

Application Note

液体浓度感应



摘要

本文档介绍了一种使用 TI 的超声波解决方案来感应水中盐浓度变化的系统。该系统包含一个 3D 可打印管、两个超声波换能器和 TI 的单芯片超声波感应解决方案。

此外，文中还提供了演示源代码和原理图，用以加快各种超声波应用的开发。可以从 [USSWLib_Water 02_40_00](#) 下载源文件。

有关 MSP430™ MCU 以及如何用其实现各种终端设备的概述，请参阅 [MSP430™ 超低功耗感应和测量 MCU 概述](#)。

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 [适用于水流量测量的超声波感应子系统参考设计](#)。本应用报告中呈现的结果基于无修改的标准示例和 GUI。

[2-MHz Jiakang 换能器](#) 实现了 $\pm 0.01\%$ 的精度，并用在此设计的整个过程中。

内容

1 引言	2
2 设置和配置	3
2.1 EVM GUI 配置	4
3 测试结果	4
4 OpenSCAD 3D 测试装置	5

商标

MSP430™ is a trademark of Texas Instruments.

所有商标均为其各自所有者的财产。

1 引言

目前，液体浓度传感器通常依赖于流体的电导率或光学特性。电导率传感器经常受到电极退化的影响，而光学或耐火技术在暗流体中不能很好地发挥作用。

超声波技术是液体浓度感应的理想之选，因为管中的声速可以提供足够的分辨率来检测溶剂或其他流体浓度的微小变化。常见应用包括盐度和乙二醇传感器。当还需要有关流体流动的信息时，超声波技术优于其他技术。

TI 的超声波感应技术包括一种基于 ADC 的交叉相关方法，使用频率信息来确定超声波飞行时间，其精度比现有的基于 TDC 的技术高得多。如需详细了解此独特算法的工作原理以及 TI 的超声波感应子系统 (USS)，请参阅 [TIDM-02005](#)。该解决方案在测量盐浓度时可实现 $\pm 0.01\%$ 的精度。通过增大管的尺寸、增加激励电压或激励脉冲数，可以进一步提高精度。

TI 的超声波感应子系统支持单芯片解决方案，该解决方案可连接到超声波换能器以及运算放大器和多路复用器，从而进行高分辨率浓度测量。TI 的 USS 与低功耗加速器 (LEA) 和 MSP CPU 集成，可实现平均电流消耗约为 $3\mu\text{A}$ (每秒测量一次) 的自主低功耗运行。

TI 的超声波感应子系统 (请参阅图 1-1) 包括一个可编程脉冲发生器 (PPG) 和一个带有可编程增益放大器 (PGA) 的高速 Σ - Δ 模数转换器，该放大器可以自主激发和捕获超声波波形，以便通过集成式 LEA 进行后续处理。

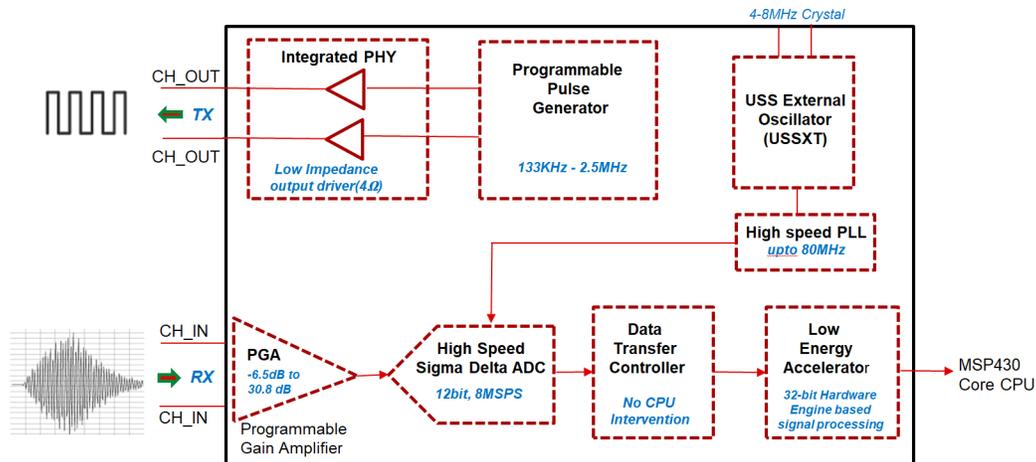


图 1-1. TI 的超声波子系统

该超声波子系统首先激发连接到 CH0_OUT 的“上行”换能器，同时捕获来自连接到 CH0_IN 的“下行”换能器的波形。随后，它激发连接到 CH1_OUT 的“下行”换能器，同时捕获来自连接到 CH1_IN 的“上行”换能器的波形。然后，LEA 处理这些波形，以确定上行飞行时间与下行飞行时间之间的差值。

2 设置和配置

在水配置中，[EVM430-FR6043](#) 与两个 [Jiakang 2MHz](#) 换能器搭配使用，如 [TIDM-02005](#) 中所述。此处描述的测试也适用于 [EVM430-FR6047](#)。本实验采用 3D 打印装置来安装换能器（请参阅图 2-1）。换能器之间的超声波路径决定了管的浓度感应灵敏度。更长的超声波路径可以实现更高的灵敏度，但这会以增加外形尺寸为代价。这些实验中使用的超声波路径长度约为 3cm。

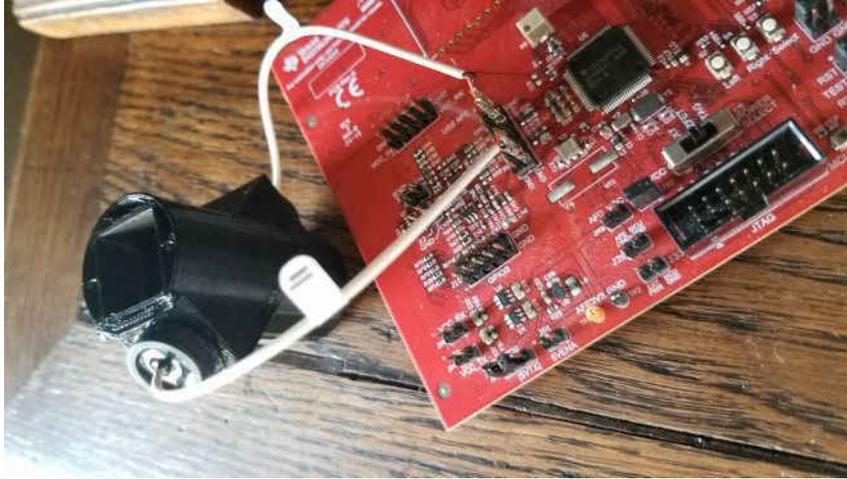


图 2-1. 3D 打印装置和 EVM



图 2-2. Jiakang 2MHz 超声波配置

2.1 EVM GUI 配置

图 2-3 显示了用于此管的超声波 GUI 配置。在此配置中，MSP430FR6043 配置有 2MHz 激发和 8MHz 信号采样频率。换能器在管中的组装会影响它们的共振（和理想激发频率），因此应进行频率扫描来确定提供最高振幅响应的激发频率。《快速入门指南》详述了执行频率扫描的步骤。

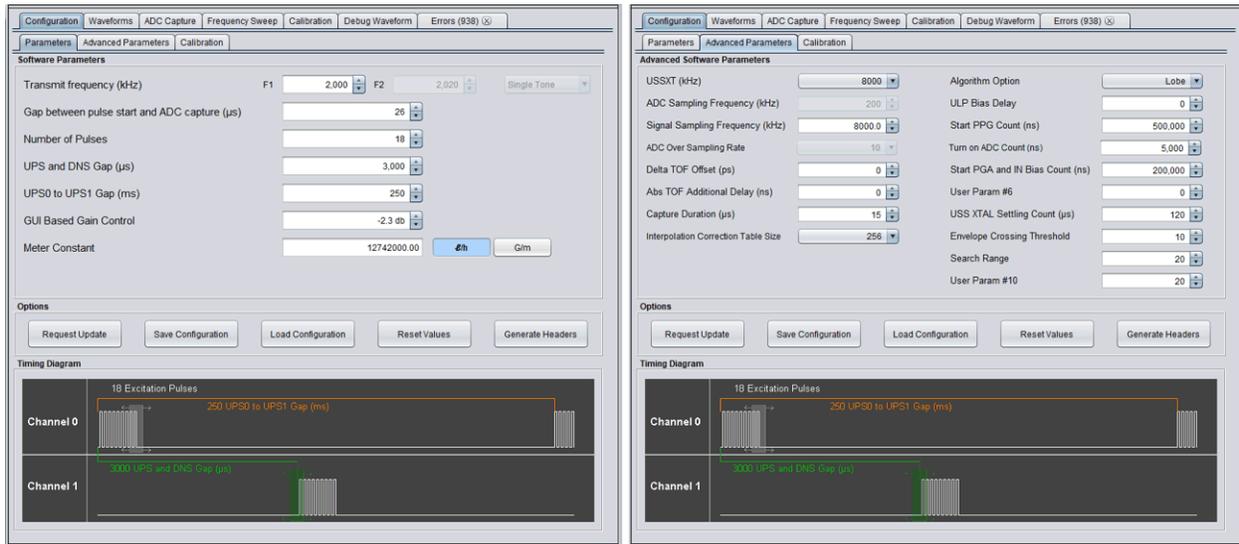


图 2-3. GUI 配置

3 测试结果

图 3-1 中的测试结果显示了当管内的盐浓度从 2.08% 变为 1.92%（将 1ml 淡水添加到含 2.08% 盐水的 12ml 溶液中）时，ADC 捕获和绝对飞行时间的变化。可以看出，对于这 0.16% 的浓度变化，绝对飞行时间存在明显差异。鉴于在绝对飞行时间测量中观察到的标准偏差为 10ns，其中 10ns 对应于盐浓度 0.02% 的差值，0.02% 的盐水浓度变化可通过单次测量检测。对超过 4 次的测量值取平均值可实现 0.01% 的精度。

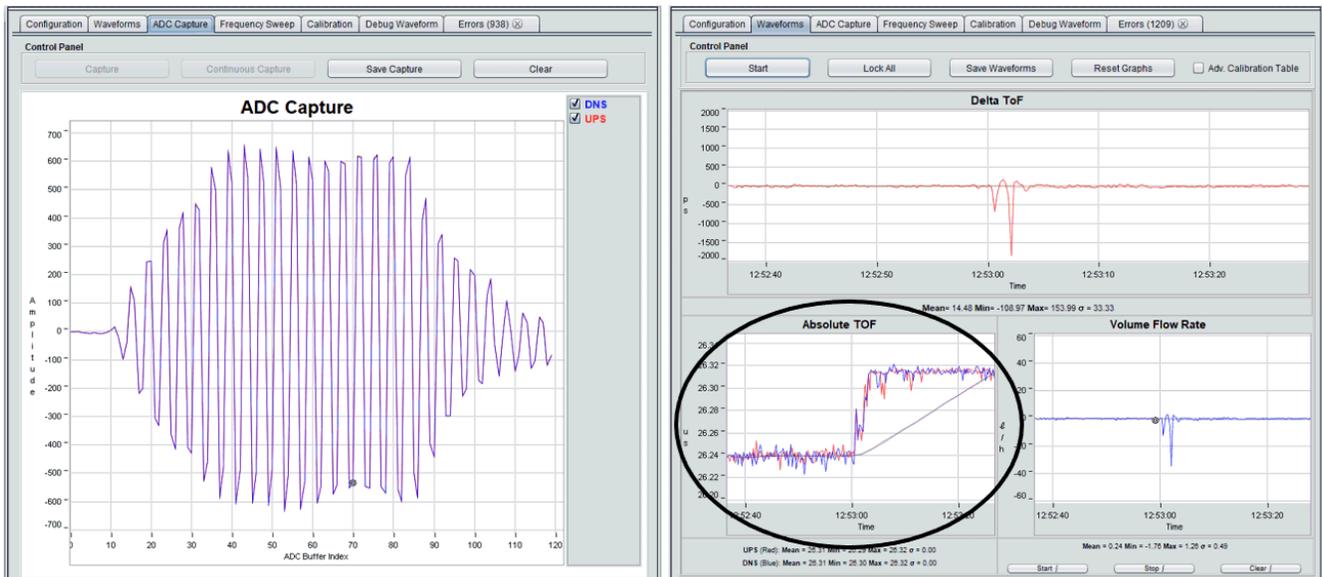


图 3-1. 液体浓度感应结果

4 OpenSCAD 3D 测试装置

OpenSCAD () 是一款免费提供的 CAD 工具，可以参数化生成 3D 模型，并将其导出以用于 3D 打印。本报告中使用的 3D 测试装置如下。

```
PIPE_RADIUS = 13.4;
PIPE_LENGTH = 60;
TRANSDUCER_RADIUS = 5.1;
ULTRASONIC_ANGLE = 135;

difference(){
  union(){
    translate ([0, 0, -10])
    rotate([0, 0, 0])
    cylinder (h = PIPE_LENGTH, r = PIPE_RADIUS);

    translate ([-10, -10, 42])
    rotate([0, ULTRASONIC_ANGLE, 0])
    cube ([20,20,47]);
  }
  union(){
    translate ([-13, -10, 42])
    rotate([0, ULTRASONIC_ANGLE, 0])
    cube ([20,20,5]);

    translate ([23, -10, 10])
    rotate([0, ULTRASONIC_ANGLE, 0])
    cube ([20,20,8]);

    translate ([-8, -8, -8])
    rotate([0, 0, 0])
    cube ([16,16,60]);

    translate ([-30, 0, 46])
    rotate([ULTRASONIC_ANGLE, 0, 90])
    cylinder (h = 150, r = TRANSDUCER_RADIUS);
  }
}
```

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