

# 电容传感微控制器

## 电容触摸入门指南

---

### 简介

本应用说明是为首次使用电容触摸传感单元（Capacitive Touch Sensing Unit：以下简称为 CTSU）的用户制作的入门指南。

### 目标 MCU

搭载 CTSU 的 RX、RA、RL78 以及 Synergy™ 系列

（CTSU 包括 CTSU2、CTSU2L 和 CTSU2SL 等）

## 目录

1	概要	4
1.1	电容触摸产品的开发流程	5
2	电容检测	6
2.1	电容检测概要	6
2.2	自容方式	7
2.2.1	检测原理	8
2.2.2	测量范围	9
2.3	互容方式	10
2.3.1	检测原理	11
2.3.2	测量范围	12
2.4	漂移校正处理与触摸检测	13
3	电容触摸传感器的种类	14
3.1	电容触摸传感器的差异	14
3.2	CTS1	15
3.2.1	随机脉冲频率测量	15
3.3	CTS2	16
3.3.1	多频率测量	16
3.3.2	有源屏蔽	17
3.3.3	自动判断	18
3.3.4	自动校正	18
3.3.5	MEC 功能	19
3.3.6	互容并行扫描 (CFC)	20
3.3.7	温度校正	20
4	搭载电容传感器的 MCU	21
4.1	MCU 阵容	21
4.2	MCU 选型要点	22
4.2.1	接口	22
4.2.2	检测方式的特点	23
4.3	搭载 CTS1 的 MCU	25
4.4	搭载 CTS2 的 MCU	29
5	硬件	32

5.1	电极设计指南.....	32
6	软件.....	33
6.1	软件配置.....	33
6.1.1	CTSU 模块.....	33
6.1.2	TOUCH 模块.....	34
6.2	功能安全.....	34
6.3	低功耗指南.....	35
6.4	软件滤波器.....	35
7	调整.....	36
7.1	使用 QE for Capacitive Touch 自动调整.....	36
7.2	通过 CapTouch 参数手动调整.....	38
7.3	通过高级模式调整.....	41
8	调整开发环境.....	42
8.1	电容触摸传感器开发工具：QE for Capacitive Touch.....	42
8.2	单机版 QE for Capacitive Touch.....	43
9	评估套件.....	44
9.1	电容触摸评估系统（Capacitive Touch Evaluation System）.....	44
10	其他.....	45
10.1	用语.....	45
10.2	常见问题.....	45
10.3	技术咨询.....	45

## 1 概要

本应用说明是专为初次使用电容触摸传感器的用户制作的入门指南。

本节介绍电容触摸检测的原理、特点、MCU 产品线、硬件、软件、开发环境和评估套件（电容触摸评估系统）。

第一代电容触摸传感器是将第三方 IP（SCU/TSCU）搭载在 R8C 系列 MCU 上（不推荐用于新品研发）。第二代产品 CTSU 是瑞萨自主研发的电容传感器，最初随 RX 系列 MCU 发布，并已逐渐应用到 Synergy™和 RA 系列中。如今，作为第三代产品的 CTSU2 已经搭载在 RA、RL78、RX 系列等各种产品中，CTSU2 的功能也在不断完善。

用户手册中将第二代电容传感器称为 CTSU/CTSUa/CTSUb，但为了区别于第三代的 CTSU2，第二代被称为“CTSU1”。本应用说明介绍了 CTSU1 和 CTSU2 的区别以及 CTSU2 的特性和类型。

### 1.1 电容触摸产品的开发流程

电容触摸产品的开发流程如图 1.1 所示。

- 有关电容触摸的更多信息，请参阅“2 电容检测”和“3 电容触摸传感器的类型”
- 有关配备电容式传感器的 MCU 的信息，请参阅“4 搭载电容传感器的 MCU”
- 硬件相关的内容，请参阅“5 硬件”
- 软件相关的内容，请参阅“6 软件”
- 优化相关的内容，请参阅“7 调整”
- 有关开发环境的信息，请参阅“8 开发环境”
- 有关评估套件的信息，请参阅“9 评估套件”

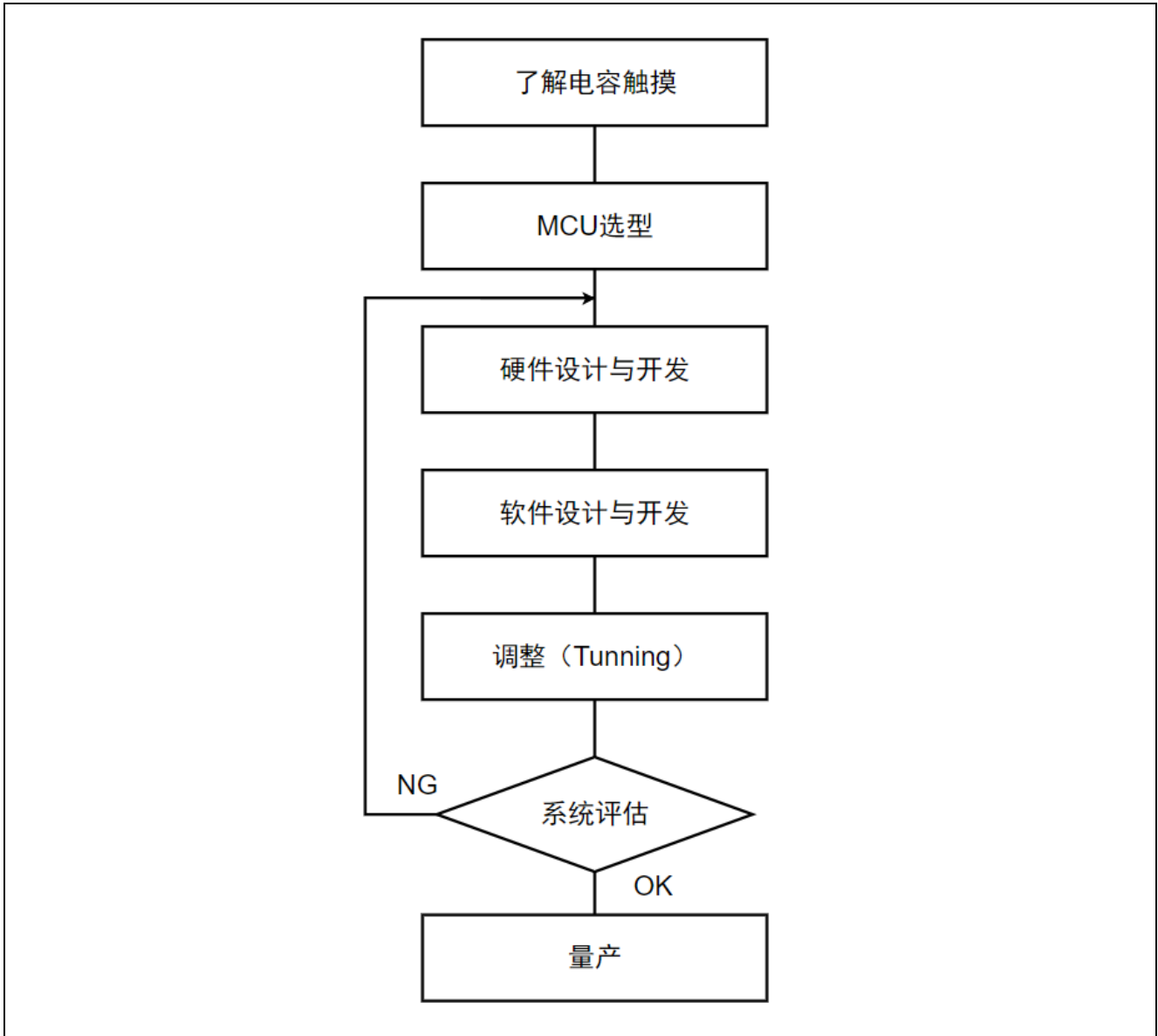


图 1.2 电容触摸产品的开发流程

## 2 电容检测

### 2.1 电容检测概要

与一般的机械触点开关不同，电容触摸按键是将人体与电极之间发生的微小电容变化（几 pF 以下）转换为类似于机械开关的 ON/OFF。

因此，在设计电容检测的布线和电极时，需要考虑噪声等其他外部因素的影响。

瑞萨开发的 CTSU 使用开关电容电路将电容转换为电流，并对其进行量化，以检测电容的变化。通过改变电流范围和累积测量次数可提高灵敏度，通过分配传感器驱动脉冲可提高抗噪声能力。

CTSU 支持“自容”和“互容”的检测方式。

## 2.2 自容方式

图 2.1 展示了自容方式的触摸检测原理。图中左侧为电极单独的电容，右侧显示的是与人体接触后变化（增加）了的电容。电路中未连接电容器的电极和线路中也存在电容。这种电容被称为寄生电容。当手指靠近电极时，电极和手指之间会产生电容，因此电极与 GND 之间的电容会增大。通过自容方式可检测电极和与 GND 之间的电容变化。

电极与 GND 之间的总电容（Total Capacity）可用以下公式表示：

$$\text{Total Capacity} = C_p + C_f$$

$C_p$ : 寄生电容

$C_f$ : 与手指之间的电容

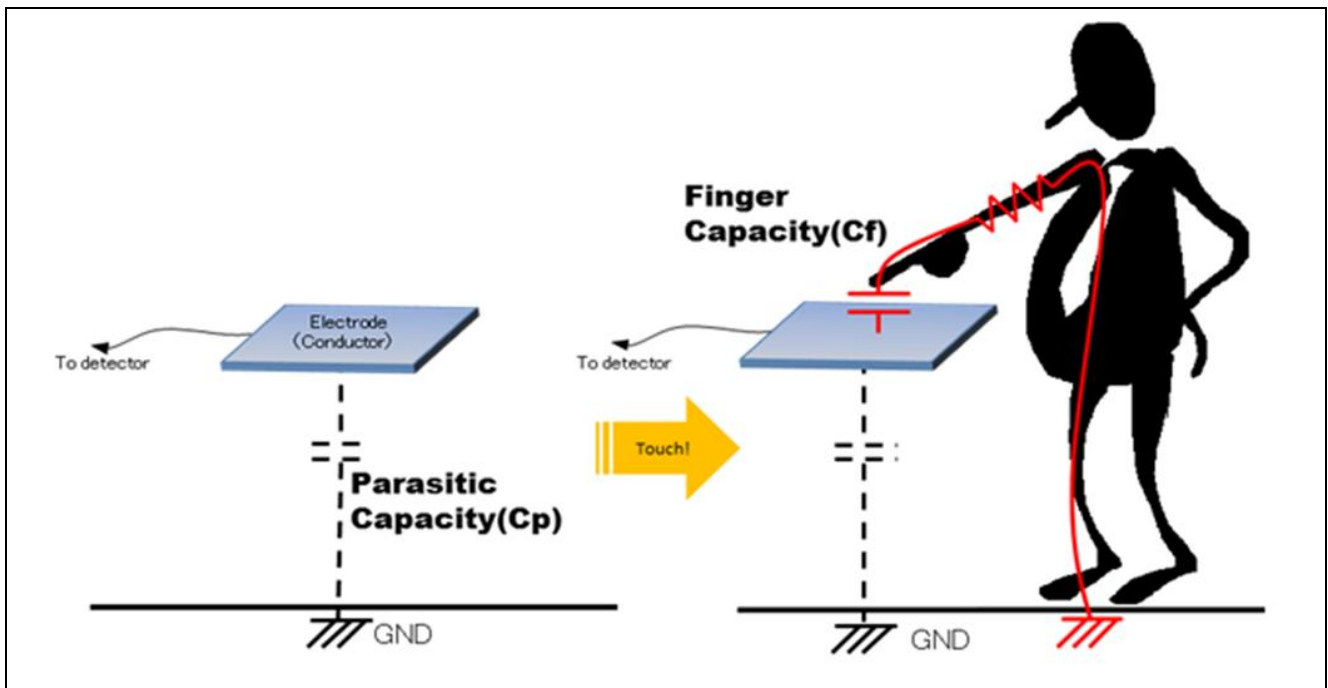


图 2.1 自容方式检测触摸的原理

### 2.2.1 检测原理

图 2.2 展示了 CTSU 的检测电路。

CTSU 通过从 TS 端子输出传感器驱动脉冲并测量其充电和放电电流来测量电容值。设电极侧电流为  $I$ 、传感器驱动脉冲频率为  $F$ 、寄生电容为  $C_p$ 、手指电容为  $C_f$ 、传感器驱动脉冲电压为  $V$ ，则下式成立。

$$I = F (C_p + C_f) V$$

其中，电流  $I$  是由测量 VDC (Voltage Down Converter) 提供的电流  $I_1$  与偏移电流 (Offset DAC) 提供的电流  $I_2$  加起来的和。

用于测量的 VDC 提供的电流  $I_1$  通过电流镜像电路在电流控制振荡器 (Current Controlled Oscillator : 以下简称 CCO) 上加上成比例的电流  $I_{OUT}$ ，CCO 输出与  $I_{OUT}$  成比例的频率的脉冲。根据传感器驱动脉冲的输出，在固定时间内测量电流  $I_{OUT}$ ，并将其存储在传感器计数寄存器中。

仅存在寄生电容  $C_p$  与通过手指接触施加电容  $C_f$  的两种情况下，电流大小 (测量值) 不同。通过这个测量值的变化可以检测到电容的变化。

TSCAP 是一个用于稳定 CTSU 内部电压的电容器。

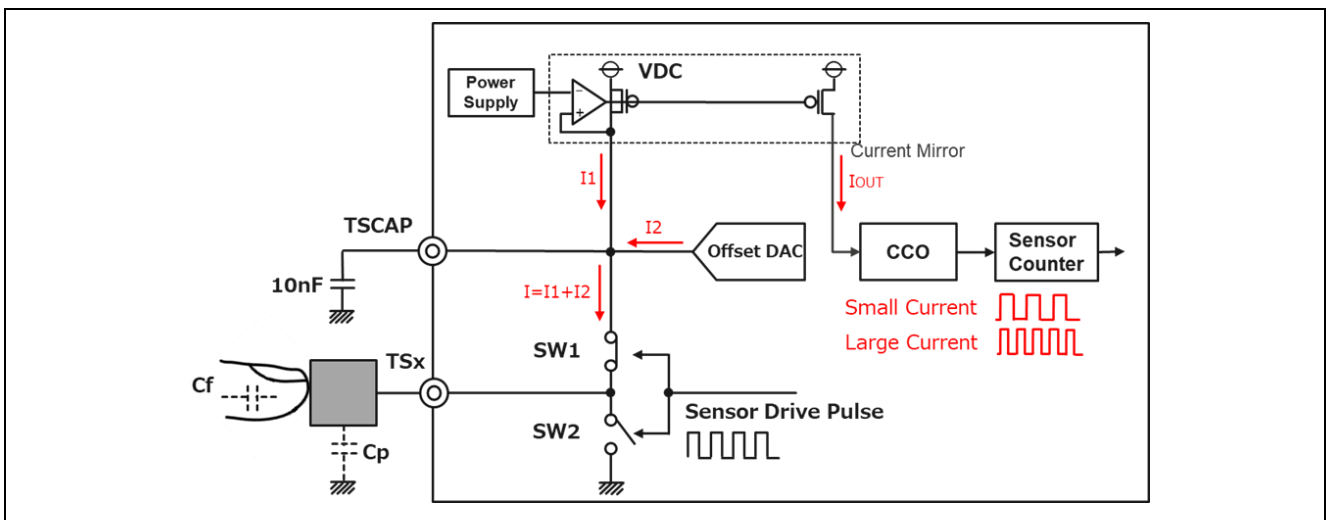


图 2.2 CTSU 测量电路



### 2.2.2 测量范围

传感器计数器寄存器为 16 位寄存器，量程为 0~65535，但在实际使用时，必须在电流测量范围内（电流量程上限的 100% 以内）进行测量。CTSUS 具有传感器偏移调整寄存器，可以通过调整偏移电流来控制寄生电容部分的计数值。调整偏移电流以使计数值更接近测量范围内的目标值称为偏移调整（Offset Tuning）的过程。为调整硬件的个体差异，MCU 复位后会通过软件处理来执行。

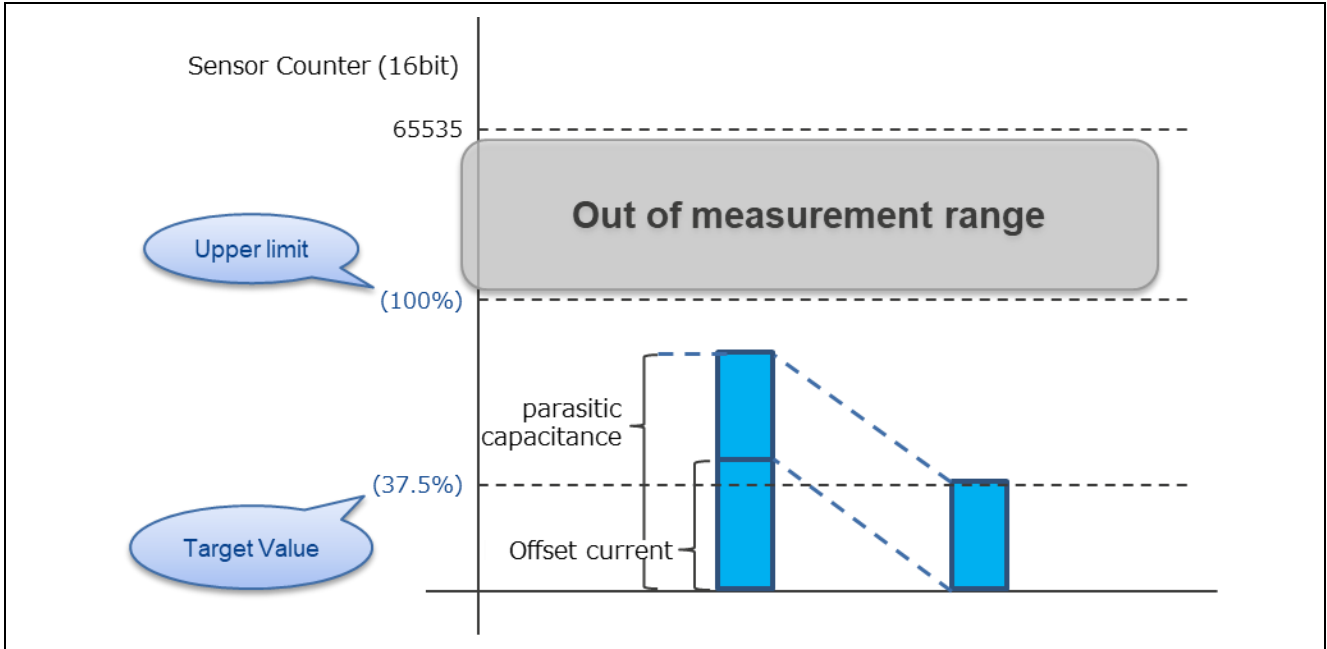


图 2.3 自容方式的偏移调整过程

详情请参考以下资料。

RL78 Family CTSU Module Software Integration System(R11AN0484)

RX Family QE CTSU module Firmware Integration Technology(R01AN4469)

RA Flexible Software Package Documentation: CTSU (r\_cts)

### 2.3 互容方式

在互容方式下，测量的是两个电极之间产生的电容，即发射电极 TX（以下简称“TX 电极”）和接收电极 RX（以下简称“RX 电极”）。当手指接近电极时，一部分电磁场转移到作为导体的人体上，从而减小了电极之间的电容。通过周期性观察这些电极之间电容变化，可以检测到人体的接近。

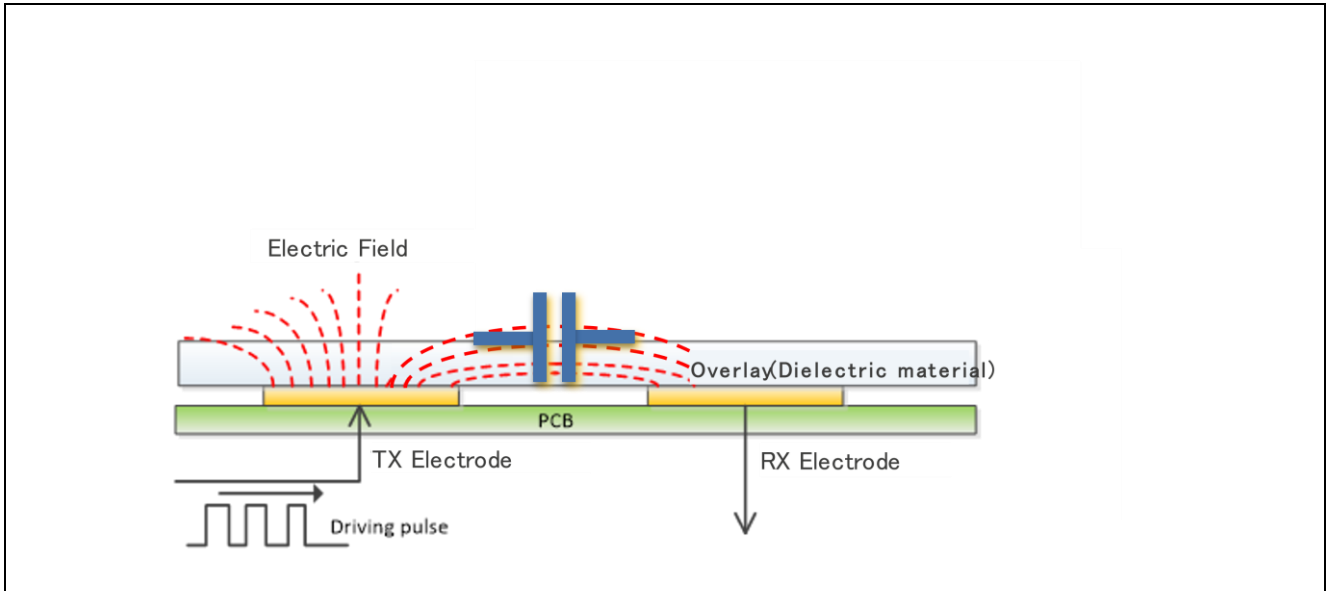


图 2.4 人体未接近时

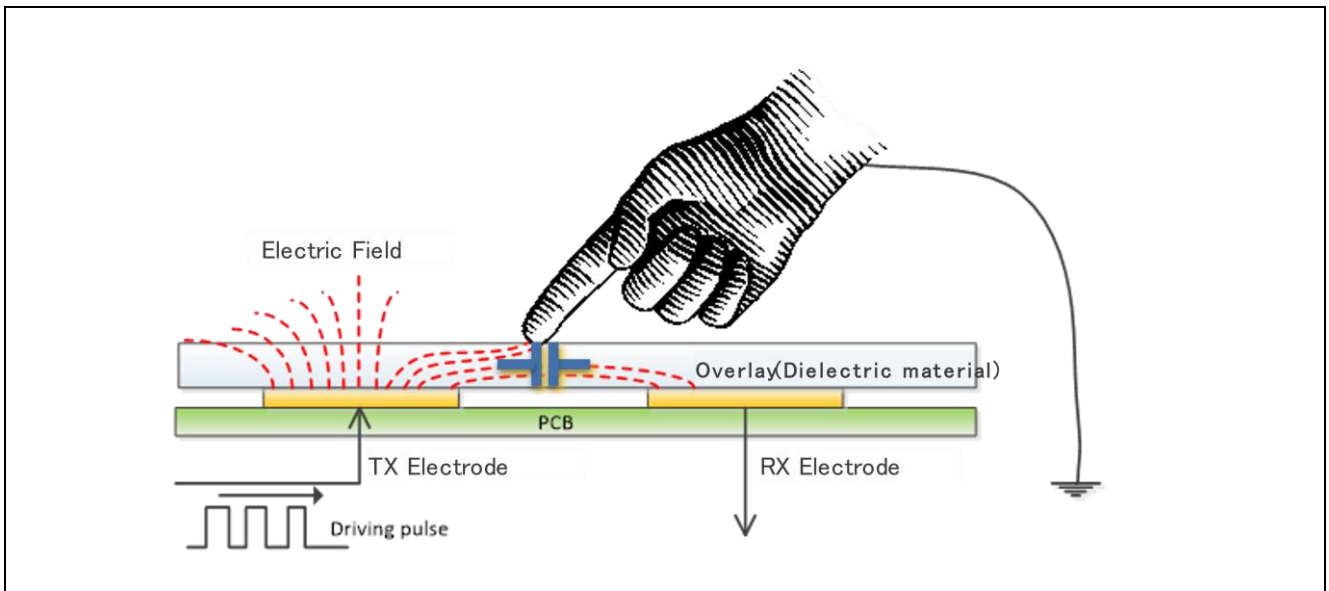


图 2.5 人体接近时

2.3.1 检测原理

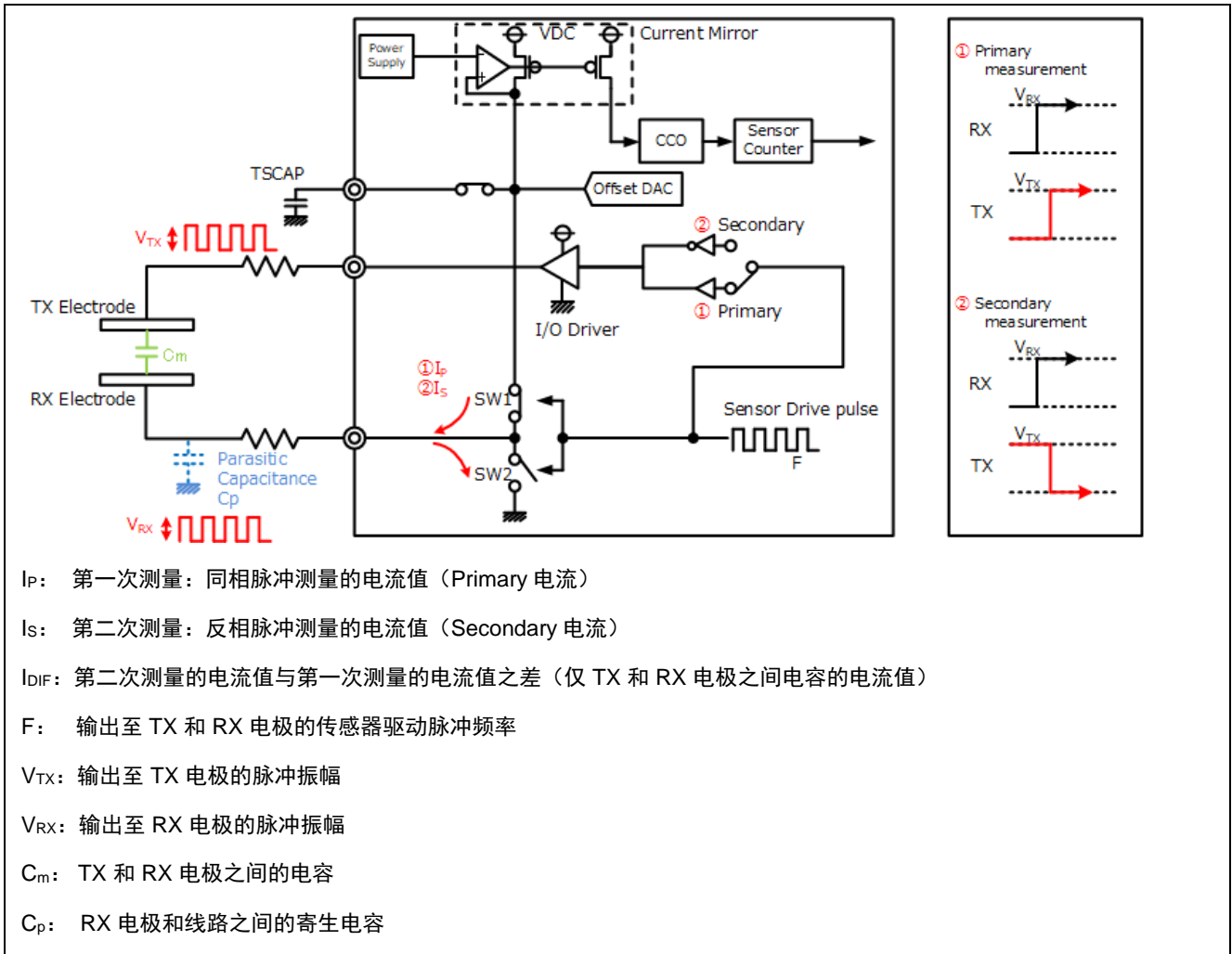


图 2.6 互容方式操作概述

图 2.6 描述了 CTSU 互容方式下的内部配置概述。

设传感器驱动脉冲的频率为  $F$ ，TX 电极方的电压为  $V_{TX}$ ，RX 电极方的电压为  $V_{RX}$ ，寄生电容为  $C_p$ ，电极之间的电容为  $C_m$ ，则：

同相脉冲输出时的 Primary 电流  $I_P$  为：

$$I_P = F ( C_p V_{RX} + C_m ( V_{RX} - V_{TX} ) )$$

当输出相反相位的脉冲时，Secondary 电流  $I_S$  为：

$$I_S = F ( C_p V_{RX} + C_m ( V_{RX} + V_{TX} ) )$$

计算测量结果的差异为：

$$I_{DIF} = I_S - I_P = F C_m 2V_{TX}$$

由此可以测量电极之间的电容电流。

在这样的互容方式下，通过测量同相脉冲和反相脉冲并计算两次测量之间的差值，来抵消寄生电容  $C_p$ ，测量出想要检测的电极之间的电容。

$V_{TX}$  由电源电压供电。因此测量值会根据 MCU 的电源电压而变化。

TSCAP 是用于稳定 CTSU 内部电压的电容器。

### 2.3.2 测量范围

传感器计数寄存器为 16 位寄存器，量程为 0~65535，但在实际使用时，必须在电流测量范围内使用（电流量程上限的 100% 以内）。CTSUS 具有传感器偏移调整寄存器，可通过调整偏置电流来控制寄生电容部分的计数值。调整偏置电流的大小，使计数值更接近测量范围内的目标值，这就是偏移调整过程。为了调整个别硬件差异，在 MCU 复位后通过软件处理来实现。图 2.7 显示了互容方式的偏移调整过程。同相脉冲输出时电流  $I_p$  的测量值称为 Primary 计数值，反相脉冲输出时电流  $I_s$  的测量值称为 Secondary 计数值。

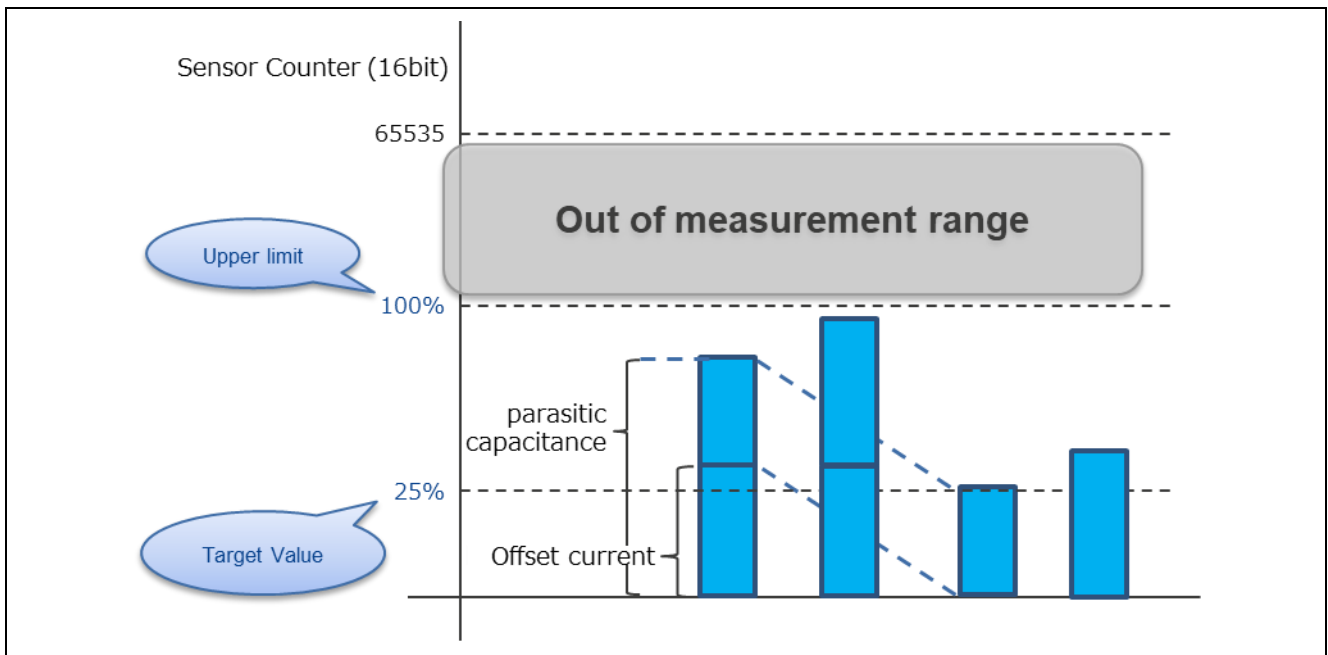


图 2.7 互容方式下的偏移调整处理

请参考以下文档获得更多信息。

RL78 Family CTSU Module Software Integration System(R11AN0484)

RX Family QE CTSU module Firmware Integration Technology(R01AN4469)

RA Flexible Software Package Documentation: CTSU (r\_ctsus)

## 2.4 漂移校正处理与触摸检测

图 2.8 的示例显示了自容方式的漂移校正处理导致测量值和参考值发生的变化以及判定触摸 ON 之前的一系列操作示例。

### (1) 漂移校正处理

当手指接触到放置在附近的电极时，或者由于温度、湿度或老化导致电容发生变化时，电容会发生变化。为减少这些影响，参考值会通过漂移校正处理定期更新。

### (2) 触摸检测

当人体接触电极上的覆盖物时，电容会发生变化，当超过触摸阈值时，就会判定为 Touch ON。由于电极之间的电容在触摸时会减小，互容按键通过将触摸阈值设置在测量值减小的方向来判定 Touch ON/OFF。

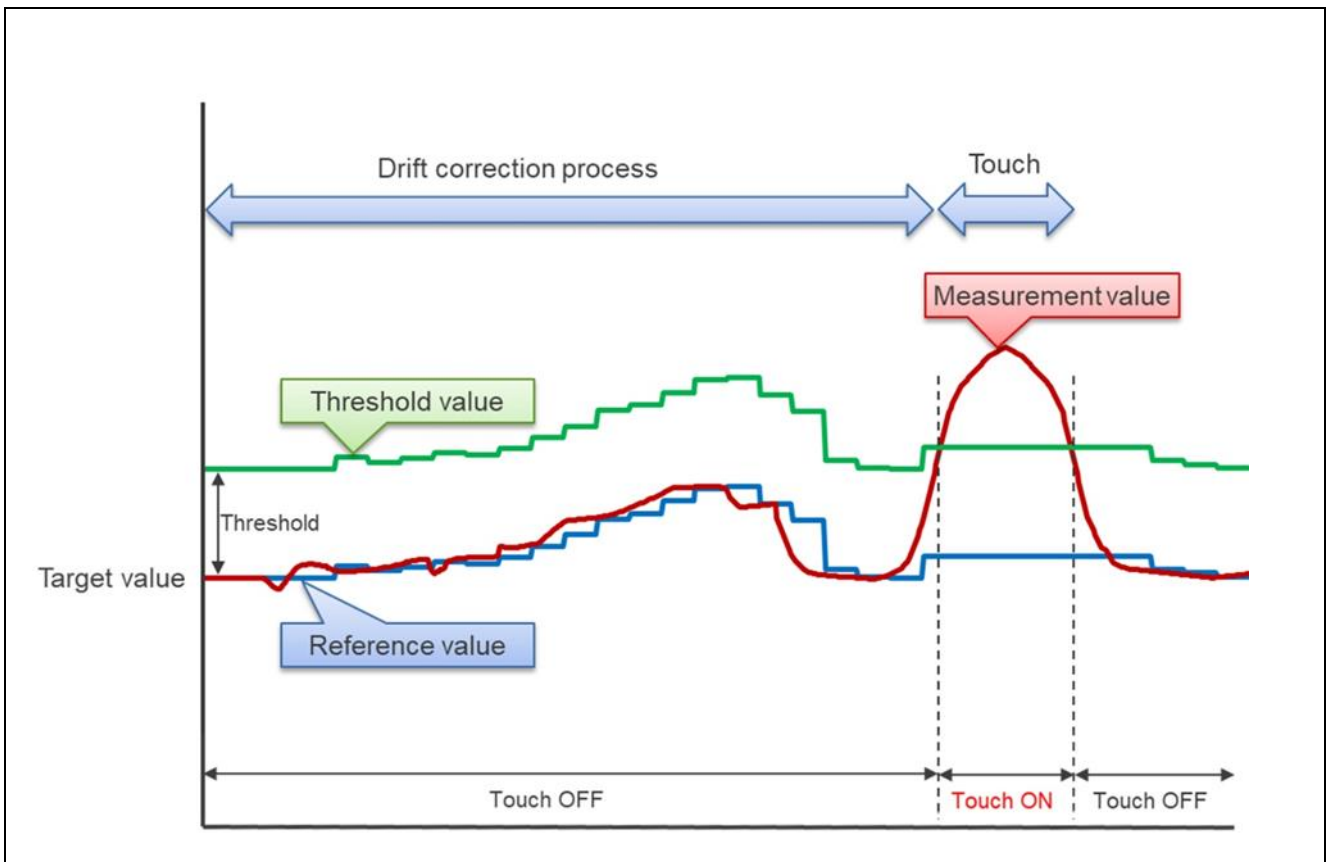


图 2.8 自容方式下的漂移校正处理

请参考以下有关 TOUCH 模块的应用说明获得更多的操作信息。

RL78 Family TOUCH Module Software Integration System (R11AN0485)

RX Family QE Touch module Firmware Integration Technology (R01AN4470)

RA Flexible Software Package Documentation: Touch (rm\_touch)

有关 ON/OFF 的确定和 Drift 修正等内容，请参考“7. 调整”。

### 3 电容触摸传感器的种类

#### 3.1 电容触摸传感器的差异

与 CTSU1 相比，CTSU2 主要增加并强化了以下功能。

- 增强了抗噪能力
  - 通过多个传感器驱动脉冲频率的测量避免同步噪声
  - 通过自容方式中使用有源屏蔽电极提高防水性能
- 提高了扫描速度
  - 增加支持并行同步扫描的“互容并行扫描”（CFC）
- 减轻了软件处理负荷
  - 增加自动判定功能
  - 增加自动校正功能

表 3.1 比较了第二代和第三代电容式触摸传感器功能。

表 3.1 电容触摸传感器功能对照表

功能	CTSU/CTSUa	CTSUb	CTSU2	CTSU2L	CTSU2La	CTSU2SL
自容	✓	✓	✓	✓	✓	✓
互容	✓	✓	✓	✓	✓	✓
随机脉冲频率测量	✓	✓	△	△	△	△
多频率测量			✓	✓	✓	✓
有源屏蔽			✓	✓	✓	✓
自动判定				✓(*1)	✓(*1)	✓
自动校正				✓(*1)	✓(*1)	✓
MEC 功能		✓			✓	✓
互容并行扫描（CFC）			✓			
温度校正			✓	✓	✓	✓

✓ : 支持

✓(\*1) : 与 SNOOZE 模式音序器 (SMS) 配合使用。有关支持的产品，请参见表 4.12。

△ : 驱动程序不支持该功能，因为它支持多频率测量。

## 3.2 CTSU1

### 3.2.1 随机脉冲频率测量

电容是通过输出传感器驱动脉冲来测量的。如果传感器驱动脉冲中混入噪声，测量结果会随之发生变化。因此 CTSU1 通过扩频或移相来输出与噪声不同步的随机脉冲，以减少噪声的影响。图 3.1 为 CTSU1 的传感器驱动脉冲输出波形示例。

RX Family QE CTSU module Firmware Integration Technology(R01AN4469)

RA Flexible Software Package Documentation: CTSU (r\_ctsu)

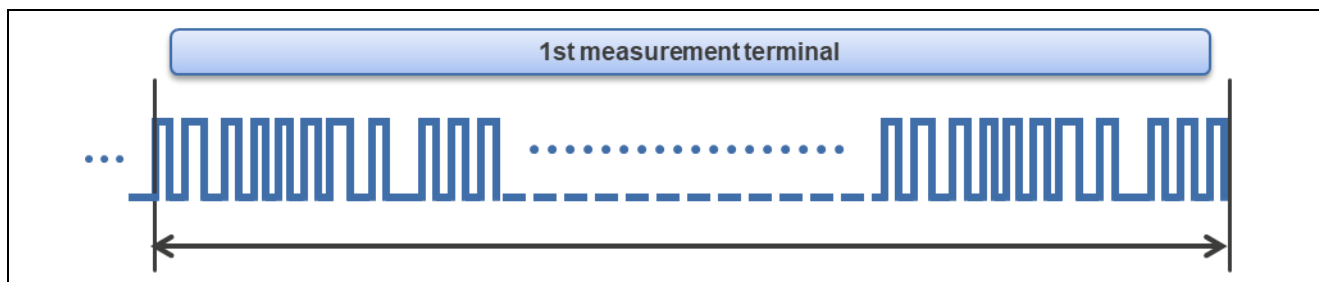


图 3.1 CTSU1 的传感器驱动脉冲输出波形

### 3.3 CTSU2

#### 3.3.1 多频率测量

电容是通过输出传感器驱动脉冲来测量的。如果传感器驱动脉冲中混入噪声，测量结果随之发生变化。为此，CTSU2 配备了多频率测量功能，可使用多个不同频率的时钟进行测量。图 3.2 显示了以三种频率进行测量时传感器驱动脉冲波形的示例。通过排除可能受噪声影响的测量结果，提高了抗噪声能力。

详情请参考以下文档。

RL78 Family CTSU Module Software Integration System(R11AN0484)

RX Family QE CTSU module Firmware Integration Technology(R01AN4469)

RA Flexible Software Package Documentation: CTSU (r\_cts)

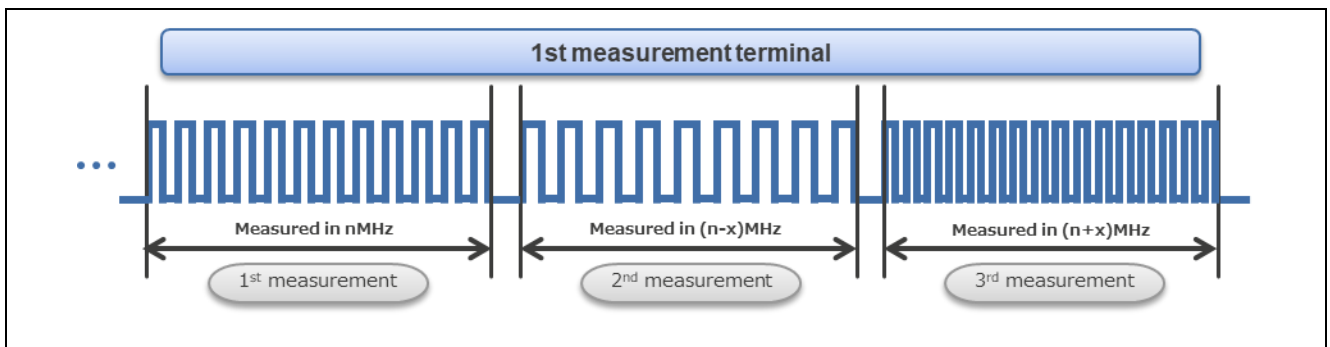


图 3.2 CTSU2 在 3 频率测量时的传感器驱动脉冲输出波形



### 3.3.2 有源屏蔽

该功能使用与被测电极相同电位和相位的驱动信号来形成屏蔽。有源屏蔽可用于降低电极和屏蔽之间的电容耦合，同时提供噪声屏蔽。

如图 3.3 所示，在测量一个按键时，如果水滴产生电容变化，可能会导致故障。如图 3.4 所示，使用有源屏蔽可减少其他电极上产生的电容的影响，从而防止误操作。

有源屏蔽仅适用于自容方式，不适用于互容方式。

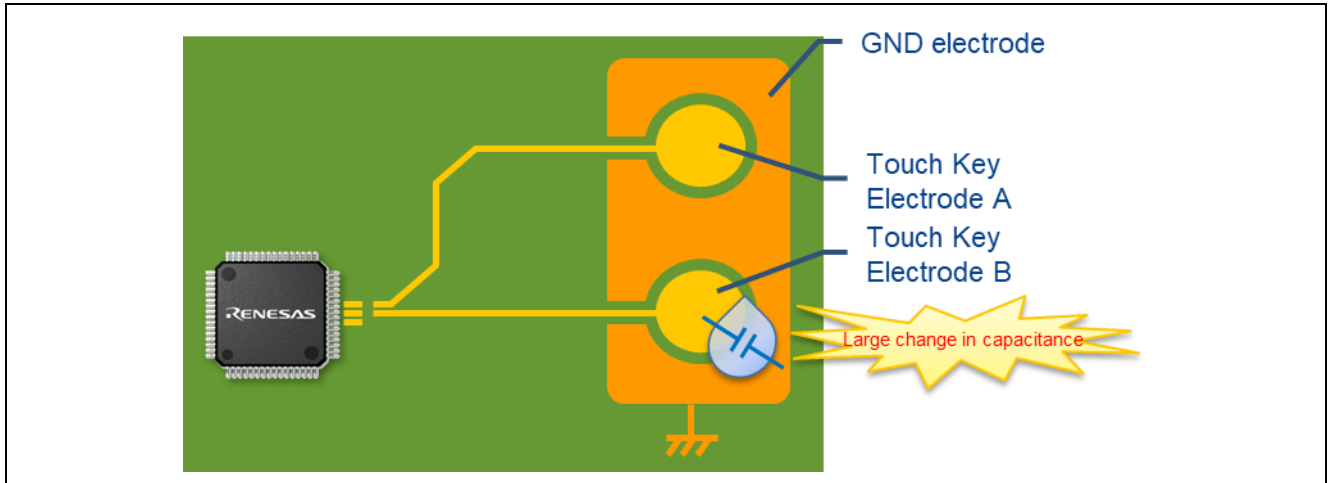


图 3.3 GND 屏蔽时

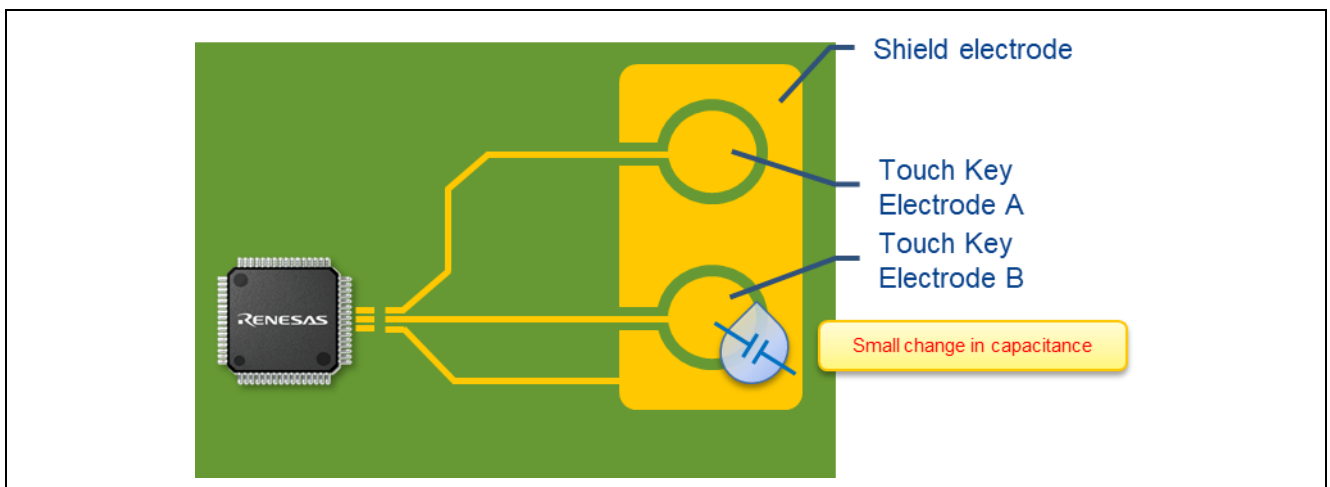


图 3.3 有源屏蔽时

详情请参考以下文档。

RL78 Family CTSU Module Software Integration System(R11AN0484)

RX Family QE CTSU module Firmware Integration Technology(R01AN4469)

RA Flexible Software Package Documentation: CTSU (r\_cts)

Capacitive Sensor Microcontrollers CTSU Capacitive Touch Electrode Design Guide (R30AN0389)

### 3.3.3 自动判断

该功能允许硬件在不运行 CPU 的情况下对触摸按键进行判断。这样可以实现低功耗。

使用此功能时，请选择具有自动判断功能的电容传感器。

详情请参考以下文档。

RL78 Family CTSU Module Software Integration System(R11AN0484)

RX Family QE CTSU module Firmware Integration Technology(R01AN4469)

### 3.3.4 自动校正

自动校正功能通过硬件进行传感器 CCO（ICO）校正。它通过硬件而非软件来处理校正计算，不占用 CPU 的处理时间。

详情请参考以下文档。

RX Family QE CTSU module Firmware Integration Technology(R01AN4469)

### 3.3.5 MEC 功能

MEC (Multiple Electrode Connection) 功能可将 CTSU 内部的自容电极连接成单个电极进行测量；使用了 MEC 功能，只需轻触任何按键即可从待机模式返回。还可以通过把多次测量合并为单次测量来减少测量次数，从而降低功耗。此外，多个电极还可作为一个大型接近传感器电极使用。

图 3.5 为 MEC 的一个示例。左图显示禁用 MEC 功能，右图显示启用 MEC 功能，可通过软件进行切换。

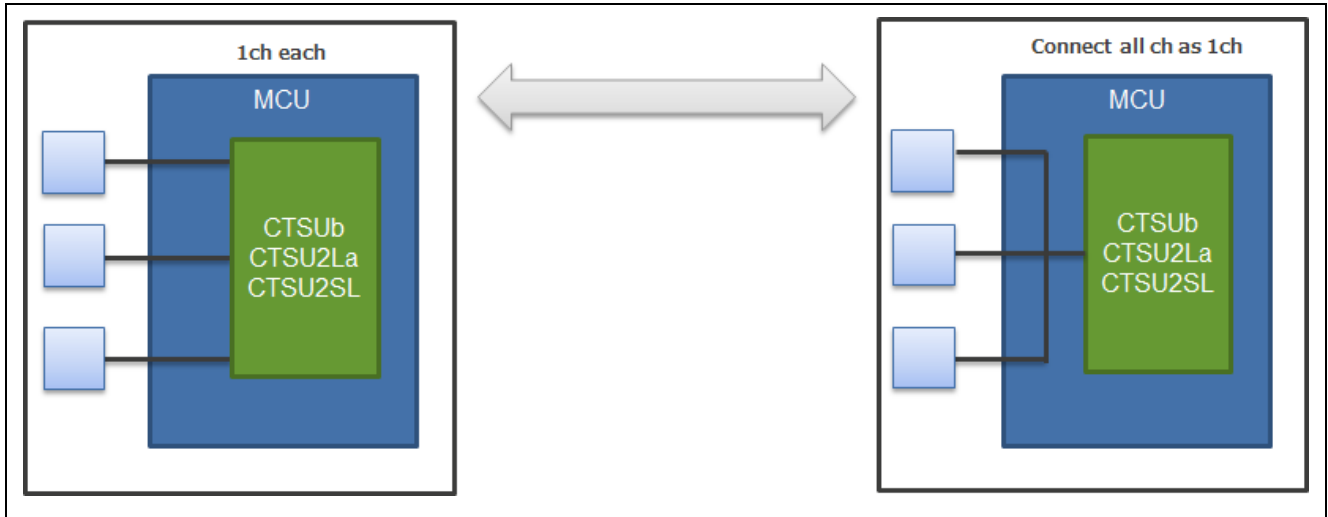


图 3.5 MEC 示例

使用此功能时，请选择具有 MEC 功能的电容传感器。

详情请参考以下文档。

RL78 Family CTSU Module Software Integration System (R11AN0484)

RX Family QE CTSU module Firmware Integration Technology (R01AN4469)

RX140 Group Smart Wakeup Solution (R11AN0613)

### 3.3.6 互容并行扫描 (CFC)

通过将 CFC 引脚作为接收引脚并切换到互容并行测量模式，可以同时测量多个引脚。

详情请参考以下文档。

RA Flexible Software Package Documentation: CTSU (r\_ctsu)

### 3.3.7 温度校正

通过在 TS 端子上连接外部电阻器，可以更新 CCO 的校正系数。

详情请参考以下文档。

RL78 Family CTSU Module Software Integration System (R11AN0484)

RX Family QE CTSU module Firmware Integration Technology (R01AN4469)

RA Flexible Software Package Documentation: CTSU (r\_ctsu)

## 4 搭载电容传感器的 MCU

### 4.1 MCU 阵容

瑞萨 RA、RX、RL78 系列 MCU 和 Renesas Synergy™ 产品都有搭载电容传感器的 MCU 产品。

有关这些系列的详细信息和最新信息，请参考以下页面的内容。

- [基于 Arm® Cortex®-M 的 RA 系列 MCU](#)
- [RX 32 位 高性能高效率 MCU](#)
- [RL78 低功耗 8 位/16 位 MCU](#)
- [Renesas Synergy™ 平台 MCU](#)

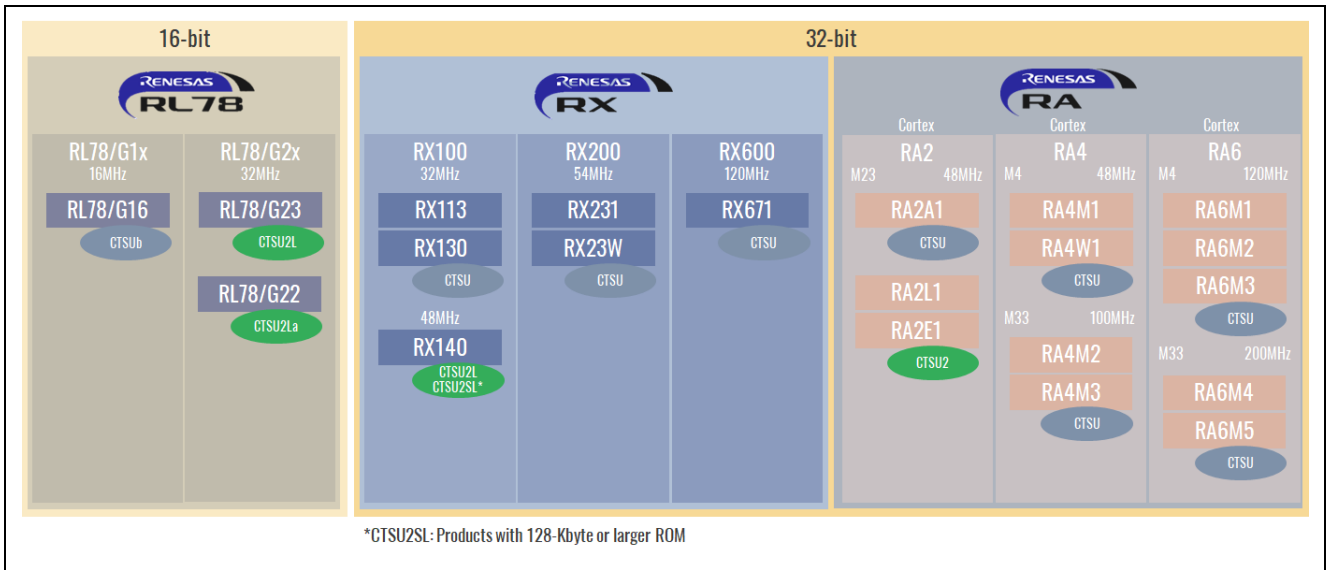


图 4.1 搭载电容传感器的 MCU

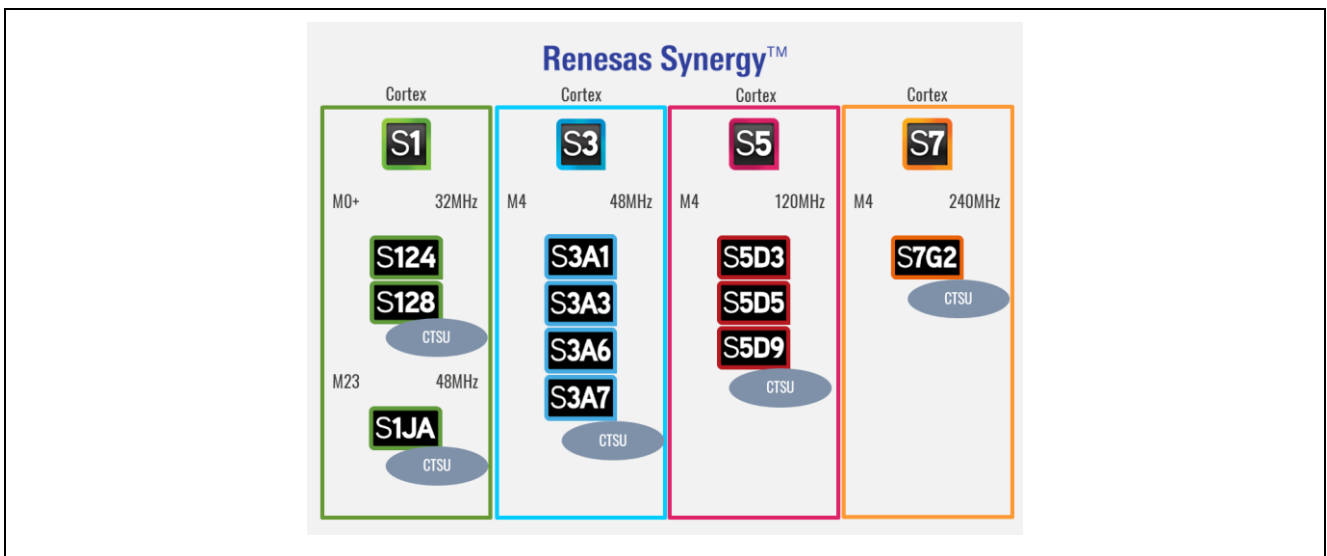


图 4.2 搭载电容传感器的 Renesas Synergy™ 阵容

## 4.2 MCU 选型要点

选择搭载电容触摸传感器的 MCU 时，有几个要点需要考虑。首先需要了解希望在产品中使用哪种带有电容触摸传感器的接口，接口确定后，就可以确定该接口所需的 TS 端子数量，这样就缩小了选择范围。此外，还可以通过验证除电容触摸传感器之外所需的 MCU 外设功能，确定最适合该客户使用的搭载电容触摸传感器的 MCU。

### 4.2.1 接口

本节介绍瑞萨电容触摸传感器解决方案关于接口的内容。

接口包括自容按键、自容滑块、自容滚轮和互容按键（触控板）。每种接口的特点如下。

#### (1) 自容按键

通过手指触摸做出反应，是取代机械触点开关的理想选择。

只能使用自容方式，并可通过单个 TS 端子进行配置。

#### (2) 自容滑块、自容滚轮

滑块检测手指上下或左右移动时的位置，而滚轮检测手指圆周运动时的角度。这两种接口的不同之处在于，滚轮两端没有 TS 端子，而滑块两端有 TS 端子，除此之外的其他方面几乎相同。

滑块和滚轮都只能使用自容方式，滑块可配置 3 至 10 个 TS 端子，滚轮可配置 4 或 8 个 TS 端子。

#### (3) 互容按键（触控板）

按键对手指触摸的反应与按键相同，但通过将 TS 端子排列成矩阵，可以用少量 TS 端子配置大量按键，从 2 个按键（1 x 2）到 64 个按键（8 x 8）不等。

仅互容方式可以使用，而且只需配置两个 TS 端子。

表 4.1 各检测方式支持的接口和所需的 TS 端子

接口	TS 端子数
自容按键	1
自容滚轮	4, 8
自容滑块	3~10
互容按键（触控板）	2

注：这里指的是所需的 TS 端子最小数量。

### 4.2.2 检测方式的特点

各检测方式的特点如下。

- 自容方式的特点

在 PCB 上布线时，需要考虑的事项较少，很容易完成布局。自容方式还可以用于滑块和滚轮的电极上。

自容方式下，防水性不强，如果需要较强的防水性，可以通过 CTSU2 将一个端子设为有源屏蔽，这样防水效果就和互容方式一样了。（见图 4.3）

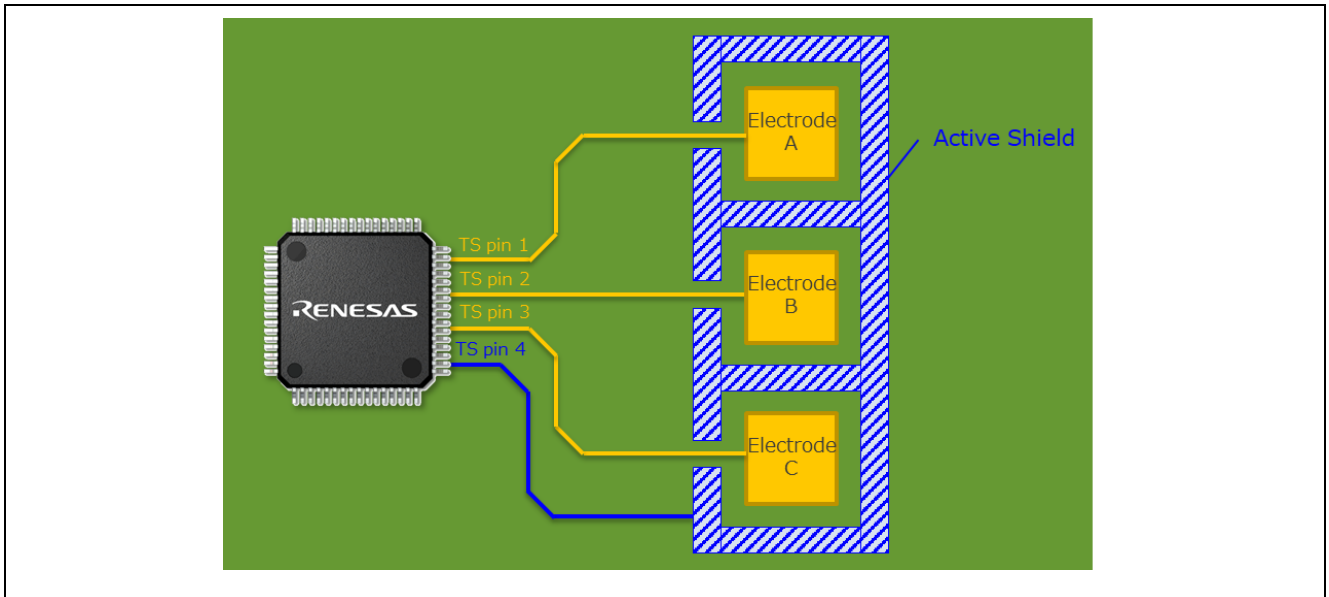


图 4.3 自容方式下的电极布局

- 互容方式的特征

使用矩阵形式的按键，用较少的引脚就可以配置触控板，并且具有较好的防水功能。不过，在布线时，需要考虑的事项比自容方式要多，例如布线限制以及发射电极和接收电极之间的寄生电容值。

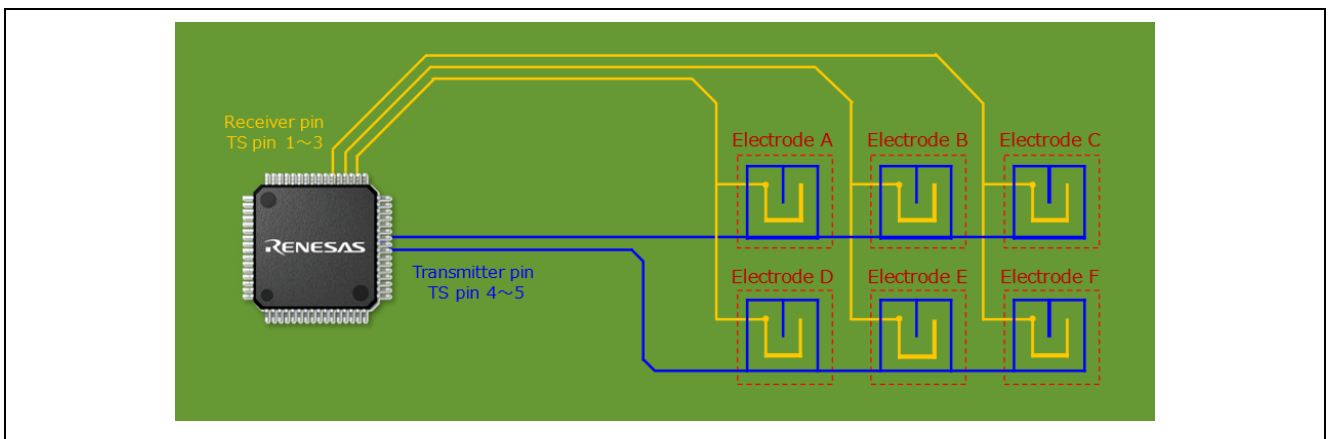


图 4.4 互容方式下的电极布局

详情请参考以下文档。

Capacitive Sensor Microcontrollers CTSU Capacitive Touch Electrode Design Guide (R30AN0389)

- 检测方式和接线注意事项

自容方式由一个 TS 端子上的一个电极组成（参见图 4.3），互容方式则由一个 TS 端子上的多个电极组成（参见图 4.4）。因此与自容相比，互容对发射和接收电极之间的布线以及寄生电容值有更多限制。

详情请参考以下文档。

Capacitive Sensor Microcontrollers CTSU Capacitive Touch Electrode Design Guide (R30AN0389)



### 4.3 搭载 CTSU1 的 MCU

搭载 CTSU1 (CTSU/CTSUa/CTSUb) 的 MCU 功能比较见表 4.2 至表 4.9。有关各产品的详细信息，请参阅各产品的介绍页面。

您可以在产品介绍页面底部的产品选择栏中缩小产品选择范围。

表 4.2 搭载 CTSU1 的 RA MCU (1/2)

产品名称	<a href="#">RA2A1</a>	<a href="#">RA4M1</a>	<a href="#">RA4M2</a>	<a href="#">RA4M3</a>	<a href="#">RA4W1</a>
CPU 内核	ARM CM23	ARM CM4	ARM CM33	ARM CM33	ARM CM4
最大工作频率 (MHz)	48	48	100	100	48
电源电压 (V)*1	1.6 - 5.5	1.6 - 5.5	2.7 - 3.6	2.7 - 3.6	1.8 - 3.6
ROM (KB)	256	256	256, 384, 512	512, 768, 1024	512
Data Flash (KB)	8	8	8	8	8
RAM (KB)	32	32	128	128	96
电容传感器类型	CTSU				
TS 端子数目	26	27	12	20	11
自容方式	✓	✓	✓	✓	✓
互容方式	✓	✓	✓	✓	✓
随机频率测量	✓	✓	✓	✓	✓

✓：支持

\*1: 电源电压 (V) 可能与电容触摸传感器的工作电压不同。

表 4.3 搭载 CTSU1 的 RA MCU (2/2)

产品名称	<a href="#">RA6M1</a>	<a href="#">RA6M2</a>	<a href="#">RA6M3</a>	<a href="#">RA6M4</a>	<a href="#">RA6M5</a>
CPU 内核	ARM CM4	ARM CM4	ARM CM4	ARM CM33	ARM CM33
最大工作频率 (MHz)	120	120	120	200	200
电源电压 (V)*1	2.7 - 3.6	2.7 - 3.6	2.7 - 3.6	2.7 - 3.6	2.7 - 3.6
Program Memory (KB)	512	512, 1024	1024, 2048	512, 768, 1024	1024, 1536, 2048
Data Flash (KB)	8	32	64	8	8
RAM (KB)	256	384	640, 384	256	512
电容传感器类型	CTSU				
TS 端子数目	19	18	18	20	12
自容方式	✓	✓	✓	✓	✓
互容方式	✓	✓	✓	✓	✓
随机频率测量	✓	✓	✓	✓	✓

✓：支持

\*1: 电源电压 (V) 可能与电容触摸传感器的工作电压不同。

表 4.4 搭载 CTSU1 的 RX MCU (1/2)

产品名称	<a href="#">RX113</a>	<a href="#">RX130</a>	<a href="#">RX230</a>	<a href="#">RX231</a>	<a href="#">RX23W</a>
CPU 内核	RXv1	RXv1	RXv2	RXv2	RXv2
最大工作频率 (MHz)	32	32	54	54	54
电源电压 (V)*1	1.8 - 3.6	1.8 - 5.5	1.8 - 5.5	1.8 - 5.5	1.8 - 3.6
Program Memory (KB)	128, 256, 384, 512	64, 128, 256, 384, 512	128, 256	128, 256, 384, 512	384, 512
Data Flash (KB)	8	8	8	8	8
RAM (KB)	64, 32	10, 16, 48, 32	32	32, 64	64
电容传感器类型	CTSU	CTSUa	CTSU		
TS 端子数目	12	36	24	24	12
自容方式	✓	✓	✓	✓	✓
互容方式	✓	✓	✓	✓	✓
随机频率测量	✓	✓	✓	✓	✓

✓：支持

\*1：电源电压 (V) 可能与电容触摸传感器的工作电压不同。

表 4.5 搭载 CTSU1 的 RX MCU (2/2)

产品名称	<a href="#">RX671</a>
CPU 内核	RXv3
最大工作频率 (MHz)	120
电源电压 (V)*1	2.7 - 3.6
Program Memory (KB)	1024, 1536, 2048
Data Flash (KB)	8
RAM (KB)	384
电容传感器类型	CTSUa
TS 端子数目	17
自容方式	✓
互容方式	✓
随机频率测量	✓

✓：支持

\*1：电源电压 (V) 可能与电容触摸传感器的工作电压不同。

表 4.6 搭载 CTSU1 的 Synergy™ MCU (1/3)

产品名称	<a href="#">S124</a>	<a href="#">S128</a>	<a href="#">S1JA</a>	<a href="#">S3A1</a>	<a href="#">S3A3</a>
CPU 内核	ARM CM0+	ARM CM0+	ARM CM23	ARM CM4	ARM CM4
最大工作频率 (MHz)	32	32	48	48	48
电源电压 (V)*1	1.6 - 5.5	1.6 - 5.5	1.6 - 5.5	1.6 - 5.5	1.6 - 5.5
Program Memory (KB)	64, 128	256	256	1024	512
Data Flash (KB)	4	4	8	8	8
RAM (KB)	16	24	32	192	96
电容传感器类型	CTSU				
TS 端子数目	31	28	26	27	27
自容方式	✓	✓	✓	✓	✓
互容方式	✓	✓	✓	✓	✓
随机频率测量	✓	✓	✓	✓	✓

✓：支持

\*1：电源电压 (V) 可能与电容触摸传感器的工作电压不同。

表 4.7 搭载 CTSU1 的 Synergy™ MCU (2/3)

产品名称	<a href="#">S3A6</a>	<a href="#">S3A7</a>	<a href="#">S5D3</a>	<a href="#">S5D5</a>	<a href="#">S5D9</a>
CPU 内核	ARM CM4	ARM CM4	ARM CM4	ARM CM4	ARM CM4
最大工作频率 (MHz)	48	48	120	120	120
电源电压 (V)*1	1.6 - 5.5	1.6 - 5.5	2.7 - 3.6	2.7 - 3.6	2.7 - 3.6
Program Memory (KB)	256	1024	512	512, 1024	1024, 2048
Data Flash (KB)	8	16	8	32	64
RAM (KB)	32	192	256	384	640
电容传感器类型	CTSU				
TS 端子数目	27	31	12	18	18
自容方式	✓	✓	✓	✓	✓
互容方式	✓	✓	✓	✓	✓
随机频率测量	✓	✓	✓	✓	✓

✓：支持

\*1：电源电压 (V) 可能与电容触摸传感器的工作电压不同。

表 4.8 搭载 CTSU1 的 RX MCU (3/3)

产品名称	<a href="#">S7G2</a>
CPU 内核	ARM CM4
最大工作频率 (MHz)	240
电源电压 (V)*1	2.7 - 3.6
Program Memory (KB)	3072, 4096
Data Flash (KB)	64
RAM (KB)	640
电容传感器类型	CTSU
TS 端子数目	18
自容方式	✓
互容方式	✓
随机频率测量	✓

✓：支持

\*1：电源电压 (V) 可能与电容触摸传感器的工作电压不同。

表 4.9 搭载 CTSU1 的 RL78 MCU

产品名称	<a href="#">RL78/G16</a>
CPU 内核	RL78
最大工作频率 (MHz)	16
电源电压 (V)*1	2.4 - 5.5
Program Memory (KB)	16, 32
Data Flash (KB)	1
RAM (KB)	2
电容传感器类型	CTSUb
TS 端子数目	15
自容方式	✓
互容方式	✓
随机频率测量	✓
多电极连接 (MEC)	✓

✓：支持

\*1：电源电压 (V) 可能与电容触摸传感器的工作电压不同。

#### 4.4 搭载 CTSU2 的 MCU

搭载 CTSU2（CTSU2, CTSU2L, CTSU2La, CTSU2SL）的 MCU 功能比较见表 4.10 至表 4.12。表中的电源电压 (V) 可能与电容触摸传感器的工作电压不同。有关各产品的详细信息，请参阅各产品的介绍页面。

您可以在产品介绍页面底部的产品选择栏中缩小产品选择范围。

表 4.10 搭载 CTSU2 的 RA MCU

产品名称	<a href="#">RA2E1</a>	<a href="#">RA2L1</a>
CPU 内核	ARM CM23	ARM CM23
最大工作频率 (MHz)	48	48
电源电压 (V)*1	1.6 - 5.5	1.6 - 5.5
Program Memory (KB)	32, 64, 128	128, 256
Data Flash (KB)	4	8
RAM (KB)	16	32
电容传感器类型	CTSU2	
TS 端子数目	30	32
自容方式	✓	✓
互容方式	✓	✓
多频率检测	✓	✓
有源屏蔽	✓	✓
自动判断		
自动校正		
多电极连接 (MEC)		
互容并行扫描 (CFC)	18	20
温度校正	✓	✓

✓：支持

\*1：电源电压 (V) 可能与电容触摸传感器的工作电压不同。

表 4.11 搭载 CTSU2 的 RX MCU

产品名称	<a href="#">RX140</a>	
CPU 内核	RXv2	
最大工作频率 (MHz)	48	
电源电压 (V)*1	1.8 - 5.5	
Program Memory (KB)	64	128, 256
Data Flash (KB)	4	8
RAM (KB)	16	32, 64
电容传感器类型	CTSU2L	CTSU2SL
TS 端子数目	12	36
自容方式	✓	✓
互容方式	✓	✓
多频率检测	✓	✓
有源屏蔽	✓	✓
自动判断		✓
自动校正		✓
多电极连接 (MEC) (CFC)		✓
温度校正	✓	✓

✓：支持

\*1：电源电压 (V) 可能与电容触摸传感器的工作电压不同。

表 4.12 搭载 CTSU2 的 RL78 MCU

产品名称	<a href="#">RL78/G23</a>	<a href="#">RL78/G22</a>
CPU 内核	RL78	RL78
最大工作频率 (MHz)	32	32
电源电压 (V)*1	1.6 - 5.5 *1	1.6 - 5.5 *1
Program Memory (KB)	96, 128, 192, 256, 384, 512, 768	32, 64
Data Flash (KB)	8	2
RAM (KB)	16, 12, 48, 32, 24, 20	4
电容传感器类型	CTSU2L	CTSU2La
TS 端子数目	32	29
自容方式	✓	✓
互容方式	✓	✓
多频率检测	✓	✓
有源屏蔽	✓	✓
自动判断	✓ *2	✓ *2
自动校正	✓ *2	✓ *2
多电极连接 (MEC)		✓
互容并行扫描 (CFC)		
温度校正	✓	✓

✓：支持

\*1：电源电压 (V) 可能与电容触摸传感器的工作电压不同。

## 5 硬件

### 5.1 电极设计指南

瑞萨官网登载了自容和互容的电极布局样式和特性数据。有关 MCU 设计和示例，请参阅以下应用说明。

Capacitive Touch Electrode Design Guide (R30AN0389)



## 6 软件

### 6.1 软件配置

瑞萨为客户提供了驱动程序（CTSU 模块）和中间件（TOUCH 模块），用于将电容触摸传感器应用到 MCU 的程序中。驱动程序和中间件与下文所述的 QE for Capacitive Touch 等开发环境结合使用。QE for Capacitive Touch 的调整结果作为参数文件纳入程序中。一个典型程序的软件架构包括 CTSU 模块、TOUCH 模块和应用程序，如图 6.1 所示。

本章介绍应用电容触摸传感器的程序软件，包括 CTSU 和 TOUCH 模块。

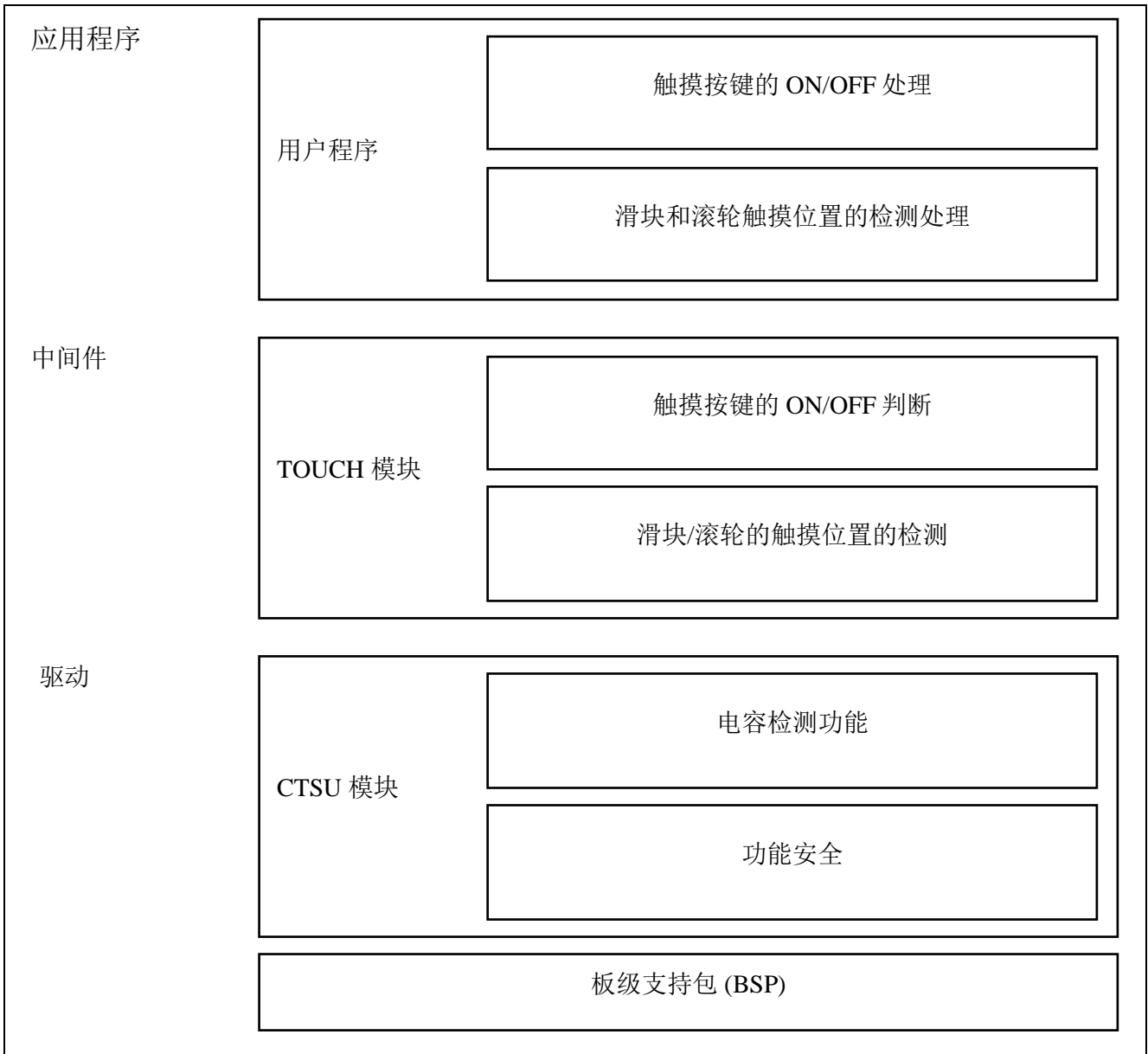


图 6.1 典型的软件架构

#### 6.1.1 CTSU 模块

CTSUS 模块是 TOUCH 模块的 CTSU 驱动程序，由 QE for Capacitive Touch 调整的 CTSU 寄存器设定值可从参数文件输入到模块中使用。

该模块提供的电容检测功能如下：

- ICO 补偿控制
- 偏移调整
- 随机脉冲频率测量
- 多频率测量
- 有源屏蔽控制
- 自动判断控制
- 自动校正控制
- MEC 控制
- CFC 控制
- 温度补偿控制
- 功能安全

有关 CTSU 模块的更多信息，请参阅以下文档。

RL78 Family CTSU Module Software Integration System (R11AN0484)

RX Family QE CTSU module Firmware Integration Technology (R01AN4469)

RA Flexible Software Package Documentation: CTSU (r\_ctsu)

Renesas Synergy™ Software Package (SSP)

### 6.1.2 TOUCH 模块

TOUCH 模块是使用 CTSU 模块提供电容式触摸检测的中间件。由 QE for Capacitive Touch 调整的参数可从参数文件输入到模块中使用。

该模块提供的电容检测功能如下：

- 触摸按键的 ON/OFF 判断
- 滑块/滚轮的触摸位置的检测

有关 TOUCH 模块的更多信息，请参阅以下文档。

RL78 Family CTSU Module Software Integration System (R11AN0484)

RX Family QE CTSU module Firmware Integration Technology (R01AN4469)

RA Flexible Software Package Documentation: CTSU (r\_ctsu)

Renesas Synergy™ Software Package (SSP)

## 6.2 功能安全

瑞萨电容触摸键（CTSUS1 和 CTSUS2）可通过自检软件诊断内部电路。

有关功能安全的更多信息，请参阅以下网页。

<https://www.renesas.com/capacitive-touch-functional-safety>

### 6.3 低功耗指南

瑞萨为客户提供了低功耗应用中使用电容触摸的配置样例。有关使用电容触摸的低功耗指南，请参阅下面的应用说明。

RA2L1 Group Capacitive Touch Low Power Guide (R01AN6266)

RA6M2 Group Capacitive Touch Low Power Guide (R01AN6473)

RL78 Family RL78/G23 Capacitive Touch Low Power Guide (SNOOZE function) (R01AN5886)

RL78/G23 Group RL78/G23 Capacitive Touch Low Power Guide (SMS function) (R01AN6670)

有关 MEC 功能的信息，请参阅以下应用说明。

RX140 Group Smart Wakeup Solution (R11AN0613)

### 6.4 软件滤波器

CTSU 模块提供的 API 能够让用户替换自己的滤波器或同时使用多个滤波器。有关详细的项目文件集成说明、样例软件滤波器代码和样例文件，请参阅下面的应用说明。

RA Family Capacitive Touch Software Filter Sample Program (R30AN0427)

Capacitive Sensor MCU Capacitive Touch Noise Immunity Guide (R30AN0426)

### 7 调整

使用 QE for Capacitive Touch 自动调整可生成基本的 CapTouch 参数。如果使用这些参数进行的评估不符合要求，请执行“7.2 手动调整 CapTouch 参数”。如果还需要进一步调整，请参阅“7.3 高级模式调整”。

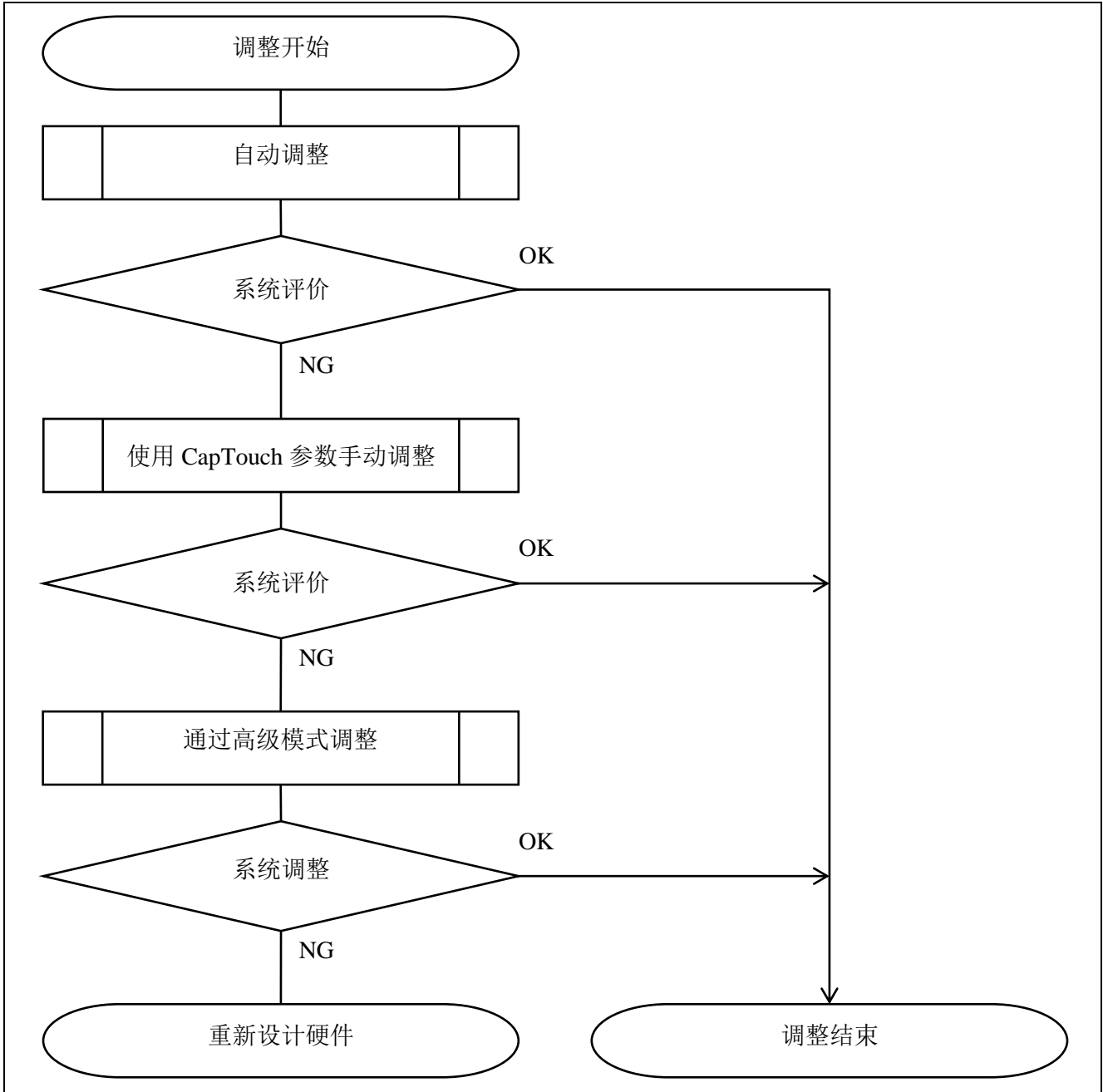


图 7.1 调整流程

#### 7.1 使用 QE for Capacitive Touch 自动调整

图 7.2 显示了使用 QE for Capacitive Touch 进行的自动调整，通过以下处理创建了调整参数。MCU 复位后，根据这些参数开始运行。

- 寄生电容检测  
根据寄生电容和电阻值决定可保证完全充放电的传感器驱动脉冲频率。
- 偏置调整  
调整偏置电流可使计数值更接近检测范围内的目标值。
- 灵敏度检测（非触摸状态）  
通过检测非接触状态下的电容值确定参考值。
- 灵敏度检测（触摸状态）  
检测触摸状态下的电容值，并通过计算与非接触状态下测量结果的差值来计算手指的电容变化。再根据这些结果确定阈值和迟滞。

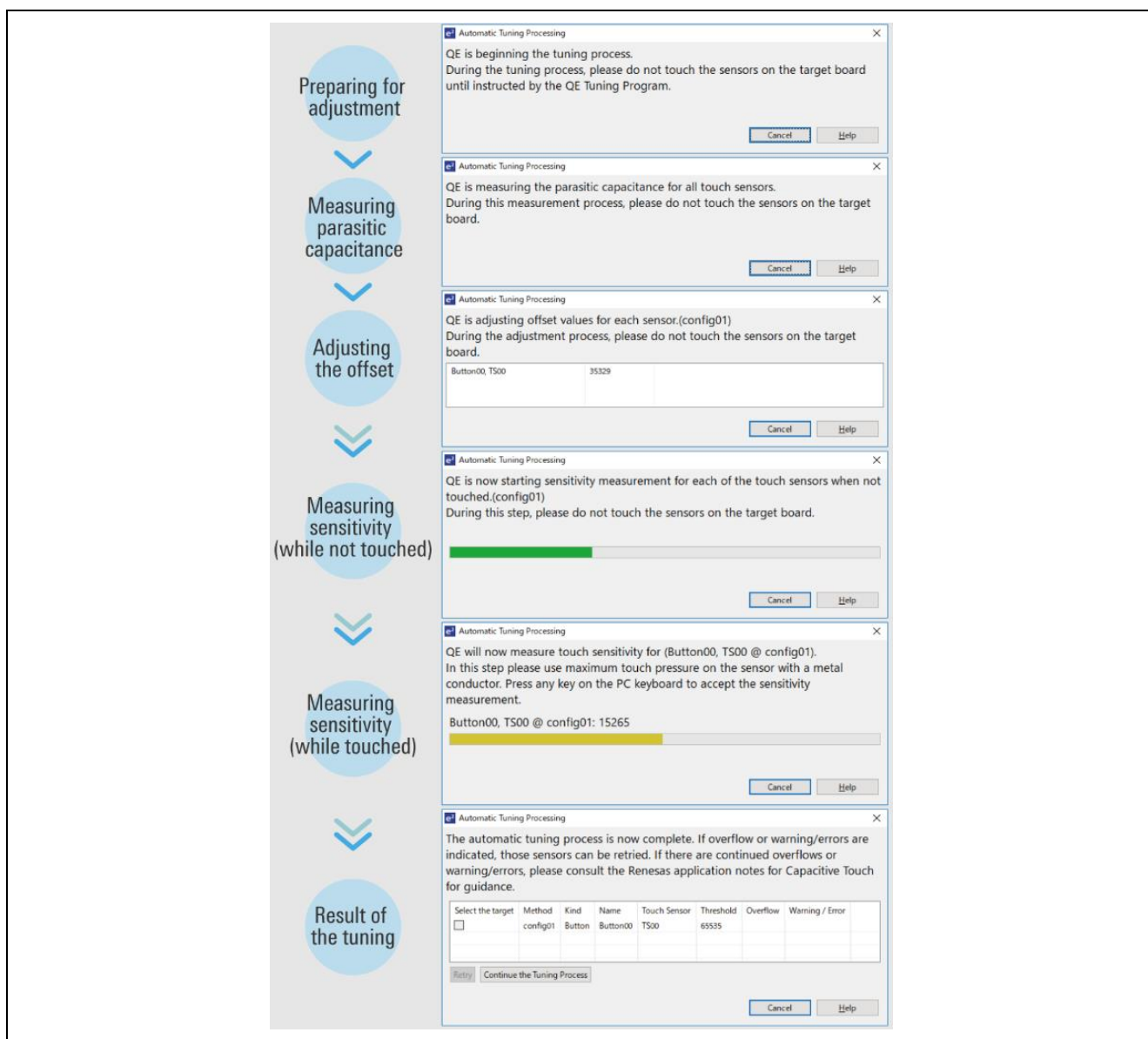


图 7.2 使用 QE for Capacitive Touch 自动调整

## 7.2 通过 CapTouch 参数手动调整

手动调整是指用户在 QE for Capacitive Touch 自动调整的基础上，根据自己的需要手动更改参数。

表 7.1 列出了需要手动调整的 CapTouch 参数。

表 7.1 CapTouch 参数

CapTouch 参数	概要
移动平均滤波器深度	移动平均滤波器用于减少噪声影响、指定移动平均次数。
触摸阈值	该值用于判断 Touch ON，指定测量值从参考值到判断为 Touch ON 之间的变化量。
迟滞	该值用于判断 Touch OFF，指定测量值从触摸阈值判断 Touch OFF 之间的变化量。
漂移校正处理间隔	该功能采用固定周期更新参考值以跟踪寄生电容的变化，并可指定更新参考值的周期。
正噪声滤波器周期	用于确定 Touch ON 的防抖处理。当 Touch ON 状态持续一定次数时，可以指定确认 Touch ON 的周期。
负噪声滤波器周期	用于确定 Touch OFF 的防抖处理。当 Touch ON 状态持续一定次数时，可以指定确认 Touch OFF 的周期。
长按取消周期	该功能的作用是：因外界触碰导致 Touch ON 达到一定次数后，强制切换为 Touch OFF。可以指定强制切换为 Touch OFF 功能的激活周期。

下文详细介绍了与 CapTouch 参数相关的电容测量功能。

### (1) 移动平均

该滤波器在计算计数值时使用。

移动平均滤波器的深度（以下简称深度）为 CapTouch 参数。随着深度的减小，测量值在计数值中的反映速度会加快，按键的响应速度也会提高。同时带来的弊端是：测量值因噪声等因素导致的突然增减，使计数值反应更为敏感。另一方面，深度的增加可提高对噪声（如测量值的突然变化）的抑制能力，但可能导致响应速度变慢。

## (2) 触摸判断

该功能用来判断自容按键或互容按键（触控板）的 Touch ON/OFF。

CapTouch 参数包括：

- 触摸阈值

该参数用于判断按键/触控板从 Touch ON 到 Touch OFF 的切换。

触摸阈值越小，越容易 Touch ON，触摸阈值越大，越难 Touch ON。

- 迟滞

该参数用于在确定按键/触控板从 Touch ON 到 Touch OFF 时的触摸阈值。应对防抖时，当迟滞值低于触摸阈值时，将确定 Touch OFF。

需要注意的是：迟滞越大，防抖越有效，但从 Touch ON 切换到 Touch OFF 也越困难，从而可能导致按键响应不佳。

- 正噪声滤波器

该参数用于设置从按键/触控板的计数值超过触摸阈值到确定实际 Touch ON 间的持续时间。应对防抖时，在计数值超过触摸阈值的指定时间段内确定 Touch ON。

需要注意的是：增加正噪声滤波器可提高防抖效果，但也可能导致按键响应不佳。

- 负噪声滤波器

该参数用于设置从按键/触控板计数值降至触摸阈值以下到确定实际 Touch OFF 的持续时间。应对防抖时，在计数值超过触摸阈值的指定时间段内确定 Touch OFF。

需要注意的是：增加负噪声滤波器可提高防抖效果，但也可能导致按键响应不佳。

## (3) 漂移校正

该功能会根据周围环境更新按键/触控板的参考值。在 Touch OFF 时生效，在指定时间内对 Touch OFF 时的计数值进行平均，并通过平均值更新参考值。

通过 CapTouch 参数“漂移校正间隔”可以指定参考值的更新周期。增大该参数会减慢参考值的更新速度，而减小该参数则会加快参考值的更新速度。需要注意的是：如果参数设置过小，触摸按键后参考值很快就追上计数值，很难 Touch ON。

## (4) 长按取消

当按键/触控板的 Touch ON 状态超过一定时间后，通过该功能执行 Touch OFF。强噪声或其他环境的突变可能导致漂移校正过程的参考值更新无法及时完成，从而使 Touch ON 状态无法恢复。因此为了从这种状态恢复，当 Touch ON 状态持续一段时间且启动漂移校正时，会强制 Touch OFF。

长按取消周期可作为 CapTouch 参数使用，用户可通过该参数指定激活长按取消的持续时间。

手动调整也可以通过直接编辑程序源代码来实现，下文介绍通过 QE for Capacitive Touch 进行的手动调整。

在 QE for Capacitive Touch 中的 “CapTouch Parameters (QE)”（图 7.3 中的红框内）进行手动调整。例如，如果想让按键反应更灵敏，可以降低“触摸阈值”的值。在这里，触摸阈值从 3000 降到了 1000。图 7.3 中的红线代表计数值，蓝线代表参考值，绿线代表触摸阈值。从图中可以看出，同一个计数值在触摸阈值为 3000 时不会触发 ON，但当触摸阈值为 1000 时，该计数值会触发 ON。

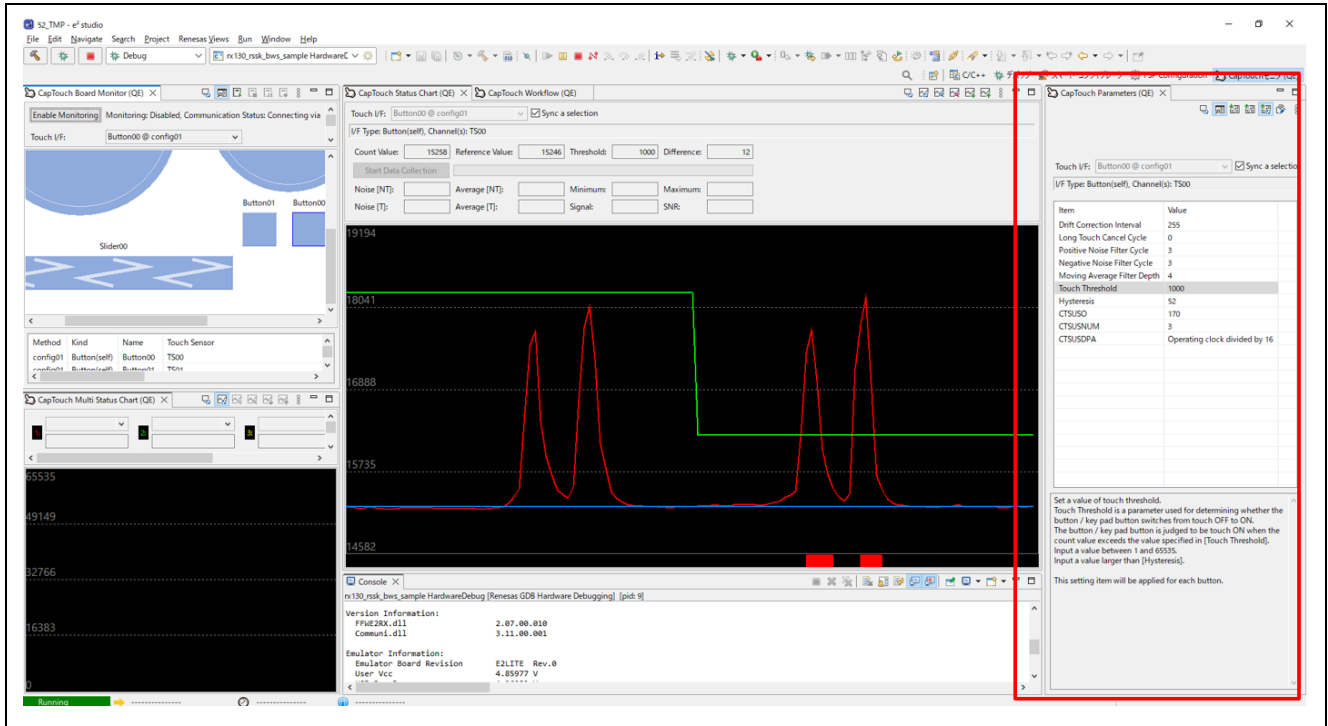


图 7.3 通过 QE for Capacitive Touch 进行的手动调整

有关更多的参数信息，请参阅以下文档。

RL78 Family CTSU Module Software Integration System (R11AN0484)

RL78 Family TOUCH Module Software Integration System (R11AN0485)

RX Family QE CTSU module Firmware Integration Technology (R01AN4469)

RX Family QE Touch module Firmware Integration Technology (R01AN4470)



### 7.3 通过高级模式调整

在高级模式下，可对驱动脉冲频率和测量时间等各参数进行单独调整。更多信息请参阅以下应用说明。

Capacitive Sensor MCU QE for Capacitive Touch Advanced mode Parameter Guide (R30AN0428)

### 8 调整开发环境

关于 QE for Capacitive Touch，如需了解更多内容及下载信息，请参阅以下链接中 QE for Capacitive Touch 电容触摸传感器开发支持工具介绍页面的内容。瑞萨官网为嵌入式系统开发和调整提供了诸多指南和教程视频。软件包中还包含单机版 QE。

[QE for Capacitive Touch: Development Assistance Tool for Capacitive Touch Sensors](#)

[QE for Capacitive Touch: Development Assistance Tool for Capacitive Touch Sensors Information for Users](#)

#### 8.1 电容触摸传感器开发工具：QE for Capacitive Touch

电容触摸传感器的开发工具 QE for Capacitive Touch 是在 e<sup>2</sup>studio 集成开发环境下运行的解决方案工具包。支持使用电容触摸传感器开发嵌入式系统所需的触摸界面初始化和灵敏度调整，从而缩短了开发时间。

开发系统时，只需按照工作流程进行简单的 GUI 操作即可。QE for Capacitive Touch 操作画面如图 8.1 所示。

The image displays the QE for Capacitive Touch software interface, divided into several stages of the development process:

- Preparation:** Includes steps like 'Select a Project' and 'Prepare a Configuration'.
- Tuning:** Involves 'Selecting the target project' (e.g., Proj\_RA2L1) and 'Tuning conditions' such as setting clocks and enabling pins.
- Coding:** Focuses on 'Implement Program'.
- Monitoring:** Shows 'Start Monitoring (Emulator)' and 'Start Monitoring (Serial)'. This stage includes a graph displaying touch sensor intensity and a table of sensor data.

On the right side, a vertical flowchart outlines the key steps:

- Preparing for adjustment
- Measuring parasitic capacitance
- Adjusting the offset
- Measuring sensitivity (while not touched)
- Measuring sensitivity (while touched)
- Result of the tuning

Below the flowchart, a series of 'Automatic Tuning Processing' dialog boxes provide detailed instructions for each step, such as 'QE is beginning the tuning process', 'QE is measuring the parasitic capacitance', and 'QE will now measure touch sensitivity for (Button00, TS00 @ config01)'.

图 8.1 QE for Capacitive Touch 操作画面

## 8.2 单机版 QE for Capacitive Touch

瑞萨还为使用 CS+ 和 IAR 集成开发环境的客户准备了电容触摸 QE 的单机版（以下简称单机版 QE）。单机版 QE 通过串行接口获取测量结果后实现调整和监控的功能。单机版 QE 的操作界面如图 8.2 所示。

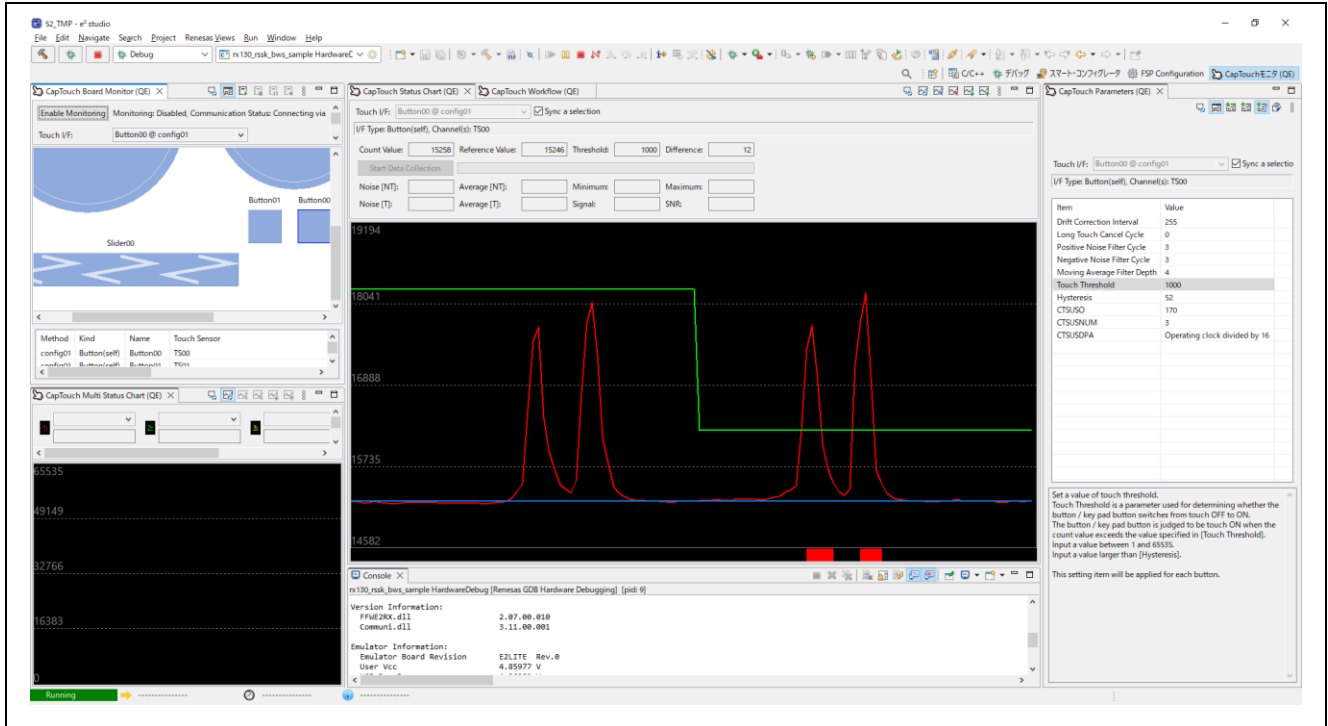


图 8.2 单机版 QE

## 9 评估套件

### 9.1 电容触摸评估系统（Capacitive Touch Evaluation System）

Capacitive Touch Evaluation System 是瑞萨提供的评估套件，方便客户轻松评估瑞萨触摸按键解决方案。入手套件中的电路板和软件后即可立即开展评估工作。

有关更多信息，请参阅以下链接的内容。

<https://www.renesas.com/solutions/touch-key>

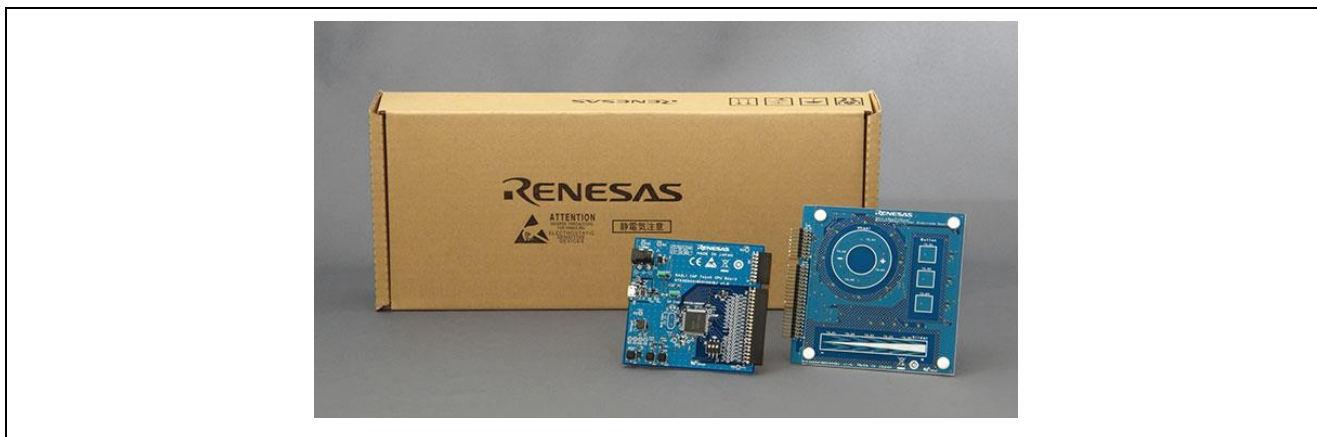


图 8.3 电容触摸评估系统

## 10 其他

### 10.1 用语

用语	解释
CCO	CCO (Current Control oscillator) 是一种用于电容触摸传感器的电流控制振荡器，有些应用说明中将其称为 ICO。
ICO	同 CCO。
TSCAP	该电容用于稳定 CTSU 的内部电压。
阻尼电阻	该电阻用于降低引脚击穿和外部噪音的影响。 详情请参阅电容触摸电极设计指南 (R30AN0389)。
VDC	VDC (Voltage Down Converter) 是 CTSU 内置的用于测量电容传感器的电源电路。
多频率测量	该功能使用多个不同频率的传感器单元时钟进行测量，意为多时钟测量功能。

### 10.2 常见问题

问题	说明
用一个电容触摸 MCU 可否在自容和互容之间切换？	可以。
在手指接触电极的情况下使 MCU 复位启动，能否检测到接触状态？	偏置调整在复位启动后由软件执行。 如果此时手指与电极接触，手指电容也会被调整为寄生电容，导致无法检测。
为什么手指接触自容电极时会执行偏置调整，而当松开手指时计数值会下降？	在执行偏置调整时，手指电容与寄生电容相加。如果在此之后松开手指，手指电容会减小，计数值也会降低。
手指接触自容电极时会执行偏置调整，可是松开手指时，为什么按键没有响应？	偏置调整是在手指电容与寄生电容相加的情况下进行的。在这种情况下松开手指时，电容减小，计数值下降，但基准值保持不变。在通过漂移处理跟踪基准值之前的这段时间，按键的响应会很差。

### 10.3 技术咨询

如需咨询技术问题，请给技术支持部门发邮件，或搜索知识库常见问题或社区论坛。

[联系我们 | Renesas](#)

## 更新履历

版本号	日期	描述	
		页数	概述
1.00	2023年3月31日	-	初版发布
1.10	2023年4月4日	21	更新了图 4.1
1.20	2023年12月20日	4	更新了第一章的内容
		8	增加了 TSCAP 的说明
		9	更新了 2.2.2 的内容
		11	更新了 2.3.1 的内容
		12	更新了 2.3.2 的内容
		14	更新了表 3.1
		15	更新了 3.3.2 的内容
		19	更新了图 3.5
		21	更新了图 4.1
		25-28	增加了 RL78/G16
		30	更新了表 4.11
		31	更新了表 4.12
		34	“初始偏置调整”改为“偏置调整”
		35	更新链接 增加了软件滤波器
		36	更新了“调整”的内容
		42	更新了高级模式调整
		43	更新链接
		46	增加了“常见问题”

## 注意

1. 本文件中电路、软件和其他相关信息的描述仅用于说明半导体产品的操作和应用示例。用户应对产品或系统设计中电路、软件和信息纳入或任何其他用途承担全部责任。对于您或第三方因使用这些电路、软件或信息而引起的任何损失和损害，Renesas Electronics 不承担任何责任。
2. Renesas Electronics 特此声明，对于因使用本文件中所述的 Renesas Electronics 产品或技术信息（包括但不限于产品数据、图纸、图表、程序、算法和应用示例）而引起的侵权或与第三方有关的专利、版权或其他知识产权的任何其他索赔，概不承担任何责任和赔偿。
3. 对 Renesas Electronics 或其他公司的任何专利、版权或其他知识产权均不授予任何明示、暗示或其他形式的许可。
4. 您负责确定需要从任何第三方获得哪些许可，并在需要时为合法进口、出口、制造、销售、使用、分销或以其他方式处置包含 Renesas Electronics 产品的任何产品获得此类许可。
5. 不得对 Renesas Electronics 产品的全部或部分进行更改、修改、复制或逆向工程。对于因更改、修改、复制或逆向工程而导致您或第三方蒙受的任何损失或损害，Renesas Electronics 不承担任何责任。
6. Renesas Electronics 产品根据以下两个质量等级进行分类：“标准”和“优质”。Renesas Electronics 每种产品的预期应用取决于产品的质量等级，具体如下所示。  
“标准”：计算机、办公设备、通信设备、测试和测量设备、视听设备、家用电器、机械工具、个人电子设备、工业机器人等  
“优质”：运输设备（汽车、火车、轮船等）；交通管制（交通信号灯）；大型通信设备；关键金融终端系统；安全控制设备等  
除非在 Renesas Electronics 数据手册或 Renesas Electronics 其他文档中明确指定为高可靠性产品或用于恶劣环境的产品，否则 Renesas Electronics 产品不适合或不授权用于可能对人类生命构成直接威胁或造成人身伤害（人造生命支持设备或系统；手术植入物等），或者可能造成严重的财产损失（空间系统、海底中继器、核动力控制系统、飞机控制系统、关键设备系统、军事装备等）的产品或系统。对于因使用任何与 Renesas Electronics 数据手册、用户手册或其他 Renesas Electronics 文档不一致的 Renesas Electronics 产品而引起的您或任何第三方所造成的任何损坏或损失，Renesas Electronics 不承担任何责任。
7. 没有任何半导体产品是绝对安全的。尽管 Renesas Electronics 的硬件或软件产品中可能实施了任何安全措施或功能，Renesas Electronics 对因任何漏洞或侵袭（包括但不限于以任何未经授权的方式访问或使用 Renesas Electronics 产品或使用 Renesas Electronics 产品的系统）而产生的任何后果概不负责。RENESAS ELECTRONICS 不担保或保证 RENESAS ELECTRONICS 产品或使用 RENESAS ELECTRONICS 产品创建的任何系统不会被破坏，或者可免于数据损坏、攻击、病毒、干扰、黑客攻击、数据丢失或失窃或其他安全入侵（“漏洞问题”）。RENESAS ELECTRONICS 不承担由任何漏洞问题引起的或与之相关的任何和所有责任或义务。此外，在适用法律允许的范围内，RENESAS ELECTRONICS 不对本文件和任何相关或附带的软件或硬件提供任何和所有明示或暗示的保证，包括但不限于对适用性或特定用途的适用性的暗示保证。
8. 使用 Renesas Electronics 产品时，请参见最新的产品信息（数据手册、用户手册、应用笔记、可靠性手册中的“处理和使用半导体器件的一般说明”等），并确保使用条件符合 Renesas Electronics 在最大额定值、工作电源电压范围、散热特性和安装等方面的规定。对于因在超出上述规定范围的条件范围内使用 Renesas Electronics 产品而引起的任何失常、故障或事故，Renesas Electronics 不承担任何责任。
9. 尽管 Renesas Electronics 致力于提高 Renesas Electronics 产品的质量和可靠性，但半导体产品具有特定的特性，例如在特定速率下发生故障以及在某些使用条件下出现故障。除非在 Renesas Electronics 数据手册或 Renesas Electronics 其他文档中指定为高可靠性产品或用于恶劣环境的产品，否则 Renesas Electronics 的产品将不受抗辐射设计的约束。用户应负责采取安全措施，以防止人身伤害、火灾造成的伤害，和/或因 Renesas Electronics 产品发生故障或失常而对公众造成的危险，例如硬件和设备的安全设计，包括但不限于冗余、火控和故障预防、针对老化退化的适当处理或任何其他适当的措施。由于对微型计算机软件进行评估非常困难且无实操性，因此用户有责任评估自己生产的最终产品或系统的安全性。
10. 请联系 Renesas Electronics 销售办事处，以获取有关环境事宜的详细信息，例如每个 Renesas Electronics 产品的环境相容性。用户有责任认真、充分地研究有关纳入或使用受控物质的适用法律和法规（包括但不限于欧盟 RoHS 指令），并按照所有适用法律和法规使用 Renesas Electronics 产品。对于因您未遵守适用的法律和法规而造成的损坏或损失，Renesas Electronics 不承担任何责任。
11. Renesas Electronics 产品和技术不得被用于或纳入为任何适用的本国或外国法律、法规所禁止制造、使用或销售的产品或系统范围内。用户应遵守由对当事方或交易拥有管辖权的任何国家/地区的政府颁布和管理的任何可适用的出口控制法律和法规。
12. 应由 Renesas Electronics 产品的购买方或分销商，或者对产品进行分发、处置或以其他方式出售或转让给第三方的任何其他当事方，负责将本文中阐明的内容和条件提前通知前述第三方。
13. 未经 Renesas Electronics 事先书面同意，不得以任何形式全部或部分重印、再现或复制本文件。
14. 如果对本文中包含的信息或 Renesas Electronics 产品有任何疑问，请联系 Renesas Electronics 销售办事处。

（注 1）本文件中的“Renesas Electronics”是指 Renesas Electronics Corporation，也包括其直接或间接控制的子公司。

（注 2）“Renesas Electronics 产品”是指 Renesas Electronics 开发或制造的任意产品。

（版本 5.0-1 2020 年 10 月）

## 公司总部

TOYOSU FORESIA, 3-2-24 Toyosu,  
Koto-ku, Tokyo 135-0061, Japan  
[www.renesas.com](http://www.renesas.com)

## 商标

Renesas 和 Renesas 徽标是 Renesas Electronics Corporation 的商标。所有商标和注册商标都是各自所有者的财产。

## 联系信息

有关产品、技术、文档最新版本或离您最近的销售办事处的更多信息，请访问：[www.renesas.com/contact/](http://www.renesas.com/contact/)。