A large, light blue, semi-transparent graphic of a circular track with a ball, resembling a ball-and-race mechanism, positioned in the background.

使用磁性传感器 实现电机控制位置反馈

应用说明

修订版 1.1, 2010-05-26

版本 2010-05-26

由 Infineon Technologies AG 出版

81726 Munich, Germany

© 2010 Infineon Technologies AG 保留所有权利。

法律免责声明

在任何情况下均不得将本文件所提供的信息视为对条件或特征的担保。英飞凌科技公司特此声明，对本文中所提及的任何示例或提示、任何典型数值和/或任何与设备应用相关的信息，不作任何及所有形式的担保或承担任何及所有形式的责任（包括但不限于对不侵犯任何第三方知识产权的担保）。

为方便客户浏览，英飞凌以下所提供的将是有关英飞凌产品及服务资料的中文翻译版本。该中文翻译版本仅供参考，并不可作为任何论点之依据。虽然我们尽力提供与英文版本含义一样清楚的中文翻译版本，但因语言翻译和转换过程中的差异，可能存在不尽相同之处。因此，我们同时提供该中文翻译版本的英文版本供您阅读，请参见【[Position Feedback for Motor Control](#)】。并且，我们在此提醒客户，针对同样的英飞凌产品及服务，我们提供更加丰富和详细的英文资料可供客户参考使用。请详见【[Magnetic Sensors](#)】

客户理解并且同意，英飞凌毋须为任何人士由于其在翻译原来的英文版本成为该等中文翻译版本的过程中可能存在的任何不完整或者不准确而产生的全部或者部分、任何直接或者间接损失或损害负责。英飞凌对于中文翻译版本之完整与正确性不承担任何责任。英文版本与中文翻译版本之间若有任何歧异，以英文版本为准，且仅认可英文版本为正式文件。

您如果使用以下提供的资料，则说明您同意并将遵循上述说明。如果您不同意上述说明，请不要使用本资料。

信息

有关技术、交货条款及条件和价格的更多信息，请与您最近的英飞凌科技公司办事处 (www.infineon.com) 联系。

警告

由于技术要求，元件可能含有危险物质。如需相关型号的信息，请与距离您最近的英飞凌科技公司办事处联系。如果可能合理地预期此类元件的故障会导致生命支持设备或系统发生故障或影响该设备或系统的安全性或有效性，则英飞凌科技公司提供的元件仅可用于获得英飞凌科技公司明确书面批准的生命支持设备或系统。生命支持设备或系统的目的是植入人体或支持和/或保持并维持和/或保护生命。如果出现故障，则可能危及使用者或他人的健康。

电机位置反馈

使用磁性传感器的控件

修订历史: 2010-05-26, 修订版 1.1

先前版本: 修订版 0.1

页码	变更内容 (自上次修订后的主要变更)
12	添加了第 3.4 章
13	添加了第 4 章
14	更新了第 5 章
整体上	纠正了打字错误

Infineon Technologies AG 的商标

A-GOLD™、BlueMoon™、COMNEON™、CONVERGATE™、COSIC™、C166™、CROSSAVE™、CanPAK™、CIPOST™、CoolMOS™、CoolSET™、CONVERPATH™、CORECONTROL™、DAVE™、DUALFALC™、DUSLIC™、EasyPIM™、EconoBRIDGE™、EconoDUAL™、EconoPACK™、EconoPIM™、E-GOLD™、EiceDRIVER™、EUPEC™、ELIC™、EPIC™、FALC™、FCOST™、FLEXISLIC™、GEMINAX™、GOLDMOS™、HITFET™、HybridPACK™、INCA™、ISAC™、ISOFACE™、IsoPACK™、IWORX™、M-GOLD™、MIPAQ™、ModSTACK™、MUSLIC™、my-d™、NovalithIC™、OCTALFALC™、OCTAT™、OmniTune™、OmniVia™、OptiMOS™、OPTIVERSE™、ORIGAT™、PROFET™、PRO-SIL™、PrimePACK™、QUADFALC™、RASIC™、ReverSave™、SatRIC™、SCEPTRE™、SCOUT™、S-GOLD™、SensoNor™、SEROCCO™、SICOFI™、SIEGET™、SINDRION™、SLIC™、SMARTi™、SmartLEWIS™、SMINT™、SOCRATES™、TEMPFET™、thinQ!™、TrueNTRY™、TriCore™、TRENCHSTOP™、VINAX™、VINETIC™、VIONTIC™、WildPass™、X-GOLD™、XMM™、X-PMU™、XPOSSYS™、XWAY™。

其它商标

英国 ARM Limited 的 AMBA™、ARM™、MULTI-ICE™、PRIMECELL™、REALVIEW™、THUMB™。AUTOSAR™ 是 AUTOSAR Development Partnership 的注册商标。Bluetooth SIG Inc. 的 Bluetooth™。DECT Forum 的 CAT-iq™。Trimble Navigation Ltd. 的 COLOSSUS™、FirstGPST™。EMVCo, LLC (Visa Holdings Inc.) 的 EMV™。Epcos AG 的 EPCOS™。Microsoft Corporation 的 FLEXGO™。FlexRay™ 是 FlexRay Consortium 的注册商标。Hilgraeve Incorporated 的 HYPERTERMINAL™。Commission Electrotechnique Internationale 的 IEC™。Infrared Data Association Corporation 的 IrDA™。INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION 的 ISO™。MathWorks, Inc. 的 MATLAB™。Maxim Integrated Products, Inc. 的 MAXIM™。Mentor Graphics Corporation 的 MICROTEC™、NUCLEUS™。NXP 的 Mifare™。MIPI Alliance, Inc. 的 MIPI™。美国 MIPS Technologies, Inc. 的 MIPS™。MURATA MANUFACTURING CO. 的 muRata™。OmniVision Technologies, Inc. 的 OmniVision™。Openwave Systems Inc. 的 Openwave™。Red Hat, Inc. 的 RED HAT™。RF Micro Devices, Inc. 的 RFMD™。Sirius Satellite Radio Inc. 的 SIRIUS™。Sun Microsystems, Inc. 的 SOLARIS™。Spansion LLC Ltd. 的 SPANSION™。Symbian Software Limited 的 Symbian™。Taiyo Yuden Co. 的 TAIYO YUDEN™。CEVA, Inc. 的 TEAKLITE™。Tektronix Inc. 的 TEKTRONIX™。TOKO KABUSHIKI KAISHA TA 的 TOKO™。X/Open Company Limited 的 UNIX™。Cadence Design Systems, Inc. 的 VERILOG™、PALLADIUM™。Texas Instruments Incorporated 的 VLYNQ™。WIND RIVER SYSTEMS, INC. 的 VXWORKS™、WIND RIVER™。Diodes Zetex Limited 的 ZETEX™。

商标最后更新于 2009-10-19

目录

	目录	4
1	引言	5
2	无刷直流电机	5
2.1	工作原理	5
2.2	应用与趋势	6
2.3	BLDC 反馈原理.....	6
3	霍尔开关反馈	7
3.1	传感器类型	8
3.2	霍尔效应开关的要求	8
3.3	英飞凌电机换向用霍尔效应开关.....	11
3.4	英飞凌霍尔开关模式的角度传感器.....	12
4	编码器反馈	13
4.1	光学编码器	13
4.2	磁性编码器	13
5	结论	14
	参考资料	15
	术语表	16

1 引言

本应用说明旨在介绍电机控制位置反馈传感器，对使用霍尔开关的块换向无刷直流(BLDC)电机反馈、以及高要求的伺服应用所需的高分辨率编码器反馈进行了说明。[第2章](#)介绍了 BLDC 电机的工作原理和不同的实施方案，讲解了各种反馈技术和此类电机可能的应用领域。[第3章](#)则介绍了 BLDC 转子位置检测的霍尔效应开关及其工作原理、开关类型和主要性能特点。

在需要更高精度反馈的应用中，例如伺服系统中使用的永磁同步电机 (PMSM)，编码器被广泛使用。英飞凌的高速集成式巨磁阻 (iGMR) 传感器是此类应用的理想之选，[第4章](#)详细介绍了其工作原理及其超越光学编码器的优势所在。

本应用说明显示了英飞凌旗下专为电机控制应用而设计的位置传感器产品种类十分广泛，这些传感器不但在技术上拥有领先优势，而且在降低系统成本、提高系统质量方面也有显著的优势。

2 无刷直流电机

本章谈论了各类直流无刷电机的工作原理和优势，然后详细介绍了反馈结构和 BLDC 电机的应用。此外，亦请参考我们在[第15页](#)参考文献中列出的、关于传感器类、无传感器类 BLDC 电机控制系统的各电子控制系统应用说明。

2.1 工作原理

[图1](#)显示了一个典型的 BLDC 电机。有刷电机使用电刷和换向器，因此形成机械接触，引导电流流经转子绕组，而 BLDC 电机的定子和转子之间不存在这样的电接触。事实上，对于大多数有刷直流电机，线圈绕组是固定在转子部分，永磁体固定在定子部分，BLDC 电机则相反，后者具有轻型永磁体转子，绕组则固定在定子上。BLDC 可以采用内、外转子电机配置，两种配置的转子惯性都很小，从而相较于有刷电机拥有更高的效率。

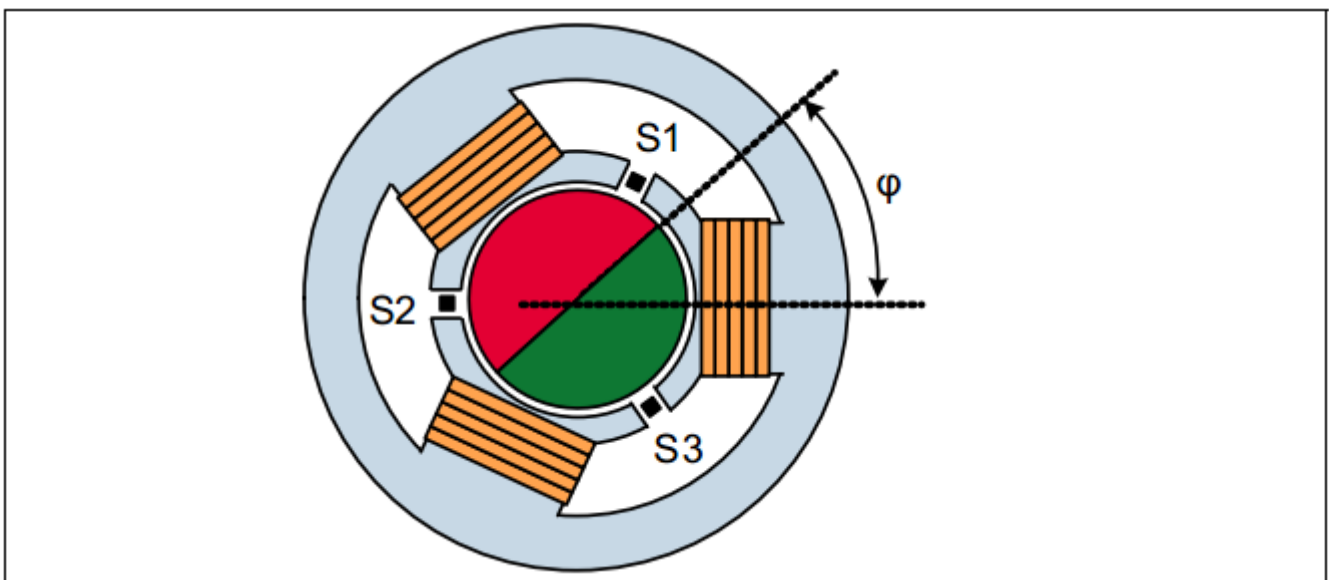


图1 内部转子 BLDC 电机，3 相，1 个磁极对，S1 至 S3 为霍尔传感器。

换向开关的机械性质是导致有刷电机一些主要缺点的根源。因为有相当多的电流通过电刷，会形成火花，导致高频电磁辐射，给其他电子设备造成负面影响，且过载可导致这些电刷损坏。接触电刷可能发生磨损，从而增加故障率，造成更多维护成本。BLDC 电机完全避免了这个问题，因为定子和转子之间不需要进行电气接触。不过要享受 BLDC 电机的优势也是有代价的，这种电机的主要问题是复杂性更高，电子驱动成本高，需要安装反馈传感器。

在图 1 所示的三相电动机采用只有一个极对的转子磁体，这是最简单的三相 BLDC 电机。增加磁极对的数量有助于提高电机运行的流畅性，对外部转子 BLDC 尤其受用。根据优化要求，也可以将三相绕组围绕着一个圆周安排在不同的位置。在频谱的另一端，用于 PC 风扇的低端系统也可以单相工作，通常会配备一个带霍尔元件和驱动电路的 IC。本应用说明不重点探讨这方面的应用。

2.2 应用与趋势

BLDC 电机高效可靠，被广泛用于各种生产领域和性能等级的应用中。低功率电机常被用于消费类设备，例如照相机、电脑、散热风扇、硬盘驱动或 DVD 播放器。在汽车行业应用领域，由于无刷电机能效更高、耐用性更好，使其成为越来越多应用的理想之选，例如 HVAC 鼓风电机。电动自行车也使用无刷电机。凭借出色的效率、安全性和可靠性，无刷电机的地位更加巩固，此外，控制电子元件成本的不断降低也为无刷电机的应用铺平了道路。请注意，更高端的电机—电动助力转向 (EPS) 系统及工业自动化领域使用的电机—通常会采用更精密的正弦换向。在这种情况下，就要用到永磁同步电机 (PMSM)，关于 PMSM 反馈的详细介绍参见第 4 章。

2.3 BLDC 反馈原理

基本上，可以采用任何旨在提供关于转子位置信息的感应原理，以电子方式控制执行器线圈的供电。主要原理是有关于 3 相霍尔效应换向、反电动势和编码器。

3 相霍尔效应

BLDC 换向最常用的传感器反馈系统是如图 1 所示的霍尔效应开关。霍尔开关 S1 至 S3 在转子旋转一周过程中获得的典型信号模式参见图 2，可以直接利用该模式实现 BLDC 电机的块换向。第 3 章将对这种换向进行更详细的说明

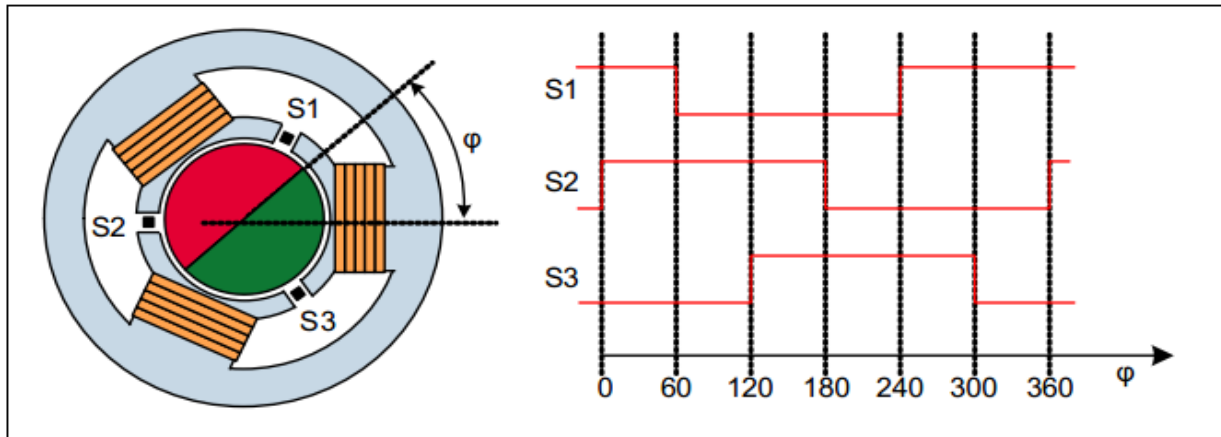


图2 霍尔开关 S1 至 S3 在转子旋转一周过程中的开关模式

反电动势

无感应器类的 BLDC 电机使用未通电的线圈上的感应反电动势（反 EMF）来获得转子位置信息。这类驱动的优势很明显，它不需要任何额外的传感器，因此有助于实现具有成本效益的电机总成。另一方面，通过这个原理得到的定位精度低于基于传感器的反馈原理所示的精度，而且因为零速时无感应 EMF，所以在启动时会出现其他困难。所采用的控制器必须考虑这个问题，可以通过在英飞凌微控制器上运行专用控制算法来解决。有兴趣的读者可以参考本文件结尾处列出的关于这个主题的各个应用说明。

3 霍尔开关反馈

本章重点介绍基于霍尔效应开关的主要反馈系统，提供关于一般工作原理和传感器要求的说明，展示了英飞凌 BLDC 应用专用霍尔效应开关。

图 1 显示了霍尔效应开关反馈的最简单的应用示例。三个霍尔传感器被 120° 相角隔开，通过转子磁体触发。这些传感器每 60° 获得一个新的数字状态，并据此产生图 2 所示的开关样式。因此，可以知晓转子位置，分辨率为 60° ；若将霍尔传感器放置在合适的位置，就可以令信号转换与线圈励磁理想换向点精确匹配。在这个包络内，可以使用任一恒定的或脉宽调制 (PWM) 驱动信号为线圈供电，驱动电机运转。

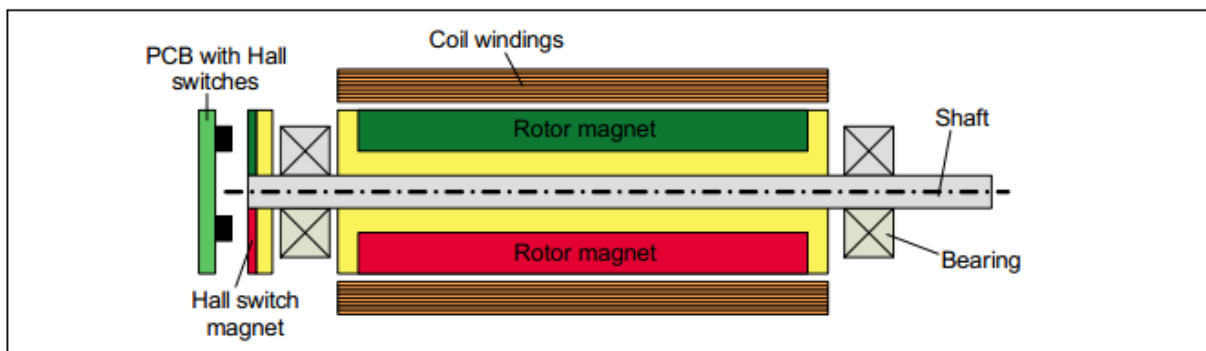


图3 BLDC 电机，带外部霍尔开关磁体

在许多无刷直流电机中，霍尔传感器直接检测转子磁体的磁场，如图 1 示例所示。其结果是，传感器安装在电机内部，暴露在高温和振动中，缺乏密封保护，气体和液体可能对部件造成影响。此外，安装新的传感器，尤其是更换故障部件是非常细致的工作，费用很高。有些电机在轴上加装一个磁环，通过这个磁环来触发霍尔开关，从而允许霍尔开关远离加热部件。图 3 显示的就是这类应用示例。这个解决方案的好处是温度更低、更便于接触并且提高了设计的灵活性，但这些优势也是有代价的：增加了加装磁码盘的费用。在这类设计中，霍尔开关模式中的角度传感器别具吸引力，如第 3.4 章所示。

3.1 传感器类型

霍尔效应开关在两种逻辑状态之间切换，这两个开关点之间有一定的滞后。人们通常将这类器件分成两个大类：单极开关，双极锁存。这里不考虑全极开关和双极开关。

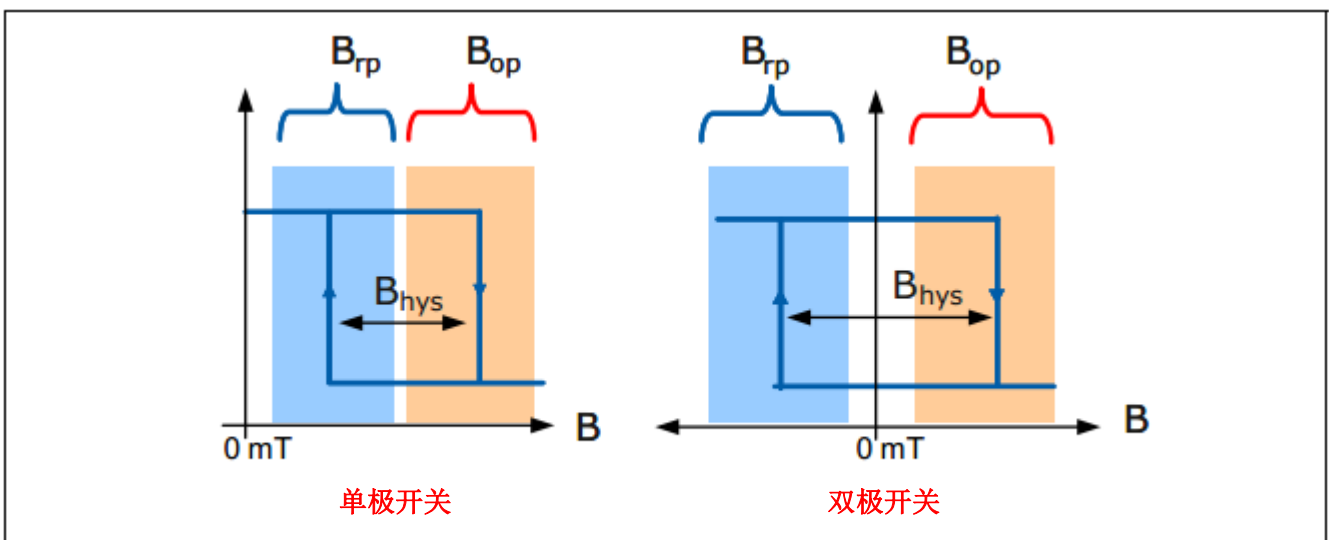


图 4 单极开关与双极开关

单极开关

图 4 介绍了单极开关的工作原理。当外加磁场穿过工作点 B_{op} 时，器件输出开启。若磁场被释放，在 B_{rp} 达到零场之前，器件切换回关闭状态。通过一些滞后 B_{hys} 来避免两种状态之间发生瞬态快速切换事件。

双极锁存器

与单极开关相似，双极锁存器也在磁场穿过 B_{op} 后开启。不过，释放磁场之后，双极锁存器即使在零场中也会保持其状态。只有当极性反转的磁场通过 B_{rp} 后，器件才会返回到关闭状态，如图 4 所示。因此这些器件名副其实，能够有效地锁存其状态。

3.2 霍尔效应开关的要求

接下来，让我们来看一些关于 BLDC 电机换向用霍尔效应开关的具体要求

单极与双极

传感器的任务是准确地检测转子的位置。理想的情况是，转子位置每次正好改变 60° 时传感器就提供一个换向信号，不考虑电机速度和施加的扭矩，每个传感器每 180° 切换一次输出。图 5 显示了一个传统的单极开关和两个不同的双极锁存器的行为。可以看出，单极开关会带来不平衡的占空比，而双极锁存器在 B_{op} 和 B_{rp} 绝对值相等时，占空比正好为 50%。灵敏度越高，延迟就越小，这就是首选接近 0mT 的开关点的原因。因此，高灵敏度的双极锁存器是这个应用的最佳选择。

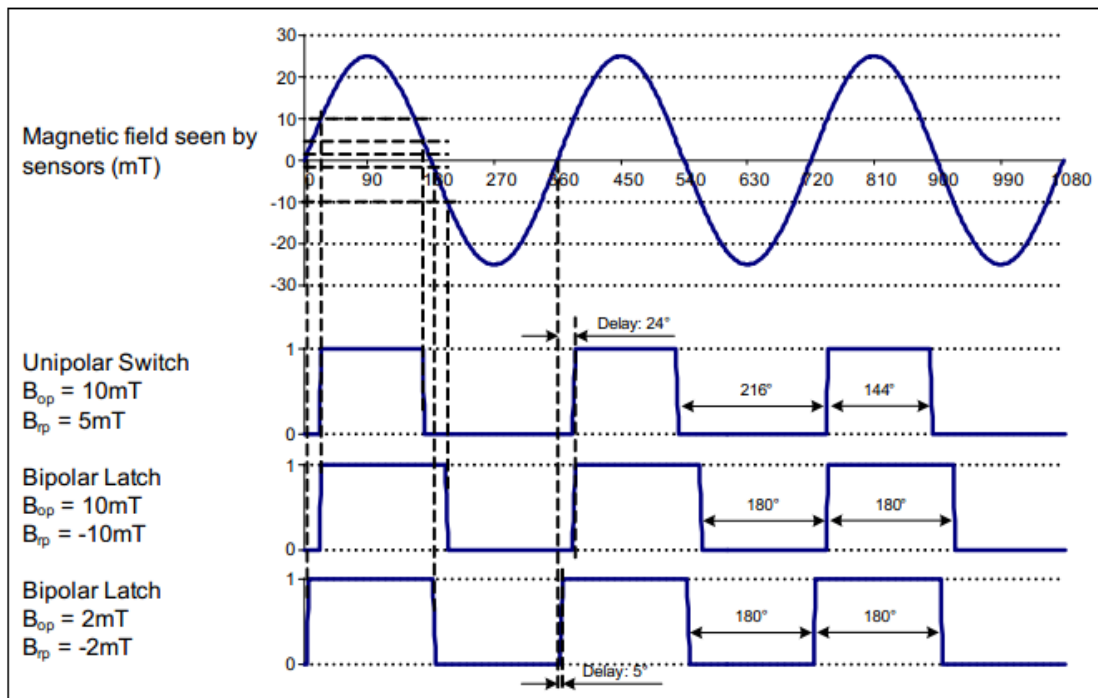


图 5 不同霍尔开关的开关图。高灵敏度的双极锁存器延迟最低，占空比平衡

开关点精度

很遗憾，由于半导体制造过程中有过程差异，所以无法创造出相同的传感器。每个传感器都有其个性，并且事实证明，磁开关点是一个严重受工艺差异影响的参数。此外，环境的影响，例如因二次成型或湿度导致的机械应力等，也会导致开关点在器件寿命期间发生偏移。为了减少这些影响，英飞凌 TLE49x6 系列的霍尔效应开关采用斩波原理，通过一个巧妙的方法来消除霍尔探头和输入放大器级的偏移。此技术允许用户在仅具有小差异的狭窄窗口内指定开关点。由此带来的机械应力高抗性能也是 TLE49x6 系列的另一大优势。

图 7 是显示了有不同开关点差异的两个双极锁存器之间的对比情况。可以看出，在最坏的情况下，如果 B_{op} 和 B_{rp} 正好在指定开关点范围的任一端上，占空比可能很不平衡。TLE4946-2K 和 TLE4946-2L 采用上述斩波原理，开关点的差异更小，因此对占空比的影响非常小，旋转一整周过程中电机可以实现平衡致动。

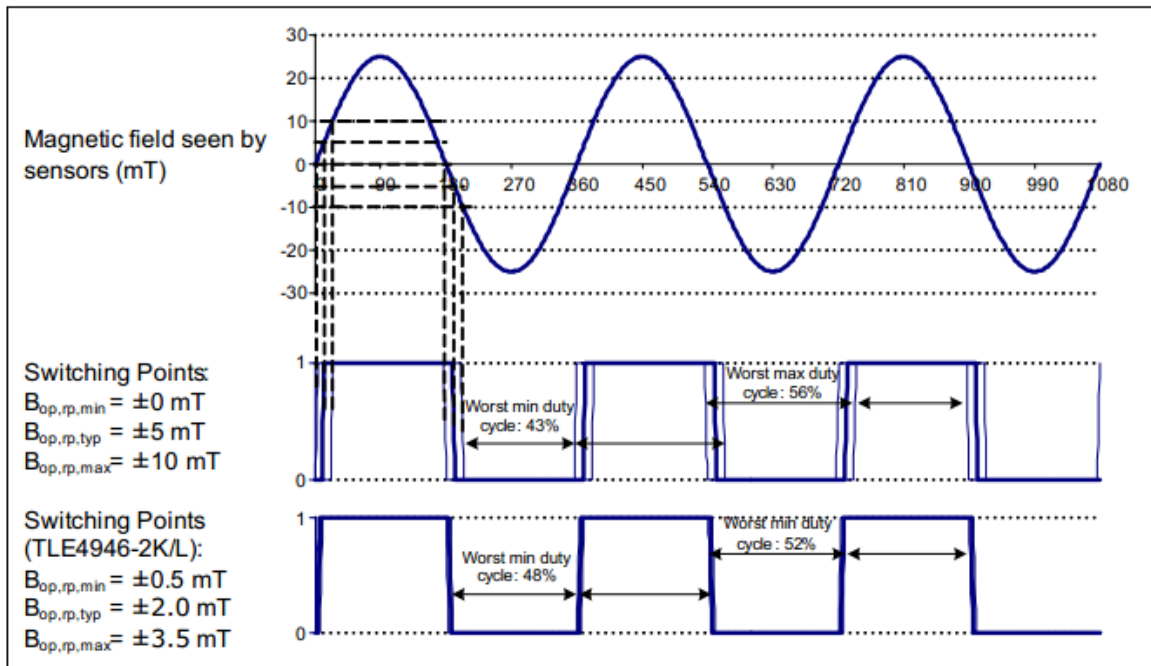


图 6 开关点差异对占空比的影响较小的差异可以带来平衡的占空比

延迟

磁场过零点后立刻换向，不应传感器内部处理而被延迟。英飞凌的霍尔开关是基于一个输入与输出只有微小延迟的快速信号路径。

抖动

开关样式的重复性是电机换向应用的另一个重要标准。用抖动参数来识别常规操作过程中开关点的变化幅度有多大。

温度稳定性

很遗憾，PMSM 和 BLDC 电机所用的永磁体在温度上升情况下会丧失部分磁性（这也是可逆的）。为了维持同一物理位置的传感器准确开关，传感器必须对磁体的温度行为做出反应以补偿这种磁性损失。因此，英飞凌 TLE49x6 系列的霍尔效应开关能够感应环境温度，为整个工作温度范围内可重复作业提供最先进的、控制良好的温度补偿。

图 7 就温度变化如何导致固定开关点传感器的行为变化，温度补偿如何有助于规避温度影响、维持相同的行为给出了定性的描述。

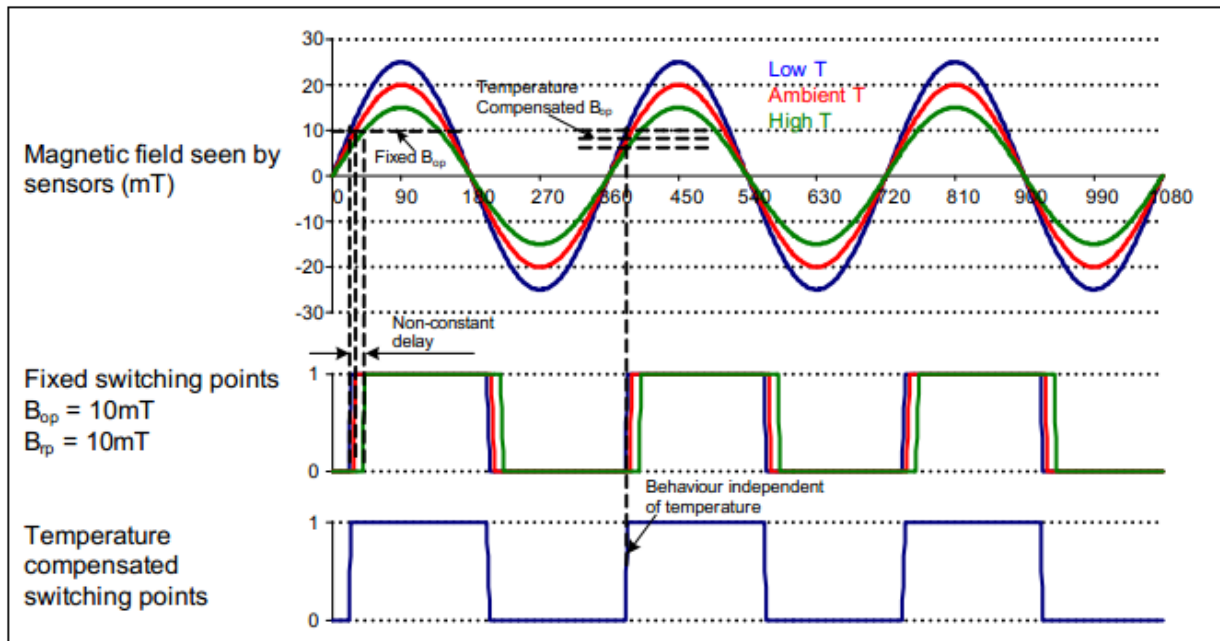


图 7 固定式开关点与温度补偿式开关点

3.3 英飞凌电机换向用霍尔效应开关

基于前文指出的各项性能指标，英飞凌专为电机控制应用开发了霍尔效应开关，有两个封装选项：SC59 SMD 封装的 TLE4946-2K 以及 PG-SSO-3-2 含铅封装的 TLE4946-2L（参见图 8）。这些部件的优势：

- 灵敏度高（开关点接近零，典型值有 $B_{op} 2\text{mT}$ 和 $B_{rp} -2\text{mT}$ ）
- 开关点的差异小（ B_{op} 在 0.5 与 3.5mT 之间， B_{rp} 在 -3.5 与 -0.5mT 之间）
- 出色的温度补偿（设置为典型值 $-350\text{ppm}/^\circ\text{C}$ ）
- 延迟时间短（通常为 $13\mu\text{s}$ ）
- 低抖动（通常为 $1\mu\text{s}$ ）

此外，在恶劣环境下工作的传感器的所有基本要求都通过这个部件得以满足，包括

- 宽泛的工作电源电压范围（ 2.7V 至 18V ）
- 最大电源电压范围高，带电极反接保护（ -18V 至 26V ）
- 高温度范围（工作温度范围 -40 至 150°C ，短时最大额定值高达 195°C ）
- 抗 ESD 性高（ >4 千伏）

所有这些特性令 TLE4946-2L 和 TLE4946-2K 成为电机换向应用的理想选择。关于这部分的详细信息，请参阅相关数据手册。

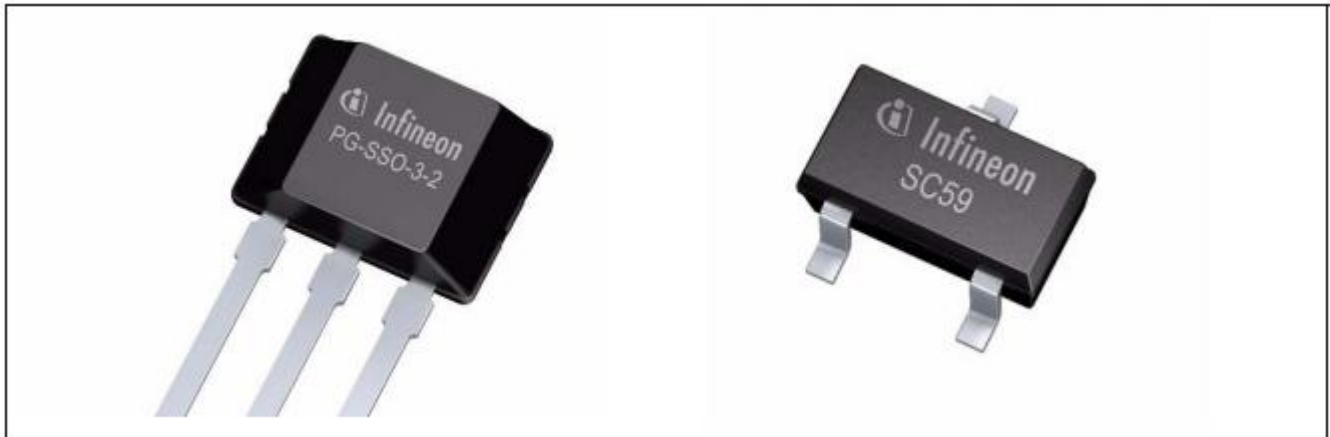


图 8 英飞凌电机换向用霍尔开关提供两个封装选项：PG-SSO-3-2 含铅封装（-L 型）和小尺寸 SC59 SMD 封装（-H, -K 型）。

3.4 英飞凌霍尔开关模式的角度传感器

针对可以使用如图 3 所示外部霍尔磁体的应用，英飞凌现在已开发出一个更简单的解决方案，它不需要三个而只要一个传感器就可以创建霍尔效应开关的开关模式：TLE5012B 角度传感器。这款传感器基于获诺贝尔奖的巨磁阻 (GMR) 效应原理，是英飞凌将标准硅处理工艺融入其成功的 iGMR 技术中的成果。图 9 显示了 TLE5012 的一个可行的实现方式，在电机轴上安装一个简单的圆柱形磁体。

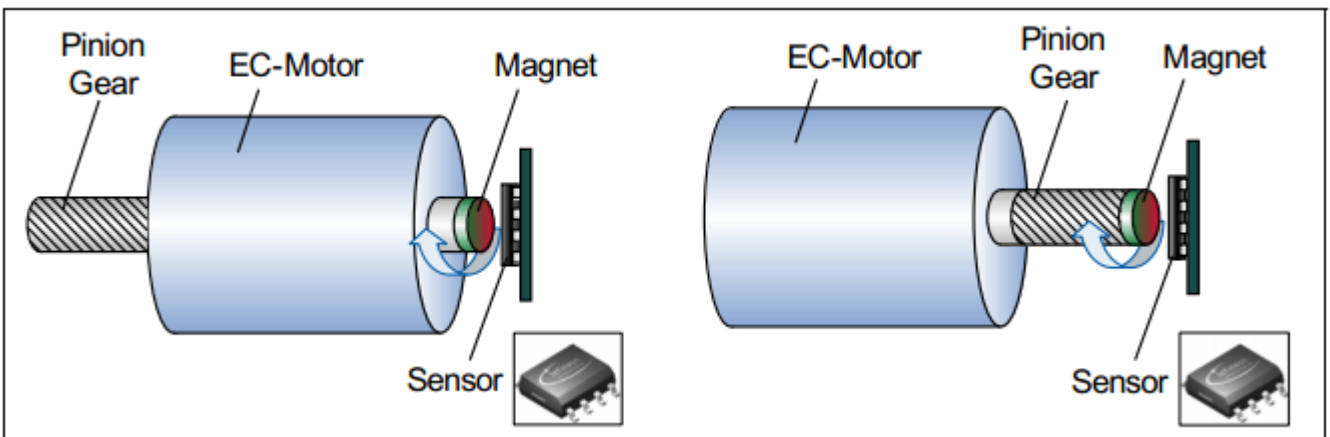


图 9 安装 TLE5012，轴上有一块径向磁体

TLE5012 可用于创建通过 2、3、4、6、7、8、12 和 16 个极对驱动转子所需的开关模式。凭借自动校准算法，在温度范围和工作寿命期间可以获得小于 1° 的角度误差（机械）。这意味着，TLE5012 的开关模式通常可以比最精确的霍尔开关提供的开关模式更准确。

对一些要求更高转矩平滑性的电机来说，只使用在大多数无刷直流电机中采用的块换向是不够的，它们需要使用特殊的绕组设计和适配的驱动算法来同步驱动电机。这些永磁同步电机 (PMSM) 通常需要更精确的反馈。可以考虑使用如上所述的 TLE5012B 霍尔开关模式，也可以使用下一章所述的编码器反馈模式。

4 编码器反馈

许多伺服应用的电机控制系统都需要精确的反馈信号以进行工作。可为这些应用服务的电机类型繁多，永磁同步电机 (PMSM) 就是其中一种选择，它经常使用高精度反馈。编码器不仅可以针对每周旋转提供两个开关事件，例如霍尔开关，而且角分辨率也高得多。

伺服电机通过闭环控制回路进行工作，对感测到输出信号（即位置、转矩、速度）进行处理，尽可能获得最好的电机输入。反馈通常是通过分解器或增量式编码器实现的。工业设备经常在其机器人手臂或生产机械中使用这种伺服电机，精密电机在汽车行业中也越来越常见，例如在现代 EPS 系统中使用。图 10 显示了电机先向前转动，然后向后转动时，增量式编码器产生的典型的输出信号 A 和 B。然后控制单元在 B 相每次出现上升沿时调节一个内部计数器寄存器。根据 A 相有无超过 B 相来判断方向。通常使用一个附加信号 Z 来指示参考位置。

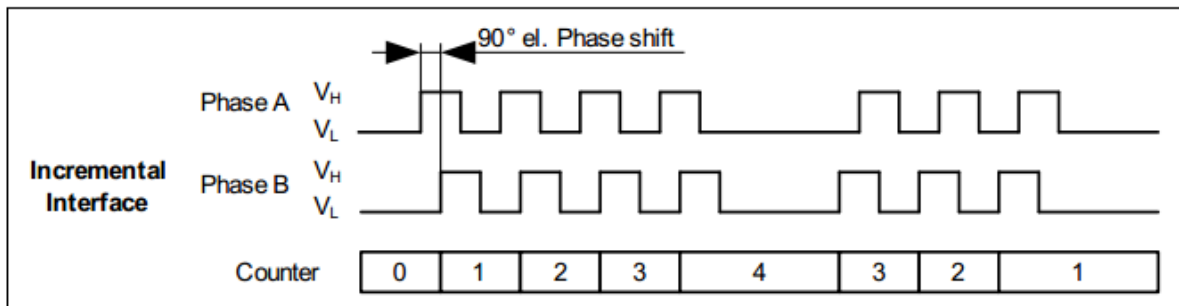


图 10 增量式接口的输出信号 A/B

4.1 光学编码器

光学编码器是当前最主要的一种编码器。它的主要优点是非接触式，因而不会磨损。光学编码器的分辨率比较高，绝对准确性良好。遗憾的是，光学编码器仍然相对昂贵，而且光学系统很容易受到灰尘或水分的干扰。此外，缩小光学编码器的尺寸不但困难而且耗资不菲。

4.2 磁性编码器

集成磁传感器技术的进步成就了这些系统，令它们真正成为角反馈系统的替代方案，已面市一段时间。利用霍尔效应、各向异性磁阻效应 (AMR) 或 GMR 效应的系统已面市。英飞凌使用其 iGMR 技术提供了最先进的通用型编码器 TLE5012B。相较于光学系统，磁系统具有许多优点

- 系统成本
- 建造空间
- 有密封的可能性
- 更高温度范围

目前已知的磁性编码器的部分缺点包括角精度和分辨率低，缺乏接口协议和速度较低。现在 TLE5012B 可以解决这些问题：

- 高速：TLE5012B 采用高速技术建造，允许更新率下降至 43 us
- 高准确度：iGMR 技术感应磁场方向而不是场强。这意味着，其准确度与温度和工作寿命无关。TLE5012B 采用自动校准算法实现优于 $\pm 1^\circ$ 的准确度，令准确度进一步提升。

- 高分辨率：TLE5012 B具备高达 16 位的内部分辨率，输出增量式接口达到 12 位的分辨率
- 接口：除了如前所述的增量式接口和霍尔开关模式以外，TLE5012 B还通过 PWM 接口以及 SPI 接口提供更多的客户端功能。可以使用 PWM 和 SPI 接口让传感器发挥绝对角度传感器（分解器）的作用，启动后直接提供绝对角度信号，不需要参照。

具备这些优势的 TLE5012 是您在为高性能电机控制应用挑选最先进的非接触式位置反馈系统时的极佳选择。

5 结论

本应用说明介绍了不同类型电机的位置反馈传感器原理。文章内容表明，TLE49x6 系列斩波型霍尔效应开关非常适合在 BLDC 应用中做电机换向之用。尤其是 TLE4946-2K 和 TLE4946-2L，就是专为实现 BLDC 电机的最佳性能而设计的。

许多电机控制系统需要为伺服应用提供精确的位置反馈。在过去，光学编码器一直是这一用途的优选对象。英飞凌 iGMR 技术的进步造就了 TLE5012B，不但令高速、高分辨率和高准确度成为可能，并且兼具耐用性和多功能性，是新一代位置反馈系统的首选产品。

参考资料

- [1] 《使用 CCU6 进行同步整流 BLDC 控制》，应用说明 AP08078，修订版 1.0，Infineon Technologies AG，2008 年 8 月，在线提供 (<http://www.infineon.com>)。
- [2] 《使用英飞凌 8 位 XC866 微控制处理器对带有霍尔传感器的无刷直流电机进行控制》，应用说明 AP08026，修订版 1.0，Infineon Technologies AG，2006 年 10 月，在线互联网上提供(<http://www.infineon.com>)
- [3] 《使用英飞凌 8 位 XC866 微控制器对无传感器无刷直流电机进行控制》，应用说明 AP08019，修订版 1.0，Infineon Technologies AG，2006 年 10 月，在线提供(<http://www.infineon.com>)
- [4] 《基于可变电感感应方法针对无传感器且负载可变的 BLDC 控制的启动控制演算法》，应用说明 AP08018，修订版 1.0，Infineon Technologies AG，2006 年 10 月。在线提供 (<http://www.infineon.com>)
- [5] 《使用英飞凌 XC164CM/CS 微控制器的 DAvE 驱动对带有霍尔传感器的无刷直流电机进行速度控制》，应用说明 AP16117，修订版 1.0，Infineon Technologies AG，2007 年 7 月，在线提供(<http://www.infineon.com>)
- [6] 《16 位 CMOS 微控制器产品 XC164CS – 空间向量调制》，应用说明 AP16057，修订版 1.0, Infineon Technologies AG，2004 年 5 月。在线提供 (<http://www.infineon.com>)

术语表

AMR	各向异性磁组
back-EMF	反电动势
BLDC 电机	无刷直流电机
Bop	霍尔效应开关的工作点
Brp	霍尔效应开关的释放点
DC	直流
EC 电机	电子换向电机
EPS	电动助力转向
IIF	增量式接口
HVAC	加热通风空调系统
PMSM	永磁同步电机
PWM	脉宽调制
SPI	串行外设接口

www.infineon.com

由 Infineon Technologies AG 出版