

Manny Soltero, Isaac Lara, John E Miller

Position Sensing

引言

本文主要介绍专门与运动相关的电磁式位置传感器模块，但文章一开始就分别讨论了传感器和模块。传感器是执行检测或监测，然后对某种环境输入做出响应的器件。这种检测器件通常采用电子集成电路 (IC) 的形式。来自现实世界的输入可以是热量、水分、压力、光、运动或许多其他类型的物理输入。模块是一个组件，通常用塑料封装或置于印刷电路板上，包含多个元件，这些元件在内部互连以执行特定功能。从这两个定义可以推断，电子传感器模块是一个带有板载传感器和配套元件的组装单元，用于执行特定的功能或任务。但请记住，许多传感器模块提供商也将这些模块简称为 *传感器*。

位置传感器模块广泛应用于工业和汽车系统，用于监测运动或位置。这些模块包括音频设备上的音量控制装置、炉灶或洗碗机人机界面 (HMI) 控制系统、汽车曲轴系统等。图 1 至图 3 展示了此类传感器模块的示例。

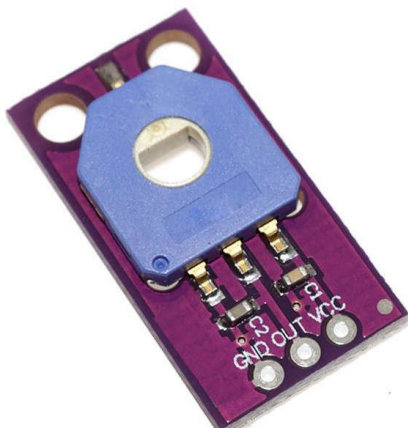


图 1. HW-526 电子角度传感器模块



图 2. 汽车类磁感应位置传感器



图 3. 单圈旋转位置传感器

德州仪器 (TI) 专为位置检测应用而开发的传感器 IC 具有多种功能并采用多项技术。表 1 总结了这些 TI 传感器 IC。

表 1. TI 传感器 IC 的功能和技术

功能	可用技术	典型应用
开关	霍尔效应, 电感式	<ul style="list-style-type: none"> 开关检测 脉冲计数
锁存器	霍尔效应	<ul style="list-style-type: none"> BLDC 电机换向 增量旋转编码
2D 锁存器	霍尔效应	<ul style="list-style-type: none"> 增量旋转编码
1D 线性	霍尔效应, 电感式	<ul style="list-style-type: none"> 接近检测
2D 线性	霍尔效应	<ul style="list-style-type: none"> 角度测量
3D 线性	霍尔效应	<ul style="list-style-type: none"> 角度测量 3D 空间测量 篡改检测

利用这套核心功能, 客户可以开发出多种类型的传感器模块, 这些模块具有多种形状和形式。如今, 可供选择的模块数不胜数。为了进行演示, TI 测试了两个器件, 以了解 TI 器件是否达到或超过这些模块的性能水平。以下各节包含测试结果。

Nidec® RMS20-256-201-1 编码器

TI 通过使用 3D 打印结构将该编码器安装到 BLDC 电机轴上, 对该编码器进行了测试, 以确保编码器稳定并与电机轴保持水平。图 4 展示了此设置。

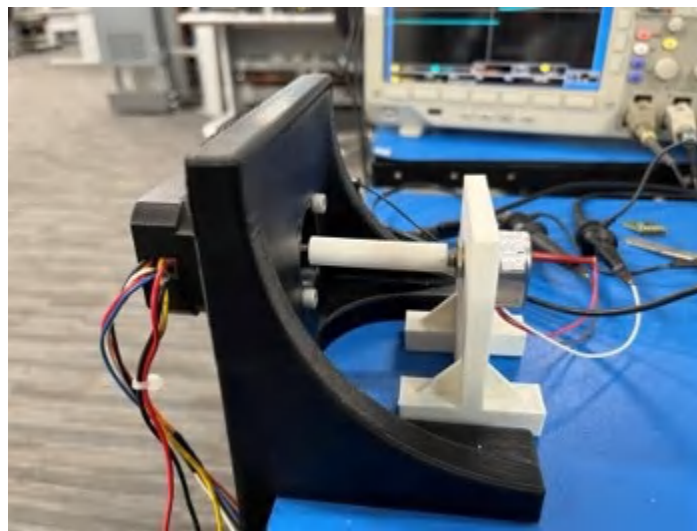


图 4. 电动编码器测试设置

Nidec 编码器数据表规定最大响应频率为 5kHz。TI 对编码器进行了各种频率的测试, 频率最高达 5kHz, 未发现任何问题, 于是决定将频率调高到电机本身的最高转速, 即 5,900RPM。这样可产生 25.25kHz 的最大输出频率。图 5 展示了此高速下的信号波形输出。

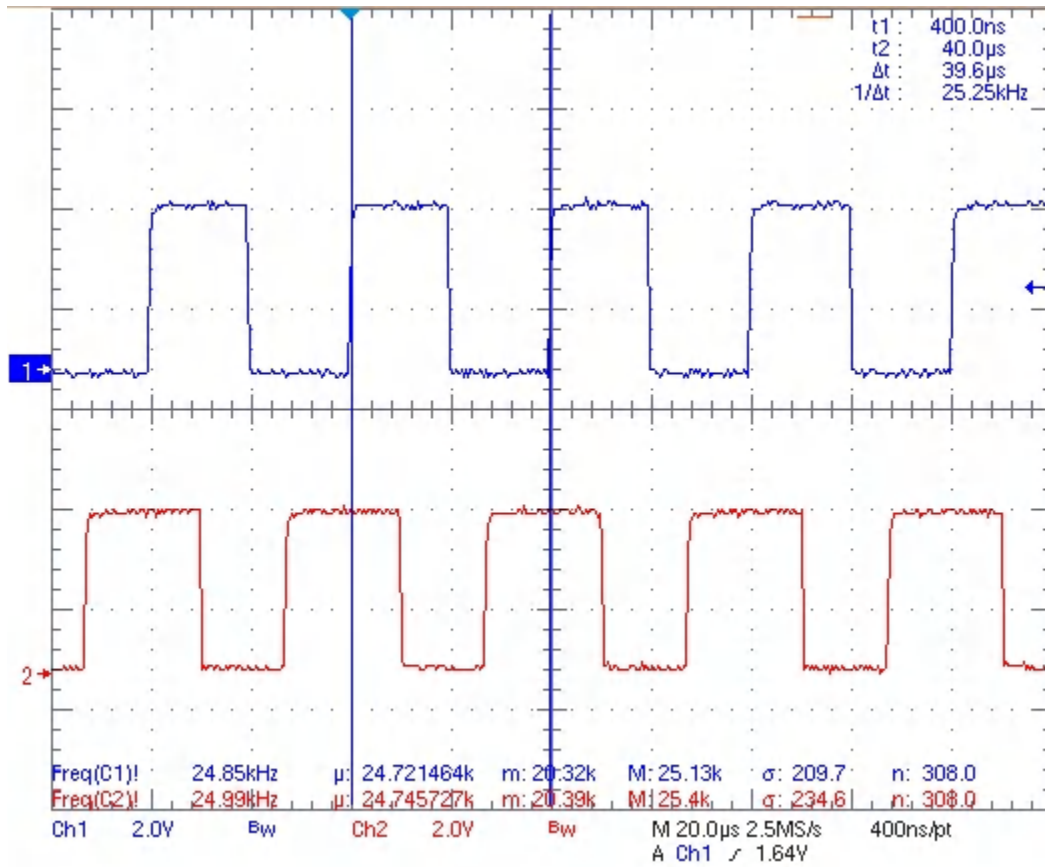


图 5. Nidec RMS20-256-201-1 编码器示波器捕获

该编码器的性能超出了 TI 的预期，在额定频率限制范围内可正常运行。可以理解的是，在如此高的速度下，即使只运行几秒钟，编码器也会很快过热。虽未测量所达到的温度，但器件触摸起来非常热。从结果来看，对编码器施加的 5kHz 最大限制显然是内部机械组装造成，而不是传感器 IC 的电气功能造成。

图 5 展示的两个波形代表了增量编码器。在理想条件下，波形之间的相位差为 90°，从而允许用户监测转轴的速度和方向。通常使用两个霍尔效应锁存器来实现该目的。如需了解更多信息，请参阅[增量旋转编码器](#)应用手册。某些 IC (如 [TMAG5110](#) 和 [TMAG5111](#)) 在单片 IC 中内置了两个锁存器。这些器件的信号带宽为 40kHz，远远超出了 Nidec RMS20-256-201-1 编码器的要求。

支持电机和磁体所需的霍尔传感器带宽可用 [方程式 1](#) 进行量化。

$$\text{Hall Sensor BW} \geq (\text{Motor Speed RPM}/60) \times (\# \text{ Magnet Poles Pairs}) \quad (1)$$

[方程式 1](#) 显示，电机 (转速为 5,900RPM) 和 10 极磁体 (或 5 个磁极对) 使传感器的最小带宽达到 491.67Hz，40kHz 霍尔效应传感器可以轻松支持这一带宽。通过考虑两个极端示例，展示了 40kHz 霍尔效应器件的潜力。对于第一个示例，10 极磁体需要 480,000RPM 的最大电机转速才能超出支持的 40kHz 霍尔效应带宽。第二个示例使用我们的 5,900RPM 电机，但需要超过 400 个磁极对才能超出霍尔效应传感器的频率范围。由于存在最大电机转速、可制造性以及高极数磁体产生的磁场减弱等方面的限制，这两个示例不切实际。不过，这些示例确实说明了霍尔效应器件能够提供较大的带宽裕度。

Honeywell® 103SR13A-1 位置传感器

图 6 展示了另一传感器模块的测试设置。该传感器密封在铝制螺纹外壳中并响应南极磁场，它位于右侧，并带有一个 3D 打印的稳定器。利用可用的设备，磁体距离传感器的位置以 0.5 毫米的幅度递增。

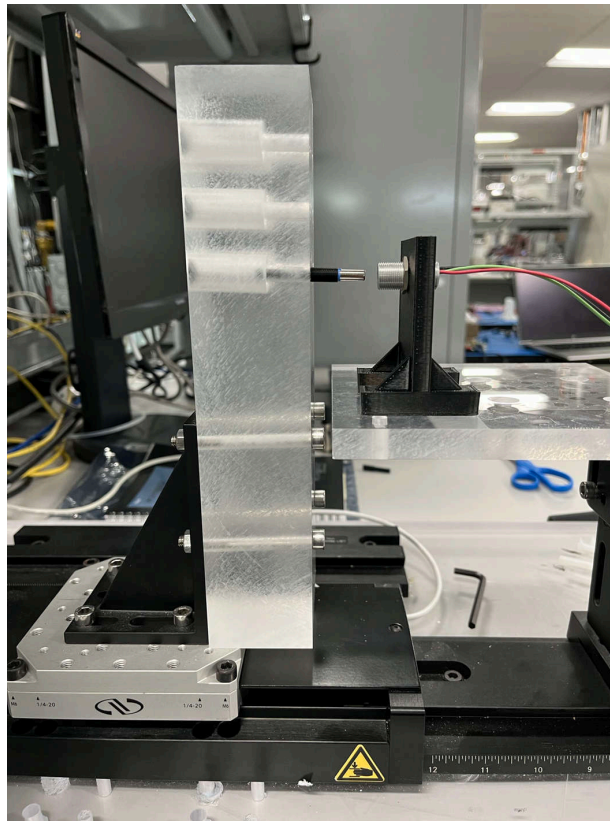


图 6. 电动位置测试设置

该传感器模块的测试条件如下：

- 室温 (25°C) 下 B_{OP} (磁性工作点) 的典型规格
- B_{RP} (磁释放点), B_{HYS} (磁滞) 分别为 35mT、27.5mT 和 7.5mT

表 2 总结了在 25°C 实验室环境中使用不同尺寸和类型的圆柱形钕磁体激活和停用开关时所测量的距离 (L 表示磁体长度, D 表示直径)。测量距离 (以 mm 为单位) 是从传感器边缘到磁体边缘的距离。由于传感器模块内的传感器 IC 在内部与边缘略有偏移, 因此到磁体的实际感应距离延长了 1.27mm, 该值将添加到测量距离中。我们也使用即将向客户提供的磁性位置检测工具对该距离进行了仿真。表 2 还展示了激活和停用传感器 IC 所需的磁性工作点和释放点 (源自仿真)。请注意, 正如预期的那样, 这些值几乎完全相同。

表 2. Honeywell 103SR13A-1 测试结果

磁性	激活距离测量值 (mm)	激活距离仿真值 (mm)	停用距离测量值 (mm)	停用距离仿真值 (mm)	需要 BOP (mT)	需要 BRP (mT)
L-22mm , D-3mm	4.27	4.35	5.77	4.94	35.28	27.53
L-25mm , D-3mm	4.77	4.37	5.77	4.96	35.35	27.54
L-25mm , D-5mm	5.77	5.24	6.77	6.12	34.97	27.49
L-38mm , D-5mm	6.77	7.26	8.27	8.24	34.96	27.35
L-18mm , D-6mm	8.77	8.31	10.27	9.38	34.98	27.19
L-22mm , D-6mm	8.77	8.44	9.77	9.53	34.93	27.25
L-13mm , D-13mm	14.77	15.48	16.77	17.31	34.61	27.44
L-22mm , D-13mm	15.77	16.70	18.27	18.90	34.97	26.96
L-38mm , D-13mm	17.27	17.97	19.77	20.27	34.57	27.00

根据这些结果，最小 B_{OP} 规格为 $\pm 30\text{mT}$ 且 B_{RP} 为 $\pm 23.5\text{mT}$ 的 TMAG5231H1DQDMRR 性能非常出色，与 Honeywell 103SR13A-1 位置传感器的性能距离非常接近。该器件采用小型 X2SON 封装 ($1.1\text{mm} \times 1.4\text{mm}$)，非常适合空间受限的小型模块，例如本模块。

这些 B_{OP} 和 B_{RP} 值实际上代表了灵敏度规格较弱的传感器。有许多器件具有高得多的灵敏度级别，例如 TMAG5231A1C 版本，其典型的 B_{RP} 阈值为 1.8mT ，迟滞为 0.6mT 。利用这些更高灵敏度的设计，传感器模块提供商可以开发出能够检测更远距离磁体的工具，或者使用更小，因而更便宜的磁体。

结论

如今，工业和汽车市场中有许多类型的应用可以使用位置传感器模块，而用于开发这些传感器模块的集成电路传感器则更多。在对其中两种传感器进行测试后，我们发现，德州仪器 (TI) 的产品目录设计可以轻松满足这些模块的要求，为传感器模块制造商提供了许多可供选择的器件。

如需了解 TI 广泛的产品系列范围，请访问以下链接：

- [霍尔效应锁存器和开关](#)
- [线性霍尔效应传感器](#)
- [多轴线性和角位置传感器](#)

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 © 2023，德州仪器 (TI) 公司