

## Application Note

## 双芯片磁性位置传感器中堆叠芯片和并排芯片实施方案之间的比较



Patrick Simmons

Applications Engineer, Position Sensing

## 摘要

TMAG5170D 等霍尔效应传感器可用于电子换挡器等角度检测系统，在此类系统中，需要为关键系统运行实现冗余。本文档分析了与双芯片并排放置的实施方案相比，TMAG5170D 中双芯片堆叠实施方案的优势。

## 内容

1 简介.....	2
2 径向磁体方法.....	4
2.1 径向磁体方法的错误和冗余.....	6
2.2 传感器偏移结果.....	7
2.3 磁体倾斜结果.....	10
2.4 磁体偏移结果.....	11
2.5 磁体直径结果.....	12
3 轴向磁体方法.....	13
3.1 轴向磁体方法的误差和冗余.....	14
3.2 偏移结果.....	15
4 总结.....	20
5 参考资料.....	20

## 商标

所有商标均为其各自所有者的财产。

## 1 简介

在电子换挡器 (E-shifter) 应用中使用霍尔效应传感器时, 可以通过多种方法来实现检测相对换挡杆位置的系统目标。图 1-1 所示为可探索的两种电子换挡器方法。对于这两种方法, 可能需要双芯片感应设计来实现冗余, 这对于经常有功能安全要求的汽车应用来说并不少见。对于冗余系统, 最好使用两个单独的传感器来测量相同的结果。但这种类型的冗余通常无法实现, 因为两个不同的传感器必须占据空间中的两个不同位置。本文档探讨了可用于双芯片传感器的不同霍尔元件放置方式, 并说明了与 TMAG5170D-Q1 类似的器件如何布置两个芯片以减少冗余系统中所需测量值差异。为证实上述说法, 我们来完成以下方法的设计过程, 然后显示绝对误差、计算角度的标准偏差以及组装过程中可能发生的各种机械误差的计算角度的最大差异。

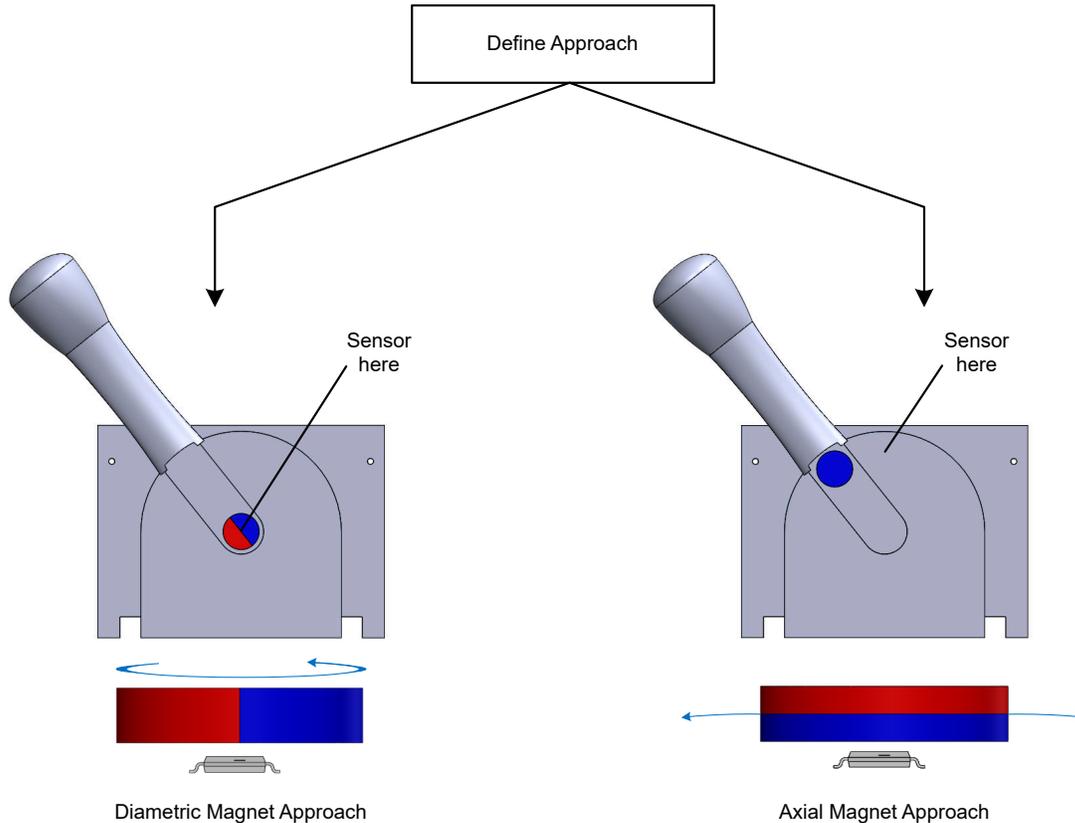


图 1-1. 定义方法

特定应用设计迭代的典型开发流程类似于图 1-2 中所示的流程。在本例中，系统目标是跟踪操纵杆中的位置，类似于电子换挡器中的位置。所考虑的方法如图 1-1 中所示。设计的限制因素可能是感应器件位置、感应位置的电路板尺寸、磁体尺寸、成本、分辨率等。以下分析仅受上述方法和与可立即购买的磁体类似的磁体尺寸的限制。通过预期运动路径扫描磁体而获得的后处理磁场值有助于确定理想的磁体尺寸和位置，以便更好地放置。从导出的点开始，可以进一步处理后续的磁体参数扫描，以量化对于各种机械组件容差可以观察到的可能误差。

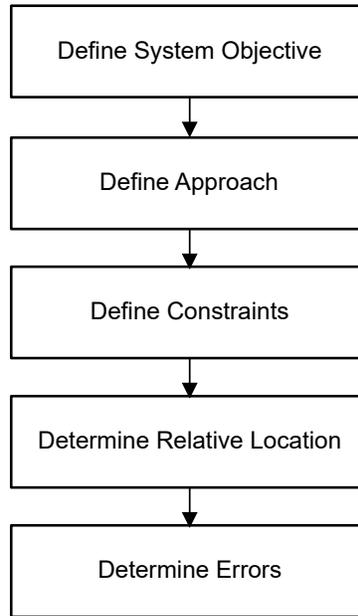


图 1-2. 总体设计流程

## 2 径向磁体方法

我们首先考虑在换挡杆支点处采用径向磁体轴的方法。对于磁体居于旋转轴上时磁体下方的中心点（如图 2-2 所示），磁通密度（B 场）类似于图 2-1。通过获取这些磁场的反正切值，我们可以得到与杠杆位置直接相关的值的线性斜率，如图 2-1 中的角度所示。假设我们可以灵活地放置器件，我们可以扫描 z 轴上传感器与磁体的偏移量，如图 2-3 中所示，以确定器件距离磁体太近或太远的范围。在忽略器件或磁体所占空间的情况下，如果 B 场在 360° 磁体旋转期间使传感器饱和或超过两个奇异角度值，那么器件就太近了。当超过两个奇异角度值在 360° 磁体旋转过程中低于器件本底噪声时，器件距离磁体太远。图 2-3 显示，对于距磁体原点在 -8mm 到 -2.5mm 范围内的任何 z 偏移，直径为 12.7mm、厚度为 3.175mm 的 N42 磁体不会超出 TMAG5170 的感应范围。

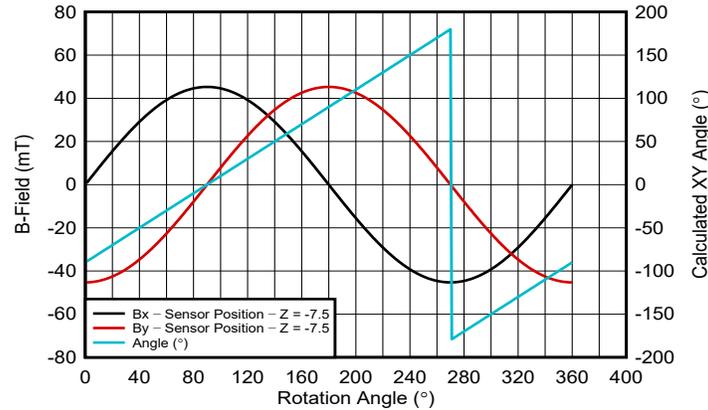


图 2-1. 磁场行为

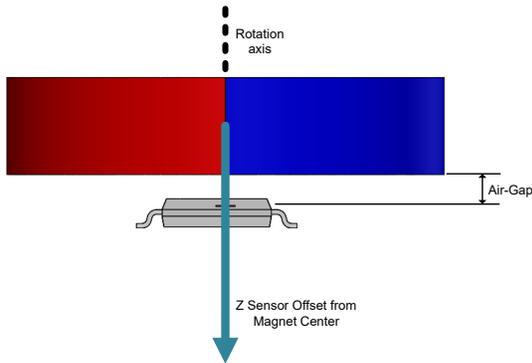


图 2-2. 传感器 Z 偏移扫描图

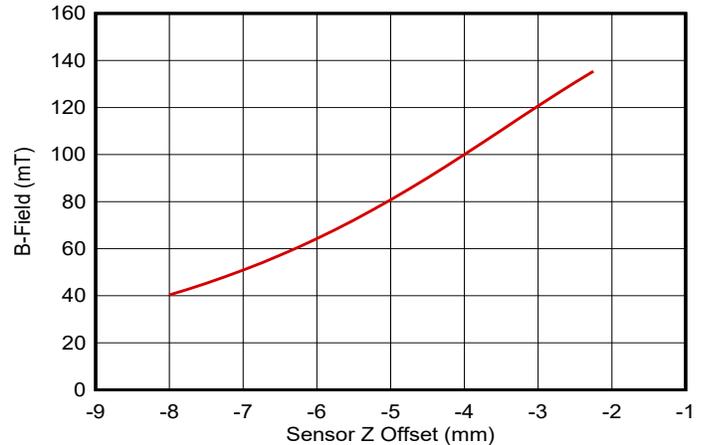


图 2-3. 最大 Bx 或 By 场与传感器 Z 偏移间的关系

在进行特定设计之前需要测量的其他值得注意的指标包括：当器件的 xy 平面与理想位置偏移时，磁体直径和厚度对误差的影响（如图 2-4 和图 2-5 中捕获的数据）。无论装配在制造中可以预期的公差是多少，都适用于此分析。本文假设偏移量为 ±1.5mm。在图 2-4 中，传感器 z 偏移固定为 7.5mm。在图 2-5 中，直径固定为 12mm，调整传感器 z 偏移，使空气间隙保持恒定。空气间隙是磁体表面与传感器平面之间的距离。

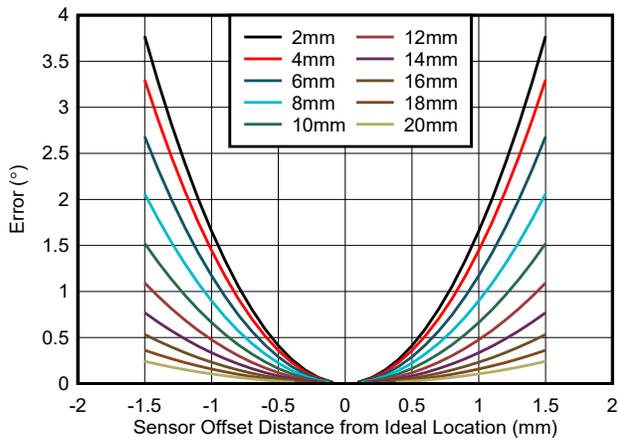


图 2-4. 直径扫描

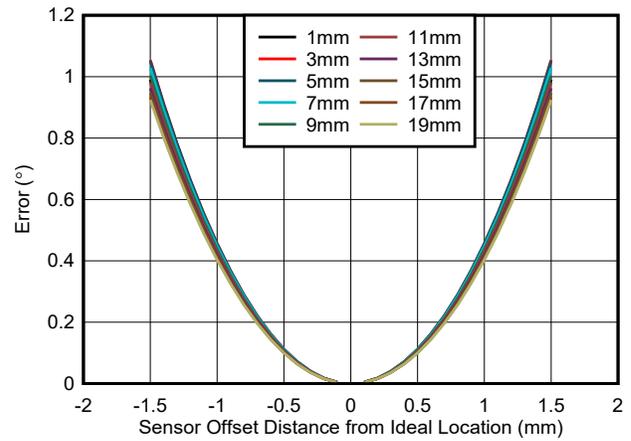


图 2-5. 厚度扫描

图 2-4 表明，更小的直径对相同偏移下的误差不太宽容。根据大量未显示的仿真数据，偏移小于磁体直径长度的 10% 通常看似可提供小于 1° 的误差。至于磁体厚度，图 2-5 表明在不同厚度下只能观察到角度误差的轻微变化。

图 2-4 和图 2-5 基于来自单个传感器的测量值。对于汽车应用，通常希望具有冗余以满足安全要求。由于冗余需要多个器件，并且多个器件实际上无法占用相同的空间，因此至少有一个（如果不是两个）传感器会测量与上方单独传感器不同的磁场。此外，由于存在机械制造和装配公差，传感器测量之间的差异可能会增加。相对于理想行为的偏差以及传感器之间的差异取决于传感器的相对位置。两种常见的传感器放置方式是并排和堆叠，如图 2-6 所示。TMAG5170D-Q1 采用堆叠芯片排列，这些芯片通常按 0.123mm 间距垂直分隔开。对于并排芯片，按大约 1mm 间距水平分隔开并不少见。

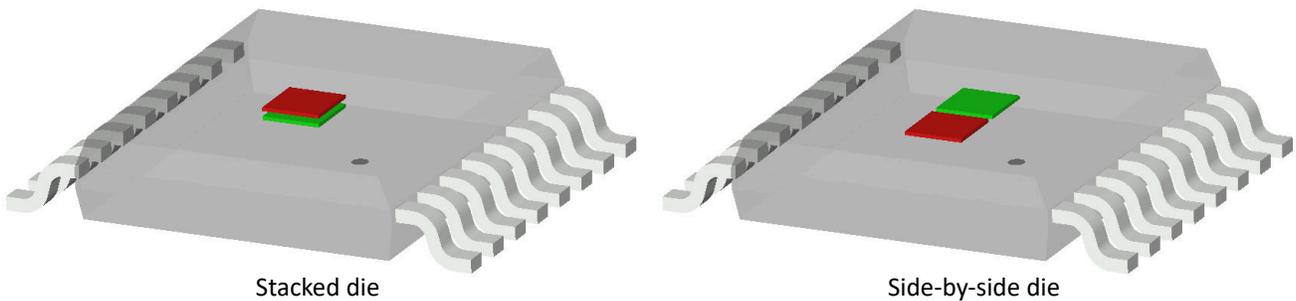


图 2-6. 双芯片放置

## 2.1 径向磁体方法的错误和冗余

表 2-1 中定义了得出后续数据的条件。数据是通过 [德州仪器 \(TI\) 磁感应仿真器 \(TIMSS\)](#) 工具进行收集，并在 Excel 中进行后处理。对于机械组件，感应器件可能会偏离预期位置、磁体可能发生倾斜，或磁体可能无法正确居中于旋转轴上。因此，为了查看每个可能误差源的影响，执行了多次单独的测试。

表 2-1 中的所有参数都与表 2-1 中 TIMSS 工具中提供的输入参数相对应。

表 2-1. 仿真参数

TIMSS 中的仿真参数	芯片配置	测试	TIMSS 仿真参数值
磁体形状	两种	全部	径向圆柱
极	两种	全部	2
包含一个磁体	两种	全部	烧结钕，N42
外径	两种	传感器偏移、磁体倾斜、磁体偏移、直径测试	12.7 mm
		直径测试	6mm、8mm、12.7mm
高度	两种	全部	3.175 mm
磁体位置	两种	传感器偏移、磁体倾斜、直径测试	x = 0mm, y= 0mm, z = 0mm
		磁体偏移测试	x = 0mm 至 2mm, 步长为 0.5mm, y= 0mm, z = 0mm
磁体角度	两种	传感器偏移、磁体偏移、直径测试	x = 0°, y= 0°, z = 0°
		磁体倾斜测试	x=0° 至 20°, 步长为 5°, y=0°, z=0°
弧长	两种	全部	360°
传感器位置 x	堆叠芯片	传感器偏移 X 偏移	-1.5mm 至 1.5mm, 步长为 0.1mm
		传感器 Y 偏移、磁体倾斜、磁体偏移、直径测试	0 mm
	并排芯片	传感器偏移 X 偏移	对于一个霍尔元件，为 -1.96mm 至 1.04mm；对于另一个霍尔元件，为 -1.04 至 1.96, 步长为 0.1mm
		传感器 Y 偏移、磁体倾斜、磁体偏移、直径测试	-0.46mm, 0.46mm
传感器位置 y	两种	传感器 X 偏移、磁体倾斜、磁体偏移、直径测试	0 mm
		传感器 Y 偏移测试	-1.5mm 至 1.5mm, 步长为 0.1mm
传感器位置 z	堆叠芯片	传感器偏移测试	对于一个霍尔元件，为 -2.9385 至 -4.9385；对于另一个霍尔元件，为 -3.0615 至 -5.0615, 步长为 1mm
		磁体倾斜和磁体偏移测试	-4.0615mm, -3.9385mm
	并排芯片	传感器偏移测试	-3mm 至 -5mm, 步长为 1mm
		磁体倾斜和磁体偏移测试	-4 mm

## 2.2 传感器偏移结果

设计的一项指标是根据传感器测量结果计算出的角度与器件位于预期位置时的预期角度的误差。放置偏移会导致计算出的误差与预期的误差不同，因此需要根据误差的大小和所需的精度来进行校准。图 2-8 和图 2-9 显示了因传感器沿 x 和 y 轴偏移而导致的误差程度。理想的传感器位置被视为以磁体 z 轴为中心，位于两个传感器 z 偏移的平均值处。

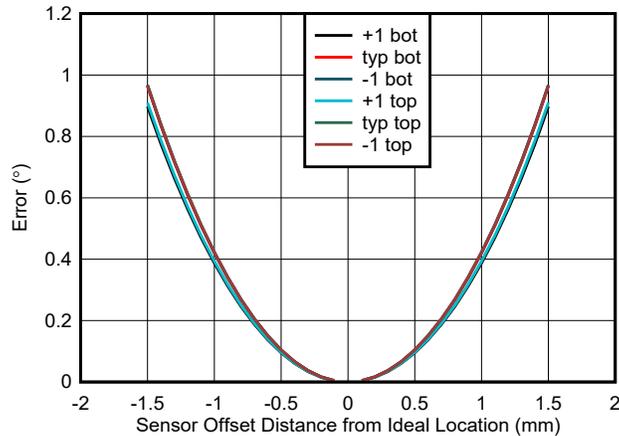


图 2-7. 不同传感器 Z 偏移下堆叠芯片绝对角度误差与传感器 X 或 Y 偏移间的关系

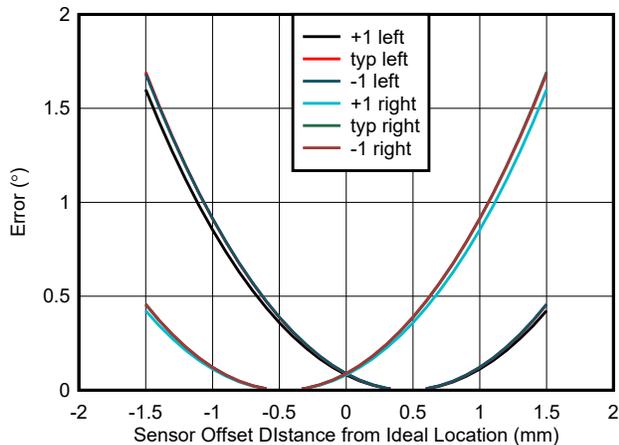


图 2-8. 不同传感器 Z 偏移下并排芯片绝对角度误差与传感器 X 偏移间的关系

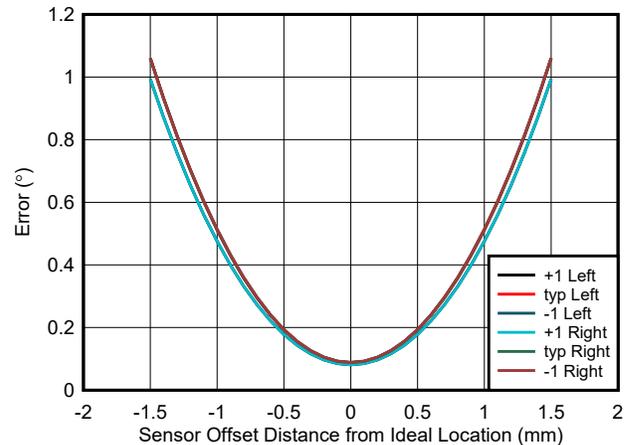


图 2-9. 不同传感器 Z 偏移下并排芯片绝对角度误差与传感器 Y 偏移间的关系

图 2-7 表明沿 x 或 y 轴的  $\pm 1.5\text{mm}$  偏移会导致堆叠芯片器件的误差  $< 1^\circ$ ，并且两个感应元件观察到的误差几乎相同，这与图 2-8 中并排感应元件观察到的误差形成了对比。根据偏移方向，与理想测量的偏差为  $1.5^\circ$ 。此外，两个感应元件表现出镜面对称性，这会影响到两个芯片之间计算角度的测量差值标准偏差或最大测量差值，这两者都是双传感器器件冗余的重要指标。在该应用中，期望根据测得的  $B_x$  和  $B_y$  磁场得出的测量角度相同。测量角度之间的任何差异都会构成误差。除非误差是均匀的并且适用于所有可能的可测量点，否则标准偏差小于最大差值，而较小的标准偏差表示数据差异往往较小。图 2-10 显示了堆叠芯片的差分角测量标准偏差，而图 2-11 和图 2-12 显示了并排芯片的标准偏差。

图 2-13 显示了堆叠芯片角度测量的最大差值，而图 2-14 和图 2-15 显示了并排芯片角度测量的最大差值。

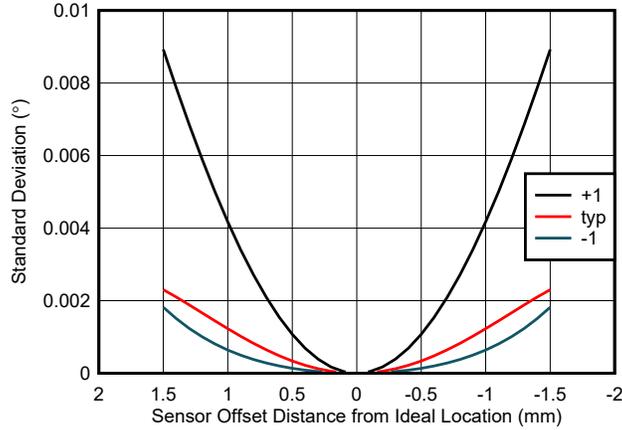


图 2-10. 不同传感器 Z 偏移下堆叠芯片差值标准偏差与传感器 X 偏移间的关系

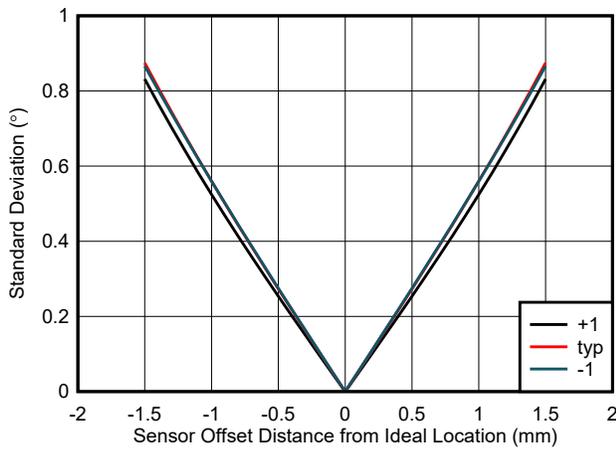


图 2-11. 不同传感器 Z 偏移下并排芯片差值标准偏差与传感器 X 偏移间的关系

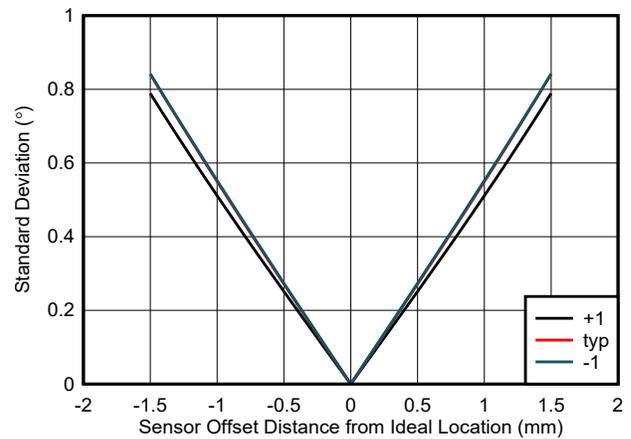


图 2-12. 不同传感器 Z 偏移下并排芯片差值标准偏差与传感器 Y 偏移间的关系

图 2-10 表明，即使在最坏的 x 偏移情况下，完整 360 度旋转中计算出的大部分角度都在理想角度的 0.01 度范围内。或者，对于图 2-13 和图 2-12 中显示的并排配置，标准偏差接近 1°。

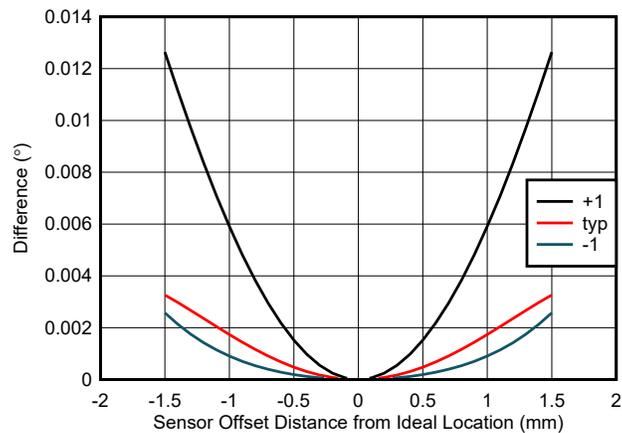


图 2-13. 不同传感器 Z 偏移下堆叠芯片最大差值与传感器 X 或 Y 偏移间的关系



图 2-14. 不同传感器 Z 偏移下并排最大差值与传感器 X 偏移间的关系

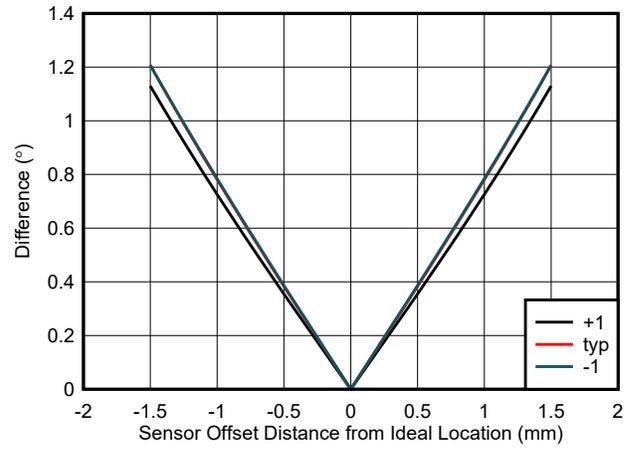


图 2-15. 不同传感器 Z 偏移下并排最大差值与传感器 Y 偏移间的关系

图 2-13 说明了堆叠芯片角度计算的最大差值比图 2-14 和图 2-15 中所显示的并排芯片角度计算的最大差值小 100 倍。

### 2.3 磁体倾斜结果

根据装配控制的紧密程度，磁体可能会出现一定的倾斜，如图 2-16 中所示。图 2-17 和图 2-18 说明了 12.7 直径磁体倾斜的影响。在这些图中，“bot”是指堆叠芯片中位于“顶部”传感器元件下方的传感器元件。“左”和“右”用于区分并排芯片中的两个感应元件。

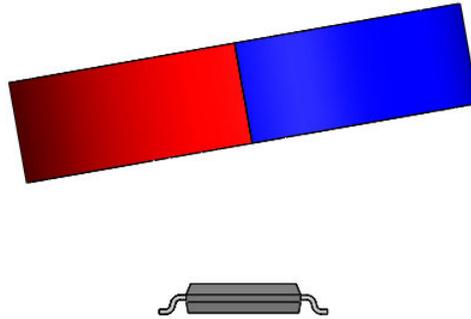


图 2-16. 磁体倾斜

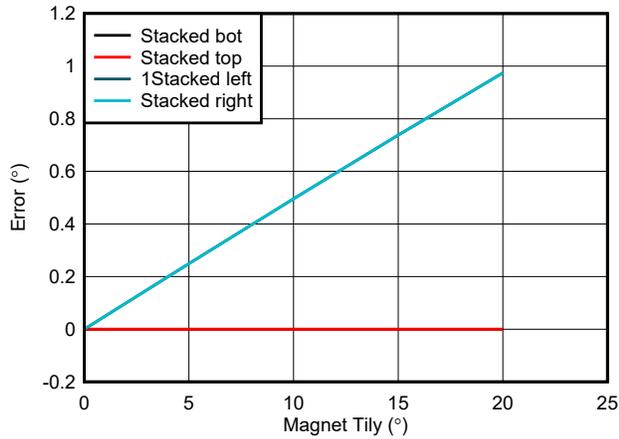


图 2-17. 绝对误差与磁体倾斜间的关系

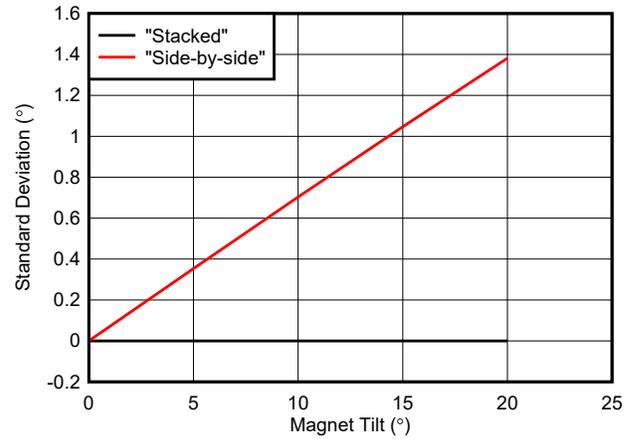


图 2-18. 差值标准偏差与磁体倾斜间的关系

此处考虑的最大倾斜度是 20°。随着倾斜度的增加，各次角度计算之间的绝对误差和标准偏差对于并排芯片也会增加，而对堆叠芯片的影响相对难以察觉。

## 2.4 磁体偏移结果

磁体偏移也称为偏转或偏心，是指磁体轴与旋转轴不同心的情况。因此，1mm 的偏心对应于磁体中心相对于旋转轴偏移 1mm。图 2-19 从概念上显示了旋转磁体 360° 时的偏心率。图 2-20 和图 2-21 显示了偏心的影响。

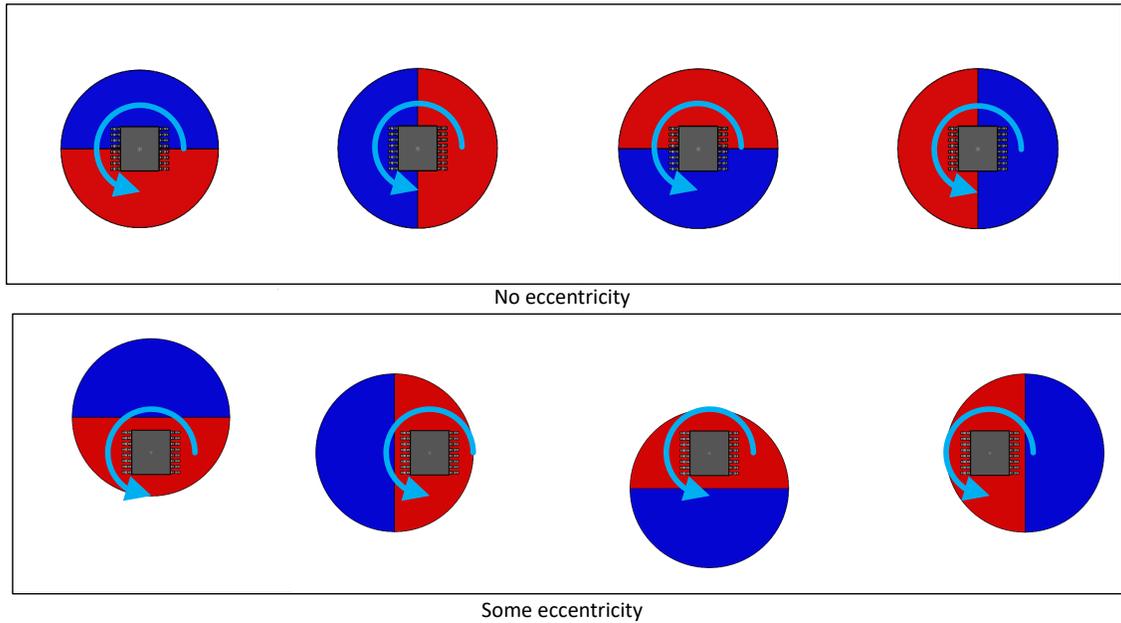


图 2-19. 磁体偏移 ( 偏心 )

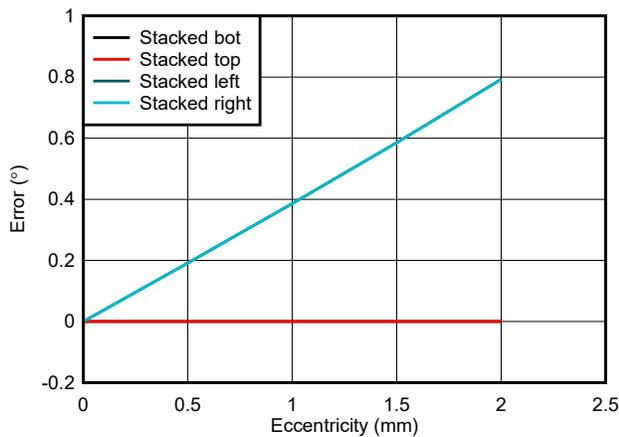


图 2-20. 绝对角度误差与偏心间的关系

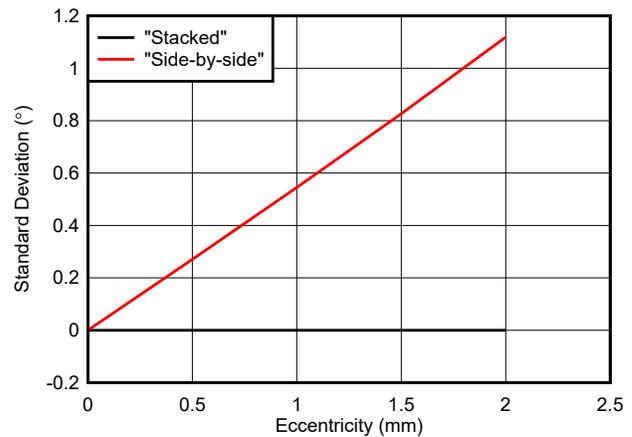


图 2-21. 差值标准偏差与偏心间的关系

此处考虑的最坏情况的磁体偏移量为 2mm，即磁体直径的 15%。在这种情况下，绝对误差和差值标准偏差都随并排芯片的磁体偏移呈线性增加，而以旋转轴为中心的堆叠芯片的误差或变化相对可以忽略不计。

## 2.5 磁体直径结果

磁体制造中的变化是一个误差源。但是，所选磁体的制造尺寸差异通常相对较小，因此影响可能不大。但如果磁体直径的预期尺寸更小，则会使较大的系统装配公差产生更明显的误差。

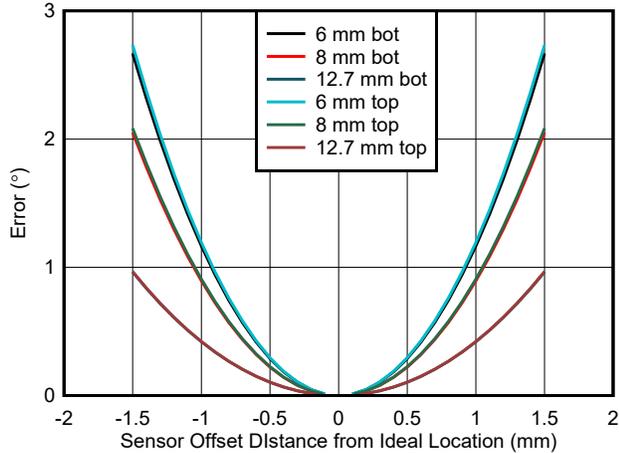


图 2-22. 不同磁体直径的堆叠芯片绝对角度误差与传感器 XY 偏移的关系

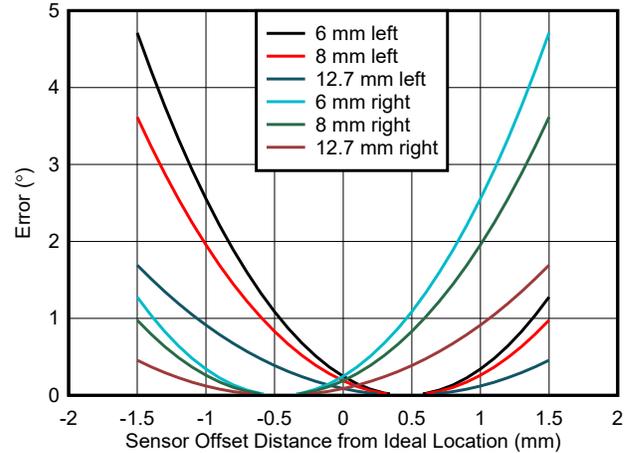


图 2-23. 不同磁体直径的并排芯片绝对角度误差与传感器 XY 偏移的关系

在图 2-22 和图 2-23 中，较大直径的磁体对传感器与磁体旋转轴正下方的理想位置偏移具有更大的抗扰度。直径为 6mm 的磁体表现出最大的误差，是直径为 12.7mm 时观察到的误差的 2 倍以上。并排芯片在最坏情况下的误差几乎是堆叠芯片的两倍。

### 3 轴向磁体方法

评估了径向方法后，现在我们考虑轴向磁体与换挡杆支点间隔一定径向距离的方法。轴向磁体在旋转过霍尔传感器（比如图 1-1 中所示的方法）时的一般 B 场曲线如图 3-1 所示。根据此类磁场行为，我们可以预期，取  $B_z$  和  $B_x$  的正反切将产生类似于图 3-2 的线性输出。为了获得更好的结果，必须对其中一个场值进行缩放，使每个曲线的全局最大值在处理之前相同。

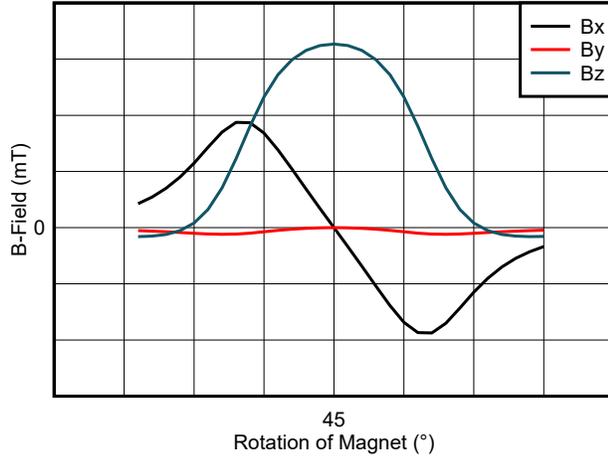


图 3-1. B 场行为

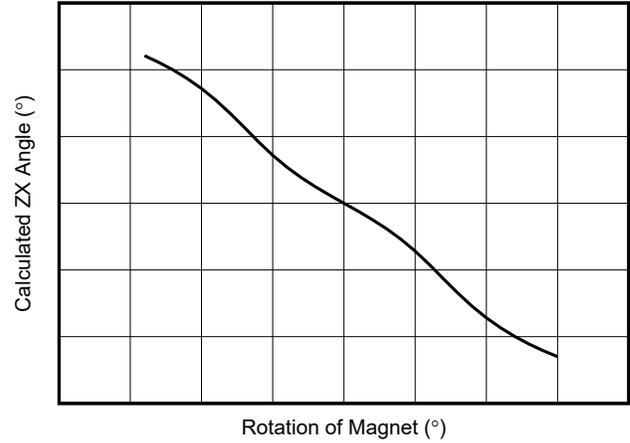


图 3-2. ZX 角度

凭借对上述行为的直觉，可以进行初步的设计尝试。与轴向方法类似，可以沿着器件的 z 轴对轴向磁体进行初始迎面扫描，以确定相对于器件的垂直偏移是否存在任何限制。本示例涉及一个铁氧体、C11 级、9.52mm 直径、3.18mm 厚的磁体，当以器件为中心时，沿 z 轴的典型 4mm 偏移足够强，既不会使 TMAG5170 输出饱和，也不会提供与噪声无法区分开来的磁场。因此，下一步是确定相对于换挡杆支点的径向偏移的灵活性。图 3-4 和图 3-5 展示了从支点径向分隔开磁体和器件时的磁场  $B_z$  和  $B_x$  磁场特性。这些图表明，随着径向距离的增加，曲线行为的变化似乎更快。建议在器件慢慢渐近接近 0mT 之前在该区域内运行。因此，增加径向偏移会减小换挡杆旋转的可测量范围。

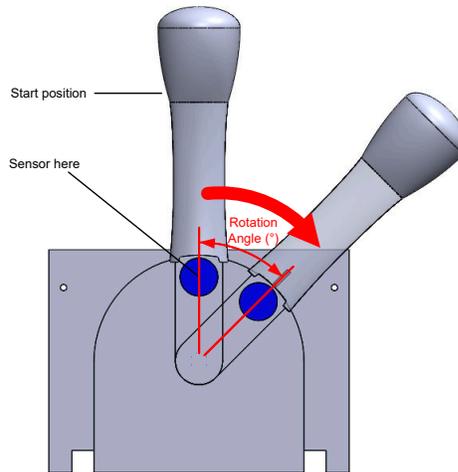
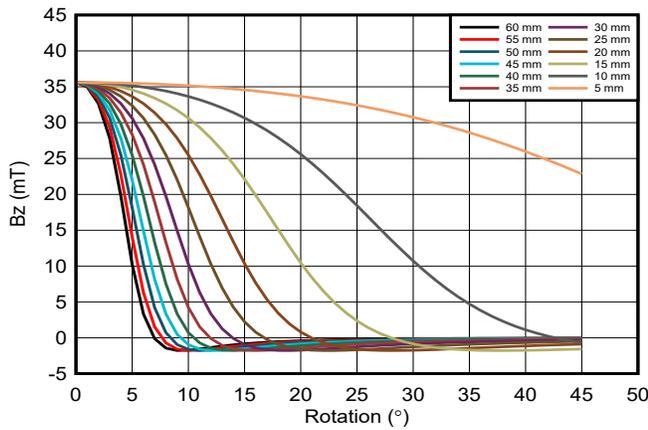
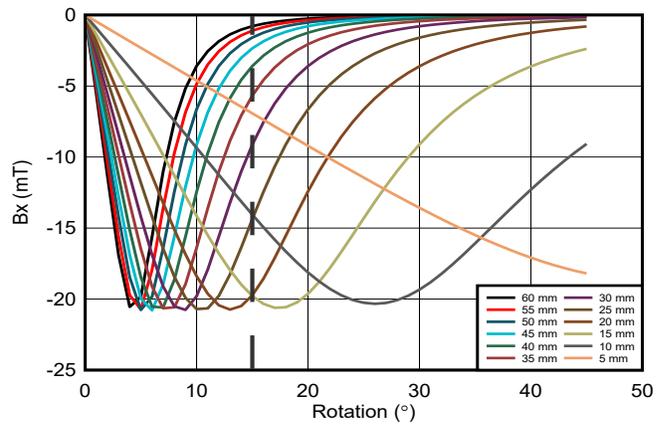


图 3-3. 径向扫描测试中的轴向磁体运动


 图 3-4. 每个径向偏移的  $B_z$  与旋转角度间的关系

 图 3-5. 每个径向偏移的  $B_x$  与旋转角度间的关系

这些图 (特别是图 3-5) 表明, 对于 40mm 径向偏移, 可以实现大约  $15^\circ$  的范围。这是与起始位置的夹角, 如图 3-3 所示。由于对称性, 这对应于  $\pm 15^\circ$ , 即  $30^\circ$  的总距离。接下来的传感器比较是从该径向间距约束进行的。

### 3.1 轴向磁体方法的误差和冗余

表 3-1 中定义了得出后续数据的条件。数据是通过 TIMSS 工具收集, 并在 Excel 中进行后处理。对于机械组件, 感应器件可能会偏离预期位置。以下分析评估了器件沿 x 或 y 轴偏移  $\pm 1.5\text{mm}$ , 沿 z 轴偏移  $\pm 1\text{mm}$ 。

表 3-1. 仿真参数

TIMSS 中的仿真参数	芯片配置	测试	TIMSS 仿真参数值
磁体形状	两种	全部	轴向圆柱磁体
极	两种	全部	2
包含一个磁体	两种	全部	铁氧体, C11
外径	两种	全部	9.52 mm
高度	两种	全部	3.18 mm
磁体位置	两种	全部	从 $x = 28.2842\text{mm}$ 、 $y = 28.2842\text{mm}$ ( $45^\circ$ )、 $z = 0\text{mm}$ 开始
磁体角度	两种	全部	$x = 0^\circ$ , $y = 0^\circ$ , $z = 0^\circ$
弧长	两种	全部	$90^\circ$ , 步长为 $1^\circ$ ; 但只有 $30^\circ$ - $60^\circ$ 在后处理中进行分析。
传感器位置 x	堆叠芯片	X 偏移	-1.5mm 至 1.5mm, 步长为 0.1mm
		Y 偏移	0 mm
	水平并排	X 偏移	对于一个霍尔元件, 为 -1.96mm 至 1.04mm; 对于另一个霍尔元件, 为 -1.04 至 1.96, 步长为 0.1mm
		Y 偏移	-0.46mm, 0.46mm
	垂直并排	X 偏移	-1.5mm 至 1.5mm, 步长为 0.1mm
		Y 偏移	0 mm
传感器位置 y	堆叠芯片	X 偏移	40 mm
		Y 偏移	$40\text{mm} + (-1.5\text{mm} \text{ 至 } 1.5\text{mm})$ , 步长为 0.1mm
	水平并排	X 偏移	40 mm
		Y 偏移	$40\text{mm} + (-1.5\text{mm} \text{ 至 } 1.5\text{mm})$ , 步长为 0.1mm
	垂直并排	X 偏移	39.54mm, 40.46
		Y 偏移	一个传感器为 $39.54\text{mm} + (-1.5\text{mm} \text{ 至 } 1.5\text{mm})$ , 步长为 0.1mm; 另一个传感器为 $40.46\text{mm} + (-1.5\text{mm} \text{ 至 } 1.5\text{mm})$ , 步长为 0.1mm

表 3-1. 仿真参数 (续)

TIMSS 中的仿真参数	芯片配置	测试	TIMSS 仿真参数值
传感器位置 z	堆叠芯片	全部	对于一个霍尔元件, 为 -2.9385mm 至 -4.9385mm; 对于另一个霍尔元件, 为 -3.0615mm 至 -5.0615mm, 步长为 1mm。
	水平和垂直并排	全部	-3mm 至 -5mm, 步长为 1mm。

### 3.2 偏移结果

图 3-6、图 3-7 和图 3-8 分析了双感应元件器件在 x 或 y 偏移的理想位置上的偏离情况。图 3-6 显示了用于这些测试的堆叠芯片放置。但是, 由于两个芯片都以磁体的中心点为中心, 因此器件封装可以旋转 90°, 并且 x 或 y 偏移产生的影响应该相同。图 3-7 和图 3-8 显示了根据电路板布局布线, 对于并排芯片可以观察到的两种不同情况。

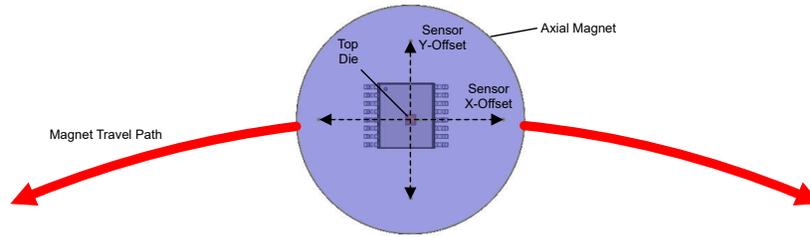


图 3-6. 轴向方法堆叠芯片 x 和 y 偏移

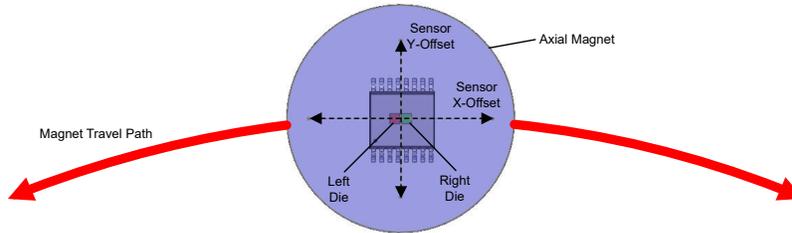


图 3-7. 水平并排芯片 (沿 X 轴)

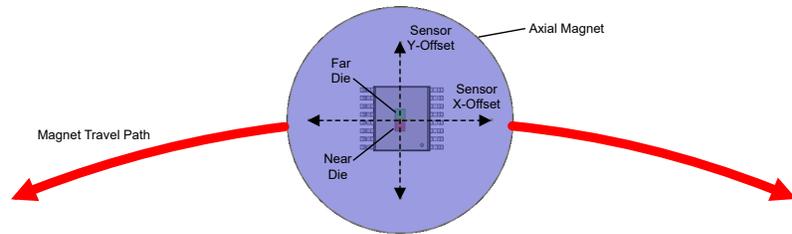


图 3-8. 垂直并排 (沿 Y 轴)

如之前涉及径向磁体的分析所示, 绝对角度误差、角度差标准偏差和角度差最大偏差都是用于确定不同双芯片配置的精度和冗余度的重要参数。图 3-9 至图 3-11 显示不同 x 偏移下计算得出的角度与理想角度的偏差。图 3-12 至图 3-15 显示了根据不同芯片计算出的角度之间差异的标准偏差。图 3-16 至图 3-18 显示了在芯片配置中观察到的芯片之间角度计算的最大差异。每组图都是堆叠芯片图在前, 并排芯片图在后。

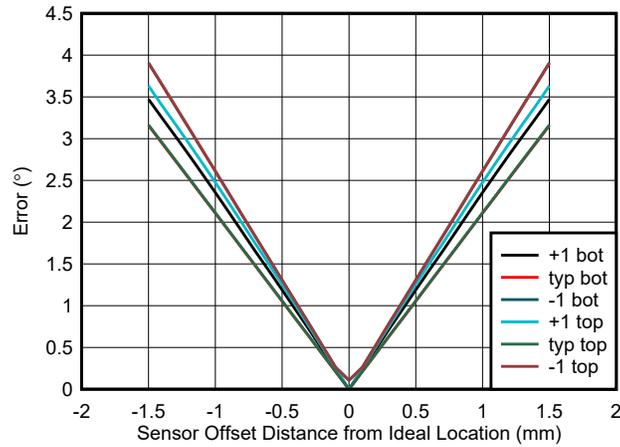


图 3-9. 不同传感器 Z 偏移下堆叠芯片绝对角度误差与传感器 X 偏移间的关系

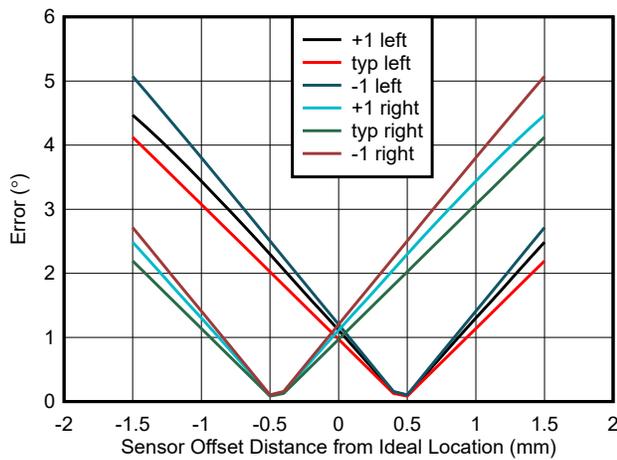


图 3-10. 不同传感器 Z 偏移下水平并排绝对角度误差与传感器 X 偏移间的关系

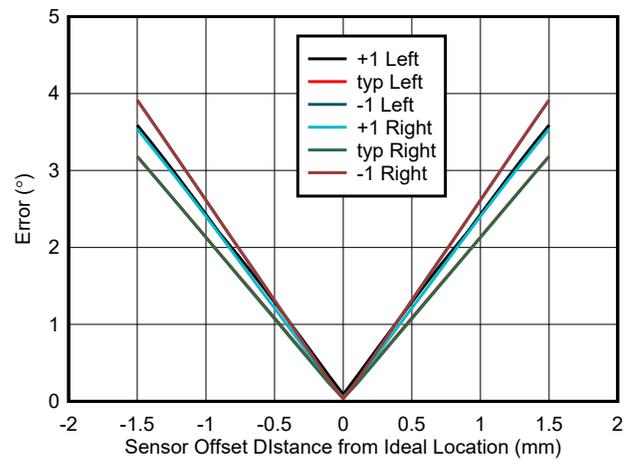


图 3-11. 不同传感器 Z 偏移下垂直并排绝对角度误差与传感器 X 偏移间的关系

在这里，我们可以看到，根据并排芯片的方向，它比堆叠芯片设计更差或相当。当并排芯片沿 x 轴对齐时，观察到的误差仅在偏移为 0mm 时是相同的，否则随着一个感应元件误差的减小，另一个感应元件随着该感应元件进一步靠近理想感应位置而增加，从而产生比堆叠芯片高出整整一度的最大误差。

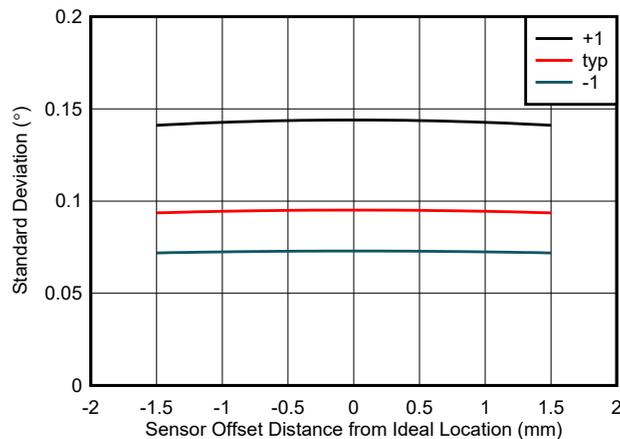


图 3-12. 不同传感器 Z 偏移下堆叠芯片差值标准偏差与传感器 X 偏移间的关系

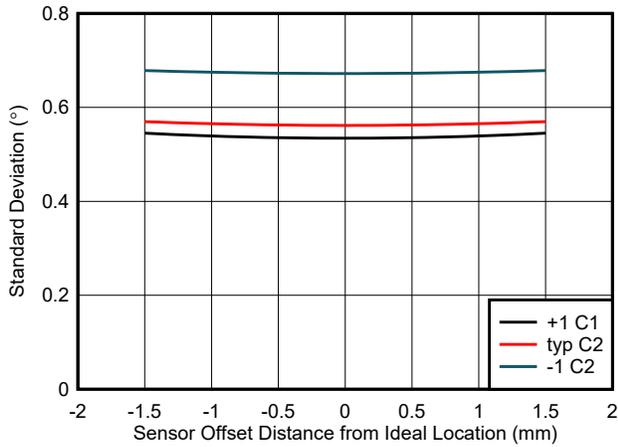


图 3-13. 不同传感器 Z 偏移下水平并排差值标准偏差与传感器 X 偏移间的关系

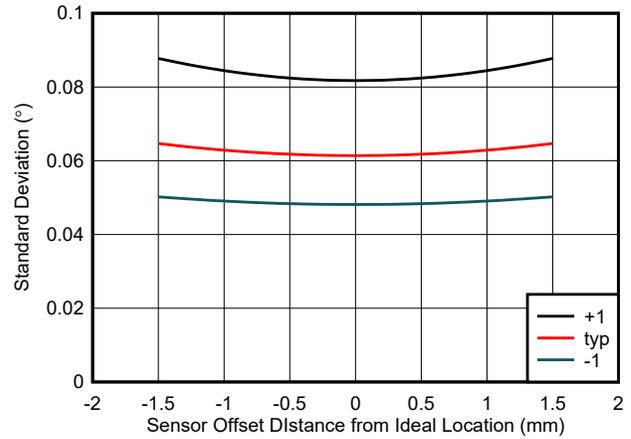


图 3-14. 不同传感器 Z 偏移下垂直并排差值标准偏差与传感器 Y 偏移间的关系

在本例中，并排芯片的误差变化取决于传感器元件沿 x 轴对齐的方向，表现出最大变化均大于半度。当并排感应元件沿 y 轴对齐时，其变化略优于堆叠芯片。

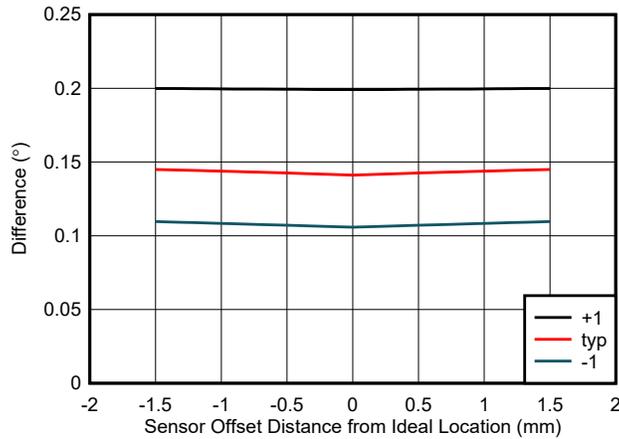


图 3-15. 不同传感器 Z 偏移下堆叠芯片最大差值与传感器 X 偏移间的关系

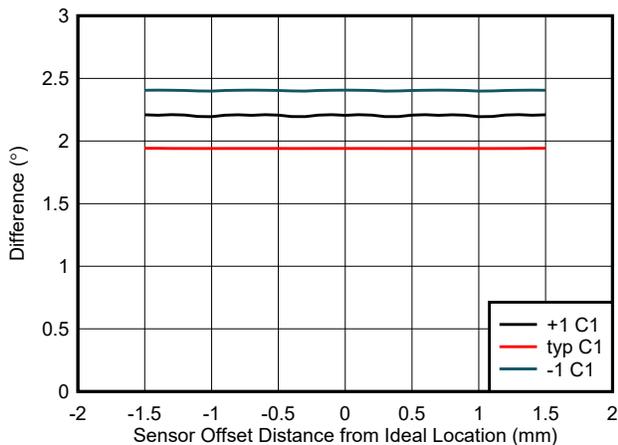


图 3-16. 不同传感器 Z 偏移下水平并排最大差值与传感器 X 偏移间的关系

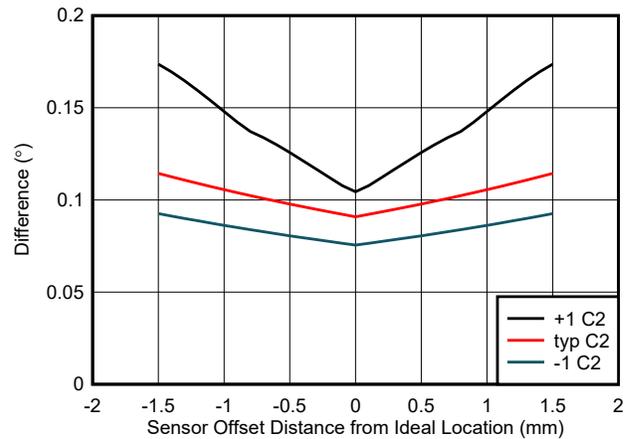


图 3-17. 不同传感器 Z 偏移下垂直并排最大差值与传感器 X 偏移间的关系

当感应元件沿 x 轴对齐时，并排芯片不仅具有更大的变化，它在各次角度计算之间的差异也显著增大，最大差异高于 1.9°。与其他并排配置相比，堆叠芯片的最大差值确实略高；然而，最大差值在扫描范围内相对一致。

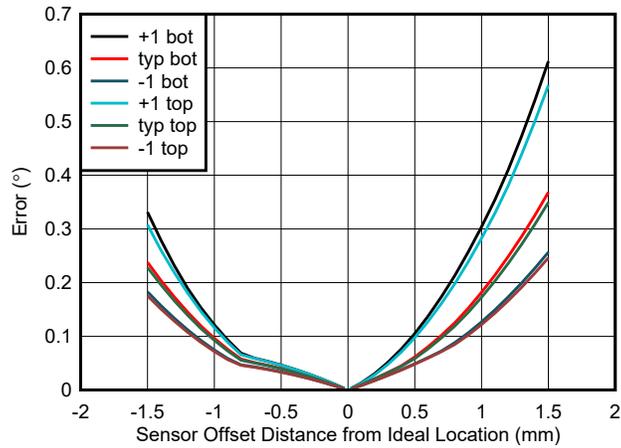


图 3-18. 不同传感器 Z 偏移下堆叠式芯片绝对角度误差与传感器 Y 偏移间的关系

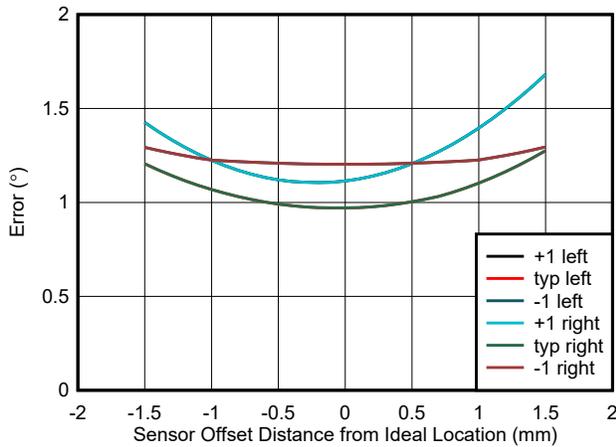


图 3-19. 不同传感器 Z 偏移下水平并排绝对角度误差与传感器 Y 偏移间的关系

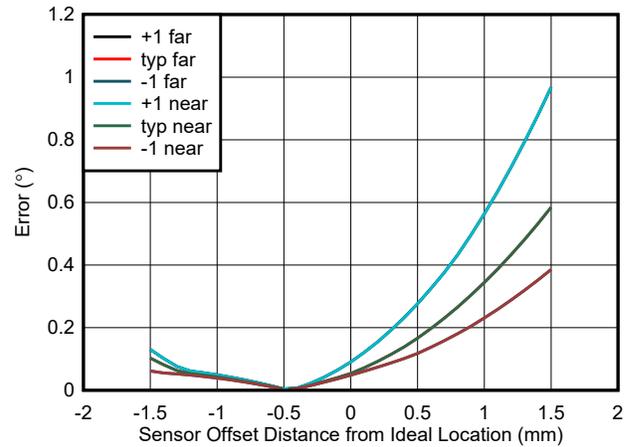


图 3-20. 不同传感器 Z 偏移下垂直并排绝对角度误差与传感器 Y 偏移间的关系

如果器件沿 y 轴偏移，则当器件距离旋转磁体的支点最远时，堆叠配置在最坏情况下的误差最低，约为 0.6°。

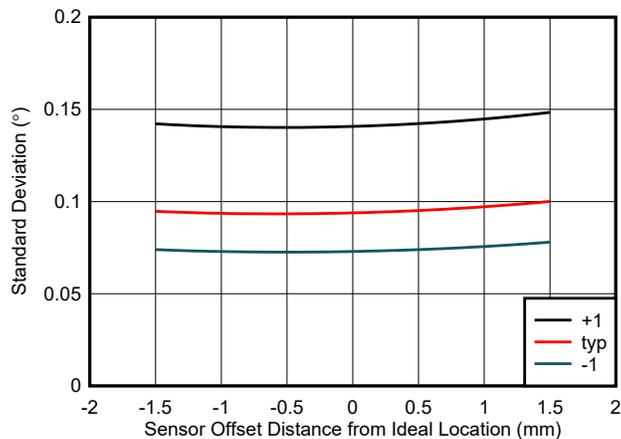


图 3-21. 不同传感器 Z 偏移下堆叠芯片差值标准偏差与传感器 Y 偏移间的关系

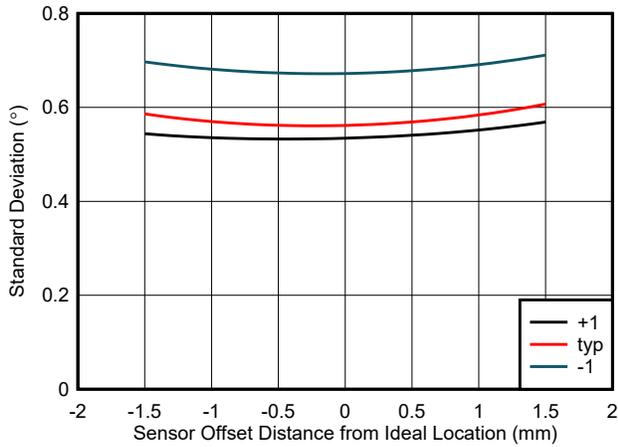


图 3-22. 不同传感器 Z 偏移下水平并排差值标准偏差与传感器 Y 偏移间的关系

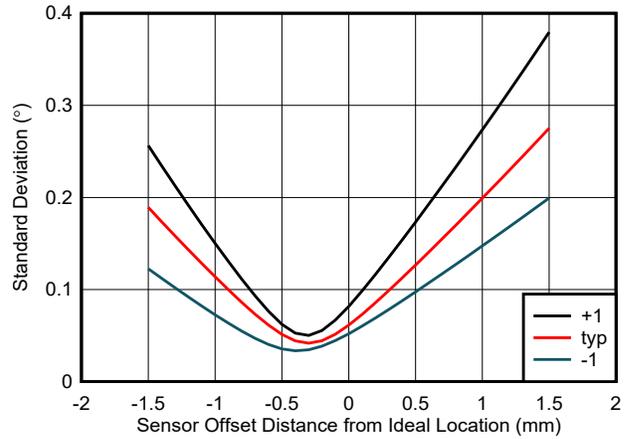


图 3-23. 不同传感器 Z 偏移下垂直并排差值标准偏差与传感器 Y 偏移间的关系

在这种情况下，堆叠芯片的计算结果差异比并排芯片变化稍大一些。不过，整个传感器 y 偏移的预期变化相对一致。

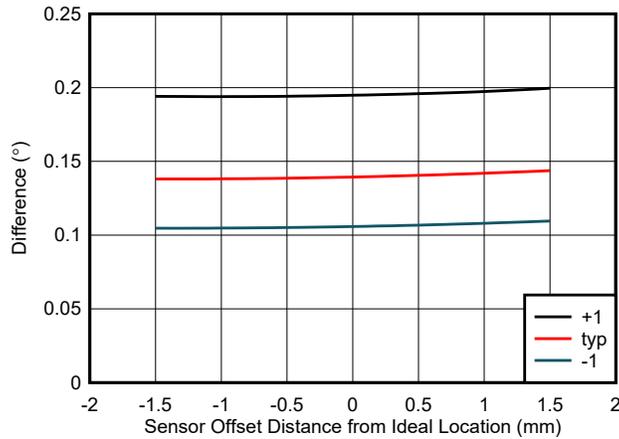


图 3-24. 不同传感器 Z 偏移下堆叠芯片最大差值与传感器 Y 偏移间的关系

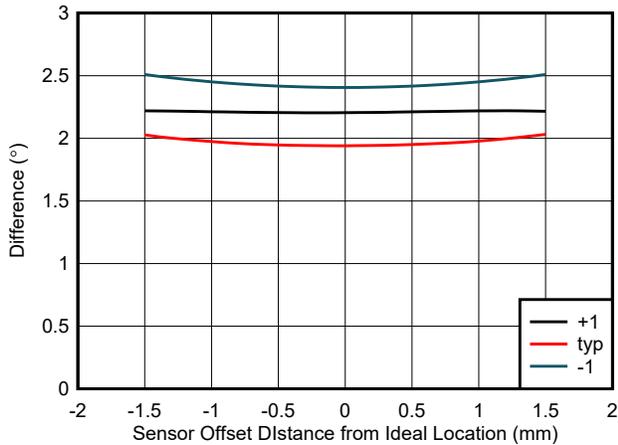


图 3-25. 不同传感器 Z 偏移下水平并排最大差值与传感器 Y 偏移间的关系

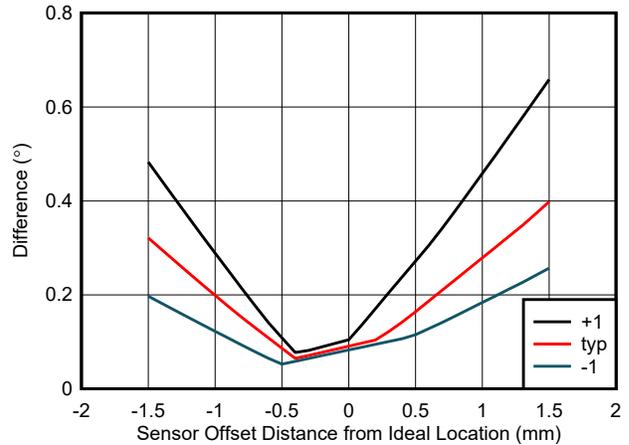


图 3-26. 不同传感器 Z 偏移下垂直并排最大差值与传感器 Y 偏移间的关系

在这里，我们可以看到，一个方向的并排在小偏移范围内只有很小的最大角差；而在该范围之外，它会很快超过堆叠芯片配置中观察到的最大角差。此外，如果使用水平方向，最大差值可能比堆叠芯片大 10 倍。

## 4 总结

感测杆位置至少有两种方法，例如电子换挡器中的方法。TI 的 TIMSS 等工具可以简化围绕支点沿弧形移动的指定磁体的磁场行为评估过程。本报告中所示两种方法的芯片配置比较的关键指标是与理想角度的偏差以及角度计算之间的差异，后者会影响冗余。对于径向磁体方法，堆叠芯片始终具有较小的角度误差，角度计算的差异较小，观察到的差异变化较小。对于更小的磁体直径、倾斜的磁体和具有偏心的磁体，观察到的性能对比度最明显。对于使用轴向磁体的替代杆式方法，堆叠芯片大致与并排芯片一样好，在某些情况下甚至优于并排芯片。

对于轴向磁体摆动超过磁体的堆叠芯片，其主要优势是布局灵活性，这可能对空间受限且几何形状奇特的电路板有利。如果在特定方向上存在偏移，并排芯片可以看到检测元件之间的差异度数，而无论朝向如何，堆叠芯片始终远低于某种程度的差异。

## 5 参考资料

- 德州仪器 (TI), [TMAG5170D-Q1 : 具有 SPI 接口的汽车类高精度 3D 线性霍尔效应双芯片传感器](#) 产品页面
- 德州仪器 (TI), [TMAG5170D-Q1 具有 SPI 的双芯片高精度 3D 线性霍尔效应传感器](#) 数据表。

## 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