

使用 TI 霍尔效应传感器设计单位置和多位置开关

Carolus Andrews

摘要

本应用报告讨论了在 1–3 位置开关中使用霍尔效应传感器的好处和方法。

内容

1	霍尔效应开关简介	2
2	概述	2
3	器件描述	3
4	详细设计流程	3
5	参考文献	15

附图目录

1	轴向圆盘和圆柱体磁体以及径向圆盘和圆柱体磁体示例	2
2	块状磁体示例	2
3	DH1H1 的 TI 磁场计算器结果	4
4	DRV5032ZE 和 DRV5032DU, B_{OP} 和 B_{RP} 位置和距离	5
5	单位置开关的迎面磁性行程	5
6	DH1H1 磁曲线, B_{OP} 和 B_{RP} 点, 2mm 高度	6
7	双位置单路输出开关的横向磁性行程	7
8	高度为 2.5mm 的各种磁体的磁场行为	8
9	D11SH 磁曲线, B_{OP} 和 B_{RP} 点, 2.5mm 高度	9
10	双位置双路输出开关横向移动	10
11	D18 磁曲线, B_{OP} 和 B_{RP} 点, 2.5mm 高度	11
12	三位置开关关闭位置	12
13	三位置开关横向移动	12
14	D42DIA 磁曲线, B_{OP} 和 B_{RP} 点, 2.5mm 高度	13
15	三位置旋转开关关闭位置	14
16	三位置开关的旋转磁性行程	14

商标

All trademarks are the property of their respective owners.

1 霍尔效应开关简介

当今的许多应用都需要使用小巧的按钮和开关来实现最基本的用户界面。无论是供电设备还是模式选择，几乎可以在市场上的所有终端设备中找到开关，而开关本身也带来了可靠性、稳健性和成本等实施方面的挑战。可以在开关应用中实施霍尔效应传感器，从而提供多种功能：帮助消除灵敏开关上的抖动；提供防水和防风雨功能，这得益于与配对磁体的隔离特性；通过减少金属触点和活动部件，提高系统的可靠性和多功能性，进而提高其稳健性。

2 概述

2.1 有用的磁体类型

在制造开关或按钮时，最有用的磁体类型是块状、圆盘和圆柱体。对于圆盘和圆柱体，这些磁体可以轴向磁化（图 1，左起第一个和第二个图像）或径向磁化（图 1，左起第三个和第四个图像）。块状磁体通常沿磁体的厚度方向进行磁化，因此必须注意确保指定正确的尺寸。下面的图 2 提供了块状磁体方向的示例。

2.2 磁体类型

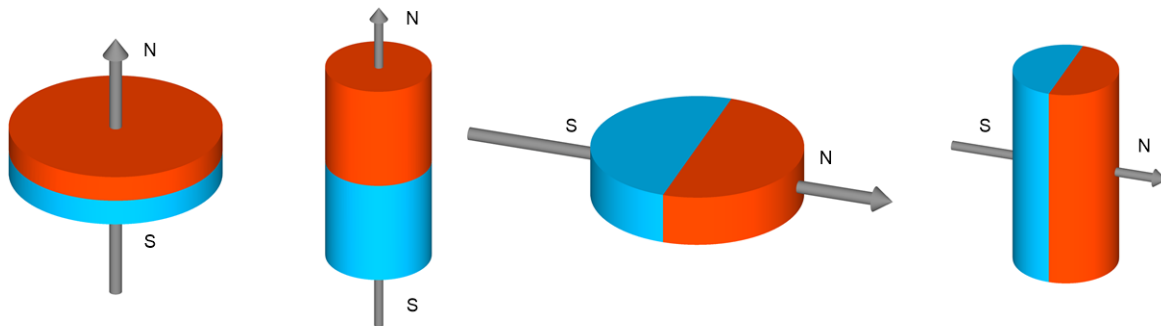


图 1. 轴向圆盘和圆柱体磁体以及径向圆盘和圆柱体磁体示例

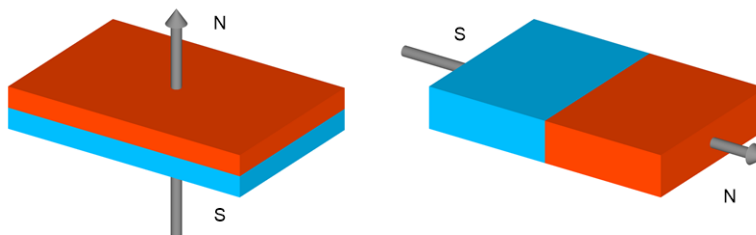


图 2. 块状磁体示例

3 器件描述

3.1 DRV5021(-Q1): 2.5V 至 5.5V 霍尔效应单极开关

DRV5021 是一款适用于高速应用的低电压数字开关霍尔效应传感器。该器件由 2.5V 至 5.5V 的电源供电，可以感应磁通量密度并根据预定义的磁性阈值提供数字输出。

该器件会检测垂直于封装面的磁场。当施加的磁通量密度超过磁运行点 B_{OP} 阈值时，器件的漏极开路输出将驱动低电压。当磁通量密度降至磁释放点 (B_{RP}) 阈值时，输出会变为高阻抗。 B_{OP} 和 B_{RP} 的分离所产生的滞后有助于防止输入噪声引起的输出误差。这种配置使得系统设计能够更加稳健地抵抗噪声干扰。

该器件可在 -40°C 至 $+125^{\circ}\text{C}$ 的宽环境温度范围内保持稳定的优异性能。

3.2 DRV5023(-Q1): 2.5V 至 38V 霍尔效应单极开关

DRV5023 是一款斩波稳定霍尔效应传感器，可提供磁性感应解决方案（在工作温度范围内具有出色的灵敏度稳定性并具有集成保护功能）。

当施加的磁通量密度超过 B_{OP} 阈值时，**DRV5023** 开漏输出将被拉低。输出会保持低电压，直到磁场降至低于器件的 B_{RP} ，随后输出转至高阻抗状态。输出灌电流能力为 30mA。该器件具有 2.5 至 38V 的宽工作电压范围，反极性保护高达 -22V ，因此适用于各种工业应用。

针对反向电源条件、负载突降和输出短路或过流，提供了内部保护功能。

3.3 DRV5032: 超低功耗 1.65V 至 5.5V 霍尔效应开关

DRV5032 器件是一款超低功耗数字开关霍尔效应传感器，专为最紧凑型系统和电池电量敏感型系统而设计。该器件可提供多种磁性阈值、采样率、输出驱动器和封装以适配各种应用的高速串行链路的稳定性。的高度集成和高性能解决方案。

当施加的磁通量密度超过 B_{OP} 阈值时，该器件会输出低电压或通过开漏输出配置拉至低电平状态。输出会保持低电平，直到磁通量密度低于 B_{RP} ，随后输出将驱动高电压或变成高阻抗，具体取决于器件版本。通过集成内部振荡器，该器件可对磁场进行采样，并以 20Hz 或 5Hz 的速率更新输出，以实现优化的低电流消耗。可提供全极和单极磁响应。

此器件可在 1.65V 至 5.5V 的 V_{CC} 范围内工作，并采用标准 SOT-23 和小型 X2SON 封装。

3.4 DRV5033(-Q1): 2.5V 至 38V 霍尔效应全极开关

DRV5033 器件是一款斩波稳定霍尔效应传感器，可提供磁性感应解决方案（在工作温度范围内具有出色的灵敏度稳定性并具有集成保护功能）。

DRV5033 对磁场方向的两极具有相同的响应。当施加的磁通量密度超过 B_{OP} 阈值时，**DRV5033** 开漏输出变为低电平。输出会保持低电平，直到磁场降至低于 B_{RP} ，随后输出变为高阻抗状态。输出灌电流能力为 30mA。该器件具有 2.5 至 38V 的宽工作电压范围，反极性保护高达 -22V ，因此适用于各种工业应用。

针对反向电源条件、负载突降和输出短路或过流，提供了内部保护功能。

4 详细设计流程

以下各节介绍了用于实现按钮、两位置单路输出、两位置双路输出以及三位置线性和径向开关的各种方法。对于每种设计，都主要考虑了外形尺寸和能量开销，因为当今现代产品中的许多开关都针对小尺寸和低功耗方案进行了优化。物理开关在大多数情况下都不依赖于频率，因此 **DRV5032** 系列在这些设计中得到了广泛使用，因为此器件的低功耗功能非常适用于该应用。

4.1 单位置开关（按钮）

按钮开关是一项设计挑战，因为磁体要迎面靠近传感器，从而极大地简化磁体选择计算。也就是说，该设计面临的挑战在于如何在尺寸和功能方面承袭典型的开关。由于外形尺寸至关重要，需要使用非常小的磁体，而且我们考察了各种磁体。下面的图 3 显示了一个使用 TI 磁场计算器工具来确定磁体迎面值的示例。

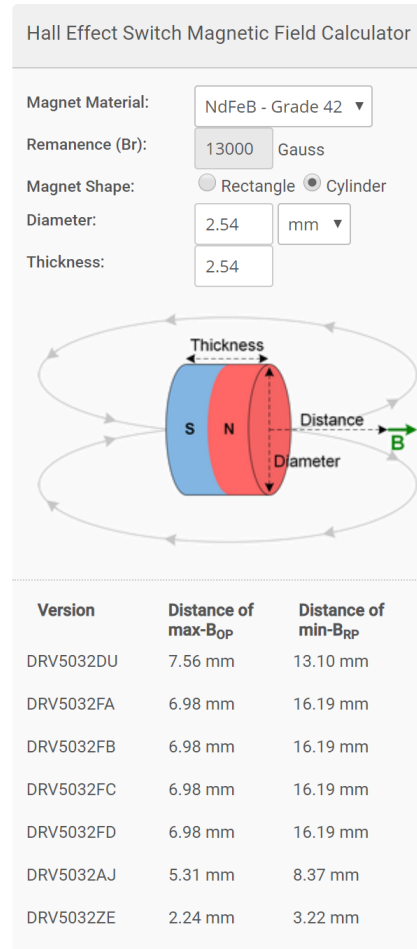


图 3. DH1H1 的 TI 磁场计算器结果

该计算器工具给出的计算结果显示了磁体表面到封装内霍尔效应传感器位置的快速距离解决方案，适用于 DRV5032 系列的所有型号。请注意，传感器位置可能会根据所选择的封装而在器件内部发生变化，在机械设计过程中必须考虑该距离。从所考察的几种磁体中，选择了 K&J Magnetic 的 DH1H1，该磁体是 2.54mm x 2.54mm（直径 x 厚度）的 N42 级钕磁体。

为了模拟真实按钮开关的感觉，需要一定的向下运动以达到传感器的最大 B_{OP} ，并且该器件还必须能够移动等效于最大 B_{OP} 与最小 B_{RP} 之差的返回距离，从而也保证该器件能够释放。为了帮助实现这一点，通常选择灵敏度较低的器件，因为它们在非线性磁曲线上的较高位置运行。在图 4 中，显示了与 DH1H1 磁体相关的 DRV5032 系列最高和最低灵敏度器件。

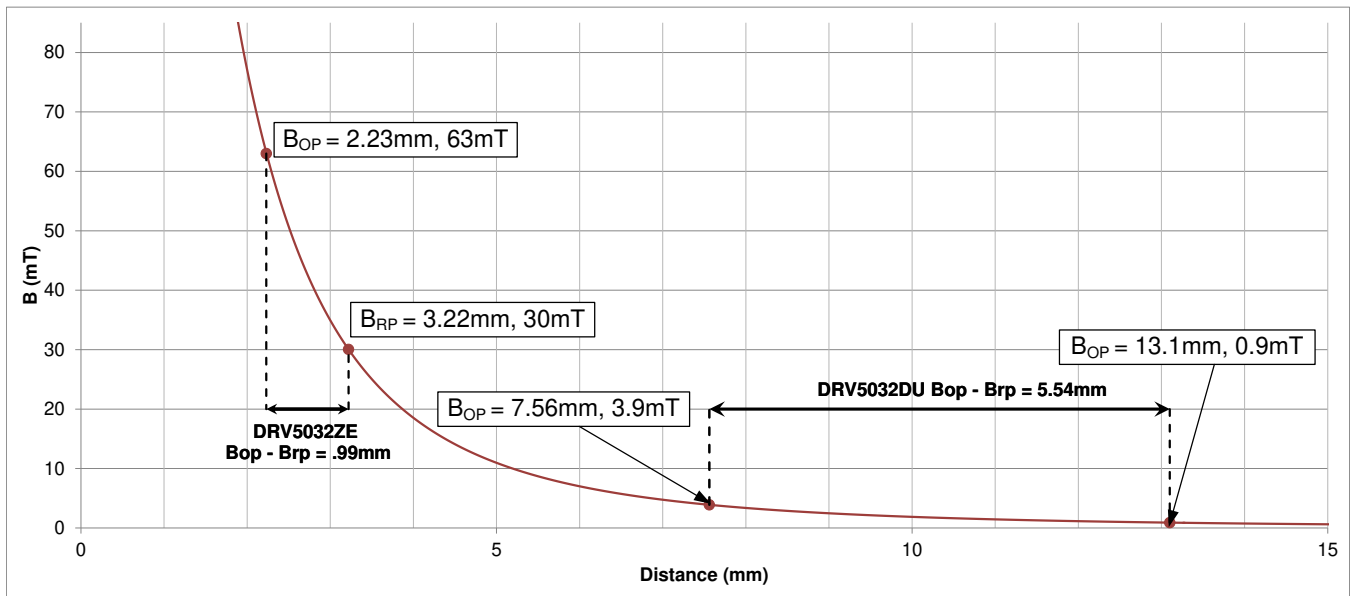


图 4. DRV5032ZE 和 DRV5032DU, B_{OP} 和 B_{RP} 位置和距离

如图所示，尽管 B_{OP} 与 B_{RP} 之间的差异幅度要大很多，但由于与磁体非常接近时的指数衰减关系，达到过渡态所需移动的物理距离要小很多。

基于该因素所选择的器件是 DRV5032ZE，现在需要选择或设计一个清晰的机械设计设置：一种将磁体放置在传感器（位于器件封装内部，而不是封装表面）上方至少 3.22mm 处的装置，该装置还要留出一定的移动距离，以使磁体停止在距传感器小于 2.23mm 的位置。图 5 对此进行了说明。

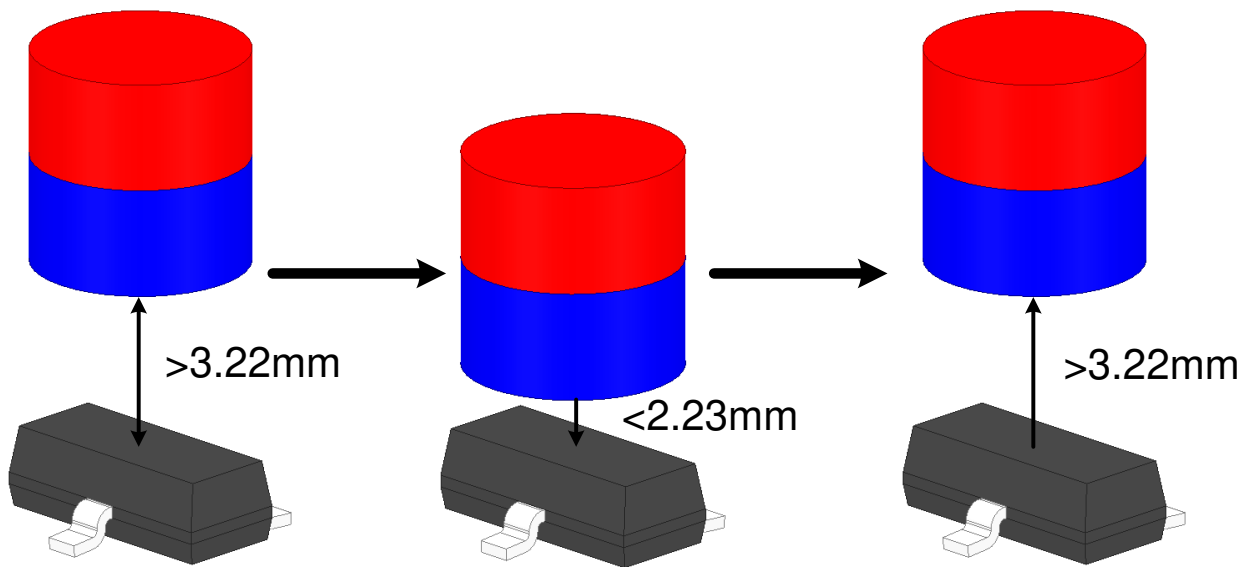


图 5. 单位置开关的迎面磁性行程

4.2 具有单路输出的两位置开关

两位置开关在很多方面都与单位置开关相似，但有一项显著的区别：尽管磁体仍以迎面方式接近传感器，但磁体现在以在最大 B_{OP} 点（通过 TI 磁场计算器计算得出）以内选择的任意高度横向移向传感器。为简单起见，仍为该设计选择与 DRV5032ZE 配对的 DH1H1。

参阅图 4，您应该记得，与 DRV5032ZE 配对的该磁体的最大 B_{OP} 出现在 2.23mm 的距离处，因此可以利用小于该值的任何距离。对于该设计，选择了 2mm 的距离。在确定该距离之后，现在必须确定磁体可以横向移动到距离传感器多远的位置，以达到该器件的最小 B_{RP} 。

对于偏轴仿真，需要使用其他工具。在本文中，仿真是使用 ANSYS Electronics Desktop 执行的，但可以使用免费工具（如可以通过 KJMagnetics 的网站免费获取的 KJM 磁体计算器）来帮助完成该部分设计。请注意，下面的图 6 显示的曲线仅提供了放置在 DRV5032ZE 感应元件上方 2mm 处的 DH1H1 磁体的信息，如果在不同的点选择了此距离或者为设计选择了其他磁体，则需要获取新数据。

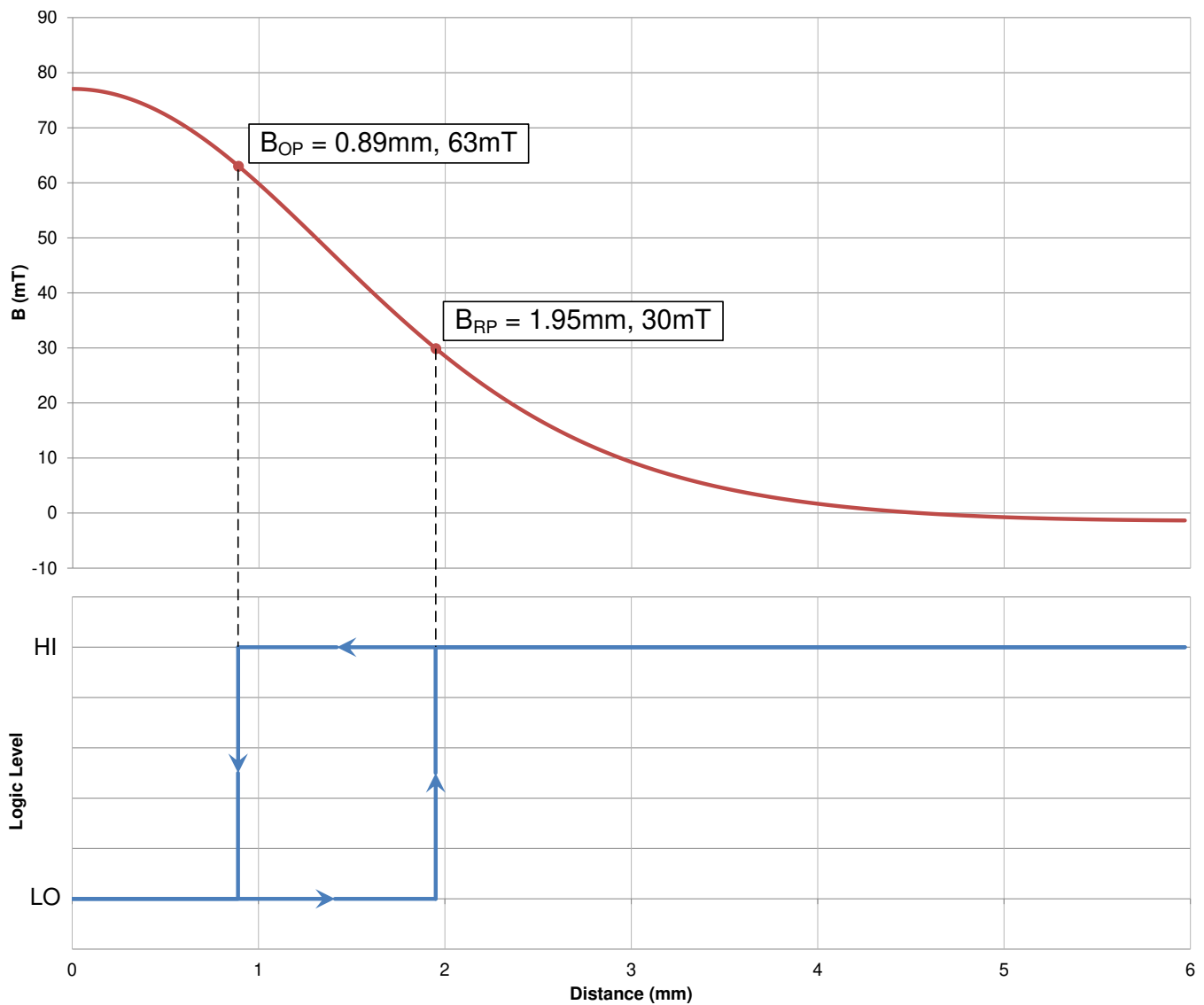


图 6. DH1H1 磁曲线， B_{OP} 和 B_{RP} 点，2mm 高度

基于这些结果，该报告现在具有磁体必须移动以确保释放操作的物理距离。磁体仍可以移至该设计具有以下限制的机械部分：磁体需要静止在 DRV5032ZE 中霍尔感应元件上方 2mm 处，并且需要能够将磁体从传感器上方的静止位置横向移开至少 1.95mm。图 7 对此进行了说明。

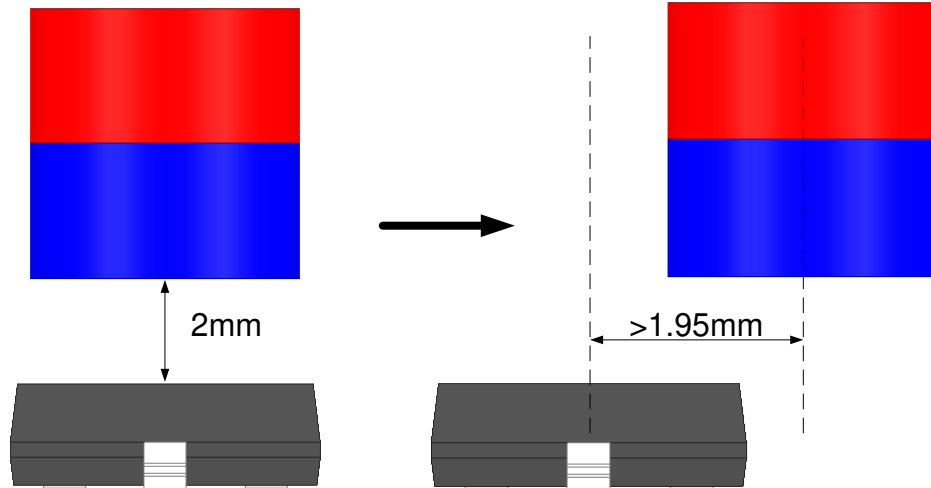


图 7. 双位置单路输出开关的横向磁性行程

4.3 具有双路输出的 2 位置开关

在设计两位置双路输出开关时，设计程序开始与前两个开关有所不同，因为它现在总共需要两路输出。对此，一种潜在具有成本效益的方法是访问磁体的两个磁极，结果是将磁体转为侧面向下，以便能够在设计中使用单个磁体。

与以前的开关设计不同，该设计利用双路输出单极器件输出两个单独的信号，而在以前的开关设计中，使用单路输出传感器来确定关闭/打开状态。在存在朝北的磁信号的情况下，输出 1 拉低，而在存在朝南的磁信号的情况下，输出 2 拉低。对于 DRV5032 系列，只有两个版本允许采用该配置：DU 和 FD 版本。

随着磁体转为侧面向下，磁曲线的特征形状发生变化。结果，存在几种定向，其中可以在器件的输出之一上触发 B_{OP} 或 B_{RP} 。由于这是双路输出开关，因此目标是选择一种磁体，该磁体可以优化“死区”或磁性变化北侧和南侧各自 B_{OP} 之间的曲线中心区域。通过最大程度地减小该区域的行程，当磁体以任意选定高度在传感器上方横向移动时，曲线会迅速从北极磁影响转向南极磁影响。对于该设计，在选择磁体之前选择了 2.5mm 的高度。在图 8 中，考察了几种磁体，以查看该对齐方式变化如何导致曲线移动。请注意，这些曲线说明了这些高度为 2.5mm 的磁体的磁场（从磁体的外半径到封装中嵌入的磁性霍尔感应元件）。

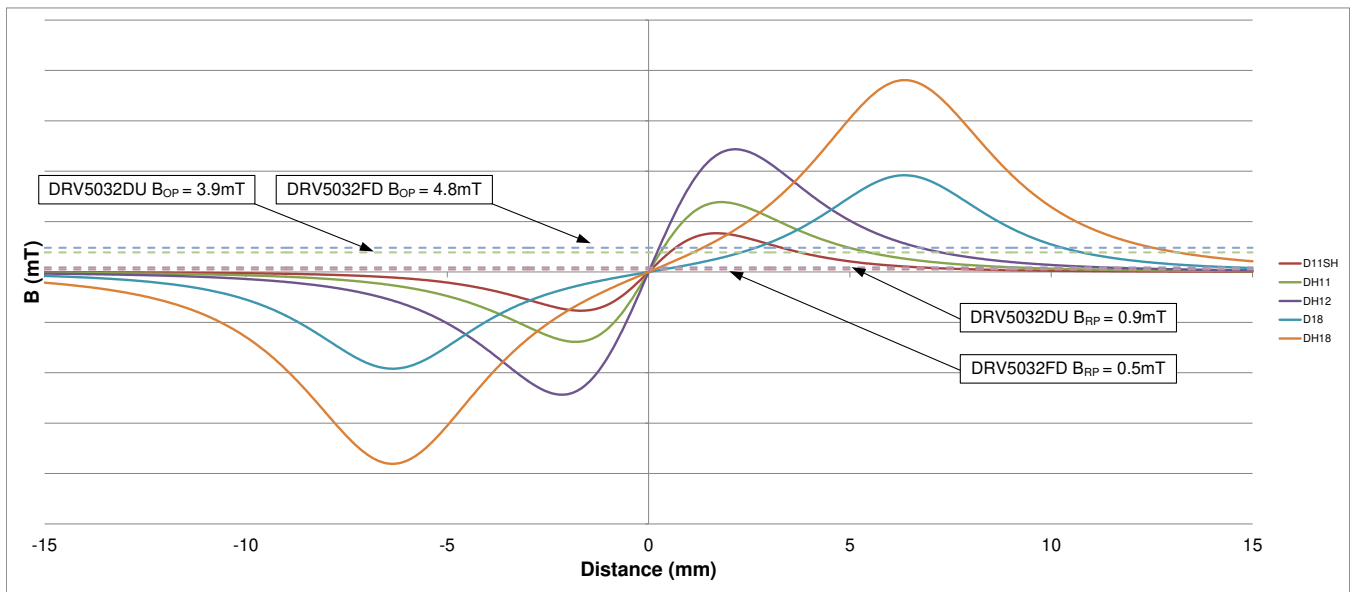


图 8. 高度为 2.5mm 的各种磁体的磁场行为

通过这些选择，由于北极和南极的 B_{OP} 之间的距离很小，因此 D11SH、DH11 和 DH12 看起来都可以很好地与 DRV5032DU 或 DRV5032FD 配合工作。由于此处需要小外形尺寸，因此选择了 D11SH 来完成该设计，这是一款 1.5875mm x 1.5875mm（直径 x 厚度）的 N42 级钕磁体。不过，DH11 和 DH12 在此处也可以正常工作。请注意，这些曲线仅对选择的 2.5mm 高度有效。对于选择的其他高度，需要重新计算这些曲线。

下面的图 9 显示了 D11SH 的详细磁场曲线，以及各个工作点和释放点的迟滞。

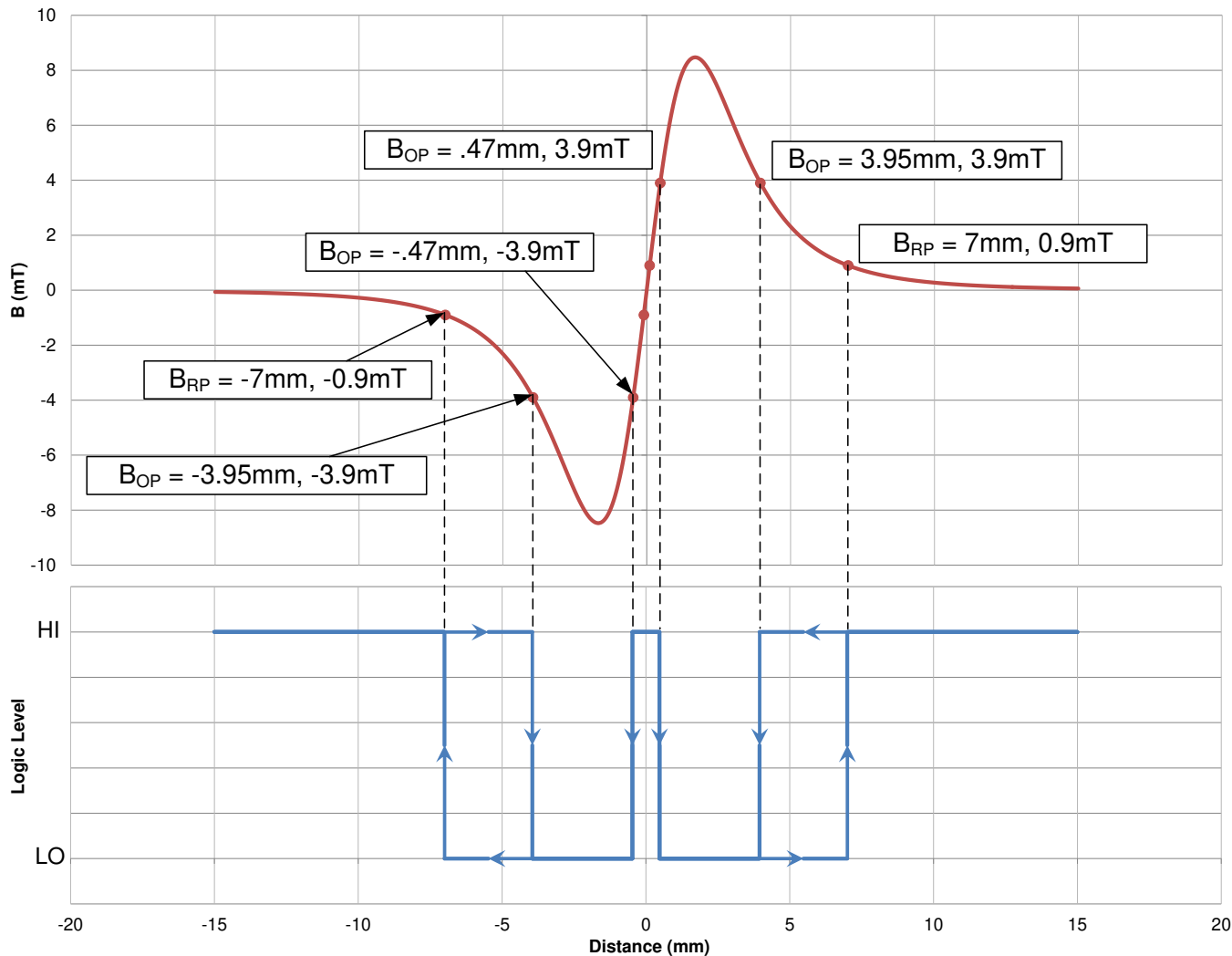


图 9. D11SH 磁曲线, B_{OP} 和 B_{RP} 点, 2.5mm 高度

对于曲线的每个峰值，都有两个达到 B_{OP} 的点。建议将其中每个点的极值（对于北极为 -3.95mm，对于南极为 3.95mm）视为最大行程点；尽管工作点和外部释放点之间具有 3.05mm 的距离，但典型值通常远小于数据表中的最大值，并且移动经过这些点可能会导致器件意外关闭。考虑到这一点，我们得到了双路输出开关的机械容差：开关两侧之间的最小行程为 $\pm 0.47\text{mm}$ （总共为 0.94mm），最大移动距离为 $\pm 3.95\text{mm}$ 。图 10 说明了该移动。请注意，仅给出了一个运动方向，但是该运动与传感器的中心对称，这可以反映在器件的轴上。

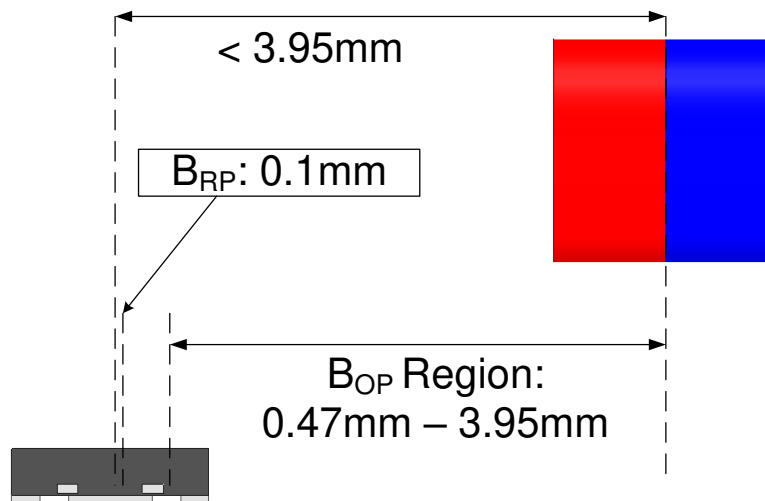


图 10. 双位置双路输出开关横向移动

4.4 具有双路输出的三位置开关（内联）

三位置开关设计与二位置双路输出非常相似。不过，在该设计中，“死区”不再最大程度地减小，而是用作第三个输出，其中 DRV5032 的两个输出均未激活。正因为如此，需要实现更平坦的曲线，以延长该第三状态的移动距离。请回忆一下上面的图 8 中的 D18 和 DH18，因为这些磁体表现出此处所需的更平坦的行为。为简单起见，选择了高度为 2.5mm 的 D18 来完成该设计，这是一款 1.5875mm x 12.7mm（直径 x 厚度）的 N42 级钕磁体。

下面的图 11 显示了 D18 的更详细磁场曲线，以及各个工作点和释放点的迟滞。

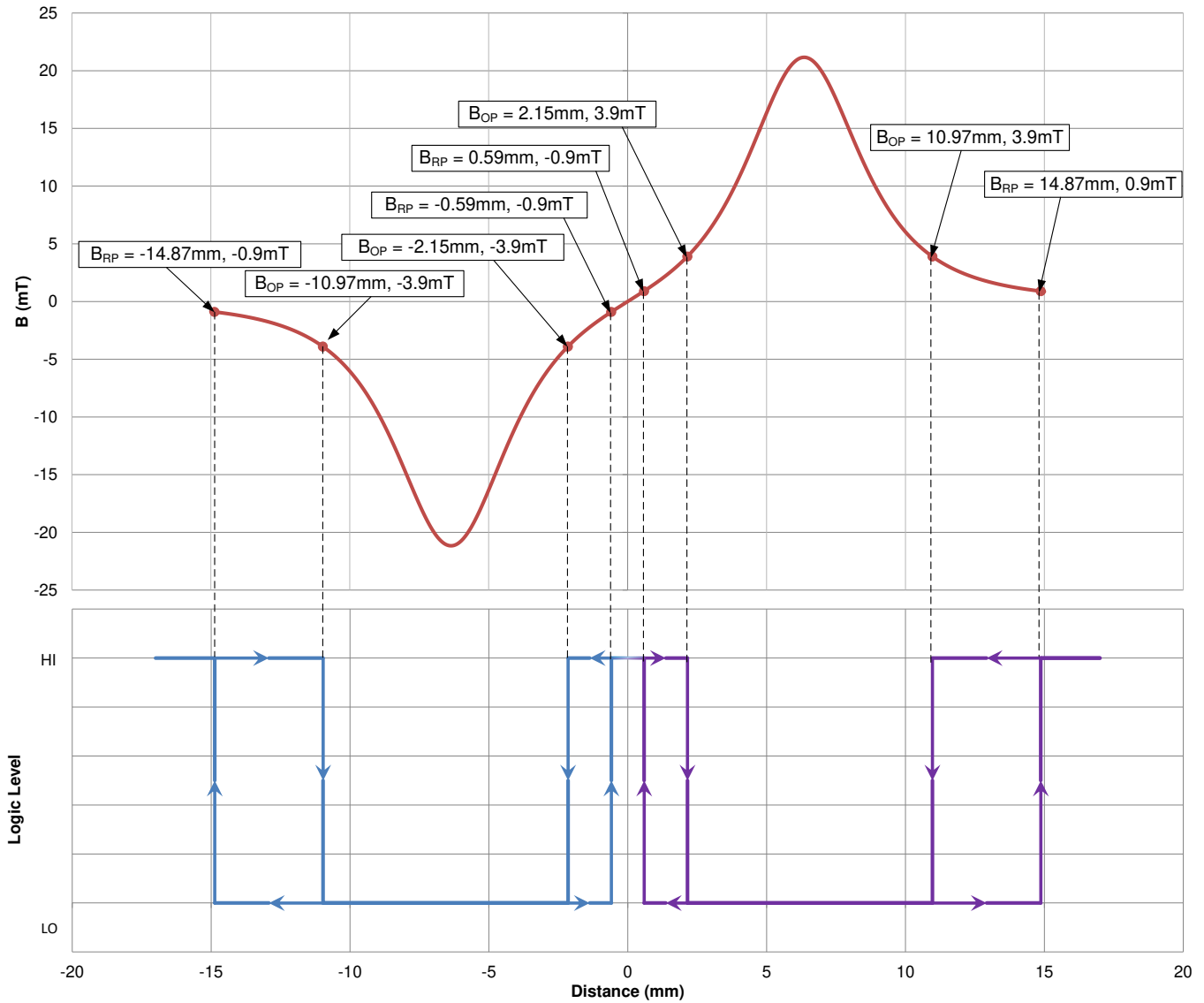


图 11. D18 磁曲线， B_{OP} 和 B_{RP} 点，2.5mm 高度

从此处开始，设计与双路输出开关非常相似。仍建议将其中每个点的 B_{OP} 极值（对于北极为 -10.97mm ，对于南极为 10.97mm ）视为最大行程点，以实现更高的稳健性。按照上一节中双路输出开关的过程进行操作，现在设计转向具有以下容差的机械问题：开关两侧之间的最小行程为 $\pm 2.15\text{mm}$ （总共为 4.3mm ），最大移动距离为 $\pm 10.97\text{mm}$ 。不过，现在在开关的中心有一个 $\pm 0.59\text{mm}$ (1.18mm) 的部分用作“断开”位置，因为可以确保传感器看到的磁场远离任一侧的最小释放点。请注意，该 1.18mm 区域基于器件的最小 B_{RP} ，实际上该区域通常更大。下面的图 12 和图 13 说明了该移动。请注意，仅给出了一个运动方向，但是该运动与传感器的中心对称，这可以反映在器件的轴上。

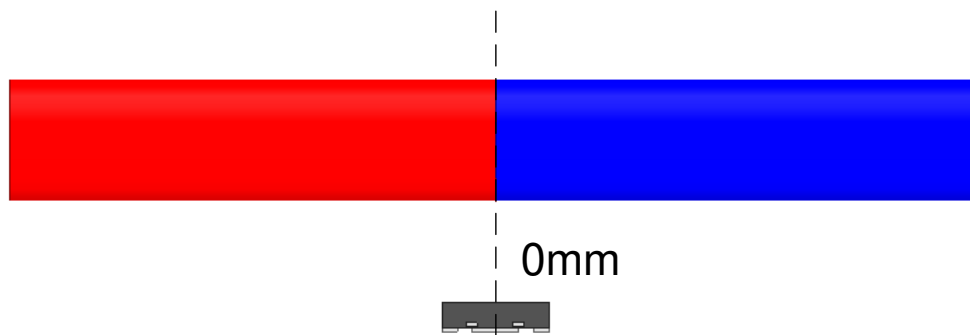


图 12. 三位置开关关闭位置

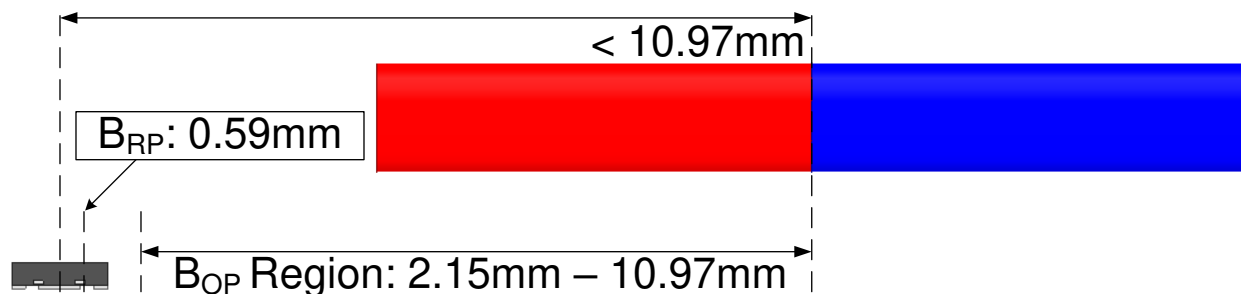


图 13. 三位置开关横向移动

4.5 具有双路输出的三位置开关（旋转）

对于旋转开关设计，由于与霍尔效应传感器一起使用时具有周期性，因此圆盘式磁体通常最方便，但对于小外形尺寸，也可以使用圆柱体磁体。通过旋转圆柱体磁体，可生成类似于先前设计的曲线。

由于该磁体通常嵌入在转盘中，因此需要较小的厚度，但是增加该厚度也有助于最大程度地增大死区，因此必须在此处进行权衡。通过快速检查可用的磁体，为该仿真选择了 **D14**，这是一款 1.59mm x 3.175mm（直径 x 厚度）的轴向 N42 级钕磁体。为该磁体选择了 2.5mm 的高度，并再次与 DRV5032DU 配对使用。下面的图 14 显示了 **D14** 的详细磁场曲线，以及各个工作点和释放点的迟滞。

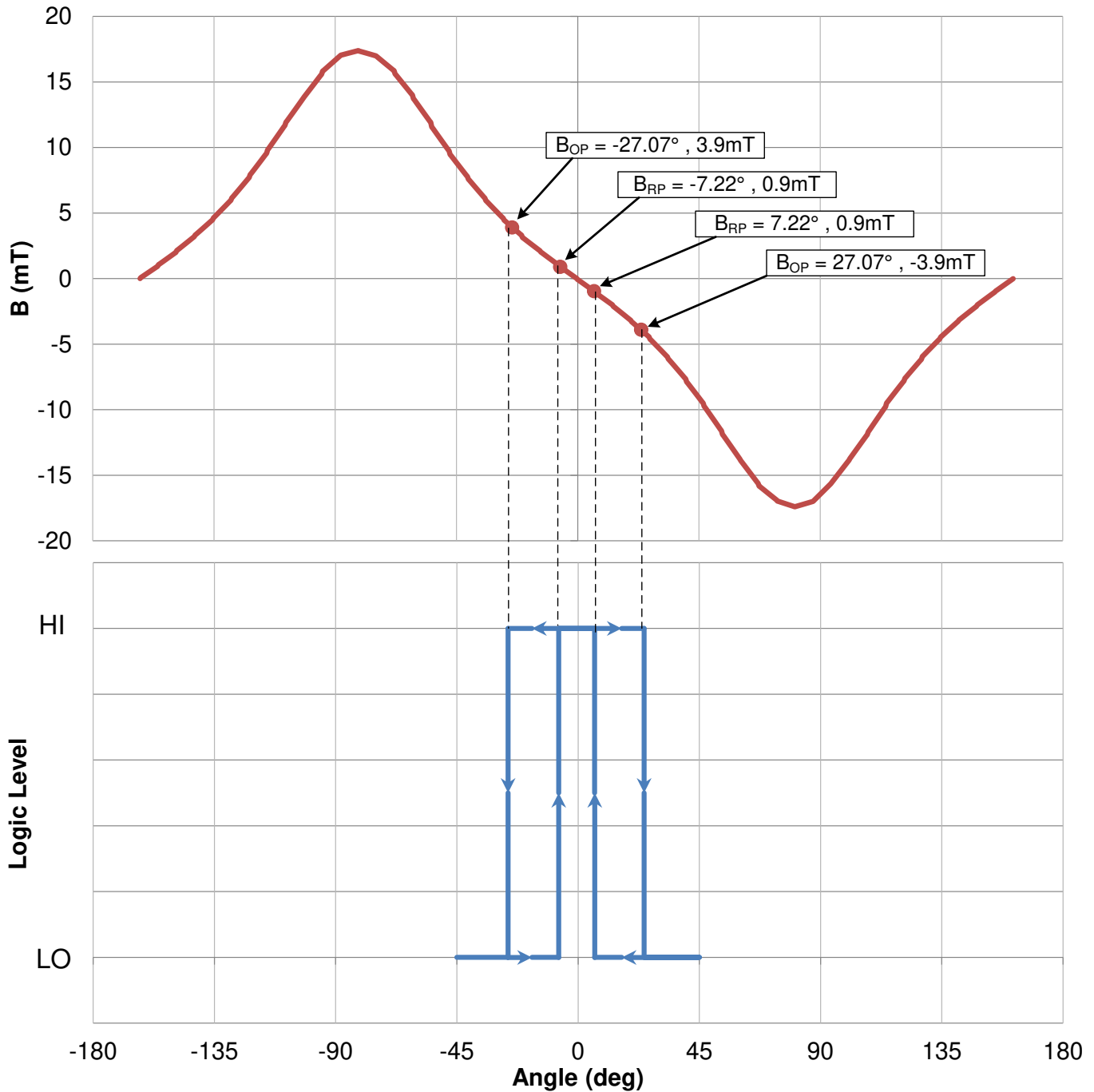


图 14. D42DIA 磁曲线, B_{OP} 和 B_{RP} 点, 2.5mm 高度

这些结果表明, 必须将磁体嵌入到能够至少移动 $\pm 27.07^\circ$ 的外壳中, 以保证任一状态都能打开。为了确保稳健性, 必须增加一定额外度数的裕量, 以便设计在 $\pm 30^\circ$ 的行程下保持稳健性。当转盘回到中心位置时, 可保证器件在任一侧约 $\pm 7^\circ$ 处关闭, 并且在中心具有大约 14° 的窗口作为“关闭”点, 在该点传感器的两个输出均未激活。外壳必须与磁体一起位于传感器上方 2.5mm 处, 并且传感器应安装在磁体最厚点的径向旋转边缘下方, 如图 15 和 图 16 所示。

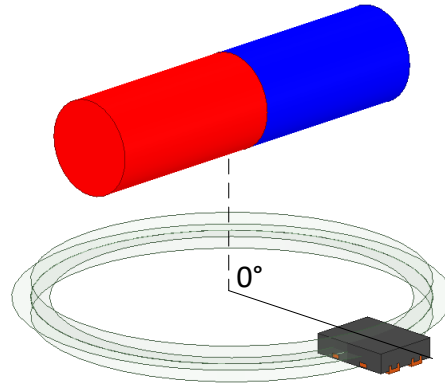


图 15. 三位置旋转开关关闭位置

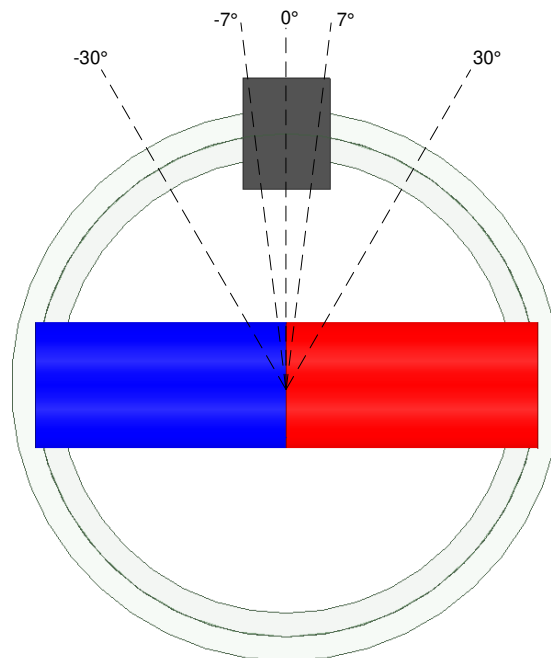


图 16. 三位置开关的旋转磁性行程

5 参考文献

- 德州仪器 (TI), 《利用线性霍尔效应传感器测量角度概述》应用手册
- 德州仪器 (TI), 用于评估 SOT-23 和 TO-92 霍尔传感器的分线适配器
- 德州仪器 (TI), E2E 论坛 (<https://e2echina.ti.com/>)

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