

Jacob Thompson

## 摘要

液位检测的方法有多种，包括电容式、超声波、磁性和机械解决方案。借助现代 3D 线性霍尔传感器，我们可以使用单个传感器测量液位。本文档介绍了使用浮臂和 3D 线性霍尔传感器实现液位检测的单传感器方案，讨论了使用 3D 线性霍尔效应传感器 TMAG5273、浮子和磁体进行霍尔效应液位检测演示的设计原理。

## 内容

1 引言.....	2
2 液位检测实现.....	3
2.1 电容式.....	3
2.2 超声波.....	3
2.3 磁性霍尔效应实现方案.....	4
3 功能演示设计.....	9
3.1 浮臂.....	11
3.2 GUI 操作.....	14
3.3 3D 打印零件方向和设置.....	16
4 总结.....	17
5 参考文献.....	17
5.1 器件支持.....	17
5.2 相关文档.....	17

## 插图清单

图 2-1. 电容式液位检测.....	3
图 2-2. 超声波液位检测.....	4
图 2-3. 3D 霍尔传感器轴.....	5
图 2-4. 迎面.....	6
图 2-5. 滑过.....	6
图 2-6. 霍尔锁存器阵列.....	7
图 2-7. 霍尔开关阵列.....	7
图 2-8. 旋转磁体浮臂实现.....	7
图 2-9. 同轴角度测量与离轴角度测量.....	8
图 2-10. 进行同轴测量时 360 度全方位旋转的 X 和 Y 传感器数据.....	8
图 2-11. 进行离轴测量时 360 度全方位旋转的 X 和 Y 传感器数据.....	8
图 3-1. 完整演示概述.....	9
图 3-2. 关注检测部分的演示特写.....	9
图 3-3. 主要元件位置.....	10
图 3-4. 泵盒.....	10
图 3-5. 浮子旋转和磁体放置.....	11
图 3-6. 三个装有不同尺寸磁体的浮臂.....	12
图 3-7. 使用 1/8 英寸磁体时 4.0mm 处的磁场强度结果.....	12
图 3-8. 360° 范围内的 TMAG5273 输出.....	13
图 3-9. 针对更大贮水容器调整设计.....	13
图 3-10. GUI 概述.....	14
图 3-11. GUI 预设可配置参数.....	15
图 3-12. 切片器中的零件方向.....	16

## 表格清单

表 2-1. TI 线性磁位置传感器.....	5
-------------------------	---

### 商标

所有商标均为其各自所有者的财产。

## 1 引言

确定容器内的液位是许多行业和应用中的一个常见挑战。

- 家用拖地机器人使用液位检测来在清洁溶液耗尽时通知用户。
- 单杯咖啡机会检测水量是否足以冲泡一杯特定大小的咖啡，并在水量不足时通知用户加水。
- 车辆使用液位检测来检测何时需要向储液罐中添加挡风玻璃清洗液。每辆汽车都有一个燃油表，用于显示油箱中的燃油量。
- 飞机同样会测量剩余的燃油量。
- 液位传感器可以在液体耗尽时关闭设备，例如加湿器在水箱已空时关闭，或空调装置在接水盘不排水时自行禁用。

我们身旁每天都有许多液位检测应用，也有许多不同的测量实现方案。

## 2 液位检测实现

### 2.1 电容式

传统方案 ([FDC1004：电容式检测的基础知识和应用](#)) 通常会在由塑料等非导电材料制成的容器外壁上连接多个传感器并测量这些传感器之间的电容变化。在图 2-1 中，液位检测传感器由 LEVEL 和 GND 表示，而另外几对电容式传感器则为液体 (下方的 RL、GND) 和外部环境 (RE、GND) 提供参考。这些传感器可以对液体和周围环境进行环境跟踪，例如与温度相关的变化。

这种传统的液位检测方法会对被测液体施加非零电位，因此它容易受到系统上接地干扰或寄生电容的影响，例如当人手靠近或触摸容器时。请注意，电容式检测方法通常难以检测洗衣液等较浓稠溶液或盐水等导电溶液的液位。电容式检测方法的缺点是液体会粘附在容器壁上。如果液体是粘度较高的溶剂或清洁溶液，这可能会严重影响系统的精度。

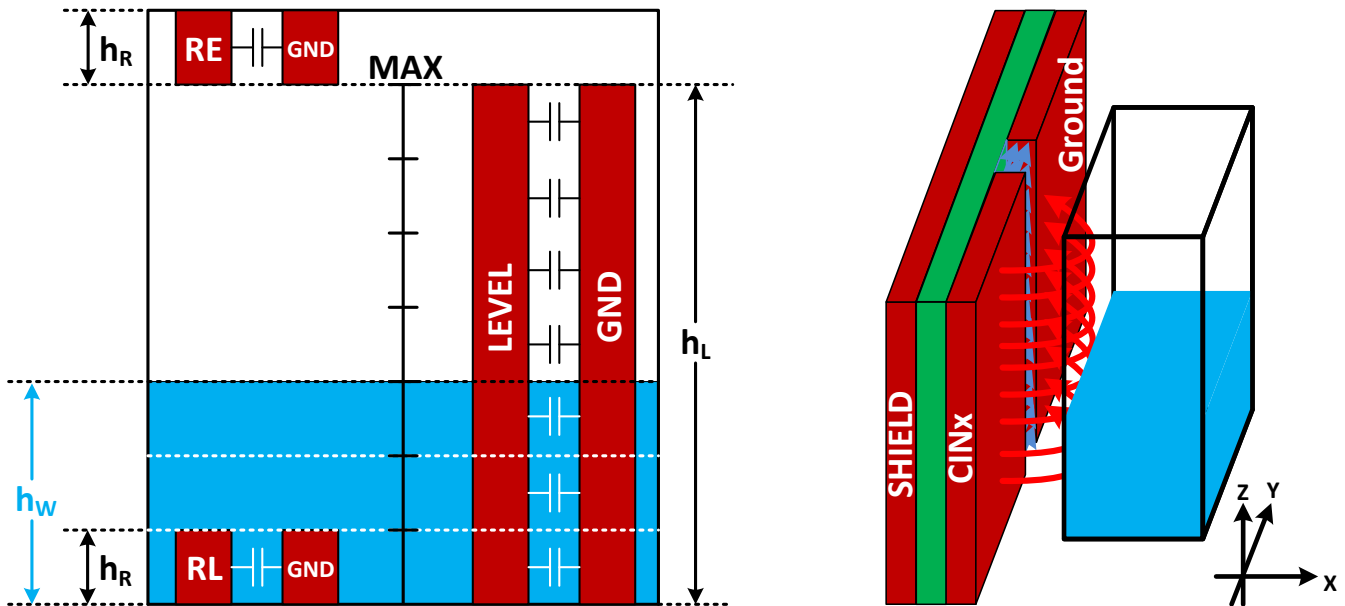


图 2-1. 电容式液位检测

电容式液位检测的另一种实现方式是 [电容式检测：异相液位技术](#)。该技术使用对称传感器布局以及液位传感器 (上方的 LEVEL、GND) 的相等且相反的波形。因此，被测液体的电势为零或接近零，这会降低系统对干扰或寄生电容的敏感程度，例如当人手或其他接地物体接近容器时。图 2-1 中可以实施异相 (OoP) 技术，方法是将 LEVEL/GND 传感器对中的 GND 传感器替换为由与 LEVEL 传感器波形大小相等且相反的信号驱动传感器。

作为柔性 PCB 实现的 OoP 传感器阵列可用作 [电容式液位检测传感器参考设计](#)。它与 [FDC1004 \(适用于电容式检测解决方案的 4 通道电容数字转换器\)](#) 兼容，其中后者是一款带有源屏蔽驱动器的 4 通道、16 位电容数字转换器。有关电容式液位检测的更多信息，请参阅 [E2E FDC1004 常见问题解答](#) 页面。

### 2.2 超声波

超声波液位检测依赖于从容器一侧的换能器发出一系列脉冲，然后侦听从液体顶部反射的返回脉冲。通过飞行时间 (ToF) 即可得出液位，如图 2-1 所示。

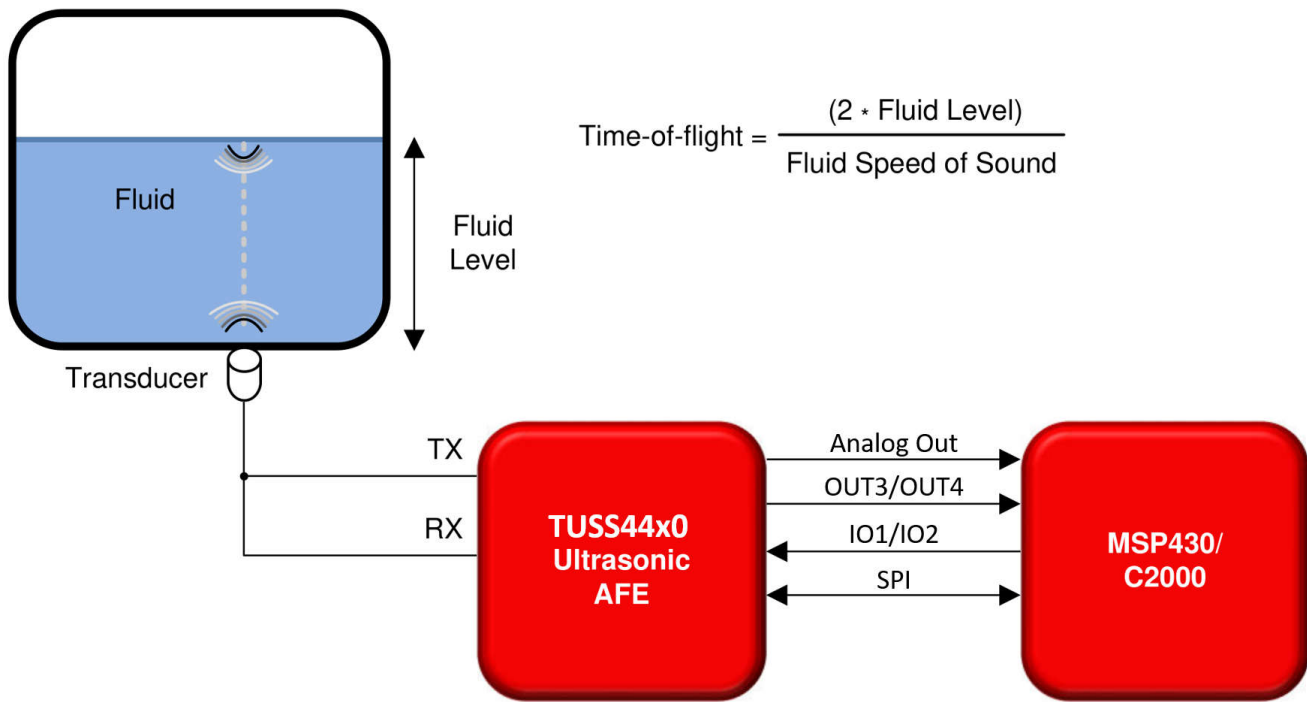


图 2-2. 超声波液位检测

超声波检测可以生成准确的液位读数，在某些条件下甚至可以精确到微米级。与电容式或霍尔效应检测设计相比，超声波检测设计成本更高。与电容式检测设计不同，液体的电气特性不会影响超声波测量。空气耦合超声波检测与水耦合超声波检测具有类似的性能，但换能器安装位置比较灵活，换能器可以安装在容器的上方、下方或内部。

[适用于液位检测、流量检测和液体识别应用的超声波检测基础知识](#) 应用手册提供了有关超声波方案实现的更多详细信息。

## 2.3 磁性霍尔效应实现方案

使用霍尔效应传感器和磁体进行液位检测有多种选择。以下部分介绍了几种不同的方案：

### 2.3.1 不同类型的霍尔效应传感器

使用霍尔传感器测量液位的基本原理是，磁体随水位移动，而霍尔效应传感器则测量移动磁体产生的磁场。根据测得的磁体磁场，系统可以确定磁体的位置。

TI 提供多种不同类型的霍尔效应传感器：锁存器、开关、单轴线性传感器和 3D 线性传感器。线性传感器可以提供详细的磁性数据，因为它们使用模拟电压或数字表示来表示磁通密度，而磁通密度会随着器件周围磁场的变化而变化。

可以使用两个彼此正交的 1D 传感器从两个方向检测磁场。或者，也可以改用一个 2D 或 3D 传感器检测正交轴上的磁场。图 2-3 展示了 3D 线性霍尔效应传感器 TMAG5170 的三轴灵敏度映射示例。X、Y 和 Z 方向的映射以及正磁场的定义方式可能因器件而异。

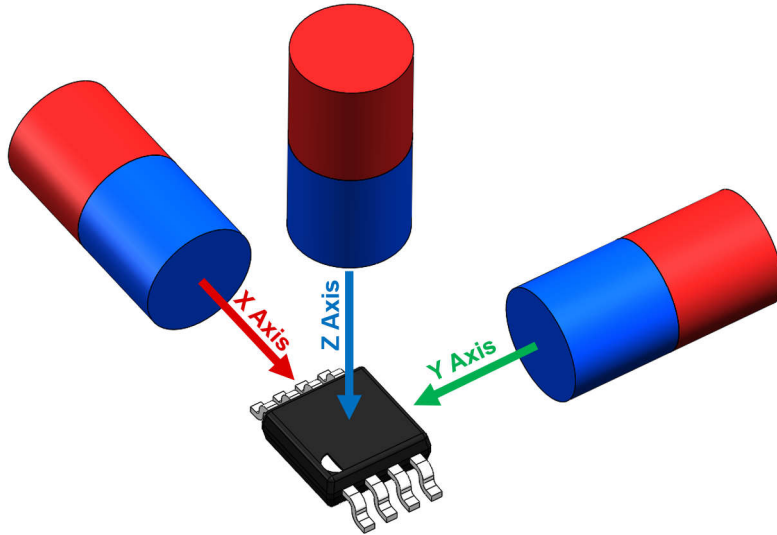


图 2-3. 3D 霍尔传感器轴

TI 提供多种 3D 线性霍尔效应传感器，这些传感器具有 SPI 和 I2C 等不同的接口选项。表 2-1 中列出了这些传感器。TMA5170D-Q1 等双芯片传感器在单个器件封装内提供集成冗余，这对于许多汽车应用尤其重要。

表 2-1. TI 线性磁位置传感器

器件	类型	特征	设计注意事项
<a href="#">TMAG5170</a> 和 <a href="#">TMAG5170-Q1</a>	3D 霍尔效应	具有 SPI 接口、采用 8 引脚 DGK 封装的商用及汽车级线性 3D 霍尔效应位置传感器	高磁矢量灵敏度。该器件能够跟踪各种磁体位置，但仍需要仔细规划，确保所有输入条件都映射到特定位置。
<a href="#">TMAG5170D-Q1</a>	3D 霍尔效应	具有 SPI 接口、采用 16 引脚 TSSOP 封装的双芯片汽车类高精度 3D 线性霍尔效应传感器	与 TMAG5170 相同，但传感器芯片堆叠，便于集成冗余。专为功能安全应用而开发，并提供资源来支持高达 ASIL D 级别的设计。
<a href="#">TMAG5273</a>	3D 霍尔效应	具有 I2C 接口、采用 6 引脚 SOT-23 封装的商用级线性 3D 霍尔效应位置传感器	与 TMAG5170 类似，但可在 I2C 上运行，具有更宽的灵敏度容差规格。
<a href="#">TMAG5173-Q1</a>	3D 霍尔效应	具有 I2C 接口、采用 6 引脚 SOT-23 封装的汽车级线性 3D 霍尔效应位置传感器	在 I2C 上运行，性能优于 TMAG5273。
<a href="#">TMAG6180-Q1</a> 和 <a href="#">TMAG6181-Q1</a>	2D AMR	这些器件均为基于异性磁阻 (AMR) 技术的高精度角度传感器。TMAG6180-Q1 具有 360° 的角度范围，而 TMAG6181-Q1 具有集成的匝数计数器。	支持针对高达 60,000RPM 的角速度同时提供差分 and 单端正弦/余弦输出，无需系统级校准即可在整个温度范围内提供小于 0.6 度的角度误差。

与电阻滑动片实现方案相比，霍尔效应传感器更可靠，并且受湿度、灰尘或水等环境变化的影响最小。霍尔效应液位检测实现方案不容易出现机械解决方案中的磨损问题，从而延长了这些解决方案的使用寿命。

### 2.3.2 实现方案 1：浮动磁体加上线性霍尔效应传感器

一种实现方式是将磁体置于浮子中，使得磁体随着液位的变化而上下垂直浮动。

在图 2-4 所示的迎面方向上，传感器直接放在磁体下方，以便当磁体上下浮动时，磁体会移向和远离传感器。有关迎面实现方案的更多详细信息，请参阅 [使用霍尔效应传感器进行迎面线性位移感应](#) 应用简报。

在图 2-5 所示的滑过方向上，传感器放在磁体旁边，以便磁体在传感器旁边移动。有关滑动位移实现方案的详细信息，请参阅 [使用线性霍尔效应传感器跟踪滑动位移](#) 应用简报。

液位测量范围和分辨率会因磁体的尺寸和强度以及传感器灵敏度而受到限制。这种设置有时需要较大的磁体，因此需要较大的浮块。如果因为容器的几何形状而导致距离过大，也可能会出现问题，因为离磁体越远，磁场就会大大减弱。如果系统只需要知道容器是否将空后者判断是否有容器液位较浅，则迎面和滑过配置都效果不错。

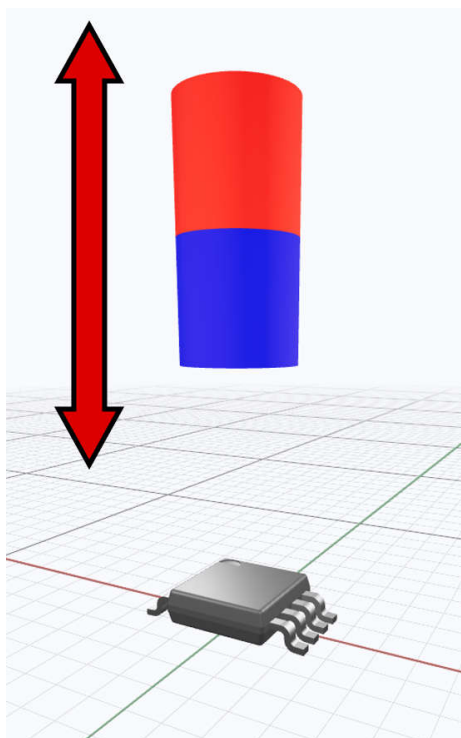


图 2-4. 迎面

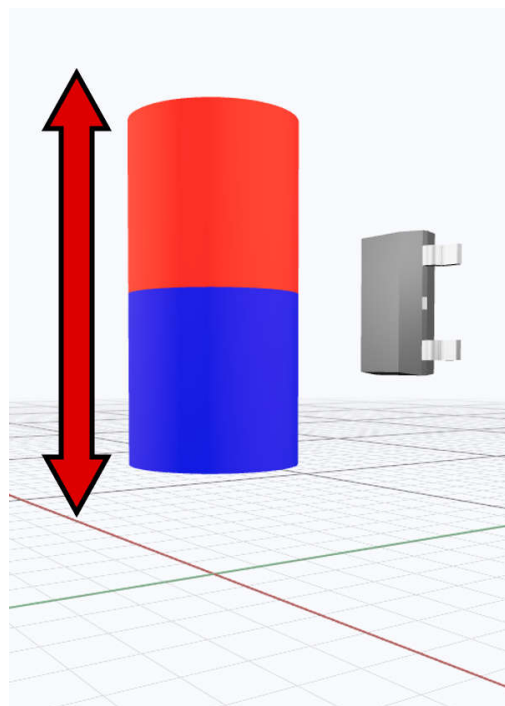


图 2-5. 滑过

### 2.3.3 实现方案 2：浮动磁体加上锁存器或开关阵列

可以使用一组传感器，每当磁体经过各个传感器时，便表示液体达到相应传感器所在的位置，从而以此判断具体的液位。如果需要传感器在液位超过其所在位置时保持活动状态，可以将霍尔效应锁存器与侧向磁体搭配使用，如图 2-6 所示。当需要知道磁体位于传感器之间的液位区间，而无需跟踪最近检测到的液位时，此方法可能非常有用。

霍尔效应开关可以与面向传感器的磁体搭配使用，如图 2-7 所示。如果系统只需要知道液体何时达到特定液位，而无需知道磁体位于传感器之间的液位区间，此方法会非常有用。

这两种设置都需要在每个液位检测位置处放置一个传感器，因此需要一个与检测区域长度相同的 PCB。但是，与垂直浮动磁体设置相比，此设计可以使用更小的磁体。

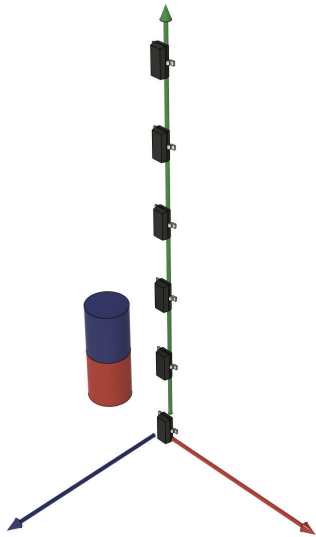


图 2-6. 霍尔锁存器阵列



图 2-7. 霍尔开关阵列

### 2.3.4 轴向臂上的浮动装置

磁体可以连接到浮动装置上，以便磁体的角度随浮臂的高度而变化。如图 2-8 所示，与其他设计相比，此设置可以使用极小的磁体，并且只需通过更改浮臂的尺寸，即可测量任何大小容器内的液位。此实现只需要一个传感器。传感器可以与磁体同轴放置，也可以放置在侧面。

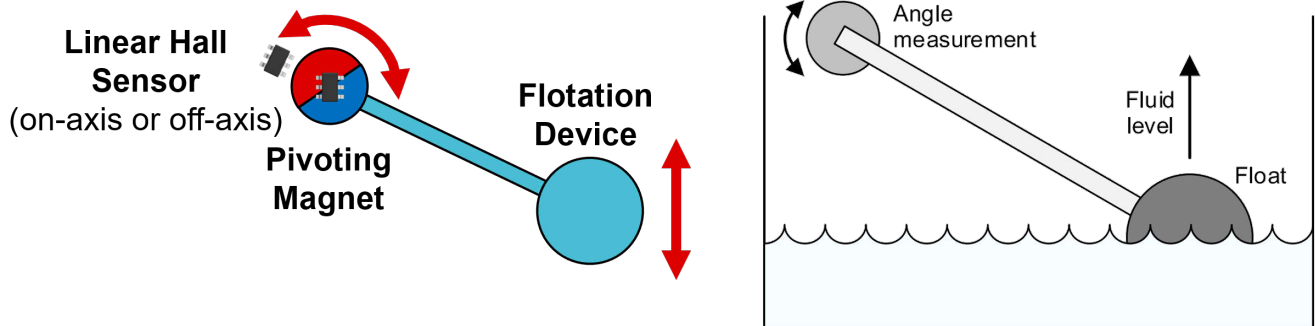


图 2-8. 旋转磁体浮臂实现

常见的测量拓扑包括同轴或离轴角度测量中的角度位置测量，如图 2-9 所示。尽可能选择同轴测量拓扑，因为这样可以实现磁场和器件测量范围的最佳优化。TMAG5273 提供了片上增益调整选项，以应对机械位置错位问题。



图 2-9. 同轴角度测量与离轴角度测量

图 2-10 显示了同轴测量的 X 和 Y 传感器数据示例，其中两个轴的磁场强度相等。图 2-11 显示了离轴测量的传感器数据示例，其中 Y 轴的磁场强度是 X 轴的一半。

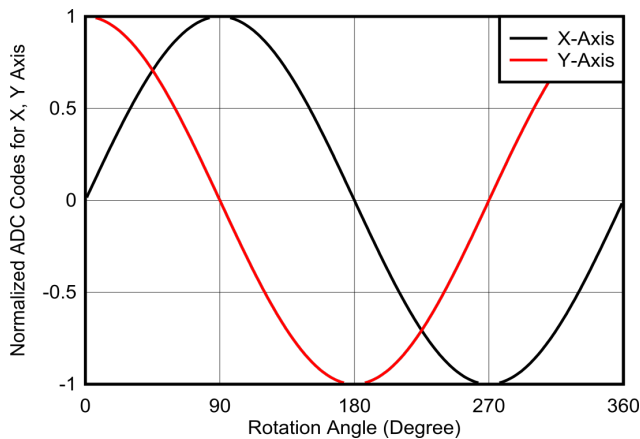


图 2-10. 进行同轴测量时 360 度全方位旋转的 X 和 Y 传感器数据

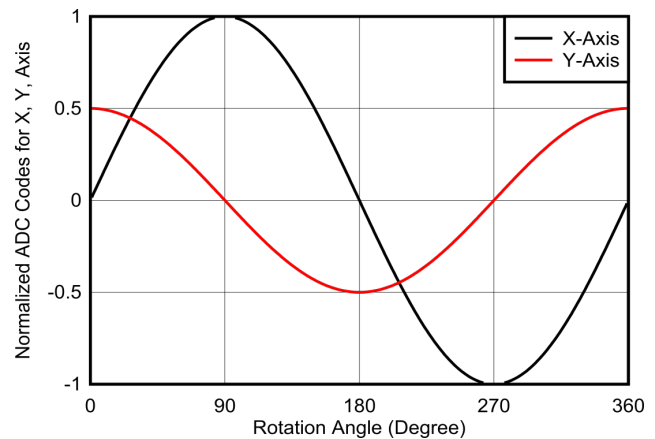


图 2-11. 进行离轴测量时 360 度全方位旋转的 X 和 Y 传感器数据

传统的车辆燃油传感器系统采用旋转式浮动传感器实现。这类实现通常在与电阻滑动片相连的臂上带有泡沫块。随着浮子高度下降或上升，滑动片的电阻会发生变化。电流通过滑动片电阻流入双金属片周围的加热线圈。加热时，双金属片会向一个方向弯曲，并移动燃油表指针。该系统无法针对燃油箱的形状做出补偿，并且电阻滑动片和双金属片容易出现磨损。它还会在燃油表中产生非线性行为，即在油箱加满后，即使燃油在减少，燃油表也会显示油箱是满的，经过一段时间后，燃油表才会开始显示燃油减少，然后随着燃油不断消耗，燃油表中的燃油量下降速度会越来越快。现代车辆可能会使用微控制器来从滑动片电阻读取电压，并以数字方式显示燃油油位。

浮臂与磁体和霍尔传感器配合使用，可提供低成本的单传感器液位检测设计。



### 3 功能演示设计

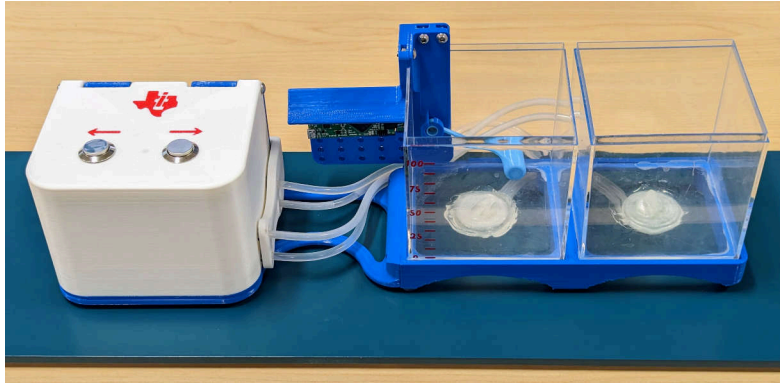


图 3-1. 完整演示概述

图 3-1 中所示的这一功能原型旨在演示使用 TMAG5273 进行液位检测。左侧的白色盒子包含一个 DRV8704 电机驱动器 EVM 和一对将水从一个水箱输送到另一个水箱的泵。中间的水箱配有 TI-SCB 和 TMAG5273EVM 以及浮臂和磁体。

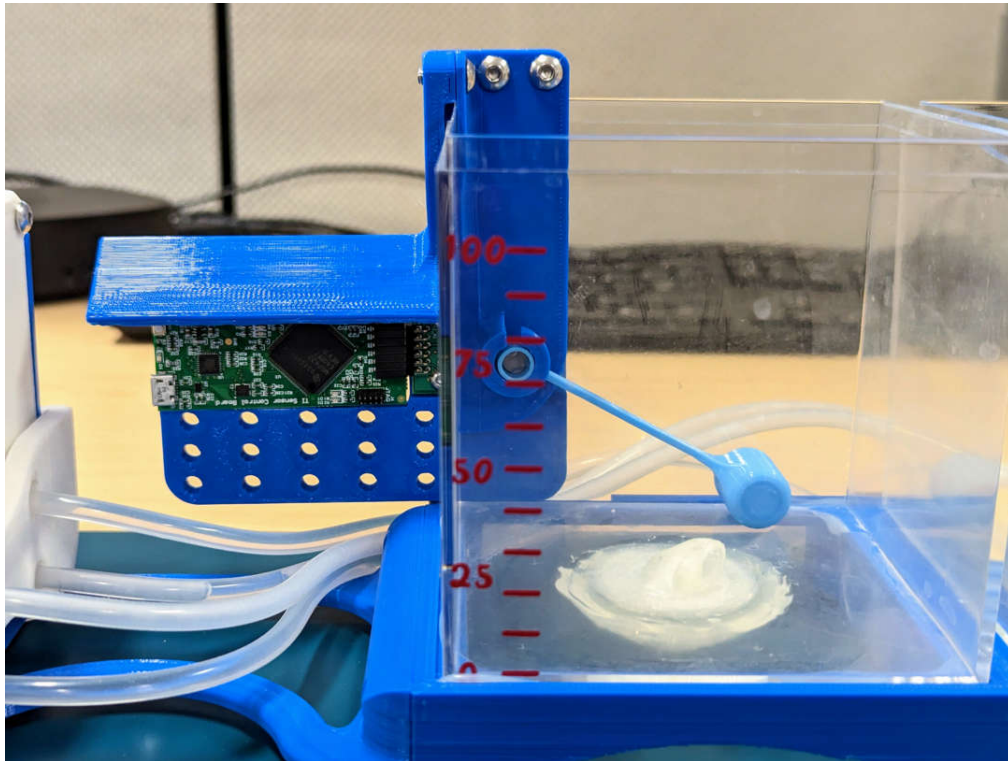


图 3-2. 关注检测部分的演示特写

图 3-2 显示了演示中检测部分的近距离视图。水箱正面贴有一个从 0 到 100 的刻度。水箱底部中央的白色附着物用于改变水流方向，使水从水箱的角落慢慢流出，而不是像喷泉一样从容器中垂直喷出。

TMAG5273EVM 和 TI-SCB 安装在水箱外的一些 3D 打印件上，如图 3-3 所示。由于它们位于水箱外部，因此电子器件不会弄湿。

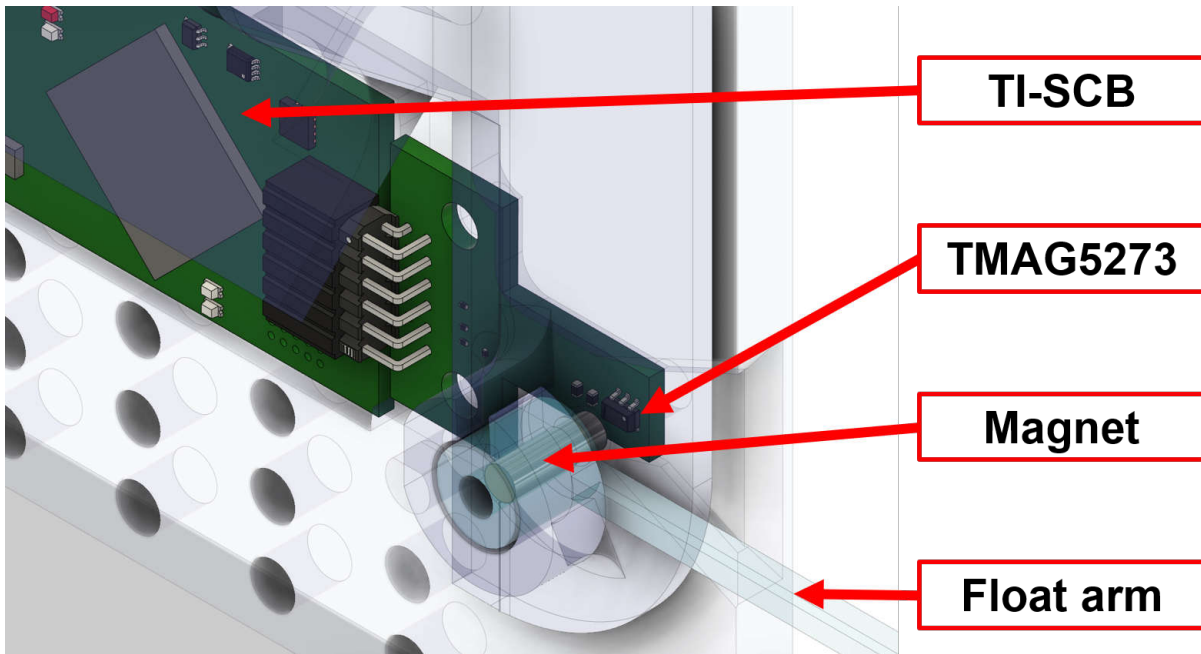


图 3-3. 主要元件位置

出于演示目的，这里使用了一对自吸泵将水从一个水箱输送到另一个水箱。一个泵将水从左水箱输送到右水箱，另一个泵将水从右水箱输送到左水箱。这些泵由 [DRV8704EVM](#) 驱动。虽然 [DRV8704](#) 可以双向运行电机，但这些泵只能向一个方向抽水，因此演示中使用了两个泵，而不是一个泵。借助这种泵设置，用户只需按一下按钮，即可为液位检测水箱加水 and 排水。

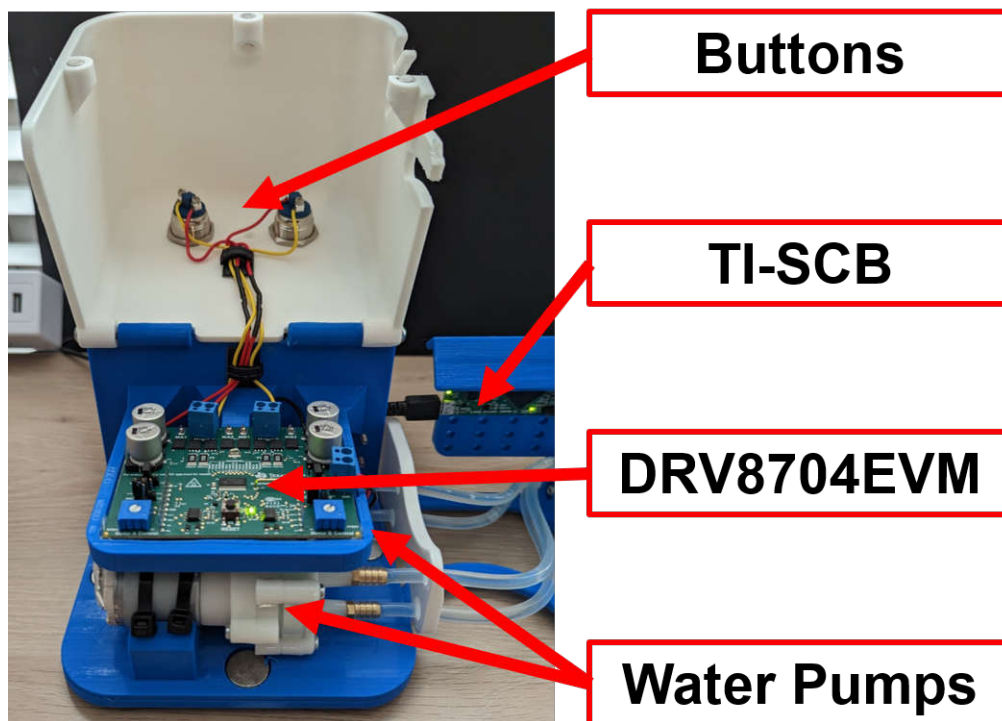


图 3-4. 泵盒

### 3.1 浮臂

对于此应用，必须将径向磁体安装在浮子传感器上，使其随着浮臂的运动而旋转。当浮子上升时，磁体将沿一个方向旋转，而当浮子下沉时，磁体将沿另一个方向旋转。图 3-5 中展示了该运动。

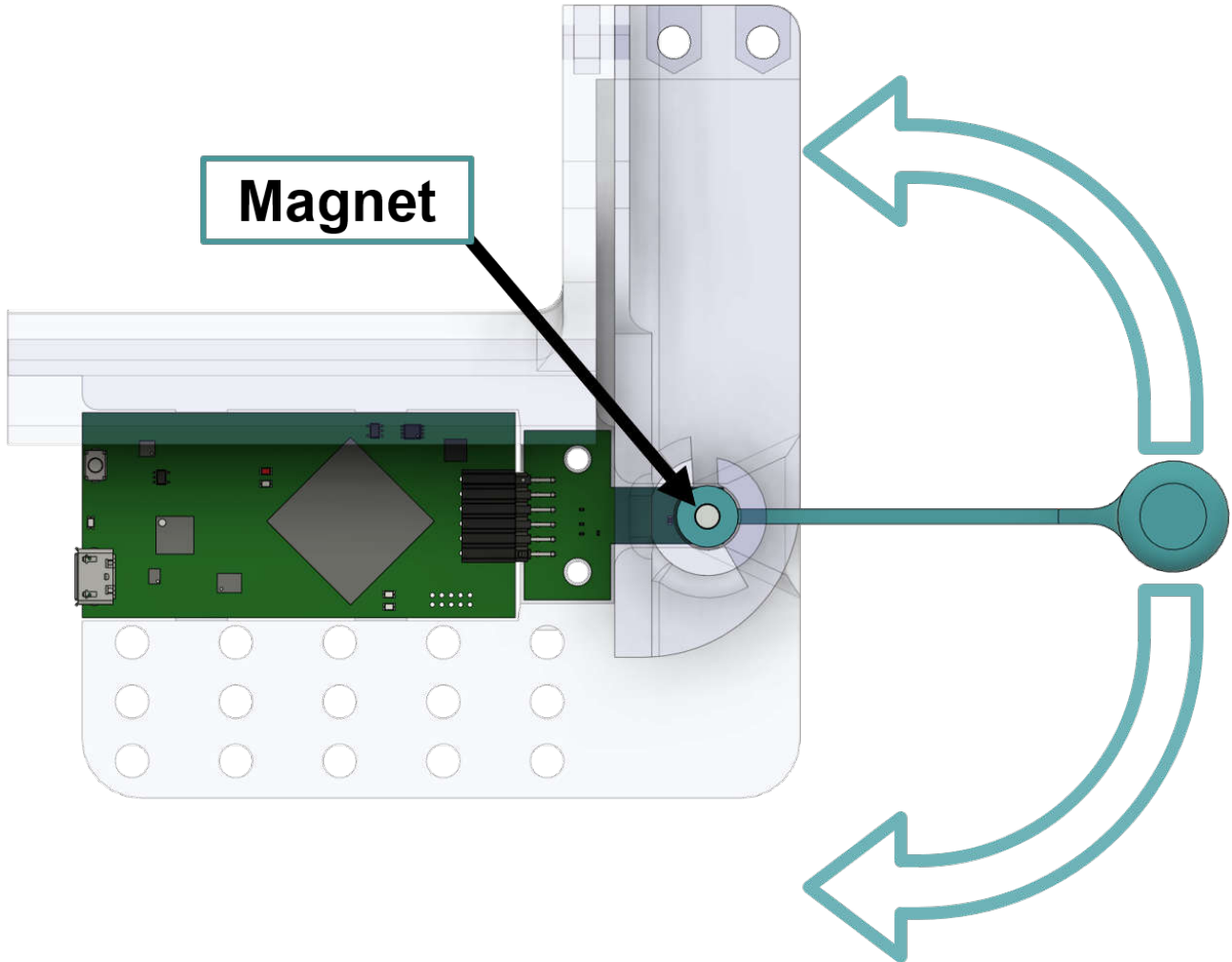


图 3-5. 浮子旋转和磁体放置

霍尔传感器安装在贮水容器的外部，用于透过容器侧壁检测磁场。磁体的尺寸将决定磁场的强度，进而决定磁体和传感器之间的最大距离。

此演示使用 3 种不同的浮臂模型测试了 3 个不同尺寸的径向圆柱磁体，磁体直径分别为 1/8 英寸、3/16 英寸和 1/4 英寸，如图 3-6 所示。这三个磁体均适用于该解决方案，并且磁场强度足以确保透过水箱壁准确地跟踪角度。

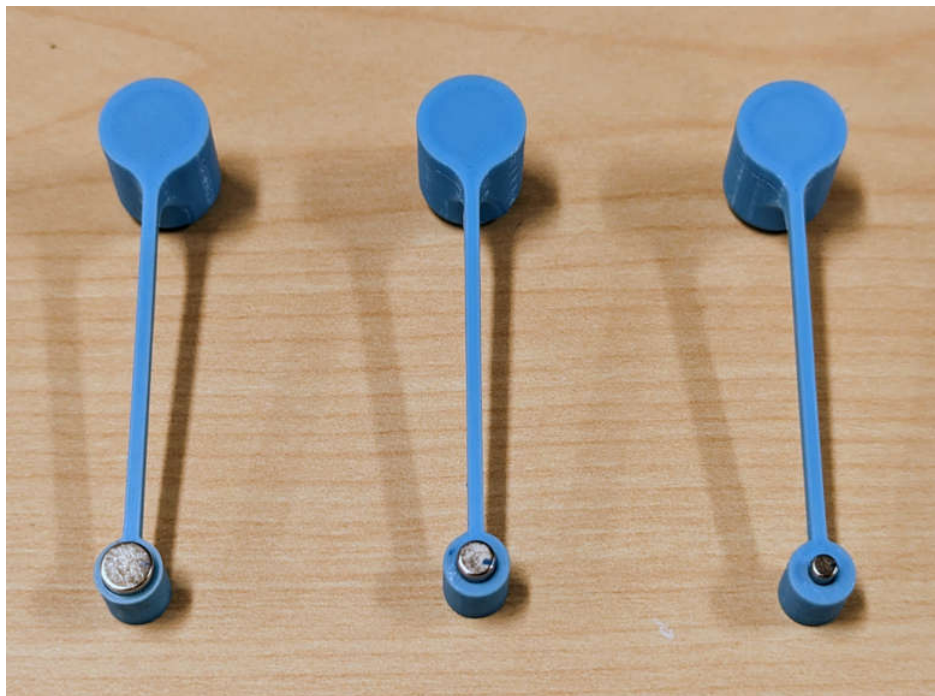


图 3-6. 三个装有不同尺寸磁体的浮臂

在此设置中，组装完成后，磁体距离 TMAG5273 表面约 4mm。使用 1/8 英寸的磁体时，这样得到的最大磁场强度为 19.3mT (图 3-7)，而使用 1/4 英寸的磁体时，最大磁场强度则为 42.9mT。根据 3D 打印和组装的精度，您可能需要将 TMAG5273 的最大输入设置从 40.0mT 增加到 80.0mT。图 3-8 显示了 TI 磁感应仿真器 (TIMSS) 针对 1/8 英寸径向磁体与传感器相隔 4.00mm 时的仿真结果。TIMSS 可以在 [TI-MAGNETIC-SENSE-SIMULATOR](#) 处找到。

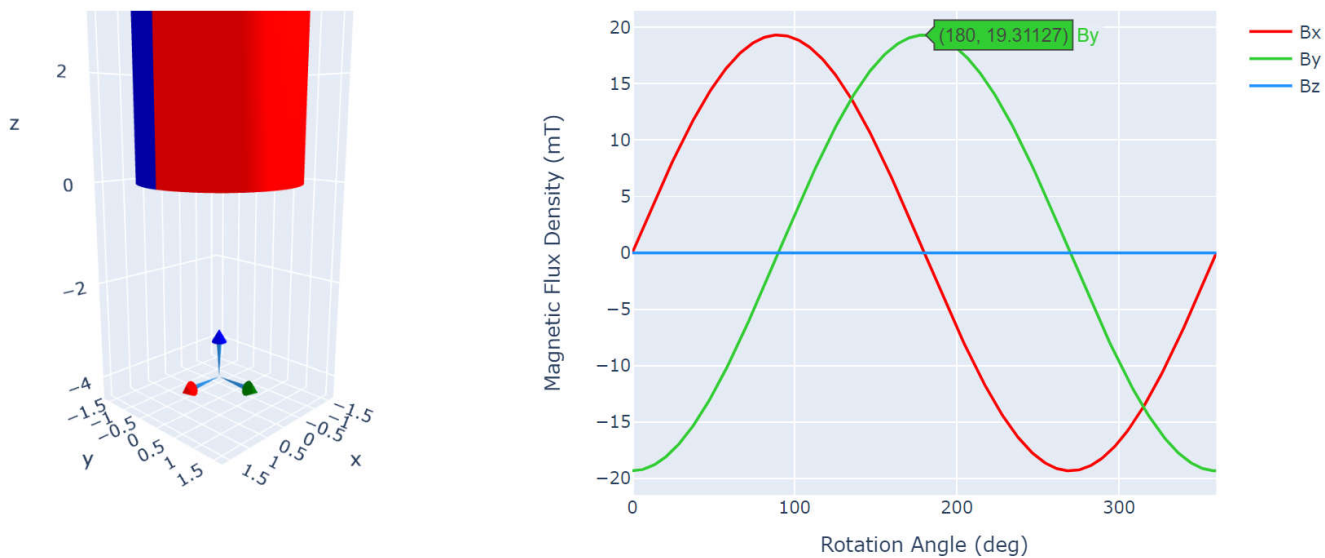


图 3-7. 使用 1/8 英寸磁体时 4.0mm 处的磁场强度结果

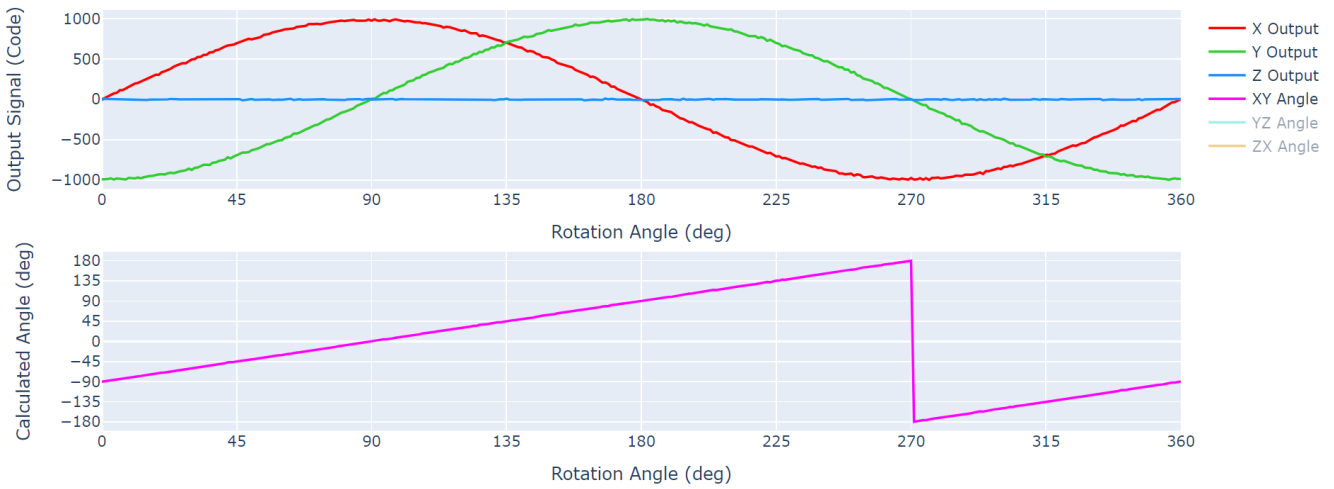


图 3-8. 360° 范围内的 TMAG5273 输出

此设计可以轻松修改，以便与多种尺寸的水箱配合使用。只需更改浮臂的长度以及磁体和传感器的高度即可。图 3-9 显示了针对更大贮水容器做出调整后的演示，其中使用了更长浮臂并调整了传感器位置。当传感器位于水箱的中间高度并且浮臂的长度刚好足以达到水箱的底部和顶部时，可以实现最大的可测量距离。浮臂越长，角度测量范围越小。当浮臂较短时，测量范围接近 180°，而当浮臂较长时，如果空时的角度可以为 0°，则满时的角度只能为 45°。因此，需要为终端设备系统设计一个适当形状的浮臂。

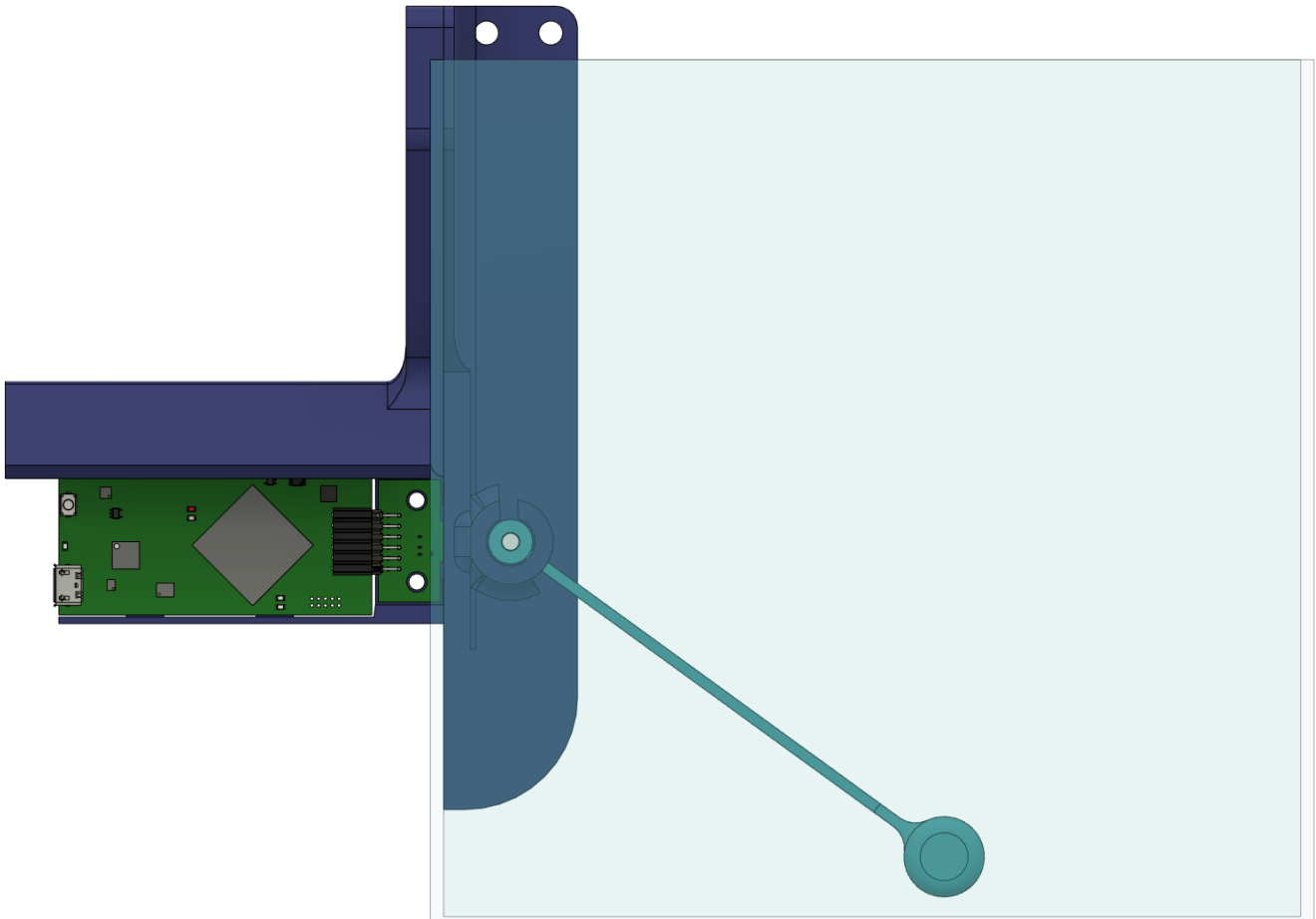


图 3-9. 针对更大贮水容器调整设计

### 3.2 GUI 操作

此演示的 Web GUI 可在 [https://dev.ti.com/gallery/info/PositionSensing/TMAG5x73\\_LiquidLevelDemo/](https://dev.ti.com/gallery/info/PositionSensing/TMAG5x73_LiquidLevelDemo/) 上找到。您必须在 *dev.ti.com* 上登录您的帐户，才能访问 GUI。点击任意位置的空白即可启动 GUI。通过点击下载按钮并选择相应的下载项，可以下载演示以供离线使用。

打开 GUI 并将 TI-SCB 与 TMAG5273 A1 连接。导航至 “Registers” 页面并设置以下项目：

- (可选) 将 DEVICE\_CONFIG\_1→CONV\_AVG 设置为 “101b= 32x Average ...”
- 将 SENSOR\_CONFIG\_1→MAG\_CH\_EN 设置为 “0011b = X, Y Channel Enabled”
- 将 SENSOR\_CONFIG\_2→ANGLE\_EN 设置为 “01b = X 1st - Y 2nd” 角度计算
- 确认 A1 EVM/器件版本的 SENSOR\_CONFIG\_2→X\_Y\_RANGE 为  $\pm 40\text{mT}$ 。

然后，在寄存器映射页面顶部，将 *Auto Read* 设置为 *As fast as possible*。

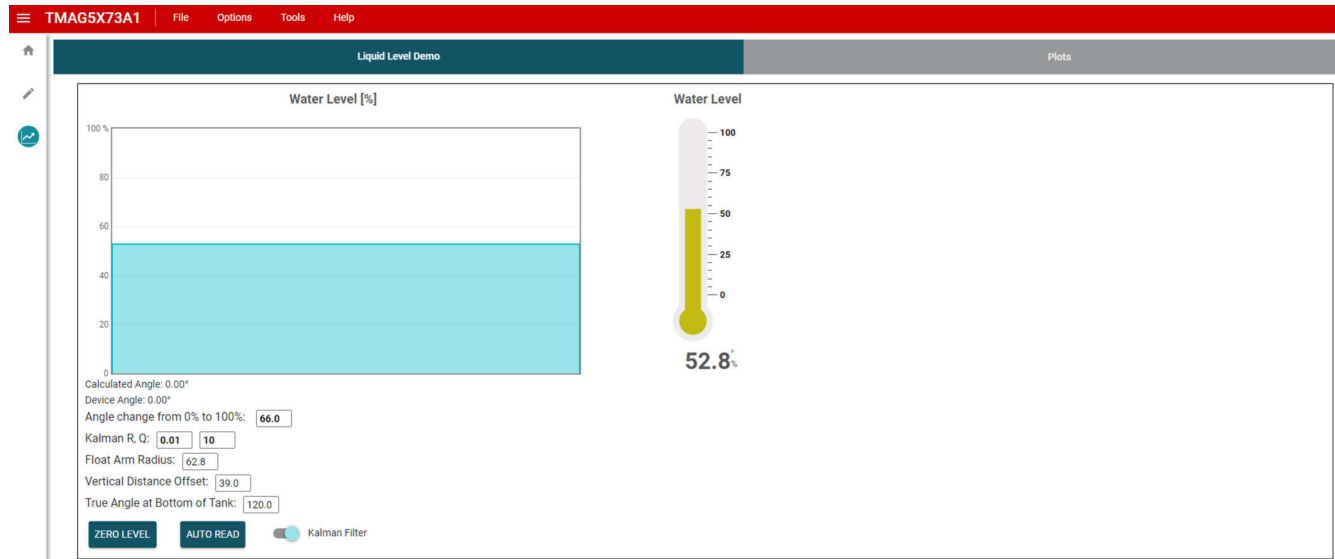


图 3-10. GUI 概述

接下来，导航到 “Plots” 页面。“Liquid Level Demo” 选项卡将打开，如图 3-10 所示。

窗口上第一个图下方显示了 *Calculated Angle* 和 *Device Angle*。*Device Angle* 是 TMAG5273 器件本身报告的角度，以  $0.25^\circ$  为增量。*Calculated Angle* 是根据所选两个轴的磁场强度计算得出的角度，演示中的磁体方向为 X 和 Y。

GUI 值最初是为我们使用 4"×4"×4" 亚克力立方体的演示设置配置的。3D 打印零件位于水箱边缘上，磁体和传感器距离水箱底部 39.0mm。浮臂的半径为 62.8mm。对于粘附到浮臂上的磁体，TMAG5273 读取的真实角度为  $120^\circ$ ，当水箱中的水从 0% 到 100% 时角度改变 66 度 (到  $54^\circ$ )。所有这些参数都可以根据终端系统进行调整，以适应任何尺寸的水箱或浮臂半径。图 3-11 中显示了这些参数。这些参数用于计算浮子上升时水箱充满的百分比。它计算浮臂随液位上升而呈圆弧运动时的垂直距离变化。

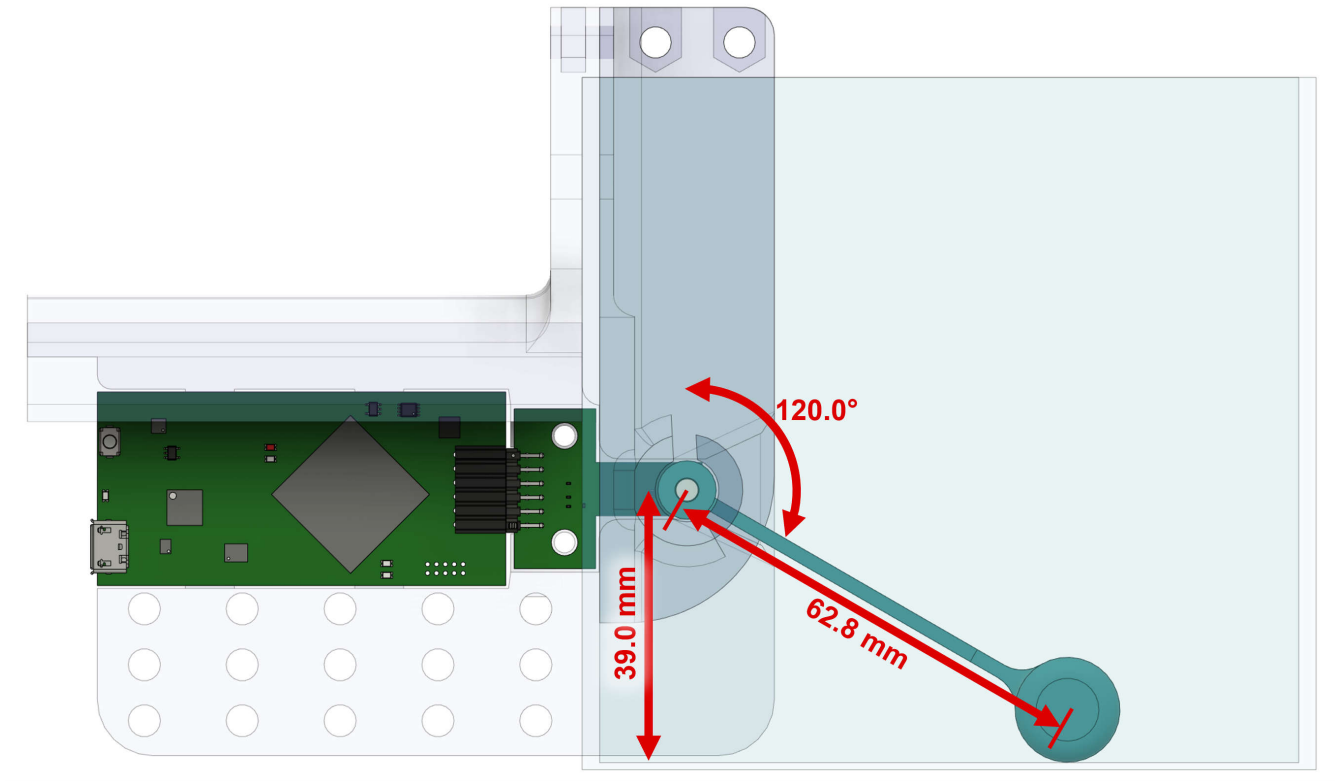


图 3-11. GUI 预设可配置参数

GUI 包含配置控制，用于控制应用到数据的卡尔曼滤波器的 R 和 Q 值。这实际上是一个移动平均法，有助于将水箱中的液体溅射问题纳入考虑范围。默认情况下，R 的值为 0.01，Q 的值为 10，但可以根据每个应用的设计调整这些值。底部有一个拨动开关可以完全禁用卡尔曼滤波器。

当水箱中没有水时，点击 **ZERO LEVEL** 按钮以设置浮臂的零位置。不同应用中浮臂的零位置可能会有所不同，具体取决于磁体的安装方式以及系统处于空液位时磁体的位置。

这两张图都显示了为容器添加或排出液体时的液位。这两个图表显示相同的数据，但右侧基于温度计的图表更新速度稍快，并且具有较大的填充百分比读数。如果导航到“Plots”选项卡，GUI 也可以像标准 TMAG5273 EVM GUI 一样工作。

### 3.3 3D 打印零件方向和设置

TMAG5273 在设计时就考虑了使用 3D 打印来快速制作原型，因此所有零件都可以在常见的业余级 3D 打印机上使用 PLA 塑料进行轻松打印。所有演示零件均在带有 0.4mm 喷嘴的 Prusa MK3S 上使用 PLA 线材进行打印。

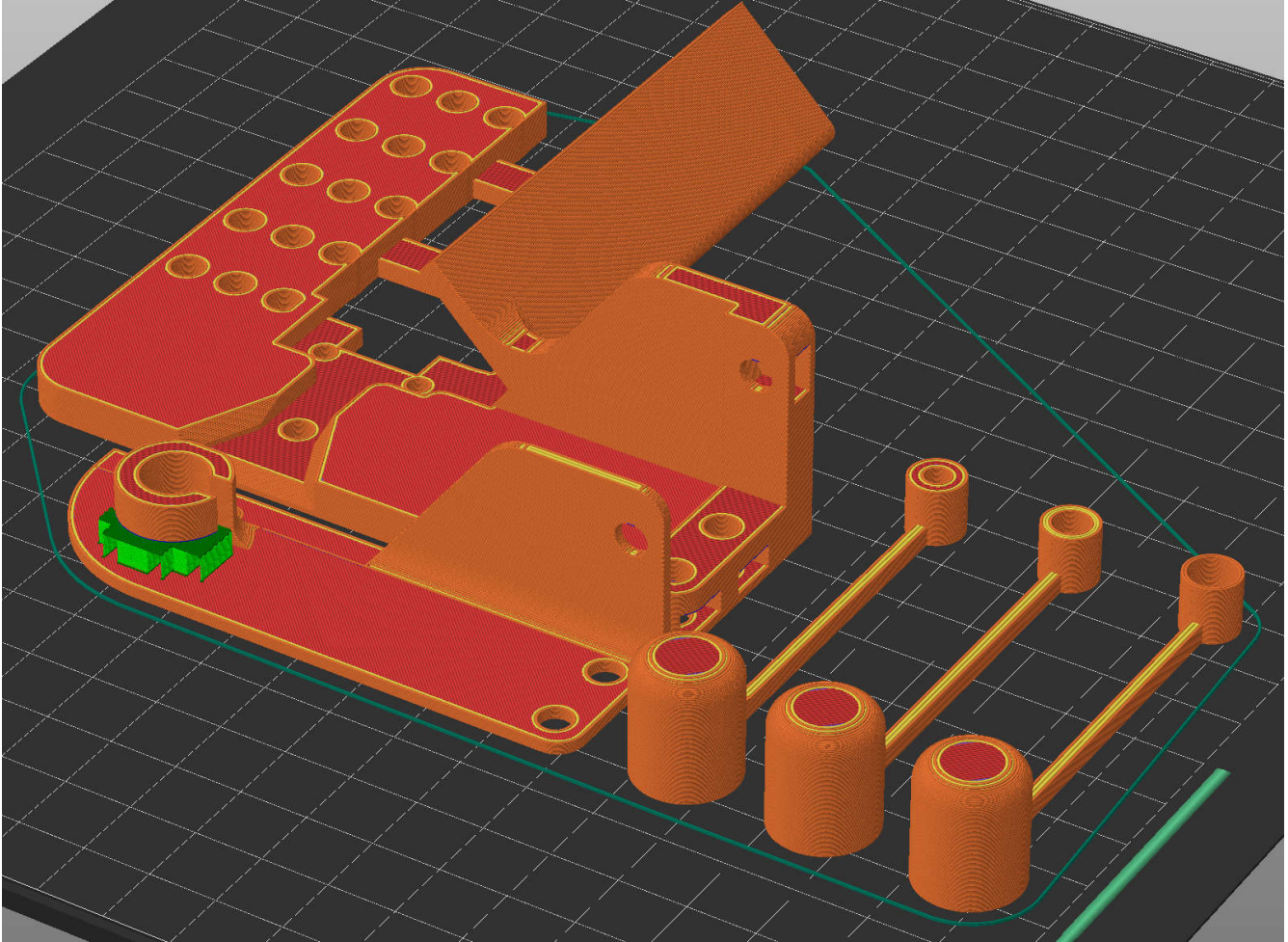


图 3-12. 切片器中的零件方向

调整切片器中 3D 打印零件的方向，如图 3-12 所示。建议为 *Liquid Level Inside Piece.stl* 在浮臂环状部分下提供支撑，如图 3-12 中的绿色所示。浮子打印成尽可能中空，以实现最大的浮力。演示中的浮子使用 3 种周长和 10% 填料进行打印。浮子的空心端部也可以用泡沫块或其他有浮力的材料替换。



## 4 总结

可以通过多种方式使用霍尔效应传感器来测量容器中的液位。既可以使用一组霍尔效应锁存器或开关来测量一个浮动磁体的磁场，也可以使用一个霍尔效应开关来测量一个迎面磁体在上下浮动时的磁场变化，又或者可以使用一个 3D 线性霍尔效应传感器来测量浮臂上所连磁体的旋转情况。使用浮臂的 3D 线性霍尔效应实现方案能够以小尺寸磁体提供稳定而准确的读数。可以根据需要通过设计不同形状的浮臂或使用不同的磁体或传感器来改变该设计的测量能力。

## 5 参考文献

### 5.1 器件支持

- [TI 磁感应仿真器 \(TIMSS\)](#)
- [TMAG5273 产品页面](#)
- [TI 传感器控制板 \(TI-SCB\) 产品页面](#)
- [TMAG5273EVM 产品页面](#)
- [TMAG5x73 代码示例](#)

### 5.2 相关文档

1. 德州仪器 (TI), [\[常见问题解答\] 在医疗应用中, 您建议使用哪些解决方案通过液位检测和其他输送方法来测量液体?](#)
2. 德州仪器 (TI), [电容式液位检测传感器参考设计](#)。
3. 德州仪器 (TI), [高分辨率超声波液位检测 应用手册](#)。
4. 德州仪器 (TI), [利用线性霍尔效应传感器测量角度概述 应用简报](#)。
5. 德州仪器 (TI), [TI 磁感应仿真器 \(TIMSS\)](#)
6. 德州仪器 (TI), [线性霍尔效应传感器阵列设计 应用手册](#)。
7. 德州仪器 (TI), [使用多轴线性霍尔效应传感器进行角度测量 应用手册](#)。
8. 德州仪器 (TI), [传感器阵列扇出技术和实现 应用简报](#)。
9. 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](#)。

## 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