

Scott Bryson

摘要

在设计任何最终产品时，多个学科的工程师合作创建最终设计的情况并不少见。通常，机械工程师可能会留出可以放置电子元件的区域，并提供必须适合 PCB 的区域限制。电气工程师可借助仿真工具进行布局和电路设计，从而优化大多数器件的性能。但是，磁性位置传感器通常不适合此种操作。对于这些器件，工程师面临的挑战是，在获得磁体的形状、材料和位置后，SPICE 建模器无法确定输入磁场。然而，在定义传感器放置以及选择要在最终产品中使用的磁体时，了解这一信息至关重要。如果不考虑这些细节，总设计周期时间可能会因为重复的原型设计和验证测试构建而延长。

磁感应增强测距工具旨在提供一个易于访问的仿真平台，以便能够快速提供仿真磁场和器件输出数据。通过对完整的机电响应进行建模，可以大大减少原型设计中猜来猜去的麻烦。该工具通过使用开源 Python 库 MagPyLib 实现。

内容

1 引言	3
1.1 磁场仿真.....	3
2 支持的功能	4
2.1 铰链.....	6
2.2 线性位移.....	7
2.3 操纵杆.....	8
2.4 旋转.....	10
2.5 静态位置.....	12
3 支持的磁体	12
3.1 内置材料库.....	12
3.2 磁体形状.....	13
4 器件仿真	20
4.1 器件类型.....	20
5 仿真输出	23
6 附加资源	28
7 参考文献	29

插图清单

图 1-1. 无旋转的传感器.....	3
图 1-2. 绕 X 轴旋转 90° 的传感器.....	3
图 1-3. 绕 Y 轴旋转 90° 的传感器.....	4
图 1-4. 绕 Z 轴旋转 90° 的传感器.....	4
图 2-1. 顶级菜单.....	4
图 2-2. Hall-Hinge-EVM.....	6
图 2-3. 铰链功能选择.....	6
图 2-4. 铰链功能用户输入.....	6
图 2-5. 使用轴向圆柱磁体时的铰链运动.....	7
图 2-6. 使用条形磁体时的线性运动.....	7
图 2-7. 线性位移功能选择.....	7
图 2-8. 线性位移功能用户输入.....	8
图 2-9. 操纵杆运动.....	8

图 2-10. 操纵杆功能选择.....	9
图 2-11. 操纵杆功能用户输入.....	9
图 2-12. 使用轴向圆柱磁体时的操纵杆倾斜角度.....	10
图 2-13. 使用轴向圆柱磁体时的操纵杆 XY 方向角.....	10
图 2-14. 旋转功能选择.....	11
图 2-15. 使用径向圆柱磁体时的旋转运动.....	11
图 2-16. 传感器与磁体对齐情况.....	11
图 2-17. 旋转功能用户输入.....	12
图 3-1. 光标悬停工具提示.....	12
图 3-2. 磁体选择.....	13
图 3-3. 磁铁对齐方式.....	13
图 3-4. 条形磁体.....	13
图 3-5. 条形磁体输入字段.....	14
图 3-6. 旋转后的条形磁铁.....	14
图 3-7. 带状磁体.....	15
图 3-8. 径向圆柱磁体.....	15
图 3-9. 径向圆柱磁体输入.....	16
图 3-10. 轴向圆柱磁体.....	16
图 3-11. 径向环形磁体.....	17
图 3-12. 径向环形磁体输入.....	17
图 3-13. 轴向环形磁体.....	18
图 3-14. 多极环形磁体 (径向)	18
图 3-15. 多极环形磁体 (轴向)	19
图 3-16. 球形磁体.....	19
图 4-1. 模拟线性用户输入.....	20
图 4-2. 数字线性用户输入.....	20
图 4-3. 单极开关输出.....	21
图 4-4. 全极开关输出.....	21
图 4-5. 开关用户输入.....	21
图 4-6. 锁存输出.....	22
图 4-7. 锁存用户输入.....	22
图 5-1. .csv 文件的保存提示.....	23
图 5-2. 动作动画.....	23
图 5-3. 动作动画.....	23
图 5-4. 动作动画.....	24
图 5-5. 磁场仿真结果.....	24
图 5-6. 模拟线性传感器输出.....	25
图 5-7. 数字线性传感器输出.....	25
图 5-8. 开关传感器输出.....	26
图 5-9. 锁存传感器输出.....	27

表格清单

表 6-1. 磁感应功能指南.....	28
---------------------	----

商标

所有商标均为其各自所有者的财产。

1 引言

磁感应增强测距工具采用 Python 编写并使用简单的图形用户界面，该界面会提示用户提供有关磁性材料、磁体形状、运动类型、传感器位置和传感器类型的设计信息。成功的仿真将会生成 3D 动画，用于显示磁体相对于传感器标记的运动。磁体和传感器的方向可以调整，以便对许多基本运动类型进行建模，其中包括轴向、操纵杆和铰链旋转以及线性行程。该工具还可以在单个采样位置捕获磁场矢量分量。

1.1 磁场仿真

该工具旨在用作机电设计辅助工具，以帮助了解单个移动磁体产生的磁场，并通过绘制简化的传感器输出来预测器件行为。

该工具的温度输入仅在假设具有恒定线性响应的情况下评估磁体强度的变化。然而，实际磁体的工作温度范围会因形状和材料选择而异。用户有责任了解所选磁体的工作范围，并确保磁体和传感器始终保持在其指定的工作范围内。器件输出行为的建模温度补偿仅考虑器件灵敏度的有意补偿，但这不影响任何其他器件参数。

始终建议使用真实元件对机械系统进行原型设计和评估，以验证典型的工作容差和系统行为。例如，系统结构中可能存在的铁磁材料会与磁场相互作用，并会改变磁传感器的可观察输入。

该工具提供了与几种常见运动类型相匹配的功能，并对产生的典型器件性能建模，以演示磁体的机械位置与传感器的电气响应之间的关系。

在定义磁体和传感器位置及对齐方式时，此工具允许磁体和传感器独立旋转。每个用户定义的旋转均通过绕指定轴旋转对象来实现。这也可以理解为在与旋转轴正交的平面内旋转。例如，绕 Z 轴旋转是在 XY 平面上旋转。[图 1-1](#) 显示了与 X、Y 和 Z 轴正方向对齐的默认传感器方向。[图 1-2](#) 至 [图 1-4](#) 显示了默认对齐情况下绕 X、Y 和 Z 轴单次旋转 +90° 的结果。在每种情况下，全局方向保持不变，但传感器的相对灵敏度会发生变化以反映旋转情况。

在每个图像中，红色箭头代表传感器 X 轴，绿色箭头代表传感器 Y 轴，而蓝色箭头代表传感器 Z 轴。

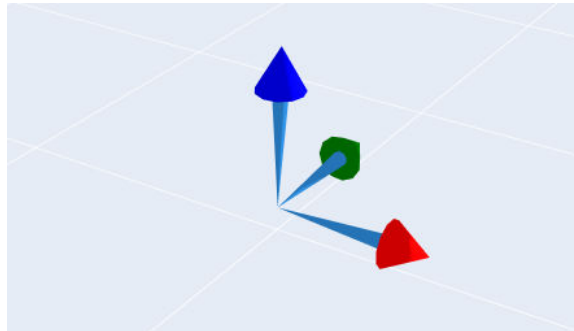


图 1-1. 无旋转的传感器

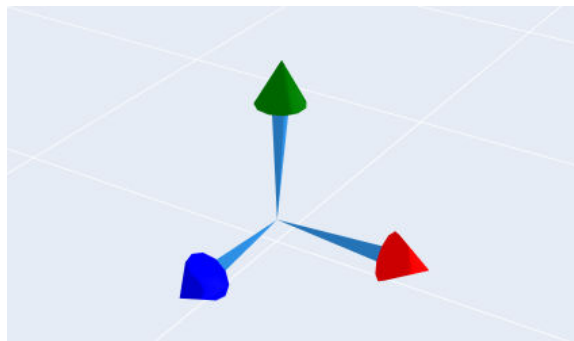


图 1-2. 绕 X 轴旋转 90° 的传感器

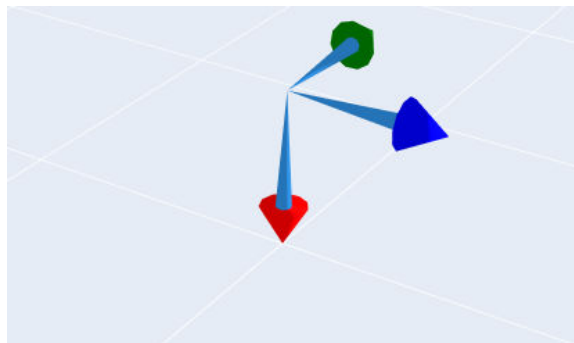


图 1-3. 绕 Y 轴旋转 90° 的传感器

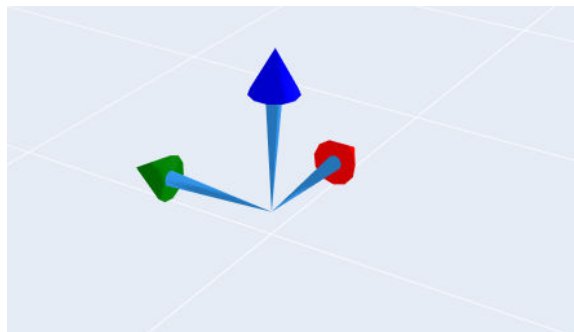


图 1-4. 绕 Z 轴旋转 90° 的传感器

磁体形状中显示了各个磁体形状默认方向。

2 支持的功能

在磁感应增强测距工具中，用户可以为每个磁体选项选择多种运动类型。铰链运动、旋转、线性位移和操纵杆功能均可通过可定制的用户输入来实现。此外，为了快速获得近似值，可以在各个静态位置检查每种磁体类型产生的磁场。

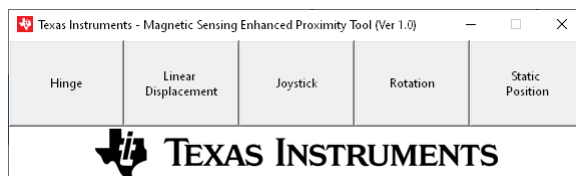


图 2-1. 顶级菜单

定义仿真时的一般流程如下：

1. 定义磁体：
 - a. 从“Magnet Shape”下拉列表中选择形状，并根据需要设置所需的极数。“Magnet Geometry”部分中应该会自动填充标有所需磁体尺寸的字段。
 - b. 从“Magnet Material”下拉列表中选择材料类型。这时会填充常见材料等级列表，这些等级可从“Material Grade”下拉列表中选择。如果未显示所需的等级，请选择“Custom”。
 - c. 大多数磁性材料都具有指定的可接受 BR (剩余磁化强度) 值范围。从单选按钮中选择高、典型或低，随即该工具将自动填充 20°C 时预期的剩余磁化强度值。如果这与磁体所需的值不完全匹配，您可以手动输入一个值并覆盖预设。
 - d. 设置工作温度。磁性材料具有典型的温度系数，此温度系数描述了在大多数正常工作条件下温度变化时材料磁场强度的变化。此工具假定所有温度下的系数都恒定，而不考虑极端温度下的行为变化。
 - e. 根据需要在“Magnet Geometry”的每个字段中输入所需的磁体尺寸。
2. 定义磁体对齐：
 - a. 可以使用“Magnet Alignment”中的“X Position”、“Y Position”和“Z Position”字段来设置磁体的起始位置。每个值都相对于磁体的中心。线性位移是指在保持磁体方向的同时从起始位置到结束位置的平滑运动。
 - b. 磁体的方向也可以使用“X Angle”、“Y Angle”和“Z Angle”进行调整。这些旋转将绕磁体中心进行，并可用于按正确的方向对齐磁体。旋转操作按照 XYZ 顺序执行。
3. 定义磁体行程：
 - a. 用户输入窗口的“Magnet Travel”部分会根据每个功能的运动类型进行更新。有关此步骤的更详细说明，请参阅以下部分：
 - i. [铰链](#)
 - ii. [线性位移](#)
 - iii. [操纵杆](#)
 - iv. [旋转](#)
 - v. [静态位置](#)
4. 定义传感器对齐 - 可以通过定义传感器位置和对齐来选择在任何点观察到的磁场。
 - a. 设置绝对 X 位置、Y 位置和 Z 位置。
 - i. **该工具的这个版本不禁止将传感器放置在磁体中，并且仅将传感器表示为无穷小点。**用户有责任将这个位置与封装内检测元件的目标位置相匹配，以避免机械冲突。
 - b. 设置传感器的方向。传感器可以按 XYZ 顺序旋转任意一组角度，显示的仿真结果将与此对齐方式相匹配。为了帮助直观地显示传感器与磁体的对齐情况，该工具会显示一个坐标十字线，用于反映传感器最终的旋转情况。
5. 定义仿真分辨率：
 - a. 输入要模拟的步长。更精细分辨率的仿真需要更长的时间才能完成，但可以提供更好的总体细节。如果无法均匀地划分总运动范围，该工具会调整最终增量步长，以匹配其余部分。
6. 点击“Start Simulation”以生成在传感器位置观察到的磁场图。
 - a. 如果需要，请按照[器件仿真](#)中的步骤继续选择磁传感器。
 - b. 要更改功能，请点击“Return to Function Select”。

2.1 铰链

在监测门和盖板位置时，例如检测笔记本电脑的屏幕位置时，铰链运动十分常见。[HALL-HINGE-EVM](#) 提供了一个简单的操作工具来手动测试铰链功能，它附带一个 3D 打印组合部件，其中包括磁体和传感器调节以及一个以 1 度为间隔的分度计。

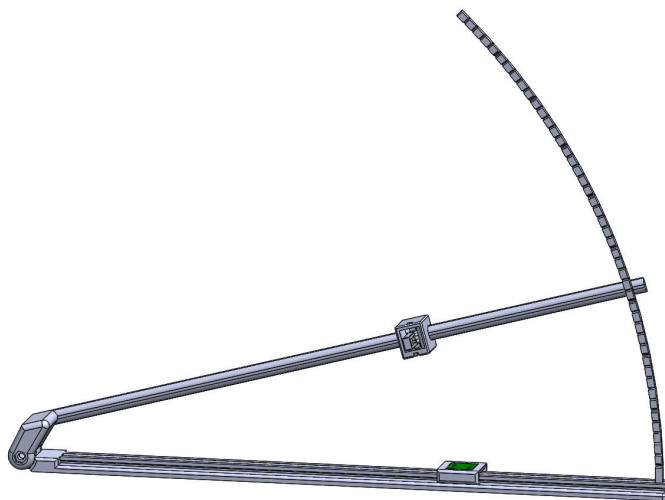


图 2-2. Hall-Hinge-EVM

要模拟铰链运动，请从顶部菜单中选择“Hinge”。

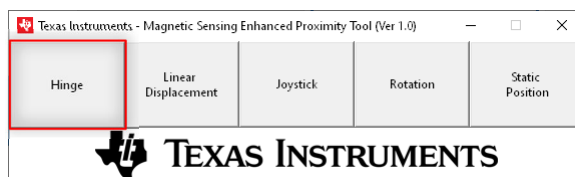


图 2-3. 铰链功能选择

此时将显示图 2-4 中所示的提示。

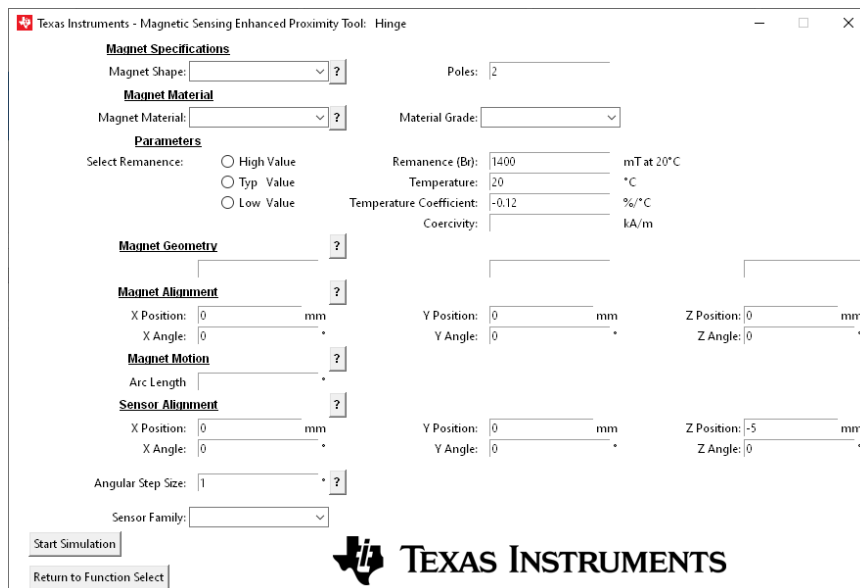


图 2-4. 铰链功能用户输入

此类运动的磁体行程由磁体绕 X 轴旋转一定的角距来描述。这通常设置为将传感器和磁体放置在 Y 轴方向距离铰链一定水平位移的地方。可以在 Z 轴方向相距铰链设置一定的垂直偏移。

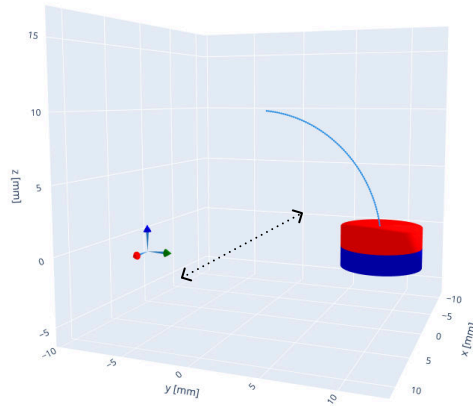


图 2-5. 使用轴向圆柱磁体时的铰链运动

角距由用户在“Magnet Motion”部分中标记为“Arc Length”的字段中输入。360 度弧长对应于绕 X 轴的完整圆形旋转。

2.2 线性位移

线性运动常见于检测电子开关的位置时、检测按钮按压时、跟踪轨道上滑动的物体时以及液位检测中。对于长行程，这种运动通常使用传感器阵列进行监控，如[线性霍尔效应传感器阵列设计](#)和[线性位置应用的磁体选择](#)中所述。

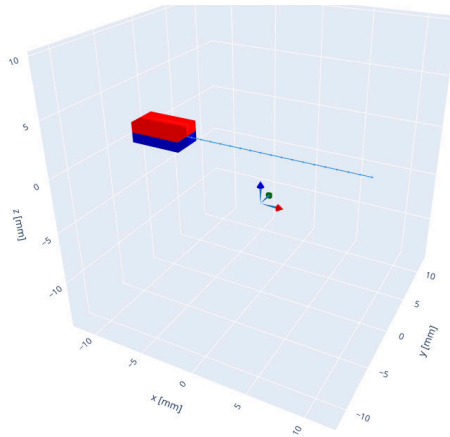


图 2-6. 使用条形磁体时的线性运动

要模拟线性磁体行程，请从顶部菜单中选择“Linear Displacement”。

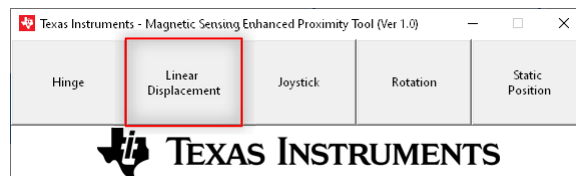


图 2-7. 线性位移功能选择

此时将显示图 2-8 中所示的提示。

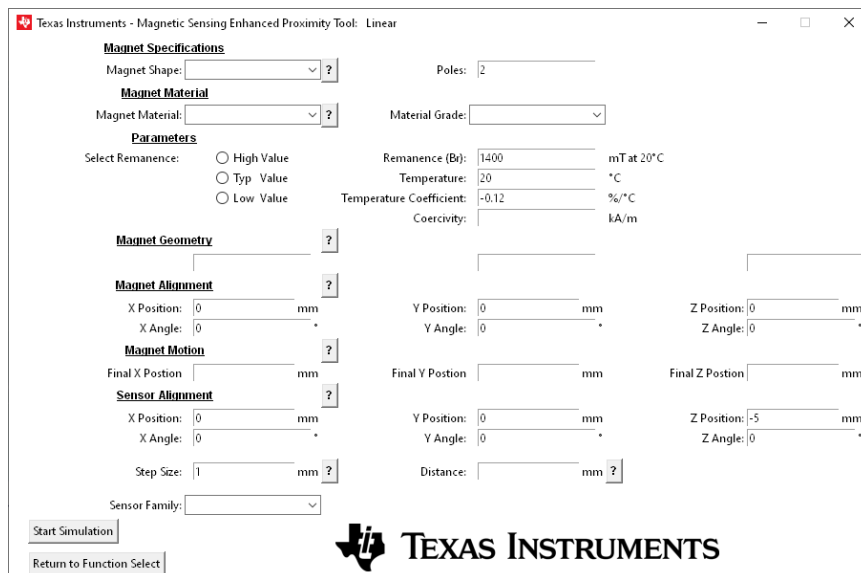


图 2-8. 线性位移功能用户输入

磁体会从“Magnet Alignment”部分中输入的初始位置开始，以平滑的方式进行移动，并均匀地步进到“Magnet Motion”部分的最终（X、Y、Z）位置。这种移动通常沿单个轴进行，但磁体可以根据需要同时所有三个维度上移动。

2.3 操纵杆

操纵杆运动是另一种形式的铰链运动，该运动发生在原点附近，常见于视频游戏控制器、汽车转向指示灯和其他各种工业机器控制等人机界面中。[使用霍尔效应传感器设计操纵杆](#)和[使用绝对位置编码器测量 3D 运动](#)中对这种类型的运动进行了介绍。

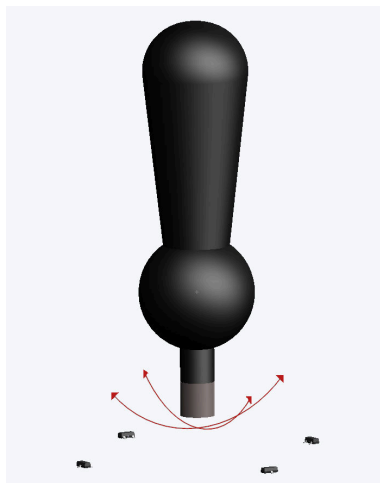


图 2-9. 操纵杆运动

要模拟操纵杆配置，请从顶部菜单中选择“Joystick”，如图 2-10 所示。

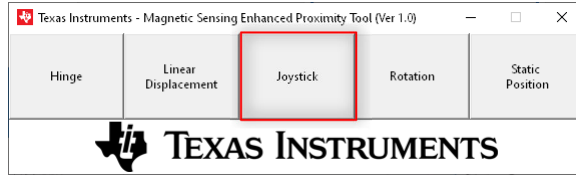


图 2-10. 操纵杆功能选择

此时将显示图 2-11 中所示的提示。

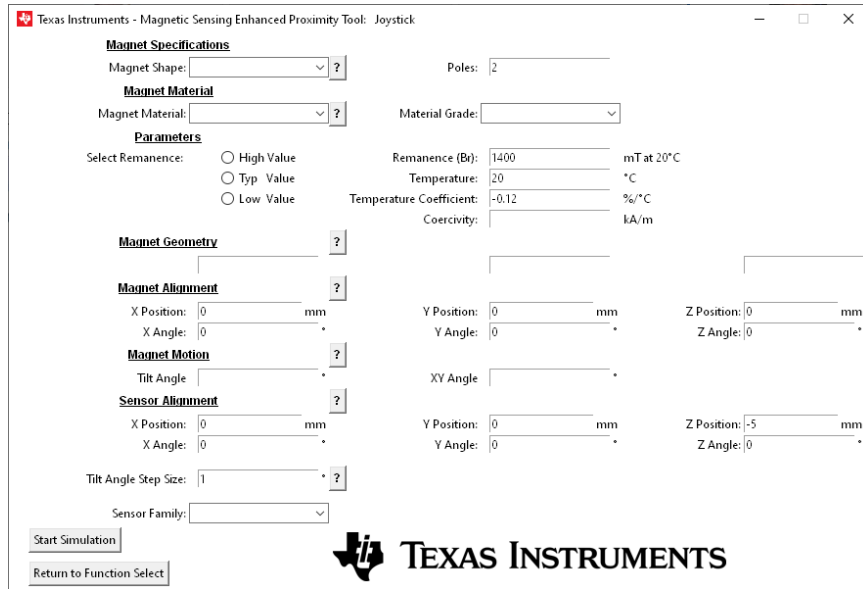


图 2-11. 操纵杆功能用户输入

此类运动的磁体行程沿原点转动，距离由“Tilt Angle”描述，方向则为“XY Angle”。通常情况下，磁体放在 Z 轴负方向上离原点一定距离的某个位置上。该距离就是磁体的支点距离。传感器通常也放在磁体下方的 Z 轴负方向上。

图 2-12 展示了当磁体倾斜时，所需方向上到传感器的距离会相应地增加。

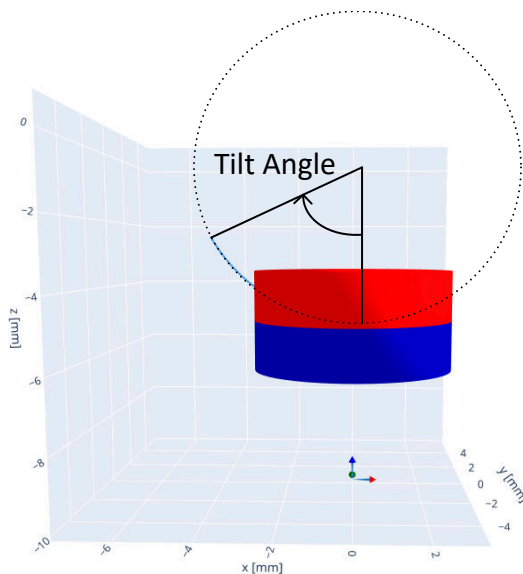


图 2-12. 使用轴向圆柱磁体时的操纵杆倾斜角度

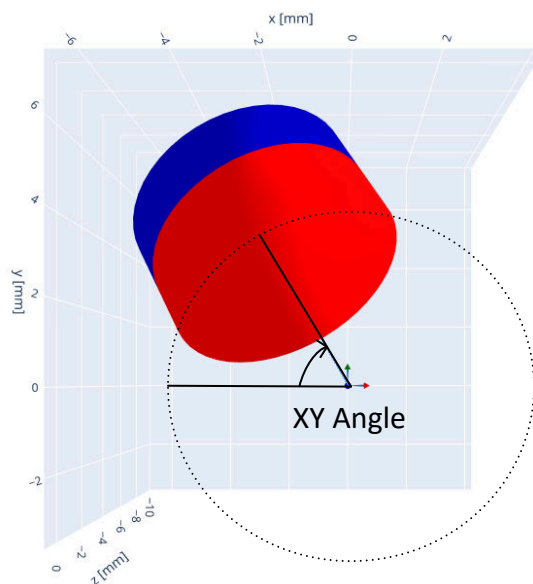


图 2-13. 使用轴向圆柱磁体时的操纵杆 XY 方向角

2.4 旋转

只要涉及到电机，旋转就非常有用。安装在旋转电机轴上的磁体可用于跟踪绝对角度或跟踪增量步进旋转。增量旋转依赖于统计状态转换次数来跟踪电机位置，因此与角度测量的分辨率不同。在测量速度、方向和转速时，可以使用增量旋转位置。如果需要精确的位置控制，角度测量非常重要。

有关这些功能的更多信息，请参阅 [使用 2D 霍尔效应传感器减少增量旋转编码的正交误差](#) 和 [TIDA-060040](#)

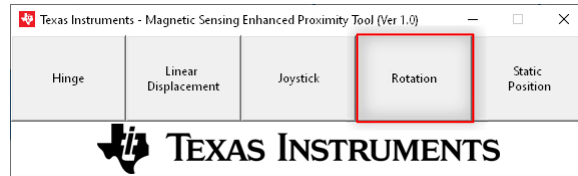


图 2-14. 旋转功能选择

在旋转仿真期间，磁体将绕 Z 轴旋转。所需的唯一输入是“Magnet Motion”部分中的“Arc Length”。通常，对于完整旋转，此值为 360，但可以设置为更高或更低，以便生成任何感兴趣区域的数据。

可以调整“Z Angle”来定义旋转起始角度。通常，“X Position”和“Y Position”应设置为 0。当这些值中的任何一个出现偏移时，都会产生跳动，即旋转轴未与对象的中心对齐时。类似地，在“X Angle”或“Y Angle”中向磁体对齐添加倾斜可以模拟摆动，这种情况发生在磁体与旋转轴不垂直时。

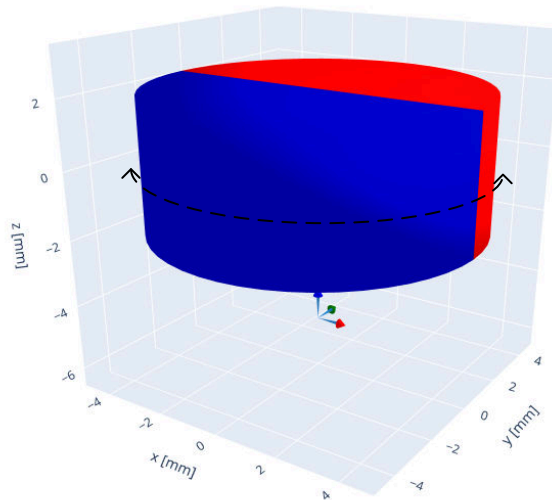


图 2-15. 使用径向圆柱磁体时的旋转运动

根据机械限制和观察磁体的方式，传感器可以放置在旋转轴上（轴上）、与磁体中心共平面（平面内），或者放置在可测得相关轴上足够强磁场的任何其他位置（轴外）。

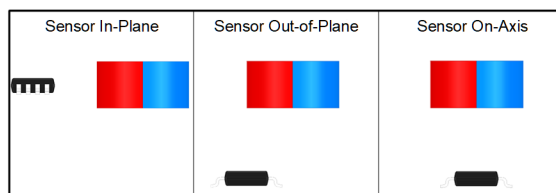


图 2-16. 传感器与磁体对齐情况

旋转仿真的用户提示如图 2-17 所示。

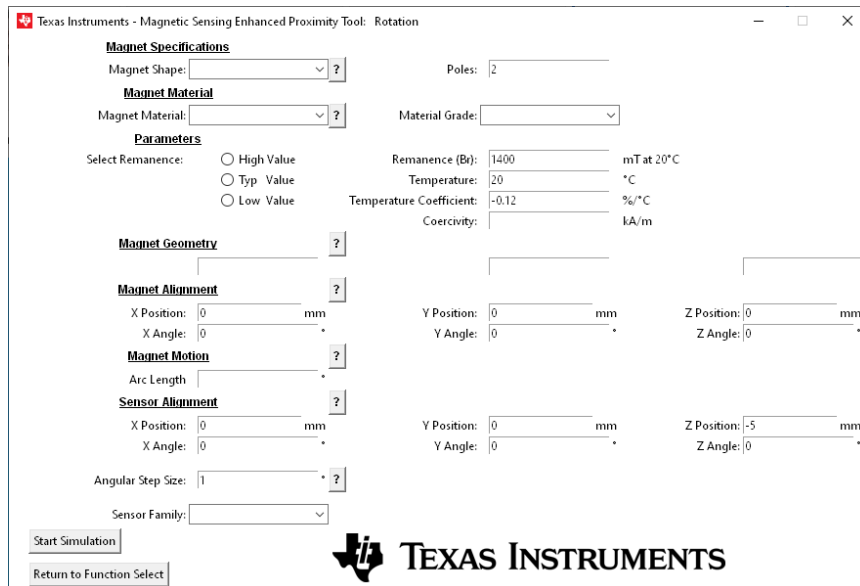


图 2-17. 旋转功能用户输入

2.5 静态位置

磁感应增强测距工具中的最后一个功能无需输入即可描述运动。使用此选项只需要定义磁体和传感器的位置。

点击“Start Simulation”将生成一个弹出窗口，其中包含传感器位置处每个轴的矢量分量。

在快速评估磁体是否合适以及将观察到哪个特定范围的磁场幅度时，静态位置非常有用。

3 支持的磁体

借助 TI 磁感应增强测距工具，用户可以为单个磁体仿真指定各种磁性材料和形状，而无需使用外部磁场。

在该工具中，当用户将光标置于图 3-1 所示的按钮上时，便可以看到工具提示。对于所有磁体情况，北极以红色表示，而南极以蓝色表示。



图 3-1. 光标悬停工具提示

3.1 内置材料库

该工具内置一个材料库，用于协助进行仿真设置。通过该库，用户可以从一组常见磁体材料中进行选择，其中包括：

- 烧结钕铁硼 (NdFeB)
- 钐钴 (SmCo)
- 粘结钕铁硼 (NdFeB)
- 铝镍钴 (AlNiCo)
- 陶瓷铁氧体
- 橡胶铁氧体

通过从“Magnet Shape”下拉菜单中选择“Bar”并将极数保留为 2，即可创建标准偶极条形磁体。这时会显示多个“Magnet Geometry”字段，并提示用户输入磁体的长度、宽度和高度。这些参数分别按 X、Y 和 Z 顺序绘制。

Magnet Specifications		
Magnet Shape: Bar	Poles: 2	
Magnet Geometry		
Magnet Length - X dim: 4 mm	Magnet Width - Y dim: 4 mm	Magnet Height - Z dim: 4 mm
Magnet Alignment		
X Position: 0 mm	Y Position: 0 mm	Z Position: 0 mm
X Angle: 0 °	Y Angle: 0 °	Z Angle: 0 °

图 3-5. 条形磁体输入字段

磁体方向默认为北极朝向 Z 轴正方向。可能有必要旋转磁体，以使磁体方向与目标系统相匹配。在这种情况下，可以按照 X->Y->Z 的顺序绕着每个轴进行旋转。

例如，要获得宽度为 3mm、长度为 5mm 但以 X 轴方向极化的 2mm 厚条形磁体，可以使用图 3-6 中所示的设置。

Magnet Geometry		
Magnet Length - X dim: 3 mm	Magnet Width - Y dim: 2 mm	Magnet Height - Z dim: 5 mm
Magnet Alignment		
X Position: 0 mm	Y Position: 0 mm	Z Position: 0 mm
X Angle: 90 °	Y Angle: 0 °	Z Angle: 90 °

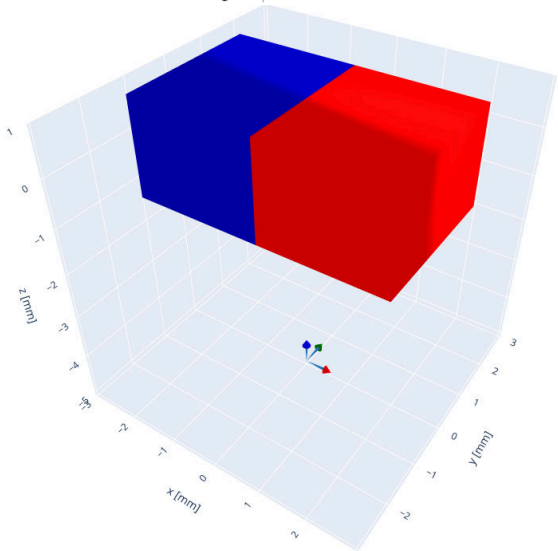


图 3-6. 旋转后的条形磁铁

条形磁体到处可见，广泛用于许多应用。它们具有简单的形状和极化，因此通常价格低廉，并且在产品组装过程中易于定位。

3.2.2 带状

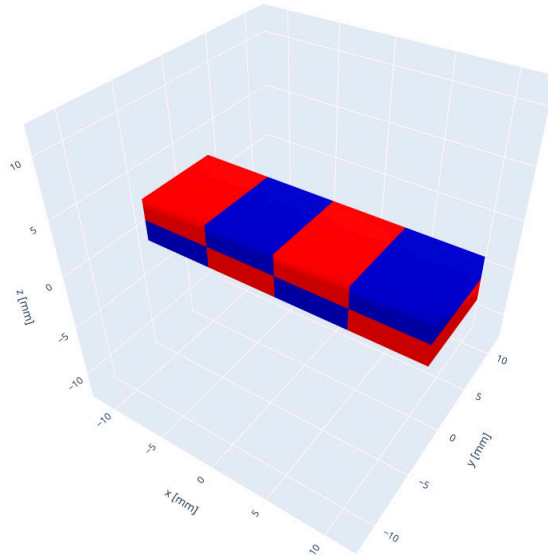


图 3-7. 带状磁体

当条形磁体的极数增加到 2 以上时，可以制成带状磁体。通常，这些磁体使用低成本柔性橡胶磁性材料制成。但是，也可以使用钕型磁体等磁性更强的材料来制作具有多个极对的定制条形磁体。极化在 X 轴方向沿磁体长度交替，每个极对在 Z 轴方向对齐。

要创建这种磁体，请将默认极数从 2 增加到任何正偶数值。对于这种磁体类型，应使用包含磁体顶部和底部的磁极总数。图 3-7 所示的磁体具有 8 个磁极。

这种磁体通常用于线性位置编码。当相对于锁存型传感器移动时，这些磁体可以提供增量位置分辨率。

3.2.3 径向圆柱

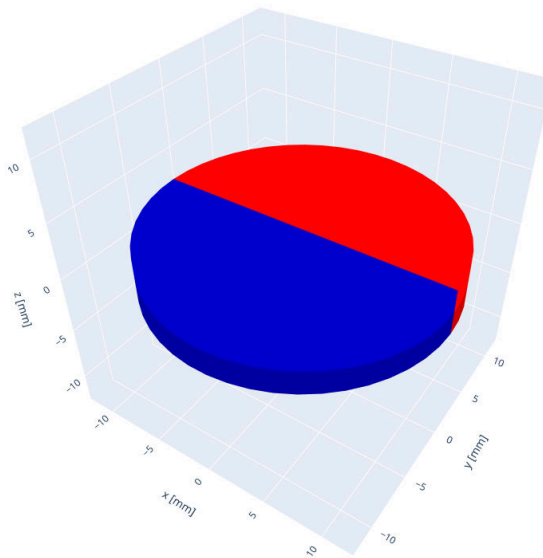


图 3-8. 径向圆柱磁体

圆柱形磁体通常还提供多种极化选项。当为磁体形状选择“Diametric Cylinder”时，得到的磁体根据定义将是偶极磁体。因此，不需要输入极数。此磁体类型的默认极化方向为 Y 轴方向。

Magnet Specifications

Magnet Shape: ?

Magnet Geometry

Outer Diameter mm Height mm

图 3-9. 径向圆柱磁体输入

此类磁体通常用于跟踪旋转角度。与单个二维锁存传感器或两个一维锁存传感器一起使用时，可以观察到每转四个不同的位置。但是，如果与线性器件一起使用，则可以使用 90° 异相的电气输出来捕获绝对角度。这可以通过以磁体隔开的两个一维器件或使用能够捕获固有 90° 相位分离的磁场分量的单个 3D 传感器来完成。

3.2.4 轴向圆柱磁体

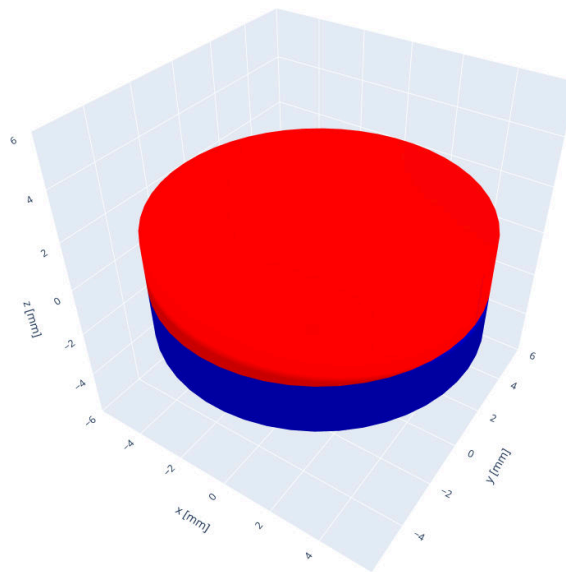


图 3-10. 轴向圆柱磁体

轴向圆柱体磁体在本质上与径向圆柱体相似，因为这两个磁体都只有单个极对（2 个磁极）。磁体形状使用相同的输入参数定义，但极化不是穿过圆柱直径，而是沿着磁体的轴向长度。该磁体的默认极化是 Z 方向。

这些磁体有各种长度，这个长度是影响磁体产生的总体磁场强度的主要因素。通常，使用硬币形磁体来观察线性位移以及磁体迎面接近传感器时的情况。

3.2.5 径向环形

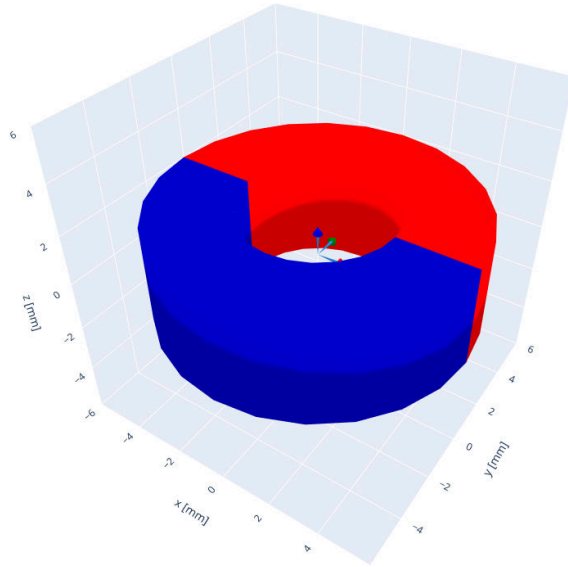


图 3-11. 径向环形磁体

要创建径向环形磁体，请将磁体形状设置为“Ring”，并将极数保留为 2。径向环形磁体类似于径向圆柱磁体。主要区别在于磁体的中心是开放的，并且用户还需要输入内径值。默认情况下，此磁体类型的极化方向为 Y 轴方向。

Magnet Specifications

Magnet Shape: ? Poles:

Magnet Geometry ?

Outer Diameter mm Inner Diameter mm Height mm

图 3-12. 径向环形磁体输入

这些磁体可以安装在旋转轴长度方向上的任何位置，以用于角度测量。在空间有限时，或因为无法接近电机转轴而无法在旋转轴的末端轻松安装径向圆柱磁体时，这一点尤其有用。也可以放置传感器来捕获旋转磁场，从而使用此类磁体来测量绝对角度。

3.2.6 轴向环形

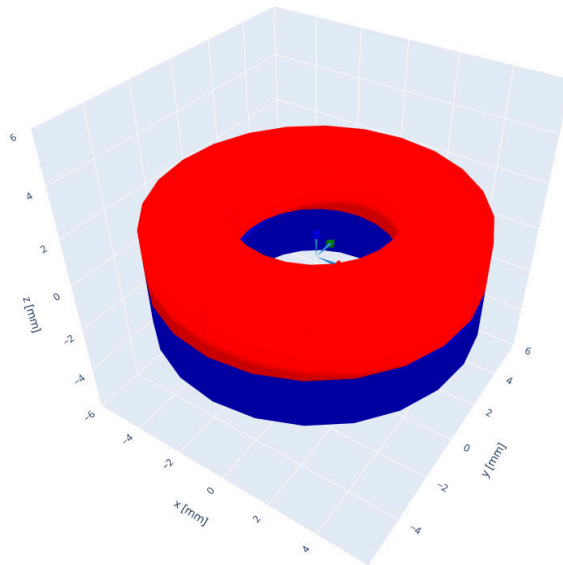


图 3-13. 轴向环形磁体

与径向环形磁体类似，轴向环形磁体具有中心钻孔。该磁体的极化方向为 Z 轴方向。

类似地，此类磁体可以安装在轴上，但由于此类磁体径向对称，因此不可用于测量旋转角度。相反，它可能在检测线性位置的变化方面更加实用。

3.2.7 多极环形 (径向)

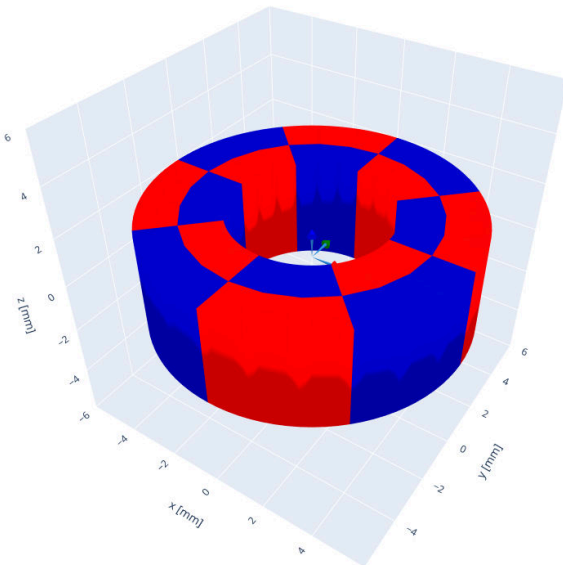


图 3-14. 多极环形磁体 (径向)

多极径向环形磁体是一种采用环形形状定制磁体类型。在这种磁体类型中，磁体将分为多个节段，这些节段具有径向极化并且以南北极交替形式放置。这种磁体的极数是通过选择外周可见极数（南极和北极）来设置的。极数应始终为偶数。

由于是径向极化，内外周均采用南北极交替形式并且内周与外周的磁极刚好相反。尽管总极数中不包含内周极数，但这可以准确地反映每个圆周的磁场矢量方向。

使用 2D 锁存器实现旋转编码时，多极环形磁体很有用。图 3-14 中所示的磁体每转一圈会产生八个极性转换。这可以分为四个南北极对。随着每个极对通过，2D 锁存器会生成四个唯一的输出状态，每个状态变化均表示 22.5°

的旋转变化。另外也可以使用 3D 线性器件来计算使用相同磁体时 4:1 匝数比的相对角度。传感器通常从磁体中心径向向外放置。

3.2.8 多极环形 (轴向)

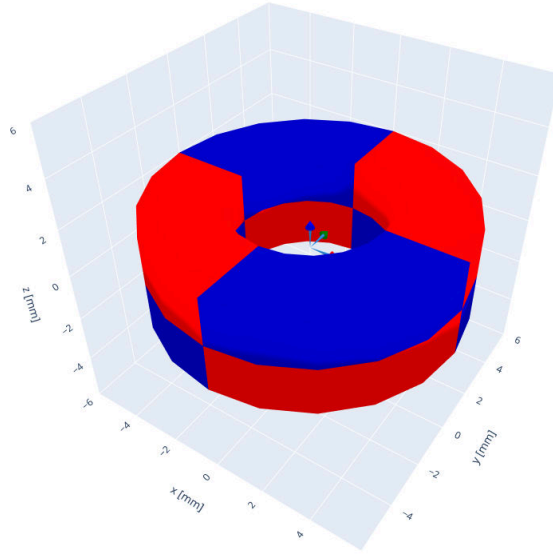


图 3-15. 多极环形磁体 (轴向)

该轴向环形磁体也是环形磁体的一种，磁体周围的各个极对在 Z 轴方向南北极交替，且极对数量为偶数。对应的配置方法是选择“Axial Ring”，然后将极对数量设置为 4 的任意倍数。极数包括磁体顶部和底部之间的各个分段。在图 3-15 中，磁体是使用八个磁极定义的。

这种磁体不如径向环形磁体常见，但两者使用方式类似。当将传感器平行于磁体的圆形表面放置时，该磁体特别有用。

3.2.9 球体

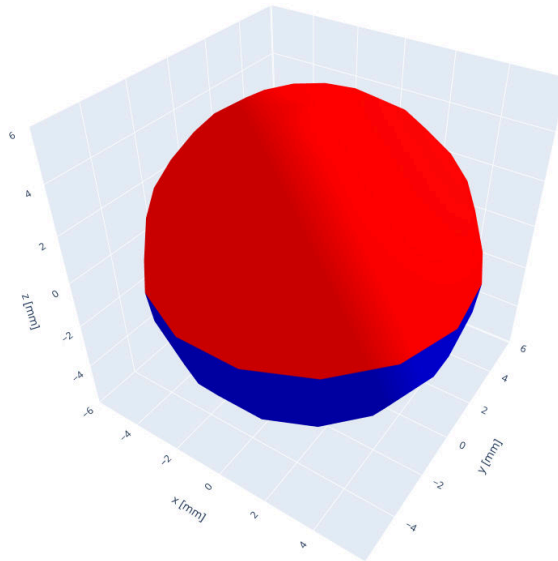


图 3-16. 球形磁体

通过为“Magnet Shape”选择“Sphere”，可以在该工具中创建球形磁体。这种磁体是偶极磁体，只需要用户在“Magnet Geometry”部分输入直径。

球形磁体在安装过程中很难正确对齐，但在磁场中提供最佳的整体对称性。因此，如果可以解决对齐难题，它们可用于跟踪操纵杆中常见的倾斜和旋转。

4 器件仿真

任何传感器类型的输入字段都很有用，但不能提供器件行为的完整参考。该工具的一个关键用途是分析给定器件的磁场输入，然后对输出行为进行建模。这在机械设计和最终用于处理机制行为的电气信号之间提供了一个桥梁。

4.1 器件类型

通过在点击“Start Simulation”之前设置器件参数，可将器件仿真包含在仿真结果中。该工具提供了一组预加载的器件，这些器件可在 www.ti.com/halleffect 上找到，并可通过首先选择器件系列来进行选择。如果只需要磁性数据，则可以将此留空或设置为“N/A”。可用的选项如下所示：

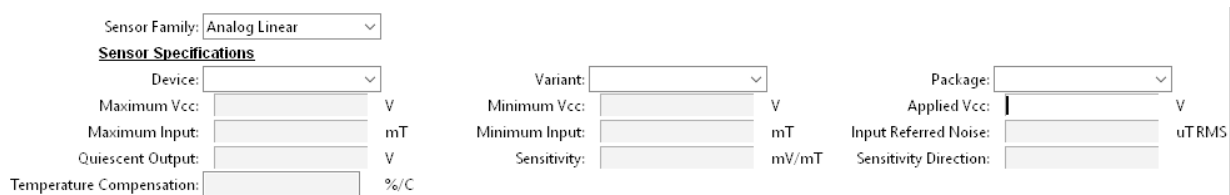
- 模拟线性
- 数字线性
- 开关
- 锁存

对于每个传感器系列，用户都需要选择器件、灵敏度型号和封装选项。虽然该工具显示了每种传感器类型的封装选项，但尚不支持显示封装形状和尺寸。

所有器件都需要用户输入工作电源电压，并且根据传感器类型，可能会提供额外的字段。所有以灰色背景显示的字段都是固定的器件参数，用户无法进行修改。

4.1.1 模拟线性

模拟线性器件是用于产生输出电压的传感器，其中输出电压会相对于输入磁场呈线性变化。这些器件可能对单极磁场或任一极磁场敏感。灵敏度以 mV/mT 为单位显示，输入参考噪声作为器件响应的一部分建模。



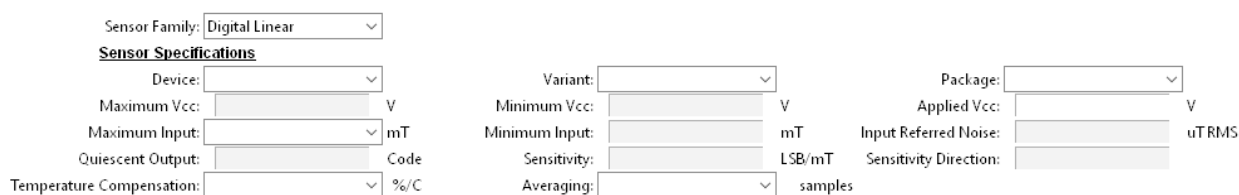
Sensor Family:	Analog Linear				
Sensor Specifications					
Device:		Variant:		Package:	
Maximum Vcc:		Minimum Vcc:		Applied Vcc:	
Maximum Input:		Minimum Input:		Input Referred Noise:	
Quiescent Output:		Sensitivity:		Sensitivity Direction:	
Temperature Compensation:					

图 4-1. 模拟线性用户输入

其中许多器件是比例式器件，因此灵敏度会随电源电压而变化。当使用电源电压作为 ADC 的基准电压来更大限度地减小 VCC 波动对测量精度的影响时，这一点尤其有用。输入 VCC 电压后，用户在输入字段之外点击时，灵敏度会相应地更新。

4.1.2 数字线性

数字线性器件中包含 ADC，因此能够以 LSB/mT 为单位输出转换结果。这些器件需要 VCC 电压来执行仿真，但也允许用户从可编程设置中进行选择，例如灵敏度范围（使用“Maximum Input”的下拉选项进行设置）、温度补偿和过采样平均值。增加完成转换所用的样本总数会增加 ADC 的有效位数 (ENOB)，这样一来，在输出测量中观察到的噪声更小。



Sensor Family:	Digital Linear				
Sensor Specifications					
Device:		Variant:		Package:	
Maximum Vcc:		Minimum Vcc:		Applied Vcc:	
Maximum Input:		Minimum Input:		Input Referred Noise:	
Quiescent Output:		Sensitivity:		Sensitivity Direction:	
Temperature Compensation:		Averaging:			

图 4-2. 数字线性用户输入

根据所选的器件模式，这些器件的输出会转换为整数输出代码。请务必记住，将平均值设置为“1”后，标准转换结果可能为 12 位，而将平均值增加到该值以上时，通常会产生 16 位结果。

4.1.3 开关

开关型器件通常提供两种型号。单极传感器对传感器灵敏度方向上的正磁场或负磁场都很敏感。只要输入磁场超过工作点阈值 (B_{OP})，输出就会切换到活动状态。处于此状态后，磁场必须返回到低于释放点阈值 (B_{RP}) 以下。如果 B_{OP} 和 B_{RP} 设置为相同的磁输入水平，则器件可能会由于机械振动或电气噪声而以不可预知的行为运行。为了防止发生这种情况，器件设计中通常会包含一定的迟滞 (B_{HYS})。

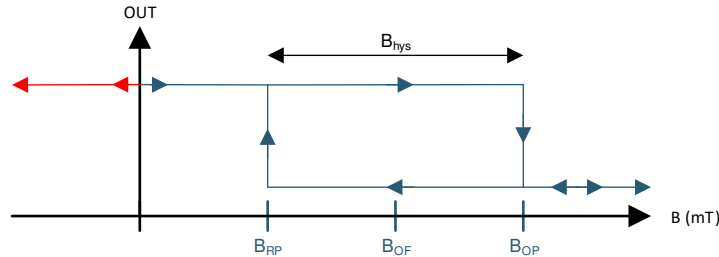


图 4-3. 单极开关输出

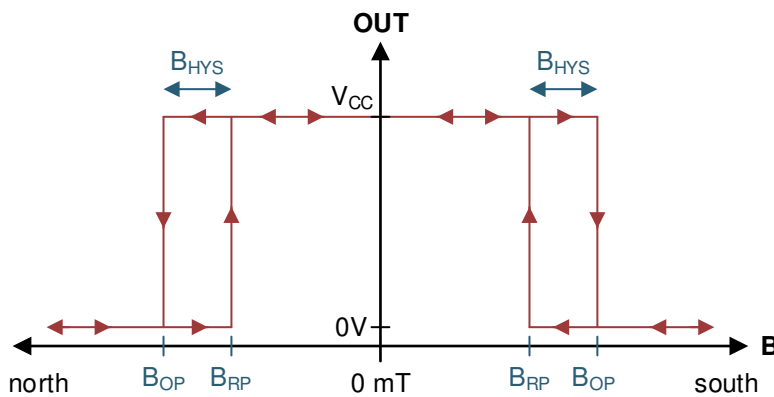


图 4-4. 全极开关输出

全极开关的工作方式与此类似，但主要区别在于输出可能会随磁输入的任一极性切换。该器件类型的一个主要优势是传感器可以不受磁体方向的影响。这意味着在产品组装过程中可以快速安装磁体。

配置仿真以使用开关型器件时，输入场将如图 4-3 或图 4-4 中所示。

Sensor Family: <input type="text" value="Switch"/>		
Sensor Specifications		
Device: <input type="text"/>	Variant: <input type="text"/>	Package: <input type="text"/>
Maximum Vcc: <input type="text"/> V	Minimum Vcc: <input type="text"/> V	Applied Vcc: <input type="text"/> V
BOP: <input type="text"/> mT	BRP: <input type="text"/> mT	Sensitivity Direction: <input type="text"/>
Select BOP: <input type="radio"/> High Value <input type="radio"/> Typ Value <input type="radio"/> Low Value	Select BRP: <input type="radio"/> High Value <input type="radio"/> Typ Value <input type="radio"/> Low Value	

图 4-5. 开关用户输入

为了帮助进行设计，允许用户选择最小、典型和最大阈值的单选按钮会启用。虽然任何单个传感器的 B_{HYS} 都应处于器件特定数据表中发布的限制范围内，但围绕最坏情况设计功能可能会有所帮助。为此，通常建议对照器件特定数据表中的 B_{OP} 最大值和 B_{RP} 最小值进行检查。必须选择这些值，仿真才能运行。

4.1.4 锁存

锁存型器件的工作方式与单极开关类似，其阈值为 B_{OP} 和 B_{RP} 。主要区别在于会设置 B_{HYS} ，使得 $B_{RP} = -B_{OP}$ 。在这种情况下，传感器需要一个交变输入磁场，以便器件能够在不同的输出状态之间切换。对于使用旋转磁体（例如增量角度编码器）或磁体可能沿两个方向穿过传感器（例如拨动开关中可能发生的情况）的情况，这一点尤其有用。

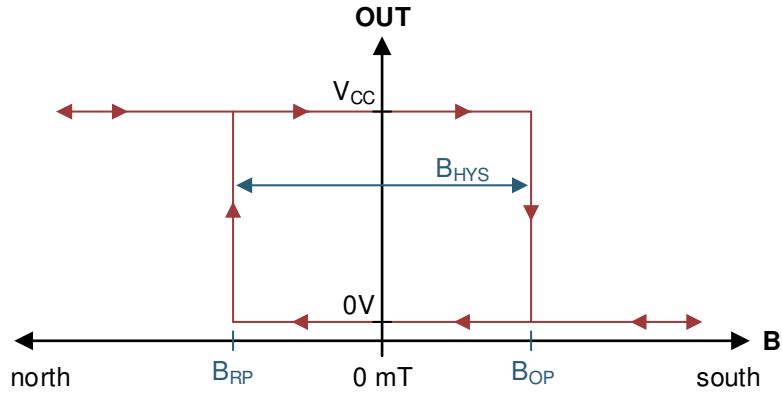


图 4-6. 锁存输出

同样，在配置锁存器件时，可以使用单选按钮来根据已发布的数据表参数选择阈值限制。类似地，建议对照 B_{OP} 最大值和 B_{RP} 最小值来检查机械设计，从而确保所有器件都能观察到足以实现所需输出响应的条件。

锁存用户输入与开关器件所需的输入类似。

Sensor Family:

Sensor Specifications

Device:

Maximum Vcc: V

BOP: mT

Select BOP: High Value
 Typ Value
 Low Value

Variant:

Minimum Vcc: V

BRP: mT

Select BRP: High Value
 Typ Value
 Low Value

Package:

Applied Vcc: V

Sensitivity Direction:

图 4-7. 锁存用户输入

5 仿真输出

点击“Start Simulation”后，该工具将首先对磁体的运动进行建模，然后评估所有磁体位置的磁场。同样，这些位置由“Step Size”字段定义。步进越少，仿真速度越快，但将失去高分辨率。

系统默认互联网浏览器的最新实例中将打开三个选项卡。这些选项卡将显示该工具生成的本地数据以便于理解，并且将打开文件保存提示，询问在本地计算机上保存数据的位置。

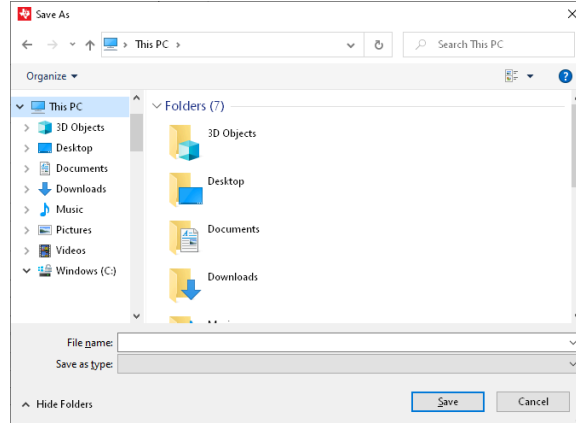


图 5-1. .csv 文件的保存提示

显示的第一个选项卡会显示一个 3D 动画，其中显示了磁体和传感器位置。蓝色线条显示磁体的行程路径。用户可以通过左键单击图形区域，然后拖动鼠标来沿轨道旋转视图。要平移视图，应改为右键单击鼠标。鼠标滚轮可用于调整缩放。

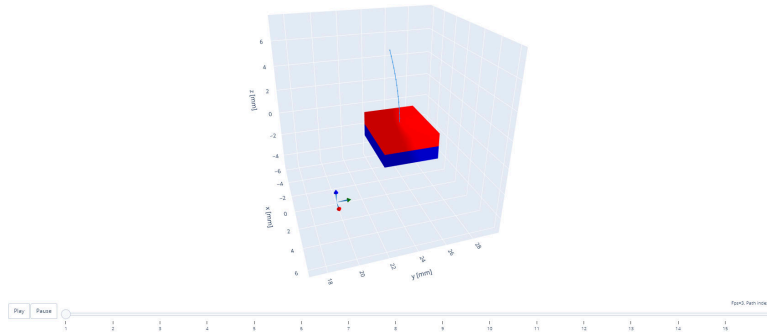


图 5-2. 动作动画

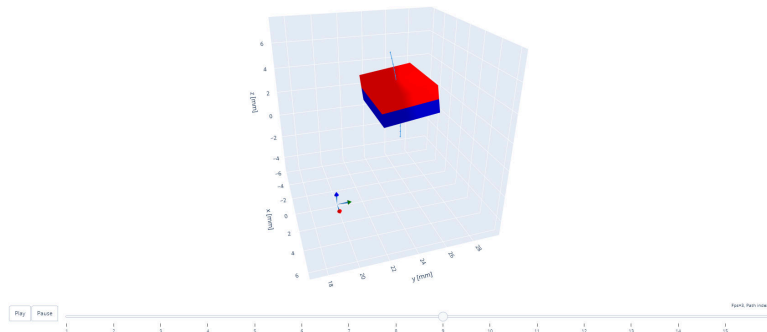


图 5-3. 动作动画

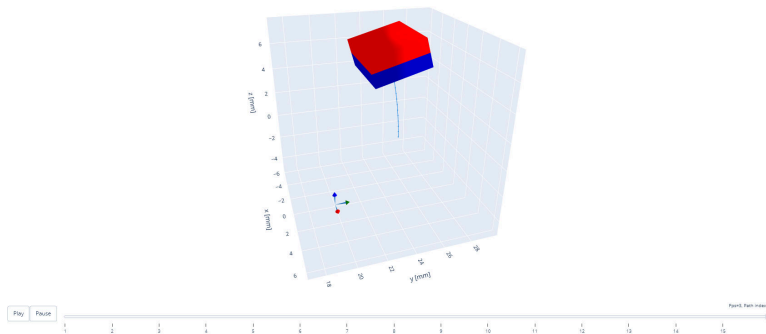


图 5-4. 动作动画

第二个选项卡包含 3D 图的参考静态图像以及在传感器位置观察到的磁场输入图。静态 3D 图可以调整视图，具体方式与上一个选项卡上的动画图类似。

磁场输入和器件输出图采用颜色编码，以与表示 XYZ 轴的 RGB 标记相匹配，显示的 RGB 标记表示传感器位置和方向。每个图都支持用户通过点击并拖动来突出显示感兴趣的区域，从而放大特定区域。

Field at sensor

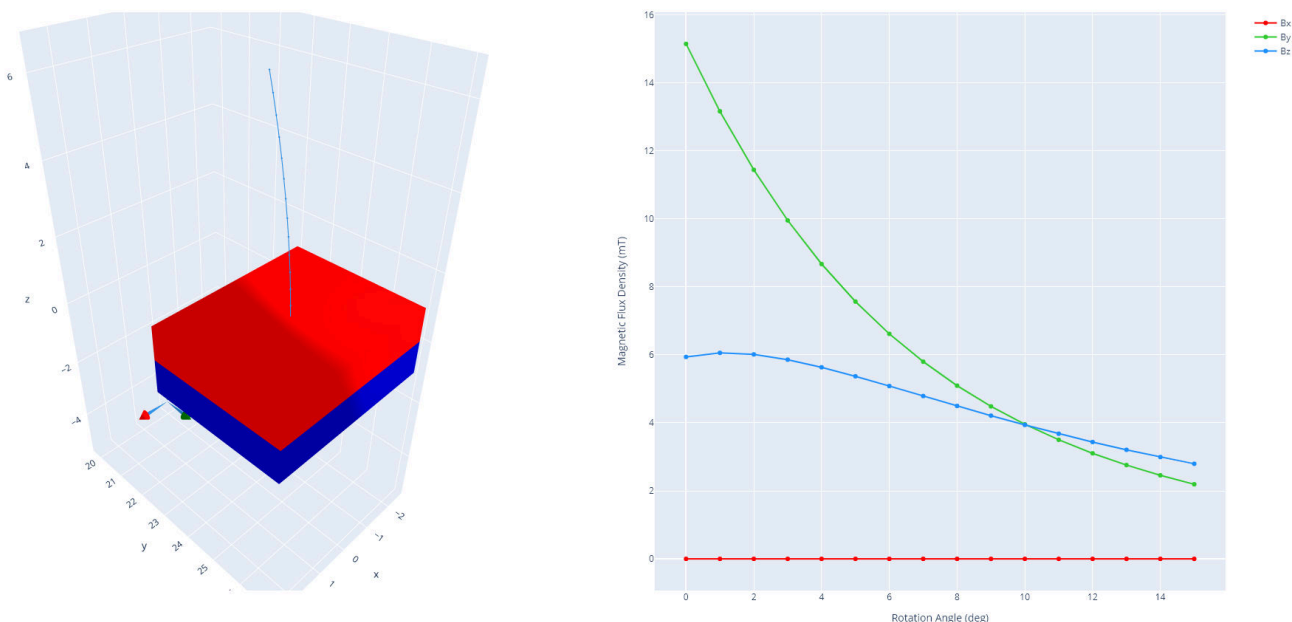


图 5-5. 磁场仿真结果

第三个 (有时是第四个) 选项卡显示所选传感器类型的器件输出。如果未选择传感器，这些选项卡将不会打开。器件输出根据仿真的运动类型来绘制。只要输入磁场使传感器的输入范围饱和，输出就会以数据表中标记的最大输出电平显示。

对于模拟和数字线性器件，输出可能在指定的输出范围之间变化。如果磁场输入使器件的输出范围饱和，则输出将以限值显示。开关和锁存器件只有两种输出状态，它们将以数字逻辑电平 V_{OH} 和 V_{OL} 显示输出。

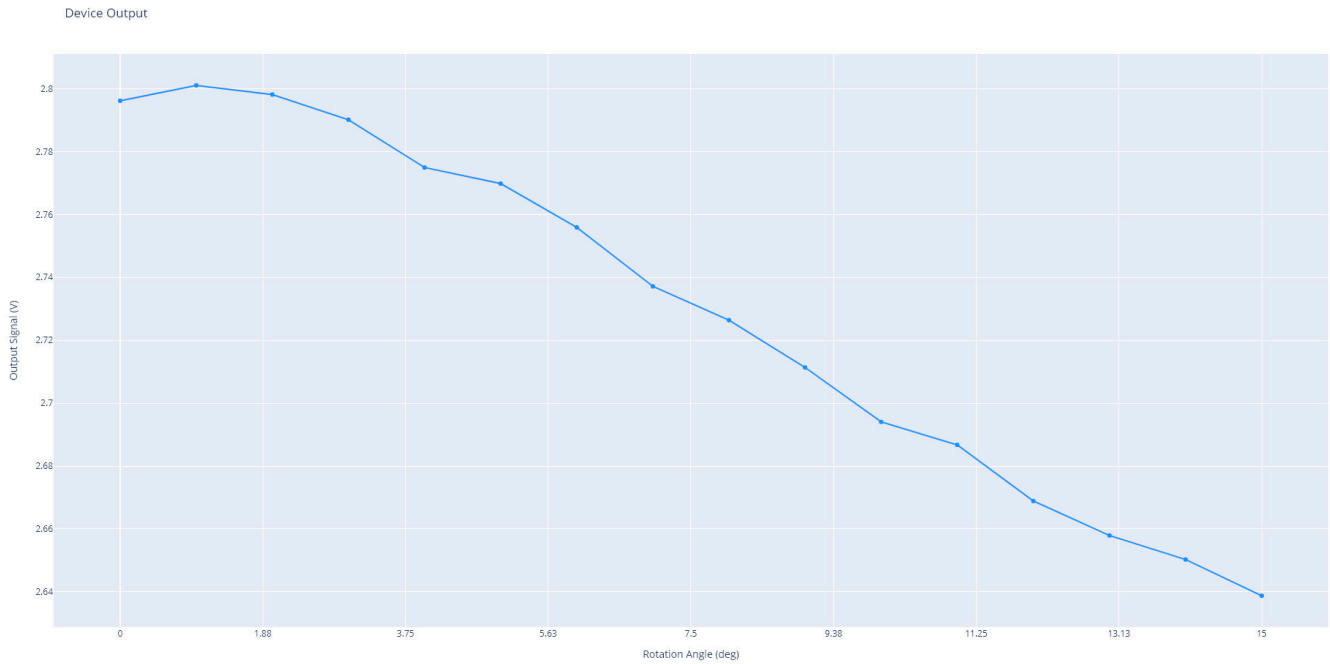


图 5-6. 模拟线性传感器输出

对于模拟线性器件，输出图包括传感器输出响应中的输入参考噪声。如果传感器的信噪比 (SNR) 不够大，这有助于演示机械位置上可能发生的不确定性。连续的仿真运行有助于直观显示 6σ 噪声对传感器输出的影响。通过增加输出滤波器可以降低应用中的噪声影响，但这样会减小最大输出带宽。在图 5-6 中，该工具观察了铰链运动，其中使用了 DRV5055A2 来测量磁场的 Z 轴分量，如图 5-5 所示。

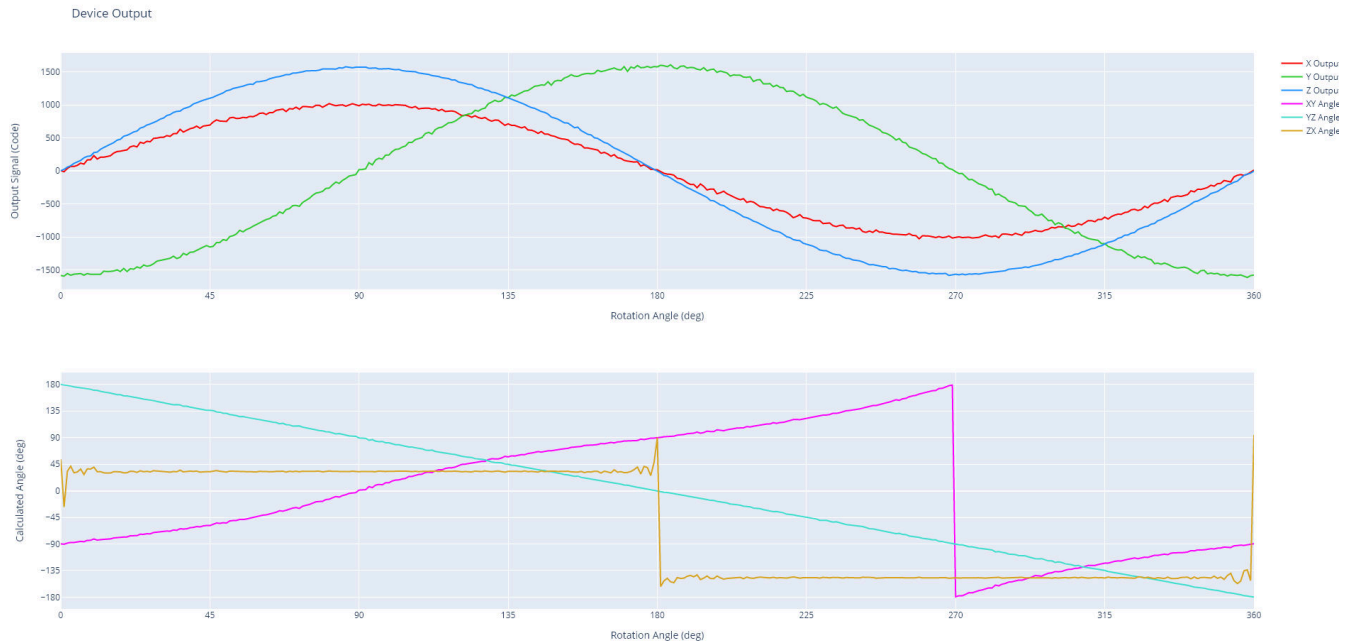


图 5-7. 数字线性传感器输出

数字线性器件同样包括输入参考噪声，因为它会影响器件的 ADC 转换结果。输出结果还会显示跨越传感器 n 位转换范围的输出代码，以展示量化对测量结果的影响。此外，当传感器产生两个或多个轴的输出结果时，该工具会在仿真磁体旋转时绘制计算出的角度。当输入磁场为等幅且具有 90° 相位差的正弦波时，产生的角度相对于磁体旋转呈线性。振幅不匹配、偏移和相位误差可能由机械源引起。这可以通过比较图 5-7 中显示的 TMAG5170 计算角度结果来看出。请注意，YZ 角度结果呈线性，而 XY 角度结果不太理想。

在许多器件中，可以使用寄存器设置来校正振幅不匹配和偏移，但可能需要校准才能获得最高精度结果。有关提高角度精度的更多信息，请参阅 [实现超高系统角度感应精度](#)。



图 5-8. 开关传感器输出

开关型器件会生成一个图，其中显示了传感器对磁体正向和反向运动的响应。该覆盖图用于突出显示 B_{HYS} 对器件运行的影响。建议对两个行程方向进行评估，以验证对机械输入的预期响应是否符合预期。

对于具有双单极输出的任何器件，例如 DRV5032DU，将出现第四个选项卡。此选项卡会单独显示器件的第二个输出。图 5-8 中显示了通过拉动轴向圆柱磁体通过 DRV5032DU 而产生的两个输出。

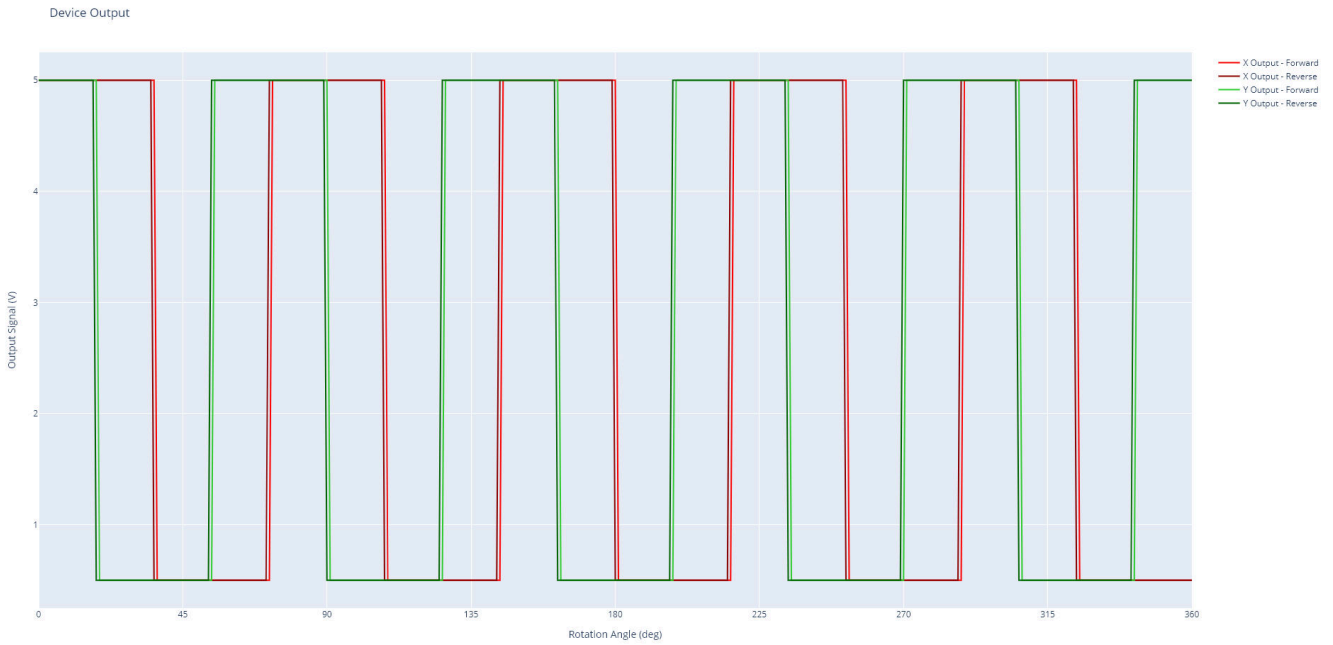


图 5-9. 锁存传感器输出

对于锁存型器件，显示的正反向图与锁存型器件类似。对于 2D 锁存器，图中会显示所检测两个轴的响应。如果需要，可通过点击图例中的图名称来隐藏该图。

例如，图 5-9 中显示了在旋转的 10 极磁环附近放置 TMAG5110 的情况。

6 附加资源

有关设计特定功能的其他指导，请参阅表 6-1 中的参考资料。

表 6-1. 磁感应功能指南

文档名称	运动类型	典型磁体	应用
使用霍尔效应传感器进行迎面线性位移感应	线性	轴向圆柱磁体，条形	<ul style="list-style-type: none"> 电动工具触发器 液位检测 压力
利用霍尔效应传感器测量旋转运动的绝对角度	旋转	径向圆柱磁体	<ul style="list-style-type: none"> 机器人 云台 转向
使用霍尔效应传感器的无刷直流电机换向	旋转	径向圆柱磁体	<ul style="list-style-type: none"> 电机换向
使用绝对位置传感器测量 3D 运动	操纵杆	轴向圆柱磁体	<ul style="list-style-type: none"> 游戏控制器 转向柱控制
使用霍尔效应传感器针对篡改和移动终点位置检测实现限制检测	线性	轴向圆柱磁体，条形	<ul style="list-style-type: none"> 电表篡改检测 移动终点位置
使用线性霍尔效应传感器跟踪滑动位移	线性	轴向圆柱磁体，条形	<ul style="list-style-type: none"> 线性电机运输系统 滑块控制 工业自动化
将霍尔效应传感器用于非接触式旋转编码和旋钮应用	旋转	环形	<ul style="list-style-type: none"> 白色家电 用户界面控制
使用霍尔效应传感器进行多状态位置选择	线性	轴向圆柱磁体，条形	<ul style="list-style-type: none"> 控制开关 电动工具 安全带
使用霍尔效应传感器的两态选择器	线性	轴向圆柱磁体，条形	<ul style="list-style-type: none"> 切换开关 移动终点位置
增量旋转编码器	旋转	环形	<ul style="list-style-type: none"> 水表 燃气表 轮速
使用霍尔效应传感器进行转换检测	铰链	条形	<ul style="list-style-type: none"> 笔记本电脑盖板 门位置 白色家电

可通过在 www.ti.com/halleffect 上浏览产品来查找更多资料。

要查找有关用于开发此工具的开源 Python 库的更多详细信息，请访问：

<https://authors.elsevier.com/sd/article/S2352711020300170>

或

<https://magpylib.readthedocs.io/en/latest/>

磁性材料参数可从以下位置获得：

<https://amazingmagnets.com/magnetic-grade-chart>

7 参考文献

- 德州仪器 (TI) : [使用霍尔效应传感器进行迎面线性位移感应](#)
- 德州仪器 (TI) : [利用霍尔效应传感器测量旋转运动的绝对角度](#)
- 德州仪器 (TI) : [使用霍尔效应传感器的无刷直流电机换向](#)
- 德州仪器 (TI) : [使用绝对位置传感器测量 3D 运动](#)
- 德州仪器 (TI) : [使用霍尔效应传感器针对篡改和移动终点位置检测实现限制检测](#)
- 德州仪器 (TI) : [使用线性霍尔效应传感器跟踪滑动位移](#)
- 德州仪器 (TI) : [将霍尔效应传感器用于非接触式旋转编码和旋钮应用](#)
- 德州仪器 (TI) : [使用霍尔效应传感器进行多状态位置选择](#)
- 德州仪器 (TI) : [使用霍尔效应传感器的两态选择器](#)
- 德州仪器 (TI) : [增量旋转编码器](#)
- 德州仪器 (TI) : [使用霍尔效应传感器进行转换检测](#)
- 德州仪器 (TI) : [线性霍尔效应传感器阵列设计](#)
- 德州仪器 (TI) : [线性位置应用的磁体选择](#)
- [使用霍尔效应传感器设计操纵杆](#)
- 德州仪器 (TI) : [利用 2D 霍尔效应传感器减少增量旋转编码的正交误差](#)
- [TIDA-060040](#)
- 德州仪器 (TI) : [实现超高系统角度感应精度](#)

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