

Scott Bryson

Current and Position Sensing

增量式旋转编码器可将旋转运动转换为电信号，从而更精确地控制自动化系统。与测量角度的绝对编码器不同，增量编码器会在旋转时产生交替的高电平和低电平脉冲，可表示旋转对象的速度和方向。

应用包括计算机鼠标滚轮、流量计、旋钮、轮速传感器、用于检测失步的步进电机反馈，以及用于汽车车窗、天窗、座椅和后视镜的有刷直流电机传感器。

### 输出信号

当只需测量一个旋转方向时，使用具有单路切换输出的编码器，其输出与单路输出类似。

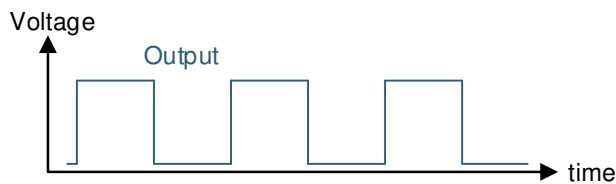


图 1. 单路输出

如果必须区分顺时针和逆时针的运动，请使用两个具有相位偏移的编码器输出。然后，2 位状态的顺序描述了所转动的方向。从 2 位正交输出可以看出，随着每个完整的极对通过编码器，有 4 个独特的输出条件。

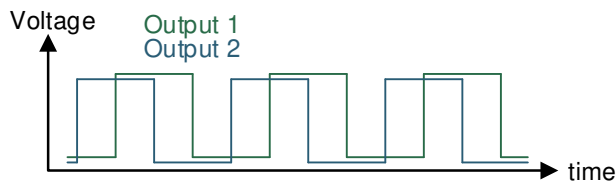


图 2. 2 位正交输出

使用 90° 相位偏移（“正交”）可更大限度地提高每个状态之间的时序裕度，从而防止出现机械容差、传感器不匹配和信号抖动等误差。

### 技术

有多种技术可用于实现增量编码：

1. **接触**：这依赖于机械接触来建立或断开电气连接。通常，金属刷在中心轴附近相邻固定元件上的周期性接触点上被抽出。虽然这是一种无源解决方案，但在机械上往往很复杂，需要去抖时间、容易磨损并且无法一直在脏污环境中运行。
2. **光学**：构建光学编码器时，可使用带切口的光盘以交替模式传递光，并在另一侧使用一个 LED 和两个光电二极管。正确对齐后，这种布置会产生正交序列。光学编码器可以提供非常高的分辨率，但往往体积较大，需要系统保持清洁，并且受 LED 寿命的限制（在高温下 LED 寿命会缩短）。
3. **电感**：由于一个感应线圈会因互感产生电流，电感式传感器能够检测附近的导电目标。将诸如旋转齿轮之类的金属目标放置在一组感应线圈附近会产生正交输出，从而不受杂散直流磁场以及污垢的影响。此外，该感应选项是非接触式的，通常可以在机械设计中使用现有的金属物体。有关详述此解决方案的更多资源，请参阅[相关技术资源](#)。
4. **磁**：磁性增量编码器使用一个具有多个北极和南极的圆形磁体。标准霍尔效应锁存器仅对 B 场矢量的一个分量敏感。因此，这些器件需要间隔放置，从而使 B 场矢量的感应分量产生 90° 相位差。这是通过以下方式实现的：将两个霍尔效应锁存器以  $n + 1/2$  个极的间隔放置，在磁体转动时生成正交输出，如[磁性增量编码器](#)中所示。

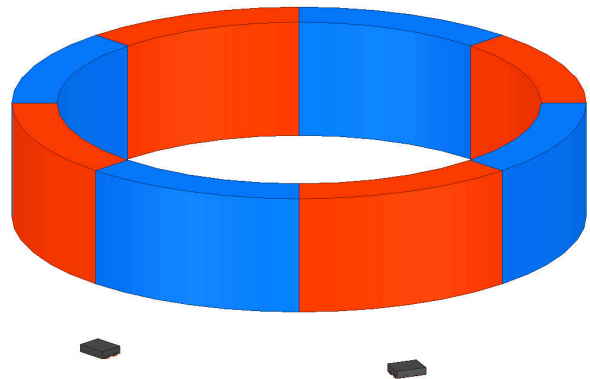


图 3. 磁性增量编码器

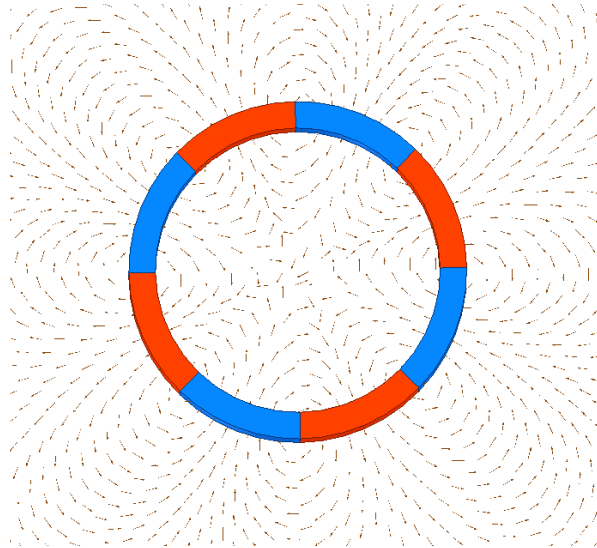


图 4. 平面磁场矢量

由于以下原因，磁性编码器价格低廉、结构紧凑且极其可靠：

- 没有接触，传感器是固态电子器件
- 磁场可以穿透大多数污染物（水、油、污垢），PCB 可以与环境隔离
- 输入感应和输出信号是有效的数字信号，可提供高抗噪性

此外，使用 [TMAG5110](#) 或 [TMAG5111](#) 等 2D 霍尔效应锁存器可进一步简化设计。通过集成对磁场矢量的正交分量敏感的第二个感应元件，可以使用单个器件来测量旋转磁体的正交。这是可以实现的，因为磁体本身可以产生相差 90 度的磁场分量。为了证明这一点，8 极环形磁体的磁场矢量线的剖面图如[平面磁体场矢量](#)所示。

## 每转增量

为编码器选择的磁体极数不同，每转一圈产生的输出状态数量也不同，需要进行一些权衡。

使用闭环速度控制的电机系统需要足够快速的反馈，具体取决于允许的速度容差、负载扭矩可能发生的变化以及电机的惯性。由于每个极对都有 4 种可能的输出状态，因此输出数据速率可用于确定编码器需要的输出状态。转速通常以 RPM（每分钟转数）为单位，如[方程式 1](#) 所示，可帮助确定系统要求。

$$f_{output} = RPM \times \frac{n_{poles}}{60_{sec}} \times 4 \quad (1)$$

在慢速转弯应用中，主要问题通常是每次增量之间的度数。例如，如果需要每 10° 发生一次增量，则适合采用每转具有 36 个输出状态的编码器。由于每个磁极对都有 4 个状态，因此所需的磁体将有 18 个磁极，即 9 对。

较高编码器分辨率的缺点是需要更严格的机械和传感器容差。随着极间距减小，环形磁体的磁化深度也会减小。这限制了传感器观察到的磁场振幅。具有低工作阈值的锁存器非常适合此目的，因为它们能够检测到较弱的磁体并有助于减少正交失准。但是，如果使用极数过多的磁体，霍尔效应锁存器可能没有足够的输入来正确触发。将传感器放置在更靠近磁体的位置可能会解决此问题，但机械容差可能会禁止此类调整。

另一种方法是以比使用传动比跟踪物体更快的速度转动磁体。这样，可以在不牺牲磁场强度的情况下提高精度和分辨率。例如，当一个转换状态以 1:1 的比率占据 10° 的旋转时，在 2:1 的传动比下，同一磁极转换现可占据 5°。无论是哪种情况，都必须注意传感器在转换过程中检测每个极点，传感器采样率应大于每秒极点数的 2 倍，理想情况下至少高 3 倍。有关其他信息，请参阅 [DRV5012 超低功耗数字锁存器霍尔效应传感器](#) 数据表的[应用部分](#)。

## 使用线性霍尔传感器

线性霍尔传感器 ( 如 [DRV5055](#) ) 也可用于增量编码。与切换预定义磁性阈值的锁存器件不同, 线性霍尔传感器会产生与磁通密度成比例的模拟输出电压。

使用两个相位差为  $90^\circ$  的感应元件会产生正弦和余弦输出, 可用于绝对角度编码 ( 使用双极磁体 ) 。更多有关此方法的信息, 请参阅[相关技术资源](#)中的资源。

**表 1. 备选器件建议**

器件	特性	设计注意事项
<a href="#">DRV5011</a>	该器件采用 SOT-23、X2SON、DSBGA 和 TO-92 封装, 最大工作阈值为 3.8mT	30kHz 的高感应带宽使该器件可用于大多数旋转应用。封装类型可适应大多数应用。该器件由 2.5V 至 5.5V 电源供电。
<a href="#">DRV5012</a>	低功耗、引脚可选带宽、采用薄型 X2SON 封装。最大运行阈值为 3.3mT。	平均电流越高, 采样频率越高。该器件由 1.65V 至 5.5V 电源供电。可选采样率为 20Hz 和 2500Hz。该速率应至少是预期输入频率的两倍。
<a href="#">DRV5013</a>	2.5V 至 38mV 的宽电源电压范围简化了此器件在大多数设计中的应用	该器件的典型电源电流为 3mA, 感应带宽为 20kHz。提供汽车和商业级。
<a href="#">DRV5015</a>	该器件的最大阈值低至 2mT, 有助于提高整体正交精度	工作电压限制为 2.5V 至 5.5V, $I_{CC}$ 电流为 2.3mA。典型感应带宽为 30kHz。提供汽车和商业级。
<a href="#">TMAG5110</a>	具有双路输出的 2D 霍尔效应锁存器, 用于直接监控锁存器行为, 最大阈值低至 1.4mT	2D 锁存器以极少的元件数量提供设计灵活性。借助直接输出, 微控制器需要计算速度和方向。
<a href="#">TMAG5111</a>	双路输出转换为速度和方向的 2D 霍尔效应锁存器, 最大阈值低至 1.4mT	与 <a href="#">TMAG5110</a> 类似, 但双路输出的格式针对速度和方向进行了调整。这对于旋转编码特别有用, 但不提供门限行为, 此行为在校正对齐以实现理想正交对齐方面非常有用。
<a href="#">DRV5055</a>	采用 SOT-23 和 TO-92 封装的模拟输出线性霍尔效应传感器	该器件非常适合绝对角度编码。多种灵敏度选项为传感器放置提供了灵活性。

**表 2. 相关技术资源**

名称	说明
<a href="#">利用二维减少增量旋转编码的正交误差</a>	2D 霍尔锁存器设计指南, 其中讨论了增量编码以及如何设计以实现理想正交对齐
<a href="#">使用霍尔效应传感器进行设计的 3 个常见设计缺陷以及解决方案</a>	介绍常见的磁编码器问题以及如何使用可行的解决方案来提高性能。
<a href="#">TMAG5110-5111 EVM</a>	使用 <a href="#">TMAG5110</a> 和 <a href="#">TMAG5111</a> 同时使用 10 极和 20 极磁体的旋转编码实践演示。
<a href="#">TIDA-01389</a>	小型天窗电机模块参考设计
<a href="#">TIDA-00480</a>	汽车霍尔传感器旋转编码器
<a href="#">TIDA-00828</a>	使用 LDC0851 的 32 位电感式感应编码器旋钮参考设计
<a href="#">TIDA-00615</a>	采用 LDC1312 或 LDC1314 的电感式感应 32 位置编码器旋钮参考设计
<a href="#">利用霍尔效应传感器测量旋转运动的绝对角度</a>	应用简报, 其中进一步讨论了角度感应, 并提供了指向其他相关内容的链接和详细信息
<a href="#">TI 高精度实验室 - 使用霍尔效应位置传感器进行旋转编码</a>	介绍如何使用霍尔效应传感器进行旋转编码的有用视频。
<a href="#">TI 高精度实验室 - 了解 2D 霍尔传感器锁存器</a>	介绍 2D 霍尔效应锁存器的有用视频。
<a href="#">TI 高精度实验室 - 磁传感器: 用于精确角度测量的系统计算</a>	一个有用的视频, 其中介绍了使用线性霍尔效应传感器进行角度测量的情况。

## 重要声明和免责声明

TI“按原样”提供技术和可靠性数据（包括数据表）、设计资源（包括参考设计）、应用或其他设计建议、网络工具、安全信息和其他资源，不保证没有瑕疵且不做任何明示或暗示的担保，包括但不限于对适销性、某特定用途方面的适用性或不侵犯任何第三方知识产权的暗示担保。

这些资源可供使用 TI 产品进行设计的熟练开发人员使用。您将自行承担以下全部责任：(1) 针对您的应用选择合适的 TI 产品，(2) 设计、验证并测试您的应用，(3) 确保您的应用满足相应标准以及任何其他功能安全、信息安全、监管或其他要求。

这些资源如有变更，恕不另行通知。TI 授权您仅可将这些资源用于研发本资源所述的 TI 产品的应用。严禁对这些资源进行其他复制或展示。您无权使用任何其他 TI 知识产权或任何第三方知识产权。您应全额赔偿因在这些资源的使用中对 TI 及其代表造成的任何索赔、损害、成本、损失和债务，TI 对此概不负责。

TI 提供的产品受 [TI 的销售条款](#) 或 [ti.com](#) 上其他适用条款/TI 产品随附的其他适用条款的约束。TI 提供这些资源并不会扩展或以其他方式更改 TI 针对 TI 产品发布的适用的担保或担保免责声明。

TI 反对并拒绝您可能提出的任何其他或不同的条款。

邮寄地址：Texas Instruments, Post Office Box 655303, Dallas, Texas 75265

Copyright © 2022，德州仪器 (TI) 公司