

## 使用瑞萨电容触控传感器单元（CTSU）加速开发进程

Masashi Nishimoto, Sr Staff Application Engineer, Technology and Application Architects Division,  
Renesas Electronics Corporation



### 概述

电容触控市场正迅速增长，众多行业正在整合多感官功能，以实现更优的设计和更便捷的用户体验。电容触控按键技术为创新型开关提供了更高的设计灵活性和操作便捷性，仅需轻触即可实现控制。它不仅能够取代传统按钮，还可替代旋钮和滑块。与机械按键相比，电容触控按键更为坚固耐用，无需物理部件，避免了因磨损而导致的故障，同时具备防尘、防溅的设计，便于维护。其平整的结构进一步提升了可维护性。除了易于维护之外，电容触控还可通过将机械部件替换为 PCB 图案，从而降低系统成本。

然而，实现高灵敏度、强抗噪声能力和防水等高级易用性功能，往往需要大量的开发时间和成本。

瑞萨的电容触控解决方案具备高灵敏度、强抗噪声能力、低功耗，并简化了开发流程。请继续阅读，了解更多可帮助您加速开发的多样化功能。

# 使用瑞萨电容触控传感器单元（CTSU）加速开发进程



图 1. 瑞萨电容触控解决方案价值主张。

## 瑞萨电容触控的测量原理

触摸检测方法（CTSU）可实现高灵敏度和强抗噪声能力，支持消费电子和智能设备中的手势控制、多点触控等高级功能。

瑞萨开发的 CTSU 通过开关电容电路将电容转换为电流，并对电容值进行量化测量。测得的数据会进行校正，并通过滤波降低噪声成分。最终，通过与阈值比较来进行判断。通过这种方法，电容触控传感器能够识别更多材料和手势，应用于各种场景。

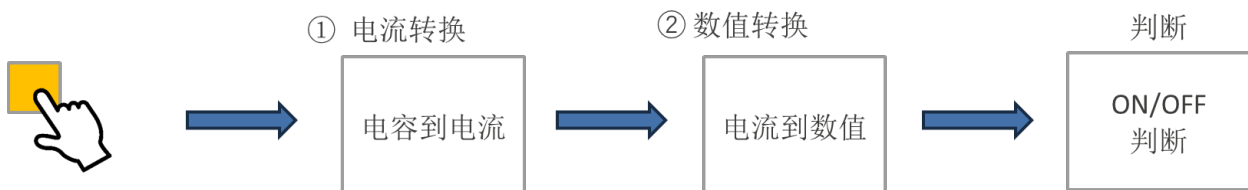


图 2: 从电容测量到触摸判定的流程

下图将详细展示瑞萨如何实现以下两项关键技术，为您的应用需求提供更高灵敏度的触控体验：

### ① 高灵敏度电容

通过优化传感器驱动脉冲频率，实现高灵敏度的电容到电流转换。

# 使用瑞萨电容触控传感器单元 (CTSUS) 加速开发进程

## ② 高灵敏度振荡器

采用高灵敏度振荡器，实现高分辨率测量。

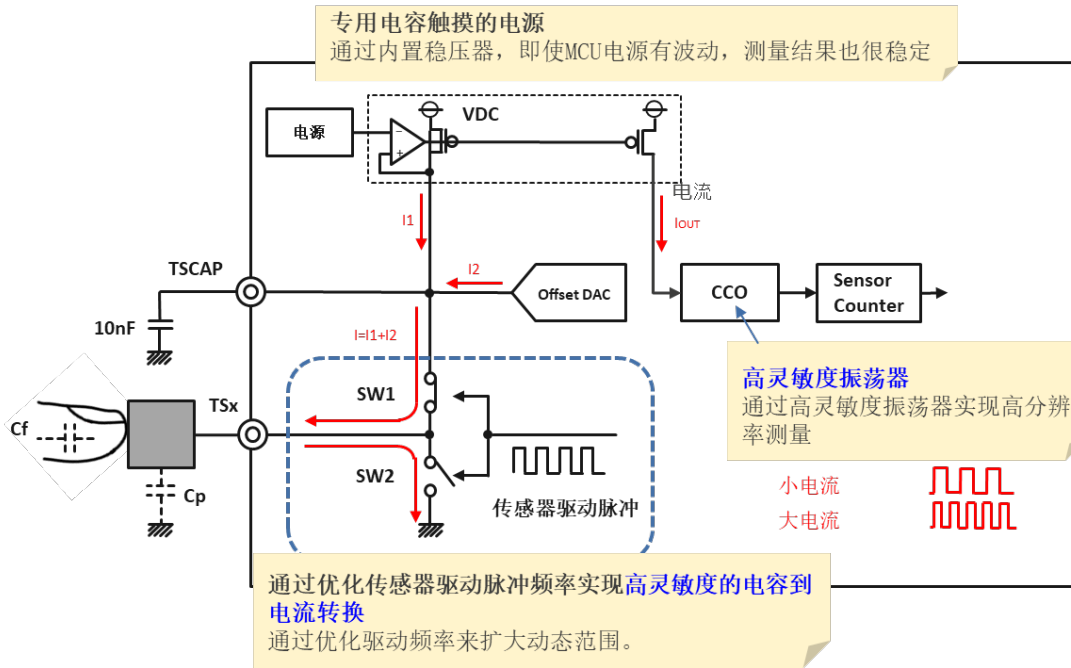


图 3: 电容触控传感器单元 (CTSUS) 测量电路

偏置电流DAC消除寄生电容  
通过切断寄生电容，重点关注触摸电容的变化，将电流数字化

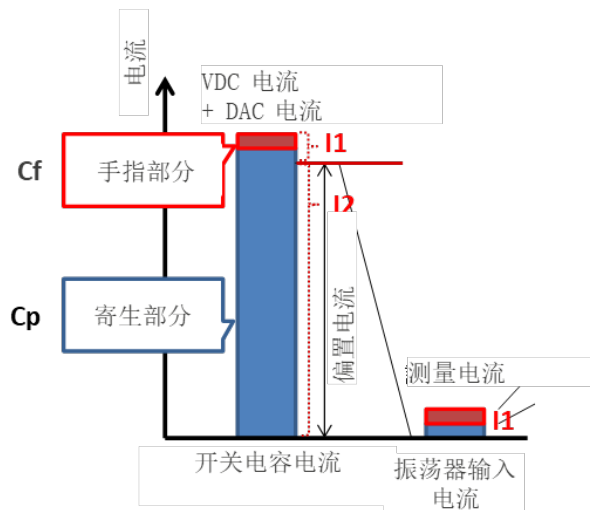


图 4: 自电容方式的偏移调节过程

## 电容触控传感器类型

与 CTSU1 相比，最新的 CTSU2 新增了以下功能并提升了性能，能够实现高速多点触控体验、更高的精度，并可在潮湿环境附近使用。

### 增强的抗噪能力

- 通过多传感器脉冲频率测量实现同步噪声规避

### 提升的防水性能

- 通过采用主动屏蔽电极的自电容方式提升防水能力

### 提高的扫描速度

- 新增“电容-频率转换（CFC）”，支持并行同时扫描

### 降低软件处理负载

- 增加自动判断功能
- 增加自动校正功能

不同的微控制器内嵌了不同类型的电容触控传感器，用户可以根据开发需求选择最合适的功能。下表汇总了不同电容触控传感器类型的功能。

Function	CTSUS/ CTSUSa	CTSUSb	CTSUS2	CTSUS2L	CTSUS2La	CTSUS2SL	CTSUS2SLa
自电容方式	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
互电容方式	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
随机脉冲频率测量	✓	✓	△	△	△	△	△
多频率测量			✓	✓	✓	✓	✓
主动屏蔽			✓	✓	✓	✓	✓
自动判断				✓*1 *2	✓*1 *2	✓ *2	✓*3
自动校正				✓*1	✓*1	✓	✓
自动多频校正							✓
多电极连接（MEC）		✓			✓	✓	✓
电容-频率转换（CFC）			✓				

表 1：电容式触摸传感器功能对比

✓：支持

△：由于驱动程序支持多频测量，因此不支持此功能。

\*1：与 SNOOZE 模式可编程控制器（SMS）配合使用时实现。

\*2：自动判断由 JMM 测量。

\*3：自动判断由 VMM 或 JMM 测量。

### 随机脉冲频率测量

该方法通过使噪声与传感器驱动脉冲不同步，来降低测量电容时的噪声影响。电容的测量是通过输出传感器驱动脉冲实现的。当噪声混入传感器驱动脉冲时，测量结果会出现波动。因此，CTSU1 通过输出与噪声不同步的随机脉冲（如扩频或移相方式），来降低噪声影响。该功能可提升终端产品的抗干扰能力，同时缩短您的开发周期。

### 多频率测量

多时钟测量是一种通过对传感器驱动脉冲采用多种不同频率，来降低测量电容时噪声影响的方法。电容的测量同样是通过输出传感器驱动脉冲实现的。当噪声混入传感器驱动脉冲时，测量结果会发生波动。因此，CTSU2 配备了多频率测量功能，可用不同频率的多个时钟进行测量。多频率测量触摸判断有两种方法：值多数模式（VMM）和判断多数模式（JMM）。

#### 值多数模式（VMM）

通过对三种频率测量结果中彼此接近的两个值进行加和，从而确定最终测量值的方法。

#### 判断多数模式（JMM）

判断多数模式是对三种频率的每一次测量进行判断，并采用多数判决制得出最终结果。

### 有源屏蔽

有源屏蔽是一种在抑制噪声的同时，减少电极与屏蔽图案之间电容耦合影响的方法。其操作方式是用与被测电极相同的电位和相位的信号驱动屏蔽图案。

通过此功能，可用与被测电极相同的电位和相位来实现防护屏蔽。使用有源屏蔽不仅能降低电极与屏蔽防护间的电容耦合，也能减少噪声干扰。同时，该功能配合自电容方式，可实现产品的防水能力。

### 自动判断（Auto Judgement）

自动判断功能通过硬件直接判断按键是否被触摸，无需激活 CPU，因此能够实现低功耗运行。

### 自动校正（Automatic Correction）

自动校正功能可通过硬件对传感器 CCO（ICO）进行校正。由于校正运算全部由硬件处理，无需软件参与，因此不会占用主处理器的时间。

### 多电极连接（MEC）

多电极连接（MEC）是指将 CTSU 内部的自电容型电极连接起来，作为单一电极进行测量的功能。使用 MEC 时，可通过任意按键从待机模式唤醒系统。

### 电容-频率转换（CFC）

通过将 CFC 引脚作为接收引脚，并切换到互电容并行测量模式，可实现对多个引脚的同时测量。

### 如何开始瑞萨电容触摸系统开发

#### 加速您的电容触摸系统开发

电容触摸系统的开发可能耗时较长。为帮助开发者缩短开发周期、加速产品上市，瑞萨提供了[《电容触摸简介指南》](#)，其中总结了电容触摸开发流程及重要技术信息，包括开发环境和评估套件，有助于高效构建电容触摸系统。

#### 高效设计电容触摸电极

在选择 MCU 并利用电容触摸评估系统进行初步评估后，用户将开始为系统设计电极图案。电容触摸系统对灵敏度和抗干扰性有一定的设计约束，若用户理解相关设计规则，即可克服这些难题，实现高灵敏度的电容触摸系统。瑞萨还提供了[《电容触摸电极设计指南》](#)，详细介绍了电极焊盘、走线设计及相关问题和解决方案。该指南还包含基于自电容方式和互电容方式的实际设计案例，帮助用户高效设计电极图案。

噪声也是电容触摸系统的重要影响因素，过多的噪声可能会延迟触摸响应。瑞萨的[《电容触摸抗噪声指南》](#)介绍了多种噪声类型及其抗噪声功能，并展示了软件滤波的抗噪电路设计方法及实验结果。

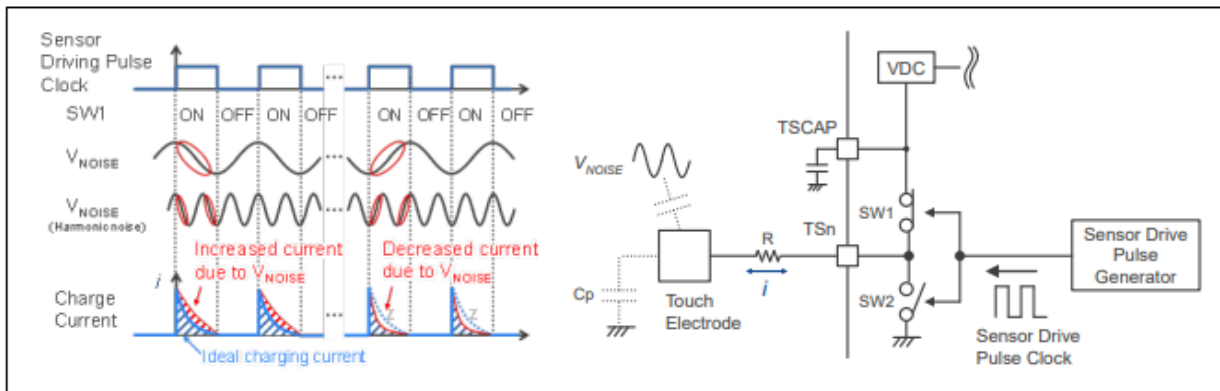


图 5. 由于周期性噪声导致的充电电流误差示例

#### 如何创建电容触摸软件

在 PCB 原型设计阶段，您需要进行电容触摸软件的开发。建议参考瑞萨的[《电容触摸软件概述》](#)，其中详细介绍了从软件架构到参数等各项内容，助您高效开发相关软件。

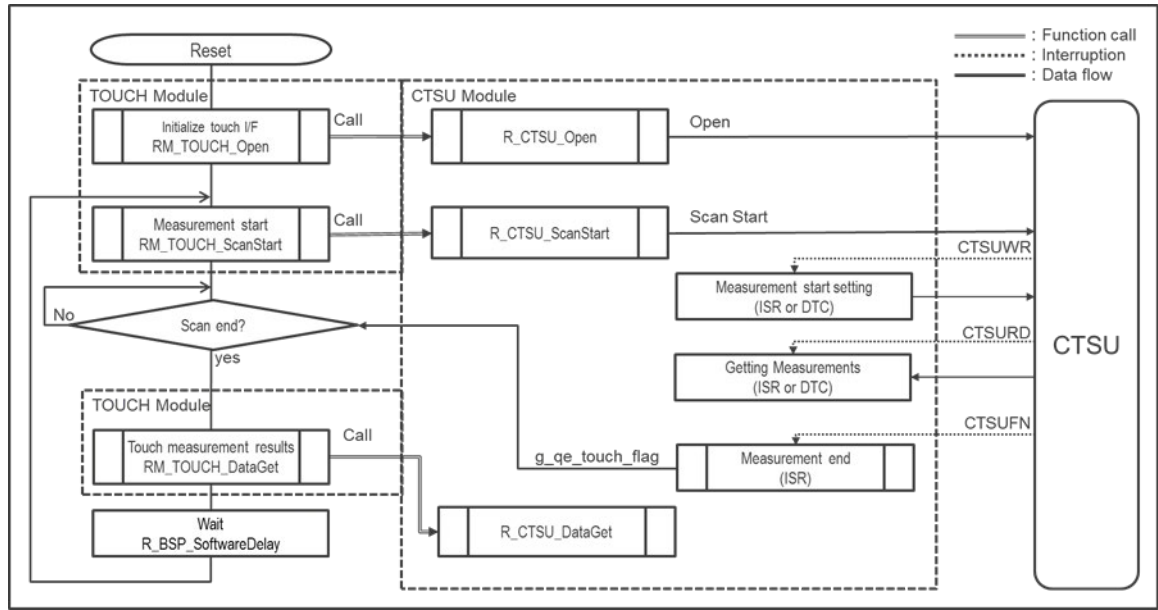


图 6. 软件结构层与开发工具结构

瑞萨持续为用户提供实用的应用说明，以助力加速触摸系统的开发。您可以探索内嵌多种 MCU 的丰富[电容触摸评估系统](#)，这些系统将帮助您快速启动触摸评估与开发。如需了解更多信息，请访问 <http://www.renesas.com/key-technologies/human-machine-interface-hmi/capacitive-touch>

## 结论

电容触摸的多种嵌入式功能已集成于我们广泛的 MCU 产品组合中，可有效降低噪声、提升对多种材料的灵敏度，并增强防水性能。本白皮书将帮助您为下一代触摸开发项目选择具备合适技术的 MCU。您还可以通过瑞萨的电容触摸套件快速启动开发，这些套件为原型设计提供了便捷的平台。

## 相关信息

- [电容传感器微控制器 CTSU 电容触摸入门指南](#)
- [电容触摸人机界面解决方案](#)：了解相关技术，推荐具备触摸功能的微控制器，以及基于各种触摸应用的参考解决方案。
- [电容触摸评估系统](#)：轻松开启电容触摸开发。

# 使用瑞萨电容触控传感器单元（CTSUS）加速开发进程

---

## 重要通知和免责声明

瑞萨电子株式会社及其关联公司（以下简称“瑞萨”）的技术规范和可靠性数据（包括数据手册）、设计资源（包括参考设计）、应用或其他设计建议、Web 工具、安全信息以及其他资源“按原样”提供，不保证无瑕疵。瑞萨不做任何明示或暗示保证，包括但不限于产品适销性、特定用途适用性或不侵犯第三方知识产权的保证。

这些资源的适用对象为使用瑞萨产品熟练进行设计的开发人员。以下事宜请自行负责：(1)为您的应用选择合适的产品，(2)设计、验证和测试您的应用，(3)确保您的应用符合适用标准以及安全性等所有其他要求。这些资源如有更改，恕不另行通知。瑞萨仅授权您将这些资源用于开发采用瑞萨产品的应用。严禁复制这些资源或用于其他用途。我们未授予任何其他瑞萨知识产权或任何第三方知识产权的许可。

瑞萨对因使用这些资源而产生的任何索赔、损害、成本、损失或负债概不负责，且瑞萨及其代表的全部损失须由您赔偿。瑞萨的产品仅遵守瑞萨的销售通用条款和条件，或书面签订的其他适用条款。使用瑞萨的任何资源不会扩大或更改这些产品的任何适用保修或保修免责声明。

(Rev.1.0 Mar 2020)

## 公司总部

135-0061, 日本东京江东区

豊洲 3-2-24, TOYOSU FORESIA

<https://www.renesas.com>

## 联系信息

有关产品、技术的更多信息，文档的最新版本，或离您最近的销售办公室，请访问：

<https://www.renesas.com/contact-us>

## 商标

瑞萨电子的名称和徽标是瑞萨电子公司的商标。所有商标和注册商标均为其各自合法所有者的财产。

© 2026 Renesas Electronics Corporation. All rights reserved.

Doc Number: R30WP0015CC0100