

Application Note

超声波表面感应



Leo Estevez

MSP430 Applications

摘要

本文档介绍了高分辨率超声波水平感应解决方案。3D 测试装置也可用于体积温度或气体浓度感应应用。

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感应子系统参考设计](#)。本应用报告使用无修改的标准示例和 GUI。

内容

| | |
|---------------------------|---|
| 1 引言 | 2 |
| 2 设置..... | 3 |
| 2.1 换能器放置..... | 3 |
| 2.2 EVM430-FR6043 配置..... | 5 |
| 3 测试结果..... | 6 |
| 4 OpenSCAD 3D 测试装置..... | 7 |

插图清单

| | |
|----------------------------------|---|
| 图 1-1. TI 的超声波子系统..... | 2 |
| 图 2-1. 3D 打印装置和 EVM..... | 3 |
| 图 2-2. Jiakang 200kHz 换能器..... | 3 |
| 图 2-3. 第一次和第二次超声波反射..... | 4 |
| 图 2-4. 设计中心配置..... | 5 |
| 图 3-1. ADC 捕获 (ADC Capture)..... | 6 |
| 图 3-2. 水平感应测试结果..... | 6 |

商标

所有商标均为其各自所有者的财产。

1 引言

目前，表面传感器通常依靠与表面的接触来确定是否发生了某种需要维护的情况。比如，确定制动器表面的磨损量、结构监测以及确定机器中的材料量等。

制动监测器通常使用金属接触片，当刹车片需要更换时会发出声音。在不接触的情况下感应磨损情况可实现预测性维护，从而尽可能地减少制造机器人、车队车辆和电梯的停机时间。桥梁和建筑物的结构监测对于检测在大风和地震期间可能会加剧的问题至关重要。尽早识别这些结构中的低频振荡可能是避免未来发生灾难性故障的关键。机器材料监控应用包括 2D 打印机的纸张计数、3D 打印机的线轴感应和生产线轮廓扫描。在这些应用中，通常优先选择对表面进行非接触式感应，这样可以在进行维护时尽可能地减少停机时间。

超声波技术不需要在相关材料中嵌入传感器，因此非常适合在不接触的情况下感应表面和结构。桥梁和工业建筑经常暴露在腐蚀性化学品中，这会影响嵌入式传感器的使用寿命。制动系统通常在较高的温度下运行，这会导致无法使用嵌入式传感器。

TI 的超声波感应技术包括一种基于模数的交叉相关方法，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阈值的技术高得多。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](#)。

TI 的超声波感应子系统支持单芯片表面或结构感应解决方案，该解决方案可直接连接到超声波换能器，从而进行高分辨率测量。TI 的 USS 与低功耗加速器 (LEA) 和 MSP CPU 集成在一起，可实现平均电流消耗小于 20 μ 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 (ADC)，该放大器可以自主激发和捕获超声波波形，以便通过集成式低功耗加速器 (LEA) 进行后续处理。

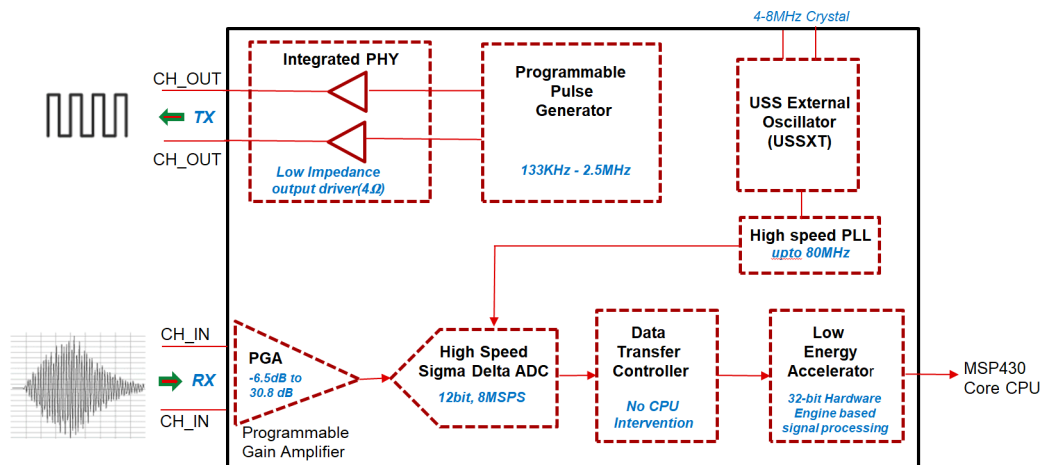


图 1-1. TI 的超声波子系统

2 设置

EVM430-FR6043 与单个 Jiakang 200kHz 换能器搭配使用。本实验采用 3D 打印装置来安装换能器。在装置中插入一张纸，然后将其取出，用于说明系统的灵敏度。



图 2-1. 3D 打印装置和 EVM



图 2-2. Jiakang 200kHz 换能器

2.1 换能器放置

为了获得正确的信号电平，应将换能器放在靠近被感测表面的位置。使用这些换能器可感测的最大距离约为 20 厘米。某些应用可能会受限于影响第一次反射的空间和初始激励噪声，因此第二次（或第三次）反射可能会提供更好（更准确）的结果。通过增加换能器和反射面之间的距离，还可以提高温度和气体浓度感应应用的精度。

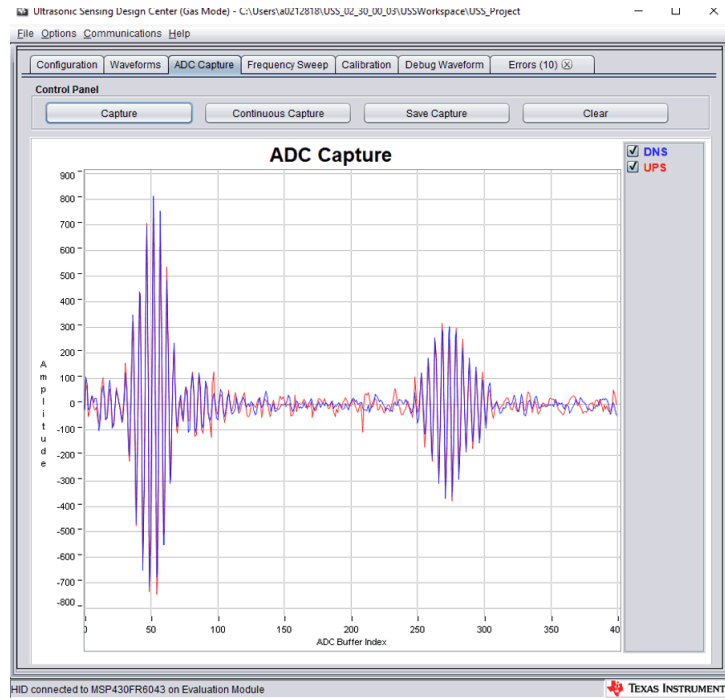


图 2-3. 第一次和第二次超声波反射

2.2 EVM430-FR6043 配置

EVM430-FR6043 用于标准燃气表配置，在此配置中，一个换能器连接到 J8 并且两个换能器连接在一起。设计中心 GUI 用于配置 MSP430FR6043 和捕获数据。

在图 2-4 中可以看到用于测试的设计中心配置。

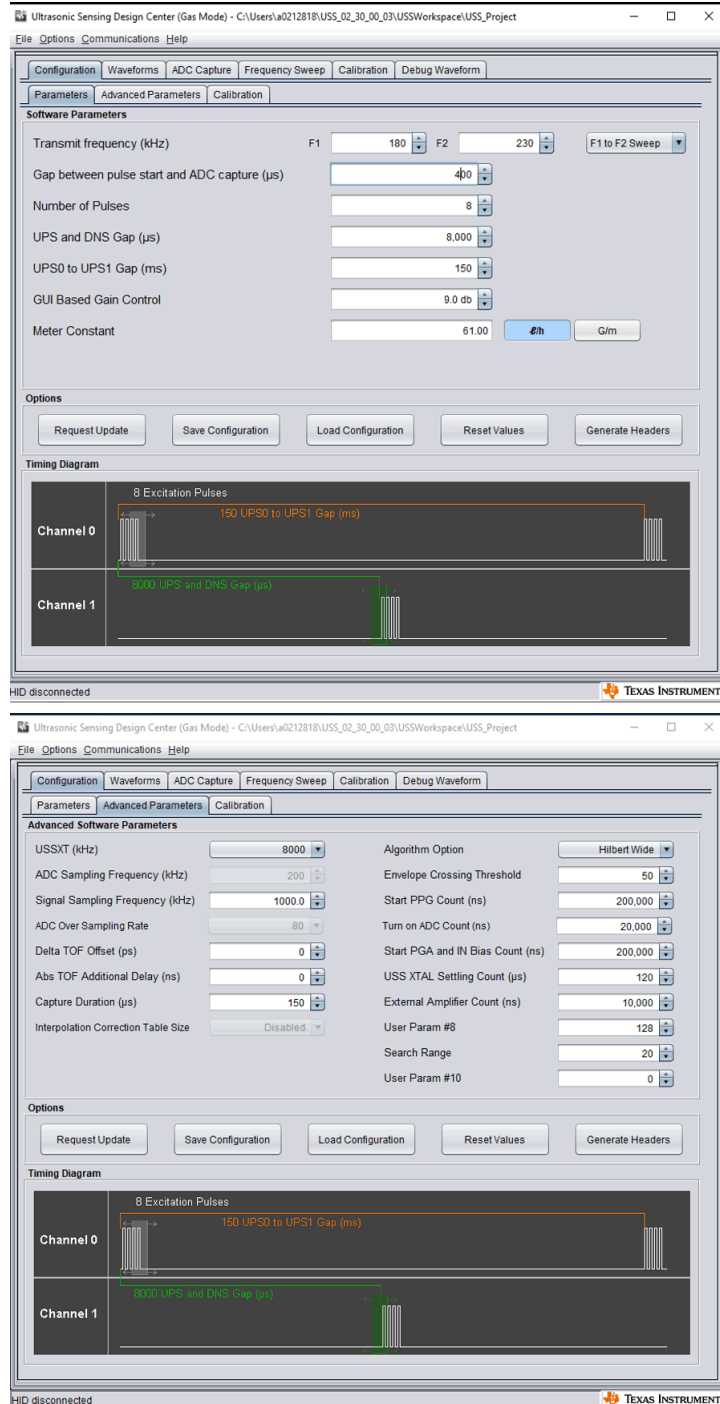


图 2-4. 设计中心配置

3 测试结果

图 3-1 显示了捕获的 ADC 信号，其测试装置和配置如节 2 所示。此测试是在室温下进行的。

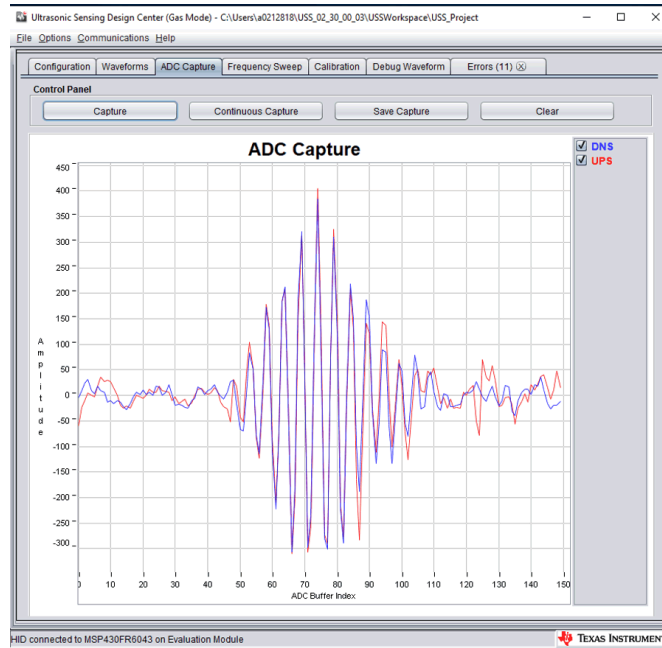


图 3-1. ADC 捕获 (ADC Capture)

图 3-2 显示从 3D 测试装置中取出纸片后，绝对飞行时间大约有 4 μ s 的变化。还显示了在纸片移动期间，上游和下游信号之间的过渡。本文中描述的测试设置可感应小于 50ns (0.01%) 的绝对飞行时间变化。

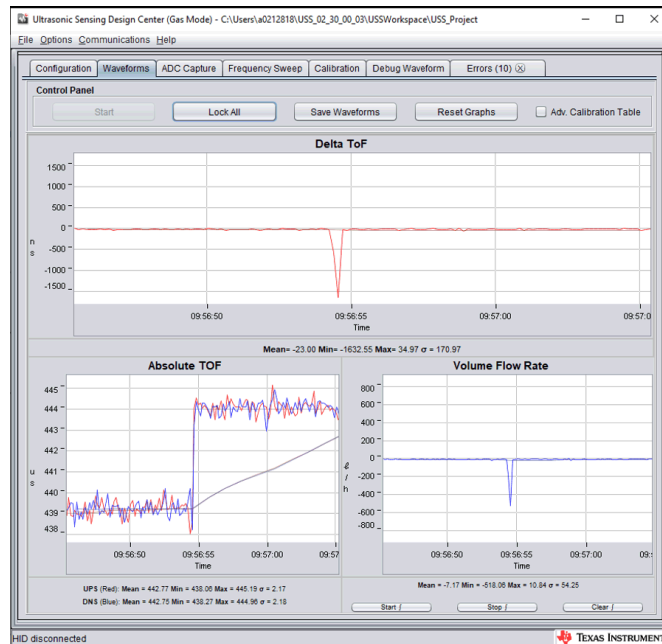


图 3-2. 水平感应测试结果

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

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。本文中使用的 3D 测试装置如下。

```

TRANSDUCER_RADIUS=8.25;
PIPE_RADIUS=17;
PIPE_LENGTH=95;
CHANNEL_WIDTH=15;
CHANNEL_HEIGHT=24;
ULTRASONIC_ANGLE=90;
ULTRASONIC_LENGTH=60;

union(){
difference(){
    union(){
        translate ([0, 0, -25])
        rotate([0, 0, 0])
        cylinder (h = PIPE_LENGTH, r = PIPE_RADIUS);

        translate ([-(PIPE_RADIUS+9), .1, -13])
        rotate([0, ULTRASONIC_ANGLE, 0])
        cylinder (h = ULTRASONIC_LENGTH, r = TRANSDUCER_RADIUS+2);
    }
}
union(){
    translate ([-(CHANNEL_HEIGHT/2), -CHANNEL_WIDTH/2, -25])
    rotate([0, 0, 0])
    cube ([CHANNEL_HEIGHT,CHANNEL_WIDTH,PIPE_LENGTH]);

    translate ([-(PIPE_RADIUS+9), 0, -13])
    rotate([0, ULTRASONIC_ANGLE, 0])
    cylinder (h = 150, r = TRANSDUCER_RADIUS);
}
}
union(){
    translate ([-(CHANNEL_HEIGHT/2), -CHANNEL_WIDTH, -15])
    rotate([0, 0, 0])
    cube ([CHANNEL_HEIGHT,CHANNEL_WIDTH/2,PIPE_LENGTH-20]);

    translate ([-(CHANNEL_HEIGHT/2), CHANNEL_WIDTH/2, -15])
    rotate([0, 0, 0])
    cube ([CHANNEL_HEIGHT,CHANNEL_WIDTH/2,PIPE_LENGTH-20]);

    // Flow plates

    translate ([-(CHANNEL_HEIGHT/2)-1, -CHANNEL_WIDTH/2, -25])
    rotate([0, 0, 0])
    cube ([1,CHANNEL_WIDTH,20]);

    translate ([-(CHANNEL_HEIGHT/2)-1, -CHANNEL_WIDTH/2, 12])
    rotate([0, 0, 0])
    cube ([1,CHANNEL_WIDTH,20]);

    translate ([CHANNEL_HEIGHT/2), -CHANNEL_WIDTH/2, PIPE_LENGTH-45])
    rotate([0, 0, 0])
    cube ([1,CHANNEL_WIDTH,20]);

    translate ([CHANNEL_HEIGHT/2), -CHANNEL_WIDTH/2, PIPE_LENGTH-85])
    rotate([0, 0, 0])
    cube ([1,CHANNEL_WIDTH,20]);
}
}
}

```

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