

自电容式触摸传感器应用指南

版本：V1.5

日期：2025-4-2



上海航芯电子科技股份有限公司

目录

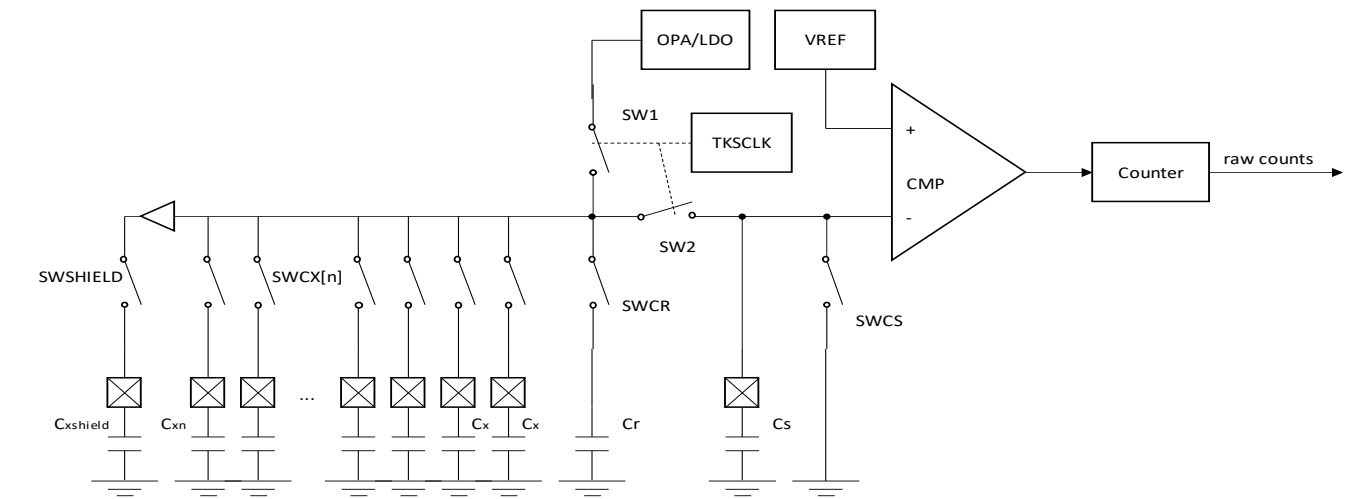
目录	2
1. 原理介绍	4
1.1. 自电容触摸按键原理	4
1.1.1. 基本原理框图	4
1.1.2. 原理简述	4
1.2. 触摸信号门限	5
1.3. 充电传输	5
1.4. 灵敏度	5
1.4.1. 提升灵敏度方法	5
1.4.2. 常见材料介电常数表	5
1.5. 触摸电极	6
1.6. 主动屏蔽	6
1.7. 扫描时钟扩频	7
2. 触摸按键设计	8
2.1. 硬件设计	8
2.1.1. 概述	8
2.1.2. 硬件组成	8
2.1.3. 靠近电极的 LED	9
2.1.4. 发射源干扰	9
2.1.5. 电源供电	9
2.1.6. PCB 布线	9
2.1.7. 元件摆放	10
2.1.8. 地线和触摸电极	10
2.2. 静电防护	11
2.2.1. 绝缘材料覆盖	11
2.2.2. 放电气隙	12
2.2.3. 接地环	12
2.2.4. 附加电阻	12
2.2.5. 附加二极管	12
2.2.6. ESD 保护器件	12
2.2.7. 固件	13
3. 触摸按键的调试内容	14
3.1. 调试优化门限值	14
3.1.1. 标准测试手指的使用	14
3.1.2. 触摸门限值调节	14

3.2. 防抖方法.....	15
3.3. 电容充电周期调节.....	15
3.4. 主动屏蔽调试.....	16
3.5. 扫描时钟扩频.....	17
3.6. 厚面板处理.....	17
3.7. 休眠模式.....	17
4. 触摸按键的设计调试流程.....	19
4.1. 设计流程大纲.....	19
4.2. 流程详解.....	19
4.2.1. 固定硬件参数.....	19
4.2.2. 设置使能按键.....	20
4.2.3. 校准参考 ΔN_x 值.....	20
4.2.4. 测试调整按键参数.....	20
4.2.5. 测试设置休眠唤醒参数（可选）.....	20
4.3. 调试示例.....	21
4.3.1. 根据硬件使能按键.....	21
4.3.2. 获取基线值和 ΔN_x 值.....	21
4.3.3. 设置程序参数.....	25
4.3.4. 灵敏度参数调整.....	25
5. 常见问题记录.....	26
6. 调试各参数影响趋势.....	27
7. 版本历史.....	28
8. 版权声明.....	29

1. 原理介绍

1.1. 自电容触摸按键原理

1.1.1. 基本原理框图



1.1.2. 原理简述

● 按键电容 Cx 扫描

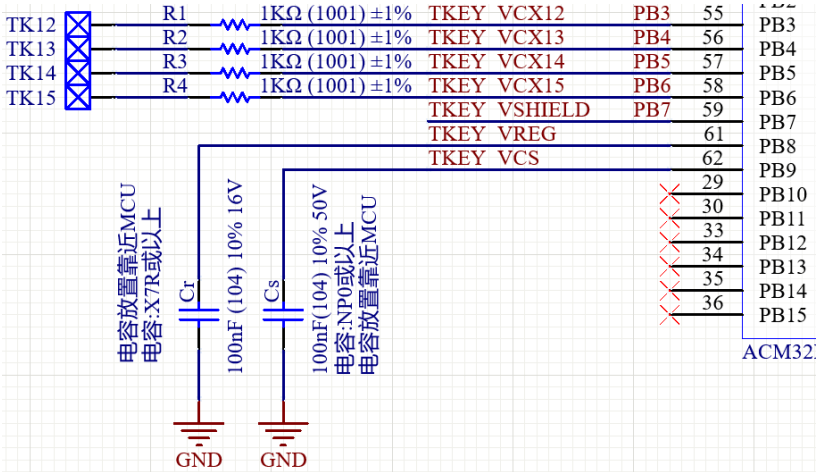
通过内部 LDO 或者 OPA 输出电压 Vkey 多次对外部按键分布电容 Cx 充电，多次将 Cx 的电荷释放到内部采样电容 Cs 中，计数器同时记录充放电次数。经过多次充电后，Cs 电压超过比较器负端基准电压 Vref 后，比较输出翻转，同时计数器停止得到计数值 Nx。在 Cx 的大小固定不变时，将得到比较稳定的计数值 Nx。

● 触摸检测

当外部按键发生触摸事件时，由于人体手指和按键电极间会形成一个新的电容，此时 Cx 会增加。通过检测 Cx 的增加量，获得新的 Nx' 值，减去原来的 Nx 得到 ΔNx 值，通过 ΔNx 的大小变化来判断是否产生了触摸按键事件。

● 抬起检测

当手指抬起时，Cx 的增量会由大变小，相应的 ΔNx 也会变小，这样可以判断按键抬起。

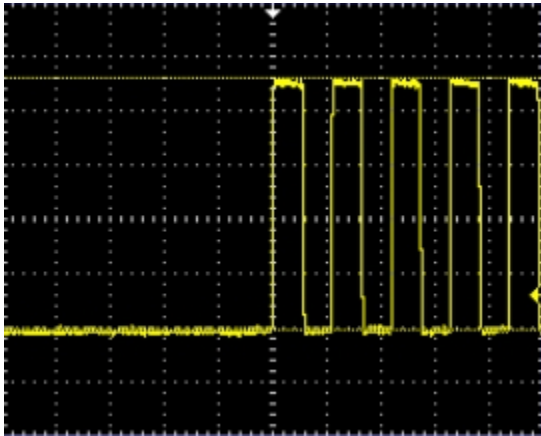


1.2. 触摸信号门限

要调整触摸检测门限值，必须确定每个触摸键的灵敏度。对于每个触摸键，可以用几个参数来调整这些触摸信号门限值。这里主要关键的两个门限值，是按键触发门限值和按键抬起门限值。

1.3. 充电传输

触摸传感器工作时，先通过内部基准源对按键电容 C_x 充电，然后再对采样电容 C_s 放电。这是一个充放电的电荷传输过程。为了保证更精确的测量 C_x 的值，需要保证每次给 C_x 时， C_x 的电压要达到基准源的电压值。所以需要保证充电的开启时间要满足充电的条件。充电充分时按键电极上的波形应该如下图所示：



当出现充电不足的时候，需要增加充电高电平的保持时间。

1.4. 灵敏度

1.4.1. 提升灵敏度方法

灵敏度是触摸传感器应用中非常重要的参数。可以通过以下一些方法来提升触摸灵敏度：

- 减少隔空距离
- 减薄触摸板厚度
- 选择高介电常数的触摸板
- 地线不要离触摸电极和屏蔽层过近
- 触摸电极和屏蔽层远离含金属涂料

1.4.2. 常见材料介电常数表

材料	相对介电常数
空气	1.00059
玻璃	4-10
蓝宝石玻璃	9-11
云母	4-8
尼龙	3
树脂玻璃	3.4
聚乙烯	2.2

聚苯乙烯	2.56
涤纶	3.7
FR4 (玻璃纤维+环氧树脂)	4.2
亚克力	2.6-4
压敏胶	2-3

1.5. 触摸电极

做触摸按键时，触摸电极的面积大小应和手指肚尺寸接近为宜。如下图所示，太小或者太大都不合适。



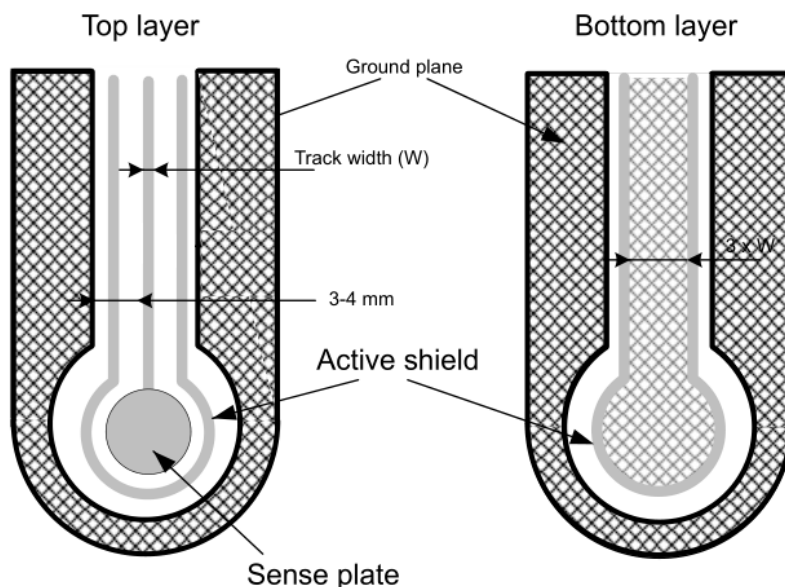
1.6. 主动屏蔽

芯片包含屏蔽通道，建议使用主动屏蔽电极，在屏蔽电极上加上和触摸按键电极一样的扫描信号。有如下一些优点：

- 电极和地线之间的寄生电容不再需要充电，起到降低寄生电容的作用
- 屏蔽触摸电极降低噪声源干扰
- 在其他导体接近触摸电极时，增加稳定性（例如：防水功能）

防水原理说明：如果没有主动屏蔽，水滴会增加触摸电极到地线的分布电容，导致触摸误触发；增加了主动屏蔽电极后，由于屏蔽电极和触摸电极的驱动电压相同，水滴两侧的电压保持相同，这样水滴产生的分布电容不会额外吸走触摸电极上的电荷，从而减少了水滴的影响，防止误触发。

下图是主动屏蔽层布线时的示例：



1.7. 扫描时钟扩频

TKEY 支持按键扫描时钟扩频功能。扩频功能是指在扫描时钟的相位上增加一些随机的抖动，这样可以扩展扫描时钟的基频范围。随机抖动范围越宽，扩频越宽。

扩频功能具有如下优点：

- 减少扫描时钟的基频能量，降低基频辐射
- 扩展扫描时钟的基频频谱，增加抗干扰能力

2. 触摸按键设计

2.1. 硬件设计

2.1.1. 概述

一个电容触摸板通常由以下一些组件组成：

- 一块玻纤板
- 一些铜箔组成的触摸电极
- 一块玻璃、有机玻璃或者其他绝缘材料组成的触摸面板
- 一些丝印

2.1.2. 硬件组成

- 基材

通常是绝缘材质承载着触摸电极。在实际应用中通常是 PCB 板、FPC 和玻璃等材料。

- 触摸电极

通常是铜箔、金属片、银浆印刷、ITO（氧化铟锡）等材料。

- 面板材料

通常是玻璃、有机玻璃或者其他绝缘材料。更高的介电常数的材料更优，有利于提高触摸灵敏度。一般建议面板厚度尽量薄，面板越厚，信噪比越差。如果需要使用厚面板，则需要更大面积的触摸电极。

- 组装

通常用压敏胶（双面胶）将带触摸电极的 PCB 和面板粘合在一起，重要的是要保证结构的稳定，任何厚度的变化都会影响触摸的效果。

- 金属环境

金属底座或者含金属油漆都会对触摸电极产生影响，如果触摸板下面有大面积金属，这上面不能带电荷，必须接地处理。

- 气隙

必要的时候，需要利用气隙的绝缘性来达到设计的目的，例如触摸电极需要和大面积金属环境保持尽量远的距离。

- 特殊安装

有时候需要将 PCB 板上的电极引到前面板上，可以通过弹簧或者弹性顶针来实现。

- 采样电容选型

表 2-1 贴片电容的特性

特性		聚酯 PET	聚萘酯 PEN	聚苯硫醚 PPS	陶瓷 NPO	陶瓷 X7R	钽电解 Tantalum
工作温度(°C)		-55~125	-55~125	-55~140	-55~125	-55~125	-55~125
ΔC/C 电容温度变化量 (°C)		±5	±5	±1.5	±1	±1	±10
损耗因素 D (%)	1KHz	0.8	0.8	0.2	0.1	2.5	8
	10KHz	1.5	1.5	0.25	0.1	-	-

	100KHz	3.0	3.0	0.5	0.1	-	-
介质吸收(%)		0.5	1	0.05	0.6	2.5	-
串联电阻 ESR		低	低	非常低	低	中到高	高
可靠性		高	高	高	高	中	低

PPS(聚苯硫醚)电介质和 NP0 陶瓷电容器在所有类别中性能优异。PET(金属化聚酯)和 PEN(金属化聚苯萘酸盐)电容器的性能也很好,可用于所有的触摸应用。钽电容耗散系数高,串联电阻高,必须避免使用钽电容。X7R 陶瓷电容器可用于一些要求较低的应用场合。

采样电容的特性对电容传感应用的正确稳定运行起着重要的作用。因此,有必要仔细选择。

- 如果解决方案使用触摸按键唤醒 MCU 低功耗模式来降低总功耗,则必须使用 PET、PEN、PPS 或 NP0 电容类型。
- 如果解决方案只使用触控传感器,上面列举的电容器类型除了钽电容之外都可以使用

2.1.3. 靠近电极的 LED

靠近触摸电极的 LED,在开关时会产生电容变化,同时导通电流也会对电容产生一定影响。需要在 LED 两端加一颗滤波电容(通常是 10nF)保持 LED 两端的交流低阻抗,以降低影响。

2.1.4. 发射源干扰

如果触摸传感器附近存在发射源干扰,例如:NFC 天线、晶振等,需要通过时分复用、频分复用、扫描扩频、屏蔽干扰源、软件滤波等方式来避免传感器被干扰。

2.1.5. 电源供电

触摸传感器的电源尤其重要,将对触摸的灵敏度和信噪比产生重要影响。设计时避免和任何开关电路共用电源,例如 LED、蜂鸣器、马达等。

2.1.6. PCB 布线

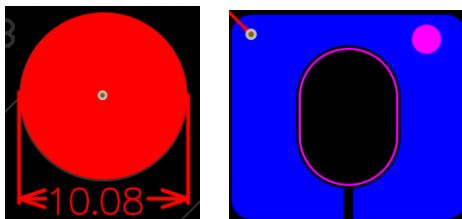
布线规则:

- 电极引线距离地线或者其他数字信号线净空 2mm 以上(推荐 4-5mm)
- 电极引线在 PCB 工艺允许情况下尽量细
- 电极引线之间至少距离两倍线宽
- 电极之间距离至少两倍面板厚度距离以上
- 电极的背面不能过信号线和其他电极引线
- 触摸按键走线应尽量短,在 PCB layout 时,应优先走触摸线,且尽量减少过孔的使用(最好过孔控制在 3 个以内),减少干扰引入
- 触摸走线原则上不允许与其它数字信号或驱动电源线并行,考虑到实际情况,若必须并行时应使并行距离尽量短,并行线之间至少 2 倍以上触摸走线线宽间距,或走线间插入地线隔离。对于双面板,应尽量让并行信号线改向,如垂直跨过。

电极外形:

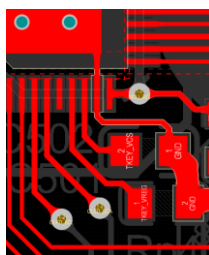
- 电极应尽量选用常规形状,常规形状包括 圆形,正方形。按键电极面积要适当,以正方形为例,建议 8*8mm~15*15mm 间,尽量不能小于 8mm*8mm。

- 电极是中间挖空环形铜箔时，需要让环形铜箔尽量均匀，且宽度尽量宽，窄处不小于 1mm。
- 电极附近如果有孤立的导体（包括 PCB 上铜箔，安装模具上的导电体，外壳等）时，这部分导体必须接地或去除。
- 电极感应焊盘通常被阻焊油覆盖，为提高触摸灵敏度建议露铜，露铜的形状为圆形，直径 1mm 左右。



2.1.7. 元件摆放

- 元件的摆放位置为了减少引线的长度，微控制器尽量靠近触摸电极。
- 微控制器也必须在传感器之间居中，以平衡多个触摸电极的寄生电容，并在控制器下放置一个接地层。
- ESD 保护电阻也必须尽可能靠近微控制器。
- 采样电容 C_s 的典型值为 100nF 和内置扫描通道 C_r 的典型值为 100nF，两个电容放置尽量靠近 MCU 引脚，同时电容的地与 MCU 的地连接线尽量短。

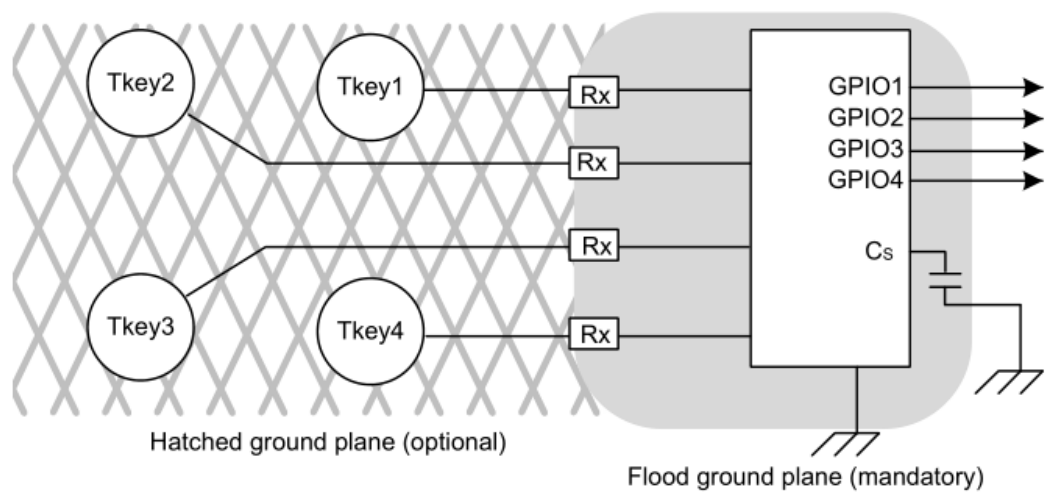


- 触摸通道串接的电阻阻值一般情况下为 100Ω~1KΩ尽量放置靠近 MCU 引脚。

2.1.8. 地线和触摸电极

为了避免影响灵敏度，地线需要和触摸电极放在同一层，并净空 2mm 以上。不推荐将触摸电极放在有独立地线层的 PCB 之上。为了平衡灵敏度和抗噪声性能，可以选择在电极周围和下方布上稀疏的网格地平面（10-15%的覆铜量）。如下图所示

图 2-1 地线覆铜示例



2.2. 静电防护

由于作为输入设备，触摸按键容易受到 ESD 的问题困扰。本章节介绍触摸按键 ESD 相关的处理方法。

一些静电防护的方法：

- 绝缘材料覆盖
- 放电气隙
- 接地环
- 附加电阻
- 附加二极管
- ESD 保护装置
- 固件

2.2.1. 绝缘材料覆盖

在触摸电极和手指之间，本来就要设置一块绝缘材料的触摸面板。高介电常数的材料既能增加触摸灵敏度，又能给经典防护带来好处。下面表中列举一些常用材料的静电防护能力。

图 2-2 一些绝缘材料的静电防护能力

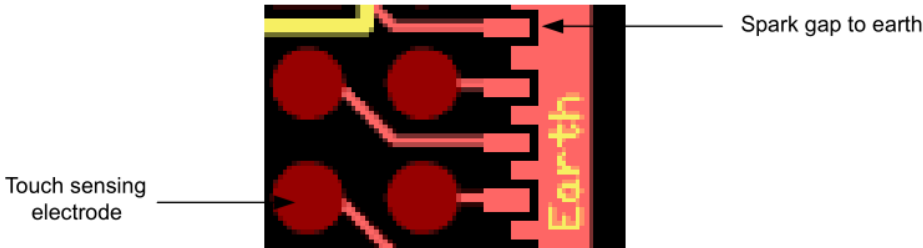
材料	击穿电压 (V/mm)	12KV 防护最小厚度 (mm)
空气	1200-2800	10
干木材	3900	3
普通玻璃	7900	1.5
硼玻璃	13000	0.9
亚克力	13000	0.9
ABS 塑料	16000	0.8
PC 塑料	16000	0.8
FR-4 (玻纤环氧树脂)	28000	0.4
涤纶树脂薄膜 (PET)	280000	0.04

聚酰亚胺薄膜 (Kapton)	280000	0.04
-----------------	--------	------

绝缘覆盖在实际应用中是最常用的。唯一缺点是很多时候静电会绕过覆盖面板放电，这种情况下，还需要一些额外的防护措施。

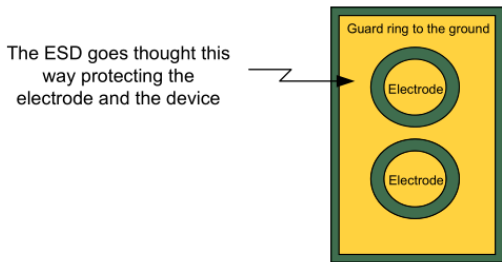
2.2.2. 放电气隙

可以在按键和地线之间做一些放电气隙，当静电电压超过放电气隙的击穿电压时，气隙的空气被击穿成低阻抗的导体，从而释放按键上的静电电荷。



2.2.3. 接地环

接地环是指环绕在触摸电极周围的接地覆铜，它可以提供更低的放电阻抗。使得静电更容易释放到地线上，从而保护触摸电极。



注意：覆铜请参考硬件设计中的网格覆铜，以平衡防护和触摸灵敏度。

2.2.4. 附加电阻

在触摸电极和 MCU 之间加一个电阻，可以有效防护静电。其原理一方面是该电阻和电极的寄生电容形成一个 RC 滤波器，可以滤除一些高频脉冲尖峰。另外，当 MCU 的 ESD 保护器件工作时，会对地形成较低的阻抗，附件的电阻可以起到分压作用，这样加在 MCU 上的电压会被降低。触摸电极常串一颗 10kΩ 的电阻来消除干扰。

2.2.5. 附加二极管

可以用二极管在 MCU 的触摸电极接口上起到保护作用，严格挑选的低反向寄生电容（小于 1pF）和漏电流（小于 100nA）的二极管可以将峰值电压引入到电源上，从而起到保护的作用。

不过常用的肖特基二极管和 TVS 管，由于漏电流或者寄生电容过大，一般不太适合在电容触摸按键上使用。

2.2.6. ESD 保护器件

一些特殊设计的静电防护二极管器件可以提供最有效的保护，他们具有非常低的寄生电容和漏电流。这类器件现在已经比较常见了。

2.2.7. 固件

当静电造成永久损坏时，固件方面自然帮不上什么忙。但是在很多时候静电只是引起一些暂时性功能退化或缺失，这时候可以通过类似看门狗的功能来重启设备来恢复正常功能。另外，增加滤波功能，也能降低一些静电带来的轻微干扰影响。

3. 触摸按键的调试内容

3.1. 调试优化门限值

本节详细介绍如何根据应用场景调试出可靠的门限值。电容触摸传感应用对大地耦合非常敏感，所以参数优化必须在与最终应用场景相同的环境中进行。在实际应用环境中，周边硬件可能会改变触摸键的大地耦合。

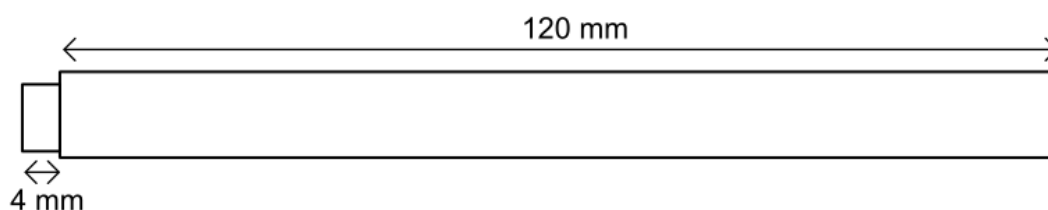
3.1.1. 标准测试手指的使用

使用定义的标准测试手指来模拟人类的手指，用于测试可以减少人为因素影响。

下面是推荐的测试手指资料：

由金属管和导电橡胶制成。

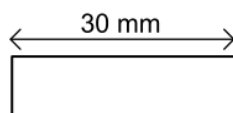
标准测试手指



黄铜管，长 120mm，外径 10mm，内径 8mm



导电橡胶棒，长 30mm，直径 8mm，端到端电阻小于 500 欧姆



将导电橡胶棒插入黄铜管，外露 4mm 长度，用 502 胶水粘接固定



如果没有标准测试手指，也可以用普通的电容笔或类似尺寸的金属棒替代，再根据实际测试情况调整门限值范围。

3.1.2. 触摸门限值调节

首先将最终应用场景的硬件和软件准备好。在软件中输出按键的各个采样值。

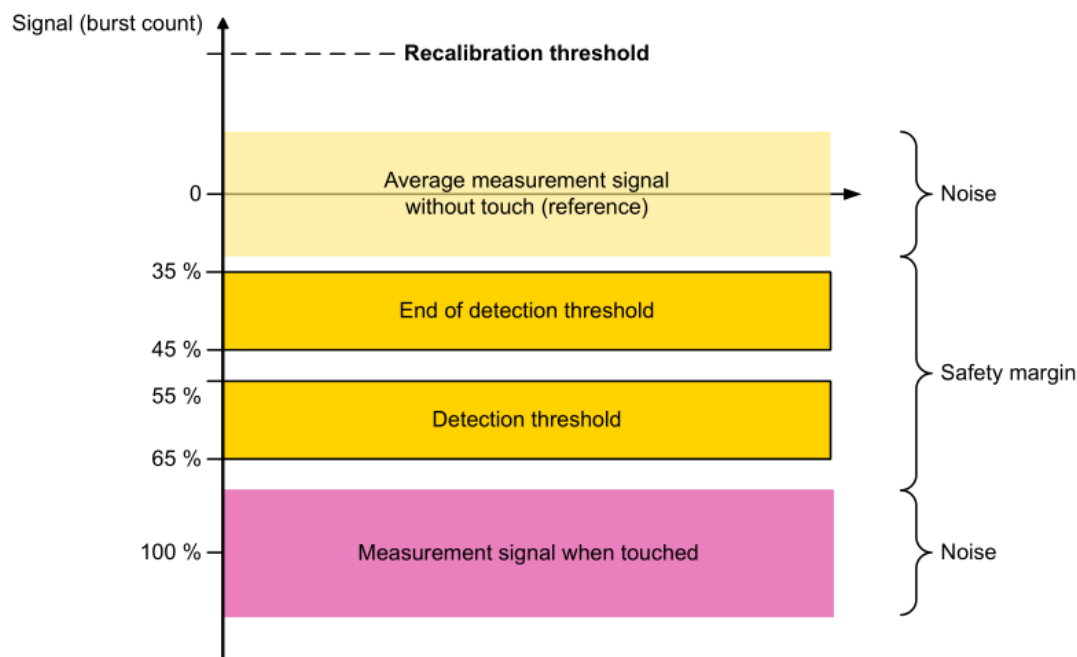
先扫面各个通道，测量各路按键通道的噪声水平。

设置按键检测门限值高于噪声水平，将标准测试手指放置到每个按键上，记录每个按键的读数增量。如果读数增量存在明显的波动，则测量多次取平均值；如果每个按键之间存在较大差异，则每个按键增量值做单独记录

处理。

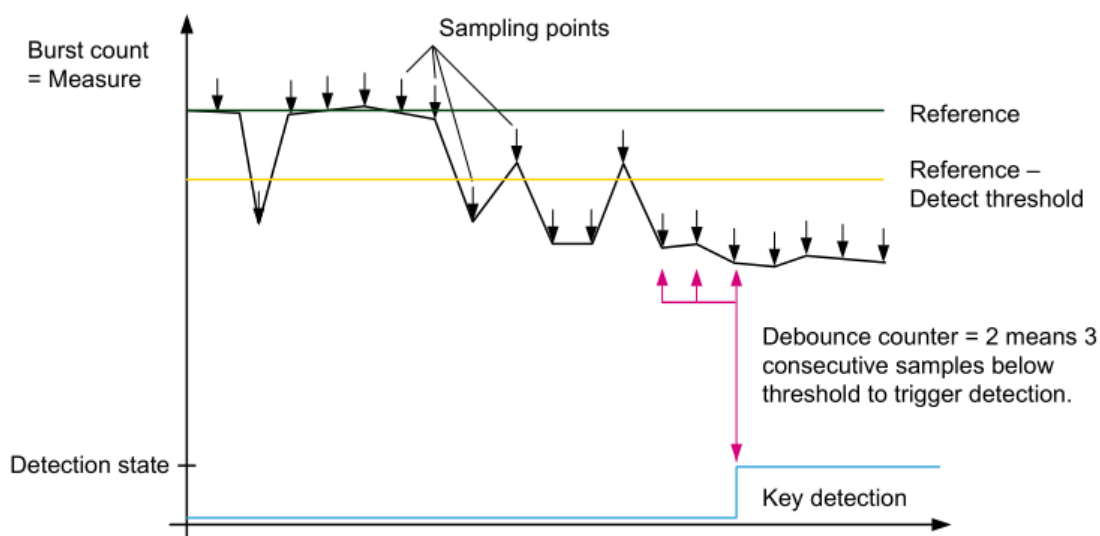
将标准测试手指测量得到的增量值作为基线值。设定按键触发门限值为 55%-65%的基线值，按键抬起门限值为 35%-45%的基线值。

图 3-1 门限值图



3.2. 防抖方法

软件上在连续检测到连续超过门限值 N 次后，再进入到相应状态。将 N 值作为防抖滤波值。下图是一个防抖的示例。



3.3. 电容充电周期调节

按键扫描时钟需要根据外部按键的电容来做调整，使得在时钟高电平保持时段能完成充电，避免出现充电不够的情况。下面是充电不足和充电充分的按键电压波形。

图 3-2 充电不足的波形 (高电平不平直)

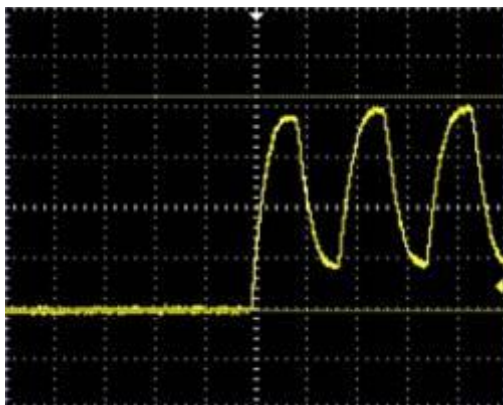
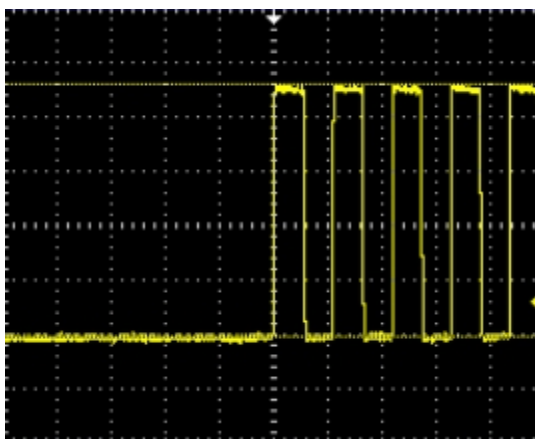


图 3-3 充电充分的波形



在实际的应用中，我们需要在所有硬件组装完成后的环境下测试按键充电的情况。可以通过一枚小的金属硬币，覆盖在按键区域，通过示波器探针点在硬币上来观察波形。

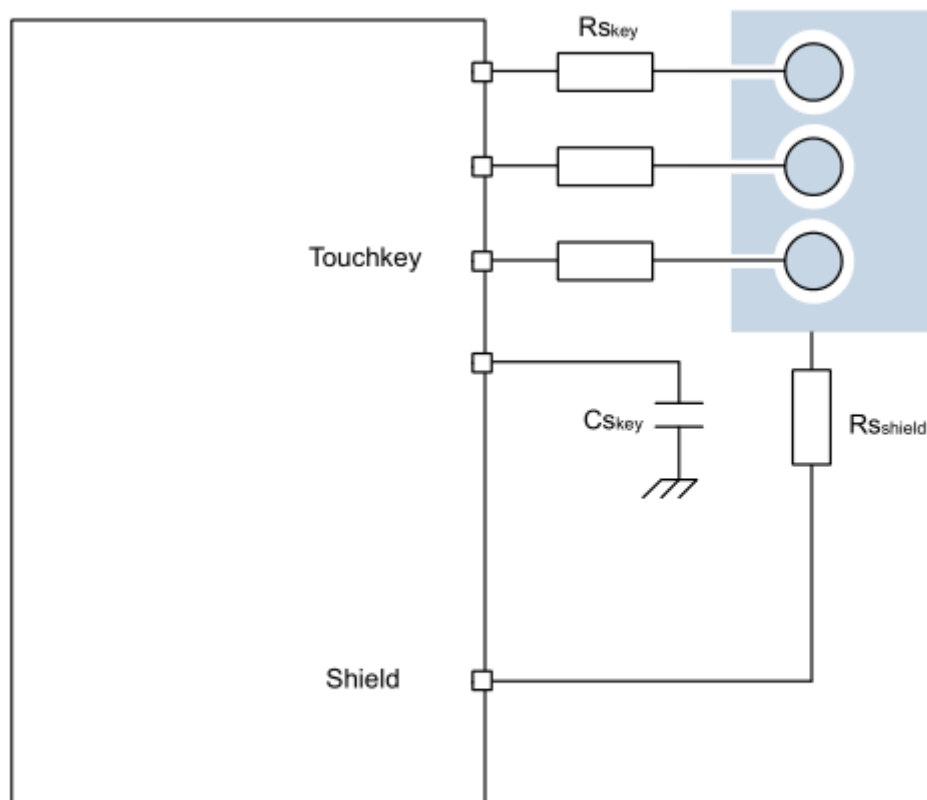
图 3-4 按键波形测试方法



如果出现充电不足（高电平不平直）的情况，则需要增加时钟的高电平保持时间来达到充电充分的效果。

3.4. 主动屏蔽调试

如果使用主动屏蔽功能来提高抗干扰能力，主动屏蔽层的驱动波形需要通过调节 RSshield 到和触摸电极上的波形一样。幅值、上升和下降沿尽量保持一致。



3.5. 扫描时钟扩频

如果想要增强触摸传感器的抗干扰能力，可以通过使能扫描时钟扩频功能。使能扩频后，通过设置时钟抖动范围来设置扩频的范围。打开扩频功能后，由于随机性的增加或者减少扫描时钟的高低电平宽度，扫描时钟基频也不再固定，将在基频附近上下随机变化，这样就达到了扩频的效果。

3.6. 厚面板处理

自电容式触摸传感器可以支持大于 5mm 的触摸面板厚度，但常规情况下不建议用过厚的面板。如需要用到加厚的触摸面板，有如下一些需要注意的事项：

- 触摸电极需要加大

更厚的面板需要更大的触摸电极支持，以增加触摸的电容变化量。

- 增加电极间的距离

触摸面板过厚时，不同电极和手指的距离差值变小，容易误触发相邻按键，这时需要增加电极间距，以减少误触发的概率。

- 增大采样电容 C_s 的值

增大采样电容 C_s 可以增加触摸检测灵敏度，但是也会降低按键扫描速度，同时轻微增加功耗，低功耗应用需要注意，这里需要掌握平衡。

3.7. 休眠模式

触摸传感器支持 MCU 从 STOP 模式唤醒。

在低功耗的应用中，我们需要让 MCU 进入 STOP 模式，在进入 STOP 模式之前，需要设置触摸按键进入 Sleep 模式，同时需要设置扫描的基线值、唤醒门限值，以支持触摸按键唤醒 MCU。进入 STOP 模式后需要保持 TKSCCLK 和 TKCTLCLK，使用睡眠模式时建议使用 RC4M 和 RC32K 工作。如果想进一步降低功耗，可以通过增加扫描等待时间，这样可以增大扫描间隔，可以使功耗更低。唤醒后，需要退出 Sleep 模式，恢复扫描速度，以免影响触摸响应速度。

4. 触摸按键的设计调试流程

4.1. 设计流程大纲

下图是基本的设计流程大纲



4.2. 流程详解

下面是根据例程进行调试的详细流程详解。相关调试参数涉及到硬件和软件参数，每项参数调试时的具体影响，请参考附录 A，实际调试中，按照参考设计，一般不需调整过多参数。

4.2.1. 固定硬件参数

确保所有的硬件参数固定以后，再进行最终产品的触摸性能调试。其中需要确定的包括 PCB 板、触摸电极、触摸面板、丝印、相关结构件以及结合安装的粘接剂等，在按照最终产品形态安装好以后再进行调试。

选择合适的采样电容 C_s ，一般建议用 100nF（封装 0603-0805）的 NP0 电容，性能、成本和封装大小都比较合适。在环境温度要求不高的场合也可以用 X7R 的电容。

4.2.2. 设置使能按键

根据使用到的触摸按键使能每个按键的宏定义，例如 TK_0 使能如下：

```
#define TKEY_CHANNEL_0_ENABLE          //--对应芯片管脚 TVCX0, 上位机工具 TK_0
```

在初始化函数 TKEY_Init()中配置触摸按键的扫描参数和其他参数（一般情况下无需修改）。

4.2.3. 校准参考 ΔN_x 值

这是很重要的一个参数值，后面按下检测门限值，抬起检测门限值，自校准检测门限值和休眠唤醒门限值都是基于 ΔN_x 乘以相应系数得到的。

校准获取 ΔN_x 值

在打开被注释的 HAL_TKEY.h 中的 TKEY_WAVEFORM_PRINTF，下载并运行 demo 程序。PC 端打开调试工具 TkeyTouchTool.exe，此时只是不断扫描触摸按键，得到当前 N_x 的值，和前一步得到的 N_x 值相减得到 ΔN_x 值。所以在触摸键上没有任何变化时， ΔN_x 的值理想情况下为零，实际上是为零或者一个较小的值。

用标准测试手指分别放在每个触摸按键上，获取每个按键的 ΔN_x 值。如果没有标准测试手指，也可以用普通的电容笔或类似尺寸的金属棒替代，只是最终确认的 ΔN_x 值需要按照实测效果调整比例系数。

ΔN_x 的值在扫描速度允许的前提下建议越大越好，且需要远大于噪声电平，且建议最小值不小于 10。

4.2.4. 测试调整按键参数

将 HAL_TKEY.h 中的 TKEY_WAVEFORM_PRINTF 注释掉。设置每个按键的灵敏度（门限值）参数：包括按下检测灵敏度值 TKEY_x_TOUCH_SENSITIVITY 和休眠唤醒灵敏度值 TKEY_x_WAKEUP_SENSITIVITY。测试触摸效果以达到最佳，需调试以下几个参数：

- TKEY_x_TOUCH_SENSITIVITY：按下检测灵敏度值，一般设置为 ΔN_x 值的 55%-65%；
- TKEY_x_WAKEUP_SENSITIVITY：休眠唤醒灵敏度值，一般设置为稍大于按下检测灵敏度值；
- TKEY_DETECTING_CALIBRATE_TIME：产生自校准事件的计时值（单位 ms），如 ΔN_x 长时间改变，则认为因环境改变导致，超出一定时间，则会产生自校准事件以纠正环境影响；
- TKEY_DEBIN：按下的键值扫描次数，达到该值认为检测到按下动作，用于防抖和滤除噪声；
- TKEY_DEBOUT：抬起的键值扫描次数，达到该值认为检测到抬起动作，用于防抖和滤除噪声；

4.2.5. 测试设置休眠唤醒参数（可选）

如系统对功耗要求很高，则需要使用该功能。使能 TKEY_LOWPOWER，根据 demo 实例进行相关低功耗设置。

通过判断休眠计数来进入休眠，调用 TKEY_Suspend ()进入休眠，唤醒时调用 TKEY_Resume ()恢复按键扫描。

Enter_Stop_Ram(); 函数为休眠唤醒程序，配置为放到 SRAM 中运行，这样可以关闭更多的系统模块，获得更低的休眠功耗。

如果应用环境比较复杂，建议休眠后用 RTC 定时唤醒对 TouchKey 进行校准，避免由于环境变化导致无法唤醒的情况。

4.3. 调试示例

4.3.1. 根据硬件使能按键

特别注意：触摸按键的调试必须在最终稳定的硬件环境下进行，才能确定最终产品的调试参数。

例如，示例 demo 中使用了共 14 个按键，先修改 TKey.h 文件中的通道使能宏定义，把没有用到的按键通道注释掉。

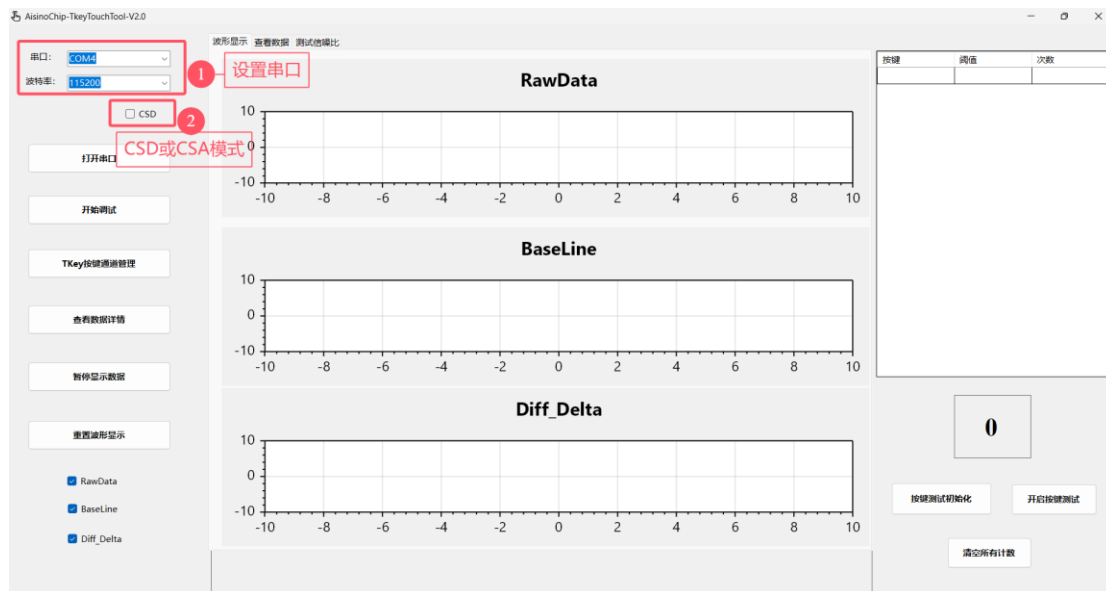
```

/*****
 * TKey 16通道使能宏定义
 * 需要使用哪路按键就使能该通道;未使用的按键通道不要使能,不然校准会失败
 *****/
#define TKEY_CHANNEL_0_ENABLE //--对应芯片管脚TVCX0, 上位机工具TK_0
#define TKEY_CHANNEL_1_ENABLE //--对应芯片管脚TVCX1, 上位机工具TK_1
#define TKEY_CHANNEL_2_ENABLE //--对应芯片管脚TVCX2, 上位机工具TK_2
// #define TKEY_CHANNEL_3_ENABLE //--对应芯片管脚TVCX3, 上位机工具TK_3
#define TKEY_CHANNEL_4_ENABLE //--对应芯片管脚TVCX4, 上位机工具TK_4
#define TKEY_CHANNEL_5_ENABLE //--对应芯片管脚TVCX5, 上位机工具TK_5
// #define TKEY_CHANNEL_6_ENABLE //--对应芯片管脚TVCX6, 上位机工具TK_6
#define TKEY_CHANNEL_7_ENABLE //--对应芯片管脚TVCX7, 上位机工具TK_7
#define TKEY_CHANNEL_8_ENABLE //--对应芯片管脚TVCX8, 上位机工具TK_8
#define TKEY_CHANNEL_9_ENABLE //--对应芯片管脚TVCX9, 上位机工具TK_9
#define TKEY_CHANNEL_10_ENABLE //--对应芯片管脚TVCX10, 上位机工具TK_10
#define TKEY_CHANNEL_11_ENABLE //--对应芯片管脚TVCX11, 上位机工具TK_11
#define TKEY_CHANNEL_12_ENABLE //--对应芯片管脚TVCX12, 上位机工具TK_12
#define TKEY_CHANNEL_13_ENABLE //--对应芯片管脚TVCX13, 上位机工具TK_13
#define TKEY_CHANNEL_14_ENABLE //--对应芯片管脚TVCX14, 上位机工具TK_14
#define TKEY_CHANNEL_15_ENABLE //--对应芯片管脚TVCX15, 上位机工具TK_15

```

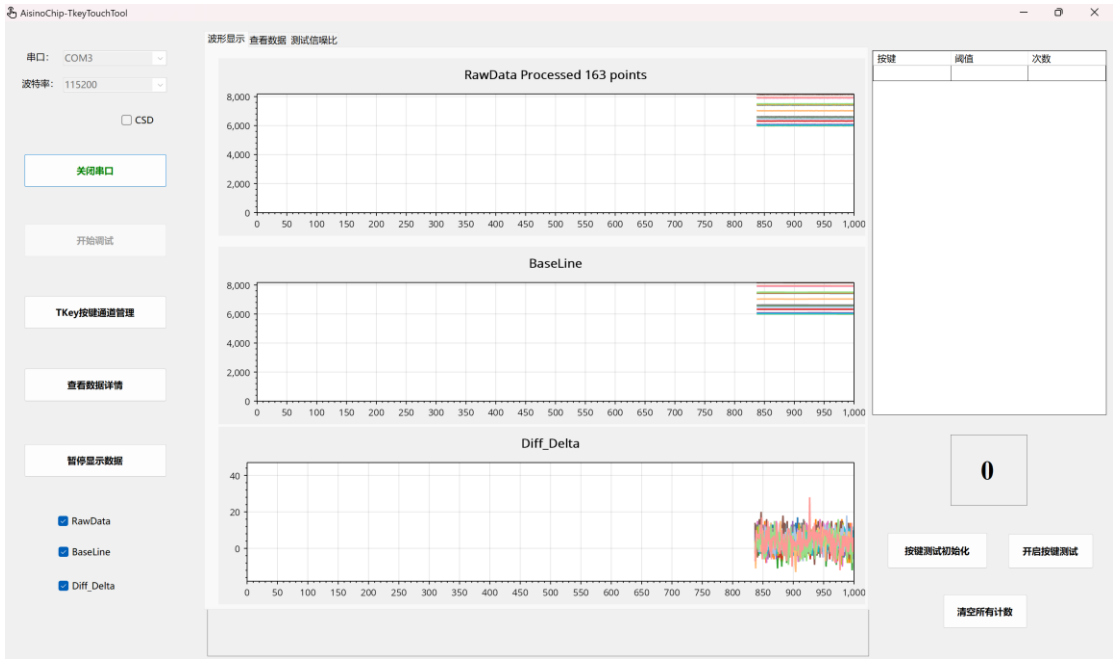
4.3.2. 获取基线值和 $\Delta N \times$ 值

将#define TKEY_WAVEFORM_PRINTF 注释打开，编译后下载到板子上运行，PC 端打开调试工具 TkeyTouchTool.exe，如下图所示：

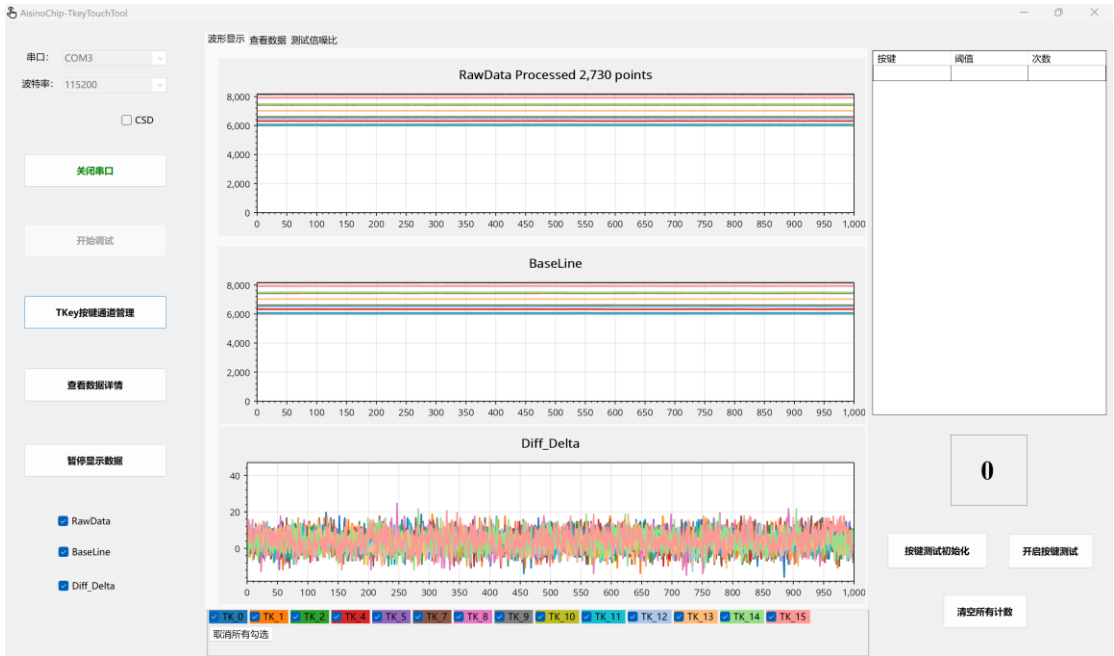


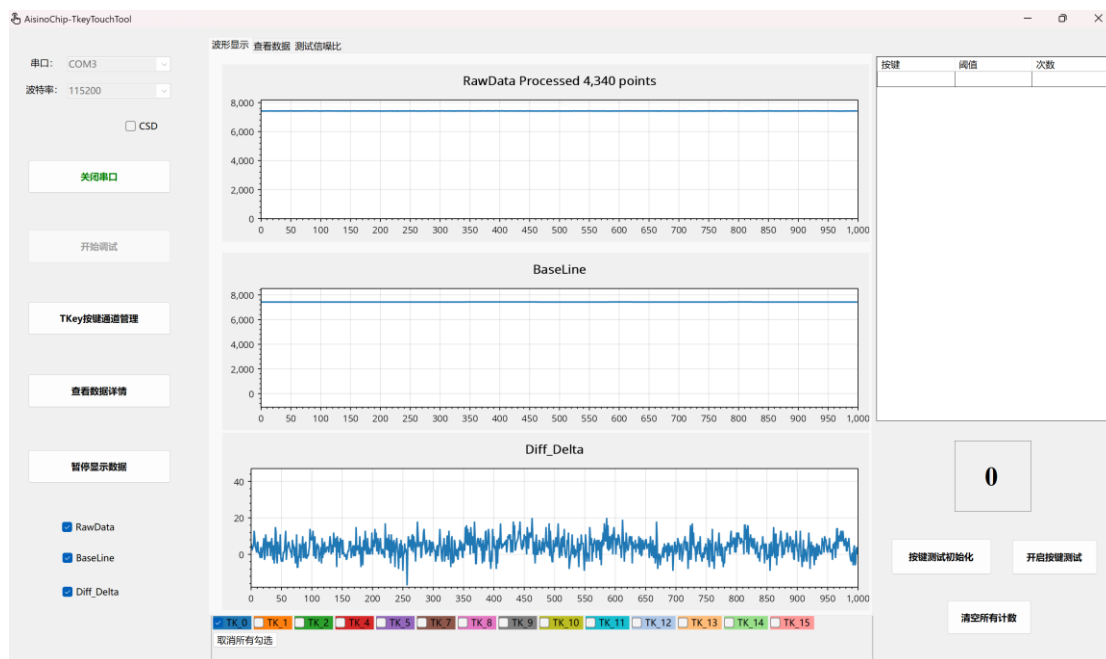
4.3.2.1. 对于非 CSD 模式的 Tkey，取消勾选 “CSD” 选项。

4.3.2.2. 选择串口，设置波特率，点击 “打开串口”，再点击 “开始调试”，上位机会出现波形如下：

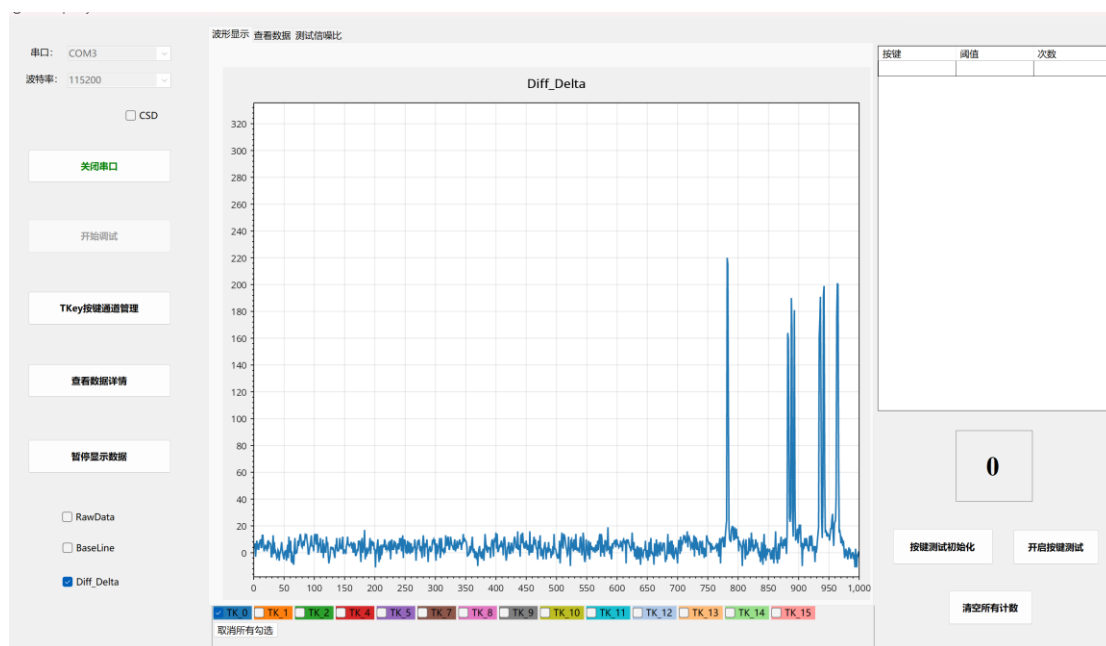


4.3.2.3. 点击“Tkey 按键通道管理”按钮，会生成选项，可以选择查看某些按键：

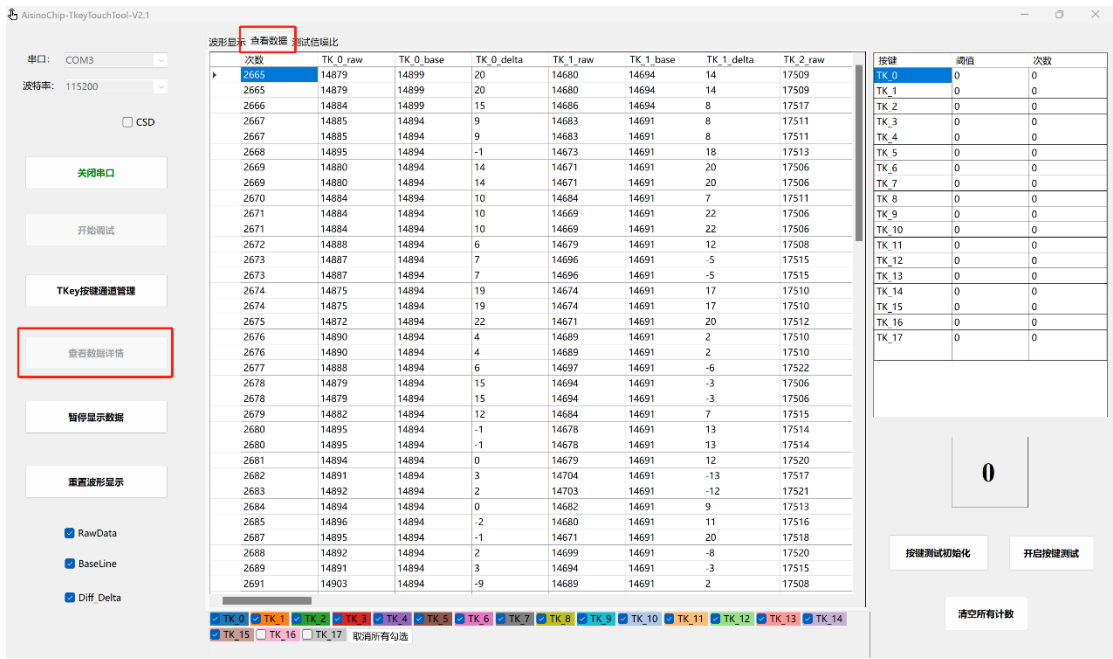




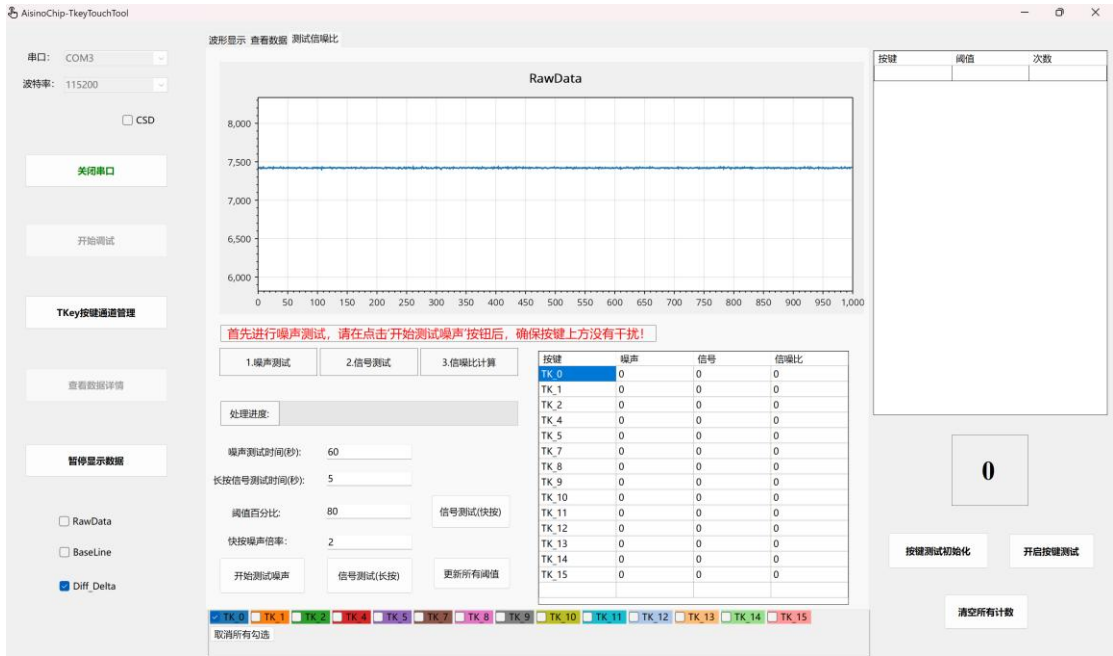
4.3.2.4. 点击左侧 “RawData” , “BaseLine” , “Diff_Delta” 等选项框, 可以控制只显示哪些项, 例如, 只查看 “Diff_Delta” :



4.3.2.5. 将选项卡切换至 “查看数据”, 点击 “查看数据详情按钮”, 可以查看具体数值:



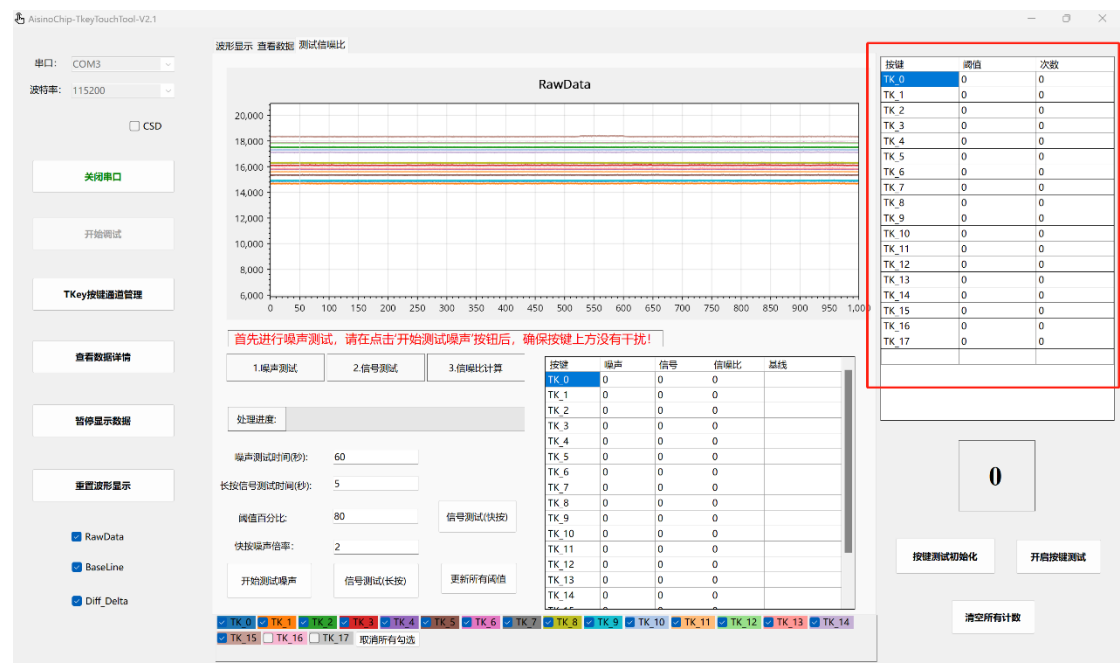
4.3.2.6. 将选项卡切换至“测试信噪比”选项，可以测试信噪比：



噪声测试时间默认为 60 秒，实际测试中建议延迟该时间，设定好时间后，点击“开始测试噪声”。

按键信号测试分为“长按”和“快按”两种模式，长按测试根据“长按信号测试时间”，将手指放在对应按键上保持不动；快按测试模式下需要快速点击对应按键，直到提示测试完成。

点击“按键测试初始化”，会出现如下：



可以将测试出来的信号，通过点击“更新所有阈值”按钮，按设定的“阈值百分比”（默认是 80%），将阈值更新至数据表里，也可以点击对应的数据框，手动输入阈值。然后点击“开始按键测试”，可以判断当前阈值下按键的触发效果，正常情况下每按一次，对应的“次数选项”会加 1。

4.3.3. 设置程序参数

根据 ΔNx 设置每个按键按下检测灵敏度值 TKEY_x_TOUCH_SENSITIVITY，一般设置为 ΔNx 值的 55%-65%。未使能的按键灵敏度值设置为最大值 4095。

最后注释 debug 宏定义：

```
//#define TKEY_WAVEFORM_PRINTF
```

重新编译后下载进设备后，测试每个按键的实际效果。

如果使用休眠唤醒功能，还需要设置每个按键休眠唤醒灵敏度值（门限值）TKEY_x_WAKEUP_SENSITIVITY，一般设置为稍大于按下检测灵敏度值。未使能的按键灵敏度值设置为最大值 4095。

4.3.4. 灵敏度参数调整

根据按键测试的实际情况，调整 4.2.4 章节中说明的几个参数，一般重点调整几个灵敏度值（门限值）来获得最好的触控效果和抗干扰能力。

5. 常见问题记录

■ OPA 与 TKEY 存在串扰

- 1) PB0 为 OPA2_OUT, TK12 为 OPA2_INP0, PB0 翻转通过 OPA2 耦合到 TK12;
- 2) PB7 是 TK shield 管脚, PB7 翻转直接耦合到其它 TK 管脚;
- 3) PA4 为 OPA1_INP0, PC5 为 OPA1_OUT, TK14 为 OPA1_INM0, PA4 和 PC5 翻转都会通过 OPA1 耦合到 TK14;
- 4) PA7 为 OPA3_INP0, PC5 为 OPA1_OUT, TK14 为 OPA1_INM0, PC5 翻转通过 OPA1 耦合到 TK14;
- 5) PA4 为 OPA1_INP0, PA7 为 OPA3_INP0, TK14 为 OPA1_INM0, PA4 翻转对 TK14 影响较小。

解决方案: 使用 TKEY 时, 不能使用 OPA, 两者不能共存。通过设置 OPA 寄存器 CAL_H 和 CAL_L 为 '01' 或 '10', 断开 OPA 输入端开关, 避免 GPIO 直连到 OPA, 进而耦合到 TK, 影响 TK 工作。

■ 未使用的 TKEY 通道 IO 需保持固定一个状态, 不可频繁翻转, 可能会引入串扰, 影响 Rawdata 计数值。

■ 停止扫描时, 只会清除主状态机, cnt 计数无法清 0, 导致第一次读的数据是上一次计数值和本次计数值的叠加。

解决方案:

TKEY 扫描禁止之后持续至少一个 RC32K 后再使能先扫一个通道, 将计数清零, 然后再开启所有通道扫描。但是这样时间比较久。

使用 TKEY IP 软复位后再重新配置软件参数。

■ 芯片上电或者 Reset 过程, 会导致 TKEY 波动, 计数值不稳, 造成 baseline 采样不准, 容易出现误触。

解决方案: TKEY 初始化之前将 TKEY IO 配置成推挽输出, 且输出低, 持续至少 300ms; 然后将 IO 配置成输入, 下拉, ODATA 清零, 持续至少 300ms, 将 TKEY 相关 IO 放电。

6. 调试各参数影响趋势

参数和变量	参数变化	Nx	ΔNx	其他
Cs 采样电容	↑	↑	↑	功耗上升
	↓	↓	↓	功耗下降
CLK	↑	↑	↑	扫描速度加快
	↓	↓	↓	扫描速度减慢
Vkey	↑	↓	↑	Vkey 大噪声小, 易受电源波动影响
	↓	↑	↓	
Vref	↑	↑	↑	
	↓	↓	↓	
Vkey/Vref	↑	↓	↓	
	↓	↑	↑	
ShieldEn	主动屏蔽信号驱动能力不够, Nx 值提升约 6%, ΔNx 值提升约 30%。			
CsDisChargeTime	放电时间一般都够, 在不影响 Nx 大小的前提下尽量小一点, 一般可设置为 0			
SwIH/SwIL	由 SwIH 和 SwIL 组成扫描时钟的高电平和低电平周期, 可以组成不同占空比和频率的扫描信号			影响 CLK 频率

7. 版本历史

版本	日期	作者	描述
V1.0	2021/04/25	HangXin	初始版
V1.1	2021/01/21	HangXin	修改为发布版本
V1.2	2022/02/28	HangXin	修改原理框图和原理描述，增加时钟扩频说明等
V1.3	2023/5/10	HangXin	根据应用 demo 简化设计流程，更新 PCB 布线
V1.4	2024/12/26	HangXin	增加硬件设计特别注意事项
V1.5	2025/4/2	HangXin	修改硬件设计注意事项

8. 版权声明

本文档的所有部分，其著作权归上海航芯电子科技股份有限公司（简称航芯科技）所有，未经航芯科技授权许可，任何个人及组织不得复制、转载、仿制本文档的全部或部分组件。本文档没有任何形式的担保、立场表达或其他暗示，若有任何因本文档或其中提及的产品所有资讯所引起的直接或间接损失，航芯科技及所属员工恕不为其担保任何责任。除此以外，本文档所提到的产品规格及资讯仅供参考，内容亦会随时更新，恕不另行通知。

联系我们

公司：上海航芯电子科技股份有限公司

地址：上海市闵行区合川路 2570 号科技绿洲三期 2 号楼 702 室

邮编：200241

电话：+86-21-6125 9080

传真：+86-21-6125 9080-830

Email: service@hangchip.com

Website: www.hangchip.com