



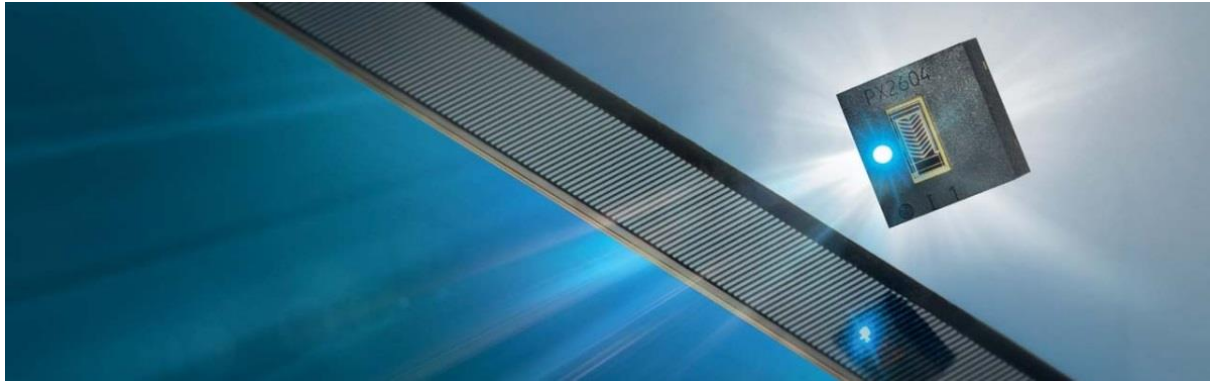
随着在一些应用中不断增加采用自动化机器，定位设备正成为许多系统的重要组成部分。为了精确控制电机，编码器正成为最受欢迎的解决方案。编码器可以基于不同的原理操作，例如：光电，磁性，机械等，提供增量或绝对位置数据。编码器还可以在需要时携带多圈信息，所有这些可能性都促成了一个灵活的产品，提供不同尺寸，适用于各种环境。由于编码器的这种高度灵活的性质，

以及自动化机器的扩展使用，越来越多的应用开始利用位置编码器。

为了更好地适应不同的应用和它们的特定要求，新的编码器技术需要不断地开发和实施。具有蓝光的反射式光电编码器是这种新技术的一个示例，运用该技术的 iC-Haus 的 iC-PR 和 iC-PX 系列集成电路即将发布。本文详细介绍了这种新技术的特点和优势。

目录

光电编码器的基本原理和新的挑战	2
透射式和反射式光电编码器之间的比较	3
反射式解决方案	4
iC-PR 的特性和组装公差	4
iC-PX 的特性和组装公差	6
优势	7
应用	8
总结	8
文献	8



光电编码器的基本原理和新的挑战

从工业生产线到家用电器，自动化正在参与大多数新产品的设计。在这种情况下，线性和旋转编码器是电机精确定位的最终解决方案，替代老化元件，如电位器，同步器，旋转变压器等。

编码器可以根据不同的原理来操作，例如：光电，磁性，机械和其他。根据传感器类型，编码器提供增量或绝对位置数据。第一个仅输出关于增量变化的信息，通常以 AB 正交脉冲的形式。这些被计数处理器解释为前向或后向步骤。增量式编码器通常使用一个零位信号来引用启动或复位计数值。另一方面，绝对式编码器传送完整的位置值，该位置值可以随时确定 (绝对位置是已知的，而不需要通过零位标记)。绝对编码器还可以在需要时携带多圈信息，从而通知编码器的完整旋转次数。

所有这些不同的操作模式促成了多样化的产品，提供不同的尺寸和适合各种环境。由于编码器的这种高度灵活的性质，以及自动化机器的扩展使用，越来越多的应用开始利用位置编码器的功能，用于运动控制。

当比较编码器背后的不同原理时，光电编码器被认为是最精确的。每一种方法都有其自身的优点，而光电编码器通常提供最高的分辨率和精度。然而，光电编码器也有它的缺点。由于其光学性质，传感器组件对灰尘，油和其他可能干扰光路的障碍物敏感。这通常可通过用于编码器的紧密密封的外壳来解

决。高精度光电编码器面临的另一困难是位置误差的影响，这意味着组装公差通常非常小，导致编码器的制造过程中复杂性增加，需要高精度组装技术来达到适当的信号。单独这个问题就阻碍了许多公司制造编码器，因为它们的制造过程无法达到所需的精度水平。

关于光电编码器在一些应用所面临的另一个困难是编码器所需的空间。一个光电编码器必须具有保护壳，并且传统 (透射) 光电编码器所需的内部结构导致相当高的高度 (Z 尺寸)。这是因为光源 (LED)，码盘和光学传感器必须垂直对准，并且它们之间具有适当的距离。编码器的这种最低高度限制妨碍了其被诸如小型化机器人技术的一些紧凑应用所采用。

甚至消费产品也进入了精密定位控制的领域，引入了家用吸尘机器人，飞行无人机和家庭自动化 (窗帘、通风等自动调节)。这些产品的制造在大规模地进行，为了具有高生产效率，必须接受组装变化误差。此外，一些设备的紧凑尺寸也导致了无法采用大尺寸编码器，而这通常是工业机器可接受的。

满足这些要求的第一种解决方案是使用磁编码器。简单的同轴磁编码器可以很容易制造并且只需要非常小的空间，因此是一个符合逻辑的选择。然而，随着这些应用的分辨率和精度要求也在演变，磁编码器面临技术限制。目前的同轴磁编码器无法达到非常高的分辨率，也不能提供相当高的精度，除非使用更先进的技术 (例如: 使用外部插补细分器

来提高系统的分辨率和精度), 但会导致更高的成本。此外, 磁编码器需要更严格的屏蔽抗磁干扰, 这在一些工作环境中可能是非常具有挑战性的。

市场推动的这些新需求激励了行业寻找适应光电编码器特性的方法, 使其在这些新条件下也可实现。

透射式和反射式光电编码器之间的比较

传统的光电编码器依赖于透射光学, 这是用于编码器的一种成熟的且共所周知的技术。然而, 它也有自身固有的缺点, 限制了它在某些情况下的应用。另一方面, 反射式光学是光电编码器的另一可选技术, 它试图改进透射编码器不足的方面。

虽然透射式和反射式编码器具有相同的基本原理 - 光学传感器接收由码盘移动调制的光 - 它们的物理结构明显不同。

下图是一个传统的透射式光电编码器的基本结构:

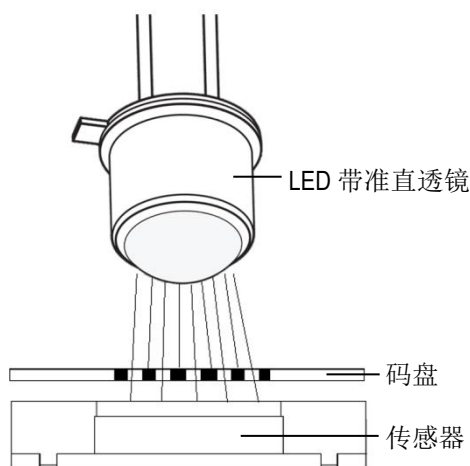


图 1: 透射式光电编码器的基本结构

如图 1 所示, 透射式解决方案基本上是通过使用码盘 (光栅) 在某些限定区域制造光路的障碍物, 而使光穿过其它区域。码盘的主要要求是精确划分透明和非透明区域。这通常

通过光刻工艺来实现, 其中涂层材料 (例如铬) 沉积在透明基板 (例如玻璃) 的顶部。光刻工艺的精度以及透明和非透明区域之间的对比度来决定码盘的质量。

该技术的优点是光刻工艺成熟且可以达到非常高的精度, 允许在码盘上做非常精细的代码标记。这为高分辨率编码器带来更好的信号密度。

另一方面, 这种结构也带来了缺点: 为了获得良好的效果, 照明必须尽可能均匀。这需要一个仅通过将准直透镜添加到系统来实现的平行光束。这种光学结构大大增加了编码器的垂直尺寸, 这对于许多应用是一个不理想的效果。

另一个缺点是对传感器定位精度的要求与码盘上的标记的密度直接相关。如果使用非常精确的光刻, 则传感器相对于码盘的位置也必须非常精确, 否则信号的质量将受到相当大的影响。这包括传感器的 XY 位移, 以及传感器和码盘之间的距离。如果码盘上的缝隙非常窄, 则在穿过缝隙之后的光衍射将对信号具有更大的影响, 因此在传感器和码盘之间需要非常紧密的气隙以便接收良好的信号。对于高端编码器, 组装精度要求低于 0.1 mm, 这对于许多制造商来说是不可行的。即使对于能达到这种精度要求的最终产品的制造商, 组件仍然需要仔细的对齐校准, 通常逐个对编码器使用光学或电子方式进行对齐和检查, 然后对产生的信号进行精细校正。这个过程是非常耗时的, 限制了制造过程的效率。

上述问题可以通过使用反射式光电编码器来解决。下图描述了这种解决方案的结构:

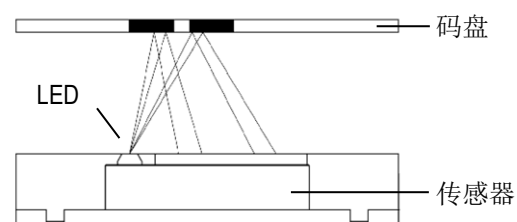


图 2: 反射式光电编码器的基本结构

对比透射式解决方案，图 2 中看到的最明显的区别是没有与传感器相对的准直透镜的光源。反射式编码器通过从与传感器相同的一侧 (相对于码盘) 发射光，并选择性地将光的一部分反射到传感器。在这种情况下，码盘的基本特性是反射区域和非反射区域间的分割 (相比透射盘的透明/非透明特性)。和透射盘一样，信号的质量取决于码盘标记工艺 (光刻) 和分割区域之间的对比度 (在这种案例，反射/非反射)。

该解决方案在物理尺寸方面的明显优势是显而易见的。无需准直光学器件，而且 LED 光源与传感器在同一侧，总体积可以大大减小。与透射式解决方案相比，单独这个因素已经使得编码器能够适应更广泛的应用。紧凑尺寸光电编码器是可行的，它们也有传统光电编码器的许多优点。

反射式编码器解决方案可以用不同的方法实现，典型的示例是在传感器和 LED 的顶部添加塑料透镜，以便将光束成形为所期望的形状。然而，使用无透镜设计可实现更好的解决方案。完全消除外部透镜是可以实现的，且具有更大的灵活性和鲁棒性：透镜需要针对不同的应用而特别设计，这明显限制了 LED / 传感器和码盘之间的操作距离的范围，同时也增加了操作条件的限制，例如允许的温度范围。即使没有额外的透镜，通过仔细控制光源光斑尺寸也可以实现非常高的分辨率。通过这种方法，使用一个标准的 LED 照明尺寸就已经可以实现中高分辨率了。

我们看到最有利的是在这种情况下：只要分辨率保持在合理的范围内，就能获得非常小的尺寸，无外部透镜需求，良好的分辨率和精度 (很容易通过插补细分技术进一步提高)，以及非常低的组装要求的光电编码器。

我们可以比较透射式和反射式编码器的主要特性：

透射式光电编码器：

- 成熟的技术
- 高分辨率和高精度
- 相当的高度 (Z 尺寸)
- 组装困难: 小公差, 操作期间的机械稳定性
- 码盘到传感器的操作距离小

反射式光电编码器：

- 良好的分辨率和精度
- 易于组装
- 大机械公差
- 平面设计: 高度降低
- 码盘到传感器的操作距离大

反射式解决方案

反射式光电编码器的原理已经公布了一段时间。然而，获得一个有着良好性能的，方便的，且易于使用的集成芯片的难度将其局限于能实现的少数制造商的少数产品线上。

最近推出的 Encoder Blue® 产品 (带有蓝光 LED 作为光源的光电编码器) 也被证明可用于反射式编码器。Encoder Blue® 技术提供了许多优点，例如：

- 更高的效率 (在相同的光功率，更低的操作电流)，
- 更高的信号清晰度和对比度，
- 较小的输出信号抖动。

Encoder Blue® 蓝光技术已经用于 iC-Haus 透射式光电编码器 (例如 iC-PT H-系列和 iC-PNH 系列)，但这些特性也可以显著改善反射式编码器的信号。因此，iC-Haus 结合了 Encoder Blue® 技术和反射式编码器解决方案的优点，发布了全新的增量式光电编码器芯片 iC-PR 系列和 iC-PX 系列。

iC-PR 的特性和组装公差

第一个携带蓝色反射式编码器技术的产品就是 iC-PR 系列。这是一个无透镜反射光学设计的增量式编码器。

ABZ 正交数字输出是可行的，利用插补细分可获得高达 16 倍码盘上原始代码物理标记的分辨率。这种插补细分是通过引脚配置在芯片上实现的。在输出端提供模拟信号的可选功能。模拟正弦/余弦信号可以连接到外部插补细分器，用于增强细分。

正如预期的 Encoder Blue® 解决方案，iC-PR 也集成了一个蓝光 LED 用作照明源。该蓝光 LED 技术具有所有前面提到的优点，并且由一个闭环控制电路驱动，该闭环控制电路根据由传感器产生的信号的幅度来自动适配 LED 电流。这样可以确保编码器的稳定运行，补偿诸如由于温度或老化效应引起的 LED 效率偏差的变化，或者甚至补偿 iC-PR 和码盘之间气隙的机械变化。

iC-PR 系列由不同的型号 (iC-PRxxxx) 组成，每个都具有针对特定码盘直径和分辨率优化的高密度相位阵光电传感器。所有可选功能都

由引脚配置，因此不需要耗时的编程过程。

iC-PR 系列的主要特点如下所列:

- ABZ 正交输出，带零位信号
- 无透镜设计
- 针对 Ø4 mm, Ø14 mm, Ø26 mm 和 Ø43 mm 的反射式码盘进行了优化
- 单片设计: 集成了高密度相位阵，信号调节，模拟数字转换和 LED 功率控制
- 集成蓝光 LED 与自动功率控制: Encoder Blue®
- 数字 (1倍至16倍细分) 或模拟 (正弦/余弦) 操作
- 最小信号沿距控制 (80 ns, 1 µs, 10 µs)
- 可选的 Z 脉冲 (零位) 宽度
- 工作温度: -40 °C 至 +105 °C
- 引脚配置
- optoQFN 封装 4 x 4 x 0.9 mm
- 低功耗: 典型值 20 mA (包括 LED)

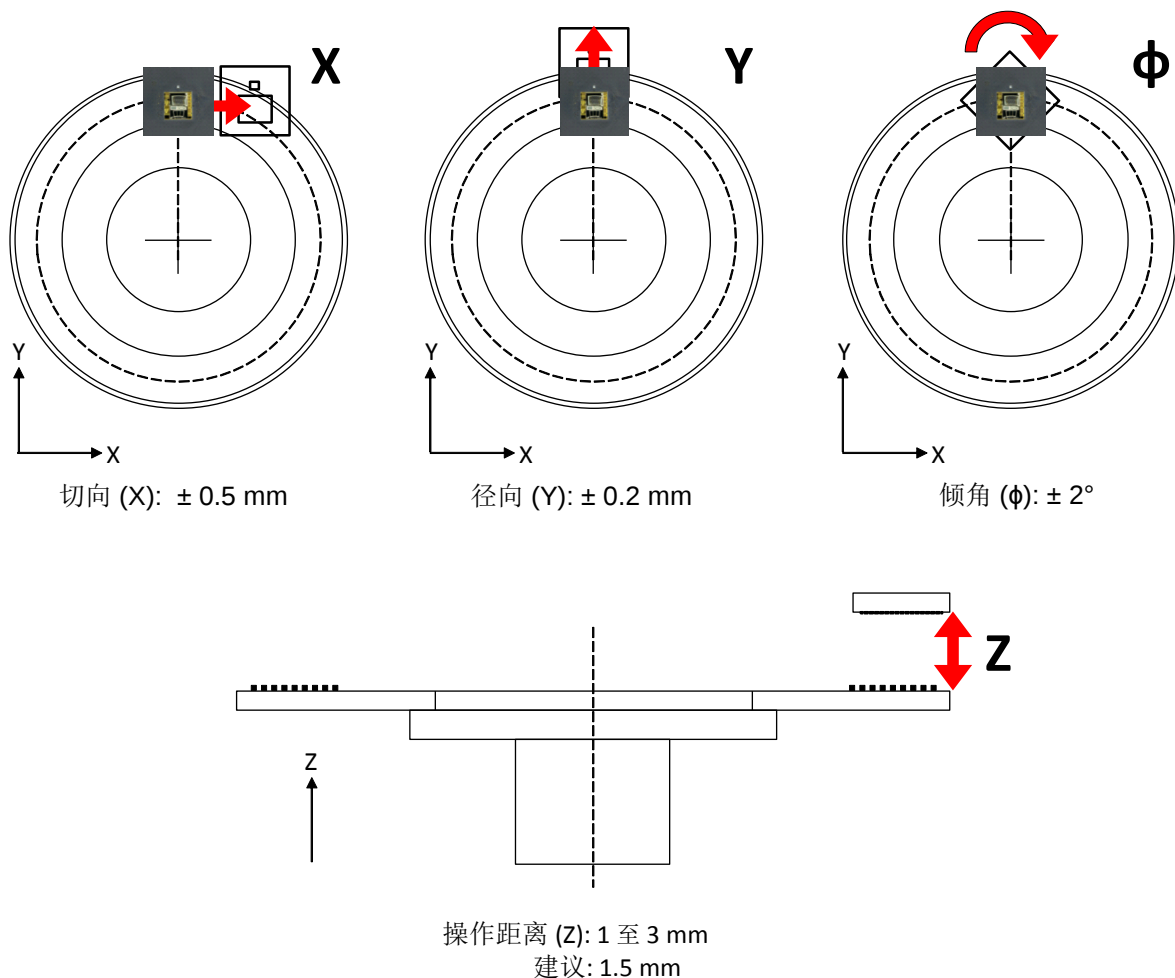


图 3: iC-PR 系列的组装公差要求

使用反射式编码器解决方案的最重要的好处之一是宽松的组装公差。对于 iC-PR 系列，典型的组装精度要求如图 3 所示。

该图显示，公差比透射式编码器的标准值大几倍。这里的一个重要值是可接受的操作距离，范围从 1 mm 到 3 mm，只要它保持在这个范围内，允许变化。这种宽容差可以通过传感器的精密设计以及自动控制的 LED 功率来获得。

iC-PX 的特性和组装公差

对于不需要 iC-PR 中包含的各种功能，但仍然想利用紧凑的尺寸和宽松的组装要求的相对简单的系统，iC-Haus 提供 iC-PX 系列。

iC-PX 适用于 AB 增量系统 (正交信号，无零位标记)，并且不提供模拟输出模式。这促成了

更小的芯片尺寸，适用 3 x 3 mm optoDFN 封装。

iC-PX 系列的主要特点如下所列：

- AB 正交输出
- 无透镜设计
- 针对 Ø26 mm 和 Ø32 mm 的反射式码盘进行了优化
- 单片设计: 集成了高密度相位阵，信号调节，模拟数字转换和 LED 功率控制
- 集成蓝光 LED 与自动功率控制: Encoder Blue®
- 数字输出 (引脚可选择 1 倍至 16 倍细分)
- 工作温度: -40 °C 至 +105 °C
- optoDFN 封装 3 x 3 x 0.9 mm
- 低功耗: 典型值 13 mA (包括 LED)

由于不带零位标记，传感器相对于码盘的位置甚至更加灵活。图 4 是 iC-PX 系列的典型组装公差。

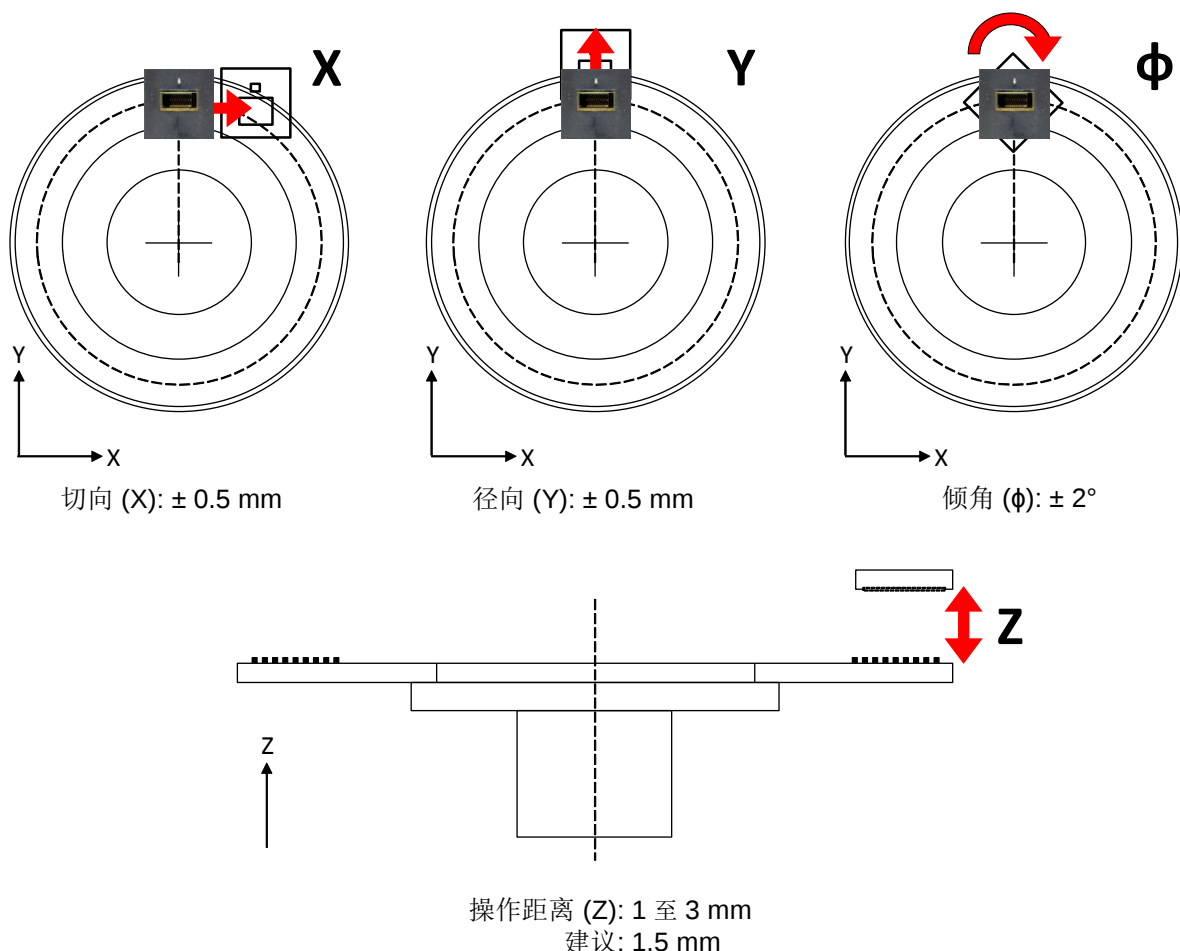


图 4: iC-PX 系列的组装公差要求

优势

标准封装: 该全集成解决方案采用用于 iC-PR (QFN 尺寸, 带光电传感器的玻璃窗) 的 optoQFN 封装, 以及用于 iC-PX 的 optoDFN 封装, 大大简化了 PCB 设计。封装以及芯片高度与其他 QFN / DFN 标准芯片相同。这消除了市场上其他反射产品所需要的创建特定 PCB 元件占位的麻烦。



图 4: iC-PR/iC-PX 的标准 QFN/DFN 元件占位和尺寸

更高的温度范围: iC-Haus 的所有反射式编码器芯片都实现了无透镜设计。这降低了模块的高度, 并提供了前一章提到的其他优点。其他解决方案需要在系统的顶部放置一个塑料透镜, 然而 iC-Haus 的技术是不需要的。塑料透镜不仅增加了系统的高度, 而且还限制了最高工作温度, 通常为 $+85^{\circ}\text{C}$ 。使用 iC-Haus 的无透镜反射技术, 最大工作温度为工业通常要求的 $+105^{\circ}\text{C}$ 。

更宽的操作距离: 带透镜的反射式解决方案的另一个限制是传感器和码盘的操作距离范围。由于透镜的焦距, 距离容许范围窄, 通常为 $\pm 0.25\text{ mm}$ 。iC-Haus 的反射技术结合了无透镜设计与自动 LED 功率控制, 将允许的操作距离范围增加到 1 至 3 mm, 始终具有稳定的输出。

更高质量的信号: iC-Haus 的反射解决方案还集成了蓝光 LED 和高密度相位阵光电二极管, 针对不同的码盘尺寸进行了优化。蓝光 LED 和蓝光增强型高密度相位阵光电二极管产生了具有更高对比度的更清晰的信号。这促使降低输出抖动, 即使在细分之后。光电二极管针对覆盖多种直径范围的不同码盘尺寸进行了优化, 甚至超紧凑的 4 mm 直径的码盘也在内。当使用模拟输出进行外部插补细分时,

这种优化尤为重要, 因为正弦/余弦信号的质量保持卓越, 允许高精度和高分辨率插补细分。

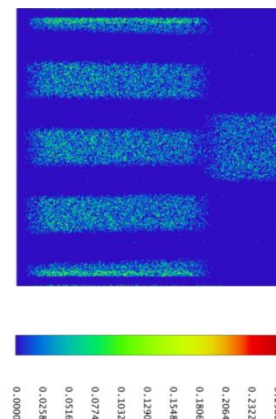
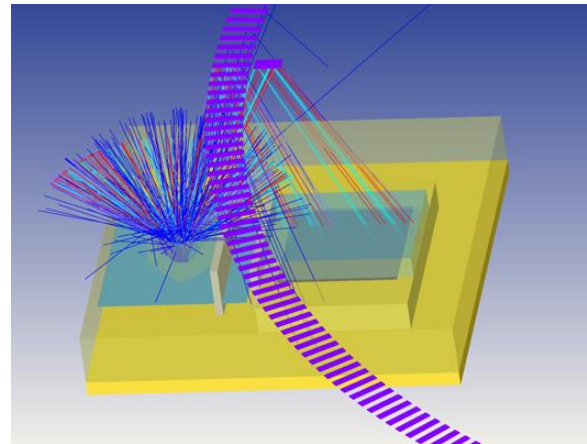
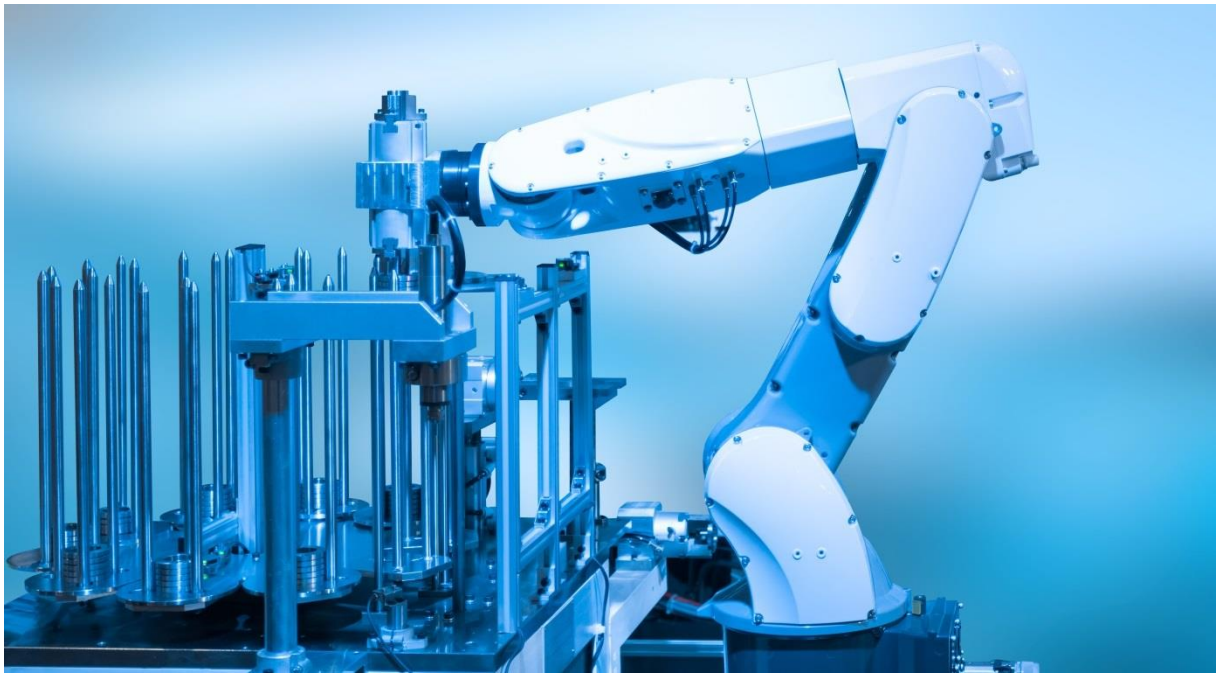


图 5: 反射式编码器传感器基本光学设计和光线追迹模型

易于使用: iC-PR 和 iC-PX 系列完全可由引脚配置, 避免了编程和校准的复杂性, 从而减少了编码器的制造时间。以及宽松的组装公差, 可以显著提高编码器生产线的总体效率。



应用

反射式编码器可用于不同的应用，有时可用于替代其他类型的编码器，在某些情况下可用于当前编码器技术尚未达到的新应用中。

大多数具有增量定位检测的运动控制装置可以利用 iC-PR 或 iC-PX 系列，但反射式编码器的主要焦点在紧凑型编码器应用，例如：

- 小型电机和执行器
- 工业自动化机器人
- 消费机器人
- 增量式编码器
- 单轴或多轴定位平台

总结

从工业机械到家用电器，所有领域的自动化水平正在迅速提高。这对编码器提出了新的要求，编码器是运动控制的基本设备。在这方面，反射式光电编码器是一种新技术，它结合了高性能和紧凑的尺寸。

特别是采用蓝光编码器技术的 iC-Haus 的反射式光电编码器不仅提供小尺寸，而且提供鲁棒性和优越的组装公差，同时还提供卓越的输出信号。

iC-PR 和 iC-PX 系列易于使用，适用于各种增量式编码器，不会给制造过程带来复杂性。这使得更广泛的产品能获得精确运动控制的好处。

文献

- [1] Wikipedia: Rotary Encoder, https://en.wikipedia.org/wiki/Rotary_encoder
- [2] Absolute Encoder Design: Magnetic or Optical?, Whitepaper iC-Haus, http://www.ichaus.de/wp6_magnetic_vs_optical
- [3] iC-PR Series – Reflective Opto Encoders, Datasheet iC-Haus GmbH www.ichaus.de/PR_Series_datasheet_en
- [4] Basics of Rotary Encoders: Overview and New Technologies, <http://machinedesign.com/sensors/basics-rotary-encoders-overview-and-new-technologies-0>
- [5] Basler S. (2016) Encoder und Motor-Feedback-Systeme, Springer Vieweg

关于 iC-Haus

iC-Haus GmbH 是一家行业领先独立的德国制造商，为标准集成电路 (ASSP) 和定制 ASIC 半导体提供解决方案的全球代表。30 多年来，公司一直致力于在工业，汽车，医疗应用的专用集成电路的设计，生产和销售。

iC-Haus 在 CMOS 技术，双极技术以及 BCD 技术方面的单元数据库专门用于设计实现传感器，激光/光学以及驱动器 ASIC。集成电路组装在标准的塑料封装内，或使用 iC-Haus 板上芯片技术制造完整的微系统，多芯片模块，和连同传感器的 optoBGA / QFN。

更多信息请关注 www.ichaus.com

iC-Haus GmbH

Am Kuemmerling 18

55294 Bodenheim

Germany

Phone: +49 (0) 61 35 / 92 92-0

E-Mail: info@ichaus.de

Web: www.ichaus.com