

电容传感器微控制器

QE for Capacitive Touch “高级模式”调整的参数设置指南

简介

电容触摸传感器开发工具（QE for Capacitive Touch）可以为搭载了 CTSU 外设的瑞萨 MCU 生成调整数据（Tuning Data）。

QE for Capacitive Touch 默认通过“自动调整”功能生成调整数据。同时为了优化触摸性能 and to mitigate against unwanted behavior from environmental effects such as electrical noise 以及降低由环境影响（如电气噪声等）引起的非预期行为，QE for Capacitive Touch 工具还支持高级模式（Advanced Mode）调整。

本应用说明就“高级模式”调整和可调整的 CTSU 参数进行了说明。对于首次开发电容触摸应用的用户，建议先阅读《电容触摸入门指南》。

[Capacitive Sensor Microcontrollers CTSU Capacitive Touch Introduction Guide \(renesas.com\)](https://www.renesas.com/capacitive-sensor-microcontrollers-ctsucapacitive-touch-introduction-guide)

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.....	3
1.1	自动调整.....	5
1.2	手动调整 CapTouch 参数	6
1.3	高级模式调整.....	7
2	“高级设置”设定	9
2.1	提高灵敏度的调整流程.....	9
2.2	噪声抑制的调整流程.....	10
2.3	电容触摸传感器对照表.....	11
3	参数概要.....	12
3.1	测量次数/测量时间.....	12
3.1.1	不同测量次数/时间次数对灵敏度的影响的注意事项.....	15
3.1.2	关于在修改测量次数时调整 Offset Tunning 的必要性.....	16
3.2	偏置调整目标值.....	18
3.2.1	Offset tuning 目标值及测量次数变化对测量值的影响.....	21
3.3	测量频率.....	23
3.3.1	改变测量频率对灵敏度的影响.....	25
3.3.2	如何使用高级模式调整测量频率.....	26
3.4	测量电流范围.....	28
3.4.1	通过改变测量电流范围对灵敏度的影响.....	30
3.5	非测量通道输出选择.....	31
3.6	多时钟测量/倍增系数.....	34
3.7	发送端子电源.....	36
3.8	自动校正（硬件）.....	40

1 概要

QE for Capacitive Touch 可测量用户产品上触摸传感器的寄生电容，并进行自动调整以优化参数。有关 QE for Capacitive Touch 的详细信息，请参考以下网页的内容。

[Capacitive Sensor Microcontrollers CTSU Capacitive Touch Introduction Guide \(renesas.com\)](https://www.renesas.com/capacitive-sensor-microcontrollers-ctsu-capacitive-touch-introduction-guide)

通过 QE for Capacitive Touch 的“自动调整”功能会生成基本的 CapTouch 参数。如果使用这些参数进行的评价不符合要求，则应“手动调整 CapTouch 参数”。如果还需要进一步调整，请执行“高级模式”调整。QE for Capacitive Touch 的调整步骤请参见图 1-1。

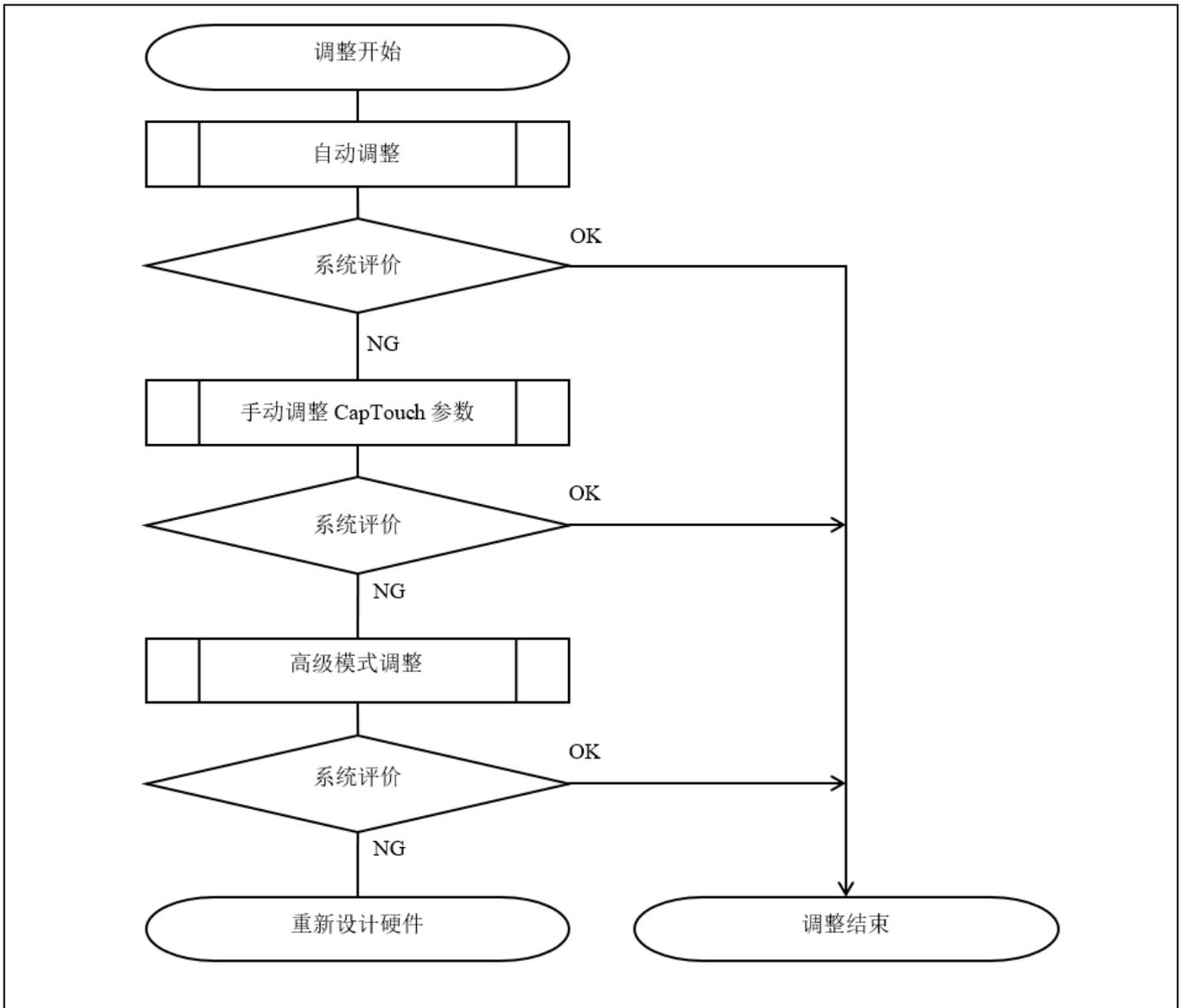


图 1-1. QE for Capacitive Touch 的调整步骤

表 1-1 罗列了在“自动调整”/“手动调整 CapTouch 参数”/“高级模式”下可调整的参数。

表 1-1 自动调整/手动调整 CapTouch 参数/高级模式调整的参数

参数	自动调整* ¹	手动调整 CapTouch 参数* ²	高级模式调整
测量频率	√	-	√
偏置	√	-	-
触摸阈值	√	√	-
迟滞现象	√	√	-
漂移校正间隔	-	√	-
长按取消周期	-	√	-
正噪声滤波周期	-	√	-
负噪声滤波周期	-	√	-
移动平均滤波深度	-	√	-
测量次数/测量时间	-	_* ⁴	√
偏置调整目标值	-	_* ⁴	√
测量电流范围* ³	-	-	√
非测量通道输出选择* ³	-	-	√
多时钟测量/倍增系数* ³	-	_* ⁴	√
发送端子电源	-	-	√
自动校正（硬件）* ³	-	-	√

√：支持

注 1：自动调整时，QE for Capacitive Touch 会自动调整参数值，并将调整结果输出到源文件。

注 2：关于 CapTouch 参数的手动调整，QE for Capacitive Touch 工具的“CapTouch Parameters (QE)”中列出了可更改的参数。详情请参阅以下文档的“7.2 Manually Tuning with CapTouch Parameters”。

[Capacitive Sensor Microcontrollers CTSU Capacitive Touch Introduction Guide \(renesas.com\)](https://www.renesas.com/capacitive-sensor-microcontrollers-ctsu-capacitive-touch-introduction-guide)

注 3：此功能的调整仅适用于 CTSU2/CTSU2L/CTSU2La/CTSU2SL。下页后的 CTSU2La/CTSU2L，请参照 CTSU2。有关各电容触摸传感器和兼容产品之间的区别，请参阅《电容触摸入门指南》。

[Capacitive Sensor Microcontrollers CTSU Capacitive Touch Introduction Guide \(renesas.com\)](https://www.renesas.com/capacitive-sensor-microcontrollers-ctsu-capacitive-touch-introduction-guide)

注 4：虽然可以通过“CapTouch Parameters (QE)”中的详细设置进行寄存器设置，但这些参数是由软件根据环境进行调整的，请不要进行修改。

如果通过“自动调整 (Auto Tuning)”或“手动调整 CapTouch 参数”得到的调整结果无法满足用户在灵敏度或抗噪性方面的要求，则可以在“高级模式”中调整各参数。

1.1 自动调整

自动调整的流程请参见图 1-2。

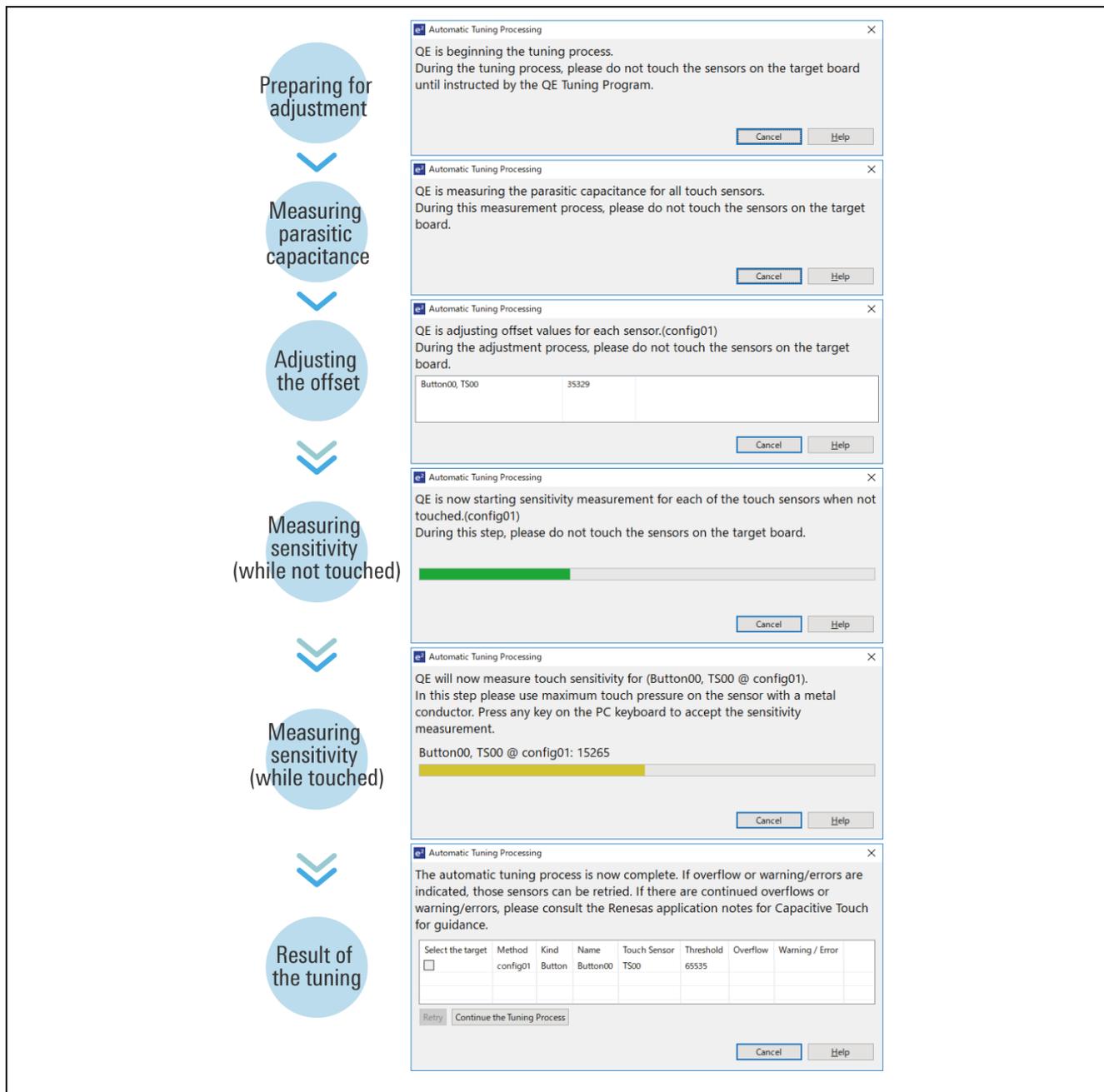


图 1-2. QE for Capacitive Touch 自动调整流程

自动调整功能可调整触摸传感器的灵敏度并确定最佳参数。首先测量 Touch OFF 时的电容，根据测量结果设置测量频率。并根据偏置调整目标值来调整偏置值。然后测量 Touch ON/OFF 状态下的电容、设置触摸阈值等，并将调整结果输出到源文件。

1.2 手动调整 CapTouch 参数

手动调整 CapTouch 参数时，可通过“CapTouch Parameters (QE)”修改软件参数。且可实时观察触摸动作和参数被修改后的效果。

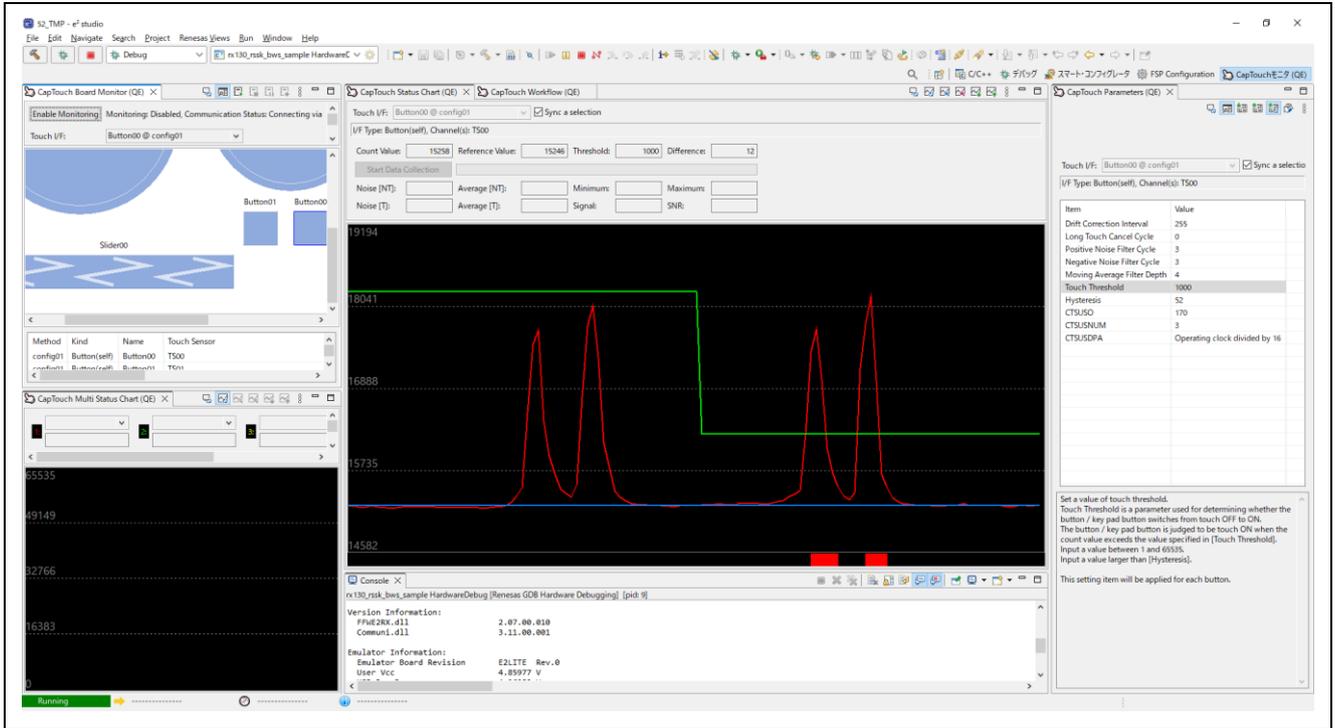


图 1-3 通过 QE for Capacitive Touch 手动调整 CapTouch 参数

手动调整时，在 QE for Capacitive Touch 的“CapTouch Parameters (QE)”（图 1-3 中红框标注的部分）中更改参数值，并可通过“CapTouch Status Chart”实时查看调整结果。另外，本界面中看到的已调整的参数也可以反映到源文件中。手动调整时使用的“CapTouch Parameters (QE)”工具栏（图 1-3 中蓝框标注的部分）中的各个功能说明，请参见“表 1-2”。通过这些图标可以读取应用中的参数值。

表 1-2 “CapTouch Parameters (QE)”工具栏中各功能的说明

	图标说明	功能简介
①		从目标板读取参数值。
②		将编译完的值写入目标板。
③		通过本切换键设置是否要将参数值实时地反映到目标板上。
④		根据当前界面下调整的参数信息，输出参数文件。

通过“生成参数文件”，将源文件输出到 qe_gen 文件夹。表 1-3 列出了输出的源文件。输出源文件后，通过编译（Build）或调试（Debug）可以确认调整后的参数的运行情况。

表 1-3 通过“生成参数文件”输出的源文件

文件名	说明
qe_touch_config.c	该文件用于保存每次配置（方法）后的参数设置。

具体请参考 QE for Capacitive Touch 的“Help”页面。

1.3 高级模式调整

高级模式调整主要用于调整硬件参数，如用于测量寄生电容的传感器驱动脉冲输出等。具体的可调参数请参阅 2.3 电容触摸传感器对照表（图 2-1）。

Cap Touch 工作流程（QE）请参照图 1-4。通过“2. Tuning Touch Sensors”进行调整。在“Start Tuning”下勾选“Advanced mode”即可开始高级调整。

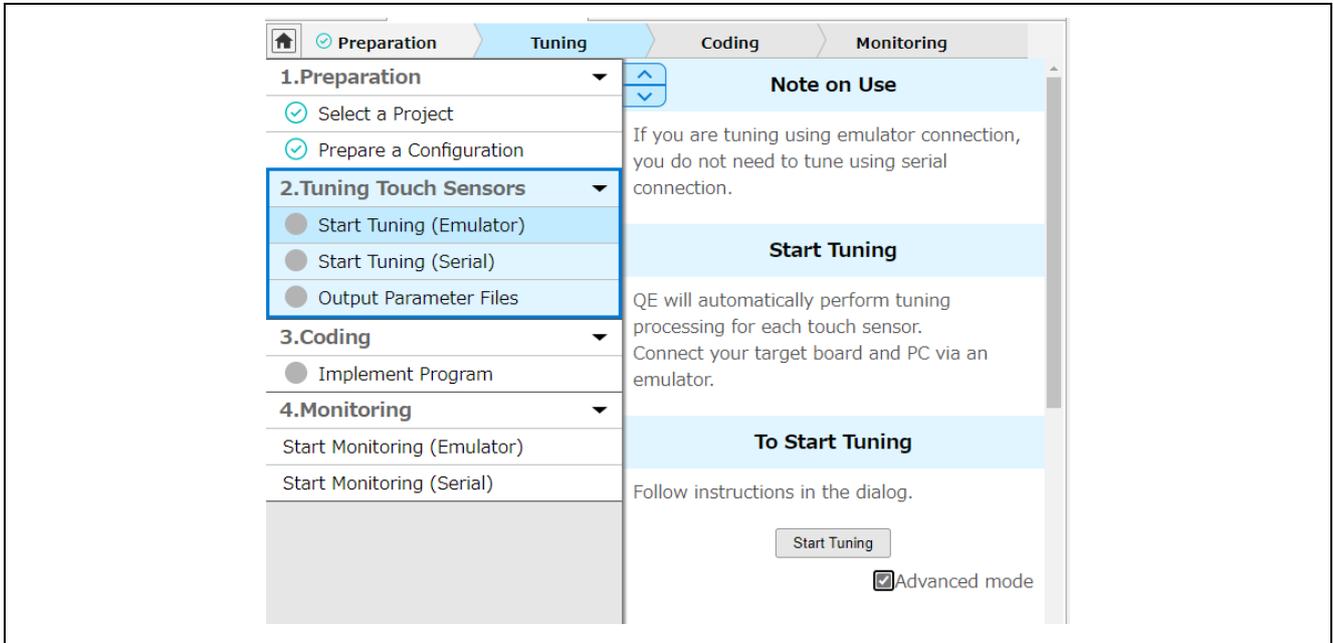
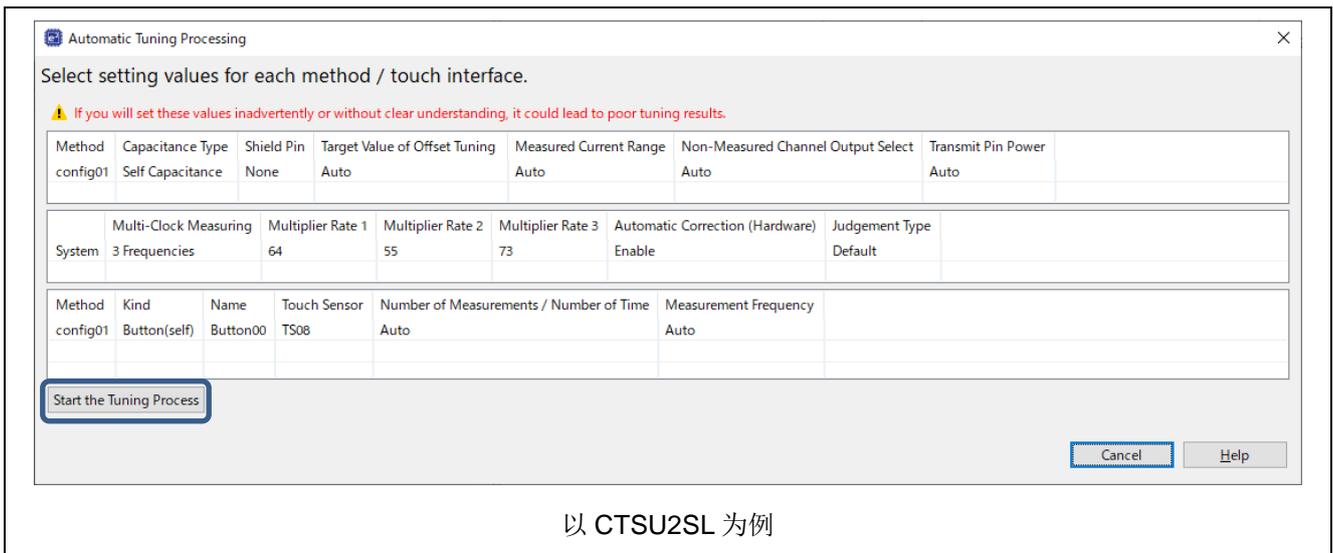


图 1-4 通过“Advanced Mode”进行调整

开始“Advanced Mode（高级模式）”调整后，将出现图 1-5 所示的窗口，此时可对每个参数进行调整。调整完成必要的参数后，按下图 1-5 蓝色框中的“Start the Tuning Process”按钮即可开始调整。



以 CTSU2SL 为例

图 1-5 “Advanced Mode”调整窗口

高级模式下可调整的参数会因产品而异。请参阅“2.3 电容触摸传感器对照表”（图 2-1）。

在高级模式下完成调整后，按下图 1-6 所示的“**To Output Parameter Files**”菜单下的“**Output Parameter Files**”，即可在源文件中反映调整后的参数结果。

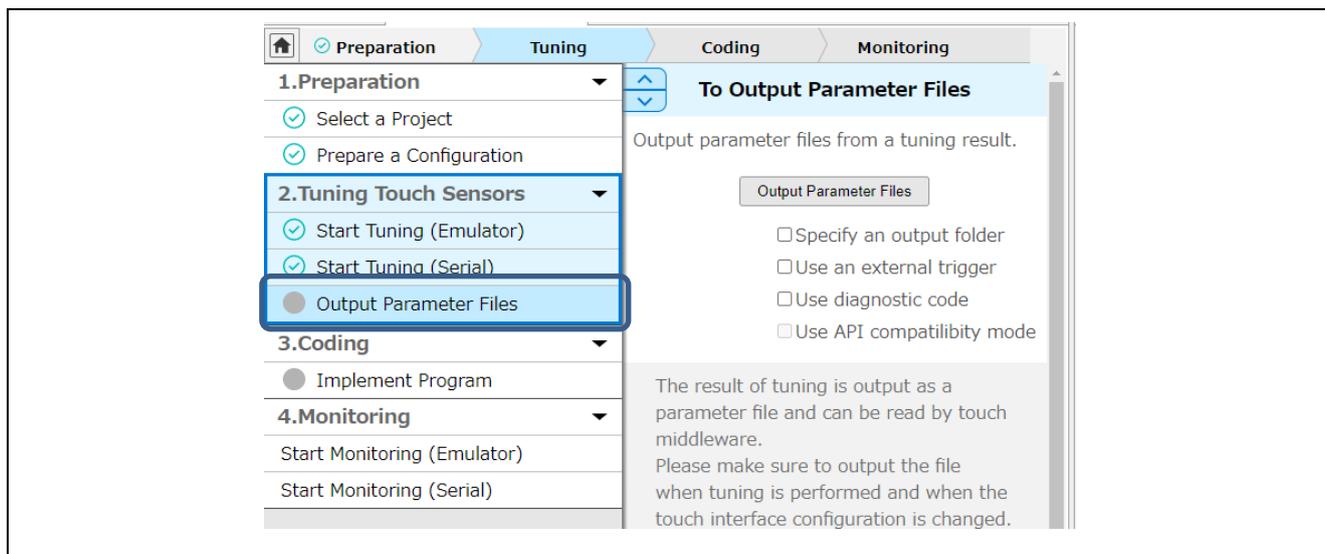


图 1-6 输出参数文件

点击“**Output File**”将源文件输出到“**qe_gen**”文件夹。

表 1-4 罗列了通过“**Output Parameter Files**”按钮输出的各源文件的名称。

表 1-4 通过“**Output Parameter Files**”按钮输出的各源文件的名称

文件名称	说明
qe_touch_define.h	触摸中间件使用的宏定义文件
qe_touch_config.h	从用户程序中 include 的文件
qe_touch_config.c	用来保存各配置（方法）参数设置的文件

输出源文件后，可以通过 **Build/Debug** 来检查调整后的参数的运行情况。

如果这些值设置有误或是在没有清晰理解的情况下进行设置，则可能导致调整不理想。请根据您的环境进行全面评估后进行调整。

2 “高级设置” 设定

2.1 提高灵敏度的调整流程

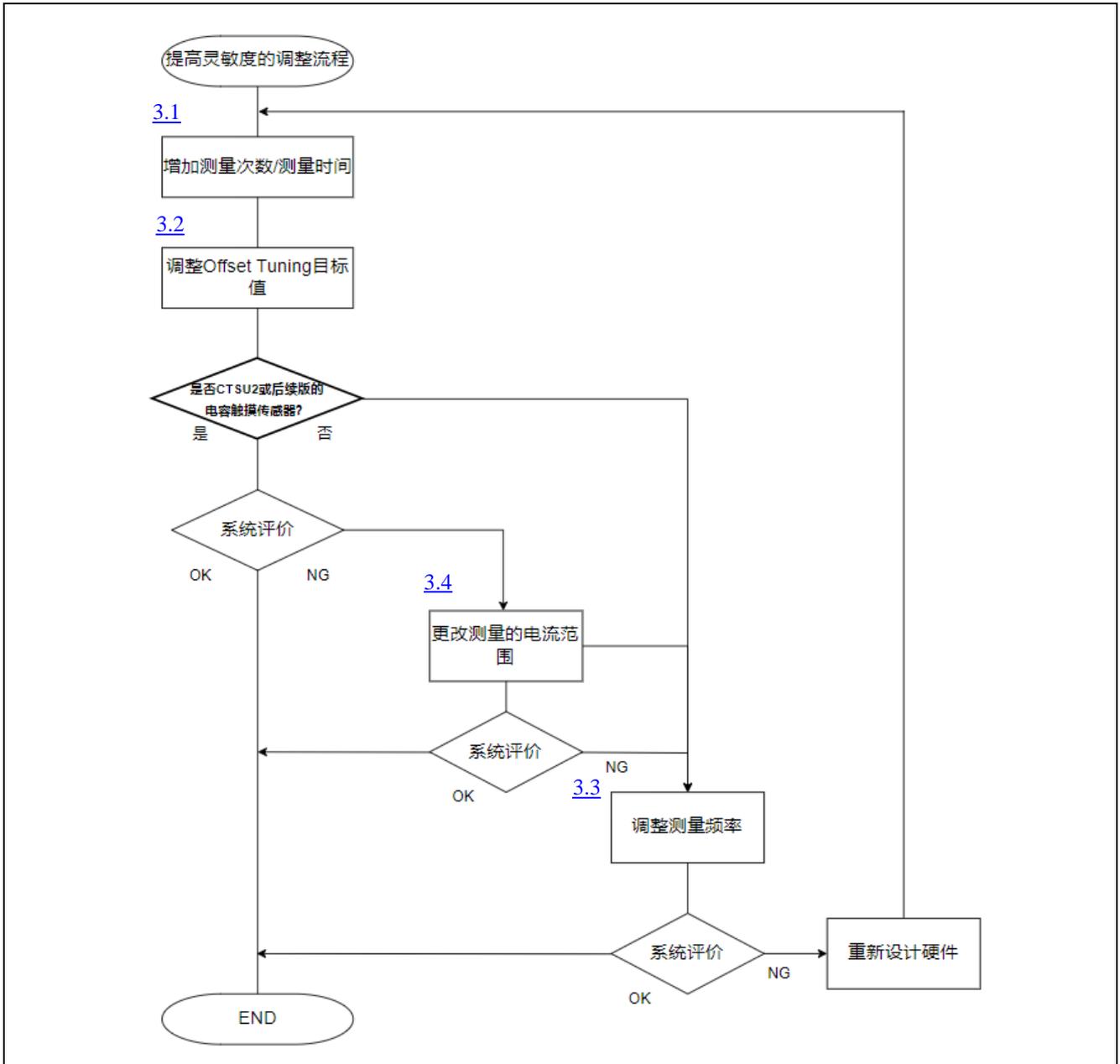


图 2-1 提高敏感度的调整流程

2.2 噪声抑制的调整流程

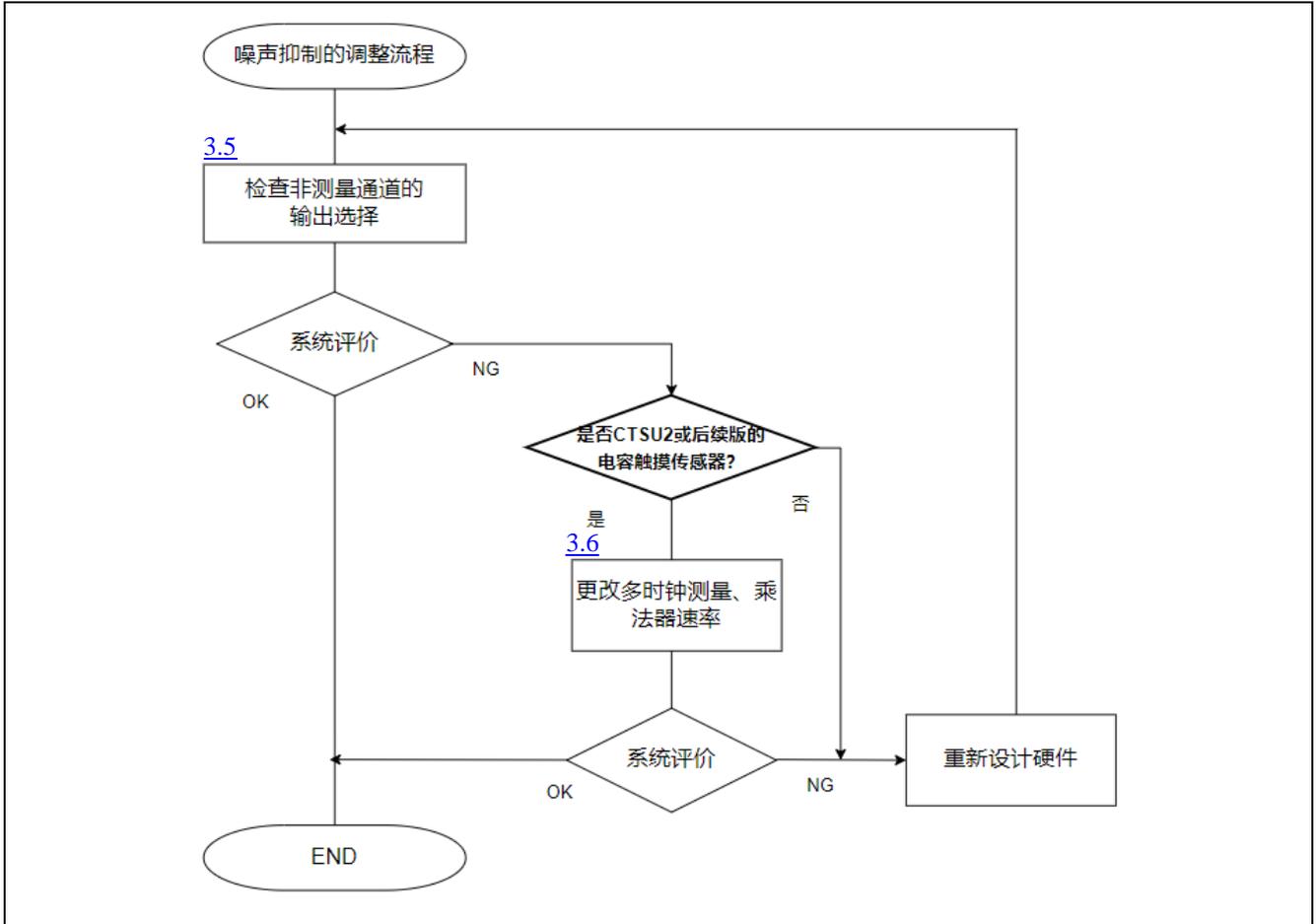


图 2-1 噪声抑制的调整流程

2.3 电容触摸传感器对照表

表 2-1 罗列了可在“高级模式”更改的参数以及电容触摸传感器的对照表。

表 2-1 电容触摸传感器的对照表

	参数	用途	CTS2SL	CTS2	CTS1	特征概述
1	Number of Measurements/ Number of Time	提高 灵敏度	✓	✓	✓	设置测量次数，确定测量时间。可以通过累积测量次数来提高信号值。
2	Target value of Offset Tuning	提高 灵敏度	✓	✓	✓	设置偏置电流的目标值（百分比），以使 Touch OFF 时的测量值为目标值。当测量时间改变时需要调整这个参数。
3	Measurement frequency	提高 灵敏度	✓	✓	✓	设置触摸传感器驱动频率输出的分频比。测量频率越高，灵敏度越好，但如果寄生电容较大，则会出现测量误差。
4	Measured Current Range	提高 灵敏度	✓	✓	-	设置 VDC 的电源能力，并确定测得的电源电流与电流控制振荡器（CCO）的输入电流之间的电流镜像比率。如果测量电流范围设置为“Low-current output”，因为 Touch ON 时 CCO 输入电流会增加，从而增加灵敏度。
5	Non-Measured Channel Output Select	噪声抑制	✓	✓	-	在 TS 端子的测量间隔，这些位设定非测量端子而不是测量端子。通过适当处理非测量端子，可以抑制噪声。
6	Multi-Clock Measuring/Multiplier Rate	噪声抑制	✓	✓	-	设置在多个频率下测量的次数以及用于测量的多个频率的倍增系数。Multi-Clock Measuring 可以测量多个传感器驱动脉冲频率，以避免同步噪声
7	Transmit Terminal Power	发送端子 设置	✓	✓	✓	使用互容方式或使用有源屏蔽时，选择设定为发送端子的 I/O 电源。此值使用默认设置，不要更改。
8	Automatic Correction (Hardware)	减少流程 低功耗	✓	-	-	指定是否由 CTSU 外设处理校正计算。硬件处理消除了每次测量的唤醒需求，有助于降低功耗。

✓：支持

3 参数概要

3.1 测量次数/测量时间

通过“Number of Measurements/Number of Time”可以设置执行一次触摸检测需要重复累积的充放电次数，并确定单次触摸检测的测量时间。通过增加测量次数，可以提高信号值^注，从而提高灵敏度。但由于测量时间也会相应延长，因此需要根据用户的规格进行调整。此外，当测量次数发生变化时，请通过偏置调整来调整目标值，以防止溢出。有关偏置调整目标值的详情，请参阅“3.2 偏置调整目标值”。

注：信号值表示 Touch ON/OFF 时的差值。

图 3-1 是在不同测量次数下的测量时间与 Touch ON/OFF 时的测量值的对比图。

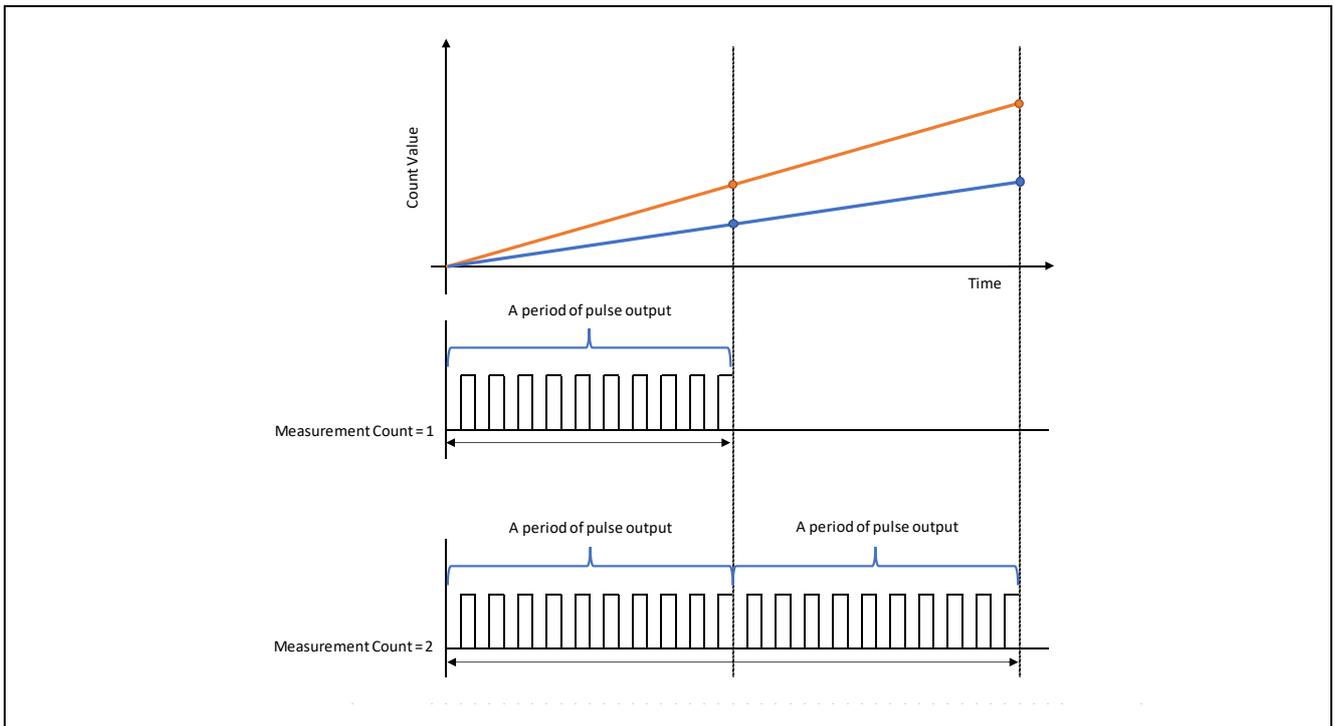


图 3-1 通过 QE for Capacitive Touch 手动调整 CapTouch 参数

表 3-1 罗列了测量次数的默认值。

表 3-1 默认的测量次数

	测量频率（传感器驱动脉冲频率）	测量次数 *1	测量时间 [μs]
CTSU1 （以为 RX130）	4 MHz	8	526
	2 MHz	4	
	1 MHz	2	
	0.5 MHz	1	
CTSU2/CTSU2SL （以 RX140 为例）	-	8	128 *2

注：

1. 有关测量次数 (SNUM) 的详细信息, 请参阅各电容触摸传感器硬件手册, CTSU2/CTSU2SL 的默认测量次数固定为 8。

2. 频率的测量时间。

稳定等待时间和测量时间也会因测量次数而异。CTSU1、CTSU2/CTSU2SL 的稳定等待时间和测量时间的计算公式如下所示。

- CTSU1 (以 RX130 为例)

稳定等待时间 [μs] = $34 \times (1/\text{传感器驱动脉冲频率})$

测量时间 [μs] = $263 \times (1/\text{传感器驱动脉冲频率}) \times (\text{测量次数})$

表 3-2 为 RX130 使用自容方式时 CTSU1 的测量时间和稳定等待时间的典型示例。

表 3-2 RX130 使用自容方式时的稳定等待时间和测量时间

传感器驱动脉冲频率 [MHz]	测量次数	稳定等待时间 [μs]	测量时间 [μs]	总计 (稳定等待时间+测量时间) [μs]
4	8	8.5	526	534.5
2	4	17	526	543
1	2	34	526	560
0.5	1	68	526	594

注: 此处的 CTSUPRRTIO、CTSUPRMODE 为推荐值。不建议更改此值。有关详细信息, 请参阅各电容触摸传感器的硬件手册。

- CTSU2/CTSU2SL (以 RX140 为例)

稳定等待时间 [μs] = 64×3 (3 频率测量)

测量时间 [μs] = $(16 \times (\text{测量次数}) \times 3$ (3 频率测量))

表 3-3 为 RX140 使用自容方式时 CTSU2/CTSU2SL 的测量时间和稳定等待时间的典型示例。

表 3-3 RX140 使用自容方式时的稳定等待时间和测量时间 (3 频率测量)

测量次数	稳定等待时间 [μs]	测量时间 [μs]	总计 (稳定等待时间+测量时间) [μs]
8 [(STCLK 周期 * 8) * 8]	192 [64 * 3]	384 [128 * 3]	576 [384 + 192]

注意: STCLK 周期是测量时间的参考时钟。设置为推荐值 0.5MHz (2 μs)。

使用不同电容触摸传感器时的稳定等待时间和测量时间因工作时钟而异。请参阅相应的电容触摸传感器硬件手册及以下文档。

[RX Family QE CTSU Module Using Firmware Integration Technology Rev.2.20 \(renesas.com\)](https://www.renesas.com/document/rx-family-qe-ctsu-module-using-firmware-integration-technology-rev-2.20)

图 3-2 为使用高级模式设置测量次数/时间次数时的界面。

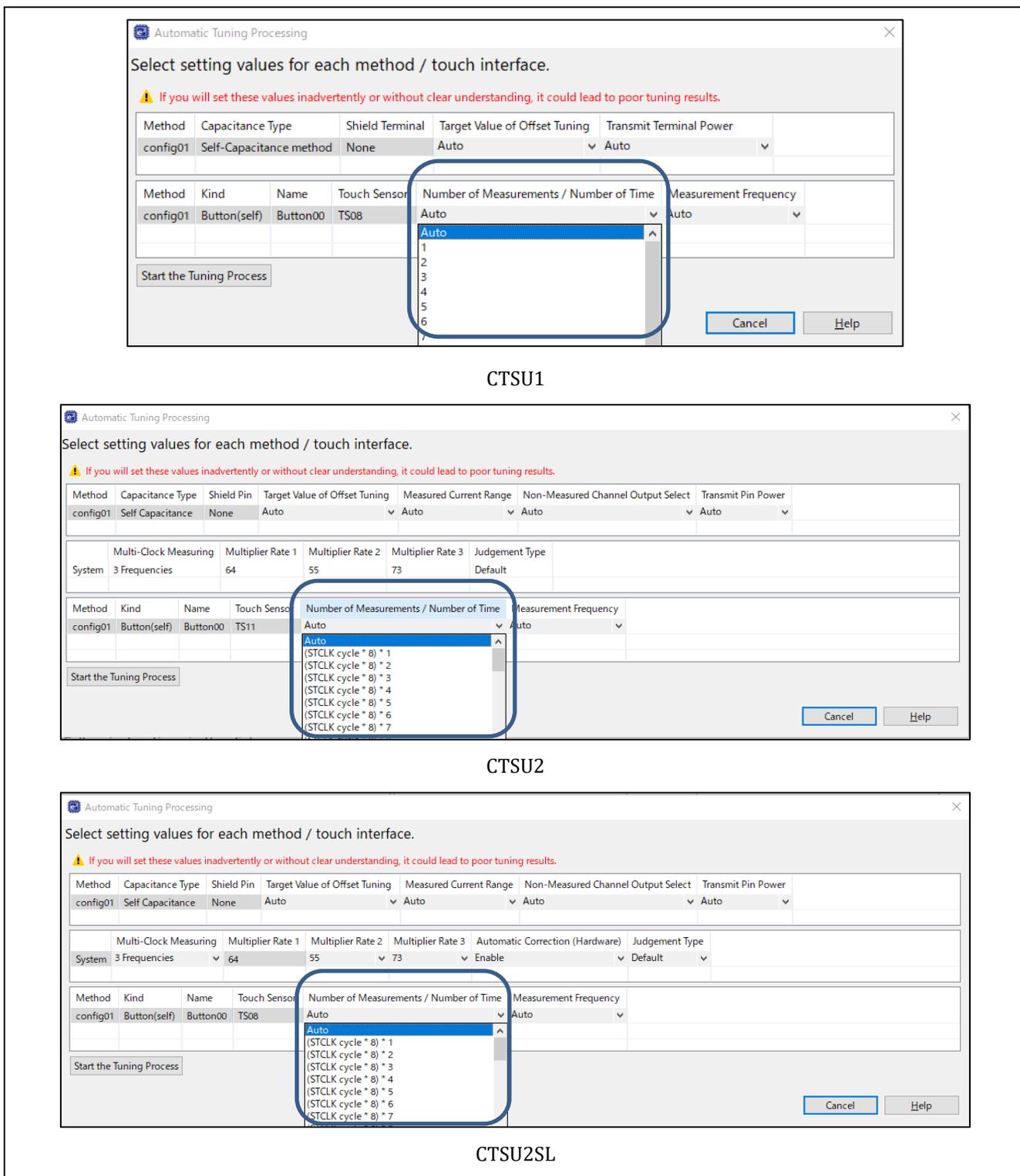


图 3-2 使用高级模式设置测量次数/时间次数时的界面

设置值后，测量值 - 1 的值将反映到 `qe_touch_config.c` 的“`snum`”中。例如，当 RX140 在“测量次数/时间次数”中选择了“(STCLK Cycle* 8) * 8”，则设置为“`snum = 0x07`”。

```
const ctsu_element_cfg_t g_qe_ctsu_element_cfg_config01[] =
{
```

```
{.ssdiv = CTSU_SSDIV_4000, .so = 0x12B, .snum = 0x07, .sdpa = 0x07 },
};
```

注：有关 SNUM 的详细信息，请参阅相应的电容触摸传感器硬件手册。

3.1.1 不同测量次数/时间次数对灵敏度的影响的注意事项

表 3-4 为 RX140 电容触摸评估系统在测量次数/时间数发生变化时得到的测量值（实测例）。

表 3-4 测量次数/时间数变化时的测量值（实测例）

CTSU2SL（使用 RX140 电容触摸评估系统）						
自容，测量频率：2MHz，测量电流范围：40 μA，1 个按键（平均 5 次）						
测量次数	偏置调整目标值	Touch OFF 时的平均值 A	Touch ON 时的平均值 B	信号值 (Touch ON/OFF 的 差值) B - A	Touch OFF 时的平均噪声值	稳定等待时间 + 测量时间
8	37.5%	15388	17186	1798	17.8	576 μs
12	25%	15354	18279	2925	30.4	768 μs
15	20%	15339	19124	3785	36	912 μs

注：实测值是从 QE for Capacitive Touch 的“CapTouch Status Chart (QE) View”中获得的。更多信息请参阅 e2studio 的“Help”。

通过测量次数的累积可以增加信号值，但同时，可能会导致测量值溢出或测量时间无法满足用户要求的规格。在这种情况下，请考虑调整 offset 的调整目标值、减少测量次数、改变测量电流范围或频率。这些都可以进行单独的调整。

此外，增加测量次数会导致 CTSU 在低功耗运行期间消耗更多功率。请根据用户要求的规格，全面评估后再调整测量次数。

3.1.2 关于在修改测量次数时调整 Offset Tuning 的必要性

当测量次数发生变化时，传感器计数器寄存器变为 0x0FFFF，测量值超过 65535。为了防止溢出，必须进行偏置调整。有关偏置调整，请参照表 3-2 的偏置调整目标值。

表 3-5 和图 3-3 中记录了采用了 CTSU1 的 RX130 的“测量计数/测量时间”的测量值。

表 3-5 RX130 的“测量计数/测量时间”的测量值（理论值）

CTSU1 (RX130)				
自容方式, PCLKB: 32MHz, 频率: 2MHz, Offset Tuning 目标值: 37.5%, 1 个按键				
测量次数	稳定等待时间 [μ s]	测量时间 [μ s]	总计 (稳定等待时间+测量时间) [μ s]	测量值 (理论值)
1	17	131.5	148.5	3840
2	17	263	280	7680
3	17	394.5	411.5	11520
4	17	526	543	15360
5	17	657.5	674.5	19200
6	17	789	806	23040
:	:	:	:	:

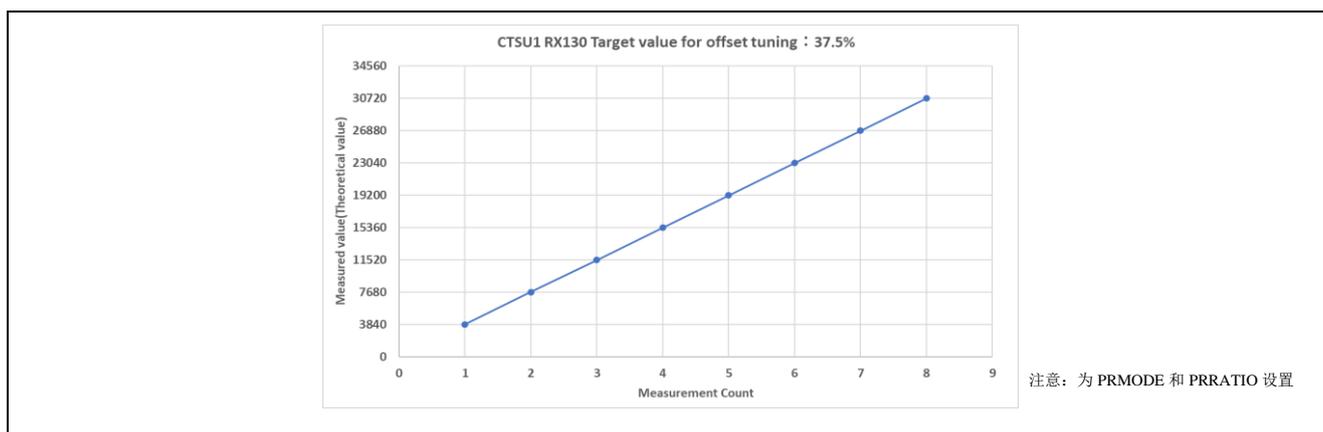


图 3-3 RX130 的“测量次数/时间次数”的测量值（理论值）

例如，通过自容方式将测量次数增加到 8 次，则 Touch Off 时的测量值约为 30720。增加测量次数可能会导致 Touch ON 期间测量溢出。必须调整偏置调整目标值，使测量值在电流控制振荡器（CCO）的良好输出线性特性范围内。

表 3-6 和图 3-4 中记录了采用了 CTSU2/CTSU2SL 的 RX140 的“测量计数/测量时间”的测量值。

表 3-6 RX140 的“测量计数/测量时间”的测量值（理论值）

CTSU2/CTSU2SL (RX140)				
自容方式, PCLKB: 32MHz, 频率: 2MHz, Offset Tuning 目标值: 37.5%, 1 个按键				
测量次数	稳定等待时间 [μ s]	测量时间 [μ s]	总计 (稳定等待时间+测量时间) [μ s]	测量值 (理论值)
1 [(STCLK 周期* 8) * 1]	192	48	240	1920
2 [(STCLK 周期* 8) * 2]	192	96	288	3840
3 [(STCLK 周期* 8) * 3]	192	144	336	5760
:	:	:	:	:
8 [(STCLK 周期* 8) * 8]	192	384	576	15360
16 [(STCLK 周期* 8) * 16]	192	768	960	30720
:	:	:	:	:

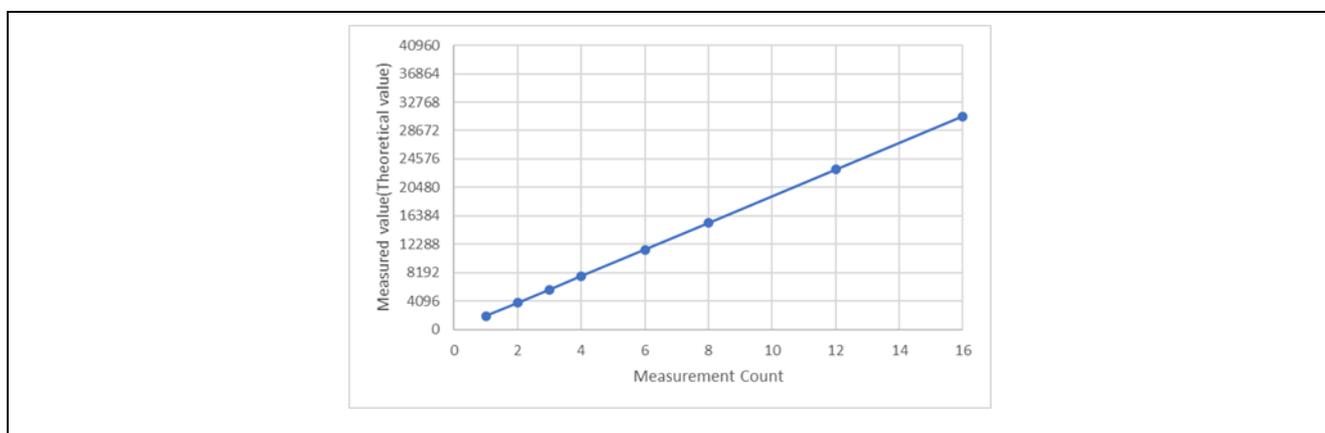


图 3-4 RX140 的“测量次数/时间次数”的测量值（理论值）

例如，通过自容方式将测量次数增加到 16 次，则 Touch Off 时的测量值约为 30720。增加测量次数可能会导致 Touch ON 期间测量溢出。必须调整偏置调整目标值，使测量值在电流控制振荡器（CCO）的良好输出线性特性范围内。

3.2 偏置调整目标值

在“Target value of Offset Tuning”中调整每种 method 的偏置电流设定，使 Touch Off 时的测量值成为目标值。当测量时间发生变化且测量值溢出时，或当寄生电容较大且使用有源屏蔽时未达到测量值的目标值时，会进行此调整。有关详细信息，请参阅以下文档中的“2.2.2 Measurement Range”。

[Capacitive Sensor Microcontrollers CTSU Capacitive Touch Introduction Guide \(renesas.com\)](https://www.renesas.com/Capacitive-Sensor-Microcontrollers-CTSUCapacitive-Touch-Introduction-Guide)

图 3-5 为 RX130 使用自容方式时的偏置调整过程。传感器计数寄存器是一个 16 位寄存器，量程为 0 ~ 65535，但在实际使用中，必须在电流测量范围（电流量程上限的 100% 或更小）内进行测量。CTSU 具有传感器偏置调整寄存器，可通过调整偏置电流的大小来控制寄生电容的测量值。

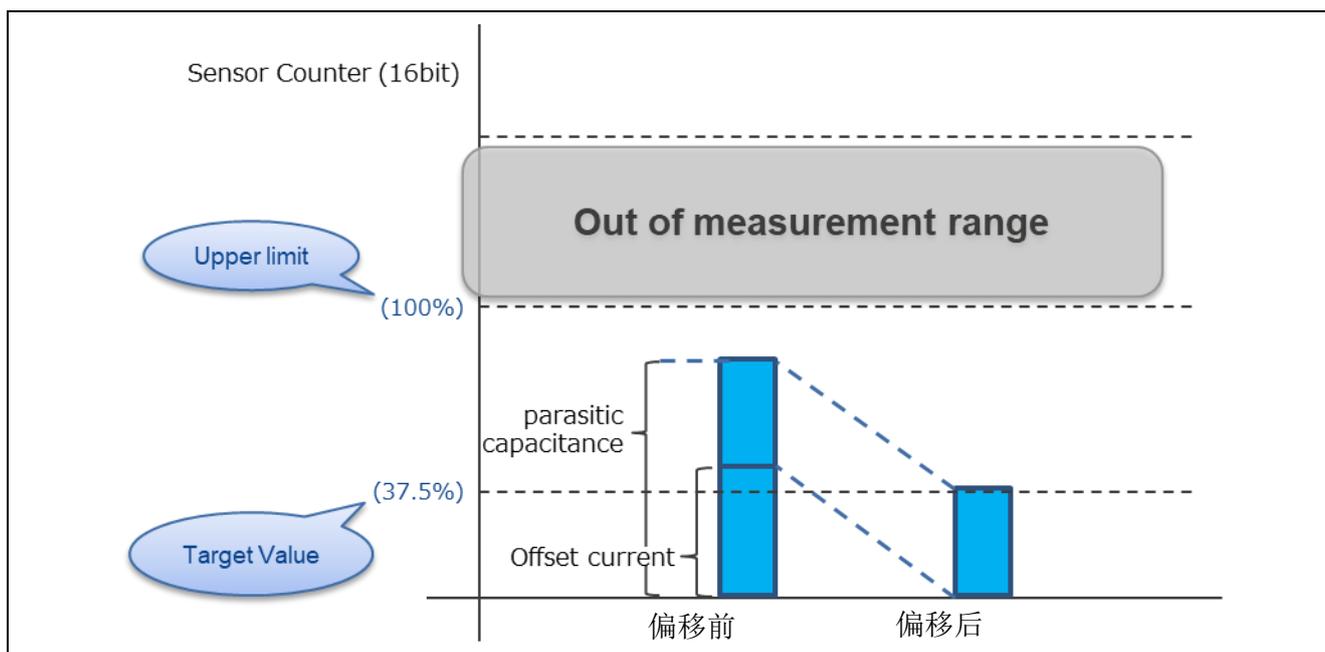


图 3-5 自容方式下的 Offset-tuning 过程

表 3-7 列出了默认测量次数的目标值。有关默认的测量次数，请参阅表 3-1 的“默认的测量次数”。

表 3-7 每种方法下的默认“Offset-tuning 目标值”的设置

	自容	互容	有源屏蔽
CTSU1	15360 (37.5%)	10240 (25%)	-
CTSU2/CTSU2SL*	15360 (37.5%)	10240 (25%)	6144 (15%)

注：实际测量时，三个频率测量结果中被采用的两个频率测量结果之和（128 + 128 = 256 μs）是最终测量结果。偏置调整时，将第一个频率下测量的时间加倍（128 × 2 = 256 μs）后进行测量，然后用第二次测量的结果进行偏置调整。

表 3-8 为 CTSU1 的偏置调整目标值进行设置之后的值。

表 3-8 CTSU1 的偏置调整目标值设置后的值

偏置调整目标值	目标值
25.0%	10240
30.0%	12288
35.0%	14336
37.5%	15360
40.0%	16384
45.0%	18432
50.0%	20480

表 3-9 为 CTSU2/CTS2SL 的偏置调整目标值进行设置之后的值。

表 3-9 CTSU2/CTS2SL 的偏置调整目标值设置后的值

偏置调整目标值	目标值*
10.0%	4096
15.0%	6144
20.0%	8192
25.0%	10240
30.0%	12288
35.0%	14336
37.5%	15360
40.0%	16384
45.0%	18432
50.0%	20480

注：为三个频测量结果中取两个频率进行计算后的值。

图 3-6 为使用高级模式设置“Target Value of Offset tuning”的界面。

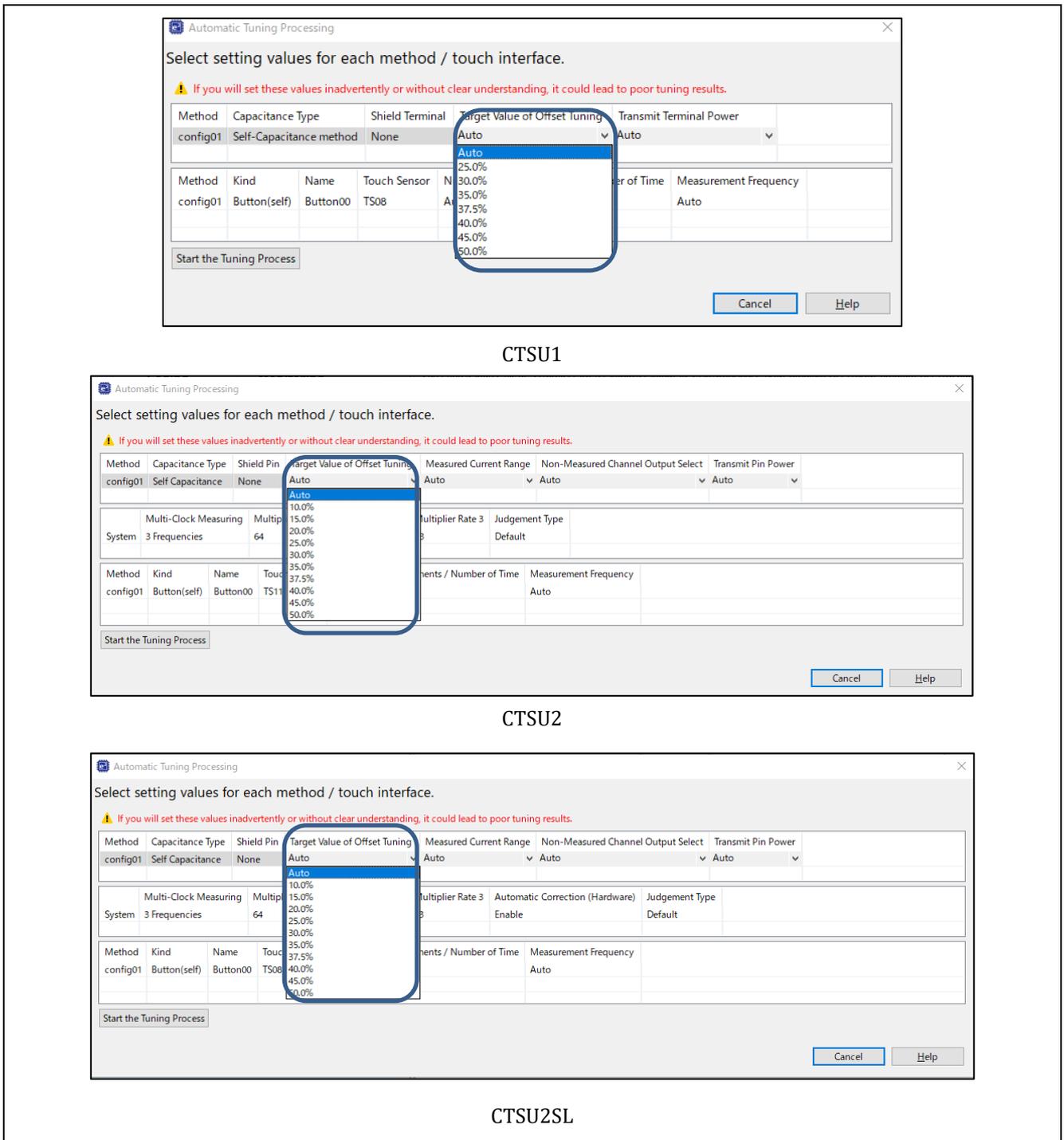


图 3-6 设置“Target Value of Offset tuning”

这些设置会反映在 `qe_touch_config.c` 中。以下是使用 RX130 时自容/互容的目标值示例。不建议直接重写此值。

```
#if (CTSU_TARGET_VALUE_CONFIG_SUPPORT == 1)
    .tuning_self_target_value = 15360,
    .tuning_mutual_target_value = 10240,
#endif
```

3.2.1 Offset tuning 目标值及测量次数变化对测量值的影响

只有 CTSU2/CTS2SL 可改变测量次数。测量值随着测量次数变化，如果测量次数设置为默认设置的两倍，则测量值也会加倍。

$$\text{测量值} = (\text{Offset Tuning 目标值} [\%] \times 40960) / 100 \times (\text{测量次数} / \text{默认测量次数})$$

注：40960 是在 Offset Tuning 目标值为 100% 时的值。

如表 3-10 和图 3-7 所示，CTS2/CTS2SL 改变测量次数后，对 Offset Tuning 目标值进行设置时对应的 Touch Off 时的测量值（理论值）。

表 3-10 测量次数更改时“偏移调谐目标值”的测量值（理论值）

Offset Tuning 目标值	目标值*	Touch Off 时的测量值（理论值）*	
		测量次数：8（默认）	测量次数：16
10.0%	4096	4096	8192
15.0%	6144	6144	12288
20.0%	8192	8192	16384
25.0%	10240	10240	20480
30.0%	12288	12288	24576
35.0%	14336	14336	28672
37.5%	15360	15360	30720
40.0%	16384	16384	32768
45.0%	18432	18432	36864
50.0%	20480	20480	40960

注：从三个频率测量结果中取两个频率并计算总和之后的值。

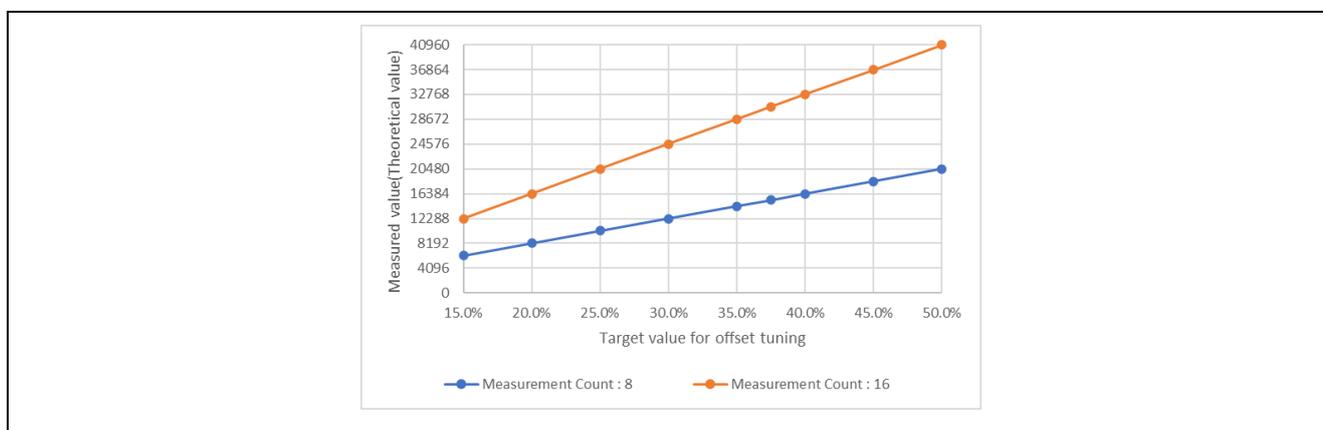


图 3-7 改变测量次数后对应的“Target Value of Offset tuning”的测量值（理论值）

更改 Offset Tunning 目标值可能会导致测量值溢出。设置目标值和测量时间时，应使系统（产品）运行时所假设的最大电容增加状态^注下的测量值在电流控制振荡器（CCO）输出线性特性的良好范围内。如无需特别更改，则参照表 3-7 将偏置调整期间的目标值和测量时间设为每种方法的目标值。如果更改测量次数后测量值与预期值不同，则参照表 3-10 设置偏置调整目标值。如果测量值大于目标值，则应将偏置调整目标值设为低于默认值；如果测量值小于目标值，则应将偏置调整目标值设为高于默认值。当电极寄生电容较小或使用有源屏蔽时，如果未达到偏置调整过程中设定的目标值，请重新设置。

注：本例中假设触摸按键处于最大的电容增加状态（例如当触摸按键上溅上了水等非常见操作的情况）。

3.3 测量频率

“Measurement frequency（测量频率）”（传感器驱动脉冲频率）中设置了输出到触摸传感器的分频。测量频率越高，灵敏度越高，但如果寄生电容较大，则会出现测量误差。CTSU 从 TS 端子输出传感器驱动脉冲，并从充电电流中测量电容。有关详细信息，请参阅以下文档。

[Capacitive Sensor Microcontrollers CTSU Capacitive Touch Introduction Guide \(renesas.com\)](#)

自动调整时，通过寄生电容和设好的电阻将测量频率设置为适当的频率。此外，测量频率会因时钟的不同而变化。有关详细信息，请参阅每个电容触摸传感器的硬件手册。图 3-8 为 CTSU1 通过自动调整设置的 RX130 的寄生电容/电阻与测量频率之间的关系示例图。

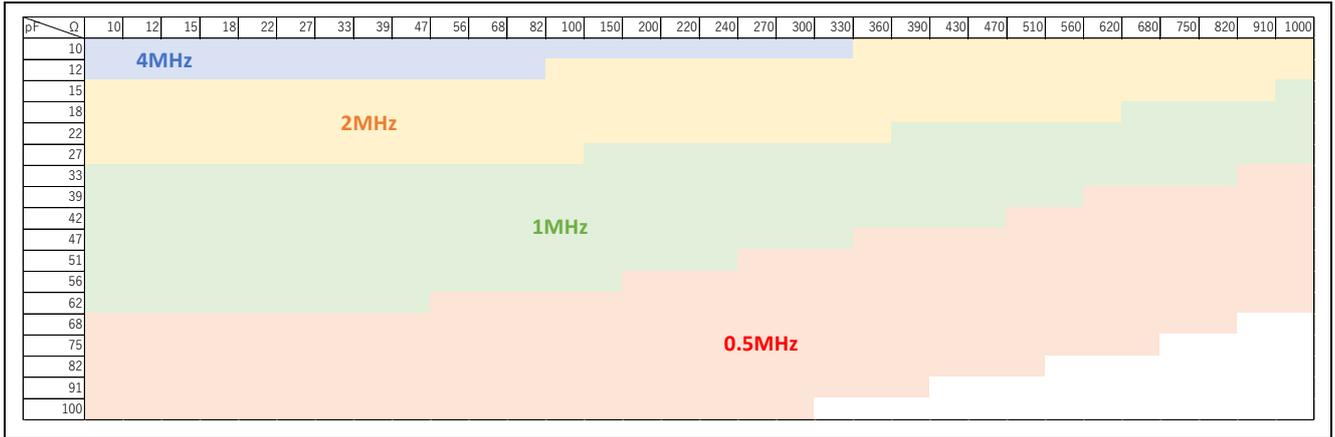


图 3-8 RX130（接收电极 1.6V）的寄生电容/电阻与测量频率的关系

图 3-9 为 CTSU2/CTSU2SL 通过自动调整设置的 RX140 的寄生电容/电阻与测量频率之间的关系示例图。

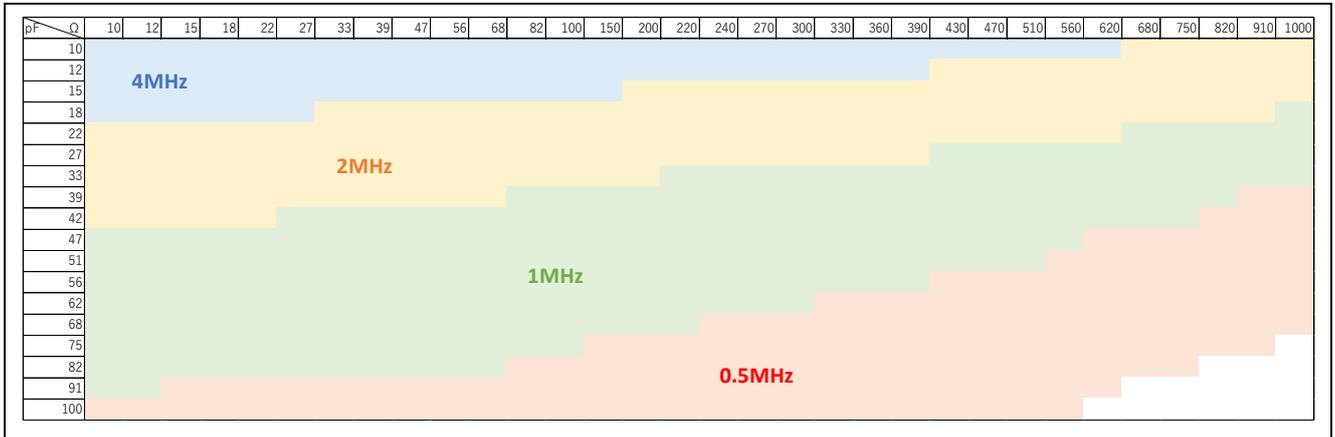


图 3-9 RX140（接收电极 1.5V）的寄生电容/电阻与测量频率的关系

寄生电容越大，设置的测量频率越低。如果寄生电容较大时将测量频率设置为较高值，则从 TS 端子输出传感器驱动脉冲时，就无法很好地充放电，且可能出现测量误差。自动调整会在不发生测量误差前提下设置最佳的测量频率。

此外，CTSU2/CTSU2SL 的“Measurement frequency”中设置的频率被确定为多时钟测量中的第 1 个频率。关于第 2/3 个频率的设置方法，请参照“3.6 多时钟测量/倍增系数”。

图 3-10 为使用高级模式设置测量频率（Measurement Frequency）的界面。

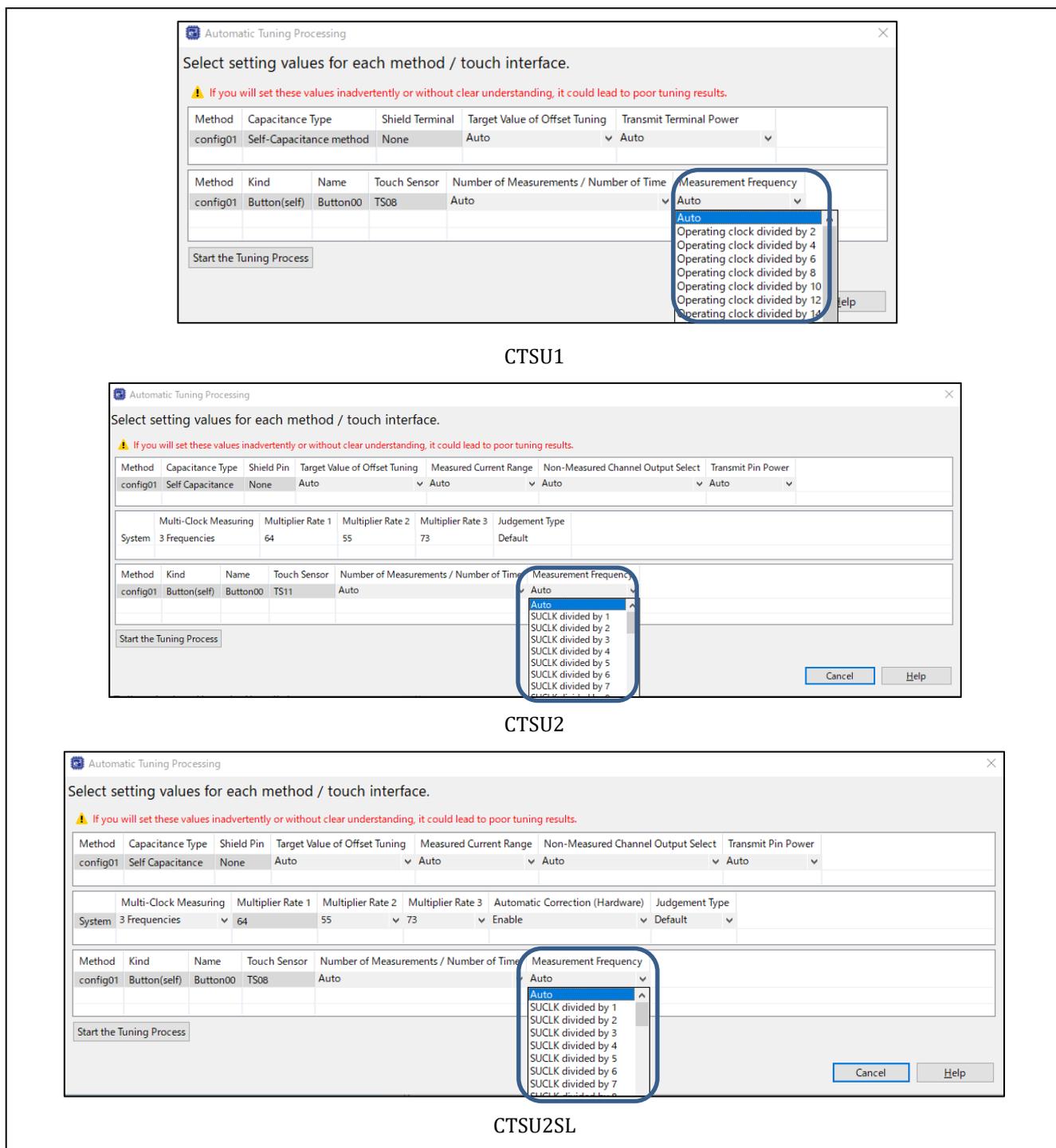


图 3-10 设置 Measurement Frequency（测量频率）

该设置反映在 `qe_touch_config.c` 的“`sdpa`”中。例如，当使用 RX140 电容触摸评估系统时，如果测量频率选择了“SUCLK 的 8 分频”，则设置为“`sdpa = 0x07`”。

```

常量 ctsu_element_cfg_t g_qe_ctsu_element_cfg_config01[] =
{
    { .ssdiv = CTSU_SSDIV_4000, .so = 0x12B, .snum = 0x07, .sdpa = 0x07 },
};
    
```

注：有关 SDPA 的更多信息，请参阅相应的电容触摸传感器硬件手册。

3.3.1 改变测量频率对灵敏度的影响

表 3-11 为 RX140 电容触摸评估系统改变测量频率时得出的测量值（实测例）。

表 3-11 测量频率变化时的测量值（实测例）

CTSUSL (RX140 电容触摸评估系统)				
自容, 测量次数: 8, 测量电流范围: 40 μA, Offset Tuning 目标值: 37.5% (平均 5 次)				
测量频率	Touch Off 时的平均值 A	Touch On 时的平均值 B	信号值 (Touch Off 时的差值) B - A	Touch Off 时的平均噪声值 A
4MHz	15359	18914	3555	30.2
2MHz	15408	17217	1809	18.2
1MHz	15371	16306	935	14.2
0.5MHz	10882	11357	475	12.6

注：实测值通过 QE for Capacitive Touch 的 CapTouch Status Chart (QE) View 功能获得。有关更多信息，请参阅 e2studio 的“Help”。

当测量频率增加时，可以看出触摸 ON/OFF 的差异很大。但当测量频率增加时，触摸 ON 期间可能会发生溢出。如果在寄生电容较大时强行提高测量频率，则可能会出现测量误差。

图 3-11 显示寄生电容较大且测量频率增加时的 CTSU 测量示意图。如果脉冲输出的速度快于充电时间，并且寄生电容在较高频率下较大，则可能无法充分进行充电/放电。因此可能会出现测量误差。所以有必要设置测量频率以匹配寄生电容。

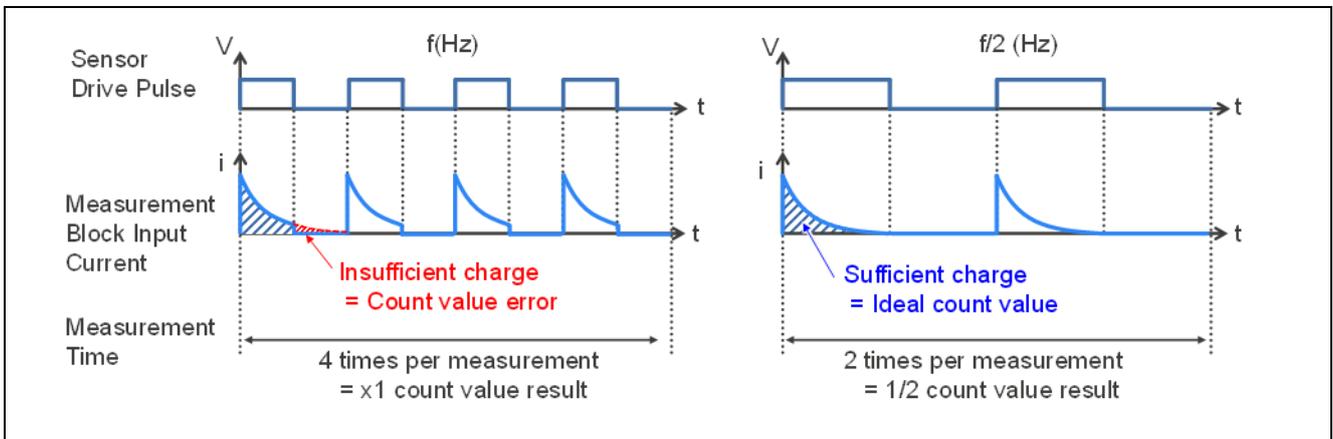


图 3-11 CTSU 测量图

当设置为 0.5MHz 时，如果寄生电容较小，则 touch OFF 时的平均值可能不会设置在偏置调整目标值附近。原因是由于寄生电容小，VDC 提供的电流很小，并且提供给电流镜电路的电流也很小，因此测量值没有达到目标值。在这种情况下，增加测量频率或降低偏置调整的目标值。

此外，考虑到充放电时间应充分保证，将测量频率设置为小于 4MHz。

请根据用户要求的规格进行充分评估后进行调整。

3.3.2 如何使用高级模式调整测量频率

自动调整可在不发生测量误差的情况下设置最佳测量频率。虽然最终的测量频率是由寄生电容从默认的 4 个测量频率（4MHz、2MHz、1MHz、0.5MHz）确定的，但为寄生电容设置的测量频率裕量可能过大。在这种情况下，可以使用高级模式更改为更详细的测量频率。图 3-12 显示了在 RX130（即 CTSU1）中使用阻尼电阻为 560Ω 时寄生电容与 SDPA 之间的关系。

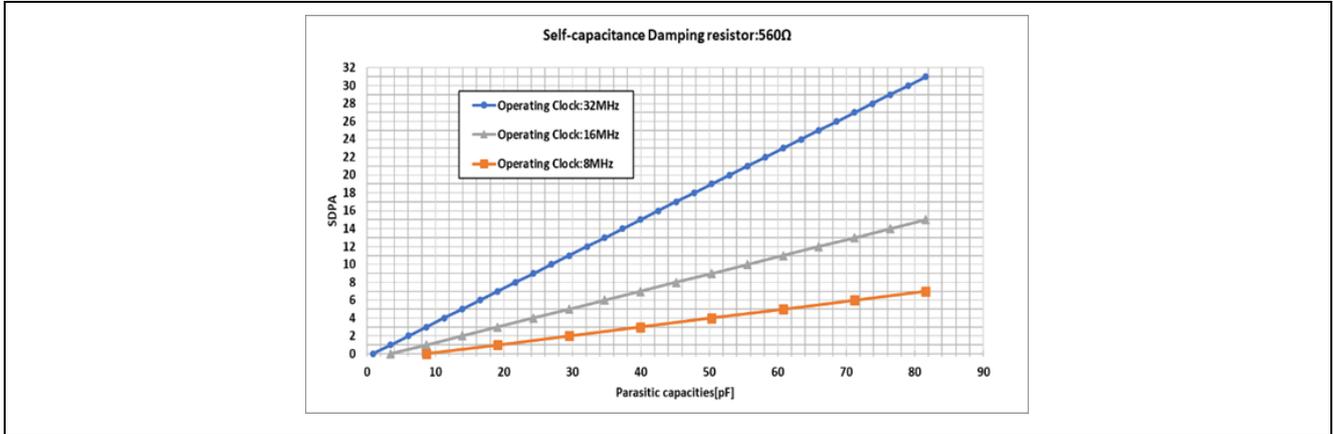


图 3-12 RX130 时可测量的寄生电容

当设置为 0.5MHz 时，如果寄生电容为 30pF，工作时钟（CTSUCLK）为 32MHz 时，最佳 SDPA 为 11。测量频率由以下公式计算。

$$\text{测量频率} = \text{CTSUCLK} / ((\text{SDPA} + 1) \times 2)$$

当工作时钟（CTSUCLK）为 32MHz，SDPA 为 11 时，测量频率如下。

$$\text{测量频率} = 32[\text{MHz}] / ((11 + 1) \times 2) = 1.333\text{MHz}$$

在 RX130 中，由于自动调整，测量时间设置为 526μs。但是，如果使用此高级模式手动更改测量频率，则测量时间也会发生变化。有关详细信息，请参阅 3.1 测量次数/时间次数。

表 3-13 显示了当工作时钟设置为 526μs 左右时，使用工作时钟 32MHz 时 SDPA 与测量次数之间的关系。

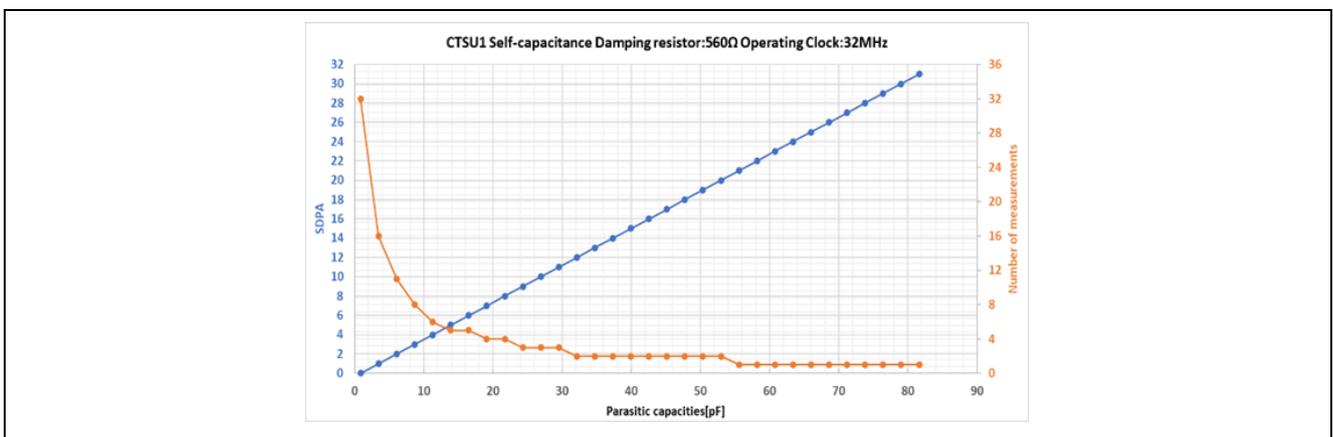


图 3-13 使用 RX130（工作时钟 32MHz）时设置 526μs 等效测量时间时的 SDPA 和测量次数

更改测量时间时，请将其调整为用户要求的规格，以防止发生溢出错误。根据操作时钟的不同，根据自动调整，该设定可能设置为 4/2/1/0.5MHz 以外的其他频率。例如，如果工作时钟为 30MHz，则由于分频关系，它们不能设置为 4/2MHz。在这种情况下，4/2MHz 设置为较低的 3.75/1.875MHz。

表 3-14 显示了当工作时钟设置为 526 μ s 左右时，使用工作时钟 32MHz 时 SDPA 与测量次数之间的关系。

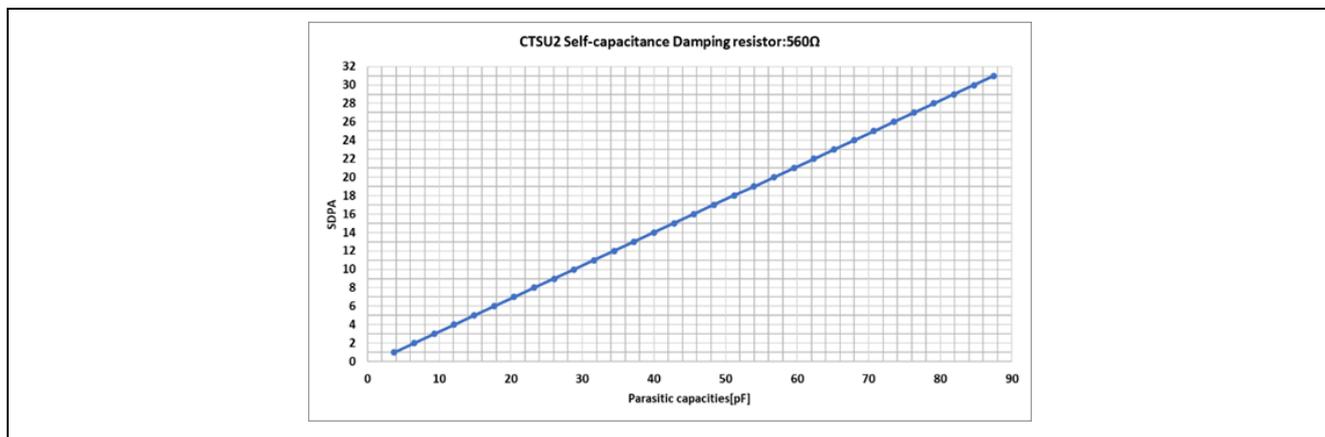


图 3-14 使用 RX140 可测量的寄生电容

当寄生电容为 25pF 时，最佳 SDPA 为 9。

测量频率通过以下公式计算。

$$\text{测量频率} = (\text{SUCLK} * / 2) / (\text{SDPA} + 1)$$

注：SUCLK = STCLK[0.5MHz] × SUMULTI。有关 STCLK 和 SUMULTI 的详细信息，请参阅每个电容触摸传感器的硬件手册。

当 SDPA 为 9 时，3 频率测量时的频率如下。

$$\text{测量频率} (\times 64) : (32 [\text{MHz}] / 2) / (9 + 1) = 1.6\text{MHz}$$

$$\text{测量频率} (\times 55) : (27.5 [\text{MHz}] / 2) / (9 + 1) = 1.38\text{MHz}$$

$$\text{测量频率} (\times 73) : (36.5 [\text{MHz}] / 2) / (9 + 1) = 1.83\text{MHz}$$

请根据用户要求的规格进行充分评估后进行调整。

3.4 测量电流范围

“Measured Current Range” 修改设置只在 CTSU2/CTSU2SL 上有效。在 “Measured Current Range” 中，为每种方法设置了测量 VDC 提供的电流与通过电流镜像电路流过电流控制振荡器 (CCO) 的电流之间的电流镜像比。设置较低的 “Measured Current Range” 可提高灵敏度。这是因为 Touch ON 时的 CCO 输入电流增加。CTSU 通过从 TS 端子输出传感器驱动脉冲并测量充/放电的电流来测量电容并建立以下等式。

$$I = F C V$$

电流 I 是测量 VDC 提供的电流 I1 和偏置电流 (DAC) 提供的电流 I2 的总和。有关详细信息，请参阅以下文档中的 “2.2.1 Principles of Detection”。

[Capacitive Sensor Microcontrollers CTSU Capacitive Touch Introduction Guide \(renesas.com\)](https://www.renesas.com/capacitive-sensor-microcontrollers-ctsuh-capacitive-touch-introduction-guide)

与 CCO 成比例的电流 IOUR 施加到从测量 VDC 通过电流镜像提供的电流 I1。从 VDC 设置电源能力，根据设置自动确定电流镜像比。增加测量电流范围会增加 VDC 提供的用于测量的电流 I1。

图 3-15 为更改 “Measured Current Range” 时的测量图。

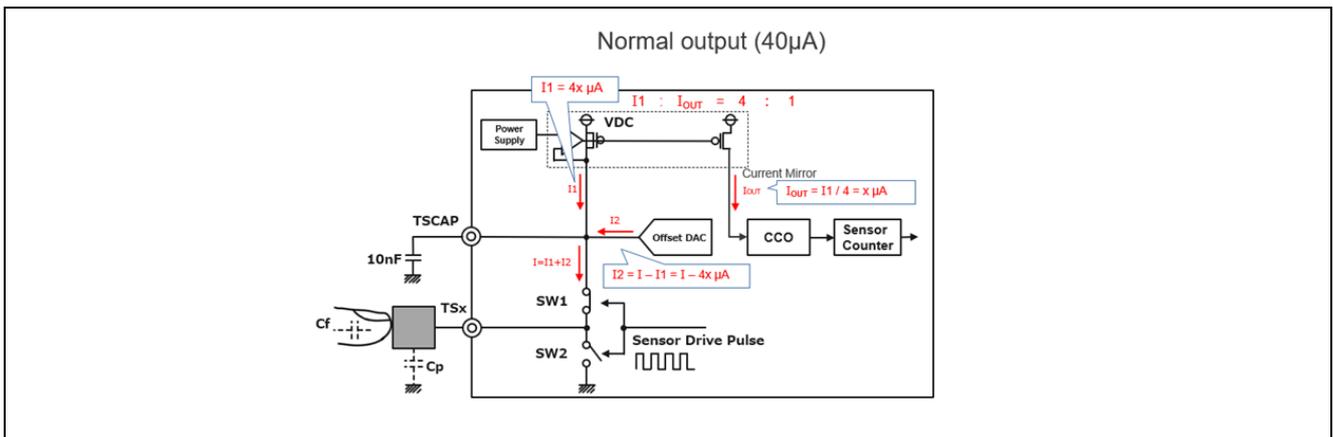


图 3-15 使用正常电流 (40µA) 时的测量图

表 3-12 显示了默认设置。

表 3-12 “Measured Current Range” 的默认设置

	自容	互容
CTSU2/CTSU2SL	正常电流 (40µA)	大电流 (80µA)

除默认值外，CTSU2/CTSU2SL 还可以设置为低电流 (20µA) 或高电流 (160µA)。

图 3-16 显示了使用高级模式设置 “Measured Current Range” 的界面。

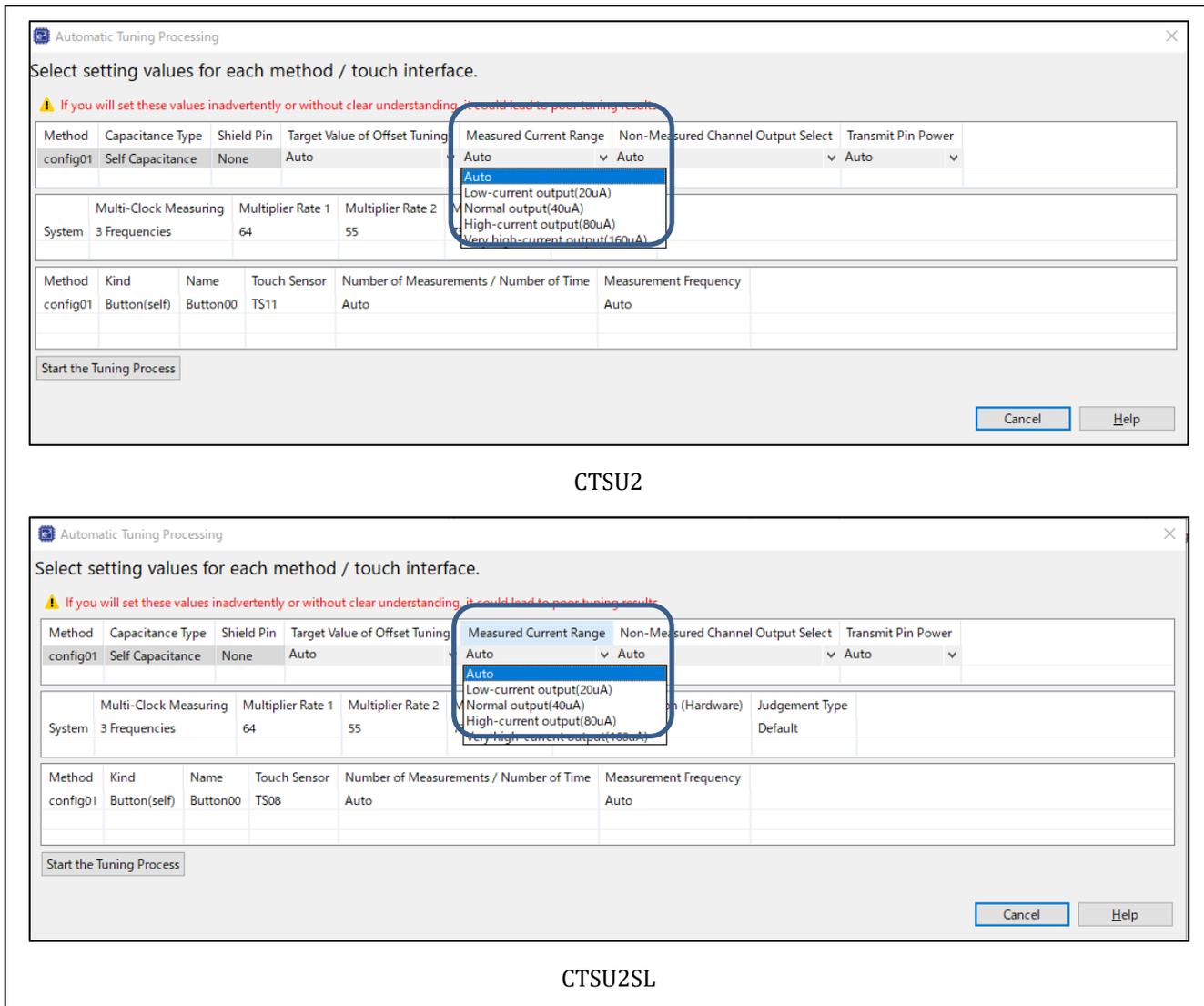


图 3-16 “Measured Current Range” 的设置

这些设置反映在 `qe_touch_config.c` 中。正常电流（40μA）如下所示。

```
.atune12= CTSU_ATUNE12_40UA,
```

注：有关 ATUN 的更多信息，请参阅相应的电容触摸传感器硬件手册。

3.4.1 通过改变测量电流范围对灵敏度的影响

表 3-13 显示了使用 RX140 电容触摸评估系统时，改变了“Measured Current Range”设置后，测量值（实测例）随之发生的变化。

表 3-13 改变测量电流范围时的测量值（实测例）

CTSUSL 电容触摸评估系统 (RX140)				
自容, 测量频率: 2MHz, 测量次数: 8, Offset Tuning 目标值: 37.5% (平均 5 次)				
测量电流范围	Touch Off 时的平均值 A	Touch On 时的平均值 B	信号值 (Touch Off 时的差值) B - A	Touch Off 时的平均噪声值 A
20μA	15363	18897	3534	34.2
40μA	15429	17214	1785	19.4
80μA	15372	16255	883	11
160μA	10834	11271	437	8.2

注：实测值通过 QE for Capacitive Touch 的 CapTouch Status Chart (QE) View 功能获得。有关更多信息，请参阅 e2studio 的“Help”。

当测得的电流范围较低时，可以看出 Touch 在 ON 和 OFF 时相差很多，但是当电流范围较低时，Touch ON 期间可能会发生溢出。需根据用户需求，在充分评估 Offset Tuning 的基础上进行调整。此外，如果寄生电容较小时电流模式过大，则 Touch Off 时的平均值可能不会设置在 Offset Tuning 目标值附近。原因是由于寄生电容小，VDC 提供的电流很小，并且提供给电流镜像电路的电流也很小，因此测量值没有达到目标值。在这种情况下，请减小测量电流范围或降低测量值的目标值。

以图 3-17 为例，当测量频率为 2MHz 时，测量电流范围为正常电流（40μA）/大电流（160μA）时，使用寄生电容约为 18.8pF 的电极时，VDC 提供的用于测量的电流 I1 和偏置电流（DAC）提供给 Offset Tuning 目标值的电流 I2。电流 I2 由电流（DAC）提供，电流值 Iout 在 CCO 中流动，如下所示。

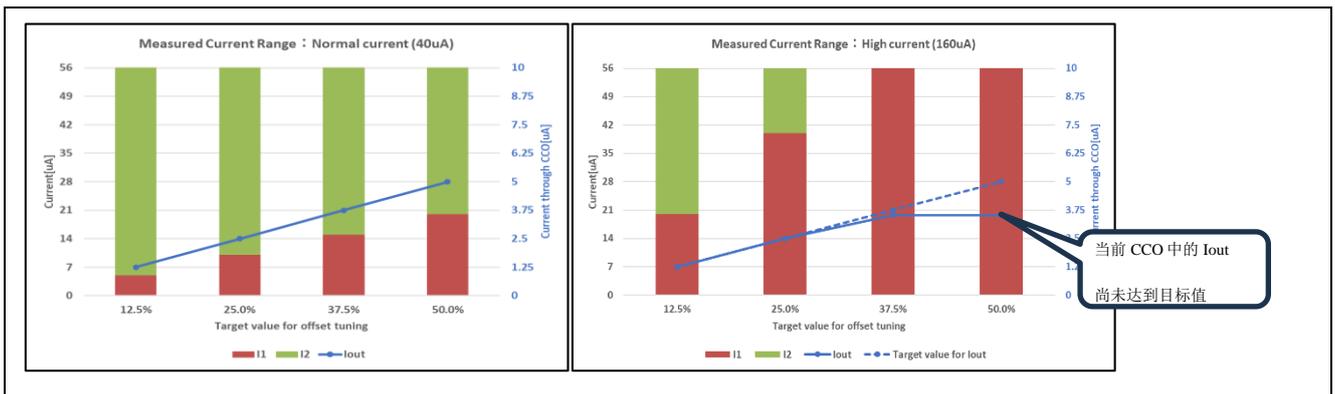


图 3-17 改变 Target Offset Tuning 值和 Measured Current Range 后的电流值

流过 CCO 的电流为 1.25~10μA，偏置调整目标值为 100%时流过 10μA。

当使用正常电流（40μA）时，I1 = 约 15μA，当失调目标为 37.5%时，I2 = 约 41μA。流经 CCO 的电流 IOUT 由电流镜像比确定，电流 I1 由 VDC 提供用于测量，因此计算为 $IOUT = I1 / 4 = 3.75\mu A$ 。

当使用高电流（160μA）时，I1 = 约 56μA，当偏置调整目标为 37.5%时，I2 = 0μA。由于流经 CCO 的电流 IOUT 由电流镜像比决定，电流 I1 由测量 VDC 提供，因此 $IOUT = I1/16$ 约为 3.5μA。

如果这样寄生电容较小时电流模式过大，则提供给电流镜电路的电流也会很小，测量值将达不到目标值。

请在完全评估用户所需的规格的基础上，调整电流范围和偏置调整的目标值。

3.5 非测量通道输出选择

“Non-Measured Channel Output Select” 的设置修改只在 CTSU2/CTSU2SL 的情况下有效。

“Non-Measured Channel Output Select” 为每种方法设置了测量期间测量端子以外的非测量端子的处理。通过适当处理非测量端子可以抑制噪声。建议将未测量的 TS 端子设置为 GPIO 低输出以进行噪声抑制。为了屏蔽外部影响，同时抑制使用有源屏蔽时寄生电容的增加，将非测量端子设置为共模脉冲输出，即在测量期间输出与传感器驱动脉冲同相位的屏蔽信号的设置。

表 3-14 为 “Non-Measured Channel Output Select” 的默认设置。

表 3-14 “Non-Measured Channel Output Select” 的默认设置

	自容方式	互容方式	主动屏蔽
CTSU2/CTSU2SL	低输出 GPIO	低输出 GPIO	通过功率设置输出与传输端子相同的相位脉冲输出

图 3-19 显示触摸界面配置中的 TS 端子测量图，如图 3-18，由于有源屏蔽是针对 TS 端子在 config01 测量期间的行为设置的，因此在测量 TS00 时，另一个端子 TS01、TS02 是同相脉冲的。在 config02 测量期间，正在测量 TS03 的 TS04 变为低电平。

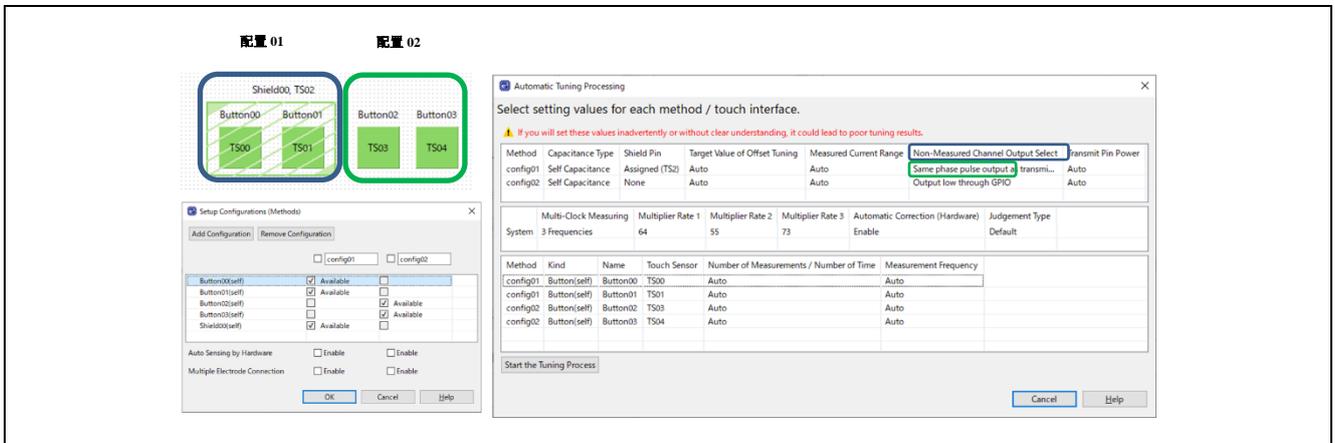


图 3-18 触摸界面配置示例

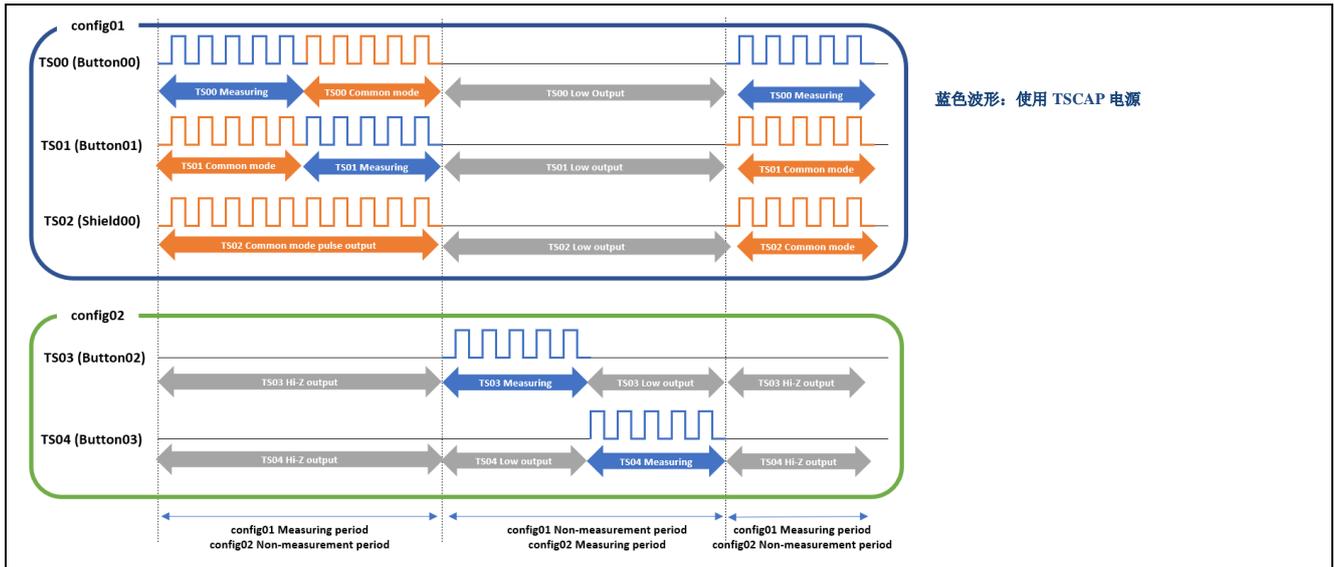


图 3-19 TS 端子测量图

非测量端子输出选择的示例请参阅以下文档。

[RL78 Family Capacitive Touch Sensing Unit \(CTSUL\) Operation Explanation Rev.1.00 \(renesas.com\)](https://www.renesas.com/document/operation-explanation/rl78-family-capacitive-touch-sensing-unit-ctsul-operation-explanation-rev1.00)

表 3-15 列出了每个进程设置的概要。

表 3-15 处理设置概述

非测量端脚输出选择设置	概要
低输出 GPIO	此设置用于在测量期间从非测量端子输出低电平。
Hi-Z	此设置用于在测量过程中从非测量端子输出 Hi-Z。
通过功率设置输出与传输端子相同的相位脉冲输出	此设置在测量期间输出屏蔽信号，与传感器驱动来自非测量端子的脉冲同相位。

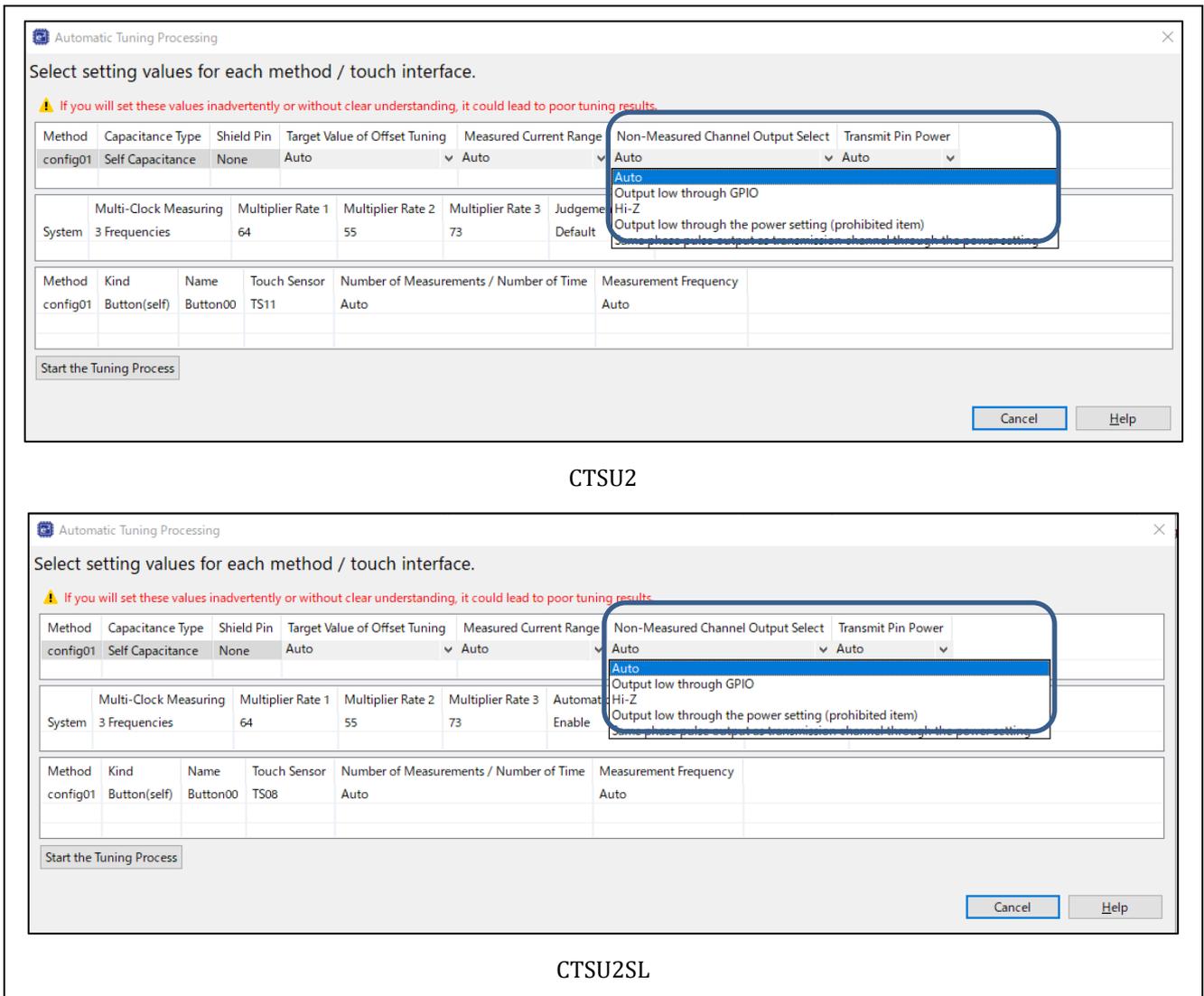


图 3-20 “Non-Measured Channel Output Select” 的设置

这些设置反映在 `qe_touch_config.c` 中。下面是从 GPIO 到 L 输出的设置示例。

```
.job = CTSU_POSEL_LOW_GPIO,
```

注：有关 POSEL 的更多信息，请参阅相应的电容触摸传感器硬件手册。

3.6 多时钟测量/倍增系数

“Multi-Clock Measuring/Multiplier Rate” 修改的设置仅在 CTSU2/CTSU2SL 上有效。

在“Multi-Clock Measuring/Multiplier Rate”中，多时钟测量中的测量次数和测量频率由倍增系数设置。可以在多个驱动频率下进行多时钟测量，以避免同步噪声。默认情况下，测量三个频率，去掉一个异常值，以确定最终测量值。对于3频率测量，使用“Measurement frequency”（传感器驱动脉冲频率）中设置的频率作为第1频率，第2/3频率的倍增系数可以更改为任意值。有关详细信息，请参阅以下文档。

[Capacitive Sensor Microcontrollers CTSU Capacitive Touch Introduction Guide \(renesas.com\)](https://www.renesas.com/document/guide/capacitive-sensor-microcontrollers-ctsucapacitive-touch-introduction-guide)

图 3-21 为多时钟测量图（3 频率测量）。

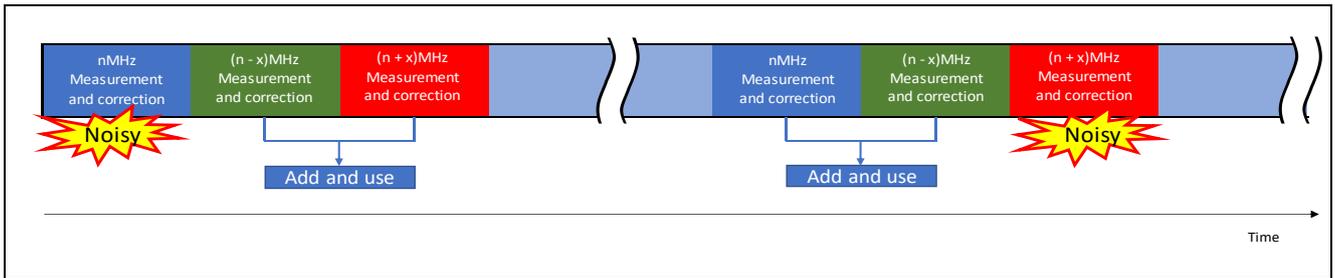


图 3-21 多时钟测量图（3 频率测量）

表 3-16 列出了默认设置。

表 3-16 “Multi-Clock Measuring/Multiplier Rate” 的默认设置

	多时钟测量频率	第 1 频率倍增系数	第 2 频率倍增系数	第 3 频率倍增系数
CTSU2/CTSU2SL	3 频率	64	55	73

多时钟测量次数可以设置为 1 个频率或 3 个频率。由于在设置 1 次频率测量时没有去掉异常值的操作，因此测量值是 3 次频率测量的一半。对于 3 频率测量，第 2/3 频率的倍增系数可以设置在 32 到 80 的范围内。第 1 个频率的倍增系数固定为 64，使用“Measurement frequency”中设置的频率。请参阅“3.3 测量频率”了解更多详情。根据设定的倍增系数测量频率如图 3-22 所示。

Method	Kind	Name	Touch Sensor	Number of Measurements / Number of Time	Measurement Frequency
config01	Button(self)	Button00	TS08	Auto	2,000 MHz, 1,719 MHz, 2,281 MHz

图 3-22 通过设置倍增系数测量频率

当倍增系数发生变化时，请通过下面的公式计算第 2 和第 3 频率的测量频率。

$$\text{测量频率 [第 2 频率]} = \text{测量频率 [第 1 频率]} \times \text{倍增系数 [第 2 频率]} / \text{倍增系数 [第 1 频率]}$$

$$\text{测量频率 [第 3 频率]} = \text{测量频率 [第 1 频率]} \times \text{倍增系数 [第 3 频率]} / \text{倍增系数 [第 1 频率]}$$

增加 3 个测量频率之间的频率差值会增加测量值的离散度。

此外，设置倍增系数时，要注意不发生测量值的溢出。应在全面评估后确定倍增系数。

图 3-23 显示了使用高级模式设置 “Multi-Clock Measuring/Multiplier Rate” 的界面。

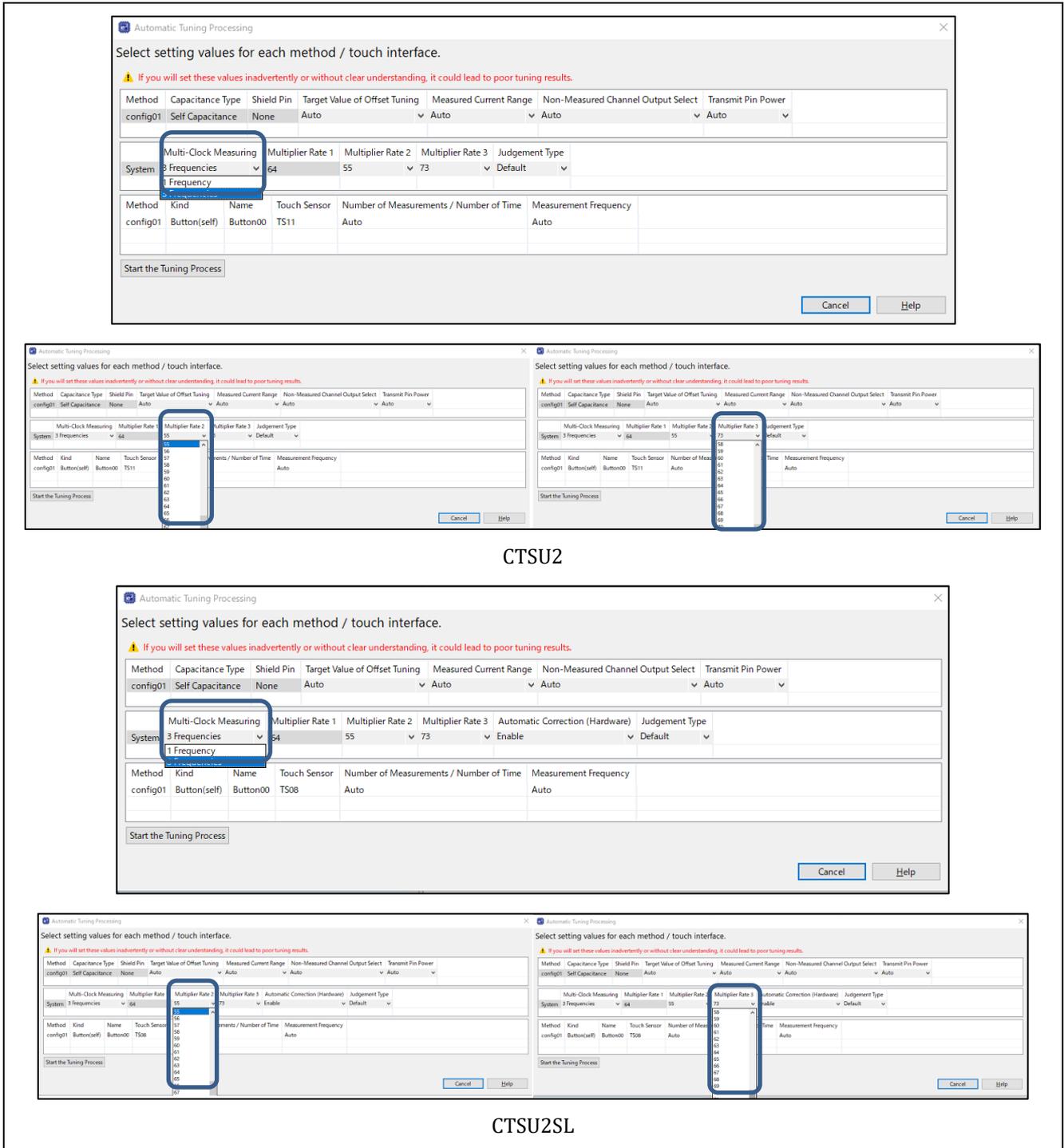


图 3-23 Multi-Clock Measuring/Multiplier Rate 的设置

这些设置反映在 `qe_touch_define.h` 中。以下是使用 3 频率测量时的默认设置例。

```
#define CTSU_CFG_NUM_SUMULTI (3)
#define CTSU_CFG_SUMULTI0 (0x3F)
#define CTSU_CFG_SUMULTI1 (0x36)
#define CTSU_CFG_SUMULTI2 (0x48)
```

注：有关 SUMULTI 的更多信息，请参阅相应的电容触摸传感器硬件手册。

3.7 发送端子电源

使用互容方式时，“Transmit Terminal Power”的每种方法中都选择发送端子中设置的端子的 I/O 电源。所选电源也用于自容有源屏蔽电极。此值使用默认设置，不要更改。有关详细信息，请参阅以下文档。

[RL78 Family Capacitive Touch Sensing Unit \(CTSU2L\) Operation Explanation Rev.1.00 \(renesas.com\)](http://renesas.com)

表 3-17 列出了默认设置。

表 3-17 “Transmit Terminal Power” 的默认设置

	自容	互容	有源屏蔽
CTSU1	VCC	VCC	-
CTSU2/CTSU2SL	VCC	VCC (private)	内部逻辑电源 (有源屏蔽的供电电源)

表 3-18 是在 CTSU1 中的设置。

表 3-18 CTSU1 中“Transmit Terminal Power”的设置

	Transmit Terminal Power 设置	TXVSEL	概要
自容	VCC	0	测量过程中仅使用接收端子，不使用发送端子。接收端使用 TSCAP 电源。
互容	VCC	0	在测量过程中也使用发送端子。灵敏度根据发送端子的电压而变化。接收端子使用 TSCAP 电源。

使用 CTSU1 时，不要将 TXVSEL 设为 1。

表 3-19 是在 CTSU2/CTSU2SL 中的设置。

表 3-19 CTSU2/CTSU2SL 中 “Transmit Terminal Power” 的设置

	Transmit Terminal Power 设置	TXVSEL	TXVSEL2	概要
自容	VCC	0	0	测量过程中仅使用接收端子，不使用发送端子。接收端子使用 TSCAP 电源。
互容	VCC	0/1	1	在测量过程中也使用发送端子。灵敏度根据传送端子的电压而变化。接收端子使用 TSCAP 电源。
有源屏蔽	内部逻辑电源（有源屏蔽电源） RX、RA: VCL; RL: REGC。	1	0	发射端子用于屏蔽脉冲的输出。它可以通过从发射端子输出与接收端子相同相位和电位的脉冲来充当屏蔽。接收端子使用 TSCAP 电源。

注：有关详细信息，请参阅以下文档中的“2.3.1 Principles of Detection”。

[Capacitive Sensor Microcontrollers CTSU Capacitive Touch Introduction Guide \(renesas.com\)](https://www.renesas.com/en/document/introduction-guide/ctsucapacitive-touch-introduction-guide)

图 3-24 显示了使用高级模式设置 “Transmit Terminal Power” 的界面。

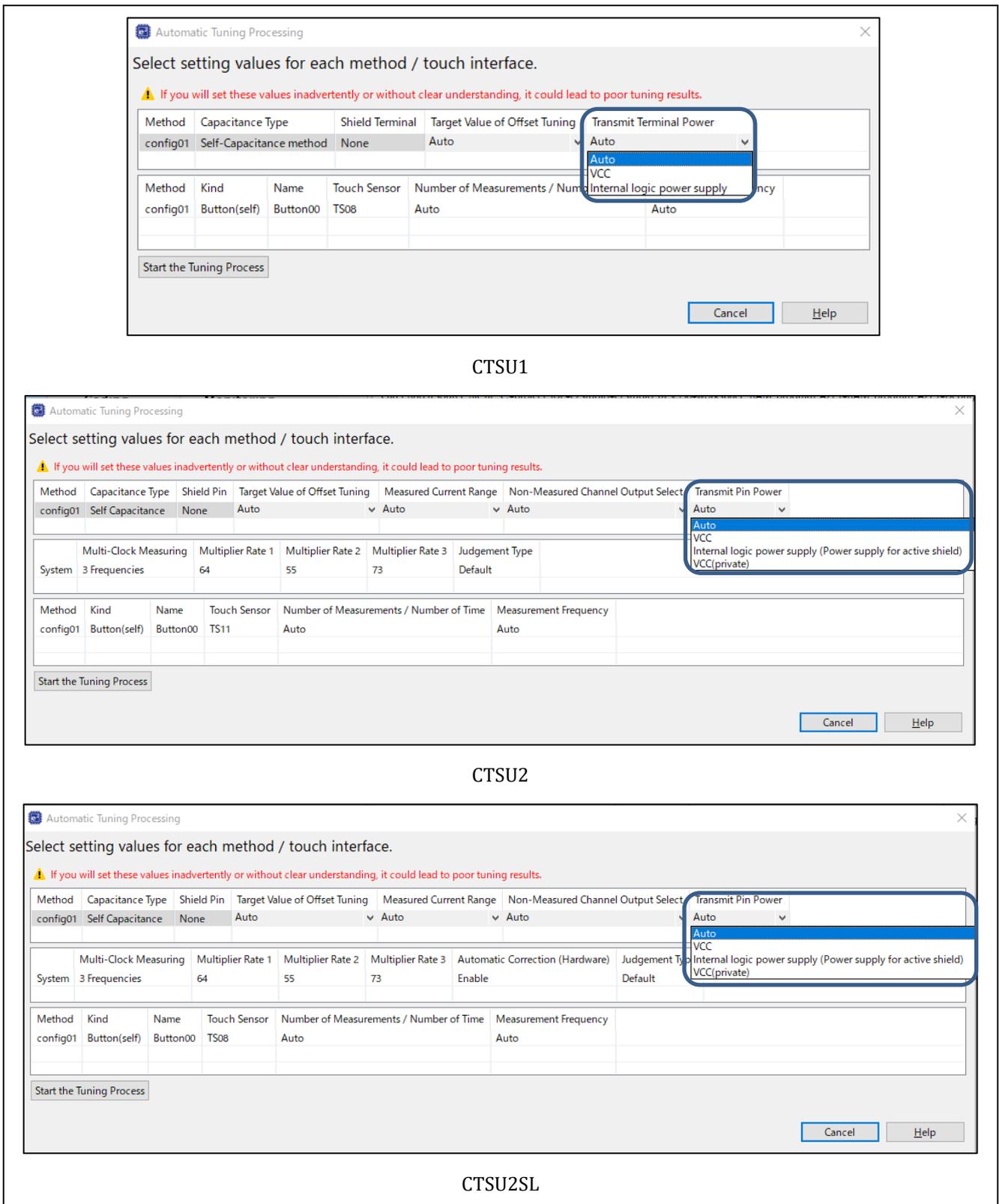


图 3-24 “Transmit Terminal Power”的设置

这些设置反映在 `qe_touch_config.c` 中。

下面是 CTSU1 的示例。

- 自容/互容

```
.txvsel = CTSU_TXVSEL_VCC,
```

以下是 CTSU2/CTSU2SL 的示例。

- 自容

```
.txvsel = CTSU_TXVSEL_VCC,
```

```
.txvsel2= CTSU_TXVSEL_MODE,
```

- 互容

```
.txvsel = CTSU_TXVSEL_VCC,
```

```
.txvsel2= CTSU_TXVSEL_VCC_PRIVATE,
```

- 使用主动屏蔽时

```
.txvsel = CTSU_TXVSEL_INTERNAL_POWER,
```

```
.txvsel2= CTSU_TXVSEL_MODE,
```

3.8 自动校正（硬件）

自动校正（硬件）的设置只在 CTSU2SL 上有效。

自动校正（硬件）用来设置是否使用 CTSU 外设处理校正计算。CTSU 具有内置电路，可补偿电流控制振荡器（CCO）在 MCU 制造过程中潜在的微小变化。CTSU 驱动程序或软件在上电后初始化时暂时切换到补偿过程。在校正过程中，校正电路用于产生校正因子，以确保传感器测量准确。在校正计算中，使用该校正系数计算测量值的校正值。

校正计算的硬件处理消除了每次测量的唤醒需求，有助于降低功耗。有关详细信息，请参阅以下文档。

[RX Family QE CTSU Module Using Firmware Integration Technology Rev.2.20 \(renesas.com\)](https://www.renesas.com/document/rx-family-qe-cts-module-using-firmware-integration-technology-rev-2.20)

默认设置为“启用”。如果设置为“禁用”，则由软件执行校正计算。

图 3-25 显示禁用/启用自动校正图（硬件）。

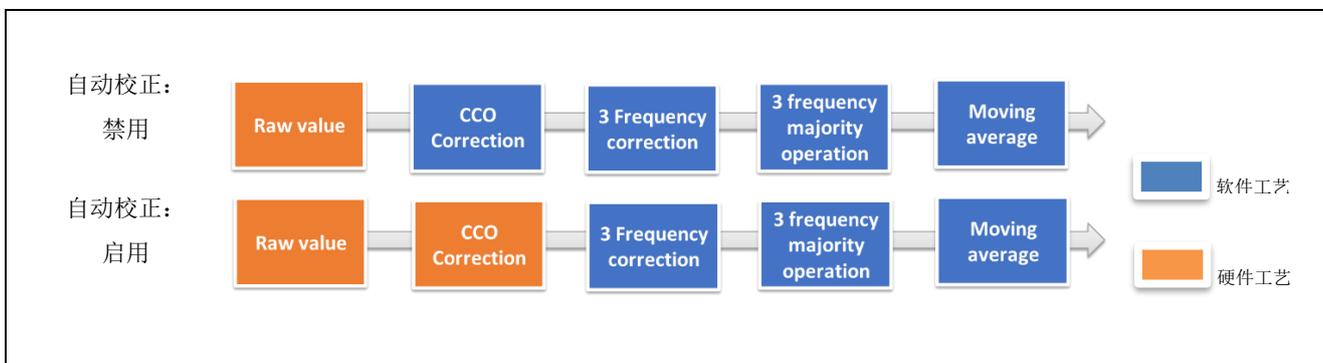


图 3-25 禁用/启用自动校正的操作图像

图 3-26 显示了使用高级模式设置“Automatic Correction (Hardware)”的界面。

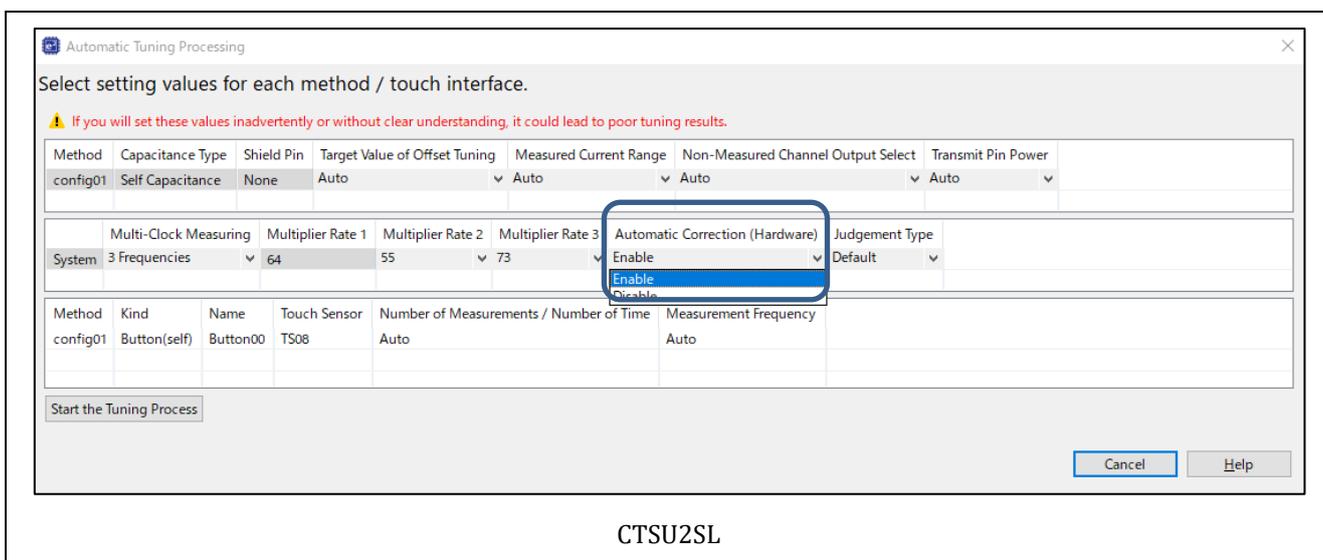


图 3-26 Automatic Correction (Hardware)的设置

这些设置反映在 `qe_touch_define.h` 中。以下是启用自动校正（硬件）的示例。

```
#define CTSU_CFG_AUTO_CORRECTION_ENABLE (1)
```

更新履历

版本号	日期	描述	
		页数	概述
1.00	2023年6月20日	-	初版发布
2.00	2023年12月25日	P26	添加了有关如何调整测量频率的说明。
		P30	添加了当测量的电流范围发生变化时，相对于 Offset Tunning Target Value 的电流量变化图。
		P40	在启用/禁用自动校正（硬件）处添加了图表。

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

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/。