

**摘要**

有多种类型的人机界面控制。典型示例就是翘板开关。这通常使用机械连接控制开关状态。然而，可以借助霍尔效应开关实现相似输出。本文介绍了如何实现这一目标。

**内容**

<b>1 引言</b> .....	<b>3</b>
<b>2 设计过程</b> .....	<b>4</b>
2.1 机械实现.....	4
2.2 磁性实现.....	5
2.3 磁体传感器放置.....	11
2.4 原型设计和基准测试.....	18
2.5 布局.....	18
2.6 基准测试.....	19
2.7 基准测试结果.....	19
2.8 误差源.....	21
<b>3 总结</b> .....	<b>31</b>

**插图清单**

图 1-1. 设计流程.....	3
图 2-1. 机械选项.....	4
图 2-2. 机械实现.....	5
图 2-3. 全极行为.....	5
图 2-4. 采样轴.....	6
图 2-5. 磁体磁力线.....	6
图 2-6. 方法 1.....	8
图 2-7. 方法 2.....	9
图 2-8. 方法 3.....	10
图 2-9. 两个单极行为.....	11
图 2-10. 翘板尺寸限制.....	11
图 2-11. 设置.....	12
图 2-12. 示例图.....	13
图 2-13. DRV5033FA 初步分析.....	13
图 2-14. 转换区域.....	14
图 2-15. DRV5033AJ 初步分析.....	15
图 2-16. DRV5032ZE 初步分析.....	16
图 2-17. DRV5032ZE_Adjusted_Analysis.....	17
图 2-18. 翘板开关模块.....	18
图 2-19. 基准分析方法.....	19
图 2-20. 可接受的测量范围.....	19
图 2-21. 基准测试结果与理想期望之间的关系.....	20
图 2-22. 基准测试结果与包含偏移的界限之间的关系.....	20
图 2-23. 位移偏移.....	21
图 2-24. X 偏移和 Y 偏移对 $B_{OP}$ 最大角度的影响.....	22
图 2-25. Z 偏移对 $B_{OP}$ 最大角度的影响.....	22
图 2-26. 磁体翻滚、偏转和俯仰.....	23

图 2-27. 翻滚对 BOP 最大角度的影响.....	23
图 2-28. 偏转对 BOP 最大角度的影响.....	23
图 2-29. 长度和宽度公差对 B <sub>OP</sub> 最大角度的影响.....	24
图 2-30. 高度和剩余磁化强度对 B <sub>OP</sub> 最大角度的影响.....	24
图 2-31. 霍尔元件放置示例.....	26
图 2-32. 相邻翘板开关的影响.....	27
图 2-33. 外部磁场的影响.....	28
图 2-34. 磁体屏蔽.....	29
图 2-35. 图像俯仰.....	30
图 2-36. 存在偏转的捕获结构.....	30

## 表格清单

表 2-1. 设计工具条目.....	17
表 2-2. DRV5033 磁特性.....	25

## 商标

所有商标均为其各自所有者的财产。

## 1 引言

应用于车辆等复杂机器时，需要用到各种触觉控制。这些控制通常提供三种工作状态，例如启动车门上锁、开锁或保持空闲状态，并指定何时提高、降低或保持：

- 窗户位置（例如车门上）
- 速度（例如轿车的巡航控制）
- 收音机的音量

除了这些，可能还有很多应用场合，不一定完全与汽车有关。可用于这种状态选择的一种特定类型的触觉控制是翘板开关。本文将深入探讨翘板开关的基本工作原理，并演示该开关一个可能版本的设计流程。文中还介绍了设计流程中的挑战。

图 1-1 总结了本文中出现的設計流程。

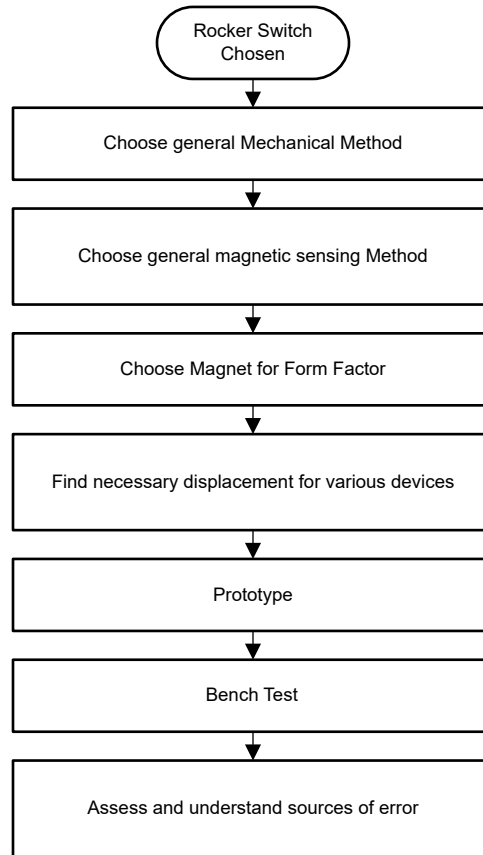


图 1-1. 设计流程

## 2 设计过程

### 2.1 机械实现

通常，设计从定义一个执行一组特定操作的系统开始。在这种情况下，目标是设计一个三态开关，当用户施加力时，将进入两个操作状态，当用户未施加力时，将进入安静状态，或使开关恢复默认位置。这实际上可以通过多种不同样式的开关来实现，因此取决于用户的主观喜好、美学、空间或成本。图 2-1 显示了三个可能的机械选项。本文探讨了设计具有底部选项的三态开关所必需的翘板开关。

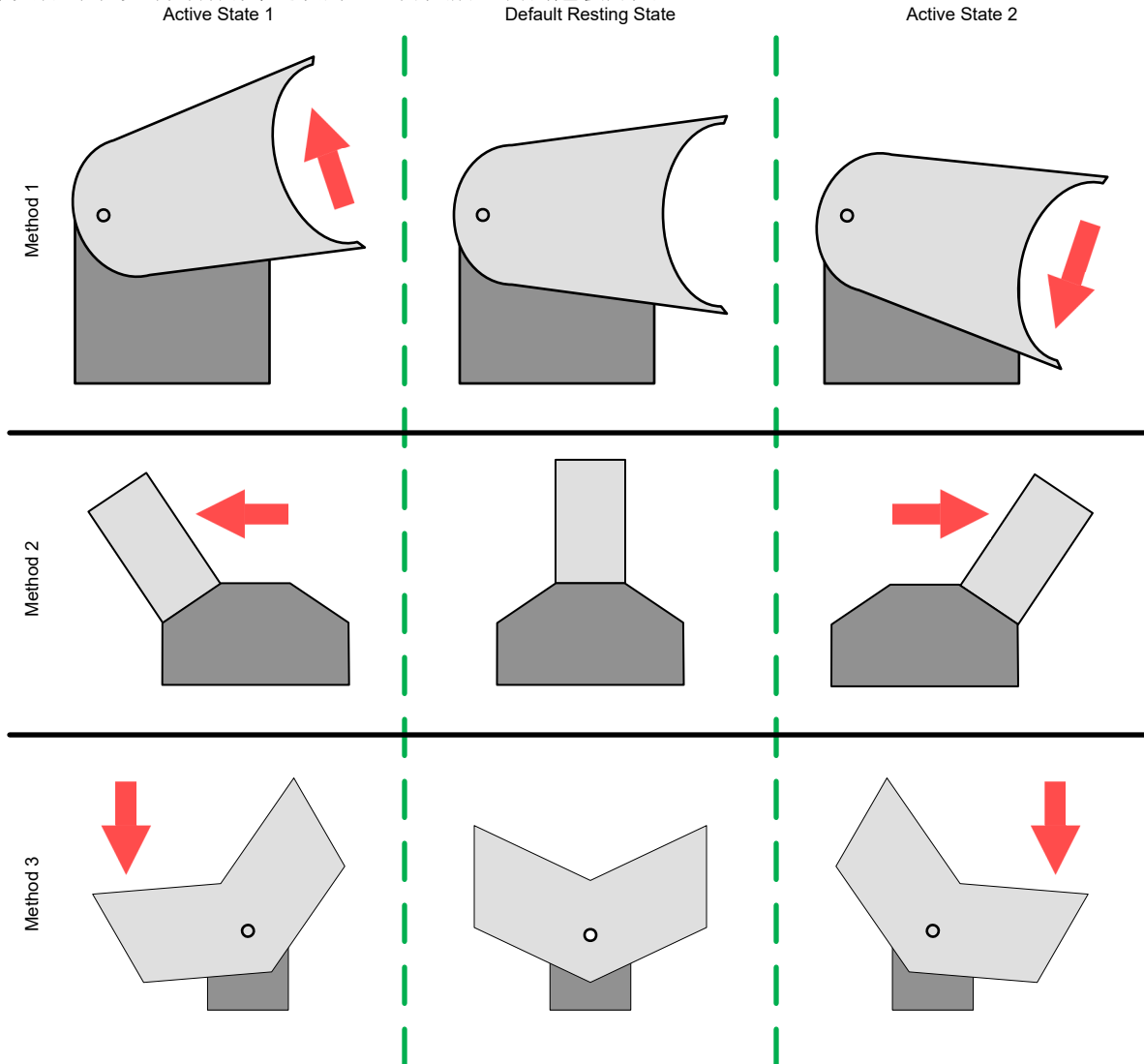


图 2-1. 机械选项

翘板开关可以分为四个基本机械部件：底座、轴、弹簧和翘板。在这种情况下，底座支撑着轴，具有几个用作弹簧的悬臂，当用户未施加力时，可使翘板恢复到安静状态。虽然这些悬臂不是此设计的主要焦点，不过请注意，应有意避免使用传统金属弹簧替代品，因为很多金属弹簧都由铁构成，会影响附近磁体产生的磁场形状，从而导致设计变得复杂起来。

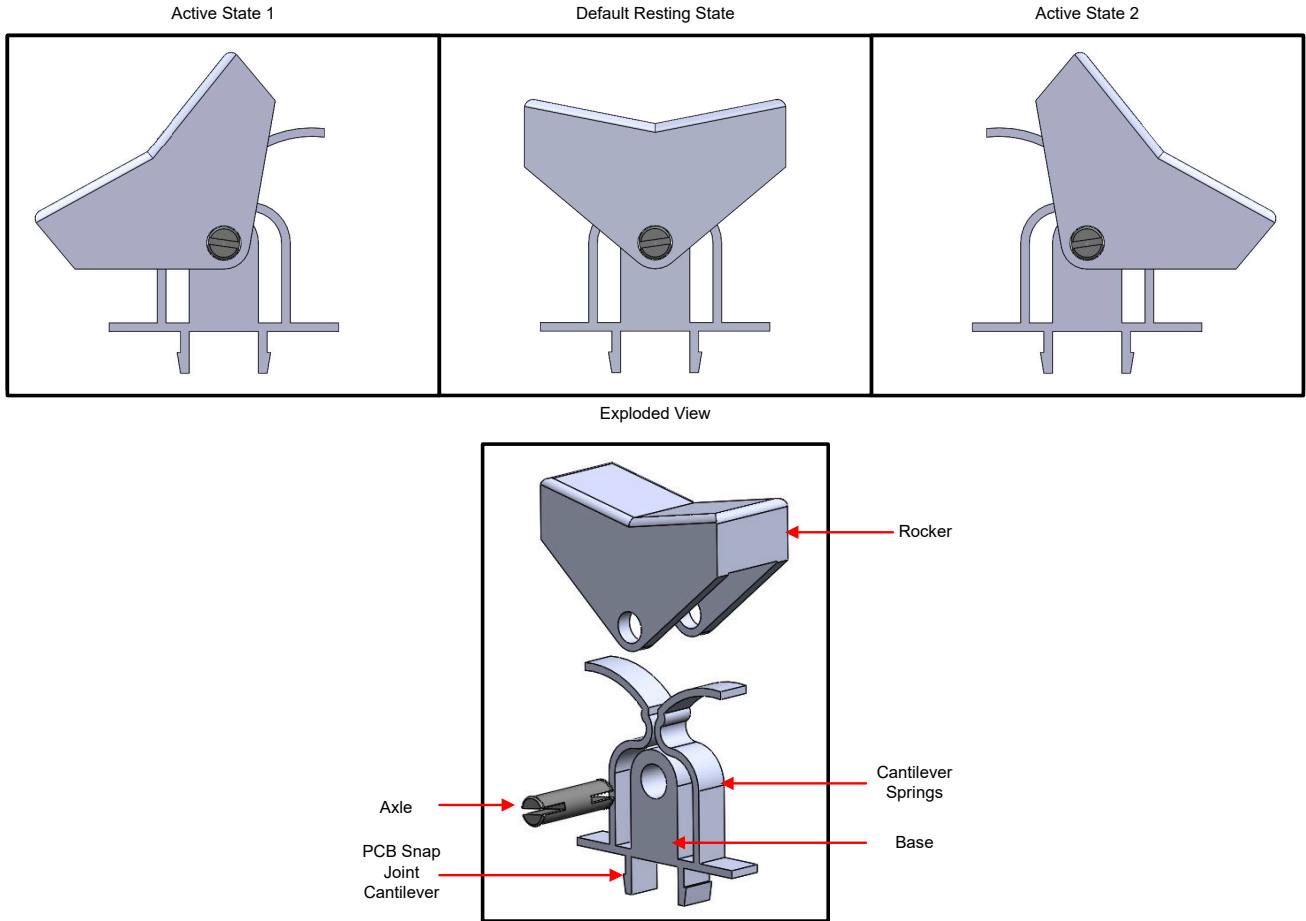


图 2-2. 机械实现

## 2.2 磁性实现

在选择开关的样式或机械实施后，应考虑如何将机械刺激转换为系统利用的电信号。霍尔效应传感器，特别是霍尔效应开关是一种理想的选择。图 2-3 说明了全极霍尔效应开关的基本操作。该图表明，霍尔效应开关有高电平和低电平两种状态，当感应的磁场振幅超过  $B_{OP}$  阈值时，典型的霍尔效应开关置为低电平，当振幅低于  $B_{RP}$  阈值时，霍尔效应开关重新置为高电平。我们可以概括为，当磁体接近霍尔效应开关时，开关将触发为低电平，当离开霍尔效应开关时，开关将触发为高电平。然而，这些触发器触发的距离在很大程度上取决于磁体规格、霍尔效应开关规格、开关方向、磁体方向以及磁体和霍尔效应开关之间的位移距离。

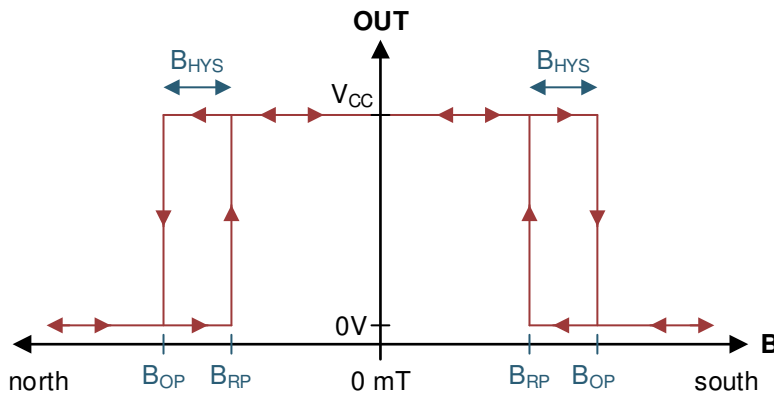


图 2-3. 全极行为

如前所述，器件方向非常重要。虽然有 TMAG5170 和 TMAG5273 等 3D 霍尔效应传感器，但霍尔效应开关仍然无法感应到所有方向上的磁场，而且并非所有霍尔效应开关都能感应到同一方向上的磁场。图 2-4 显示了霍尔效

应开关如何感应磁场的一些示例。左侧的示例显示的是典型表面贴装 SOT-23 霍尔效应传感器（比如 TMAG5231），它可以感应 z 方向上的磁场。中间的示例显示了另一个 SOT-23（比如 TMAG5123），它可以感应 x 或 y 方向上与封装并列的磁场。最后，右侧的示例是典型的穿孔 TO-92（比如 DRV5032AJLPG），它可以感应 x 或 y 方向上的磁场。

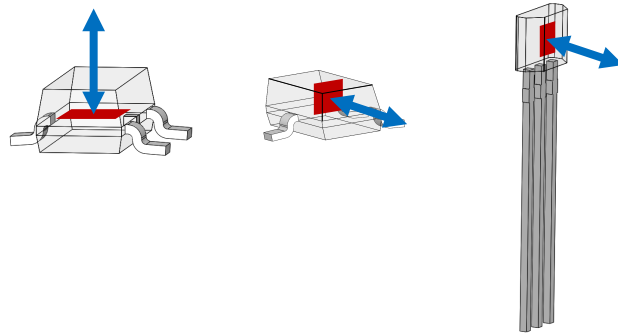


图 2-4. 采样轴

为了更好地理解相对磁体方向和位移如何影响传感器检测，应检查图 2-5 中块状磁体的 B 场。在此图中，推导出了一些有用的整体概念。点 1 和点 2 分别对应从磁体表面辐射的磁场的出口点和入口点。由于磁场在 xy 平面上能够从任意角度进入，因此这些点具有强磁场，完全位于 z 轴上。当从我们看到的点移开时，磁场开始从北级环绕到南极。因此，随着磁场方向变化，我们可以预测，只有一小部分磁场位于 z 方向上，而且由于磁力线不在其他位置汇合，因此总磁场将小于点 1 和点 2 的磁场。而且，磁通自北向南移动的路径越长，抵御磁通辐射的磁阻就越大，磁场也越弱（通过更细的磁力线来表示）。在基本了解了磁体磁场图形以及在各个位置中相对磁场强度后，可以对磁体和传感器在翘板开关内的方向做出一些合理的判断。

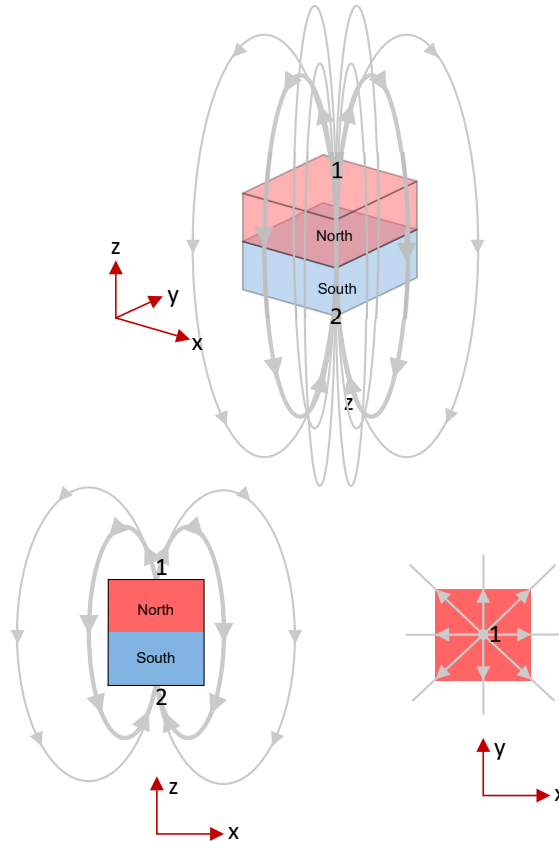


图 2-5. 磁体磁力线

有了对霍尔效应感应方向和磁体的磁场特性的基本了解，现在可以制定各种通用方法来实现最终目标。最终目标是通过以下步骤将机械操作转换为系统响应。将机械操作转换为由霍尔效应开关感应的磁场变化。然后，霍尔效应开关将此磁信号转换为电信号。之后，来自霍尔效应开关输出的电信号促使通过传动器或微控制器做出一些反应。

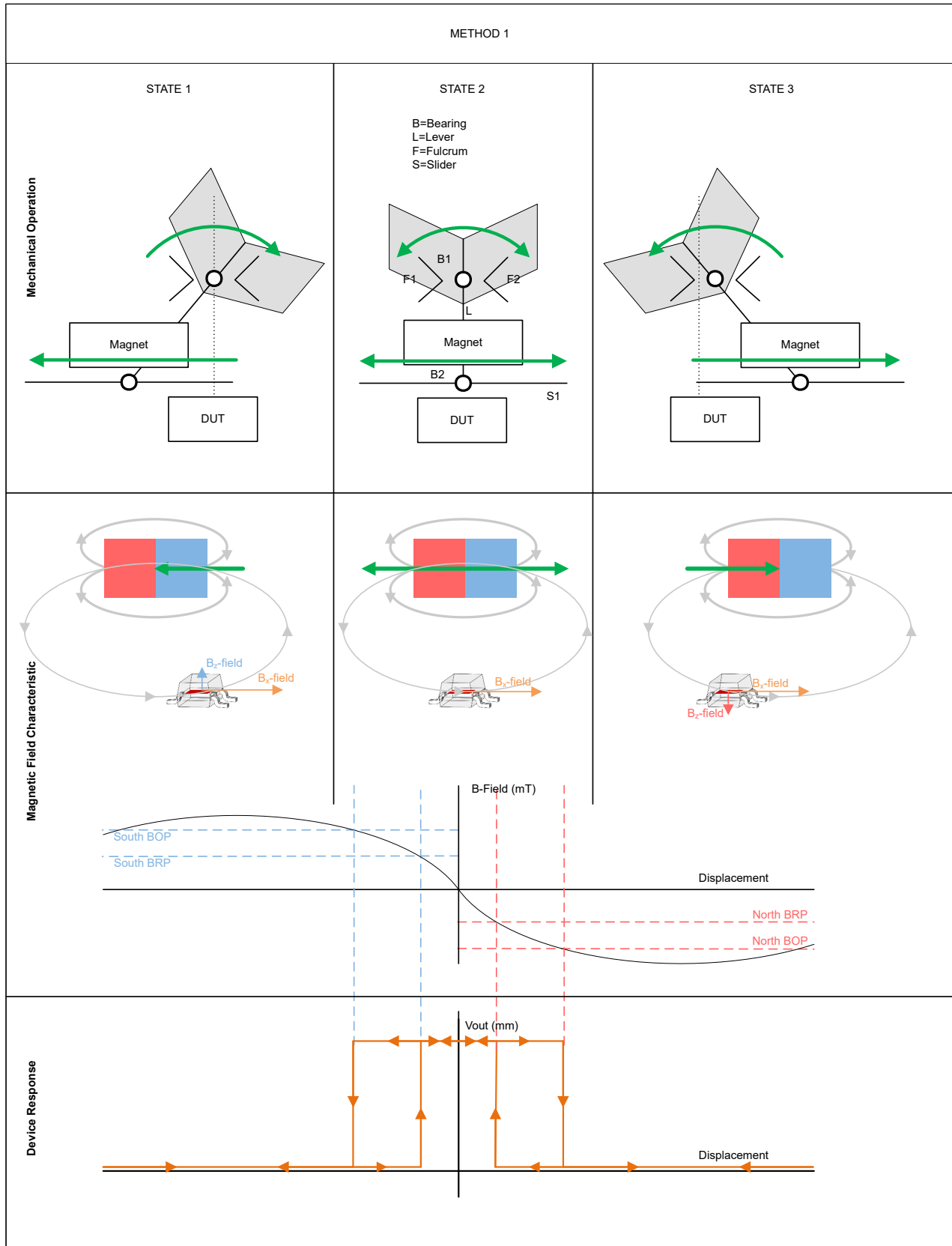


图 2-6. 方法 1



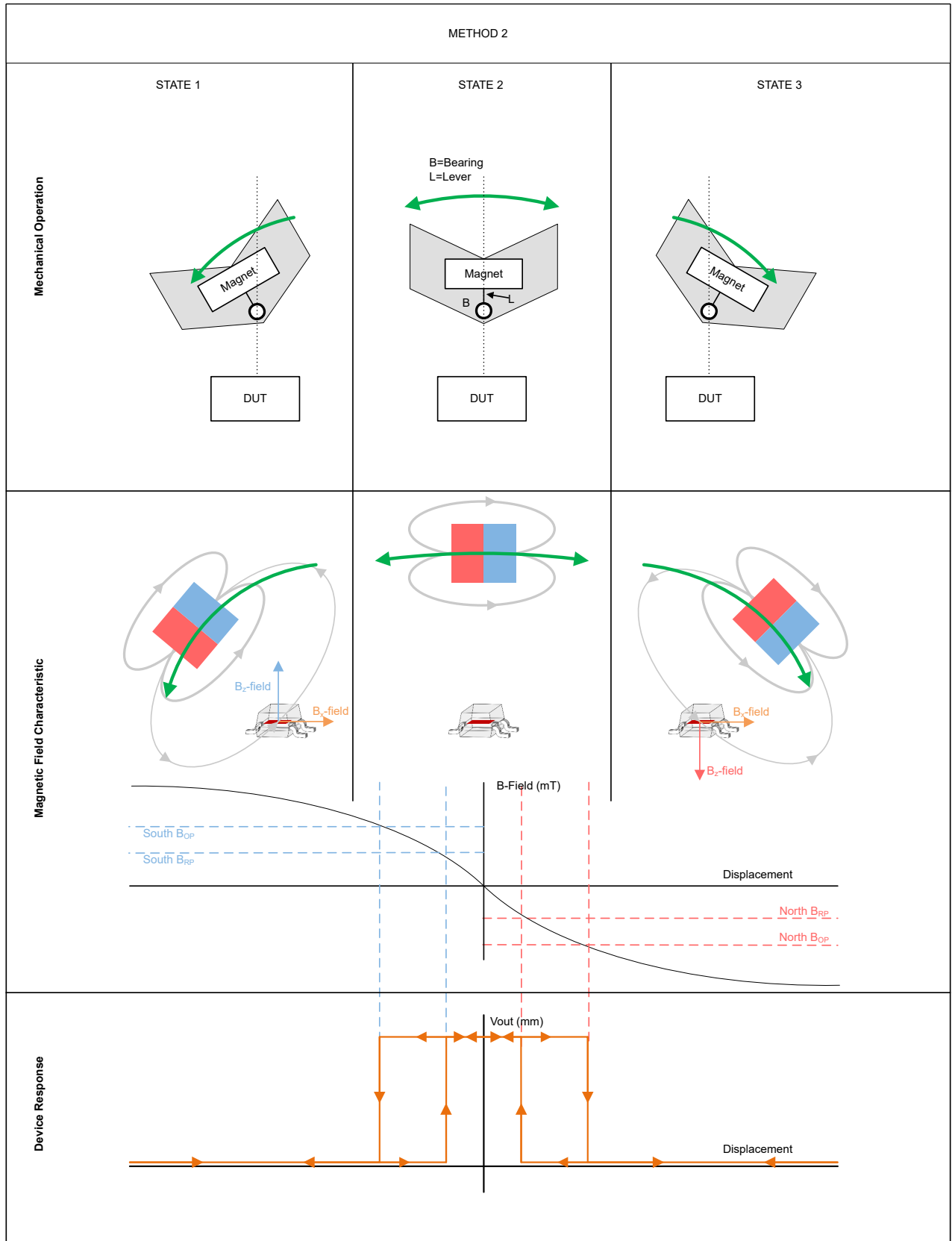


图 2-7. 方法 2

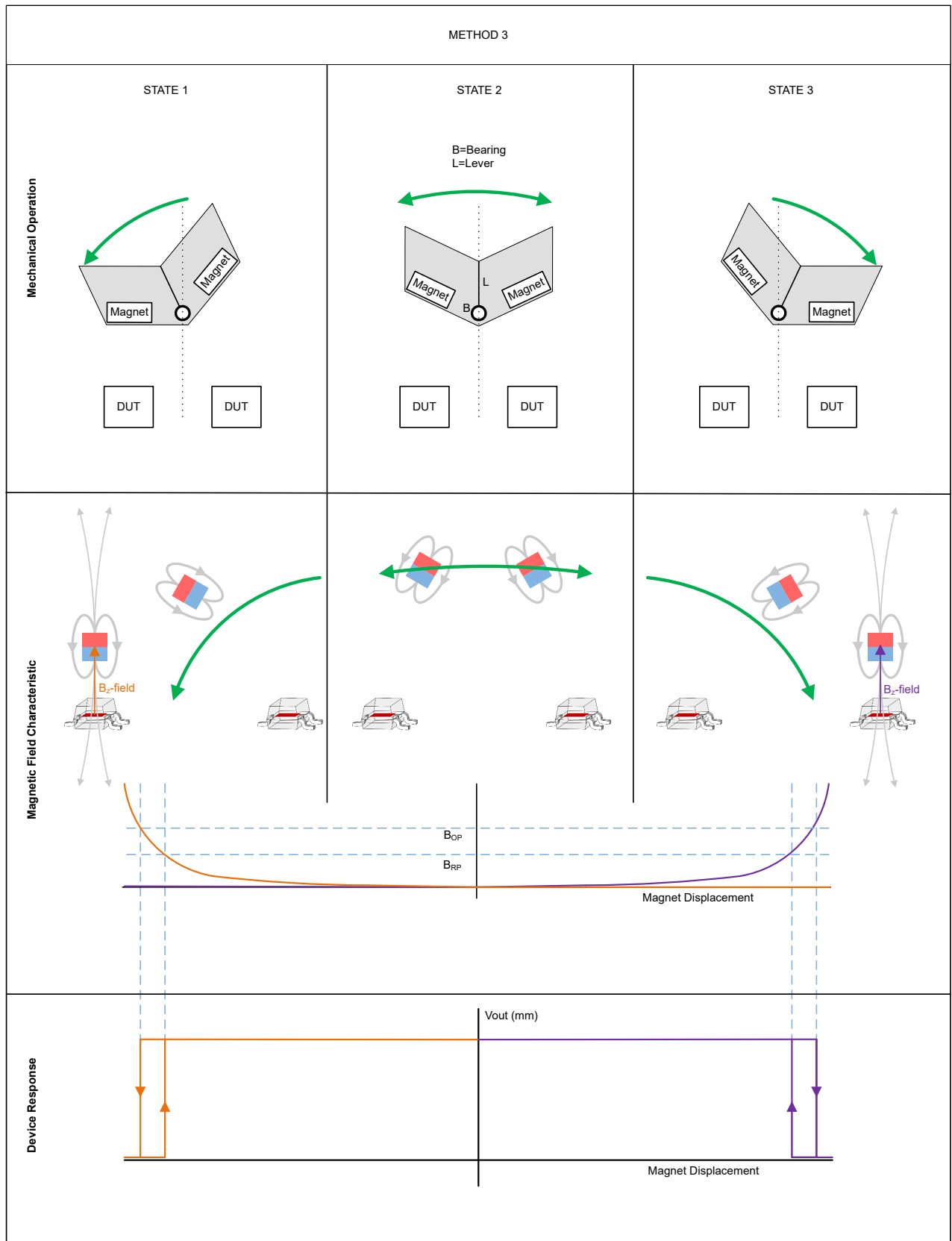


图 2-8. 方法 3

图 2-6 和图 2-7 中的一个关键细节是只使用了一个传感器。查看典型霍尔效应传感器数据表时，我们会发现大多数器件都只有一个输出。这个典型的器件输出可能是单极的，只能检测偏离器件的强磁场，也可能是全极的，无法区分偏离器件或朝向器件的强磁场。尽管存在这种典型行为，德州仪器 (TI) 还提供 DRV5032DU，它有两个单极输出，可检测相反极性的振幅，如图 2-9 所示。这是唯一一个适用于这些配置的器件。

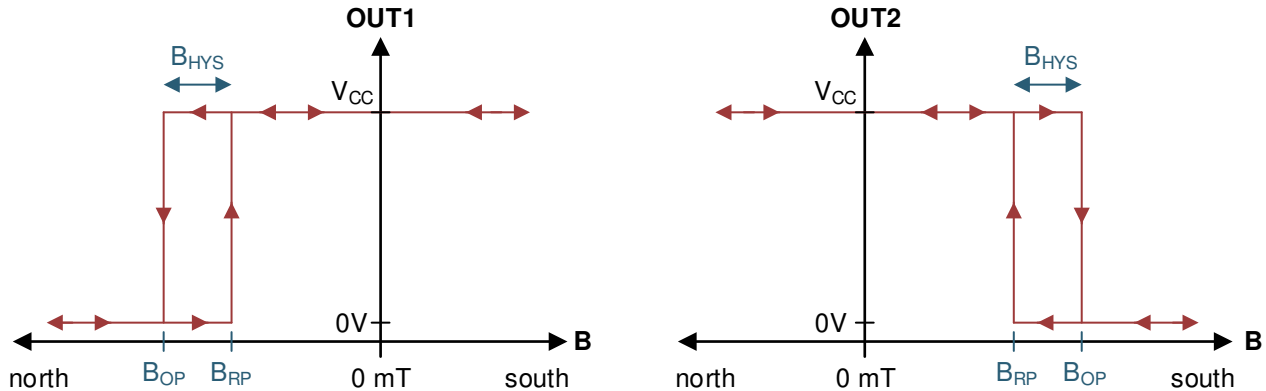


图 2-9. 两个单极行为

由于选项 1 和选项 2 可能需要更多机械设计迭代，并且仅适用于一个不符合汽车标准的器件，因此我们继续讨论图 2-8 中的方法。虽然可以使用典型的 TO-92 选项，但此设计使用 SOT-23，它可以感应 z 轴上的磁场，通常位于封装和 PCB 顶部。

### 2.3 磁体传感器放置

由于翘板开关可能外形小巧，从最终用户的角度来看，其结构遮挡了磁体，因此磁体可能尺寸小巧，而磁体越小，磁场就越弱。前面提到，与磁体的偏移越远，磁场就越弱。因此，当开关完全接通且磁体与 DUT 并联时，要让器件获得最大磁场，应将磁体中央对准 DUT 的霍尔元件中央。

要快速了解器件的触发条件，请选择一个适合图 2-10 所示开关结构的磁体，然后执行一些计算或仿真，以获取所需的距离。在计算过程中，利用 TI 的 [Magnetic Sensing Proximity Tool](#)。截止本文撰写之时，市面上最小的非定制磁体是 N42 钕磁体，其尺寸远远小于 1 英寸，小巧的尺寸非常适合目标开关。现在发现的最小磁体的大小为  $1/8\text{in} \times 1/8\text{in} \times 1/16\text{in}$  ( $3.175\text{mm} \times 3.175\text{mm} \times 1.5875\text{mm}$ )。N42 是一种强磁体，几个霍尔效应开关在低 mT 范围内具有触发阈值。特别是， $B_{RP}$  最小阈值可能低至 0.5mT。这就立即引发了一个问题，翘板在安静状态下能否移至足够远的距离，以低于  $B_{RP}$  阈值。

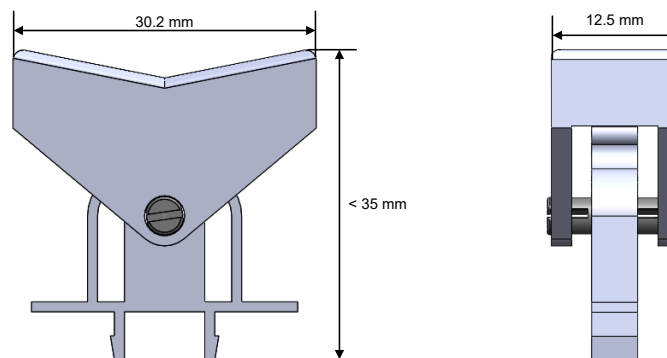


图 2-10. 翘板尺寸限制

因为磁体呈弧形移动，工具中使用适用于磁体移动的铰链选项。随后，根据经验推测在制造的机械开关的范围内哪些器件或许能够正常工作。因此，磁体和霍尔效应开关置于图 2-11 所示的位置。之所以使用此配置，是因为建模的器件可以通过 A 和 B 两个位置的参数化尺寸快速修改。借助 TI 的 [Magnetic Sensing Proximity Tool](#)，尺寸 A 相当于 *传感器 Z 偏移* + 器件高度（假设为 1.12mm），尺寸 B 相当于 *磁体 Z 偏移* 乘以 -1（由于工具偏移是以 z

轴为基础而不是  $x$  轴)。两个尺寸都与铰链轴相关，铰链轴是翘板开关轴的中心。最终尺寸为  $C$ ，这相当于圆弧半径。在安静状态下，此尺寸受到所需开关宽度的限制。为了简化设计迭代，假定为  $13.5\text{mm}$ 。

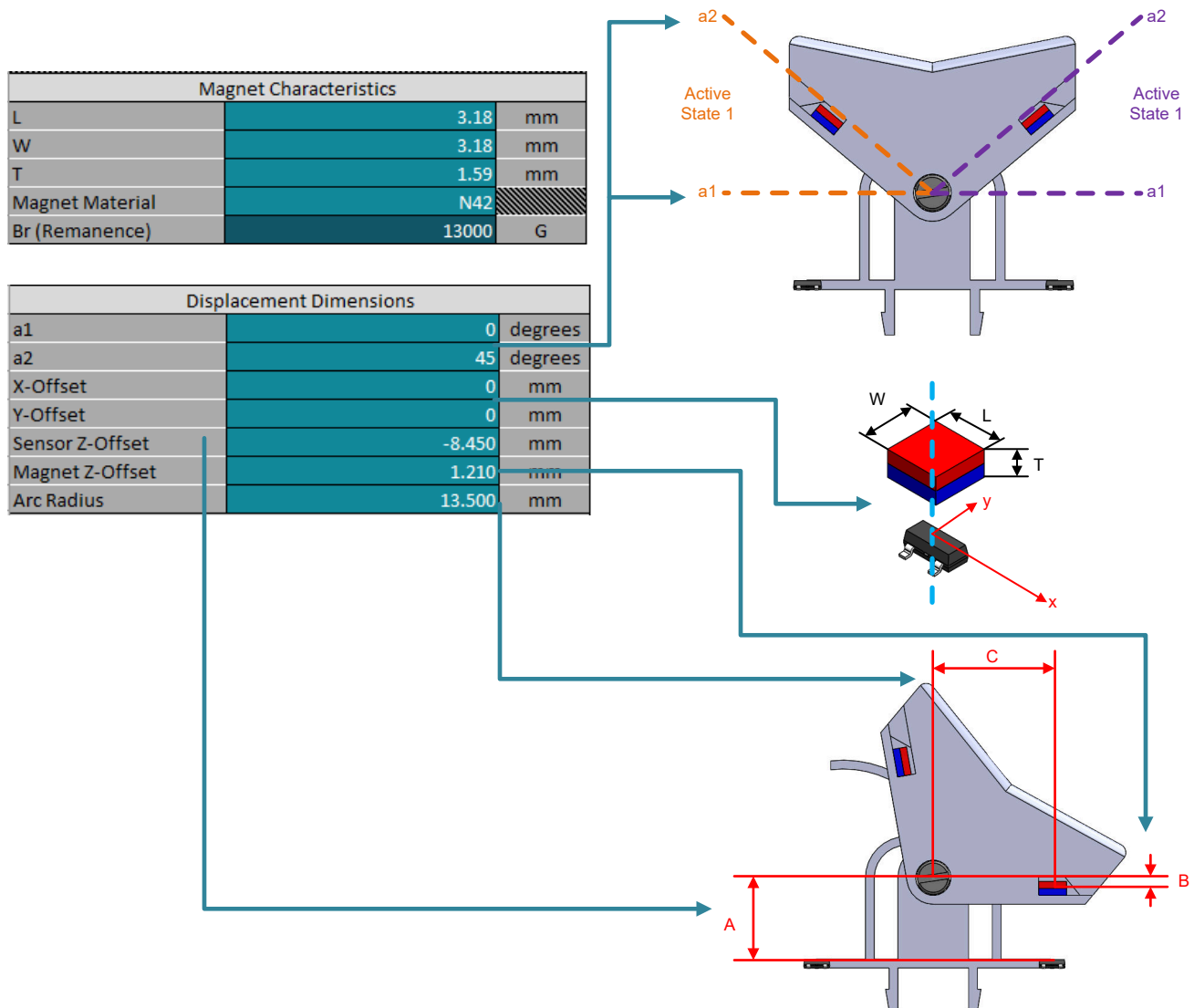


图 2-11. 设置

要使用 TI 的 Magnetic Sensing Proximity Tool，仍须输入有效的电源电压值以及器件类型和器件。有效的电源电压是指在德州仪器 (TI) 霍尔效应位置感应产品组合中至少一个器件的建议工作范围内的任意电压。在此， $5\text{V}$  电压比较合理，但对于汽车级器件，也可使用高达  $38\text{V}$  的电压。对于器件类型，输入单极或全极开关；然而，不一定要监测全极开关的磁体极性，这样可简化制造流程。选择器件时，工具会提供根据每个特定器件的后缀选择封装的选项。由于使用了 SOT-23 表面贴装，应寻找以 **DBZ** 结尾的器件名。

DRV5033FAQDBZ 具有汽车标准产品，是理应评估的第一个器件。目标是寻找合适的器件和相应的参数，其中  $B_{OP}$  最大值和  $B_{RP}$  最小值在  $a1$  和  $a2$  的范围内，如图 2-12 的中间图形所示。确保  $B_{OP}$  最大值和  $B_{RP}$  最小值在界定范围内，由于器件的  $B_{OP}$  和  $B_{RP}$  阈值可能偏离典型值，在最坏的情况下甚至可以达到最大值或最小值，因此在设计时应考虑器件差异和温度漂移。如果磁场过强，输出图形与左图相似，系统大规模生产的一些器件可能无法触发高电平。而如果磁场过弱，工具电压输出图形与右图相似，一些系统量产器件可能一直无法触发低电平。

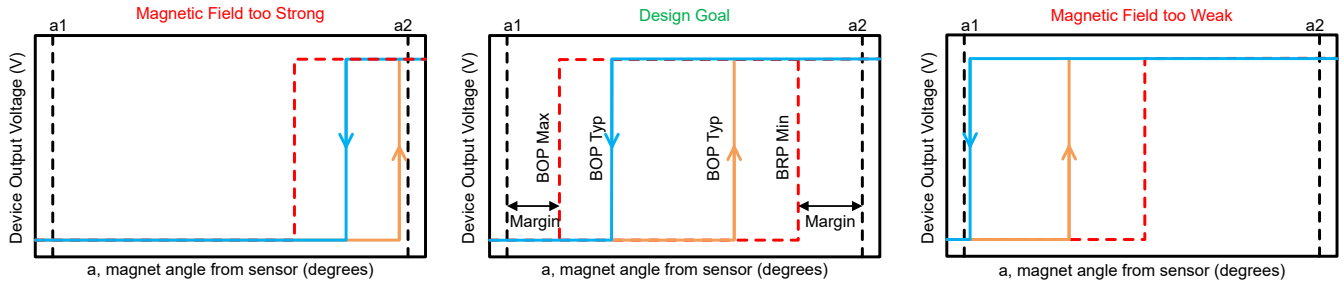


图 2-12. 示例图

在处理传感器 Z 偏移和磁体 Z 偏移的几次迭代之后，根据图 2-13 所示的工具找到了合适的值。

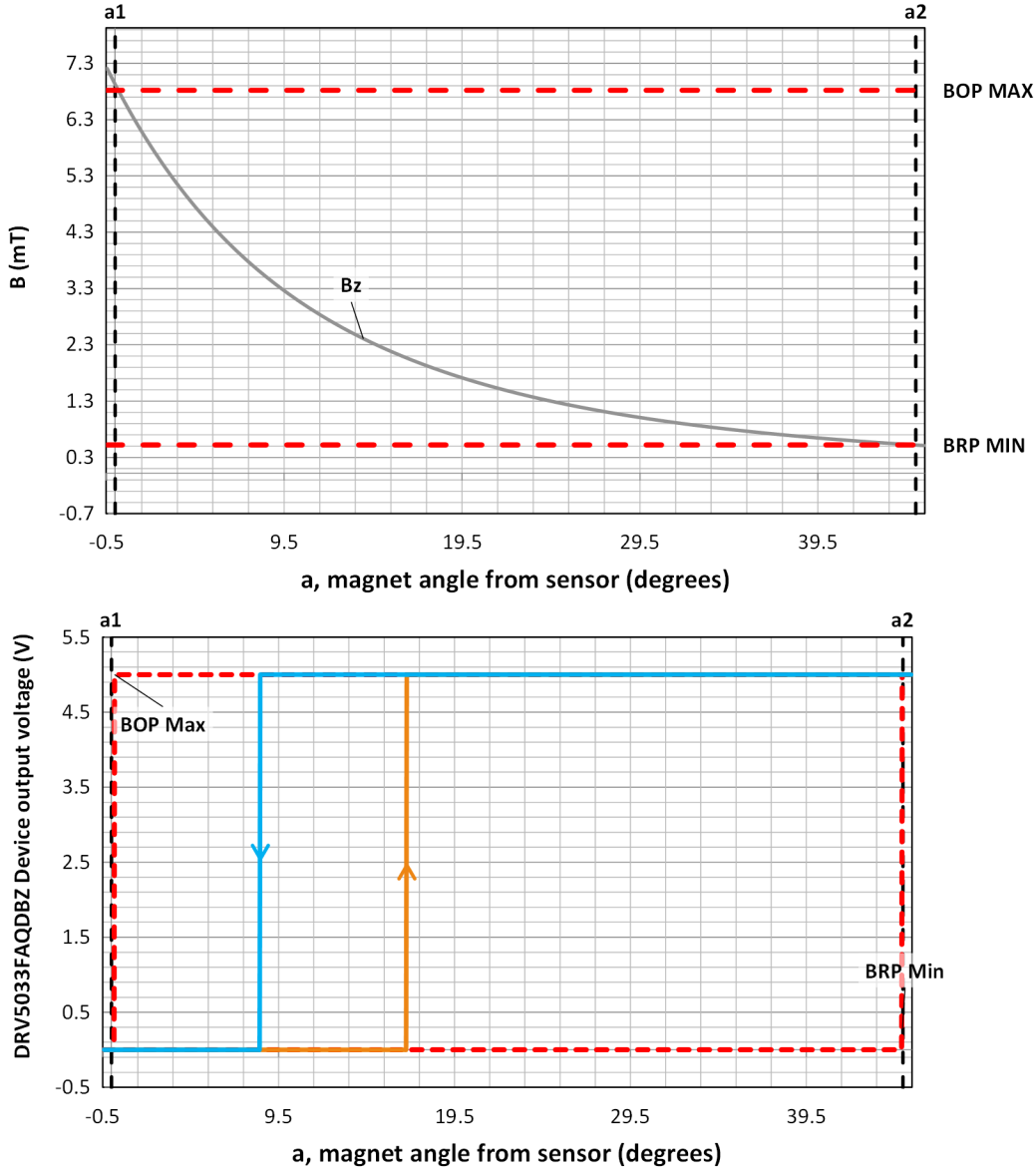


图 2-13. DRV5033FA 初步分析

如图 2-13 所示，器件应在翘板达到  $0^\circ$  之前触发低电平，进入一个工作状态，而在  $45^\circ$ （安静状态的边界）之前触发高电平。虽然这种方法很好，并且考虑了器件差异和温度漂移，但是仍然无法提供很多裕度，而这对于系统制造公差可能必不可少。由于存在系统制造公差，磁体可能在机械开关结构中偏移，霍尔效应开关可能在 PCB 上偏

移，或者机械开关可能在 PCB 上偏移。考虑到这一点，需要增加设计裕度，因此应考虑具有不同灵敏度且  $B_{OP}$  和  $B_{RP}$  阈值更高的型号 DRV5033AJQDBZ。这样做的动机是，当考虑 B 场图形特性时，同时超过两个阈值所需的范围变化小得多。图 2-14 说明  $B_{OP}$  和  $B_{RP}$  的相等差异可以产生大不相同的机械范围，具体取决于阈值的高低。如果磁体可以移至霍尔效应开关附近，磁场就强得多，具有相对等效的  $B_{hys}$  规格的器件的空间迟滞范围就小得多。

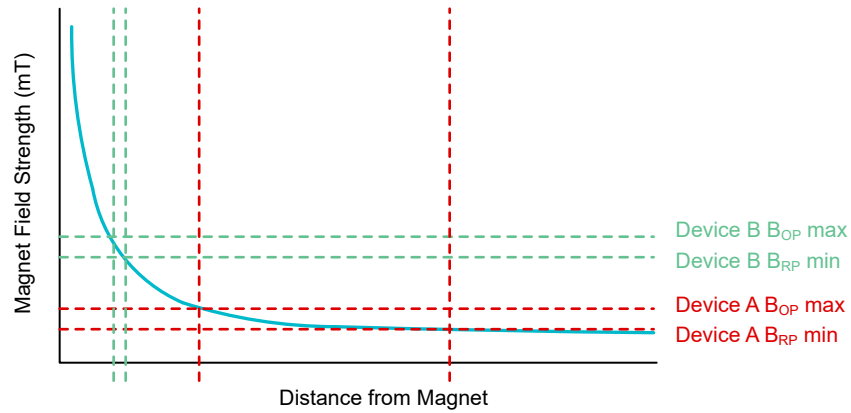


图 2-14. 转换区域

在对传感器 Z 偏移变量进行处理后，裕度得到了小幅提高，如图 2-15 所示。这种小幅提高并不会令人感到意外，因为对于 DRV5033AJ， $B_{RP}$  最小值仅提高了 0.5mT，典型迟滞更大。

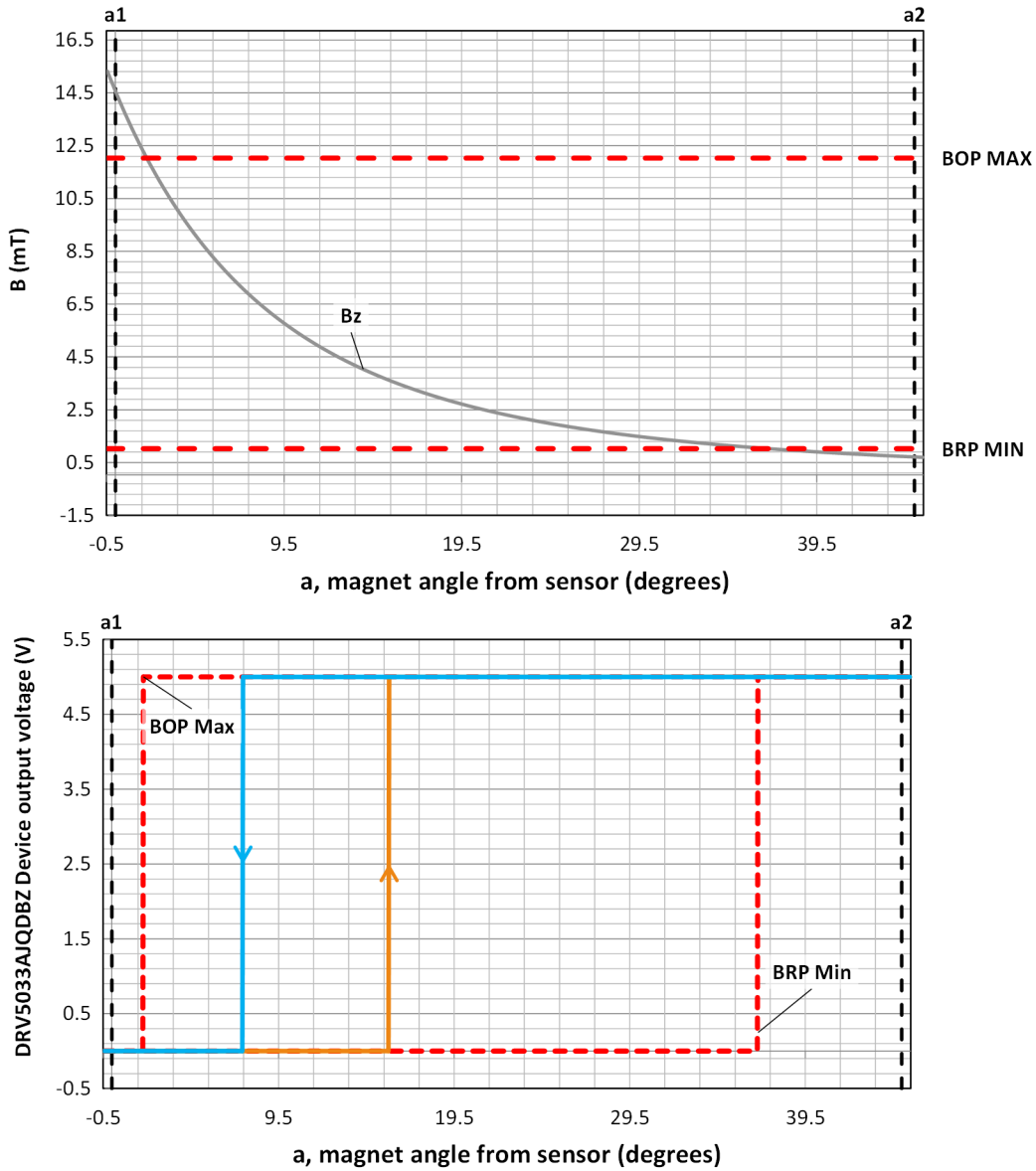


图 2-15. DRV5033AJ 初步分析

因此，对另一器件 DRV5032ZEDBZ 进行了评估，在 TI 霍尔效应传感器产品系列中，该器件目前的开关阈值最高， $B_{OP}$  最大值为 63mT， $B_{RP}$  最小值为 30mT。

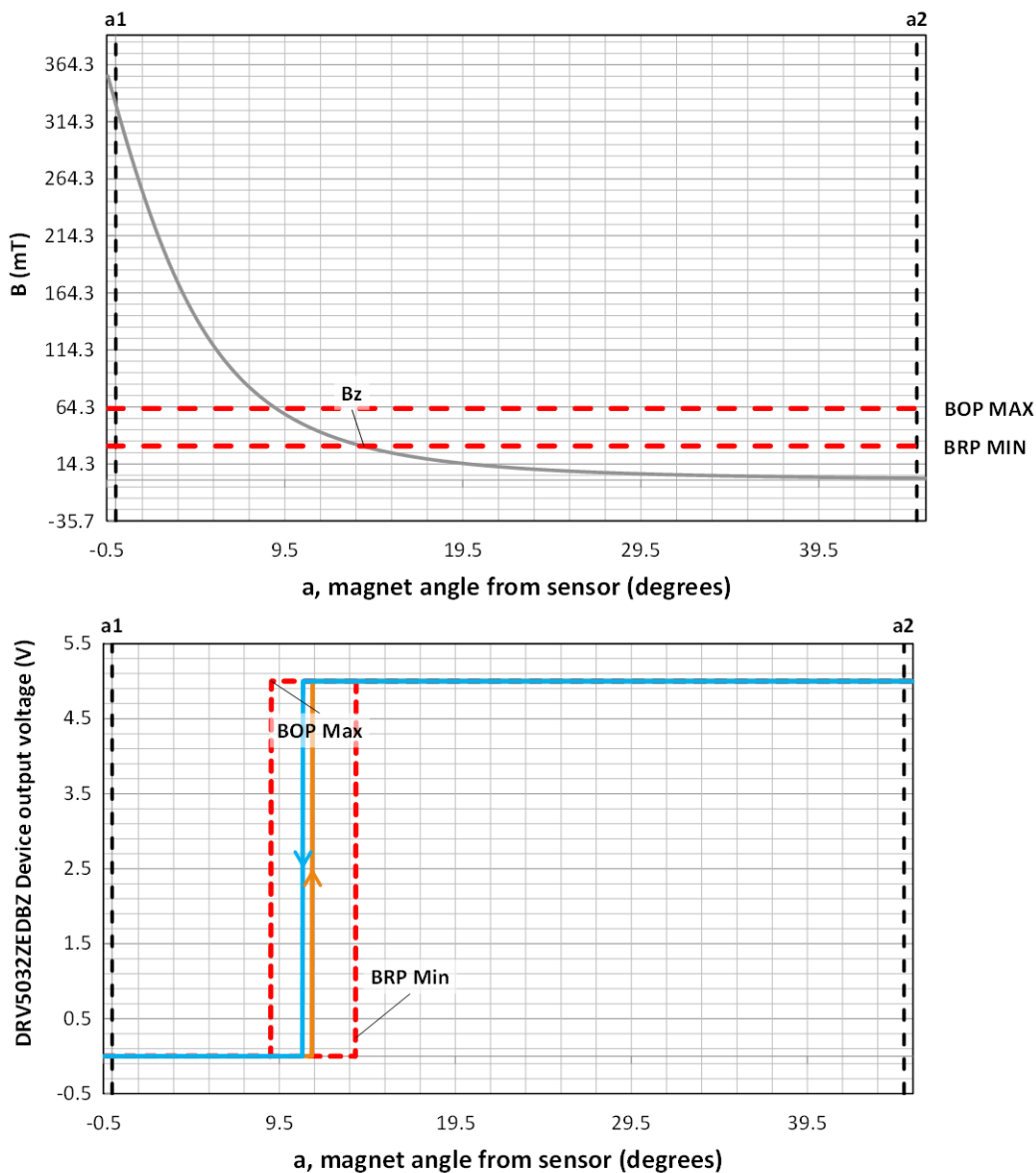


图 2-16. DRV5032ZE 初步分析

图 2-16 说明 DRV5032ZE 确实前景广阔。然而，通过进行尽职调查，我们发现了一个问题。由于磁体尺寸小巧并且需要强磁场，因此必须保证制造公差较低。如果磁体 x、y 和 z 偏移公差均为 +1.25mm，那么可能在有些系统中开关一直无法触发低电平，如图 2-17 所示。因此，如果继续使用此器件，理想的做法是使用尺寸略大的磁体，要求长度和宽度相同，但厚度较厚。



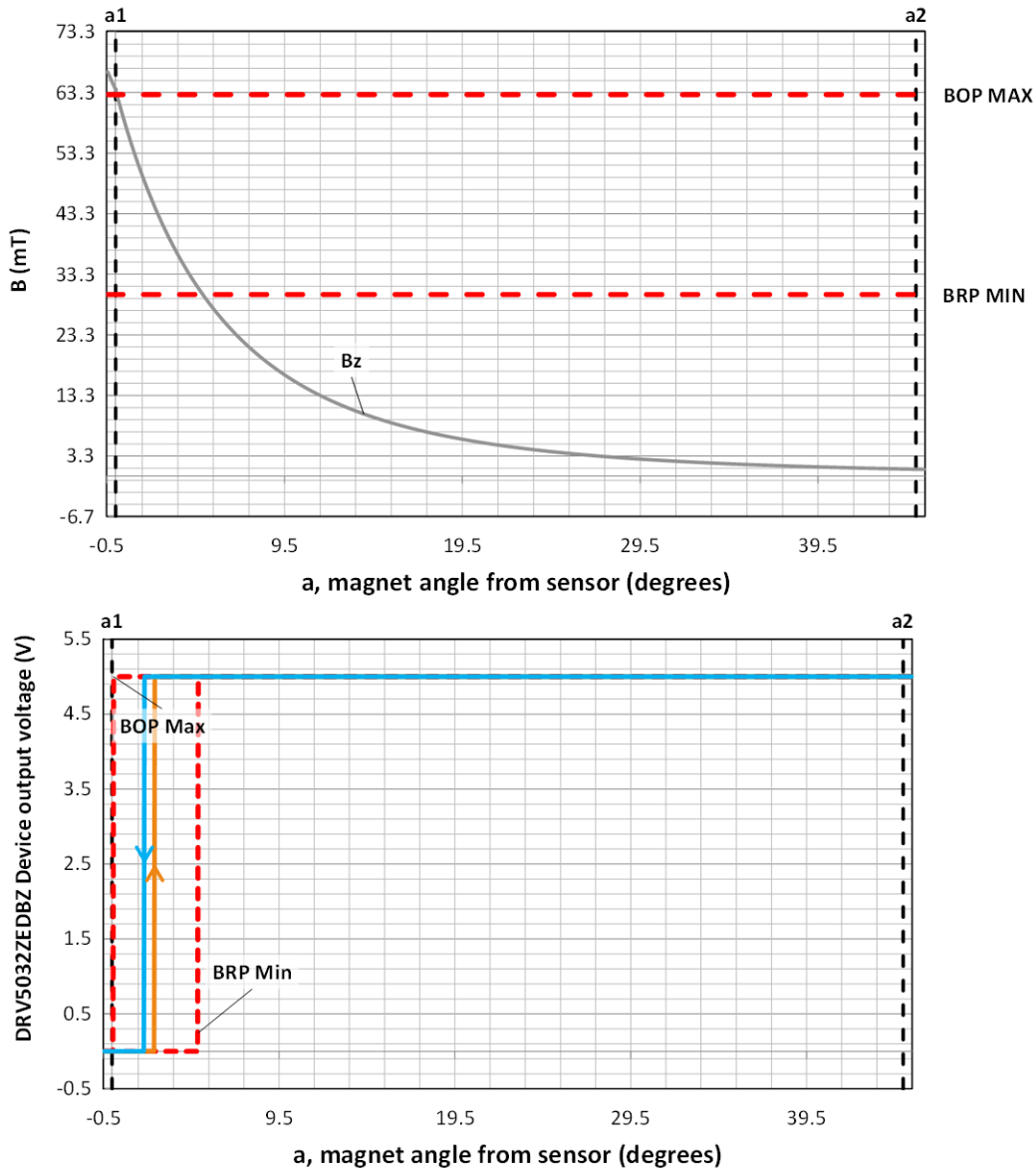


图 2-17. DRV5032ZE\_Adjusted\_Analysis

表 2-1. 设计工具条目

规格	DRV5033FA	DRV5033AJ	DRV5032ZE
磁体移动	铰链	铰链	铰链
磁体形状	块	块	块
磁体方向	南向 DUT	南向 DUT	南向 DUT
磁体 L	3.175 mm	3.175 mm	3.175 mm
磁体 W	3.175 mm	3.175 mm	3.175 mm
磁体 T	1.5875 mm	1.5875 mm	1.5875 mm
磁体材料	N42	N42	N42
溴	13000G	13000G	13000G
a1	0°	0°	0°
a2	45°	45°	45°
X 偏移	0 mm	0 mm	0 mm

表 2-1. 设计工具条目 (continued)

规格	DRV5033FA	DRV5033AJ	DRV5032ZE
Y 偏移	0 mm	0 mm	0 mm
传感器 Z 偏移	-8.45 mm	-6.68 mm	-1.98 mm
磁体 Z 偏移	1.21 mm	1.21 mm	1.21 mm
圆弧半径	13.5 mm	13.5 mm	13.5 mm
V <sub>Supply</sub>	5V	5V	5V
器件类型	DRV5033FAQDBZ	DRV5033AJQDBZ	DRV5032ZEDBZ

## 2.4 原型设计和基准测试

### 原型设计和基准测试

在初始设计完成后，接下来是至关重要的最终步骤：原型设计、测试和修改。由于工具是根据理想条件粗略估算 B 场的，因此应尝试补偿可在初步设计时确定的所有源。在建立原型设计时，关于开关移动的方式可能存在不符合要求的方面。而且，可能还会发现起初未考虑到的各种误差源。经过物理原型设计，这些问题变得更加明显。图 2-18 是专门用于此应用报告的原型设计。

### 2.5 布局

布局包括四个翘板开关位置，这与一些汽车门窗模块中存在的布局相似。每个位置都有两个霍尔效应开关，一个开关适用于左边落下的工作翘板，另一个适用于右边落下的工作翘板。对于每个翘板开关，都有 3 个 LED；2 个用于指示工作状态，1 个用于指示默认的无效状态。无效状态 LED 由 XOR 驱动，当两个霍尔效应开关输出均为高电平时，XOR 输出低电平。

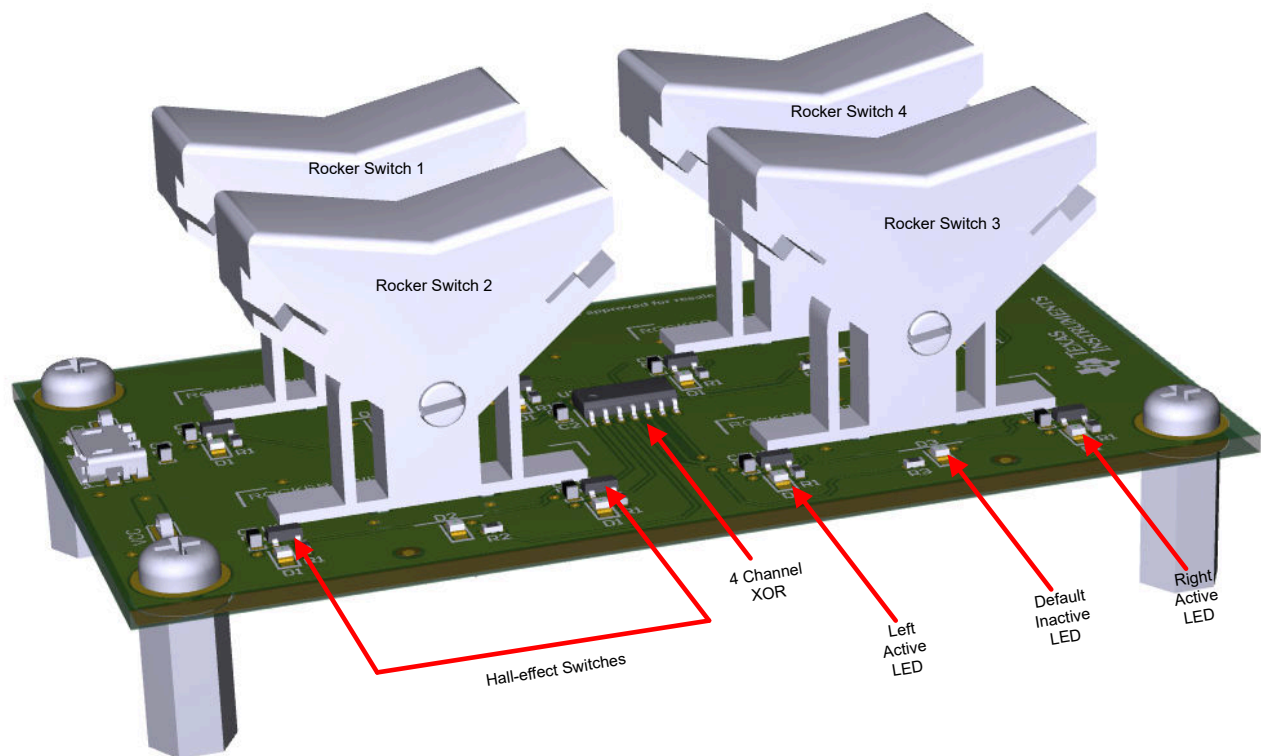


图 2-18. 翘板开关模块

## 2.6 基准测试

为了评估翘板开关的性能，录制了侧视图视频，以捕获 LED 的开关转换点，这些转换点专为相应的默认状态或工作状态而设。在这些视频中，记录了铰链原点和三角参考线的 z 坐标和 x 坐标，以通过正切函数推算转换角。图 2-19 显示了一个示例。所有这些基准测试都是在室温下进行的。

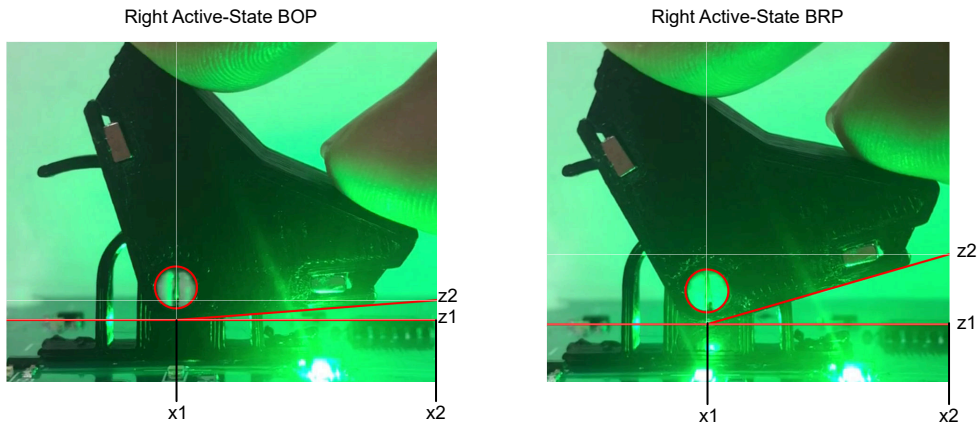


图 2-19. 基准分析方法

$$\text{角度} = \text{atan}\left(\frac{z_2 - z_1}{x_2 - x_1}\right) \quad (1)$$

## 2.7 基准测试结果

采集完所有数据后，评估结果是否有意义，并尽可能找到不一致的原因。理想情况下，根据初步设计阶段中计算的阈值界限，所有数据都在预期测量范围内。可以在类似于图 2-20 的图中评估此类数据。

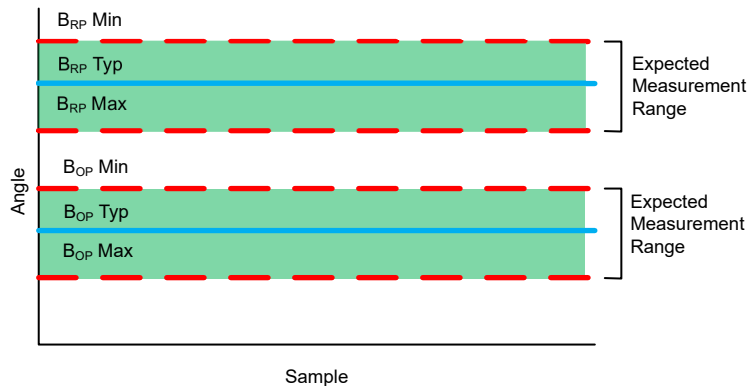


图 2-20. 可接受的测量范围

图 2-21 显示了三个电路板累积的结果，每个电路板都有一个基于 DRV5033FA 的翘板开关、一个基于 DRV5033AJ 的翘板开关和一个基于 DRV5033ZE 的翘板开关。每个翘板都有两个霍尔效应开关。请注意，一些测量阈值不在计算器工具建议的界限内。当只考虑霍尔效应开关变化和温度漂移，并且 PCB 和翘板开关结构的公差较为宽松时，预计会发生这种情况。当 x、y 和 z 的合理偏移为 0.5mm 时，重新计算 B<sub>OP</sub> 最大阈值后，请注意记录的测量不会过于不合理。误差源部分探讨了各种误差源，并尝试对其影响进行量化。

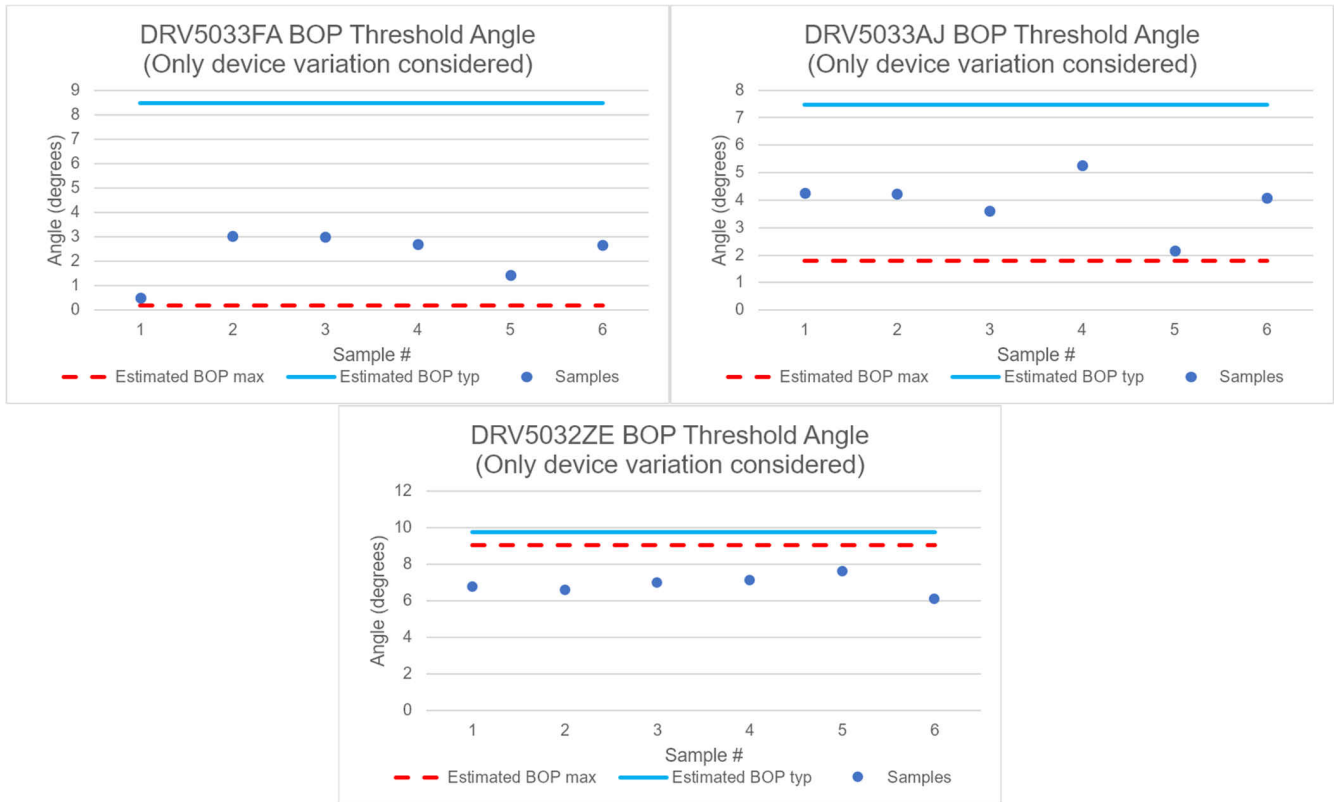


图 2-21. 基准测试结果与理想期望之间的关系

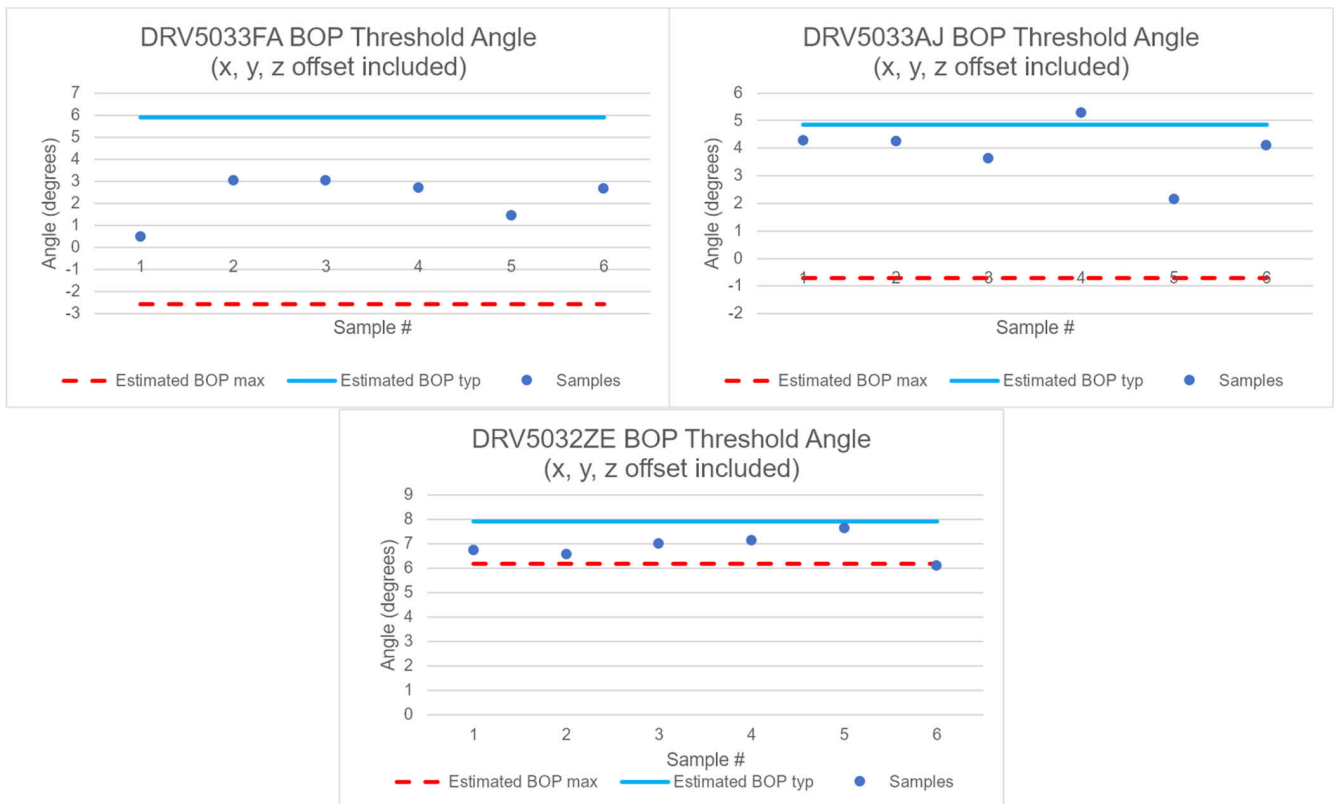


图 2-22. 基准测试结果与包含偏移的界限之间的关系

## 2.8 误差源

在初步设计阶段，主要考虑的误差源是  $B_{OP}$  和  $B_{RP}$  的器件差异。然而，还有一些其他误差源，其中很多误差与制造和装配有关。在基准评估的过程中，此类误差源易于识别，因此在投入大规模生产之前，基准测试是一种良好的必要做法。以下列表显示了针对此具体设计确定的所有可能的误差源，包括在初步设计中需要考虑的误差源：

- 偏移
- 翻滚、偏转和俯仰
- 磁体差异
- 器件差异和温度漂移
- 外部磁场
- 附近材料的影响
- 基准设置误差

### 2.8.1 偏移

偏移对应于当机械开关位于  $0^\circ$  时，磁体和霍尔效应器件之间的位移。图 2-23 说明了在计算器工具中如何定义偏移。

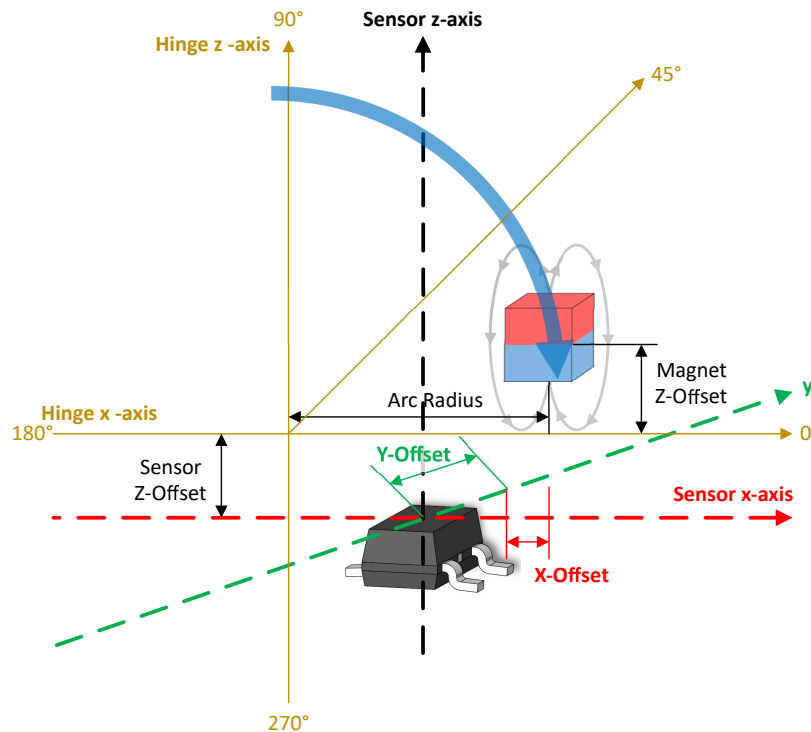


图 2-23. 位移偏移

偏移误差源可归因于 PCB 制造和翘板组件制造。在本手册记录的示例中，虽然 PCB 由 PCB 制造商生产，但夹持翘板的槽采用手工钻孔。翘板组件采用 3D 打印，打印机分辨率为  $0.0125\text{mm}$  至  $0.05\text{mm}$ 。由于刻槽的精度水平，在一些明显的实例中，装配略微偏离中心，并且底座未与电路板齐平。除了这些制造和组件方面的误差，还有工具造成的 z 偏移误差。工具假设所有 SOT-23 封装的高度均为  $1.12\text{mm}$ ，并在计算表面到霍尔元件的偏移时使用此值。事后分析表明，一些封装高度只有  $0.947\text{mm}$ 。

x 偏移、y 偏移、传感器 z 偏移和磁体 z 偏移的较大公差都会显著影响在 DUT 霍尔元件处检测到的 B 场，尤其是在磁体尺寸较小的情况下。图 2-24 和图 2-25 说明  $B_{OP}$  最大角度可以随与理想磁体位置的偏移而变化。

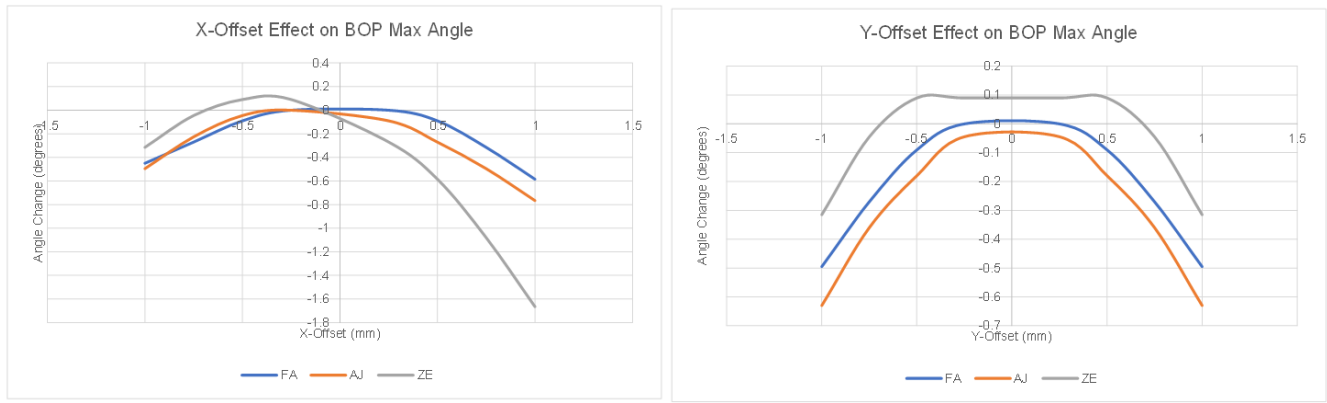


图 2-24. X 偏移和 Y 偏移对 B<sub>OP</sub> 最大角度的影响

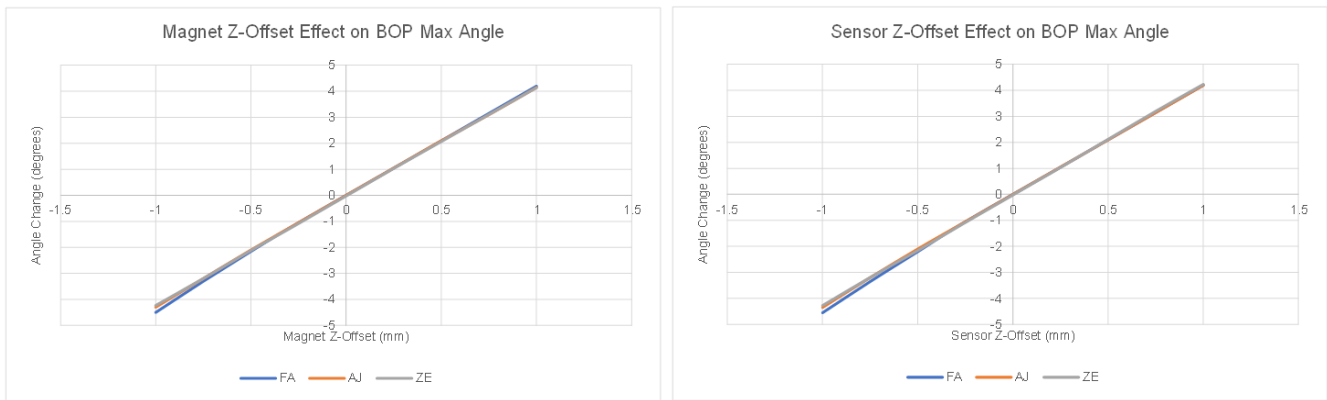


图 2-25. Z 偏移对 B<sub>OP</sub> 最大角度的影响

## 2.8.2 翻滚、偏转和俯仰

翻滚、偏转和俯仰对应于机械结构如何旋转偏离预期变化。在我们的翘板开关系统中，有多个结构可能会翻滚、偏转和俯仰。这些结构包括霍尔效应开关、翘板底座、翘板轴、翘板和磁体。图 2-26 说明了磁体的翻滚、偏转和俯仰。

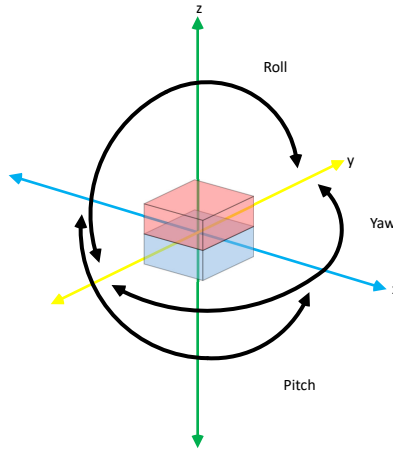


图 2-26. 磁体翻滚、偏转和俯仰

事后分析表明，翘板开关中嵌入的一些磁体未与磁腔底部齐平。这会导致磁体方向翻滚。由于 PCB 上的翘板开关槽采用手工钻孔，这些槽的公差会导致翘板开关偏转。最后，一些槽有些略大，给翘板开关留有一定的回旋余地，因而导致磁体俯仰以及更多偏移。

下面对磁体翻滚和翘板底座偏转的影响进行了仿真。减小翘板开关磁腔和 PCB 槽的制造公差有望更大程度地减小相应的误差。

图 2-27 说明了翻滚对 BOP 最大角度的影响，而图 2-28 说明了偏转对 BOP 最大角度的影响。

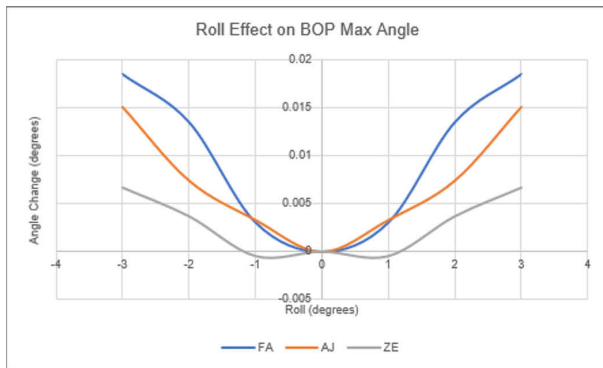


图 2-27. 翻滚对 BOP 最大角度的影响

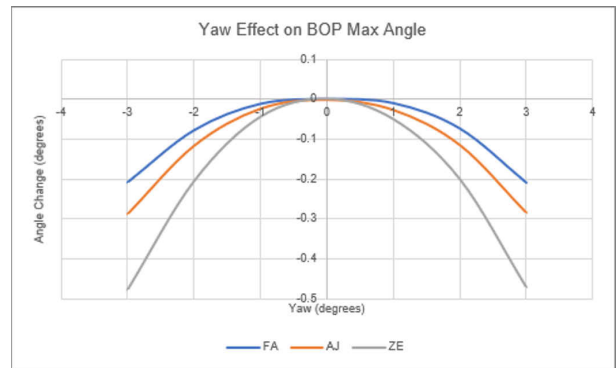


图 2-28. 偏转对 BOP 最大角度的影响

### 2.8.3 磁体差异

磁体差异包括物理尺寸和材料成分。此设计使用了一个块状磁体，相关尺寸包括磁体长度、宽度和厚度。磁体成分可因杂质而变化，成分差异对应于剩余磁化强度  $B_r$  的范围，它与磁场强度直接相关。

本文中所用的 B221 磁体的所有尺寸的公差均为  $\pm 0.004$  英寸。典型的 N42 磁体 (如 B221) 的  $B_r$  为 13000 高斯。产品规格说明  $B_r$  最大值为 13200 高斯，因此建议可能的公差为  $\pm 200$  高斯。

图 2-29 和图 2-30 说明  $B_{OP}$  最大角度可以随磁体差异而变化。

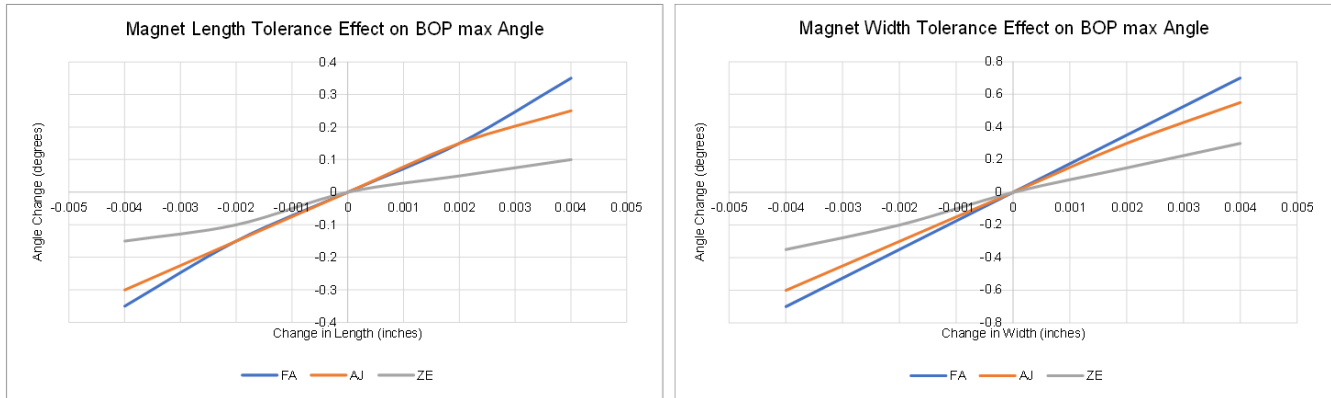


图 2-29. 长度和宽度公差对  $B_{OP}$  最大角度的影响

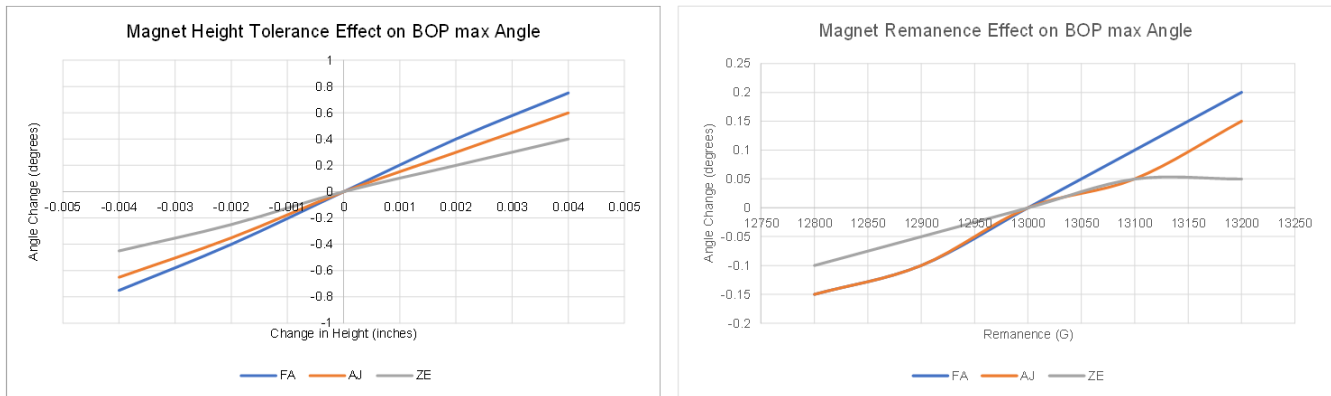


图 2-30. 高度和剩余磁化强度对  $B_{OP}$  最大角度的影响



### 2.8.4 器件差异和温度漂移

如前所述，每种类型的霍尔效应器件都将存在一些制造差异，其性能会产生温度漂移。这些问题通过表 2-2 中所示数据表中的最小值和最大值捕获。至少应在设计阶段考虑这些界限，并将其用于计算中。 $B_{OP}$  和  $B_{RP}$  最大值和最小值之间的差异减小，将导致设计更严格、偏差更小。

**表 2-2. DRV5033 磁特性**

在自然通风温度范围内测得（除非另有说明）

参数	测试条件	最小值	典型值	最大值	单位
DRV5033FA : $\pm 3.5/\pm 2\text{mT}$					
$B_{OP}$ 操作点	$T_A = -40^\circ\text{C}$ 至 $125^\circ\text{C}$	$\pm 1.8$	$\pm 3.5$	$\pm 6.8$	mT
$B_{RP}$ 释放点		$\pm 0.5$	$\pm 2$	$\pm 4.2$	mT
$B_{hys}$ 迟滞 ; $B_{hys} = (B_{OP} - B_{RP})$		$\pm 1.5$			mT
$B_O$ 磁偏移 ; $B_O = (B_{OP} + B_{RP}) / 2$		$\pm 2.8$			mT
DRV5033AJ : $\pm 6.9/\pm 3.5\text{mT}$					
$B_{OP}$ 操作点	$T_A = -40^\circ\text{C}$ 至 $125^\circ\text{C}$	$\pm 3$	$\pm 6.9$	$\pm 12$	mT
$B_{RP}$ 释放点		$\pm 1$	$\pm 3.5$	$\pm 5$	mT
$B_{hys}$ 迟滞 ; $B_{hys} = (B_{OP} - B_{RP})$		3.4			mT
$B_O$ 磁偏移 ; $B_O = (B_{OP} + B_{RP}) / 2$		5.2			mT

除了  $B_{OP}$  和  $B_{RP}$  的差异，芯片贴装和更重要的霍尔元件放置也存在一些差异。这种差异通常可以在类似于图 2-31 的图中的数据表中找到，它等于偏移误差。

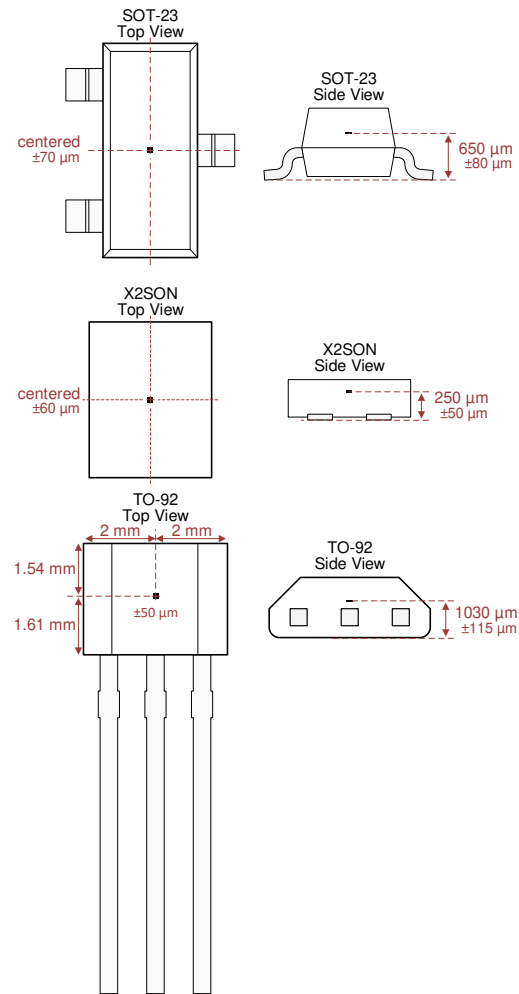


图 2-31. 霍尔元件放置示例

### 2.8.5 外部磁场

外部磁场可以增大或减小在此特定设计中观察到的阈值角度，具体取决于磁体方向。在近乎非屏蔽的设计中出现的一个特定磁场是地球磁场。此磁场相对于位置、针对地球表面的位移以及针对地球表面的霍尔元件方向而变化。附近的磁场和高电流载流导线（比如在电机中）也是外部磁场源示例。在此测试环境中，线性输出器件用于针对此电路板位置和方向测量  $42.9 \mu\text{T}$  的外部磁场。

特定设计中所固有的另一个外部磁场或杂散场是来自一个相邻翘板中任何其他磁体的磁场。图 2-32 说明了附近的翘板可能产生多大的外部磁场。因为它远低于  $1.8\text{mT}$  的最低  $B_{OP}$  值，所以我们认为在此设计中，这不是一个严重的问题。然而，如果翘板间隔更小，对于 DRV5033 器件来说，这可能是一个严重的问题。屏蔽或使用更高阈值的器件应该能够更大程度地减小这个问题带来的影响。

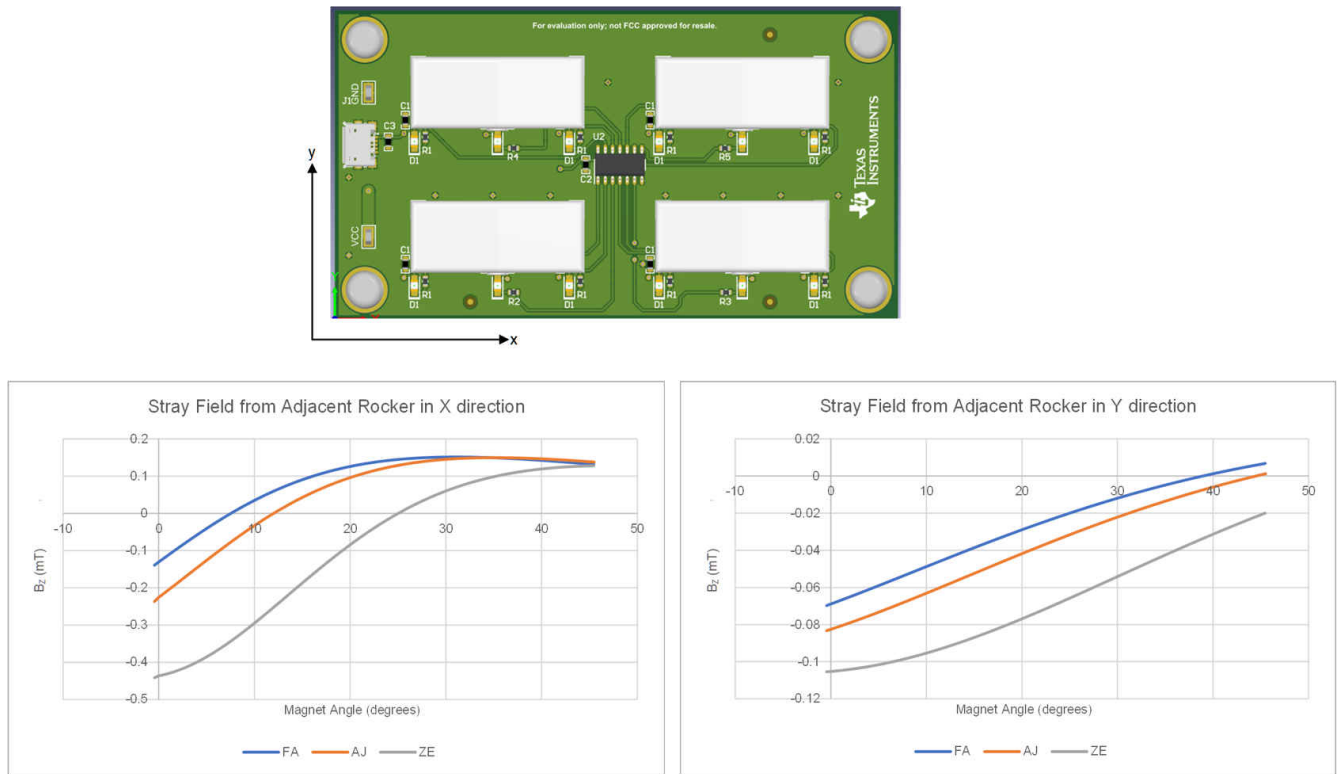


图 2-32. 相邻翘板开关的影响

外部磁场应该会直接抵消磁场曲线。如图 2-33 中所示，降低曲线的偏移会缩小转换区域并减小  $B_{OP}$  角度（如区域 1 所示），而提高曲线的偏移会扩大转换区域并增大  $B_{RP}$  角度（如区域 3 所示）。由于使用了全极开关，在装配这些翘板开关时，无需严格关注器件朝向什么极性。为了减小偏差，将特定极性一致地朝向霍尔效应开关会使结果更加一致。

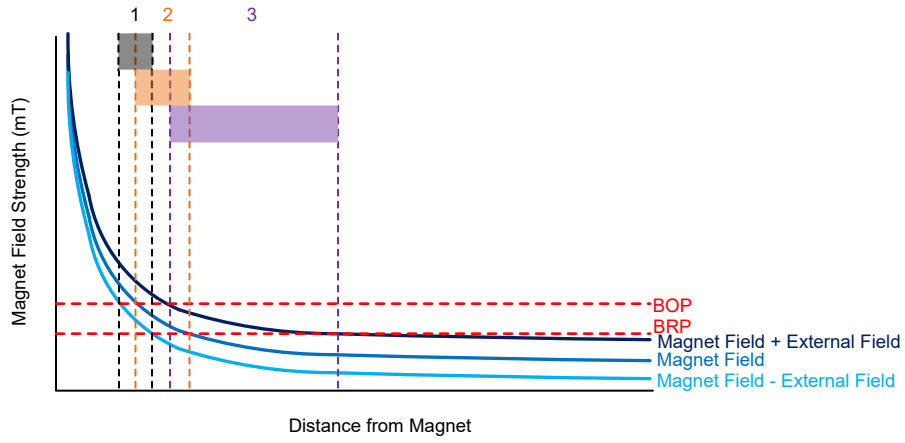


图 2-33. 外部磁场的影响

### 2.8.6 附近材料的影响

虽然在此特定设计中，附近材料的影响并不是预期的误差源，但它是一个需要考虑的非常重要的误差因素。实际上，这个可能的误差影响了初步设计方案。如前所述，在机械设计方面，应有意避免使用金属弹簧。原因在于，很多金属弹簧都由穿透性很强且磁阻较低的材料构成。磁场会沿着磁阻最小的路径从磁体的北极移至南极。这可以集中磁场以助力设计，也可以转移磁场以破坏设计。在考虑材料影响时，磁性仿真和基准测试是必不可少的。

为了说明材料对磁场的影响，图 2-34 显示了 SOT-23，其上方悬挂了一块磁体。在左边的示例中，一个金属圆柱体环绕在器件周围。注意 B 场集中在此圆柱体中，下方器件的鸟瞰图说明霍尔元件感应到的磁场基本上为 0mT。通过与右侧的非屏蔽示例进行比较，注意测量到的磁场强度至少转移了 30mT。

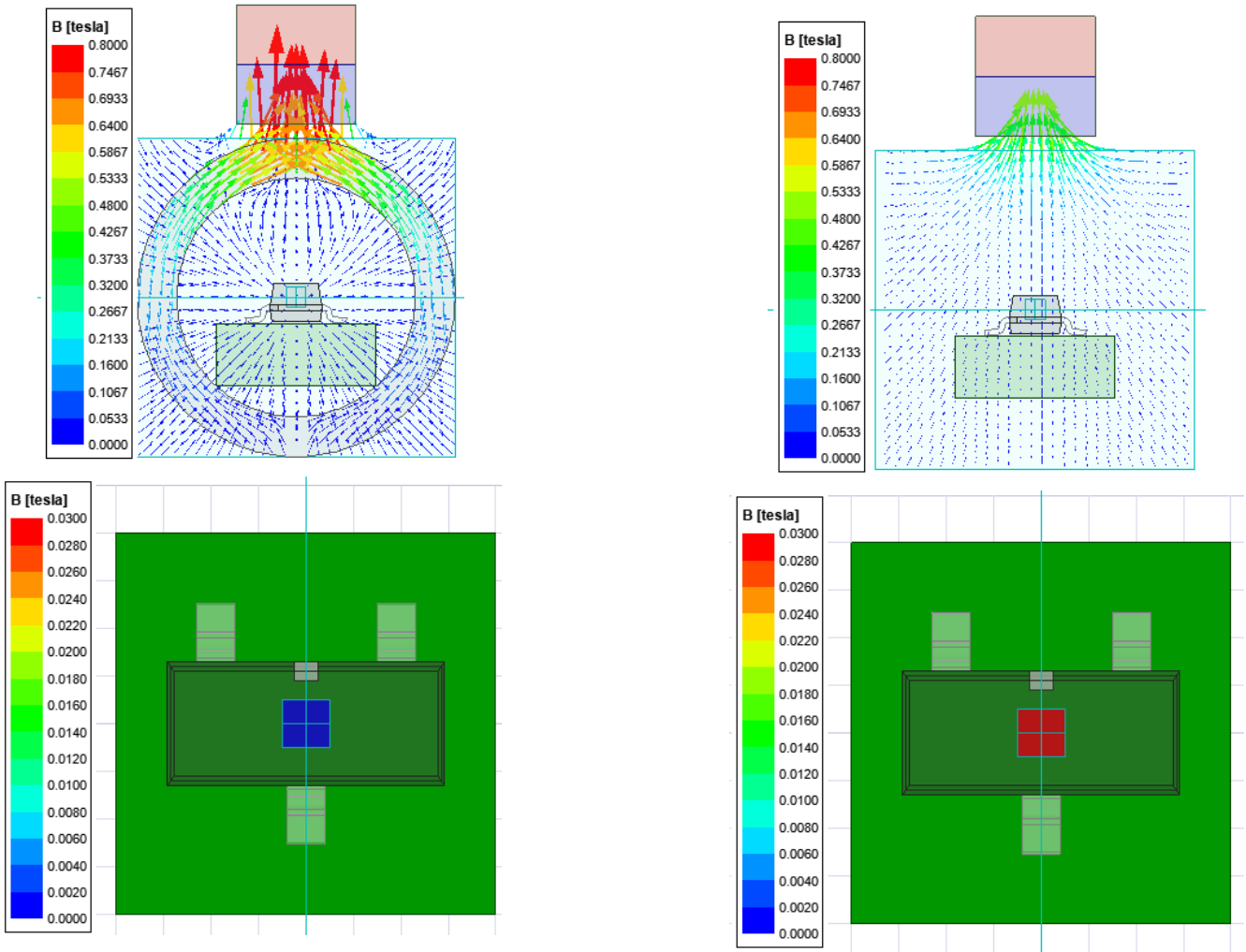


图 2-34. 磁体屏蔽

### 2.8.7 基准设置误差

而另一个可能的误差源与在原型上执行基准测试的方式有关。在这种情况下，通过视频帧对翘板开关的性能进行评估。摄像头方向和后处理程序的分辨率都可能会影响精度。图 2-35 和图 2-36 用于说明误差的极端情况。然而，评估中的误差要小得多。图 2-35 显示了用于计算的基座与实际基座之间存在一定程度的俯仰。图 2-36 中的右图显示了当两个翘板都在同一个默认位置时，相对于观察角度的偏转如何导致测量角度增大。

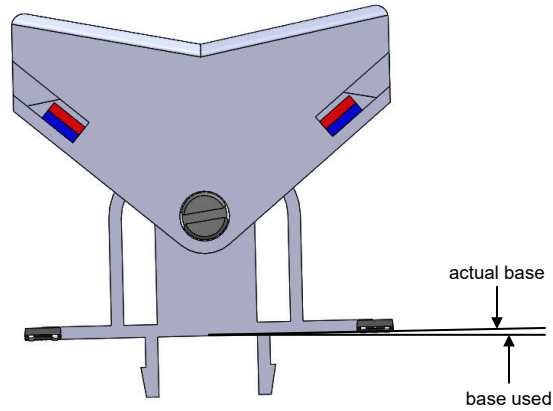


图 2-35. 图像俯仰

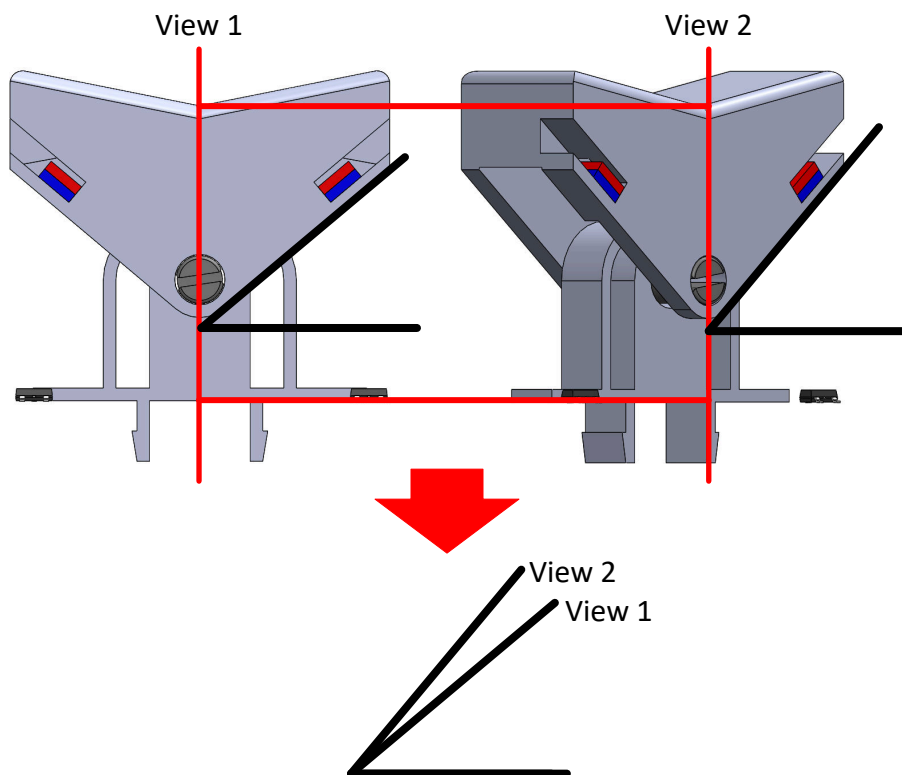


图 2-36. 存在偏转的捕获结构

### 3 总结

此应用报告介绍了设计具有霍尔效应传感器的翘板开关的流程。此流程从翘板的基本实现开始，然后是根据 [Magnetic Sensing Proximity Tool](#) 中执行的计算结果选择器件。在完成初步理论设计流程后，介绍了原型设计和基准测量。在基准测量部分，本报告强调，除了器件差异还有其他误差源。然后介绍了针对每种可能源的基本误差分析。

## 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