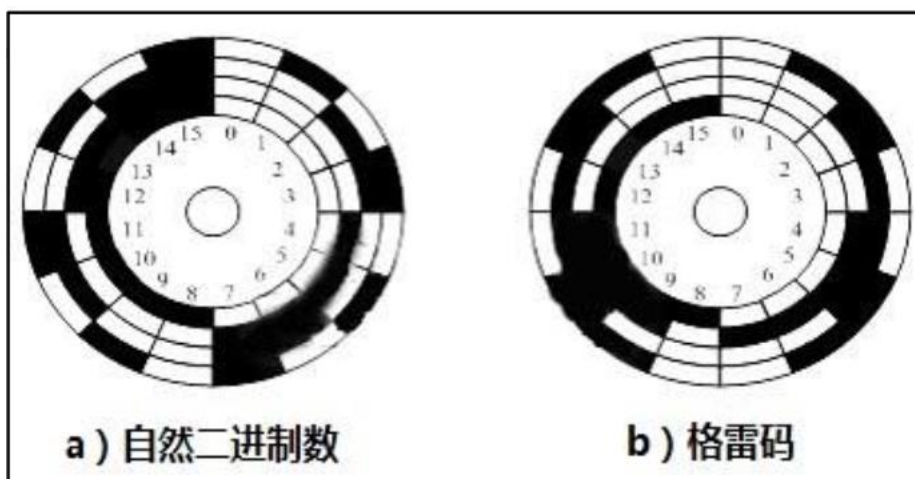


1. 增量式编码器

增量式编码器通常有 3 个输出口，分别为 A 相、B 相、Z 相（有些也标称为 C 相）输出，A 相与 B 相之间相互延迟 $1/4$ 周期（90 度）的脉冲输出，根据延迟关系可以区别正反转，而且通过取 A 相、B 相的上升和下降沿可以进行 2 或 4 倍频；Z 相为单圈脉冲，即每圈发出一个脉冲。增量测量法的光栅由周期性栅条组成。位置信息通过计算自某点开始的增量数(测量步距数)获得。由于必须用绝对参考点确定位置值，因此圆光栅码盘还有一个参考点轨。将位移转换成周期性的电信号，再把这个电信号转变成计数脉冲，用脉冲的个数表示位移的大小。由一个中心有轴的光电码盘，其上有环形通、暗的刻线，有光电发射和接收器件读取，获得四组正弦波信号组合成 A、B、-A、-B,每个正弦波相差 90 度相位差(相对于一个周波为 360 度),将 A、B 信号反向，叠加在 A、B 两相上，可增强稳定信号；另每转输出一个 Z 相脉冲以代表零位参考位，见图 3



绝对式编码器绝对式编码器就是对应一圈，**每个基准的角度**发出一个唯一与该角度**对应二进制的数值**，通过外部记圈器件可以进行多个位置的记录和测量。通过读取编码盘上的二进制的编码信息来表示绝对位置信息的。编码盘是按照一定的编码形式制成的圆盘。如中 a)是二进制的编码盘， b)是格雷码编制，图中空白部分是透光的，用“0”来表示；涂黑的部分是不透光的，用“1”来表示。通常将组成编码的圈称为码道，每个码道表示二进制数的一位，其中最外侧的是最低位，最里侧的是最高位。如果编码盘有 4 个码道，可形成 16 个二进制数，因此就将圆盘划分 16 个扇区，每个扇区对应一个 4 位二进制数，如 0000、0001、…、1111，见图 4。



由于制造和安装精度的影响，码盘回转在交替码段过程中会产生读数误差，该误差可用格雷码盘形式避免，该盘特点：**任意相邻的两个代码间只有一位代码变化**。格雷码转二进制：

$$B_n = B_{(n+1)} \text{ 异或 } G_n$$

编码器通电时就可立即得到位置值并随时供后续信号处理电子电路读取。无需移动轴执行参考点回零操作。绝对位置信息来自圆光栅码盘，它由一系列绝对码组成。单独的增量刻轨信号通过细分生成位置值，同时也能生成供选用的增量信号。单圈编码器的绝对位置值信息每转一圈重复一次。多圈编码器也能区分每圈的位置值。

3. 两者区别

它们存在着最大的区别：在增量编码器的情况下，位置是从零位标记开始计算的脉冲数量确定的，而绝对型编码器的位置是由输出代码的读数确定的。在一圈里，每个位置的输出代码的读数是唯一的，因此当电源断开时，绝对型编码器并不与实际的位置分离。如果电源再次接通，那么位置读数仍是当前的、有效的，不像增

量编码器那样，必须去寻找零位标记。

4. 编码器参数

□ **分辨率**：编码器的轴每转一圈所输出的脉冲数。编码器以每旋转 360 度提供多少的通或暗刻线称为分辨率，也称解析分度、或直接称多少**线**，一般在每转分度 5~10000 线。

□ **最大响应频率**：编码器在 1 秒钟内能响应的最大脉冲数。其公式为：最高响应频率(Hz) = 编码器分辨率 × 轴的转速(r/min)/60 另称 PPS。

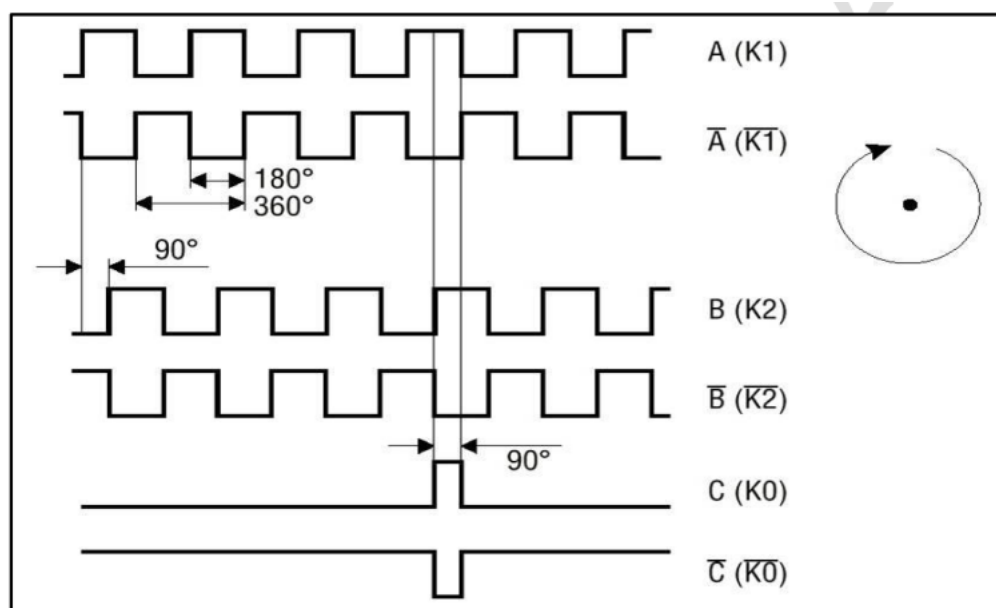
□ **最大转速**：是指编码器机械系统能够承受的最高转速。

□ **绝对编码器信号传输方式**：并行、串行输出或总线型输出。输出电路与增量编码器相似，有集电极开路 PNP、NPN 型、差分驱动、推挽式。

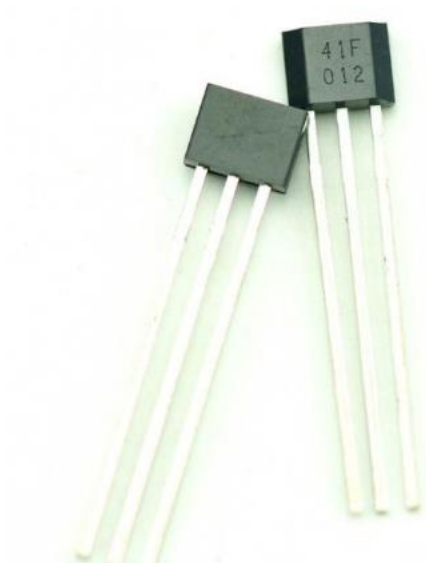
增量式编码器脉冲输入模式

由于 A、B 两相相差 90 度，可通过比较 A 相在前还是 B 相在前，以判别编码器的正转与反转，通过零位脉冲，可获得编码器的零位参考位。见图 5。

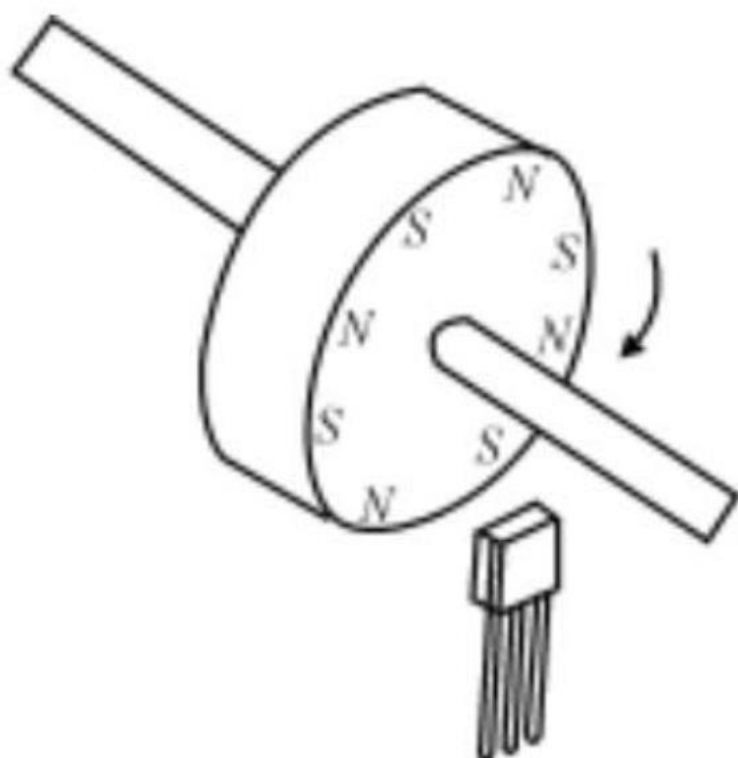
- 1) 如单相联接，用于单方向计数，单方向测速。
- 2) A、B 两相联接，用于正反向计数、判断正反向和测速。
- 3) A、B、Z 三相联接，用于带参考位修正的位置测量。
- 4) A、A-，B、B-，Z、Z-连接，由于带有对称负信号的连接，电流对于电缆贡献的电磁场为 0，衰减最小，抗干扰最佳，可传输较远的距离。



HC130 直流减速电机（简称 130 减速电机）上集成了一个简易的测速装置，这个测速装置与上面讲解的结构有所不同，但它可以实现类似的功能，所以这里也叫做编码器。130 减速电机的编码器是由一个霍尔传感器+铁氧体磁环组成的装置。霍尔传感器是根据霍尔效应制作的一个磁场检测开关，见图 6，霍尔传感器有三根引脚，一根是 VCC（一般接 5V 供电），一根是 GND（电源地），还有一根是信号线，默认情况下该信号线是低电平的，当有磁场接近时（实际就是要求磁场强度达到一定值后）霍尔传感器的信号线就变为高电平；如果此时把磁场移开，信号线又变为低电平。



根据霍尔传感器的原理，我们可以设计如图 7 的测试结构：



当轴旋转时， 固定在轴上面的磁环随之旋转，霍尔传感器附近产生了变化的磁场， 这样在霍尔传感器的信号引脚就可以输出高低电平的脉冲信号。

130 减速电机就集成了这样的编码器： 使用了铁氧体磁环； 有一个集成了两个霍尔传感器的四脚霍尔， 设计时两个霍尔传感器位置与转轴的连线是相差 90 度的； 直流电机轴旋转一圈在霍尔传感器每个引脚有 13 个脉冲信号输出。这样可以得到一个：有 A 相、 B 相的分辨率为 13 的编码器， 同时因为安装结构问题， A 相和 B 相信号存在 90 度的限位差。 130TT 减速电机编码器实物图见图 8。



注意， 这里的磁环是固定在直流电机转轴上的，与减速电机的输出轴是不一样的。减速电机的输出轴是经过减速齿轮变换后的，之前有介绍到该电机的减速比为： 1:48， 所以， 如果减速电机输出轴旋转一圈，实际上可以检测到的编码器每相脉冲数量为： $13 \times 48 = 624$ 个。再通过单片机的编码器接口 4 倍频就是 2496 个脉冲信号，这在我们计算实际位移和速度非常有用。减速电机的引

脚定义如图 9:



2、3、4、5 引脚是编码器相关引脚。只是简单的测速可以只使用 A 相或者 B 相，外加 3.3V 电源和地，三根线搞定。编码器信号检测一般使用 stm32 的定时器输入捕获功能，使用一般把编码器 A 相或者 B 相引脚接入到 stm32 定时器通道引脚，见，这里可以选择高级控制定时器或者通用定时器引脚，开发板专门预留了 TIM3 的 CH3 和 CH4（实际是预留了 PB0 和 PB1 引脚）用于编码器信号捕获。当然，stm32 的高级控制定时器（TIM1 或 TIM8）有一种专门用于读取编码器信号的工作模式，允许同时接入 A 相和 B 相引线。STM32F10x 芯片定时器通道引脚分布见图 10。

高级定时器				通用定时器				基本定时器				
TIM1	默认IO	部分重映射	完全重映射	TIM2	默认IO	部分重映射	部分重映射	完全重映射	TIM6	IO		
ETR	PA12		PE7	CH1_ETR	PA0	PA15	PA0	PA15	通道	没有		
CH1	PA8		PE9	CH2	PA1	PB3	PA1	PB3	TIM7	IO		
CH2	PA9		PE11	CH3		PA2		PE10	通道	没有		
CH3	PA10		PE13	CH4		PA3		PE11				
CH4	PA11		PE14	TIM2的CH1和ETR引脚共用，只能选择一个功能								
BKIN	PB12	PA6	PE15									
CH1N	PB13	PA7	PE8	TIM3	默认IO	部分重映射		完全重映射				
CH2N	PB14	PB0	PE10	ETR			PD2					
CH3N	PB15	PB1	PE12	CH1	PA6	PB4		PC6				
				CH2	PA7	PB5		PC7				
				CH3		PB0		PC8				
				CH4		PB1		PC9				
TIM8	默认IO	部分重映射	完全重映射	TIM4	默认IO		重映射					
ETR	PA0			ETR		PE0						
CH1	PC6			CH1		PB6		PD12				
CH2	PC7			CH2		PB7		PD13				
CH3	PC8			CH3		PB8		PD14				
CH4	PC9			CH4		PB9		PD15				
BKIN	PA6											
CH1N	PA7			TIM5	默认IO		重映射					
CH2N	PB0			CH1	PA0							
CH3N	PE1			CH2	PA1							
				CH3	PA2							
				CH4	PA3		LSI内部时钟(校准作用)					
ETR为外部脉冲输入，即以外部脉冲作为定时器计数驱动源												
BKIN为刹车功能输入引脚												

另外，在控制程序中， 处理编码器数据得到速度的一般有两种方法：

T 法： 计算一定量的脉冲数量所使用的时间， 这个合适用于低速测量；

M 法： 计算一定时间内的脉冲数量。 例程中我们使用该方法测量电机旋转速度