

摘要

本应用报告介绍了如何将超声波与 MSP4030FR604x MCU 结合使用，从而实现低功耗 (25 μ A) 的高分辨率 (20 微米) 液位感应测量，并构建具有成本效益的系统。

此外，文中还提供了演示源代码和原理图，用以加快超声波传感应用的开发。可以从 [USSWLib_Gas 02_30_00_03](#) 下载相关文件。

有关本应用报告中使用的示例代码和 GUI 的更多信息，请参阅《[适用于燃气流量测量的超声波传感子系统参考设计](#)》。本应用报告使用标准示例和 GUI，无需修改。

内容

1 引言.....	2
1.1 换能器放置.....	3
1.2 EVM430-FR6043 配置.....	3
2 测试结果.....	5
3 OpenSCAD 3D 测试装置.....	7
4 参考文献.....	7
5 修订历史记录.....	7

插图清单

图 1-1. 3D 打印装置和 EVM.....	2
图 1-2. Jiakang 200kHz 换能器.....	3
图 1-3. 超声波配置.....	3
图 1-4. 设计中心配置.....	4
图 1-5. 设计中心配置 (续).....	4
图 2-1. ADC 捕捉 (ADC Capture).....	5
图 2-2. 液位感应测试结果.....	6

商标

所有商标均为其各自所有者的财产。

1 引言

低成本的液位传感器通常使用基于超声波、光学、机械和阻抗的技术来实现。此类传感器通常用于咖啡机、饮水机和燃油表。声音能够通过蒸汽传播，因此超声波可以提供优于光学技术的结果。当使用反射容器时，也会遇到光学技术方面的问题。

超声波换能器不需要与流体接触。因此，超声波对可能影响（基于机械或阻抗的）传感器的精度的流体残留物具有耐受性。超声波传感器还可以提供高分辨率测量值（大约 20 微米），并且对盛装液体的容器无任何特殊要求。使用 MSP430FR6043 进行这些测量时的电流消耗量小于 $25 \mu\text{A}$ 。MSP430FR6043 解决方案使用基于 ADC 的相关技术，与其他基于超声波计时器的解决方案相比，该技术可实现更高分辨率的飞行时间测量。

EVM-FR6043 附带软件，可通过 GUI 进行超声波绝对时间测量并进行可视化，如以下文章中所述：[适用于燃气流量测量的超声波传感器子系统参考设计](#)。在本文档所述的实验中，EVM430-FR6043 与可从 [Jiakang](#) 采购的单个 [Jiakang 200kHz](#) 换能器一同使用。3D 打印装置用于安装换能器以进行实验。将半茶匙液体加入杯中，用以演示系统的灵敏度。



图 1-1. 3D 打印装置和 EVM



图 1-2. Jiakang 200kHz 换能器

1.1 换能器放置

为了获得正确的信号电平，应将传感器放在尽可能靠近被感测液位的位置。图 1-3 描绘了如何相对于容器和其中的水安装换能器。超声波从水面反射，根据发射和接收的超声波信号之间的相关性确定往返飞行时间。

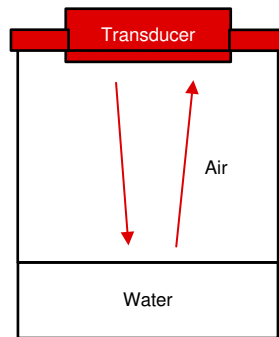


图 1-3. 超声波配置

1.2 EVM430-FR6043 配置

换能器连接到某个换能器连接器，两个正极换能器连接器 (J5 引脚 1 和 J6 引脚 1) 之间用跳线进行连接。EVM 与标准燃气表软件一同使用。EVM 原理图可在此处找到：[TIDM-02003 原理图](#)。

设计中心 GUI 用于配置 MSP430FR6043 和捕获数据。

在图 1-4 和图 1-5 中可以看到用于测试的设计中心配置。

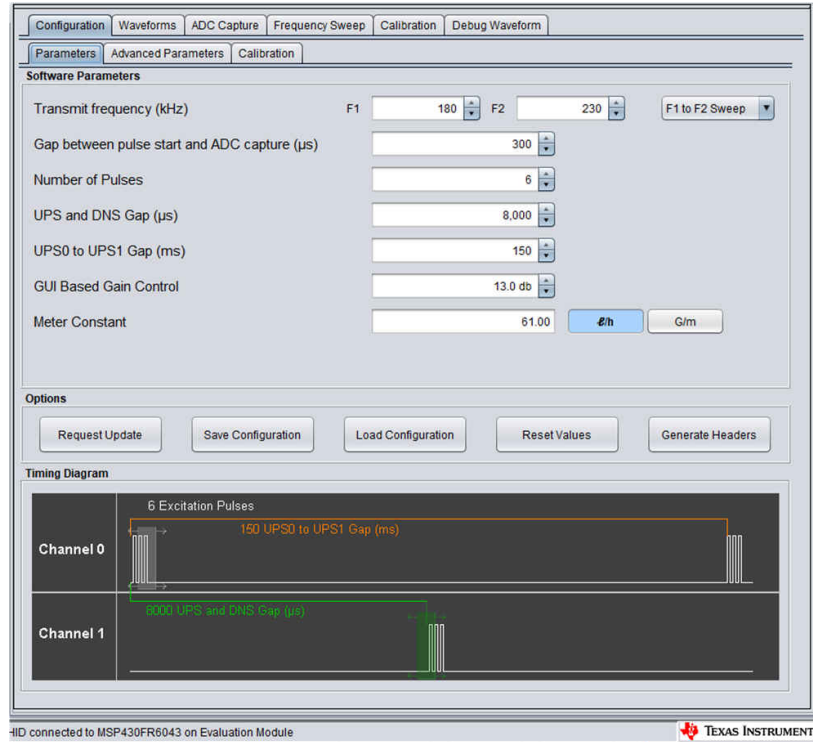


图 1-4. 设计中心配置

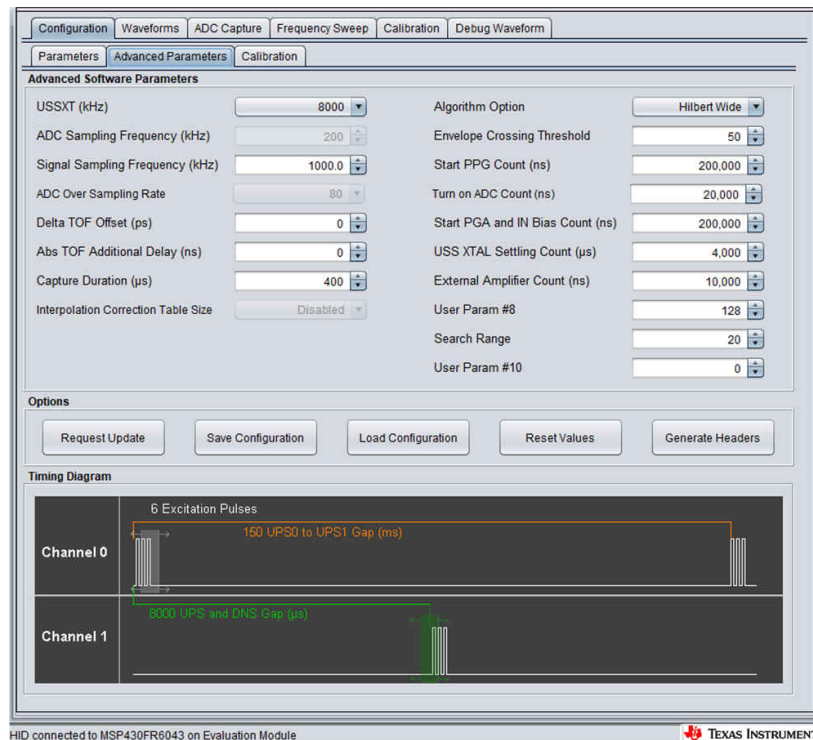


图 1-5. 设计中心配置 (续)

2 测试结果

下面的测试结果显示了捕获的 ADC 波形以及在杯子中加入半茶匙液体后绝对飞行时间发生的变化。此测试是在室温下执行的。

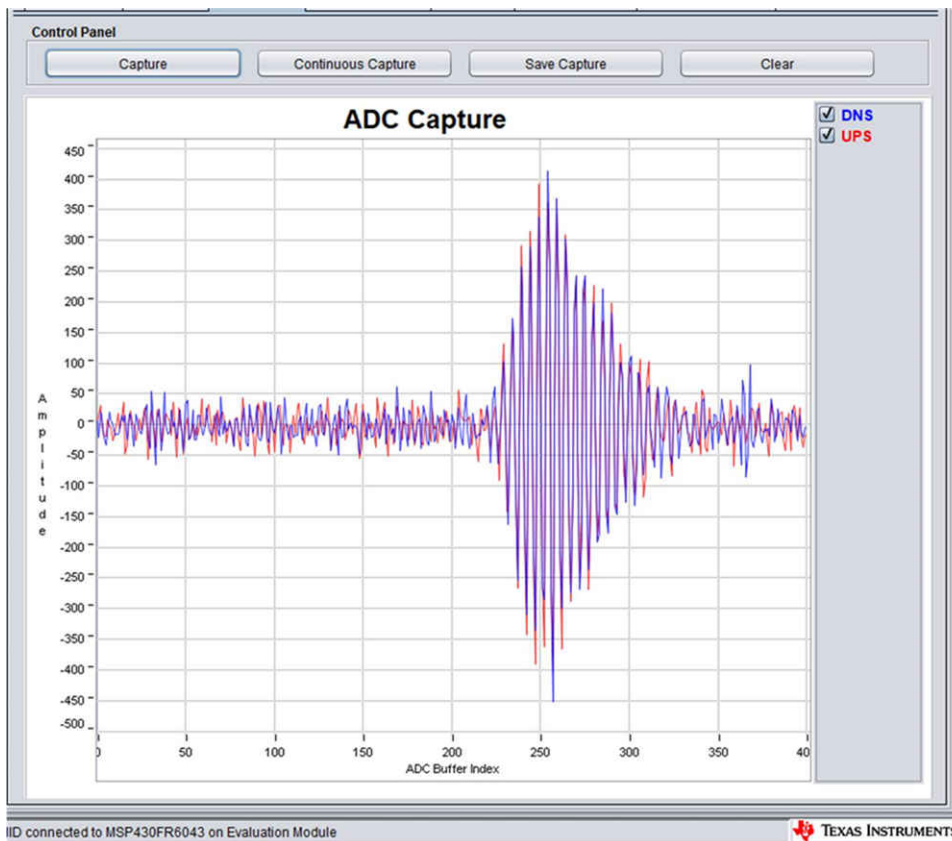


图 2-1. ADC 捕捉 (ADC Capture)

从图 2-2 可以看出，在咖啡杯中加入半茶匙液体后，绝对飞行时间约有 $3 \mu\text{s}$ 的变化。在添加此液体的过程中，通过飞行时间差也可以看到上游和下游信号之间的过渡（也可以解析表面运动）。本文档中所述的测试设置可感应小于 50ns 的绝对飞行时间变化。在室温下，声音在空气中以 343m/s 的速度传播。因此， 50ns 的时间分辨率将转化为 $17 \mu\text{m}$ 的空间分辨率。行进的距离是传感器与液体之间距离的两倍，因此液位感应分辨率约为 $8.5 \mu\text{m}$ 。

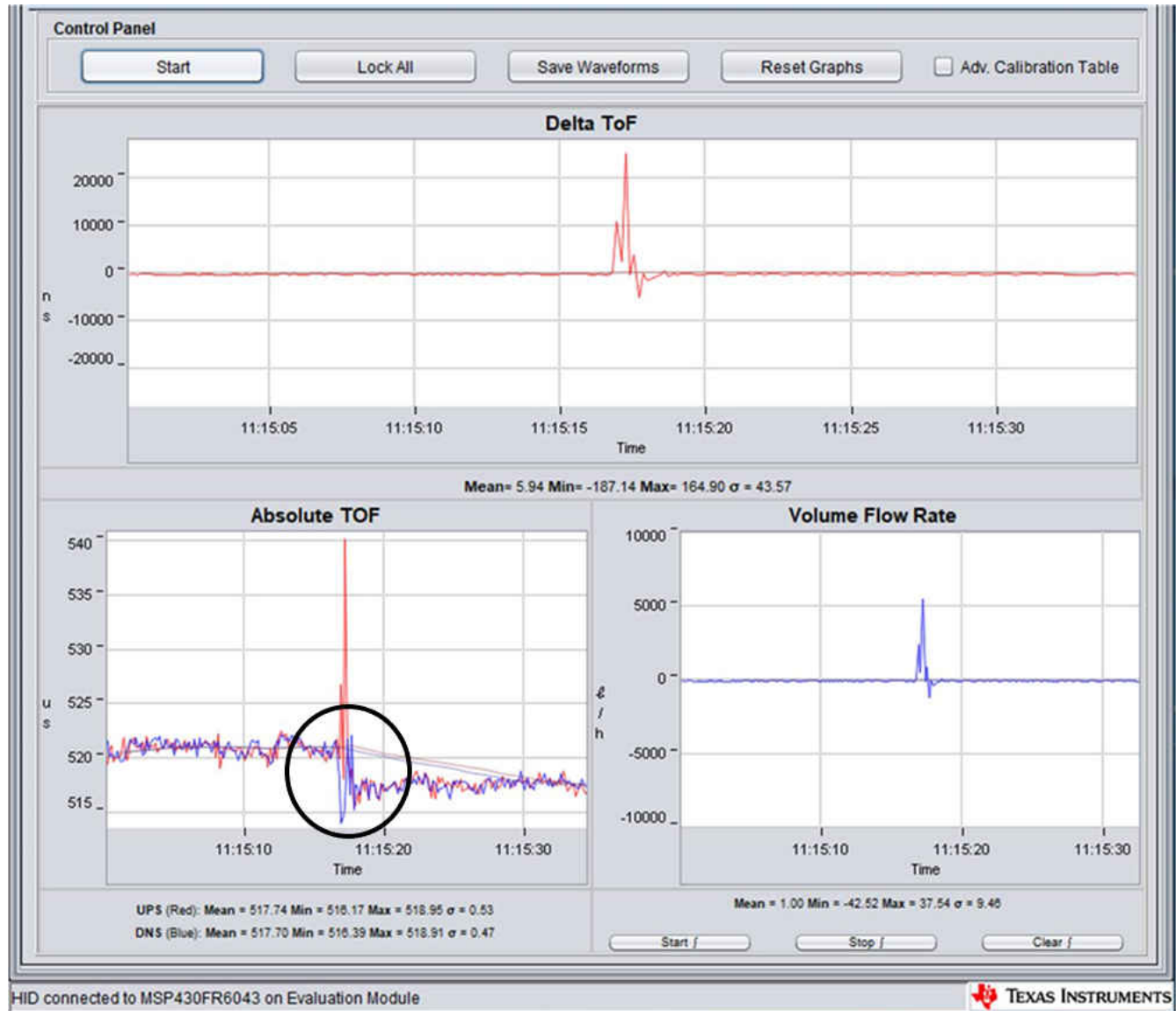


图 2-2. 液位感应测试结果

由于存在衰减（在 3.3V 下），与换能器的最小距离约为 1.5cm ，与换能器的最大距离约为 20cm 。

通过这个简单的实验可以看出，MSP430FR6043 可实现出色的液位感应，并且成本远低于其他解决方案，所需硬件也要少得多。

3 OpenSCAD 3D 测试装置

OpenSCAD 是一款免费提供的 CAD 工具，可以实现 3D 模型参数化生成，并将其导出以用于 3D 打印。为了生成这些实验中使用的 3D 可打印模型，请将下面显示的 openscad 代码剪切并粘贴到 OpenScad 中，渲染设计，导出到 STL，并为您的 3D 打印机生成 gcode，然后是 3D 打印装置。

```
TRANSDUCER_RADIUS=8.25;
HOLE_RADIUS=3;
LID_RADIUS=40;
LID_LENGTH=3;

difference(){
  union(){
    translate ([0, 0, 0])
    rotate([0, 0, 0])
    cylinder (h = LID_LENGTH, r = LID_RADIUS);
  }
  union(){
    translate ([0, 0, 0])
    rotate([0, 0, 0])
    cylinder (h = LID_LENGTH, r = TRANSDUCER_RADIUS);
    translate ([0, 15, 0])
    rotate([0, 0, 0])
    cylinder (h = LID_LENGTH, r = HOLE_RADIUS);
  }
}
```

4 参考文献

1. [适用于燃气流量测量的超声波传感子系统参考设计](#)

5 修订历史记录

注：以前版本的页码可能与当前版本的页码不同

Changes from Revision * (July 2020) to Revision A (September 2020)	Page
• 更新了整个文档中的表格、图表和交叉引用的编号格式。.....	2
• 更新了节 2 测试结果	5
• 更新了节 3 OpenSCAD 3D 测试装置	7

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