



摘要

随着汽车电气化的兴起，企业需要更换汽车设计中的机电设备。车辆中的许多交互点都需要某种按钮、拨盘或开关来注册用户输入。这些交互点可以使用各种新技术实现来进行设计，与传统的机电应用相比，设计自由度更高。本文将讨论车辆中常用的不同 HMI 应用以及可用于实现这些应用的不同技术。

内容

1 引言.....	2
2 按钮.....	2
2.1 机械按钮.....	2
2.2 霍尔效应开关.....	2
2.3 电容式触控按钮.....	3
2.4 电感式触控按钮.....	4
3 拨盘、旋钮和旋转式选择器.....	7
3.1 机械拨盘.....	8
3.2 霍尔 3D 线性拨盘.....	8
3.3 霍尔编码器.....	8
3.4 电感式编码器.....	9
3.5 滚轮.....	10
3.6 翘板开关.....	11
4 总结.....	13
5 参考文献.....	14
5.1 器件支持.....	14
5.2 相关文档.....	14
6 修订历史记录.....	15

商标

所有商标均为其各自所有者的财产。

1 引言

人机界面 (HMI) 有多种不同的形式。在车辆中，这可以是媒体按钮到中控台上的空调控制旋钮，再到用于控制车窗的开关等任何东西。过去，这些一直都使用不同形式的机电触点来实现。当电流在两个不同金属块之间流动时或当金属触点移动并相互摩擦时，这些触点会随着时间的推移而磨损。而新的非接触式感应选项可提供使用寿命更长的可靠解决方案。对于按钮，设计人员可以使用磁体和磁传感器代替机电触控，或者改用电感式触控或电容式触控。对于旋转感应，设计人员可以使用磁性霍尔效应传感器实现绝对角度检测，该传感器还可以计算磁体的角度，从而简化 MCU 上的实现。根据设计的主要注意事项，设计人员还可以使用磁感应或电感式感应选项来代替编码器应用。无论用作哪种应用，这些非接触式感应方法都可以带来更稳健的解决方案，同时还会提供一定的设计灵活性。

2 按钮

汽车的中央信息娱乐显示屏和汽车方向盘上都可以找到按钮。这些按钮可用于许多不同的应用，包括媒体控制、空调控制、巡航控制，甚至可用作检测最终用户敲响汽车喇叭的按钮。这些按钮可以通过多种不同的技术来实现，例如机械开关、磁性开关、电容式触控或电感式触控解决方案。

2.1 机械按钮

机械按钮使用会移动的金属端子来连接或断开电路。某些情况下会使用弹簧来确保按钮在按下事件后返回到正常位置。下图显示了弹片如何产生机械运动和建立电气连接。

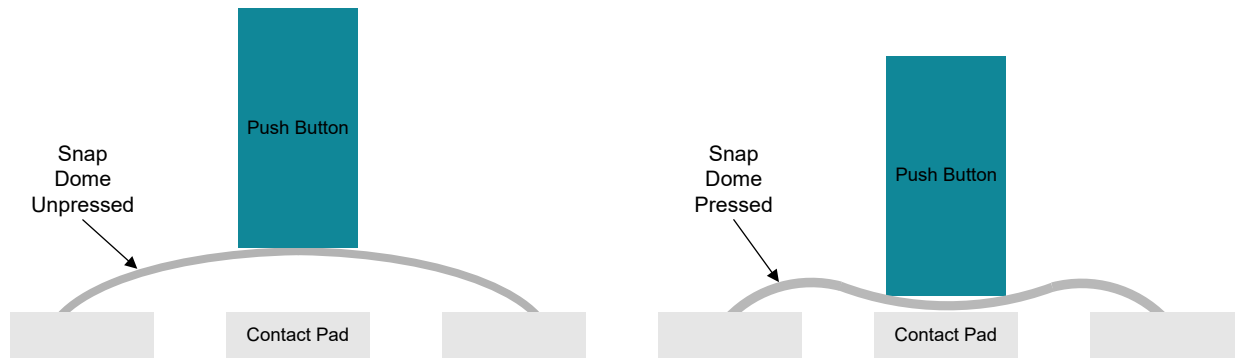


图 2-1. 弹片层叠示例

这类机械设计的一个常见问题是磨损。当机械触点桥接电气连接时，金属可能会随着电气连接的反复连接和断开而磨损。

2.2 霍尔效应开关

设计人员可以使用磁体和霍尔效应开关来代替一些机电触点。整体机械结构可以保持不变，但在去除金属触点后，磨损的可能性会降低。

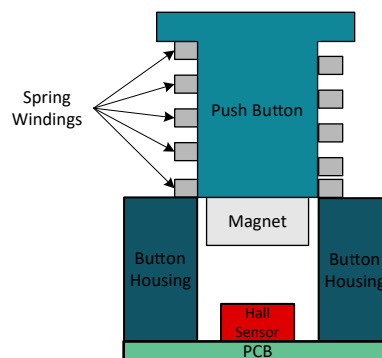


图 2-2. 霍尔效应按钮层叠示例

霍尔效应传感器通过检测磁场强度来工作，而霍尔开关会在磁场强度超过指定阈值时提供数字输出。与霍尔开关类似，簧片开关也会根据磁场提供数字输出，但簧片开关中仍有机机械触点，而触点会随着时间的推移而磨损。霍尔效应开关提供多种具有不同阈值和方向灵敏度的选项，可实现设计多样性。TMAG5328 等器件甚至具有可通过电阻调节的阈值，从而支持轻松调整机械设计或更换所用的磁体。

2.3 电容式触控按钮

电容式触控按钮是机械按钮的常见替代品。电容式触控按钮提供了一个平坦的触控表面，用户只需轻触该表面，便可操作按钮。这类按钮利用人体的电容特性会在按下触控按钮时触发电容变化来发挥作用。从根本上说，当手指接近触控表面时，电极的边缘效应会耦合到用户的手指，从而产生电容变化而可被解释为触摸。

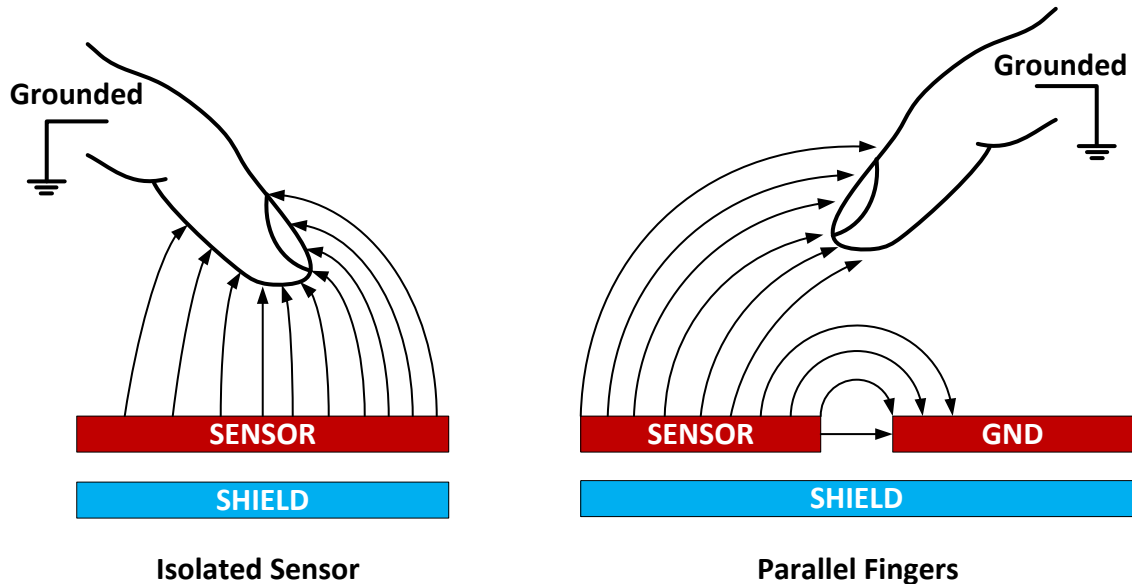


图 2-3. 隔离式和并行手指拓扑的电容式传感器边缘电场

由于具备此功能，电容式触控按钮是无缝 HMI 面板的不错选择。电容式触控按钮还可用作接近传感器，因此用户甚至无需触碰表面。这类按钮的一个缺点是它们依赖于手部的电容。佩戴手套会使感应触摸事件变得更加困难。此外，在车辆外部表面上使用时，例如车门把手等，可能意味着触控表面必须使用金属。金属触控表面会将拓扑结构更改为平行板电容器，因为边缘效应会耦合到金属表面。在这种实现中，极板之间的距离变化会导致电容变化，这可用于检测按钮按压操作。

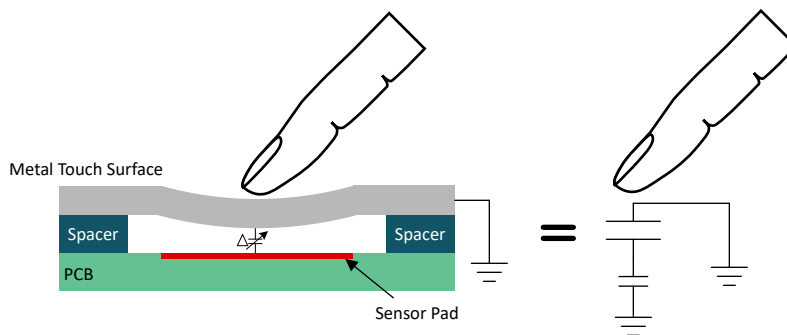


图 2-4. 金属上的电容式触控

在这种实现中，戴着手套使用电容式传感器会更容易，因为不管怎样，金属都会移动，但这种实现可能需要将触控表面接地，来减少测量中的噪声量。通过采用 CapTIvate 技术的 MSP430 MCU 实现电容式金属面板触摸感应应用手册详细介绍了此应用。

2.4 电感式触控按钮

电感式触控按钮测量传感器上方金属目标的偏转引起的电感变化，可用于需要无缝触控按钮（根据表面施加的力大小来工作）的应用。

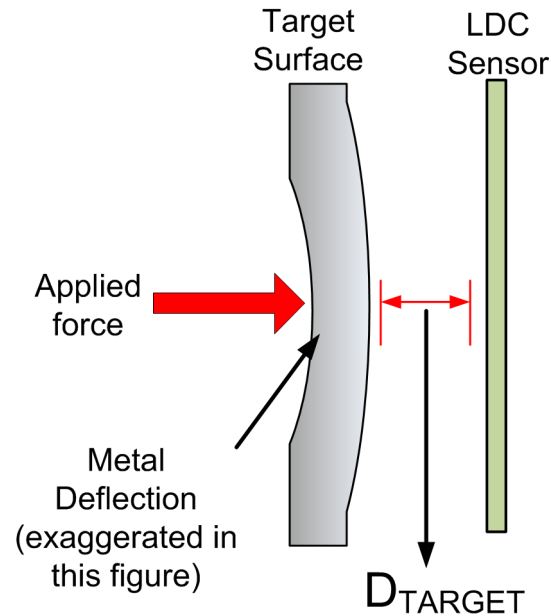


图 2-5. 电感式感应基本操作

电感式感应根据施加的力大小来工作，因此无需像某些电容式触控按钮那样为表面接地，并且采用此设置时，即使用户佩戴手套或触控表面潮湿，也能正常进行电感式感应。LDC3114-Q1 等器件会处理电感式传感器中的变化，并提供表示按钮按压操作的数字输出，从而使 MCU 无需对按钮数据进行任何数据处理。处理按钮按压操作的算法还包括基线跟踪，有助于消除因灰尘、损坏或环境变化（温度变化等）而导致的误检。

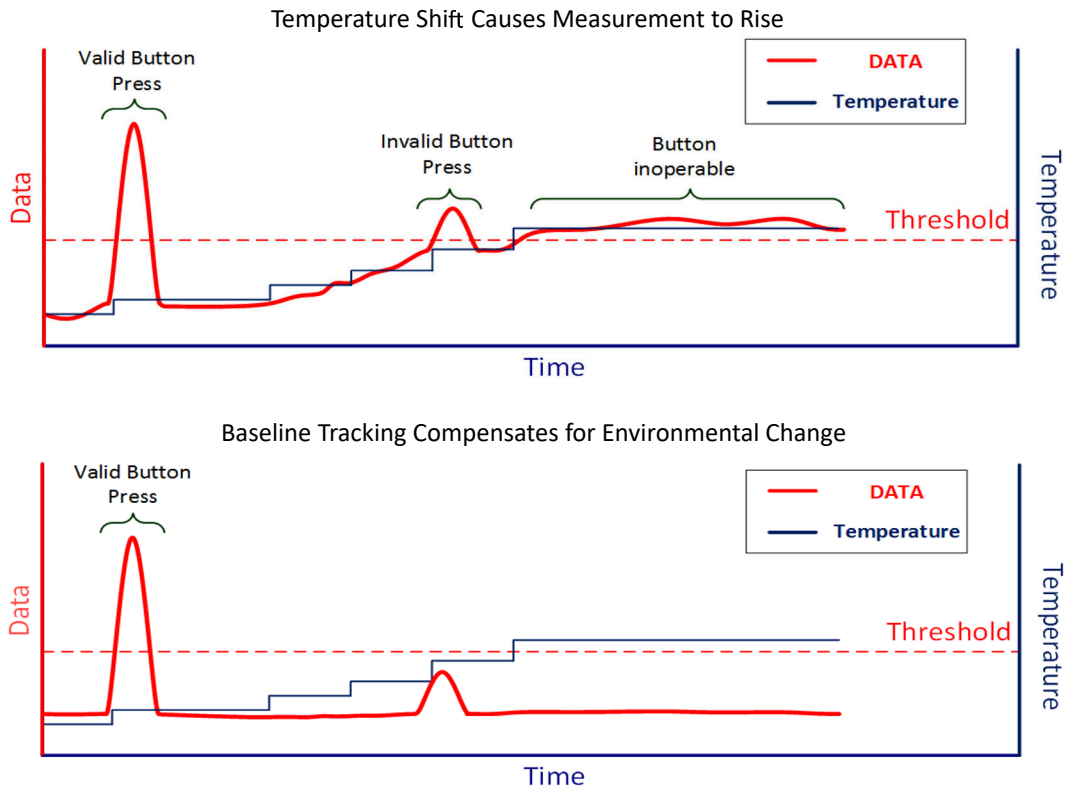


图 2-6. 基线跟踪

即使传感器需要金属目标，也无需使用金属触控表面。TIDA-060039 等示例使用塑料触控表面并以下方的金属带作为目标。

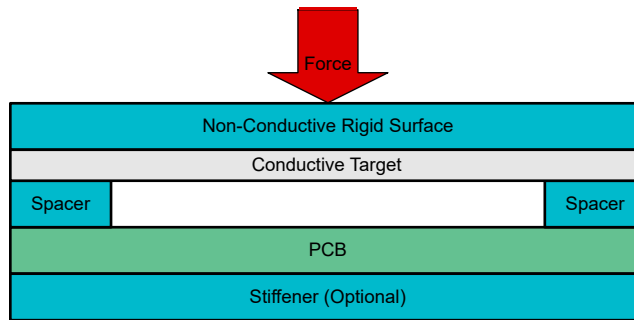


图 2-7. 具有非导电触控表面的电感式触控按钮层叠

电感式触控按钮可以使用许多不同的材料作为目标，并提供可靠的检测特性，因此这些按钮可用于车内和车外来检测用户的触控输入。

汽车内部的许多按钮都带有照明组件。电感式触控按钮使用金属目标，因此需要额外考虑如何处理照明。处理按钮照明的最简单方法是使照明灯偏离按钮的触控表面。将照明灯置于按钮侧面、上方或下方可将照明与触控按钮层叠分离开来，但在设计中，这种方法并不总是可以接受的。要将照明灯置于触控表面的中间，一种方法是將 LED 置于传感器线圈的任一側，并使用照明导光板使光像在以下层叠中那样分散到金属目标上方。

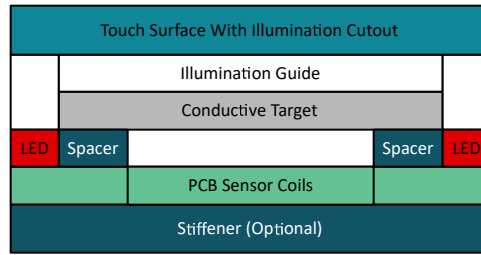


图 2-8. 带照明导光板的照明 LDC 触控按钮

可以在外部触控表面上提供所需的照明切口，在此实现中，金属目标迭代与传感器线圈保持完好无损。但是，此设计需要一层薄薄的照明导光板以及一个可产生足够变形的金属目标来实现稳健的按钮按压检测。此设计的替代方案是移动金属目标和传感器线圈之间的照明导光板，并在金属目标中开一个切口，以便光线穿过。

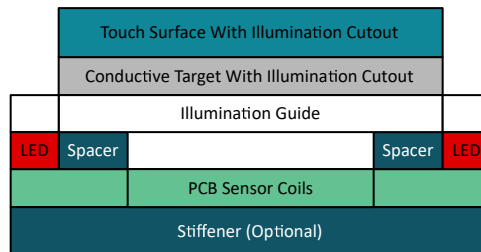


图 2-9. 照明 LDC 触控按钮照明导光板替代方案

如果可以改用 LED 作为隔板，则此应用中不需要照明导光板。此实现可能会使金属目标远离传感器线圈，并需要在金属目标上开一个孔或切口。孔的形状和尺寸会破坏目标上形成的涡流，从而对目标和传感器耦合产生影响。通过仿真圆形传感器线圈在方形目标上产生的涡流，可以得到流动的电

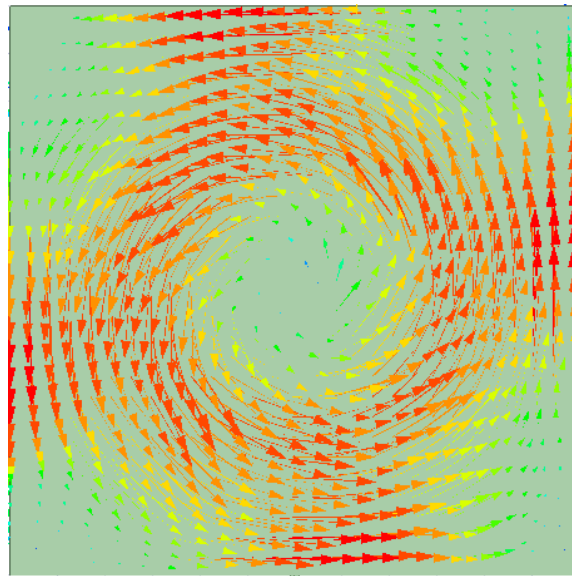


图 2-10. 涡流形成

目标上形成的涡流呈圆形，因此金属中心的小孔不会对按钮性能产生很大影响。孔的尺寸是一个重要因素，因为较大的孔会减少目标和传感器线圈之间的耦合。

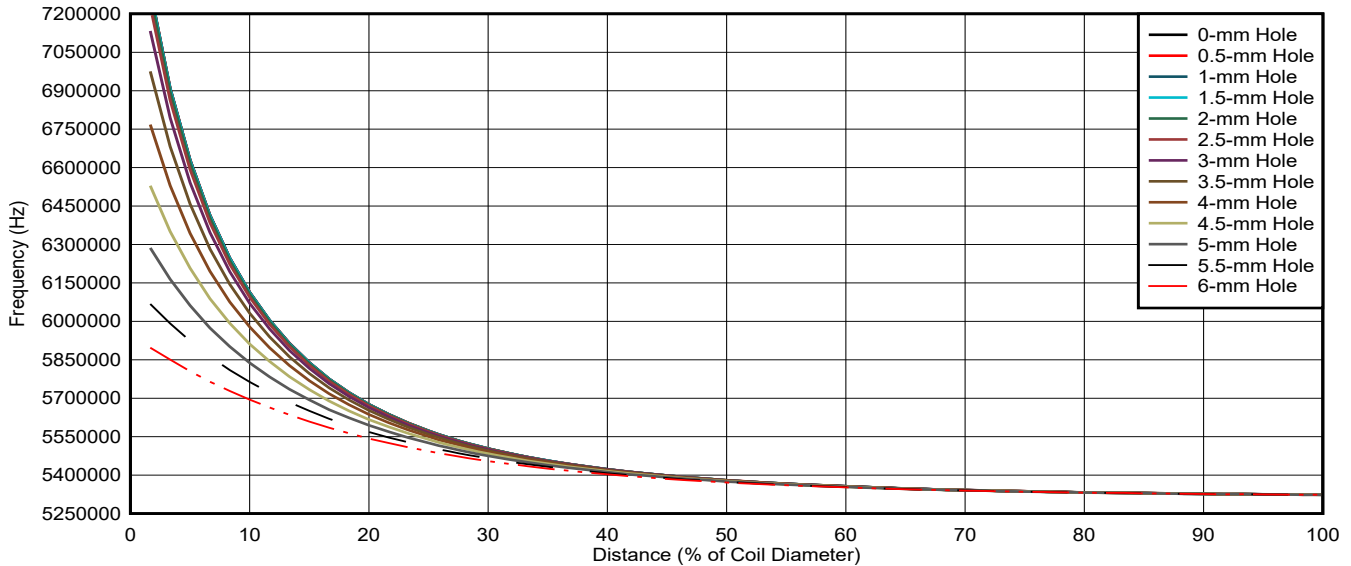


图 2-11. 孔尺寸比较

如上图所示，当目标处于近距离时，小孔不会造成传感器频率发生显著变化，但当孔变大时，传感器上的变化量会减小。频率变化较小会导致需要让按钮产生更多的运动或需要用更大的力按压按钮，才能检测到按钮按压操作。此外，如果按钮在金属目标中心变形，则较大的孔会对目标耦合产生更显著的影响，因为朝向传感器的金属变形会更多。或者，可以将 LED 置于传感器线圈内部，而不是外部，以免需要使用照明导光板来分散光线，如图 2-12 所示。

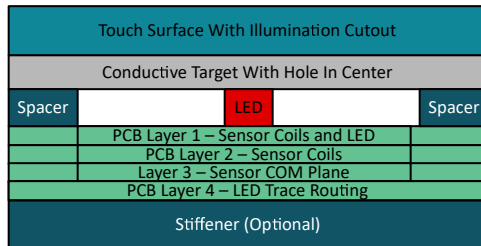


图 2-12. 具有中央 LED 的电感式触控按钮层叠

此实现方案将 LED 迹线向下布放到第四层并远离传感器线圈，将其影响降至最低。LED 添加的金属将导致传感器和金属目标之间的耦合发生轻微变化，但当目标靠近传感器线圈时，该变化不足以影响按钮性能。如果设计需要该功能，设计人员可以用弹簧代替导电目标，以便支持机械运动。使用弹簧作为目标时，设计人员必须考虑应用中引入一组新的问题。首先，必须将弹簧与线圈分开，使它们不会接触，方法是展开垫圈来覆盖部分电感线圈。弹簧的形状和样式也是一个问题。传统的压缩弹簧可能无法为按钮应用提供太多的电感变化。为了解决此问题，可以使用第一层在弹簧被压缩之前不与自身接触的弹簧。弹簧有间隙，不会形成完整的圆，因此弹簧上通常不会形成涡流。当弹簧被压缩并形成完整的圆或环形目标时，会形成涡流，情况更类似于图 2-10，并且会发生较大的电感变化。或者，如果使用锥形弹簧，目标中心的孔会减小，并使电感随着孔尺寸减小而发生变化。电感式触控按钮的实现可能并不仅限于这些方法。使用金属作为目标可让设计人员在设计中自由地利用现有的机械结构，前提是该实现可在用户与触控表面交互时为金属提供一种使传感器线圈产生电感变化的方法。

3 拨盘、旋钮和旋转式选择器

汽车应用中使用拨盘或旋钮的两种应用是音量控制和空调控制。这些应用可以根据设计偏好监测拨盘的旋转角度变化或绝对位置。实现这些设计的方法有多种，但常见的实现方式包括旋转编码器和电位器。

3.1 机械拨盘

机械旋转编码器的传统实现方式是通过金属刷在金属触点上滑动来显示旋转运动的变化。这些实现很简单，但随着金属触点的移动而容易出现磨损。机械电位器采用类似的方式构建，但当金属刷不是以离散步距运动时，电阻会持续发生变化。

3.2 霍尔 3D 线性拨盘

消除机电磨损风险的一种方法是使用没有机械触点的传感器。线性霍尔效应传感器可以为变化的磁场提供可变量输出。对于旋转感应应用，设计人员可以让磁体随着拨盘旋转并检测磁场的两个变化轴。

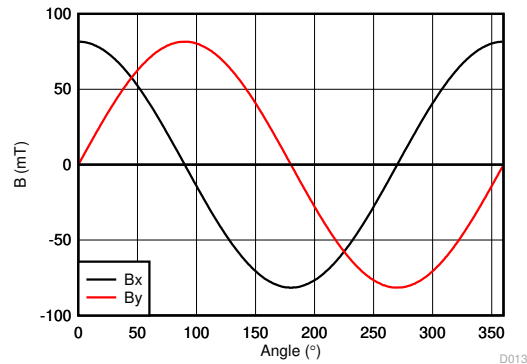


图 3-1. 磁体旋转的磁场分量

设计人员可以使用单个 3D 线性霍尔传感器来获取这些测量值。根据所示的数据，只需 B_x 和 B_y 磁场即可计算磁体的角度。[TMAG5170-Q1](#) 和 [TMAG5173-Q1](#) 等器件可以测量磁场的全部三个轴，甚至会通过寄存器值提供磁体的角度，因此微控制器 (MCU) 不必根据磁场数据计算角度。或者，[TMAG5170D-Q1](#) 是 [TMAG5170-Q1](#) 的双芯片版本，可在系统需要冗余时使用。如果磁体与传感器对齐，磁场数据的两个轴也可用于实现按钮。在前两个轴无法提供可靠按钮输出的情况下，磁场的第三个轴可用于提供一些预测性故障数据或辅助实现按钮功能。

[TMAG5170UEVM](#) 的旋转和推送模块展示了旋转拨盘实现上的按钮。这种检测方法的一个缺点是外部磁场会影响旋转测量。利用 3D 传感器或额外的霍尔传感器可以检测是否存在外部磁场，但磁场的存在仍会影响正常功能。更多有关在线性拨盘应用中使用霍尔效应传感器的信息，请参阅[利用霍尔效应传感器测量旋转运动的绝对角度](#) 应用简报。

3.3 霍尔编码器

旋转感应的另一种霍尔实现方式是作为编码器。该方法通过霍尔传感器（通常是霍尔效应锁存器）上的过渡磁场极性来观察旋转变化。它们在功能上类似于机械旋转编码器，但去除了会导致磨损的机电触点。实现这一点的一种常见方法是在编码器中使用具有多个磁极的环形磁体。当磁极移动并且磁传感器上方的磁场从北极切换到南极或从南极切换到北极时，开关或锁存器的输出可用来显示旋转运动的变化。开关会为磁场的两极提供输出，而锁存器会在磁场极性变化时改变输出状态。[TMAG5110](#) 是一款 2D 锁存器，可为磁场的 X 和 Y 分量提供单独的输出。与单个 1D 锁存器相比，该过程会提供磁体旋转的正交输出，从而可以得出旋转方向和更多的输出状态。

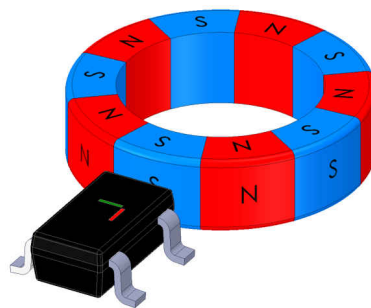


图 3-2. 平面传感器

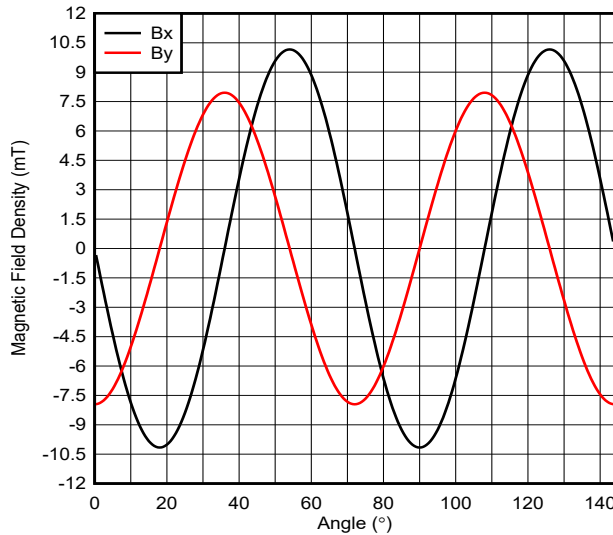


图 3-3. 磁场分量

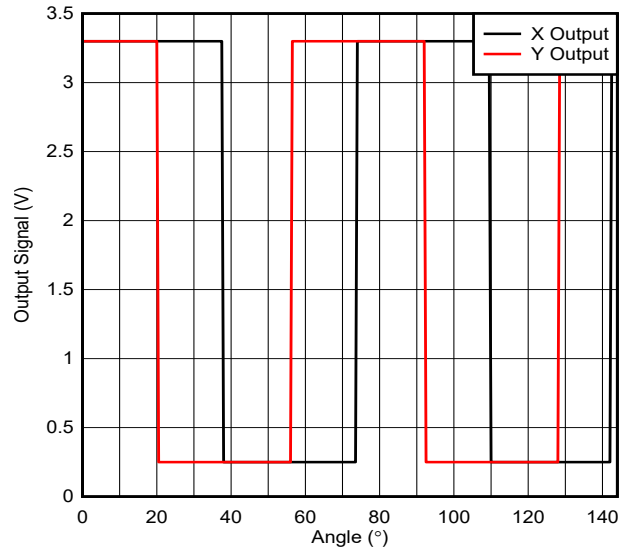


图 3-4. TMAG5110 输出

或者，设计人员可以在霍尔效应编码器中使用多个 1D 锁存器来获得类似的结果。通过将两个锁存器异相放置，当每个完整的磁极对通过传感器时，都会提供四个独特的输出条件。

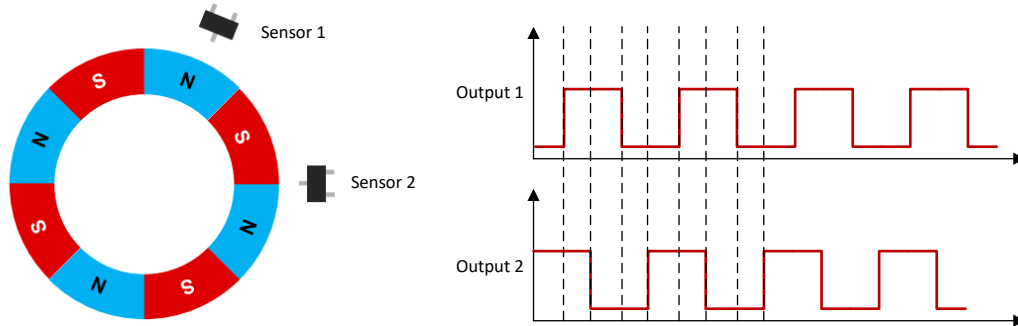


图 3-5. 双锁存器放置和输出

对于实现具有所需每转增量数量的可靠输出，霍尔传感器的位置和设计的磁体选择都非常重要。如前所述，TMAG5110 和 TMAG5111 等器件提供 2D 双路输出选项，仅在一个器件封装中即可提供相似的结果。更多有关实现正交霍尔效应增量编码器的信息，请参阅 [利用 2D 霍尔效应传感器减少增量旋转编码的正交误差](#) 应用手册。霍尔效应传感器使编码器易于设计并且易于扩展每次旋转的位置数，因为该设计只需要一个极对数量正确的环形磁体，即可使设计正常工作。但是，与霍尔开关类似，此实现可能会受到外部直流磁场的干扰。

3.4 电感式编码器

电感式编码器与霍尔效应感应类似，但它们使用任何导电金属作为目标，并且不受直流磁场的影响。这类传感器通常可以使用机械设计中已经存在的金属（例如旋转齿轮的齿）来提供增量输出。电感式编码器的一个示例是 [使用 LDC0851 的 32 位电感式感应编码器旋钮参考设计](#)。此参考设计使用连接到旋钮的 PCB 中的一个金属目标。当金属穿过电感式感应线圈时，电感会以周期性的模式增加和减少。LDC0851 会对传感器和基准线圈进行比较，来确定数字输出必须为高电平还是低电平。

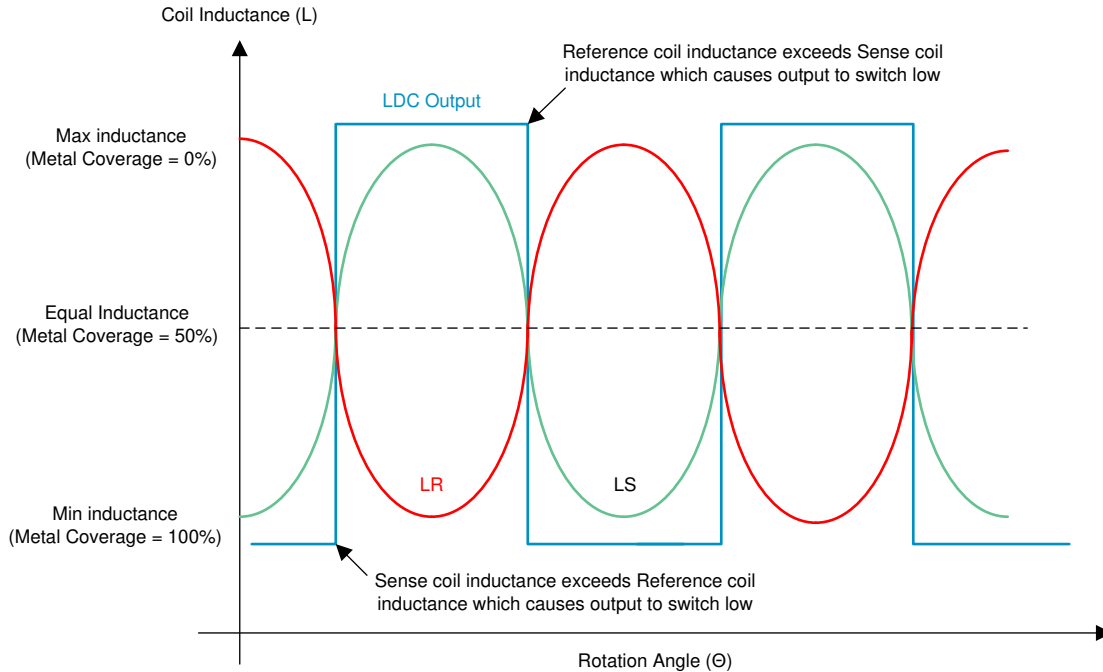


图 3-6. LDC0851 编码器电感变化和数字输出

如果设计人员正确放置传感器，该设计可以实现正交输出并在每次金属目标通过时增加检测到的位置数。

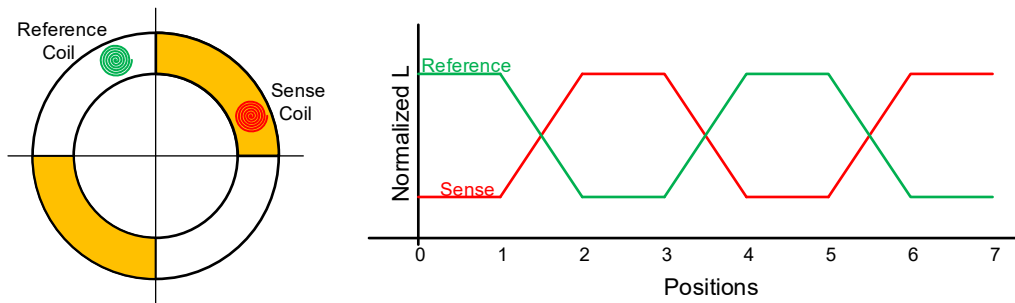


图 3-7. 基准线圈放置和电感变化

如图 3-7 中所示，对于双目标设计，每旋转一周有八个位置。以这种方式实现电感式编码器提供了一种可靠的设计，该设计不受灰尘、油脂和外部直流磁场的影响，但设计人员必须考虑此方法的局限性。电感式传感器的尺寸是需要注意的重要因素。金属目标和电感式传感器线圈之间的距离与线圈直径直接相关，因此只要线圈尺寸减小，目标距离就必须减小。虽然可以实现小线圈，但必须有足够的空间来在金属目标下布放 PCB 线圈。LDC1312 增量编码器旋钮参考指南中使用的布局技术可用于实现更小的线圈，但在小空间中仍难以设计每旋转一周有很多位置的编码器。

3.5 滚轮

滚轮与编码器和线性旋转感应方法类似，但旋转轴发生了变化。一个常见的汽车应用是音量控制，尤其是在方向盘上。霍尔效应感应使设计人员能够将磁体置于密封的圆柱体中来充当用户接口，而传感器位于轮子下方的 PCB 上。这里可以使用相同的线性编码器实现，其中传感器与磁体位于同一平面内。对于线性情况，将传感器与磁体置于同一个轴上可能会更加困难，因此传感器很可能处于平面内或平面外。

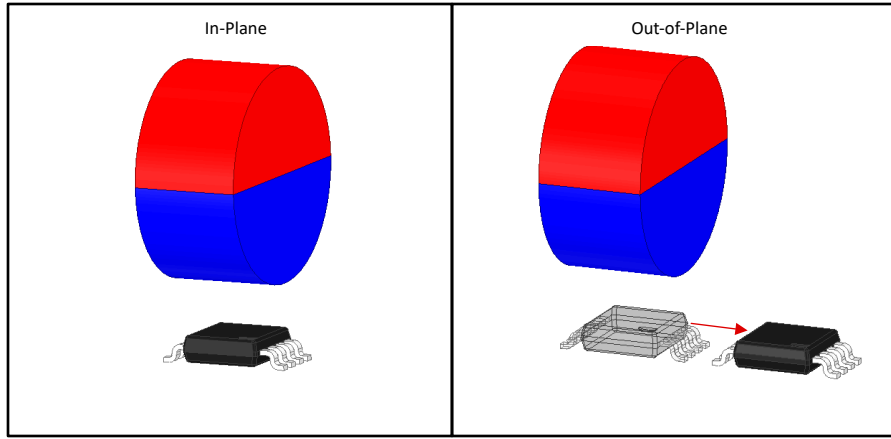


图 3-8. 滚轮磁体与线性霍尔传感器放置情况

传感器的位置会影响传感器检测到的磁场。对于平面内情况，磁场的 Z 轴是完全静止的，而 X 轴和 Y 轴将具有不同的振幅。平面外情况可以帮助设计人员在旋转磁体引起的磁场正弦变化中获得类似的振幅。要实现相似的振幅，需要小心地放置传感器，因为对于给定磁体，存在一处最佳位置来实现磁场振幅匹配。在可能放置传感器的路径上对不同位置的磁场进行仿真有助于确定振幅匹配的最佳位置。当传感器不再与磁体处于同一平面时，磁场的 Z 轴也将开始提供正弦信号。

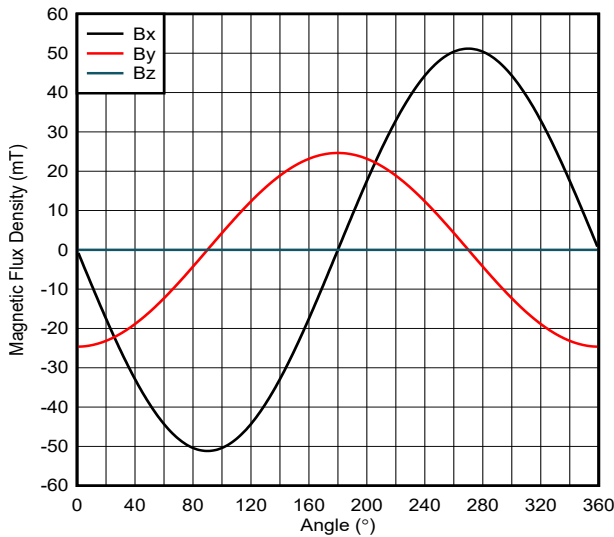


图 3-9. 滚轮传感器磁场：平面传感器

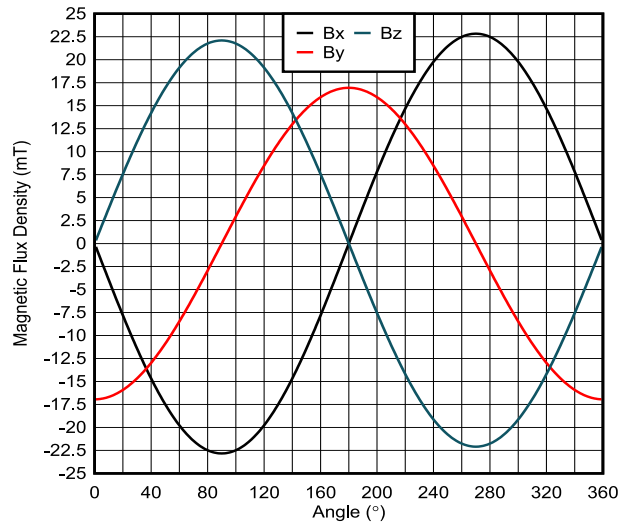


图 3-10. 滚轮传感器磁场：平面外传感器

如前所示，平面外情况的振幅更相似，在计算磁体角度之前可能需要较少的缩放来匹配振幅。与拨盘旋转方法类似，使用 3D 线性传感器读取磁场数据便可提供足够的信息来实现按钮。

增量情况与编码器实现没有任何不同，但该情况可能需要传感器与环形磁体位于同一平面内或稍稍偏离环形磁体所在的平面。只要传感器的磁性阈值与磁体选择一致，器件的数字输出仍具有相同的行为。通过 [TMAG5110](#) 或 [TMAG5111](#) 检测旋转运动，这一点可以轻松实现。

3.6 翘板开关

翘板开关与标准按钮略有不同。这些开关通常是三位开关，可以保持在最后按下的位置，也可以弹回到中性或中间位置。实现这种类型的开关有许多方法，下图显示了其中的三种方法。

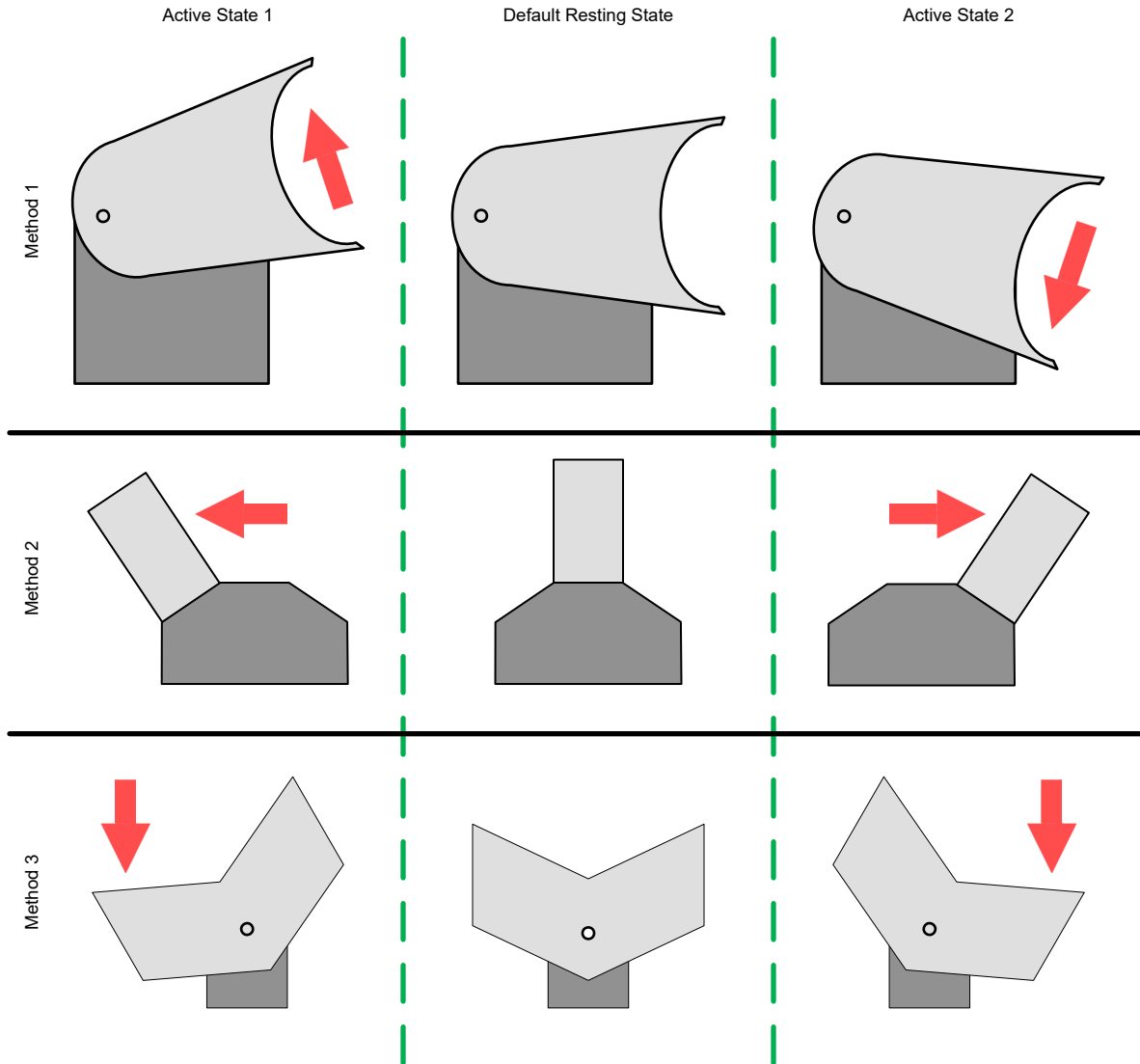


图 3-11. 三态开关实现示例

这种类型的开关可以使用多种不同的技术来实现。与编码器或按钮应用类似，设计人员可以将此方法与机电触控结合在一起。就像其他应用中一样，这里同样会出现磨损问题。设计人员可以使用基于磁性霍尔感应的设计或基于电感式感应的设计来实现非接触式翘板开关。设计人员可以使用线性传感器、锁存传感器或开关传感器来实现霍尔效应传感器设计。更多有关如何使用霍尔效应实现这些三态开关的信息，请参阅[具有霍尔效应开关的 HMI 翘板开关](#)应用手册。对于电感式感应应用，这类似于触控按钮或编码器设计。根据开关的机械运动情况，金属目标可能会通过两个不同的传感器线圈，具体取决于开关的状态。

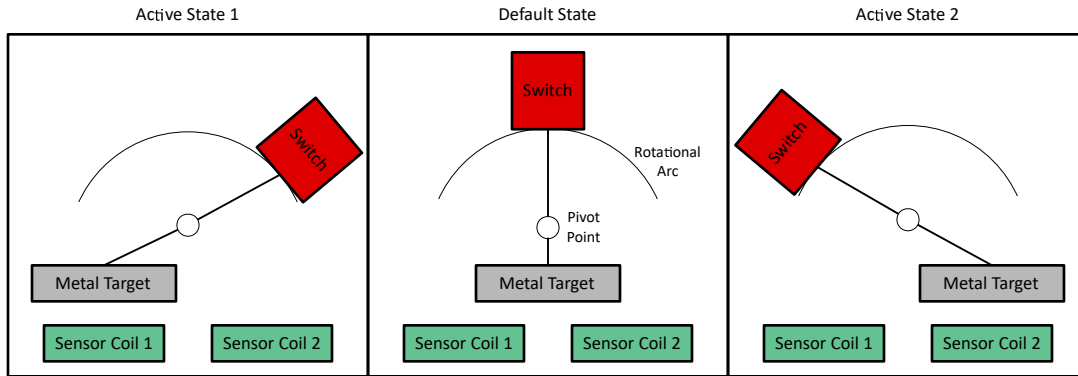


图 3-12. 电感式三态开关概念

或者，每种激活状态都可以有自己的金属目标，这些目标会在选择对应激活状态时接近相应的电感式传感器线圈。由于唯一需要的组件是传感器线圈和金属目标，因此可以自由地进行设计以匹配所需的机械运动。

与其他实现方式相比，机械设计既便宜又简单，但设计更容易随着时间的推移而磨损。基于霍尔效应的设计易于实现，并且不存在磨损问题，但该设计需要磁体，并且容易受到外部磁体的影响。电感式感应实现方案还消除了磨损问题，同时不受直流磁场的影响，并且该选项可以使用任何导电金属作为目标。但是，该选项需要额外的设计工作来创建传感器线圈。

4 总结

在汽车环境中，HMI 有许多不同的应用，设计人员可以使用多种技术来实现这些应用。每个应用都有关键考虑因素，并且这些应用的每个用例可能有不同的要求。设计人员需要确定其设计的主要关注点，并了解最终用户会如何使用 HMI 应用，从而选择合适的技术。一般而言，机械实现成本较低，但容易磨损，从而导致功能丧失。霍尔效应传感器可以提供一定的设计自由度并且易于整合，但容易受到外部磁场的影响。电容式感应非常适合无缝触控面板，但在特定应用中需要额外考虑一些注意事项。电感式感应可用于触控感应，消除了电容式感应中的一些问题，但有其他缺点。此外，电感式旋转传感器可以提供一种不受附近直流磁场影响的设计，并可与设计中的现有金属配合使用，但可能会受到传感器线圈空间的限制。无论您选择何种实现方式，都有工具可以协助您完成设计过程。有关 TI 的实用工具和支持内容列表，请参阅“资源”部分。

5 参考文献

5.1 器件支持

- [电感式感应和线圈设计器电子表格](#)
- [电感式感应培训概述视频](#)
- [Magnetic Sensing Proximity Tool](#)
- [TMAG5170 2D 角度误差计算器](#)

5.2 相关文档

- 德州仪器 (TI), [通过采用 CapTivate 技术的 MSP430 MCU 实现电容式金属面板触摸感应](#) 应用手册。
- 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](#) 应用手册。
- 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](#) 应用简报。
- 德州仪器 (TI), [电感式感应器件选型指南](#)。
- 德州仪器 (TI), [采用 LDC、用于电感式感应应用的传感器设计](#) 应用手册。
- 德州仪器 (TI), [TMAG5170EVM 用户指南](#)
- 德州仪器 (TI), [LDC1312 增量编码器旋钮](#) 设计指南。
- 德州仪器 (TI), [具有霍尔效应开关的 HMI 翘板开关](#) 应用手册。
- 德州仪器 (TI), [TMAG5170DEVM 用户指南](#)

6 修订历史记录

Changes from Revision * (February 2023) to Revision A (May 2023)	Page
• 更新了整个文档中的表格、图和交叉参考的编号格式.....	1
• 添加了对 TMAG5170D-Q1 的引用.....	8

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