

摘要

德州仪器 (TI) 为人机界面 (HMI) 和通用电容式感应应用提供业界超低功耗、自动化程度超高且超易用的电容式触摸微控制器。本指南概述了现在可用的技术、产品、应用和资源，可帮助您解决当前面临的电容式感应设计挑战。



内容

1 引言.....	2
1.1 我们的目标.....	2
1.2 附加资源.....	2
2 技术.....	2
2.1 概述.....	2
2.2 关键技术.....	2
2.3 性能变体.....	3
3 产品.....	5
4 应用.....	6

商标

CapTivate™, TI E2E™, and MSP430™ are trademarks of Texas Instruments.
所有商标均为其各自所有者的财产。

1 引言

1.1 我们的目标

客户对产品的第一印象通常基于两个方面：美学（产品的外观）和用户体验（用户如何与产品交互）。给人留下深刻的第一印象很重要。我们相信未来的产品将具有更多创新的用户界面和比当今产品更先进的感应功能。借助高性能电容式触控和接近感应技术，产品设计师能够向他们的客户做出大胆的声明 - 不仅通过简化产品的外观，而且通过改进产品使用方法的方式。

遗憾的是，对于不熟悉实现电容式触控设计流程的工程师来说，该流程一直是众所周知的难题。需要考虑的因素很多：机械集成、软件开发、噪声容限和耐湿性都是设计挑战，通常被视为入门障碍。这就是 TI 的 CapTIvate 电容式感应技术的用武之地。

TI CapTIvate™ MCU 及其相关的开发生态系统旨在实现高性能电容式感应应用，同时简化或消除与向产品添加电容式感应相关的上述挑战。若要重新评估电容式感应可为您的产品带来何种改变，现在是大好时机。

本文档介绍了电容式触控前端变体和功能、可用产品和电容式感应应用。

1.2 附加资源

关于电容式感应技术的更多信息，请访问 [Ti.com/captivate](https://ti.com/captivate)。

若要立即开始设计，请首先查看 [电容式感应设计流程指南](#)。

若要询问有关如何在您的产品中实现电容式感应的问题，请在 [TI E2E™ 支持论坛](#) 上创建一个支持申请，并直接与经验丰富的工程师合作，从而做到第一次就正确实现设计。

2 技术

2.1 概述

CapTIvate MCU 将主流或高性能电容式感应前端与 TI 经验证的 MSP430™ 超低功耗微控制器架构结合在一起，实现了业界超低功耗电容式感应解决方案。

2.2 关键技术

- **灵活的 IO 系统**，能够将任何 CapTIvate IO 配置为自/互模式接收器 (RX) 或互模式发送器 (TX)，并且能够对混合自/互应用进行运行时重新配置（例如，将按钮重新配置为单个接近传感器以减少等待用户交互时的功耗）
- **一个、两个或四个感应块**，可并行运行电容测量，从而减少检测延迟并提高滑块和滚轮的分辨率和线性度
- **专用振荡器**，允许将跳频和展频 EMC 改进技术应用于电容测量，而不会影响 CPU 和其他外围设备使用的系统时钟频率
- **数字块**，用于控制周期性测量间隔、执行噪声过滤和环境漂移跟踪以及进行接近或触摸检测 - 所有这些都无需 CPU 参与，完全释放 MCU 来运行其他任务，同时设备等待用户交互（率先在业内推出）
- **片上只读存储器 (ROM)**，包含电容式触摸库和其他外设驱动程序，以使主存储器一直可供应用使用

图 2-1 展示了所有 MSP430 CapTIvate MCU 中可用的关键功能块。

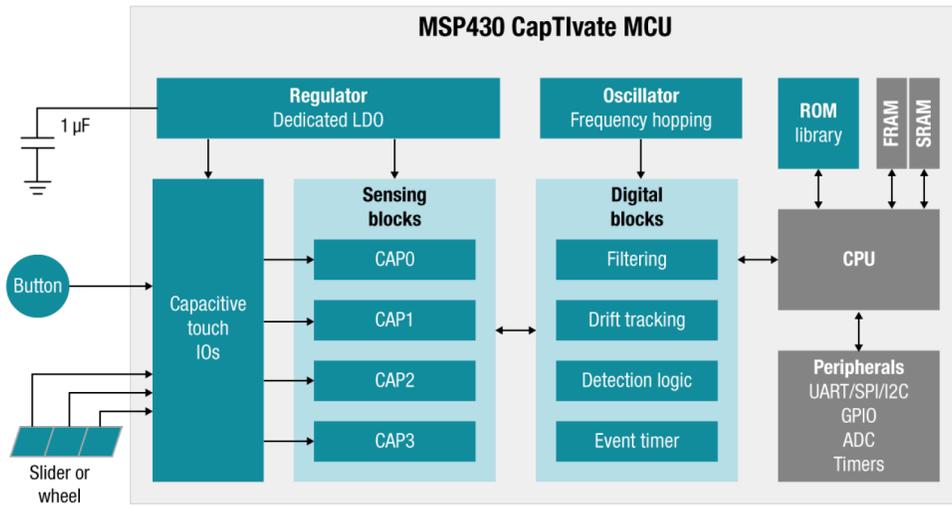


图 2-1. MSP430 电容式感应 MCU 方框图

表 2-1 列出了 CapTivate MCU 的关键电容式感应参数。

表 2-1. 关键电容式感应参数

感应方法	具有寄生电容偏移消减特性的可调谐电荷转移
测量模式	自模 (RX 到 GND) 和互模 (RX 到 TX)
测量控制	具有计时器、同步或软件触发启动的硬件管理转换
测量后处理	硬件管理的自动环境漂移补偿、IIR 过滤、阈值检测、过采样 ⁽¹⁾ 、跳频 ⁽¹⁾ 和异常去除 ⁽¹⁾
并行测量	多达四个电极 (取决于器件), 可实现对滑块/滚轮传感器的完全并行测量, 以实现更高的灵敏度和更佳的线性度
触摸唤醒功耗	3μA 平均值 (使用 AAA 电池约为 30 年) (1 个按钮, 8Hz 更新率, MSP430FR2512) ⁽²⁾
接近唤醒功耗	5μA 平均值 (使用 AAA 电池约为 16 年) (1 个接近传感器, 8Hz 更新率, MSP430FR2512) ⁽²⁾
活动键盘功耗	72μA 平均值 (使用 AAA 电池约为 1 年) (12 个按钮, 30Hz 更新率, MSP430FR2633) ⁽²⁾
噪声容限 (IEC 61000-4)	10Vrms 传导噪声抗扰度 (A 类) ⁽³⁾ 10V/m 辐射噪声抗扰度 (A 类) ⁽³⁾ ±4kV 电快速瞬变 (EFT) 抗扰度 (A 类) ⁽³⁾ ±8kV 接触静电放电 (ESD) 抗扰度 (B 类) ⁽³⁾ ±15kV 空气间隙静电放电 (ESD) 抗扰度 (B 类) ⁽³⁾
耐湿性 (IPX5)	根据 IPX-5 湿度测试环境条件, 在流水下准确检测触控按钮, 不会发生检测错误 ⁽⁴⁾
配置和调优	使用 CapTivate 设计中心开发工具以图形方式配置和调整应用, 该工具会自动生成描述每个应用所需的 C 源代码
软件支持	随 BSD-3-Clause 许可证提供的完整软件栈, 包括硬件抽象层 (HAL)、触摸检测层和高级层, 具有对滑块/滚轮/接近、触摸手势和 EMC 的开箱即用支持

- (1) 硬件过采样、跳频和异常去除功能仅包含在高性能技术变体中。
- (2) 功耗取决于系统参数, 例如镀层厚度。请访问[超低功耗优化信息](#)。
- (3) 噪声抗扰度取决于 PCB 设计和 CapTivate 技术变体。请参阅《[借助 MSP CapTivate™ 技术实现抗噪电容式触控 HMI](#)》和 [CAPTIVATE-EMC 评估套件](#)。
- (4) 耐湿性取决于 PCB 设计。请参阅[耐液体电容式触控键盘参考设计](#)。

2.3 性能变体

TI 提供的 MSP430 微控制器采用两种不同版本的 CapTivate 电容式感应技术：**高性能**版本和**主流**版本。

- 高性能变体非常适合应用要求具有挑战性的设计, 包括：厚镀层、远距离接近检测和传导噪声抗扰度。
- 主流变体是成本优化的替代方案, 当给定应用不需要高性能版本可提供的附加功能时, 建议使用主流变体。表 2-2 展示了变体之间的主要功能差异。

表 2-2. 高性能与主流 CapTIvate 外设变体

	高性能电容式感应 MCU	主流电容式感应 MCU
典型最大镀层厚度 (自模, 塑料覆面)	按钮尺寸/覆层厚度 8 × 8mm/最大 6mm 10 × 10mm/最大 7.5mm 12 × 12mm/最大 9mm	按钮尺寸/覆层厚度 8 × 8mm/最大 3mm 10 × 10mm/最大 4mm 12 × 12mm/最大 5mm
典型的接近范围 (80mm × 50mm 周长环形传感器, 10mm 电极宽度)	70mm (手指伸长) 110mm (平带)	25mm (手指伸长) 75mm (平带)
典型的滑块/滚轮位置分辨率 (12mm × 150mm 4 元件滑块, 1.5mm 覆面, 网格状接地屏蔽)	256 个点 ±5 个点精度	64 个点 ±5 个点精度
响应时间 (16 个按钮, 符合 EMC 标准, 触控 ΔC ≈ 2%)	10ms	14ms
传导噪声抗扰度 (按钮, IEC 61000-4-6 A 类)	>10Vrms (无需软件调优)	3Vrms 至 10Vrms (依赖于软件调优)
灵敏度 (ΔC) (电容变化 %)	检测低至 0.3% 的电容变化, 从 -40°C 到 105°C	检测低至 1.4% 的电容变化, 从 -40°C 到 105°C

3 产品

表 3-1. 电容式感应 MCU 产品 (按技术变体)

最大值按钮	电容式 I/O (块)	GPIO	封装	FRAM	SRAM	器件型号
高性能产品						
24	16 (4)	27	32VQFN	8KB	2KB	MSP430FR2672
64	16 (4)	27	32VQFN	16KB	4KB	MSP430FR2673
64	16 (4)	27、35、43	32VQFN、40VQFN、48LQFP	32KB	6KB	MSP430FR2675
64	16 (4)	27、35、43	32VQFN、40VQFN、48LQFP	64KB	8KB	MSP430FR2676
主流产品						
4	4 (1)	11、15	16TSSOP、20VQFN	8KB	2KB	MSP430FR2512
16	8 (2)	11、15	16TSSOP、20VQFN	8KB	2KB	MSP430FR2522
8	8 (4)	15	24VQFN	8KB	1KB	MSP430FR2532
16	8 (4)	15	24VQFN	8KB	2KB	MSP430FR2632
24	16 (4)	19	32VQFN、32TSSOP	16KB	2KB	MSP430FR2533
64	16 (4)	19	32VQFN、32TSSOP	16KB	4KB	MSP430FR2633
采用芯片级封装的主流产品						
8	8 (4)	17	24DSBGA	8KB	2KB	MSP430FR2632
8	8 (4)	17	24DSBGA	16KB	4KB	MSP430FR2633

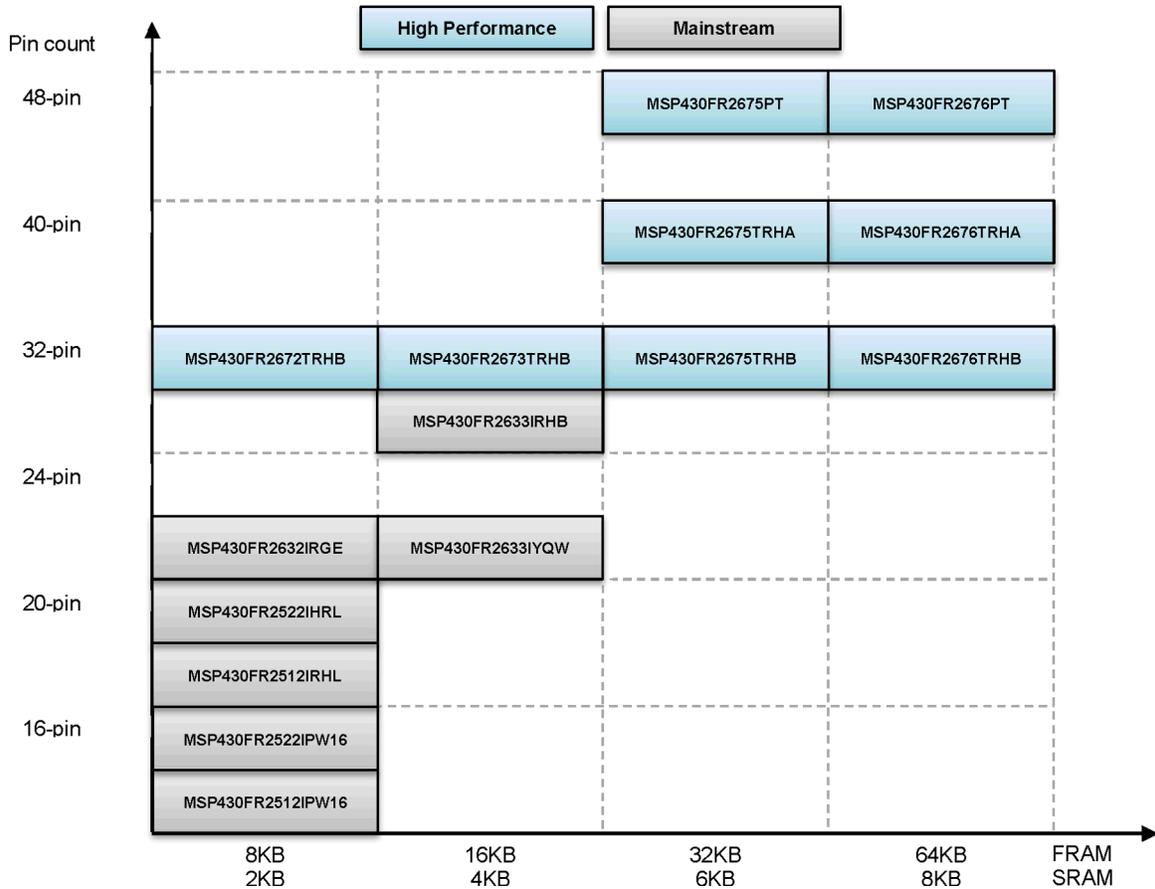
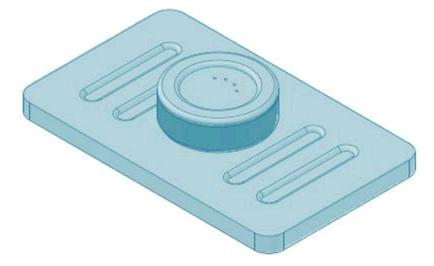
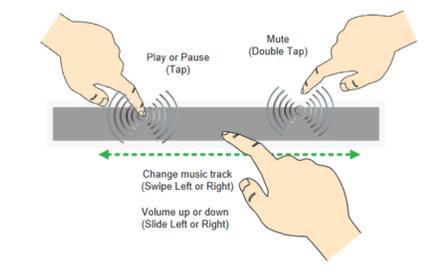


图 3-1. 电容式感应 MCU 产品 (按引脚和存储器)

4 应用

电子锁和楼宇安防系统 HMI 面板	
	<p>应用要求</p> <ul style="list-style-type: none"> • 超低平均功耗 • 耐湿性 • 辐射噪声抗扰性 <p>推荐的工具</p> <ul style="list-style-type: none"> • BOOSTXL-CAPKEYPAD 评估套件 • TIDM-1021 耐湿性触摸屏参考设计 • TIDM-CAPTIVATE-E-LOCK 电子锁和键盘参考设计
有线和无线照明控制	
	<p>应用要求</p> <ul style="list-style-type: none"> • 小型传感器 • 高传导抗噪性能 • 通过功率损耗提供状态保持 <p>推荐的工具</p> <ul style="list-style-type: none"> • CAPTIVATE-FR2676 评估套件捆绑包 • CAPTIVATE-EMC 评估套件，用于测试抗噪声性能
有线和无线扬声器和 AV 设备	
	<p>应用要求</p> <ul style="list-style-type: none"> • 触摸手势 (滑动、点按、拖动) • 金属镀层 <p>推荐的工具</p> <ul style="list-style-type: none"> • TIDM-02004 基于手势的电容式触控扬声器界面参考设计 • CAPTIVATE-FR2676 评估套件捆绑包 • CAPTIVATE-METAL 评估套件

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